



Budownictwo na obszarach wiejskich

Nauka, praktyka, perspektywy

redakcja
Anna Halicka

MONOGRAFIE

Budownictwo na obszarach wiejskich

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Budownictwa i Architektury
ul. Nadbystrzycka 40
20-618 Lublin

Budownictwo na obszarach wiejskich

Nauka, praktyka, perspektywy

redakcja
Anna Halicka



Politechnika Lubelska
Lublin 2013

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. Wojciech Radomski

prof. dr hab. inż. Lech Czarnecki

prof. dr hab. inż. Andrzej Brandt

Redaktorzy techniczni:

Tomasz Lipecki

Piotr Wielgos

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2013

ISBN: 978-83-63569-30-3

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatop.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 400 egz.

SPONSORZY GŁÓWNI



SPONSORZY



**RYNEK
ELIZÓWKA**



PANalytical



**WYDAWNICTWO
NAUKOWE
PWN**

PATRONI MEDIALNI

**Inżynier
budownictwa**

**PRZEGLĄD
budowlany**

**INŻYNIERIA
BUDOWNICTWO**

**N O W O C Z E S N E
HALE**

MOSTY

**Nowoczesne
Budownictwo
Inżynieryjne**
Od 8 lat o inżynierii przyszłości z pasją

**agro
hale**

SPIS TREŚCI – CONTENTS

Krzysztof Hetman:

Słowo od Marszałka Województwa Lubelskiego 9

Andrzej Kowalski:

Miejsce rolnictwa i przemysłu spożywczego w gospodarce kraju
The role of agriculture and food industry in the national economy 11

Jacek Szer:

Budownictwo rolnicze w prawie budowlanym
Agricultural building in the construction law 23

Marek Kowicki:

Równowaga w planowaniu przestrzennym na obszarach wiejskich. Wybrane zagadnienia
Equilibrium in spatial planning in rural areas. Selected issues 35

Irena Niedźwiecka-Filipiak:

Tradycyjne budownictwo wiejskie
Traditional rural buildings 47

Elżbieta Przesmycka:

Rewitalizacja zabudowy poprzemysłowej na przykładzie cukrowni na Lubelszczyźnie
Revitalization of post industrial buildings on the example of sugar factories in Lublin Region .. 57

Piotr Kacejko, Sylwester Adamek:

Generacja rozproszona w terenowych sieciach rozdzielczych – realia i nadzieje
Rural distribution networks with dispersed generation – realities and hopes 65

Grzegorz Trzcíński:

Budownictwo leśne jako element lokalnej infrastruktury budowlanej
Forest architecture as part of the local building infrastructure 77

Michał Cwiąkała, Paweł Tarasewicz:

Drogi lokalne na terenach wiejskich – stan aktualny i perspektywy
Local roads in rural areas – current status and prospects 87

Artur Krzywulski:

Rozwiązania konstrukcyjne lekkiej obudowy termoizolacyjnej stosowane w przechowalniach, chłodniach i mroźniach
Design solutions of light insulated envelopes used in chill stores, cold stores and controlled atmosphere stores 101

Zbigniew Pozorski:

Perspektywy nowych rozwiązań technicznych i zastosowań płyt warstwowych i materiałów kompozytowych w budownictwie rolniczym
The perspectives of the new technical solutions and applications of sandwich panels and composite materials in rural buildings 113

Teresa Możaryn, Anna Sokalska, Michał Wójtowicz:

Ochrona konstrukcji żelbetowych w obiektach rolniczych w świetle wymagań norm i wytycznych ITB
Protection of reinforced concrete structures in the agricultural buildings on the point of view of the requirements of the standards and ITB guidelines 125

Agnieszka Marczevska:

Szkło jako materiał konstrukcyjny dla szklarni – wymagania, zagadnienia badawcze, trendy rozwojowe
Glass as a construction material for greenhouses – requiring, research issues, trends of development 139

Andrzej Myczko, Ryszard Konieczny:

- Istota biogazowni oraz procesy technologiczne i obiekty w biogazowniach
*Essence of the biogas installation as well as the technology processes
 and facilities in the biogas installation* 149

Tadeusz Gluski:

- Kierunki rozwoju nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjno-funkcjonalnych
 budynków inwentarskich na przykładzie budynków dla bydła mlecznego
*Development trends of modern structural-functional solutions of livestock
 buildings on an example of buildings for dairy cattle* 161

Sławomir Grabarczyk:

- Szklarnie – nowoczesne rozwiązania pozwalające na kształtowanie
 optymalnych warunków ciepłno – wilgotnościowych i warunków oświetlenia
*Greenhouses – modern technologies allowing to form optimal air temperature,
 humidity and the lighting conditions* 173

Henryk Nowak:

- Wpływ środowiska wewnętrznego na kształtowanie przegród budowlanych
 w budynkach chłodni i mroźni do przechowywania owoców i mięsa
*The influence of the internal environment on the shaping of building envelope
 in cold store and freezer buildings for storing fruits and meat* 185

Andrzej Borowy, Andrzej Kolbrecki, Bogdan Wróblewski:

- Zagrożenia pożarowe obiektów budownictwa rolniczego i rozwiązania
 zabezpieczenia przeciwpożarowego
Fire hazard of agricultural construction works and fire protection solutions 197

Andrzej Łapko:

- Specyfika projektowania, wykonawstwa i eksploatacji silosów na produkty rolne
Specific problems of design, construction and exploitation of silos for agriculture 207

Józef Horabik, Marek Molenda, Michael D. Montross, Ira J. Ross, Rafał Kobyłka:

- Przykłady badania i modelowania obciążeń silosów na zboże
Examples of experimental studies and modeling of grain silo loads 219

Eugeniusz Hotała:

- Stalowe silosy na produkty rolne – rozwiązania konstrukcyjne,
 analizy nośności, trwałość, awarie
*Steel silos for agricultural products – structural solutions,
 resistance analysis, durability, failures* 231

Edward Pierzgalski:

- Melioracje a rozwój obszarów wiejskich
Land improvement and rural areas development 245

Szczepan Ludwik Dąbkowski:

- Obiekty budowlane służące melioracjom – specyfika konstrukcji i projektowania
Small hydraulic structures - selected aspects of construction and designing 255

Waldemar Mioduszeński:

- Małe zbiorniki wodne – konstrukcje, rola w krajobrazie rolniczym
Small water reservoirs – constructions, function in agricultural landscape 267

Andrzej Pichla:

- Budowle wodno – melioracyjne na lubelszczyźnie
Drainage and hydro-engineering buildings in the Lublin Region 279

Anna Halicka:

- Nauka, praktyka i perspektywy budownictwa na obszarach wiejskich – podsumowanie 293

Słowo od Marszałka Województwa Lubelskiego

Krzysztof Hetman

Marszałek Województwa Lubelskiego

Szanowni Państwo,



sektor rolniczy to największe przedsiębiorstwo produkcyjne w województwie lubelskim ze względu na potencjał wytwórczy jak i osiągnięte, z roku na rok rosnące, wyniki ekonomiczne. Dobre warunki glebowo-klimatyczne warunkują znaczący udział użytków rolnych. Według danych GUS w 2012 r. stanowiły one 57,8% powierzchni całego regionu. Z kolei ponad trzy czwarte z użytków rolnych województwa (75,7%) stanowiły grunty orne.

Potencjał przyrodniczy Lubelszczyzny jest znacznie korzystniejszy w porównaniu ze średnimi wartościami w Polsce. Wskaźnik jakości rolniczej przestrzeni produkcyjnej w województwie lubelskim wyniósł 74,1 pkt według skali IUNG w Puławach (w kraju 66,6 pkt) i był jednym z najwyższych w Polsce (po województwach opolskim i dolnośląskim).

Połączenie obiektywnych warunków z wykształceniem, wiedzą i doświadczeniem naszych producentów rolnych skutkuje doskonałymi wynikami. W produkcji ziemniaków w przeliczeniu na 1 mieszkańca zajmujemy 3 miejsce w Polsce, w produkcji pszenicy i owoców z drzew - 2 miejsce, natomiast niezaprzeczalną pozycję lidera mamy w produkcji warzyw gruntowych oraz owoców z krzewów i plantacji jagodowych. Jedną z ważnych przesłanek tych sukcesów jest coraz popularniejsza forma kooperacji rolników w ramach grup producenckich. Tu także, pod względem ilości tych podmiotów znajdujemy się w ścisłej czołówce w Polsce.

Dynamicznie rozwijającą się i coraz popularniejszą ze względu na nowe możliwości pozyskiwania źródeł zarobkowania gałęzią gospodarki obszarów wiejskich jest rolnictwo ekologiczne. Według danych IJHARS z 2012 r. województwo lubelskie zajmuje wysokie, piąte miejsce w Polsce pod względem liczby zarejestrowanych producentów. Grubo ponad 2 tysiące certyfikowanych gospodarstw nie używa chemicznych środków ochrony roślin i nawozów sztucznych, do nawożenia stosuje jedynie nawozy zielone i minerały dostępne w przyrodzie, a w żywieniu zwierząt - przede wszystkim własne ekologiczne pasze, zaś produkowana w nich żywność znajduje uznanie konsumentów nie tylko w Polsce, ale i za granicą.

Kolejną dziedziną świadczącą o aktywności mieszkańców lubelskich wsi w dywersyfikacji środków utrzymania jest energicznie rozwijająca się agroturystyka. Co prawda ok. 500 funkcjonujących podmiotów agroturystycznych to nie jest największa liczba w gronie innych regionów, to jednak potencjał i aktywność właścicieli gospodarstw i pensjonatów owocuje w corocznych - od 2009r. - sukcesach podczas Targów Turystyki Wiejskiej i Agroturystyki „Agrotravel” w Kielcach, których ukoronowaniem było zaproszenie Lubelszczyzny jako regionu partnerskiego Targów wiosną bieżącego roku.

Cebularz, zsiadlaki, piróg, pijany żandarm i watuszka to nie tylko fantazyjne, budzące zainteresowanie nazwy, to przede wszystkim niepowtarzalny smak regionalnej żywności i często sięgająca nawet kilka wieków wstecz tradycja kulinarna naszego regionu. Województwo lubelskie ze swoją historią mieszania się wpływów ruskich, litewskich, żydowskich i tatarskich to dzisiaj istna kopalnia tradycyjnych potraw, które przetrwały w formie nienaruszonej, lub w wyniku kuchennych eksperymentów i zapożyczeń powstały jako nowy, zaskakujący harmonią kolaż smaków i zapachów. To, co w naszej regionalnej

kuchni najwartościowsze i najsmaczniejsze co roku gromadzimy z jednym z najatrakcyjniejszych turystycznie miejsc, by poddać ocenie w ramach konkursu „Nasze Kulinarne Dziedzictwo-Smaki Regionów”. Jego efektem są nominacje do najbardziej prestiżowego, ogólnopolskiego tytułu przyznanego produktom i potrawom regionalnym - tytułu „Perła” przyznanego przez Polską Izbę Produktu Regionalnego i Lokalnego. Aż 23 statuetki „Perel” trafiły do wytwórców z naszego regionu, co także plasuje nas w ścisłej czołówce. Podobnie jest z Listą Produktów Tradycyjnych prowadzoną przez Ministra Rolnictwa, gdzie województwo lubelskie zajmuje 4 miejsce mając do chwili obecnej zarejestrowane 111 produktów.

Aktywizacja obszarów wiejskich naszego regionu nastąpiła m.in. dzięki szerokiemu strumieniowi dotacji z Unii Europejskiej. Z samego tylko Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich w latach 2007-2013 pozyskaliśmy ponad 500 milionów euro. Projekt pn. „Odnowa Wsi” wsparł modernizację prawie 1200 inwestycji w przestrzeń publiczną. W ramach projektów beneficjenci wybudowali lub zmodernizowali ośrodki sportowo-rekreacyjne, centa miejscowości, wiejskie domy kultury, świetlice, place zabaw, biblioteki, budynki sakralne. Kolejny projekt z PROW-u - „Podstawowe usługi dla gospodarki i ludności wiejskiej” - umożliwił beneficjentom zrealizować działania z punktu widzenia potrzeb mieszkańców terenów wiejskich naprawę „podstawowe”, w tym m.in. 1274 km wodociągów, 2652 szt. przydomowych kanalizacji i 1965 szt. przydomowych oczyszczalni ścieków, tworzenie systemów zbiórki odpadów komunalnych, które pozwoliły na zabezpieczenie przeszło 30 tys. ton śmieci.

Kolejnym źródłem finansowania inwestycji na obszarach wiejskich był Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego. W kończącym się obecnie okresie budżetowym UE, a więc w latach 2007-2013 na lubelskiej wsi zrealizowano z EFRR 1865 projektów, głównie o charakterze infrastrukturalnym, na łączną kwotę dofinansowania unijnego ponad 925 milionów euro.

Znaczący potencjał rozwoju nowoczesnego rolnictwa w województwie lubelskim wskazany został w głównych założeniach polityki regionalnej i innowacyjnej województwa. Jednym z zasadniczych celów przyjętej przez Samorząd Województwa Lubelskiego „Strategii Rozwoju Województwa Lubelskiego na lata 2014-2020” jest restrukturyzacja rolnictwa i obszarów wiejskich, a główną tzw. inteligentną specjalizacją regionu, określoną w ramach Regionalnej Strategii Innowacji na lata 2014-2020 jest biogospodarka. O wyborze biogospodarki jako specjalizacji dla naszego regionu przemawiają m.in.: duży udział sektorów biogospodarki w tworzeniu wartości dodanej brutto (ok. 28%) oraz zatrudnieniu (ok. 45% ogółu pracujących w regionie), rosnąca liczba podmiotów gospodarczych zaangażowanych w bioprodukcję (żywność wysokiej jakości, pasze, nawozy sztuczne, zioła, bioprodukty, środki ochrony roślin, farmaceutyki, kosmetyki, bioenergia), wyraźna specjalizacja naukowa regionalnego sektora B+R w zakresie nauk związanych z biogospodarką, możliwość zaangażowania około 60% potencjału naukowego regionu w proces budowy nowoczesnych sektorów biogospodarki. Na podstawie wskazanych kierunków działań w zakresie rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich zostaną przygotowane odpowiednie instrumenty finansowania projektów w ramach nowego Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich i innych programów krajowych oraz regionalnych.

Łączę wyrazy szacunku

Krzysztof Hetman
Marszałek Województwa Lubelskiego.

Miejsce rolnictwa i przemysłu spożywczego w gospodarce kraju

Andrzej Kowalski

IERIGŻ PIB, Szkoła Główna Handlowa, e-mail: Andrzej.Kowalski@ierigz.waw.pl

Streszczenie: Związki rolnictwa z całym gospodarstwem społecznym nasilają się mimo relatywnego zmniejszania się pozycji rolnictwa w podstawowych wielkościach makroekonomicznych. Stanowi to prawidłowość obserwowaną we wszystkich krajach i znajdującą wytłumaczenie głównie w niższej dochodowej elastyczności popytu na produkty żywnościowe aniżeli na inne dobra i usługi, ograniczonych rozmiarach zapotrzebowania na te produkty oraz wyższym tempie wzrostu wydajności ogółu czynników produkcji w rolnictwie aniżeli tempo wzrostu popytu. Nie można osiągnąć pomysłnego rozwoju całej gospodarki, jeżeli rolnictwo jest zacofane.

Coraz częściej można spotkać się z poglądem, że wsparcie unijne przyczynia się do petryfikacji istniejących struktur rolniczych. Dotyczy to zwłaszcza konsekwencji dopłat bezpośrednich, które pociągnęły za sobą wzrost cen ziemi. Tezie tej można przeciwstawić konstatację, że napływ na polską wieś środków finansowych z Unii Europejskiej był znaczącym bodźcem do uruchomienia przemian strukturalnych w rolnictwie. Nie zmienia to faktu, że przy wyznaczaniu tempa przeobrażeń agrarnych, kluczowe znaczenie mają uwarunkowania ogólnego rozwoju gospodarczego. One bowiem wyznaczają szanse mieszkańców wsi na poprawę swojego poziomu życia poprzez aktywność w branżach nierolniczych, a ten czynnik głównie warunkuje skalę podaży na rynku ziemi.

Słowa kluczowe: rolnictwo, agrobiznes, gospodarka narodowa, Wspólna Polityka Rolna

1. Wprowadzenie

Podstawowe funkcje rolnictwa związane z produkcją żywności są w coraz szerszym zakresie realizowane nie tyle przez samo rolnictwo, ile przez kompleks działań, w których zaangażowane są różne czynniki i uwarunkowania niezależne od rolnictwa. Doświadczenia światowe wskazują, że możliwości rozwojowe rolnictwa w coraz mniejszym stopniu wynikają z uwarunkowań endogenicznych tego sektora a coraz bardziej zależą od polityki sektorowej, a przede wszystkim od polityki makroekonomicznej. Podstawowe znaczenie dla konkurencyjności sektora żywnościowego mają tendencje rozwojowe w całej gospodarce. Pozytywne wyniki uzyskiwane w skali makro przenoszą się na rolnictwo i jego otoczenie. Wzrost PKB sprzyja wzrostowi dochodów ludności co z kolei przenosi się na zwiększenie popytu na produkty żywnościowe. Koniunktura rolnicza stanowi integralną część koniunktury ogólnej i jednocześnie jest jej pochodną.

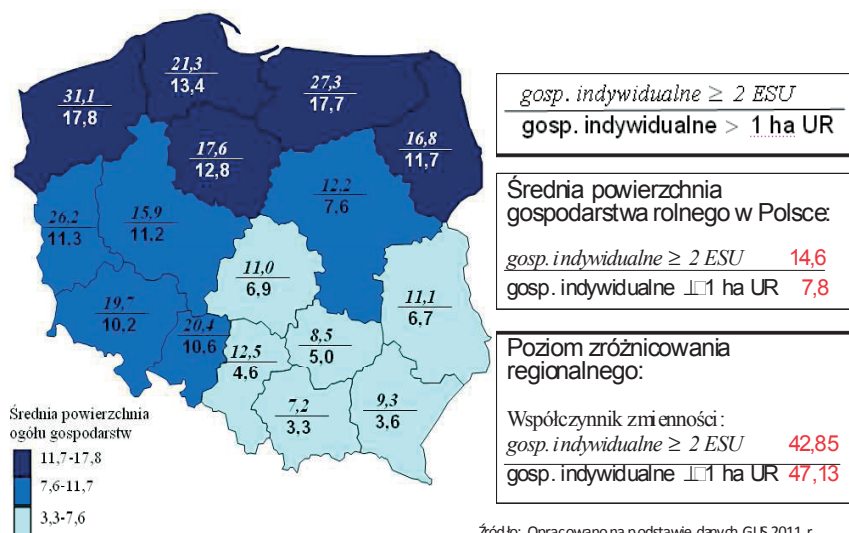
Rolnictwo polskie w całym okresie powojennym charakteryzuje się ciągłym procesem zmian. Kierunek i głębokość zmian strukturalnych wpływa w zasadniczy sposób na warunki życia i pracy ludności rolniczej, jak konkurencyjność polskiego sektora żywnościowego. Członkostwo Polski w Unii Europejskiej było niewątpliwie czynnikiem przyspieszającym wzrost gospodarczy nowych krajów członkowskich, w tym także Polski. W latach 2003-2012 tempo wzrostu PKB umożliwiło przyspieszenie rozwoju krajowego popytu konsumpcyjnego i inwestycyjnego oraz popytu eksporterów. W tym okresie zwiększyły się one łącznie odpowiednio: spożycie indywidualne o 22,5%, inwestycje o 66%, eksport towarów o 141%. Jednym z największych beneficjentów integracji z UE jest polskie rolnictwo. Zdecydowały o tym przede wszystkim dodatkowe strumienie finansowe.

2. Charakterystyka polskiego rolnictwa

W ogólnej powierzchni Polski wynoszącej 31,3 mln ha, powierzchnia użytków rolnych wynosi 15,4 mln ha, stanowiąc 49,4% ogólnej powierzchni kraju. W sektorze prywatnym w 2011 roku znajdowało się 14,9 mln ha, tj. 97,1% użytków rolnych, w tym 13,9 mln ha tj. około 90,0% użytków rolnych w kraju użytkowały gospodarstwa indywidualne o powierzchni powyżej 1 ha. Sektor publiczny dysponował pozostałą częścią powierzchni tych użytków.

W roku 2011 powierzchnia gruntów ornych będących w dobrej kulturze wynosiła 14,8 mln ha i stanowiła 95,7 % ogólnej powierzchni użytków rolnych. W ogólnej strukturze użytków rolnych utrzymywanych w dobrej kulturze rolnej (14,8 mln ha – 100%) – grunty pod zasiewami stanowią 68,5 % powierzchni tych użytków, sady o łącznej powierzchni 390,0 tys. ha (2,5 %), łąki trwałe z powierzchnią ogółem 2,5 mln ha – 16,8%, a pastwiska trwałe o powierzchni 0,7 mln ha – 4,5%.

Przestrzenne zróżnicowanie w przeciętnym obszarze indywidualnego gospodarstwa rolnego powyżej 1 ha UR oraz 2 i więcej ESU



Źródło: Opracowano na podstawie danych GUS 2011 r.

Rys. 1. Przestrzenne zróżnicowanie w przeciętnym obszarze indywidualnego gospodarstwa rolnego powyżej 1 ha UR oraz 2 i więcej ESU

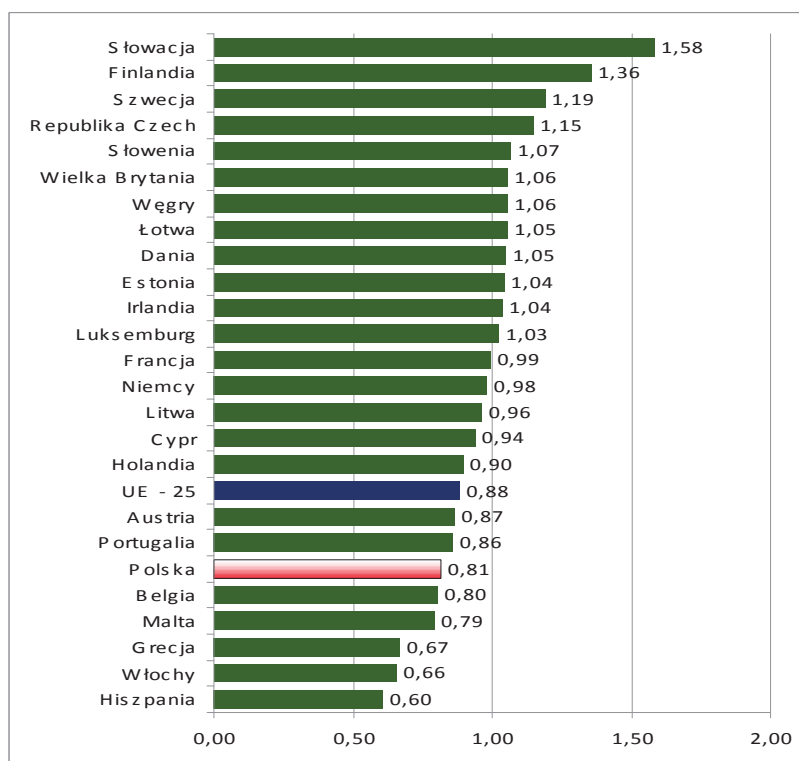
Jakość użytków w Polsce jest niska, niższa niż średnio w UE. Duży udział gleb słabych i zakwaszonych zmniejsza rolniczą przydatność użytków rolnych. Udział gleb lekkich, charakteryzujących się w Polsce wysoką piaszczystością, jest w Polsce dwukrotnie większy niż średnio w UE; w Polsce wynosi 60,8 %, a w UE – 31,8 %.

Rolnictwo polskie charakteryzuje się dużym rozdrobnieniem – średnia powierzchnia użytków rolnych przypadająca na 1 gospodarstwo zwiększa się stopniowo i w roku 2011 wyniosła 8,7 ha użytków rolnych. Ponad połowa gospodarstw produkuje wyłącznie lub głównie na własne potrzeby, ograniczając wydatki na zakup żywności i koszty utrzymania rodziny. Gospodarstwa te o relatywnie niewielkim areale prowadzą produkcję metodami tradycyjnymi, przy niskim nawożeniu mineralnym i zużyciu chemicznych środków ochrony roślin, a także pasz przemysłowych w żywieniu zwierząt gospodarskich, zwłaszcza bydła.

3. Sytuacja produkcyjna polskiego rolnictwa

W okresie poakcesyjnym nie zaszły zasadnicze zmiany w wielkości zasobów wykorzystywanych czynników produkcji i dlatego nie było istotnych zmian relacji między czynnikami. Zmiany w strukturze gospodarstwa (i obszarowej, i pod względem wielkości ekonomicznej) są wprawdzie widoczne, ale zbyt powolne. Utrzymują one wadliwe relacje między czynnikami wytwórczymi, są przyczyną niskiej wydajności pracy i niskich dochodów, powodując trudną sytuację socjalną rodzin oraz bardzo ograniczone lub niemożliwe procesy reprodukcji poszerzonej majątku.

Polskie gospodarstwa cechują niskie koszty produkcji (bez kosztu własnych czynników wytwórczych (pracy, ziemi i kapitału). Zajmują 6 miejsce pod względem kosztu wytworzenia 1 euro produkcji gospodarstwa (rys.2).



Źródło: Na podstawie danych FADN

Rys. 2. Koszty produkcji (bez kosztu własnych czynników produkcji na wytworzenie 1 euro produkcji

Mimo rozdrobnienia, a także faktu występowania przewagi gleb o niskiej przydatności rolniczej, Polska jest znaczącym w świecie i Europie producentem produktów rolnych, ogrodniczych i pochodzenia zwierzęcego. Pozycje polskiego rolnictwa w światowej i UE produkcji przedstawia tabela 1.

Znaczące miejsce zajmuje Polska także w produkcji owoców jagodowych truskawek, malin i porzeczek) oraz warzyw gruntowych, takich jak: cebula, kapusta i kalafior. Warunki glebowo-klimatyczne i tradycje regionalne decydują o specjalizacji produkcji. Tereny Polski centralnej, wschodniej i północnej to obszary upraw ziemniaków i żyta oraz użytki zielone. Sady i plantacje owoców jagodowych zlokalizowane są na Mazowszu (rejon grójecki), w woj. lubelskim, na Sandomierszczyźnie, a także w Wielkopolsce i woj. łódzkim. Uprawy roślin o większych wymaganiach glebowych i klimatycznych koncentrują się w południowo-wschodniej i zachodniej części kraju oraz w regionie Żuław i Warmii. Przeważa tam uprawa zbóż intensywnych, głównie pszenicy oraz buraków cukrowych

i rzepaku. Największa koncentracja chowu bydła występuje w woj. podlaskim, mazowieckim, warmińsko-mazurskim i wielkopolskim, a trzody chlewnej w woj. wielkopolskim i kujawsko-pomorskim.

Tabela 1. Udział niektórych produktów rolnych w produkcji światowej

Produkcja niektórych artykułów rolnych	Udział		Miejsce	
	w świecie	w UE	w świecie	w UE
pszenica	1,4	6,9	15	4
żyto	20,4	41,0	3	1
ziemniaki	2,9	18,4	7	1
Buraki cukrowe	4,8	11,0	6	3
rzepak	4,0	11,6	6	3
jabłka	3,7	9,9	2	1
mięso	1,3	7,9	16	5
mleko krowie	2,1	8,2	10	4
Pogłowie				
bydła	0,4	6,3	45	7
trzody chlewnej	1,5	11,2	10	3

Źródło. Opracowanie własne na podstawie danych IERiGŻ.

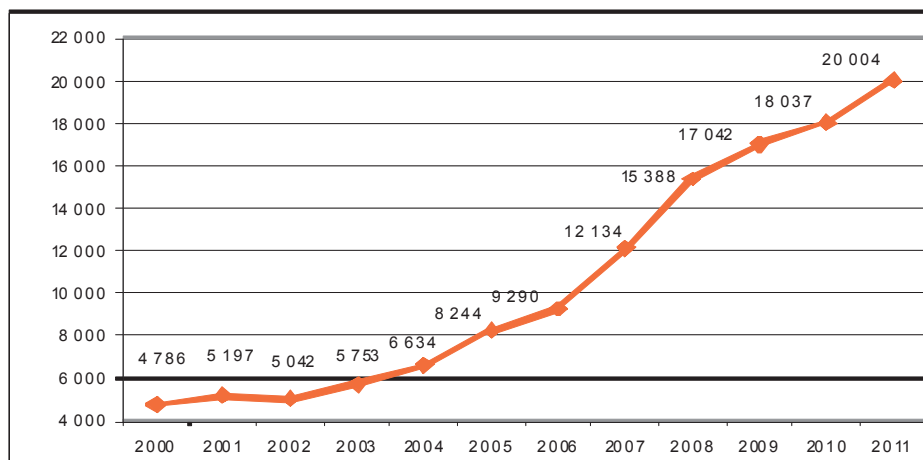
4. Zmiany strukturalne w polskim rolnictwie

Powszechny Spis Rolny przeprowadzony w 2010 roku potwierdził obserwowane tendencje zmian w polskim rolnictwie na przestrzeni ostatnich lat, a szczególnie od czasu akcesji. I tak - w porównaniu do wyników Powszechnego Spisu Rolnego z roku 2002 - główne zmiany dotyczą:

- zmniejszania się liczby gospodarstw rolnych wraz z jednoczesnym wzrostem ich powierzchni,
- znaczących zmian w strukturze gospodarstw rolnych, a wśród nich blisko 25% spadek liczby gospodarstw najmniejszych (o powierzchni 0 – 5 ha UR) i 17% spadek liczby gospodarstw o powierzchni 5-20 ha oraz utrzymywanie się liczby gospodarstw w grupie obszarowej 20-50 ha. Zmianom tym towarzyszy znaczący – 34% wzrost liczby gospodarstw największych o powierzchni 50 ha i więcej. Zmiany te następują na tyle wolno, że odsetek gospodarstw o powierzchni 15 ha i więcej wynosi zaledwie 9%, podczas gdy odsetek gospodarstw o powierzchni 0 – 5 ha pozostaje nadal wysoki i wynosi blisko 70%,
- wolnego, ale widocznego upowszechniania się modelu gospodarstwa wielofunkcyjnego, szczególnie w grupie gospodarstw małych, które podejmując działalność pozarolniczą - częściowo lub całkowicie rezygnują z działalności rolniczej,
- spadku ogólnej powierzchni gruntów w użytkowaniu rolniczym (o 1,1 mln ha tj. o 5,5%) w porównaniu do roku 2002 na skutek przeznaczania gruntów rolniczych na cele nierolnicze np. infrastrukturalne z jednoczesnym zmniejszaniem się powierzchni użytków rolnych (z 16,9 do 15,5 mln ha),
- nieznacznego zmniejszenia się powierzchni zasiewów (o 0,2 mln ha w porównaniu do roku 2002) z jednoczesnymi zmianami w strukturze upraw - spadek powierzchni zbóż (o 12%), ziemniaków (o 51,8%) i buraków cukrowych (o blisko 32%) przy jednoczesnym wzroście zasiewów rzepaku (o 115%) i pastewnych (o 60%),
- wzrostu pogłowia bydła ogółem, z jednoczesnym zmniejszeniem się stada krów. Tendencja ta wiąże się ze wzrostem zainteresowania produkcją bydła rzeźnego po akcesji do UE oraz wzrostem opłacalności tej produkcji. Redukcja pogłowia krów jest następstwem kwotowania produkcji mleka po akcesji oraz wysokimi wymaganiami jakościowymi dla mleka krowiego, poprawie wyposażenie gospodarstw rolnych w środki produkcji potwierdzając proces modernizacji rolnictwa po przystąpieniu do UE (niepodważalny wpływ instrumentów Wspólnej Polityki Rolnej),
- od czasu integracji z UE wzrasta zainteresowanie zakupem ziemi rolniczej, co

skutkuje wzrostem jej cen (rys.3). Nasilenie transakcji w rynkowym obrocie ziemią rolniczą cechuje się znacznym zróżnicowaniem regionalnym, uwarunkowanym głównie podażą, odmienną strukturą agrarną, siłą ekonomiczną

Zmiany cen ziemi w obrocie prywatnym w latach 2000-2011 (w zł za 1 ha)



Źródło: Sporządzono na podstawie danych GUS.

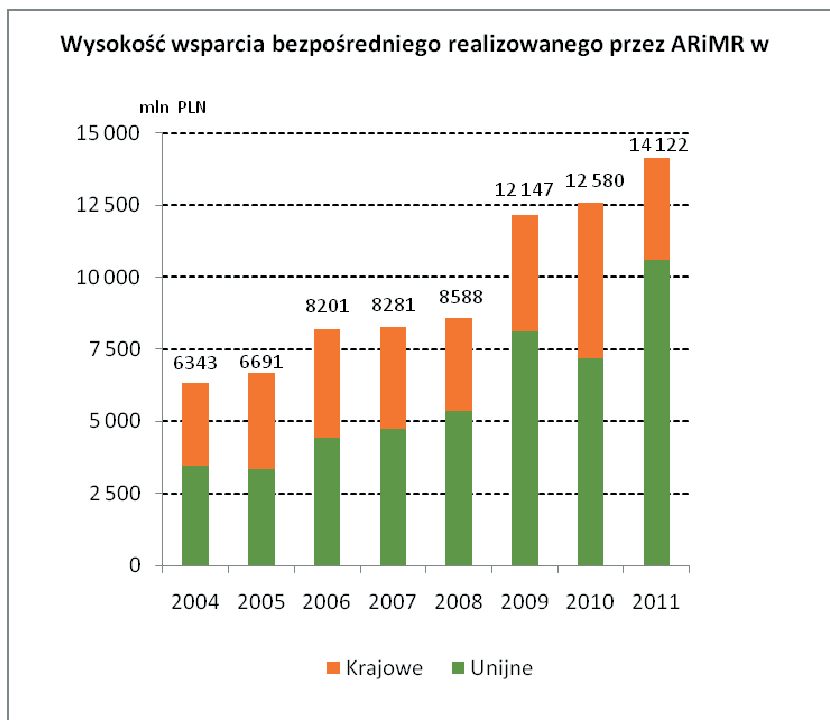
Rys. 3. Zmiany cen ziemi w obrocie prywatnym w latach 2000-2011

5. Finansowe zasilanie rolnictwa

Tempo i zakres zmian w polskim rolnictwie nie byłby możliwy bez zmian w finansowaniu w wyniku akcesji Polski do UE. Rolnictwo Polskie podobnie jak wszystkie kraje członkowskie korzysta ze wsparcia ze środków UE i budżetu krajowego (rys.4).

Pomoc krajowa udzielana jest przez ARiMR w formie dopłat do oprocentowania różnych typów kredytów, gwarancji i poręczeń spłaty preferencyjnych, kredytów inwestycyjnych i kłeskowych, poręczeń spłaty kredytów studenckich, dofinansowania kosztów ponoszonych przez producentów rolnych na utylizację padłych zwierząt, dofinansowania kosztów poniesionych na przygotowanie wniosku o rejestrację nazw i oznaczeń geograficznych pierwotnych produktów rolnych. Od początku działalności ARiMR wypłaciła w ramach tej formy wsparcia kwotę 18,5 mld zł, w tym 833,9 mln zł w 2011 r.

W latach 2007-2013 na WPR prelimitowano 42,4 proc budżetu UE, z czego 80% skierowane jest na filar I związany ze wsparciem rynków i dopłatami bezpośrednimi, zaś 20% środków przeznaczy się na filar II związany z rozwojem obszarów wiejskich. Saldo budżetowe UE-27 w 2013 roku dla Polski ma przekroczyć kwotę 10 mld euro. W okresie od 2004 do 2010 roku kumulacja sald dla całej polskiej gospodarki wyniosła około 30 mld euro. Z kolei sam sektor rolniczy w latach 2004-2010 został wsparty z budżetu UE-27 kwotą 16,648 mld euro (ok. 60 mld zł). Największymi biorcami netto środków budżetowych jest grupa czterech krajów: Hiszpania, Grecja, Polska i Portugalia. Drugą grupą są kraje – płatnicy netto do budżetu (Niemcy, Francja, Włochy, Holandia i W. Brytania), które swoim wkładem finansowym współfinansują kraje słabsze ekonomicznie we Wspólnocie. Podział filarowy dla poszczególnych krajów Unii determinuje poziom wsparcia dopłat bezpośrednich. Dla Polski podział ten w latach 2007-2013 kształtował się w relacji 53:47 (filar I : filar II), przy przeciętnym poziomie w UE wynoszącym 80:20. W nowym okresie finansowy 2014-2020 nastąpi obniżenie nakładów na WPR o ponad 9 proc., z poziomu 421,1 do 382,9 mld euro. Udział nakładów na WPR zostanie obniżony do 38,7%, przy nieznacznym przesunięciu między filarami, z relacji 80:20 do relacji 75:25.



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ARiMR

Rys. 4. Wysokość wsparcia bezpośredniego realizowanego przez ARiMR w latach 2004-2011

Polska, tak jak większość nowych państw członkowskich UE, stosuje system jednolitej płatności obszarowej (z ang. Single Area Payment Scheme - SAPS), w ramach którego wypłacana jest jednolita płatność obszarowa, a także krajowe uzupełniające płatności bezpośrednie (z ang. Complementary National Direct Payments - CNDP), które realizowane są w formie uzupełniającej płatności podstawowej, płatności niezwiązanej do chmielu, płatności związanej i niezwiązanej z produkcją w sektorze skrobi ziemniaczanej, płatności niezwiązanej do tytoniu oraz płatności zwierzęcej.

Ponadto, polscy rolnicy mogą liczyć na inne płatności, tj.: płatność cukrową, płatność do pomidorów, płatność do owoców miękkich, a od roku 2010 także wsparcie specjalne w postaci: płatności do krów, płatności do owiec, oraz specjalnej płatności do roślin strączkowych i motylkowatych drobnonasiennych. Poziom wypłacanych płatności wzrastał z roku na rok, zgodnie z wynegocjowanym harmonogramem dochodzenia do poziomu płatności stosowanego w krajach UE-15 na dzień 30 kwietnia 2004 r. (zasada phasing-in), do momentu osiągnięcia wartości 100% (w 2013 r.).

Z Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007-2013, którego całkowity budżet wynosi ok. 70 miliardów złotych, ponad 90% środków zostało zagospodarowanych. W Niemczech, które są na drugim miejscu (w przeliczeniu na złotówkę) wypłacono o ok. 2,8 miliarda zł mniej, a we Francji wypłaty były niższe o ok. 4 miliardy zł. Część zagospodarowanych pieniędzy jest zaplanowana do wypłaty w ramach przyjętych przez ARiMR zobowiązań wieloletnich, które wynikają z umów zawartych przez Agencję. Z PROW na lata 2007-2013 ARiMR ma jeszcze do rozdysponowania, w nowych naborach wniosków, około 10 miliardów złotych. Przy czym trzeba wyjaśnić, że Agencja obsługuje w całości 16 tzw. działań znajdujących się w PROW 2007-2013 i ma na ten cel prawie 13,7 miliarda euro. Natomiast rozdzielaniem pozostałej części środków, z 8 działań z tego Programu, w ramach tak zwanych zadań delegowanych, zajmują się samorządy wojewódzkie, Agencja Rynku Rolnego i Fundacja Programów Pomocy dla Rolnictwa (FAPA). W ramach tych działań do rozdysponowania jest w sumie 3,5 miliarda euro.

Przed akcesją około 25 tys. (1,2% ogółu) polskich gospodarstw wyróżniało się

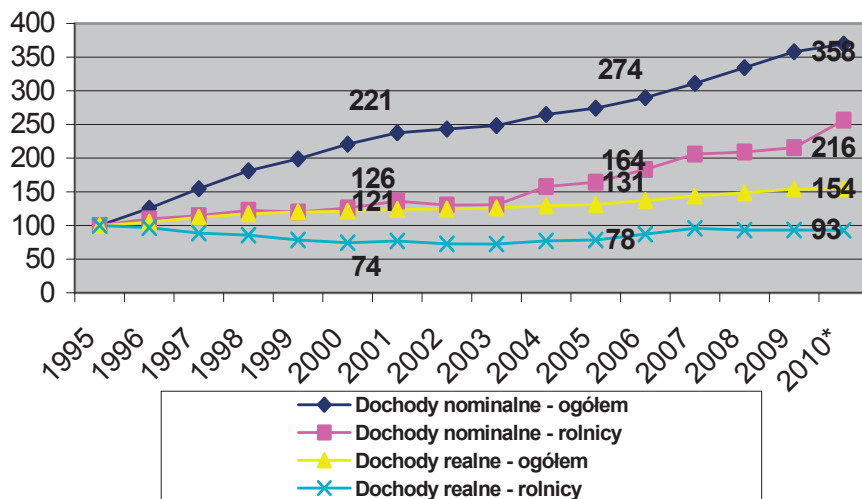
zdolnością konkurowania z innymi gospodarstwami. Wytwarzały one 2-3% krajowej produkcji rolniczej. Obecnie udział gospodarstw wyróżniających się zdolnością do konkurowania i takich, które są w stanie osiągnąć wkrótce stan zdolności konkurencyjnej wynosi 290 tys. (17,9% ogółu), a wytwarzają one łącznie około 63% krajowej produkcji rolniczej.

6. Sytuacja dochodowa rolnictwa

Wsparcie rolnictwa funduszami publicznymi (UE i krajowymi) wpłynęło na poprawę sytuacji dochodowej polskich rolników. Dochody rolnicze charakteryzują się dużą zmiennością. Zmienność ta bezpośrednio powiązana jest z wahaniami cen produktów i środków produkcji oraz wolumenu produkcji. W warunkach postępującej integracji rynków rolnych obserwowane wahania cen produktów rolnych podporządkowane są zmianom w wolumenie produkcji na rynku globalnym. Wahania dochodów rolniczych, zwłaszcza w drugim z omawianych przypadków stabilizowane są za pośrednictwem dopłat bezpośrednich. Dopłaty te mogą mieć charakter długookresowego – planowego, jak też doraźnego wsparcia dochodów. Ta pierwsza forma wsparcia może budzić wątpliwości w warunkach wzrostu dochodu rolniczego wynikającego z równoczesnej poprawy warunków wymiany i wielkości produkcji rolniczej. W takiej sytuacji wsparcie jest dodatkowym czynnikiem prowadzącym do zwiększenia amplitudy wahań dochodów rolniczych.

Po akcesji do Unii Europejskiej dynamika wzrostu dochodów gospodarstw domowych rolników była wyższa niż w pozostałych grupach społeczno-ekonomicznych. W latach 2004-2010 nominalny dochód rozporządzalny rolników wzrósł o 89,7% (realny o 64,3%), a w pozostałych grupach gospodarstw następująco: ogółem o 62,2% (38,7%), pracowników o 61,5% (39,3%), pracujących na własny rachunek (przedsiębiorców) o 57,0% (37,2%), emerytów i rencistów o 51,5% (26,2%). W okresie akcesji przeważały czynniki sprzyjające wzrostowi dochodów rolniczych, wśród których znaczącą pozycję zajmowały różne formy wsparcia finansowego w ramach WPR, skierowane do sektora rolno-spożywczego, gospodarstw rolników oraz na obszary wiejskie.

W 2010 r. w gospodarstwach domowych rolników dochód z indywidualnego gospodarstwa rolnego wynosił 731,51 zł na osobę miesięcznie. W strukturze udział dochodu z rolnictwa stanowił 71,4% dochodów ogółem, ze świadczeń 14,9%; z pracy najemnej 10,2% oraz z pracy na własny rachunek 1,0%.

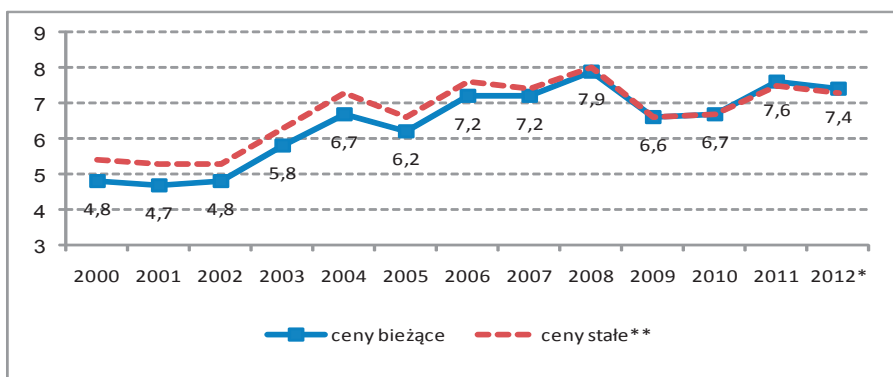


Źródło: Opracowano na podstawie danych GUS

Rys. 5. Dynamika dochodów do dyspozycji brutto w sektorze gospodarstw domowych ogółem i rolników indywidualnych w latach 1995-2010

7. Wartość inwestycji w polskim przemyśle spożywczym i jego głównych branżach

W okresie akcesji notuje się wysokie tempo inwestycji w przemyśle spożywczym. Niewielkie osłabienie nastąpiło w 2009 roku, kiedy dały o sobie znać skutki światowego kryzysu. (rys.6). W czasach słabszej koniunktury firmy przetwórcze inwestowały bardziej ostrożnie. Również instytucje finansowe (banki) bardziej rygorystycznie i wnikliwie rozpatrywały wnioski kredytowe czy plany naprawcze przedsiębiorstwa. Ograniczenia inwestycyjne nie były podyktowane brakiem środków finansowych, gdyż zyski przemysłu spożywczego w latach 2009-2010 wynosiły po ok. 7,9 mld zł i należały do najwyższych w minionej dekadzie. To niepewność na rynku była hamulcem w podejmowaniu nowych inwestycji.



* szacunek, ** ceny bieżące skorygowane wskaźnikiem cen dóbr inwestycyjnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie Roczników Statystycznych GUS 2001-2012.

Rys.6. Nakłady inwestycyjne w polskim przemyśle spożywczym (w mld zł)

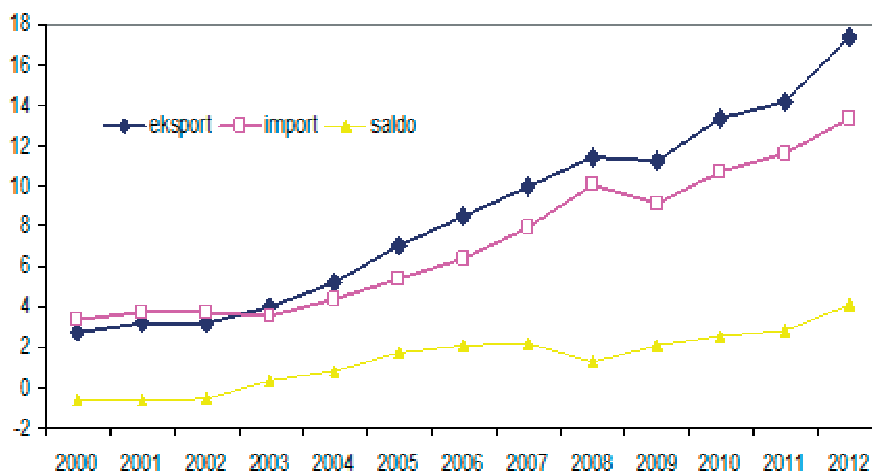
Zwiększanie nakładów inwestycyjnych przez polski przemysł spożywczy w okresie integrowania z UE, wynikało przede wszystkim z konieczności spełnienia przez zakłady przetwórcze unijnych norm weterynaryjnych, sanitarnych i higienicznych. Te stosowania przyczyniły się także do poprawy konkurencyjności polskich przedsiębiorstw wobec konkurentów z pozostałych krajów Wspólnoty i państw trzecich.

W latach 2000-2012 największe nakłady na inwestycje przeznaczyła branża mięsna (11,4 mld zł), co stanowiło 15,1% inwestycji w całym przemyśle spożywczym, a także branża mleczarska wraz z lodami (ok. 9,3 mld zł), piwowarska (ok. 7,4 mld zł), tytoniowa (ok. 5,3 mld zł) oraz branża słodczy ok. 4,8 mld zł.

8. Wymiana międzynarodowa

Najbardziej dynamiczną i najszybciej rozwijającą się częścią polskiej gospodarki żywnościowej był handel zagraniczny produktami rolno-spożywczymi. Wejście Polski do UE wywołało bardzo duże ożywienie w polskim handlu zagranicznym produktami rolno-spożywczymi i ujawniło duże przewagi komparatywne producentów tych towarów. Ożywienie to, po kilkuletnim zastoju (1998-2002), zaznaczyło się już bezpośrednio przed wejściem do UE (rys.7). W 2003 roku eksport rolno-spożywczy wzrósł o 23%, a saldo obrotów zmieniło się z ujemnego (-0,51 mld euro) na dodatnie (+0,45 mld euro). Przez następnych pięć lat eksport żywności rozwijał się w tempie 23% rocznie, a jego poziom w 2008 roku (11,4 mld euro) był 2,8 razy wyższy niż w 2003 roku i 3,7 razy wyższy niż w latach 2000-2002. W podobnym tempie (średnio 21%) wzrastał także import, przy czym było ono wolniejsze niż eksportu do 2006 roku, a szybsze w latach 2007-2008. W związku z tym dodatnie saldo wymiany poprawiało się w pierwszych latach integracji, a w kolejnych obniżyło się z 2,1 mld euro w 2006 roku do 1,3 mld euro w 2008 roku.

Eksport i import towarów rolno-spożywczych (w mld euro)



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Rys.7. Eksport i import towarów rolno-spożywczych

Tendencje te zmieniły się (raczej przejściowo) pod wpływem kryzysu światowego, którego skutkiem w handlu żywnością było obniżenie w 2009 roku eksportu o ok. 2%, importu o ok. 10% i powtórna poprawa salda obrotów (do ok. 2,1 mld euro). W 2010 r. w wyniku poprawy koniunktury gospodarczej na świecie znacznie wzrosły w porównaniu z rokiem poprzednim obroty handlu zagranicznego Polski produktami rolno-spożywczymi wyrażone zarówno w euro jak i w złotych). Wartość eksportu tych towarów wyniosła 13,26 mld euro i była o 17,6% większa niż w 2009 r., a importu 10,69 euro (wzrost o 17,4%). Nadwyżka w handlu zagranicznym produktami rolno-spożywczymi osiągnęła 2,56 mld euro. W 2010 roku wskaźnik pokrycia wartości importu eksportem w obrotach produktami rolno-spożywczymi wynosił w 124% i był znacznie wyższy niż w handlu ogółem (90%). W roku 2012 saldo handlu zagranicznego produktami rolno-spożywczymi przekroczyło 4 mld euro.

Wstąpienie w struktury WRE nie spowodowało więc zalewu polskiego rynku żywnością importowaną z UE, które to zagrożenie często pojawiało się w prognozach przedakcesyjnych. Handel zagraniczny w tym okresie stał się ważnym czynnikiem rozwoju sytuacji w przemyśle spożywczym i rolnictwie, ponieważ przy relatywnie stabilnym popycie krajowym absorbował istotną część przyrostu produkcji krajowej. Udział eksportu w produkcji sprzedanej w 2012r. osiągnął 30% wobec 16,5% w 2004 r. i 10,5% w 2000 r.

Udział eksportu rolno-spożywczego w eksporcie ogółem (w euro) w 2010 roku wynosił 11,3%, a w imporcie około 8,2%.

9. Perspektywy rozwoju rolnictwa

Rozwój procesów społeczno-gospodarczych staje się coraz mniej przewidywalny, pomimo istotnego postępu w metodach prognozowania. Określenie kierunków rozwoju agrobiznesu w Polsce w perspektywie najbliższych kilkunastu lat jest zadaniem rozwoju bardziej futurologicznej niż prognostycznej. Trudności wynikają nie tylko złożoności problemu łączącego aspekty przyrodnicze, społeczne, ekonomiczne, przestrzenne i polityczne, ale przede wszystkim ze zmieniających się założeń wyjściowych.

Obok występujących przy wszystkich prognozach trudności związanych z określeniem koniunktury gospodarczej w kraju i u głównych naszych partnerów gospodarczych, kierunków rozwoju i możliwości wdrażania postępu technicznego, aktywności demograficznej sytuacji na rynku pracy itp. w Polsce występują ograniczenia związane z nie dodefiniowaniem celów i zasad polityki ekonomicznej w agrobiznesie.

W Polsce coraz powszechniejsze staje się przekonanie, że problem rekonstrukcji agrobiznesu i jego modernizacji jest jednym z najważniejszych i zarazem najtrudniejszych zadań polityki gospodarczej kraju. Wokół polityki rolnej skupia się wiele poważnych kontrowersji teoretycznych, co w konsekwencji przenosi się na spory natury politycznej utrudniając przyjęcie trwałych zasad i celów polityki ekonomicznej i społecznej. Strategiczne problemy agrobiznesu nie mogą być jak to się często dzieje rozpatrywane jedynie z punktu widzenia wyżywienia społeczeństwa i warunków życia ludności rolniczej. Niezbędne jest rozpatrywanie tych problemów przez pryzmat spraw bezrobocia, socjalnych obciążeń budżetu państwa i budżetów lokalnych, możliwości finansowego wsparcia ze strony państwa, niebezpieczeństwa rozszerzania się regionalnych obszarów biedy, narastającej liberalizacji handlu międzynarodowego i wymogów integracji z Unią Europejską. Z powyższych powodów długookresowych problemów rolnictwa nie można rozwiązywać w ramach wąsko rozumianej polityki rolnej.

Analiza światowych tendencji określających zmieniające się miejsce sektora żywnościowego w gospodarce upoważnia do postawienia tezy, że najważniejsze z nich to:

- związki rolnictwa z całym gospodarstwem społecznym nasilają się mimo relatywnego zmniejszania się pozycji rolnictwa w podstawowych wielkościach makroekonomicznych. Stanowi to prawidłowość obserwowaną we wszystkich krajach i znajdującą wytłumaczenie głównie w niższej dochodowej elastyczności popytu na produkty żywnościowe aniżeli na inne dobra i usługi, ograniczonych rozmiarach zapotrzebowania na te produkty oraz wyższym tempie wzrostu wydajności ogółu czynników produkcji w rolnictwie aniżeli tempo wzrostu popytu. Nie można osiągnąć pomyślnego rozwoju całej gospodarki, jeżeli rolnictwo jest zacofane,
- zmiana kierunków wzajemnych relacji ekonomicznych rolnictwa i całej gospodarki narodowej. Relacje te ulegają zmianie wraz z postępującą integracją działalności rolniczej z innymi działalnościami wytwórczymi, następuje odwrócenie kierunku przepływu wartości ekonomicznych, a mianowicie zastąpienia transferów z rolnictwa na rzecz ogólnego rozwoju kraju na rzecz ogólnego rozwoju kraju przez transfery na rzecz rolnictwa,
- marginalizacja dochodów z produkcji rolniczej,
- wtapianie się rolnictwa jako działalności produkcyjnej w większy spójny system agrobiznesu. Rolnictwo przestaje być ogniwem autonomicznym staje się częścią agrobiznesu. Dysproporcje rozwojowe ogniw agrobiznesu są źródłem niewykorzystania potencjału produkcyjnego rolnictwa.
- zmiany społeczne związane ze zmianą statusu rodziny rolniczej i gospodarstwa domowego rolnika.

Znajomość kierunków rozwoju rolnictwa na świecie oraz zmieniającego się miejsca i znaczenia rolnictwa w gospodarkach krajowych nabiera szczególnego znaczenia w dobie globalizacji zachodzącej we współczesnym świecie. Procesy globalizacji stawiają na nowo problem wyboru celów i suwerenności polityki społeczno-gospodarczej poszczególnych krajów. Współczesna gospodarka światowa przypomina układ naczyń połączonych. Wahania koniunkturalne, które dotyczą gospodarki poszczególnych krajów, dawno przestały być ich wewnętrzną sprawą. Stopień globalizacji współczesnej gospodarki światowej oraz intensywność nieprzerwanego zachodzących procesów globalizacyjnych sprawiają, że kraje mogą wzajemnie „infekować” się wszelkimi zjawiskami kryzysowymi.

Literatura

- 1 Kotyński J. Zewnętrzne uwarunkowania polityki ekonomicznej w okresie kryzysu zadłużeniowego i recesji w obszarze euro. w: *Polityka gospodarcza polski w integrującej się Europie 2012-2013*. IBRKiK. Warszawa. 2013
- 2 Kowalski A., Chmieleński P., Wigier M. (red). *Economic, social and instytucjonal factors in the growth of agri-food sector in Europe*. IERiGŻ – PIB. Warszawa 2013.
- 3 Kowalski A., Wigier M., Dudek M., (red)., *Propozycje rozwiązań WPR 2013+ a konkurencyjność gospodarki żywnościowej i obszarów wiejskich*. IERiGŻ PIB. Warszawa 2013.

- 4 Kowalski A.(red). Analiza produkcyjno -ekonomiczna sytuacji rolnictwa i gospodarki żywnościowej w 2011 r. IERiGŻ - PIB Warszawa 2012
- 5 Kulawik J. WPR w kontekście globalnym. Nakarmić głodnych. Rolni Dzierżawca nr 1(1780). 2012
- 6 Sikorska A.M. Rynek ziemi rolniczej – stan i perspektywy. IERiGŻ PIB, ANR i MRiRW. Warszawa 2012
- 7 Zegar J.S. Struktura polskiego rolnictwa rodzinnego pod koniec pierwszej dekady XXI wieku, IERiGŻ- PIB Warszawa 2012

The role of agriculture and food industry in the national economy

Andrzej Kowalski

IERiGŻ PIB, Warsaw School of Economics , e-mail: Andrzej.Kowalski@ierigz.waw.pl

Keywords: agriculture, agribusiness, national economy, Common Agriculture Policy

Budownictwo rolnicze w prawie budowlanym

Jacek Szer

Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, Warszawa, e-mail: j.szer@gunb.gov.pl

Streszczenie: Budownictwo rolnicze podlega, co do zasady, takim samym podstawowym regulacjom, jak inne rodzaje budownictwa, a określa je ustawa - Prawo budowlane. W określonych kwestiach podlega równocześnie pewnym uproszczeniom, np.: obiekty gospodarcze związane z produkcją rolną i uzupełniające zabudowę zagrodową w ramach istniejącej działki siedliskowej zwolnione są z obowiązku uzyskiwania pozwolenia na budowę, a dla budynków niemieszkalnych służących gospodarce rolnej nie jest wymagane świadectwo charakterystyki energetycznej. Szczegółowe regulacje wyczerpujące zakres budownictwa rolniczego zawarte są w dwóch rozporządzeniach wykonawczych do ustawy Prawo budowlane określających warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie oraz warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie. Pierwsze z wymienionych rozporządzeń precyzuje wymagania dla wszystkich rodzajów budynków, ale budynki służące gospodarce rolnej i związane z nimi urządzenia zostały w nim w wielu przypadkach potraktowane indywidualnie, co wynika z ich specjalnego przeznaczenia i sposobu użytkowania. W rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie podejście do budowli rolniczych jest całkowicie odrębne, w związku z ich specyficzną rolą i szczególnymi wymaganiami. Budownictwo rolnicze też znalazło swoje miejsce w analizie danych GUNB z zakresu ruchu budowlanego i katastrof budowlanych.

Słowa kluczowe: budownictwo, prawo, budynki, budowle, rolnicze, wymagania, uproszczenia

1. Wprowadzenie

Za budownictwo rolnicze należy uznać taki rodzaj budownictwa, który służy gospodarce rolnej lub związany jest z produkcją rolną. Jednocześnie nie należy utożsamiać wprost budownictwa rolniczego z budownictwem wiejskim, które jest pojęciem szerszym, definiowanym ze względu na obszar występowania, a nie poprzez funkcję, którą spełnia.

Pojęcie „budownictwo rolnicze” nie pojawia się bezpośrednio w ustawie z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane, aczkolwiek jego zakres znaczeniowy jest w niej zawarty. Budownictwo rolnicze bowiem podlega generalnie takim samym podstawowym zasadom, jak inne rodzaje budownictwa, a określa je właśnie wymieniona ustawa i akty wykonawcze sporządzone na jej podstawie. Ponadto w ustawie zawarte są odnośniki wprost odnoszące się do budownictwa rolniczego. Takie uszczegółowienie pojawia się w ustawie kilkakrotnie, przede wszystkim w art. 29 ust. 1 pkt 1, przy wyliczeniu rodzajów budów niewymagających uzyskania pozwolenia na budowę, w tym: „*obъекtów gospodarczych związanych z produkcją rolną i uzupełniających zabudowę zagrodową w ramach istniejącej działki siedliskowej*”. Ponadto w Załączniku do ustawy określającym kategorie obiektów budowlanych, współczynniki dla tych kategorii i współczynniki wielkości obiektu, zostały wymienione, jako *Kategoria II – budynki służące gospodarce rolnej, jak: produkcyjne, gospodarcze, inwentarsko-składowe*.

W art. 7 ustawy – Prawo budowlane ustawodawca, uściślając zakres przepisów techniczno-budowlanych oraz odsyłając do wymagań, którym te przepisy powinny odpowiadać, wskazuje uprawnienie do ich określenia. Na podstawie tego uprawnienia powstało szereg aktów wykonawczych do ustawy, z których jeden - rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie - dotyczy wszystkich budynków i związanych z nimi urządzeń, więc również budynków służących gospodarce rolnej,

a drugi - rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie - dotyczy wprost budownictwa rolniczego.

Ustawa – Prawo budowlane posługuje się pojęciami „zabudowa zagrodowa” i „budynek gospodarczy”, nie zawiera jednak ich definicji. Precyzuje je pierwszy z wymienionych aktów wykonawczych - rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Zgodnie z zawartym tam zapisem przez zabudowę zagrodową należy rozumieć w szczególności budynki mieszkalne, gospodarcze lub inwentarskie w rodzinnych gospodarstwach rolnych, hodowlanych lub ogrodnich oraz w gospodarstwach leśnych (§ 3 pkt 3). Przez budynek gospodarczy należy rozumieć budynek przeznaczony do niezawodowego wykonywania prac warsztatowych oraz do przechowywania materiałów, narzędzi, sprzętu i płodów rolnych służących mieszkańcom budynku mieszkalnego, budynku zamieszkania zbiorowego, budynku rekreacji indywidualnej, a także ich otoczenia, a w zabudowie zagrodowej przeznaczony również do przechowywania środków produkcji rolnej i sprzętu oraz płodów rolnych (§ 3 pkt 8).

O ile budynki służące gospodarce rolnej zostały przez ustawodawcę potraktowane generalnie, jak inne rodzaje budynków różniące się jedynie w pewnych aspektach, to podejście do budownictwa rolniczego jest już całkowicie indywidualne. Zagadnieniu dotyczącemu budownictwa rolniczego został poświęcony odrębny akt prawny - rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie. Zapis § 3 rozporządzenia wprowadza definicję budownictwa rolniczego - rozumie się przez to budowle dla potrzeb rolnictwa i przechowywania produktów rolnych, takie jak: zbiorniki na płynne odchody zwierzęce, płyty do składowania obornika, silosy na kiszonkę, silosy na zboże i pasze, komory fermentacyjne i zbiorniki biogazu. Należy zauważyć, że nie jest to katalog zamknięty, zatem mogą istnieć lub dopiero powstać inne budowle, dla których będą miały zastosowanie przepisy tego rozporządzenia.

2. Wymagania prawne w stosunku do obiektów i budowli rolniczych

2.1. Zasady ogólne, wspólne dla wszystkich rodzajów budownictwa

W art. 5 ustawy – Prawo budowlane określone zostały wymagania, jakie powinien spełniać każdy obiekt budowlany, odnoszące się do jego projektowania, budowy, użytkowania i utrzymywania. Przepis ten stanowi, że projektując i budując obiekt budowlany, mając na uwadze przewidywany okres jego użytkowania oraz wymagania określone w przepisach, a także kierując się zasadami wiedzy technicznej, należy zapewnić, w szczególności spełnienie: wymagań podstawowych, tj. dotyczących bezpieczeństwa konstrukcji, bezpieczeństwa pożarowego, bezpieczeństwa użytkowania, odpowiednich warunków higienicznych, zdrowotnych oraz ochrony środowiska, ochrony przed hałasem i drganiami, odpowiedniej charakterystyki energetycznej budynku oraz racjonalizacji użytkowania energii. Poza tzw. wymaganiami podstawowymi określono inne warunki niezbędne do zapewnienia bezpieczeństwa i odpowiednich właściwości użytkowych obiektów budowlanych, między innymi: warunki użytkowe zgodne z przeznaczeniem obiektu, w szczególności w zakresie zaopatrzenia w wodę i energię elektryczną oraz, odpowiednio do potrzeb, w energię ciepłą i paliwa, przy założeniu efektywnego wykorzystania tych czynników, oraz w zakresie usuwania ścieków, wody opadowej i odpadów. Ponadto istotne jest zarówno utrzymanie właściwego stanu technicznego i spełnienie warunków bezpieczeństwa i higieny pracy, jak i odpowiednie usytuowanie na działce i poszanowanie, występujących w obszarze oddziaływania obiektu, uzasadnionych interesów osób trzecich, w tym zapewnienie dostępu do drogi publicznej [1]. Potwierdzeniu realizacji wymagań określonych w art. 5 ustawy służy prawo kontroli wszelkiej działalności budowlanej przez właściwe organy. Wynika to z tego, że działalność budowlana wiąże się z potrzebą zapewnienia bezpieczeństwa realizacji i użytkowania obiektów budowlanych oraz ochrony interesu publicznego.

Podsumowując, spełnieniu założeń określonych w art. 5 służą szczegółowe regulacje prawa budowlanego dotyczące projektowania, budowy, oddawania do użytkowania, utrzymania i kontroli obiektów budowlanych.

2.2. Formalne wymogi rozpoczęcia robót budowlanych

Jedną z istotniejszych konsekwencji przepisu ogólnego wskazanego w poprzednim podrozdziale jest zasada określona w art. 28 ustawy – Prawo budowlane. Tą podstawową zasadą wynikająca z Prawa budowlanego, a dotyczącą postępowania poprzedzającego rozpoczęcie robót budowlanych jest wymóg uzyskania pozwolenia na budowę. W myśl tej generalnej normy roboty budowlane można rozpocząć na podstawie ostatecznej decyzji o pozwoleniu na budowę, a przewidziane odstępstwa od tej zasady są precyzyjnie wymienione. Oznacza to, że co do zasady zarówno budowa, czyli wykonywanie w określonym miejscu obiektu budowlanego, jak i odbudowa, rozbudowa i nadbudowa oraz prace polegające na przebudowie, montażu, remoncie lub rozbiórce podlegają reglamentacji administracyjnej i dotyczy to każdego rodzaju budownictwa, w tym również budownictwa na potrzeby rolnictwa.

Od zasady, że roboty budowlane można rozpocząć jedynie na podstawie ostatecznej decyzji o pozwoleniu na budowę, przewidziano jednak wyjątki. Art. 29 wylicza enumeratywnie sytuacje, w których nie wymaga się pozwolenia na budowę. Nie oznacza to całkowitego zwolnienia wskazanych budów i robót budowlanych spod regulacji Prawa budowlanego. Wiąże się to bowiem bezpośrednio z art. 30, w myśl którego większość przedsięwzięć inwestycyjnych wskazanych w art. 29 wymaga dokonania zgłoszenia. Zgłoszenie jest również rodzajem reglamentacji administracyjnej, tyle że o znacznie mniej wymagającym charakterze. Świadczy o tym chociażby to, że jego uwzględnienie nie następuje w drodze aktu administracyjnego, tylko poprzez tzw. milczącą zgodę organu. Również wymagania formalne dotyczące zgłoszenia są znacznie łagodniejsze. Katalog zwolnień od obowiązku uzyskania pozwolenia na budowę może więc obejmować jedynie takie obiekty i roboty budowlane, które ustawodawca uznał za mniej skomplikowane i niewywierające znaczącego wpływu na otoczenie i środowisko naturalne.

W pierwotnym tekście ustawy – Prawo budowlane (Dz. U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414), wśród rodzajów obiektów zwolnionych z obowiązku uzyskania decyzji administracyjnej, jako pozycja pierwsza figurowały: *parterowe budynki gospodarcze o powierzchni zabudowy do 35 m² przy rozpiętości konstrukcji nie większej niż 4,80m związane z produkcją rolną, uzupełniające istniejącą zabudowę zagrodową w ramach istniejącej działki siedliskowej*. Można więc stwierdzić, że od początku funkcjonowania ustawy uważano, że ten rodzaj inwestycji nie wymaga aż tak dużej ingerencji administracji budowlanej i kwalifikuje się do uproszczonego postępowania. Należy dodać, że w pierwotnym tekście zwolnienie z obowiązku uzyskania pozwolenia na budowę dotyczyło jedynie 9 rodzajów obiektów i 7 rodzajów robót budowlanych, a obecnie - w wyniku sukcesywnego poszerzania tego katalogu - mamy już 31 rodzajów takich obiektów (art. 29 ust. 1 Pb) i 13 rodzajów robót (art. 29 ust. 2 Pb).

Poszerzenie zakresu zwolnień dotyczyło również innych obiektów związanych z produkcją rolną. Już po niespełna 3 latach obowiązywania ustawy, w wyniku nowelizacji Prawa budowlanego z dnia 22 sierpnia 1997 r., art. 29 ust. 1 pkt 1 otrzymał brzmienie: *„obektów gospodarczych związanych z produkcją rolną i uzupełniających zabudowę zagrodową w ramach istniejącej działki siedliskowej”*:

- a) *parterowych budynków gospodarczych o powierzchni zabudowy do 35 m², przy rozpiętości konstrukcji nie większej niż 4,80 m,*
- b) *plyt do składowania obornika,*
- c) *szczelnych zbiorników na gnojówkę lub gnojowicę o pojemności do 25 m³,*
- d) *obektów do neutralizacji ścieków o wydajności do 5 m³ na dobę,*
- e) *naziemnych silosów na materiały sypkie o pojemności do 30 m³ i wysokości nie większej niż 4,50 m”.*

Zostały więc dodane cztery nowe rodzaje obiektów, odpowiadające definicji „obektów gospodarczych związanych z produkcją rolną i uzupełniających zabudowę zagrodową w ramach istniejącej działki siedliskowej”. Na skutek zmiany ustawy z dnia 27 marca 2003 r. dodano również do powyższego wykazu *suszarnie kontenerowe o powierzchni zabudowy do 21 m²*, natomiast wykreślono *obiekty do neutralizacji ścieków o wydajności do 5 m³ na dobę*.

Wymienione wyżej zmiany prawne, będące wynikiem liberalizacji wymagań, były częścią większych procesów mających na celu ułatwienie i uproszczenie procedur, w tym skrócenie drogi do uzyskania prawa legalnego wykonania robót budowlanych dla obiektów

i robót o niskim stopniu złożoności i znikomym wpływie, przede wszystkim, na środowisko naturalne. Fakt, że niewielkie obiekty gospodarcze związane z produkcją rolną i uzupełniającą zabudowę zagrodową w ramach istniejącej działki siedliskowej, takie jak budynki gospodarcze, płyty do składowania obornika, zbiorniki na gnojówkę lub gnojownicę, naziemne silosy i suszarnie kontenerowe, zostały zwolnione z obowiązku uzyskania pozwolenia na budowę, oznacza uznanie tej kategorii obiektów za niewymagające aż tak dużej ingerencji administracyjnej. Ważne jest więc, w przypadku wymienionych wyżej obiektów, dokładne wskazanie parametrów granicznych, takich jak powierzchnia zabudowy, rozpiętość konstrukcji, wysokość i pojemność, wskazujących na niewielkie gabaryty tych obiektów.

2.3. Procedura w zakresie oddawania obiektów do użytkowania

Nie tylko rozpoczęcie, ale i zakończenie budowy wiąże się z dopełnieniem określonych formalności. Co do zasady, zgodnie z art. 54 ustawy - Prawo budowlane, do użytkowania obiektu budowlanego, na którego wzniesienie wymagane było pozwolenie na budowę, można przystąpić po zawiadomieniu właściwego organu nadzoru budowlanego o zakończeniu budowy, chyba że wymagane jest pozwolenie na użytkowanie. Oznacza to, że poza określonymi przypadkami, wymagane jest zawiadomienie o zakończeniu robót, które jest procedurą zdecydowanie mniej skomplikowaną od uzyskania decyzji o pozwoleniu na użytkowanie. Obowiązek uzyskania pozwolenia na użytkowanie dotyczy obiektów budowlanych, na wzniesienie których jest wymagane pozwolenie na budowę i są zaliczone do odpowiednich kategorii określonych w załączniku do ustawy; obiektów podlegających procedurze legalizacyjnej, obiektów w stosunku do których podejmowane są tzw. działania naprawcze oraz kiedy przystąpienie do użytkowania ma nastąpić przed wykonaniem wszystkich robót budowlanych.

Budynki służące gospodarce rolnej, jak: produkcyjne, gospodarcze, inwentarsko-składowe, zostały wymienione w załączniku do ustawy określającym kategorie obiektów budowlanych, współczynniki dla tych kategorii i współczynniki wielkości obiektu jako Kategoria II. Jest ona jedną z 12 spośród 30 kategorii, dla których ustawodawca nie nałożył obowiązku uzyskiwania decyzji o pozwoleniu na użytkowanie. Oznacza to, że dla, budynków służących gospodarce rolnej realizowanych na podstawie pozwolenia na budowę, wymagane jest jedynie zawiadomienie o zakończeniu budowy. Co prawda i od tej zasady są wyjątki, ponieważ, jak wskazano wyżej, możliwość zastosowania prostszej procedury zawiadomienia nie dotyczy postępowania w przypadku legalizacji obiektu lub tzw. działań naprawczych oraz kiedy przystąpienie do użytkowania ma nastąpić przed wykonaniem wszystkich robót budowlanych. Nie zmienia to jednak faktu, że generalnie dla budynków służących gospodarce rolnej przewidziano mniej skomplikowaną procedurę związaną z przystąpieniem do użytkowania, tj. zawiadomienie o zakończeniu budowy. Mniej skomplikowane obiekty, na które nie ma obowiązku uzyskiwania pozwolenia na budowę, w tym wymienione w art. 29 ust. 1 pkt 1 obiekty gospodarcze związane z produkcją rolną, nie podlegają procedurze w zakresie oddawania obiektów do użytkowania, tzn. nie wymagają ani zawiadomienia, ani pozwolenia na użytkowanie.

Nowelizacja z dnia 19 września 2007 r. wprowadziła do ustawy – Prawo budowlane nowy obowiązek dotyczący ustalenia charakterystyki energetycznej budynku w formie świadectwa charakterystyki energetycznej dla każdego budynku oddawanego do użytku oraz budynku podlegającego zbyciu lub wynajmowi. Zgodnie ze znowelizowanym art. 57 ust.1 ustawy, do zawiadomienia o zakończeniu budowy obiektu budowlanego lub wniosku o udzielenie pozwolenia na użytkowanie inwestor jest obowiązany dołączyć kopię świadectwa charakterystyki energetycznej. Przepis art. 5 ust. 7 ustawy stanowi, że m.in. dla budynków niemieszkalnych służących gospodarce rolnej nie jest wymagane świadectwo charakterystyki energetycznej. Ten wyjątek od ogólnej zasady obowiązującej od 1 stycznia 2009 roku dotyczy jedynie siedmiu rodzajów budynków, w tym wyżej wymienionych budynków rolniczych. Uproszczenie wymagań dla tego typu obiektów ma dalsze konsekwencje polegające na braku obowiązku dołączania kopii świadectwa charakterystyki energetycznej do zawiadomienia o zakończeniu budowy lub wniosku o udzielenie pozwolenia na użytkowanie.

2.4. Utrzymanie obiektów budowlanych

Zgodnie z art. 61 ustawy – Prawo budowlane każdy obiekt budowlany należy użytkować w sposób zgodny z jego przeznaczeniem i wymaganiami ochrony środowiska oraz utrzymywać w należytych stanie technicznym i estetycznym, nie dopuszczając do nadmiernego pogorszenia jego właściwości użytkowych i sprawności technicznej. Należy również zapewnić, dochowując należytej staranności, bezpieczne użytkowanie obiektu w razie wystąpienia czynników zewnętrznych oddziałujących na obiekt, związanych z działaniem człowieka lub sił natury, takich jak: wylądowania atmosferyczne, wstrząsy sejsmiczne, silne wiatry, intensywne opady atmosferyczne, osuwiska ziemi, zjawiska lodowe na rzekach i morzu oraz jeziorach i zbiornikach wodnych, pożary lub powódzie, w wyniku których następuje uszkodzenie obiektu budowlanego lub bezpośrednie zagrożenie takim uszkodzeniem, mogące spowodować zagrożenie życia lub zdrowia ludzi, bezpieczeństwa mienia lub środowiska. Aby dopełnić tych obowiązków, właściciel lub zarządca obiektu budowlanego powinien zapewnić w czasie jego użytkowania wykonanie kontroli bezpiecznego użytkowania każdorazowo w przypadku wystąpienia wskazanych wyżej okoliczności oraz kontroli okresowych.

Należy zaznaczyć, że przepisy dotyczące utrzymania obiektów budowlanych dotyczą wszystkich rodzajów budownictwa, w tym również budownictwa służącego gospodarce rolnej lub związanego z produkcją rolną. Znaczącym wyjątkiem jest zmniejszenie zakresu kontroli okresowej wykonywanej co najmniej raz w roku dla określonego rodzaju obiektów. Zgodnie bowiem z art. 62 ust. 2 z obowiązku corocznego sprawdzenia stanu technicznego elementów budynku, budowli i instalacji narażonych na szkodliwe wpływy atmosferyczne i niszczące działania czynników występujących podczas użytkowania obiektu, instalacji i urządzeń służących ochronie środowiska zwolnieni zostali właściciele i zarządcy budynków mieszkalnych jednorodzinnych, obiektów budowlanych budownictwa zagrodowego i letniskowego oraz całej grupy obiektów budowlanych wymienionych w art. 29 ust. 1 ustawy - Prawo budowlane, w tym: obiektów gospodarczych związanych z produkcją rolną i uzupełniających zabudowę zagrodową w ramach istniejącej działki siedliskowej. Obiekty te podlegają jednak kontroli rocznej w pozostałym zakresie, jeśli oczywiście posiadają elementy podlegające sprawdzeniu, tj. instalacje i urządzenia służące ochronie środowiska oraz instalacje gazowe oraz przewody kominowe. Podlegają również kontroli pięcioletniej oraz - o ile są obiektami wielkopowierzchniowymi, co w przypadku obiektów rolniczych raczej nie jest spotykane - podlegają również kontroli wykonywanej co najmniej dwa razy w roku.

2.5. Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

Rozporządzenie ustala warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i związane z nimi urządzenia, ich usytuowanie na działce budowlanej oraz zagospodarowanie działek przeznaczonych pod zabudowę, zapewniające między innymi spełnienie wymagań podstawowych określonych w prawie budowlanym. Przepisy rozporządzenia stosuje się przy projektowaniu, budowie i przebudowie oraz przy zmianie sposobu użytkowania budynków oraz budowli nadziemnych i podziemnych spełniających funkcje użytkowe budynków, a także do związanych z nimi urządzeń budowlanych. Rozporządzenie określa więc warunki dla wszystkich rodzajów budynków, ale, co należy podkreślić, budynki służące gospodarce rolnej i związane z nimi urządzenia zostały w nim w wielu przypadkach potraktowane odrębnie, doprecyzowując lub wykluczając. Wynika to z ich specjalnego przeznaczenia i sposobu użytkowania.

Przykładem takiego wyłączenia, jest zapis wskazujący, że wymagania dla instalacji gazowych, o których mowa w rozporządzeniu, nie dotyczą *instalacji przeznaczonych dla celów rolniczych i produkcyjno-przemysłowych* (§ 156 ust. 6).

Odrębne podejście widoczne jest przede wszystkim w stosunku do budynków inwentarskich i gospodarczych, będących najczęściej występującym rodzajem obiektów rolniczych. Odmienne traktuje się przede wszystkim usytuowanie takich budynków. Budynek inwentarski lub gospodarczy nie może być sytuowany ścianą z otworami okiennymi lub drzwiowymi w odległości mniejszej niż 8 m od ściany istniejącego na sąsiedniej działce budowlanej budynku mieszkalnego, budynku zamieszkania zbiorowego

lub budynku użyteczności publicznej, lub takiego, dla którego istnieje ostateczna decyzja o pozwoleniu na budowę, z tym że dopuszcza się sytuowanie budynku gospodarczego o długości mniejszej niż 5,5 m i o wysokości mniejszej niż 3 m bezpośrednio przy granicy z sąsiednią działką budowlaną lub w odległości nie mniejszej niż 1,5 m ścianą bez otworów okiennych lub drzwiowych (§ 12 ust. 6). Odrębne wymogi dotyczą również uzbrojenia technicznego działki przeznaczonej pod budowę budynków inwentarskich i gospodarczych na wsi (§ 26 ust. 5) i odległości od studni budynków inwentarskich i związanych z nimi szczelnych silosów, zbiorników do gromadzenia nieczystości, kompostu oraz podobnych szczelnych urządzeń (§ 31 ust. 1 pkt 3).

Poza wskazanymi wyżej odrębnymi wymogami dotyczącymi zabudowy i zagospodarowania działki budowlanej, *Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* określają również szczególne wymagania dotyczące pomieszczeń inwentarskich, którym poświęcony został w całości rozdział 11 Rozporządzenia działu III pn. *Budynki i pomieszczenia* (§ 109 -§ 112) oraz wymagania przeciwpożarowe dla budynków inwentarskich, zawarte w § 209 oraz rozdziale 9 działu VI pn. *Bezpieczeństwo pożarowe* (§ 282 -§ 285). Ponadto w Wykazie Polskich Norm powołanych w rozporządzeniu, stanowiących Załącznik Nr 1 przywołano odrębną normę dla instalacji elektrycznych w *gospodarstwach rolniczych i ogrodnich* (PN-IEC 60364-7-705:1999).

2.6. Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie

Rozporządzenie ustalając warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i związane z nimi urządzenia budowlane wymaga w § 1 ust. 2 zachowania przepisów ustawy - Prawo budowlane oraz odrębnych przepisów, a także ustaleń Polskich Norm, zapewniających osiągnięcie wszystkich wymagań podstawowych. Odniesienie się do wymagań podstawowych powoduje, że część przepisów ma charakter funkcjonalny, czego przykładem jest zapis § 16, w którym ustalono, że przegrody budowlane budowli rolniczych powinny być projektowane i wykonywane z zapewnieniem bezpieczeństwa i odporności ogniowej konstrukcji, przy doborze materiałów zapewniających walory użytkowe i trwałość budowli [2]. Część przepisów o charakterze ogólnym odnosi się wprost do wymagań podstawowych. Przykładem są zapisy dotyczące bezpieczeństwa konstrukcji mówiące, że budowle rolnicze i urządzenia budowlane z nimi związane powinny być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający w fazie budowy i eksploatacji zachowanie stanów granicznych nośności i użytkowania konstrukcji (§ 13 ust. 1). Bardzo duży nacisk kładzie się na bezpieczeństwo pożarowe, ustalając, że budowle rolnicze powinny być zabezpieczone przed pożarem lub wybuchem, w szczególności przez zapewnienie: nośności konstrukcji przez założony czas, bezpiecznych odległości między obiektami budowlanymi, rozwiązań technicznych i materiałowych dostosowanych do występującego zagrożenia pożarowego lub zagrożenia wybuchem, instalacji i urządzeń elektrycznych o stopniu bezpieczeństwa odpowiadającym występującemu zagrożeniu pożarowemu lub zagrożeniu wybuchem (§ 39). Odpowiednie warunki higieniczne i zdrowotne oraz ochronę środowiska dla budowli rolniczych i urządzeń budowlanych z nimi związanych zapewnia się m.in. poprzez takie ich projektowanie i wykonanie, które zabezpieczy przed wydzielaniem szkodliwych substancji, a w wypadku gdy nie można uniknąć wydzielania się szkodliwych substancji, przewidzenie właściwej wentylacji (§ 45). Istotność bezpieczeństwa użytkowania pojawia się w przepisach rozporządzenia niejednokrotnie, najczęściej w kontekście skutków oddziaływania na środowisko.

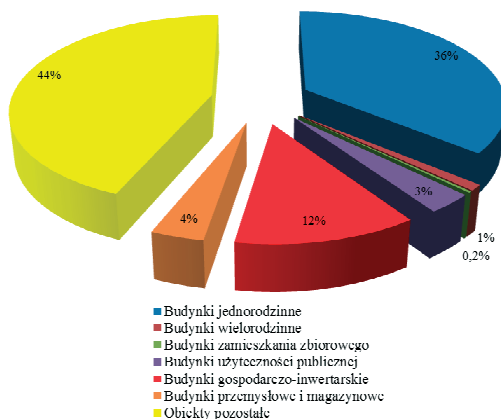
Przepisy o charakterze ogólnym dotyczą również innych kwestii, np. usytuowania budowli rolniczych, które wraz z projektem zagospodarowania działki lub terenu, powinno być zgodne z decyzją o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu (§ 4), posadowienia, które powinno być dostosowane zarówno do warunków hydrogeologicznych i innych cech podłoża gruntowego, do rodzaju konstrukcji oraz sposobu użytkowania budowli rolniczych i urządzeń budowlanych z nimi związanych, jak również zapewniać zachowanie stanów granicznych nośności i użytkowania (§ 14). Istotna jest również trwałość budowli rolniczych, tak aby te, narażone na działanie korozji, miały konstrukcję ukształtowaną w sposób zmniejszający negatywne skutki oddziaływania środowiska, a stosowane w nich wyroby były odporne na takie oddziaływanie (§ 32 ust. 1)

Poza przepisami o charakterze ogólnym, w rozporządzeniu znajdują się też regulacje o charakterze opisowym, niekiedy o bardzo dużym stopniu szczegółowości. Określają w sposób drobiazgowy przede wszystkim wymagane odległości, najczęściej w związku z uciążliwością wynikającą z funkcji danej budowli (§ 6, 7, 8, 9), strefy bezpieczeństwa w biogazowniach (§ 43), ale również inne parametry stanu, przykładowo takie jak: temperatura, ciśnienie, przepuszczalność, objętość dla zbiorników biogazu (§ 25, 26). Wymaganie takie można zidentyfikować jako przytoczenie wybranych fragmentów postanowień technicznych norm wyrobów, przy czym w przepisie ustalany jest poziom progowy tego wymagania [2].

3. Analiza danych dotycząca budownictwa rolniczego

3.1. Ruch budowlany

W ramach badań ruchu budowlanego prowadzonych w Głównym Urzędzie Nadzoru Budowlanego od początku jego funkcjonowania, tj. od 1995 roku, analizowane są zmiany ilościowe pozwoleń na budowę, obiektów oddanych do użytkowania oraz rozbiórek dla poszczególnych rodzajów obiektów budowlanych, a od 2006 roku również dotyczące legalizacji samowoli budowlanych [3]. Wśród 6 podstawowych rodzajów obiektów wymienione są budynki gospodarczo-inwentarskie – i te zostaną na potrzeby niniejszej pracy poddane badaniu. Nie ma niestety możliwości porównania danych dotyczących budowli rolniczych. Rodzaj ten bowiem zawiera się w „obiektach pozostałych”, a jest to kategoria dosyć pojemna, ponieważ – jeżeli analizujemy dane od 1995 roku - zawierająca również obiekty infrastruktury transportu, budowle wodne, rurociągi, linie telekomunikacyjne i elektroenergetyczne oraz inne obiekty. Jednak już samo porównanie danych dotyczących budynków gospodarczo-inwentarskich, stanowiących przecież tylko część realizowanych tego typu obiektów, do pozostałych kategorii daje pojęcie o skali i znaczeniu budownictwa rolniczego.



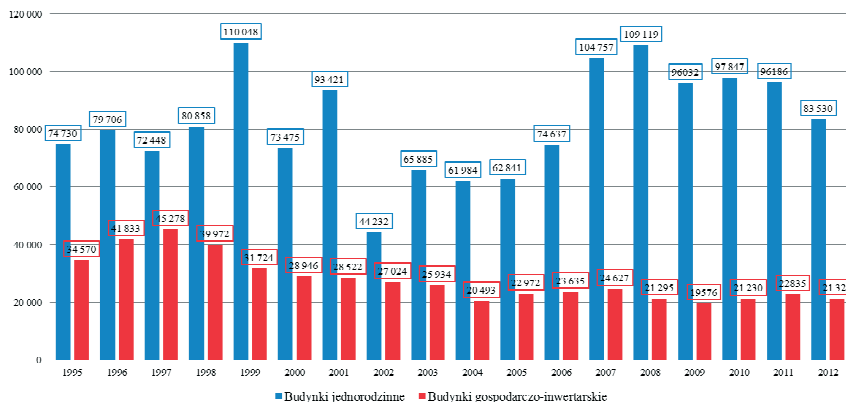
Rys. 1. Pozwolenia na budowę wydane w latach 1995-2012 wg rodzajów obiektów budowlanych

W latach 1995-2012 wydano ogółem ponad 4 mln decyzji o pozwoleniu na budowę, w tym ponad 500 tys. na budynki gospodarczo-inwentarskie, co stanowi około 12% ogółu (rys. 1). Pomijając najliczniejszą, ale zarazem najmniej homogeniczną, kategorię „obiektów pozostałych”, można stwierdzić, że budynki gospodarczo-inwentarskie stanowiły drugą po budynkach jednorodzinnych grupę pod względem liczby wydanych pozwoleń na budowę.

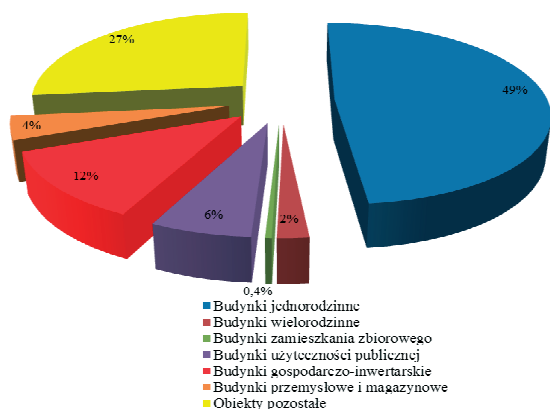
Średnio rocznie wydawano 27 tys. pozwoleń na budowę dla budynków gospodarczo-inwentarskich, choć dla poszczególnych lat liczby te wahały się od 19,5 tys. w 2009 roku do 45 tys. w 1997 roku (Rys. 2).

W latach 1995-2012 przekazano do użytkowania, zarówno na podstawie zawiadomienia, jak i pozwolenia na użytkowanie, ponad 2 mln obiektów budowlanych, w tym ponad 250 tys. to budynki gospodarczo-inwentarskie, co stanowi około 12% ogółu (rys. 3). Pomijając najmniej homogeniczną kategorię „obiektów pozostałych”, można

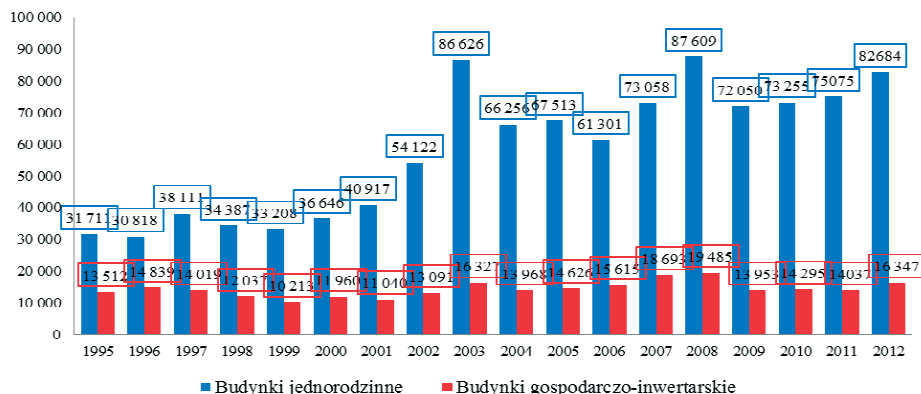
stwierdzić, że budynki gospodarczo-inwentarskie stanowiły drugą, po budynkach jednorodzinnych, grupę pod względem liczby obiektów oddanych do użytkowania



Rys. 2. Pozwolenia na budowę wydane w latach 1995-2012 dla budynków gospodarczo-inwentarskich oraz - w celach porównawczych - jednorodzinnych



Rys. 3. Obiekty oddane do użytkowania w latach 1995-2012 wg rodzajów obiektów budowlanych



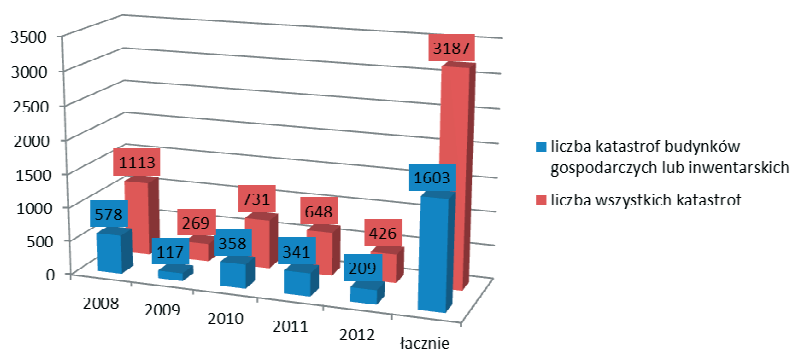
Rys. 4. Budynki gospodarczo-inwentarskie oraz - porównawczo - budynki jednorodzinne przekazane do użytkowania w latach 1995-2012

Średnio rocznie oddawano do użytkowania 14 tys. budynków gospodarczo-inwentarskich, choć dla poszczególnych lat liczby te wahały się od 10 tys. w 1999 roku do 19 tys. w 2008 roku (Rys. 4).

Jak wynika z przedstawionej wyżej analizy danych, budynki gospodarczo-inwentarskie stanowią stosunkowo dużą grupę obiektów zarówno przewidzianych do realizacji, jak i realizowanych.

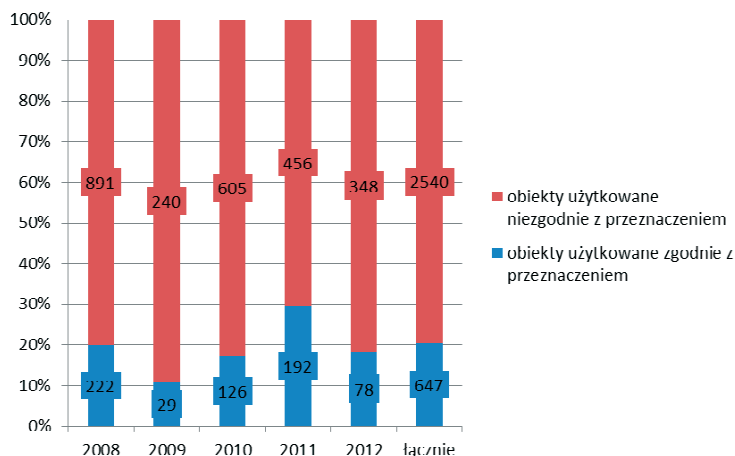
3.2. Katastrofy budowlane

Kolejnym ważnym elementem charakteryzującym omawiany rodzaj budownictwa jest jakość wykonania i trwałość obiektów rolniczych. Analiza katastrof budowlanych, które miały miejsce w latach 2008-2012 pokazuje, że ponad połowa z nich dotyczy budynków gospodarczych lub inwentarskich (50,3%). Powyższe wskazuje, że obiekty te częściej ulegają katastrofom niż pozostałe.



Rys. 5. Katastrofy budowlane budynków gospodarczo-inwentarskich w porównaniu do katastrof wszystkich obiektów budowlanych, w latach 2008-2012

Zdecydowana większość katastrof budowlanych budynków gospodarczo-inwentarskich dotyczyła tych będących w takcie użytkowania (97%). Jednocześnie szukając przyczyny tak dużej liczby katastrof tych budynków, należy zwrócić uwagę na fakt, iż większość z nich była użytkowana niezgodnie z przeznaczeniem.



Rys. 6. Katastrofy budowlane obiektów użytkowanych zgodnie z przeznaczeniem oraz niezgodnie z przeznaczeniem, w latach 2008-2012

Katastrofy budowlane najczęściej miały miejsce w województwach: łódzkim (505 katastrof w latach 2008-2012), mazowieckim (237), podlaskim (196) i opolskim (177). Natomiast nieliczne przypadki stwierdzono w województwach: zachodniopomorskim (5),

warminsko-mazurskim (11) oraz śląskim (14). W zdecydowanej większości katastrof nie odnotowano poszkodowanych (97%), w badanym okresie 19 osób zostało zabitych, a 40 rannych. Zatem katastrofy budynków gospodarczo-inwentarskich nie stanowiły wiodącego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi.

Rodzaj konstrukcji omawianych obiektów ma istotne znaczenie, jeśli chodzi o prawdopodobieństwo zniszczenia. Katastrofom najczęściej ulegają budynki o konstrukcji murowej (54%), drewnianej (26%) oraz mieszanej (20%), sporadycznie o konstrukcji stalowej czy żelbetowej.

Najczęstszymi przyczynami powstawania katastrof omawianych obiektów są zdarzenia losowe (91%), głównie silne wiatry i intensywne opady atmosferyczne. Kolejny ważny czynnik to błędy w trakcie utrzymania (8%), popełniane przez właścicieli i zarządców. Bardzo często przyczyny są złożone, tj. zły stan techniczny obiektu w połączeniu z działaniem sił natury.

4. Działania nadzoru budowlanego w stosunku do obiektów rolniczych

W latach 2003-2004, w wyniku ustaleń Rady Ministrów podjętych w związku z interpelacjami poselskimi i licznymi skargami w sprawie naruszania wymagań ochrony środowiska, organy nadzoru budowlanego stopnia powiatowego skontrolowały 50 przemysłowych ferm trzody chlewnej. Ze względu na zaliczenie przez przepisy ochrony środowiska chowu i hodowli zwierząt na skalę przemysłową do przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, czego konsekwencją był, zgodnie z art. 46 i 48 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, wymóg przeprowadzenia postępowania w sprawie oceny oddziaływania na środowisko tych przedsięwzięć przed wydaniem decyzji o pozwoleniu na budowę lub rozbiórkę takiego obiektu oraz decyzji o pozwoleniu na zmianę użytkowania obiektu lub jego części, działania te prowadzono wspólnie z Inspekcją Ochrony Środowiska, Państwową Inspekcją Sanitarną i Inspekcją Weterynarii. W wyniku kontroli nadzoru budowlanego, której zakres obejmował ocenę zgodności realizacji obiektów i robót budowlanych z przepisami prawa budowlanego oraz legalność użytkowania obiektów zgodnie z udzielonym pozwoleniem na budowę, stwierdzono liczne nieprawidłowości, które dotyczyły aż 44 na 50 skontrolowanych ferm (88%). Polegały one przede wszystkim na: braku pozwoleń na zmianę sposobu użytkowania obiektów, przekroczeniu zakresu wykonania robót budowlanych objętych zgłoszeniem, braku odpowiedniej dokumentacji użytkowanych obiektów, realizowaniu nowych obiektów bez pozwolenia na budowę (np. silosów na pasze).

Ze względu na skalę i rodzaj stwierdzonych nieprawidłowości w następnych latach kontynuowano tego rodzaju kontrole, już nie w formie akcyjnej, ale w ramach planowej działalności kontrolnej organów nadzoru budowlanego stopnia powiatowego. W latach 2003-2006 ogółem skontrolowano 162 fermy na terenie 15 województw [4]. Wśród nadesłanych wyników kontroli 97 ferm, tylko w 15 nie stwierdzono nieprawidłowości. W 91% skontrolowanych ferm stwierdzono nieprawidłowości polegające głównie na braku lub nieprawidłowym prowadzeniu dokumentacji, braku dokonywania okresowych przeglądów oraz braku oceny i działań w zakresie bezpiecznego użytkowania wyrobów zawierających azbest.

W 2006 roku, z inicjatywy Najwyższej Izby Kontroli, podjęto kolejną akcję kontrolną, mającą na celu zbadanie i dokonanie oceny działań organów administracji rządowej w zakresie tworzenia i realizacji polityki państwa wobec wielkoprzemysłowego chowu trzody chlewnej, realizacji i skuteczności nadzoru państwowego nad funkcjonowaniem ferm, a także przestrzegania przez nie przepisów sanitarno-weterynaryjnych i ochrony środowiska [4]. W ramach tej akcji kontrolnej Główny Urząd Nadzoru Budowlanego skontrolował 13 ferm trzody chlewnej oraz działania w tym obszarze 13 terenowych organów administracji architektoniczno-budowlanej i 13 organów nadzoru budowlanego stopnia podstawowego. W trakcie inspekcji zbadano przestrzeganie prawa budowlanego podczas realizacji takich obiektów, jak: budynki inwentarskie, silosy paszowe, zbiorniki na gnojownicę, ze szczególnym uwzględnieniem wymagań w zakresie sposobu przetrzymywania gnojownicy. Spośród 13 skontrolowanych ferm, tylko w 1 nie stwierdzono nieprawidłowości. W 3 przypadkach stwierdzono samowolne wybudowanie budynków inwentarskich oraz samowolną odbudowę, przebudowę i adaptację budynków.

W jednym przypadku stwierdzono samowolną zmianę sposobu użytkowania zbiorników fermentacyjnych w oczyszczalni ścieków, na zbiorniki gnojownicy. Na 9 skontrolowanych ferm, w których w konstrukcji pokrycia dachu wykorzystywane były materiały zawierające azbest, w 5 stwierdzono brak oceny stanu i możliwości bezpiecznego użytkowania wyrobów zawierających azbest.

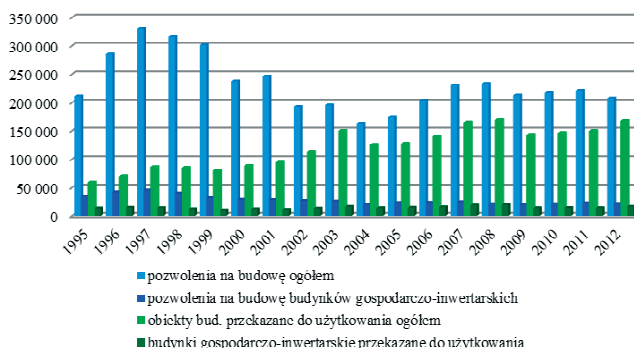
W 2012 roku, w związku z nieprawidłowościami w funkcjonowaniu ferm zwierząt futerkowych ujawnionymi przez NIK i wnioskiem Ministra Środowiska o zwrócenie szczególnej uwagi na ten problem, Główny Inspektor Nadzoru Budowlanego spowodował, że terenowe organy nadzoru budowlanego wykonały 426 kontroli ferm zwierząt futerkowych na obszarze całego kraju. Skontrolowano 2382 obiekty budowlane, w których prowadzona była hodowla ponad 1,6 mln zwierząt futerkowych. W wyniku stwierdzonych podczas kontroli nieprawidłowości, terenowe organy nadzoru budowlanego podjęły, w ramach swoich kompetencji, działania w stosunku do 580 obiektów budowlanych (24,3% wszystkich skontrolowanych obiektów budowlanych), spośród których: 512 (tj. 21,5%) wybudowano bez wymaganego pozwolenia na budowę, 60 (tj. 2,5%) znajdowało się w niewłaściwym stanie technicznym, 8 (tj. 0,3%) użytkowanych było niezgodnie z przeznaczeniem.

5. Podsumowanie

Do budownictwa, które służy gospodarce rolnej lub związane jest z produkcją rolną stosuje się generalnie takie same zasady, jak do innych rodzajów budownictwa. W określonych przypadkach podlega ono jednak znaczącym uproszczeniom, przede wszystkim ze względu na charakterystyczną dla ogółu obiektów rolniczych prostą konstrukcję, niewielkie rozpiętości i wysokości. Trzeba zaznaczyć, że uproszczeniom nie podlegają wszystkie obiekty rolnicze, np. silosy, elewatory zbożowe czy bardziej skomplikowane technologicznie biogazownie.

Pomimo tego, że większość budynków i budowli rolniczych nie wymaga zastosowania ani specjalnych rozwiązań architektonicznych, ani wyjątkowych wyrobów budowlanych czy technologii, to ze względu na funkcje, które pełnią i specyficzne oddziaływanie, jakim podlegają, należy je otoczyć szczególną uwagą przede wszystkim ze względu na ich wpływ na otoczenie i środowisko.

Uproszczenia proceduralne w stosunku do mniej skomplikowanych obiektów rolniczych, dotyczące zarówno uzyskania prawa legalnego ich wykonywania, jak i oddawania do użytkowania, a następnie utrzymywania, wywołują określone konsekwencje. Z jednej strony obiektów takich buduje się w Polsce bardzo dużo, ale z drugiej strony – najczęściej ulegają one katastrofom budowlanym.



Rys. 7. Porównanie liczby pozwoleń na budowę oraz obiektów oddawanych do użytkowania – ogółem z budynkami gospodarczo-inwentarskimi

Porównanie danych dotyczących budynków gospodarczo-inwentarskich, stanowiących przecież tylko część realizowanych obiektów rolniczych, do pozostałych kategorii daje pojęcie o skali budownictwa rolniczego w Polsce. Jak wynika z analizy danych z ostatnich 18 lat, budynki gospodarczo-inwentarskie stanowią drugą pod

względem wielkości grupę obiektów budowlanych, po najczęściej realizowanych budynkach jednorodzinnych, a ich udział zarówno w ogólnej liczbie wydanych pozwoleń na budowę, jak i liczbie obiektów oddanych do użytkowania, wynosi ponad 12% (Rys. 7).

Niestety, analiza danych wykazuje również, że budynki gospodarczo-inwentarskie najczęściej ulegają katastrofom budowlanych. Zbadanie i wskazanie przyczyn katastrof tego rodzaju budynków pozwoli podejmować odpowiednie, wprost ukierunkowane działania zaradcze. Jest to istotne szczególnie w kontekście identyfikacji zagrożeń w budownictwie i ich skutków, rozpatrywanych jako elementy analizy ryzyka. Wskazanie czynników ryzyka dla tego specyficznego rodzaju działalności budowlanej jest niezbędne dla podejmowania działań zmierzających do zmniejszenia tych zagrożeń. A zminimalizowanie występowania katastrof, będących najgroźniejszymi zdarzeniami w budownictwie, powinno być priorytetowym celem zarówno osób wykonujących samodzielne funkcje techniczne, jak i organów administracji publicznej [5].

Literatura

- 1 Dziwiński R., Rola przepisów prawa budowlanego w kształtowaniu bezpieczeństwa obiektów budowlanych, Międzyzdroje 2009.
- 2 Instytut Techniki Budowlanej, Określenie zakresu i sposobu wprowadzania zmian w Prawie budowlanym w związku z nową redakcją wymagań podstawowych dla obiektów budowlanych oraz właściwości użytkowych wyrobów, zawartą w Rozporządzeniu PE i Rady Nr 305/2011, Warszawa 2012,
<http://www.transport.gov.pl/files/0/1795828/UmowaNr23B2012p1505112012.pdf>
- 3 Główny Urząd Nadzoru Budowlanego, Analizy ruchu budowlanego, <http://www.gunb.gov.pl/>.
- 4 Najwyższa Izba Kontroli, Informacja o wynikach kontroli sprawowania nadzoru nad wielkoprzemysłowymi fermami trzody chlewnej, Warszawa 2007
<http://www.nik.gov.pl/kontrola/wyniki-kontroli-nik/kontrola,632.html>.
- 5 Szer J., Analiza ryzyka w budownictwie i jej skutki, XII Konferencja Naukowo-Techniczna – Warsztaty Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego, Kielce-Cedzyna 2012.

Agricultural Building in the construction law

Jacek Szer

General Office of Building Control, Warsaw, e-mail: j.szer@gunb.gov.pl

Abstract: In general, agricultural building is subject to the same basic regulations provided by the Construction Law as other types of building. Nevertheless, in specific matters, regulation concerning agricultural building is simplified. For example, farm buildings connected with agricultural production and supplementing the existing farmstead building development within the existing habitation plot are free from the duty of obtaining a building permit and the energy performance certificate is not required for non-residential agricultural buildings. Detailed requirements regarding agricultural building are stipulated in two regulations stating technical specifications for building objects and their location as well as technical specifications for agricultural structures and their location. The first regulation specifies requirements for all kinds of buildings; however, farm buildings together with the facilities are – in many cases – treated individually due to their specific purpose and the way they are used. The attitude towards agricultural structures in the second regulation is entirely individual because of the special role and requirements that agricultural structures must fulfill. The General Office of Building Control analysis carried out within the scope of the construction movement and building catastrophes also includes some data on agricultural building.

Keywords: building, law, buildings, structures, agricultural, requirements, simplifications

Równowaga w planowaniu przestrzennym na obszarach wiejskich. Wybrane zagadnienia

Marek Kowicki

*Zakład Architektury i Planowania Wsi, Instytut Projektowania Urbanistycznego,
Wydział Architektury, Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, kowicki@pk.edu.pl*

Streszczenie: Zrównoważony rozwój obszarów wiejskich jest zagadnieniem tak obszernym, wielowątkowym, dotyczącym tak wielu dziedzin nauki i działań praktycznych, że niezbędne wydaje się przypomnienie sobie od czasu do czasu o jaką równowagę chodzi? Równowagę między czym a czym? Pierwsza część niniejszych uwag jest tego rodzaju „relekcjami” w nawiązaniu do zasady realizowanej przez Generała Chłapowskiego łączenia (równoważenia) Piękna i Użyteczności w kształtowaniu obszarów wiejskich. Najwyraźniej jest to zasada uniwersalna, bowiem odnaleźć ją można w pracach różnych autorów, których także inne, bardziej szczegółowe kryteria równowagi wybrano i przypomniano. Przedstawiono na przykładach liczne dowody nierównowagi akceptowanej w krajowych opracowaniach planistyczno-przestrzennych, a także przykłady przeciwnie: realizacje i projekty teoretyczne, które przez koncentrację osadnictwa ludności nierolniczej starają się utrzymać we właściwym kształcie równowagę osadniczo-rolną na obszarach wiejskich. Uwagi zakończono pytaniem o możliwość realizacji w Polsce, w duchu zrównoważonego rozwoju, wzorcowego przykładu modernizacji zagospodarowania wybranego obszaru wiejskiego.

Słowa kluczowe: obszary wiejskie, planowanie przestrzenne, krajobraz, równowaga / nierównowaga planistyczno-przestrzenna, osadnictwo ludności nierolniczej na wsi

1. Wprowadzenie. Równowaga - między czym, a czym?

Zrównoważony rozwój na obszarach wiejskich jest ideą, której realizacja może dać dobre rezultaty wówczas, gdy ma charakter całościowy, jednoczesny i zsynchronizowany we wszystkich skalach projektowo-realizacyjnych, od skal stosowanych w planowaniu przestrzennym do skal projektowania architektonicznego. Nie można oczekiwać optymalnych efektów jeśli np. domy realizowane wedle wskazań technicznych dla zrównoważonego budownictwa lokalizowane będą nadal w rozproszeniu przestrzennym powodując przerost i rozliczne komplikacje w kształtowaniu sieci infrastrukturalnych, potęgując zagrożenie dla walorów przyrodniczo-krajobrazowych, blokując możliwości rozwojowe rolnictwa itd. I na odwrót: nic dobrego nie wyniknie również z usiłowań „równoważenia” rozwoju obszarów wiejskich w skali planistyczno-przestrzennej, jeśli głównym twórczym architektonicznym będą budynki realizowane niezgodnie z zasadami budownictwa zrównoważonego: zbyt ciężkie, zbyt duże, zbyt kosztowne, zużywające zbyt dużo energii (zainwestowanej w wyprodukowanie materiałów budowlanych oraz w proces budowy i użytkowania), nieelastyczne pod względem funkcjonalnym i technicznym, nie przystosowane do reagowania we właściwy sposób na oddziaływanie czynników przyrodniczych (wiatru, słońca, opadów atmosferycznych, wód itd.), nie uwzględniające uwarunkowań kompozycyjno-krajobrazowych itd.

Istotnym czynnikiem warunkującym powodzenie realizacyjne idei zrównoważonego rozwoju w skali planistyczno-przestrzennej i architektonicznej jest rozwiązanie kwestii osadnictwa ludności nierolniczej na obszarach wiejskich. Jej rosnąca dominacja jest zjawiskiem stosunkowo nowym, ale już widać wyraźnie, że brak stosownej propozycji osadniczej uwzględniającej zarówno specyfikę tej grupy ludności jak i konieczność respektowania walorów wsi (w tym, szczególnie zagrożonych: przyrodniczo-krajobrazowych, kulturowych, historycznych i in.) potęguje tendencje patologiczne w przemianach przestrzennych obszarów wiejskich, idące w odwrotnym kierunku niż

wskazują postulaty zrównoważonego rozwoju. Jest to rezultat zasadniczego przewartościowania stosunku mieszkańców wsi do ziemi. Dziś potomkowie rodzin chłopskich, porzuciwszy rolnictwo, chcą traktować odziedziczoną ziemię głównie jako zasób działek budowlanych. O tym, że proceder ten udaje się bardzo licznym posiadaczom okrawków dawnych gospodarstw rolnych świadczy m.in. wielkość rezerw terenów budowlanych tworzonych w planach zagospodarowania gmin [1].

Rozproszona zabudowa polskiej wsi jest dziś tym czynnikiem, który powoduje nierównowagę w funkcjonowaniu istotnych elementów systemu społeczno-gospodarczego. Żarłocznie pochłaniając tereny rolne, utrudniać ona będzie w przyszłości organizację dobrych gospodarstw rolnych a co za tym idzie – spowodować może destabilizację bezpieczeństwa żywnościowego kraju. Pochłaniając piękno wiejskiego krajobrazu, redukować będzie możliwość funkcjonowania obszarów wiejskich jako terenów wypoczynku. Rozwleczone na nieproporcjonalnie wielkich obszarach zabudowa, jeszcze bardziej ograniczać będzie aktywność i rozwój społeczno-kulturalny mieszkańców wsi, utrudniając, szczególnie dzieciom i młodzieży dostęp do klubu sportowego, harcówki, biblioteki i wszelkich dokształcających zajęć pozalekcyjnych. To tylko wybrane aspekty przewidywalnej przyszłości wsi, pokazujące, jak trudnym zadaniem w warunkach pogłębiającego się rozproszenia zabudowy, będzie tam realizacja zasad zrównoważonego rozwoju, w sposób realny. A nie jedynie w formie postulatów obowiązkowo deklarowanych w tekstach dokumentów planistycznych.

I wreszcie kwestia nadrzędna - stopień społecznej akceptacji dla zasad zrównoważonego rozwoju na polskiej wsi, a także społecznej świadomości, odnośnie do kwestii podstawowej: czego konkretnie ma dotyczyć owa hasłowa równowaga? Równowaga, ale między czym, a czym?

Nie są to pytania retoryczne. Stawiał je także, i szukał na nie konkretnych odpowiedzi, m.in. Mumford. Uważał on, że warunkiem harmonijnego rozwoju jest przywrócenie równowagi pomiędzy kulturą i techniką a także między wsią a miastem, między przestrzenią zabudowaną a otwartą, między przemysłem a rolnictwem. Postulował by odtwarzać i pielęgnować harmonijne i urozmaicone krajobrazy wiejskiej Europy, jako przeciwwagę dla regionów wyspecjalizowanych w jednej tylko dziedzinie gospodarki oraz regionów zurbanizowanych, tworzących środowisko ułomne, choćby nawet występował w nich przejściowy rozwój [2]. Tezy Mumforda były inspiracją m.in. dla autora niniejszych uwag do podjęcia, ponad ćwierć wieku temu, rozważań o równowadze w obrębie miejsko-wiejskiego continuum. Celem tych rozważań było określenie warunków, które umożliwiłyby funkcjonowanie wsi jako alternatywy osadniczej miasta, a nie antytezy życia miejskiego, jak nader często bywa ona postrzegana obecnie. Wieś jako alternatywa osadnicza miasta, to idea, która stwarza poważne szanse rozwojowe dla obszarów wiejskich, wszakże jej realizacja możliwa jest wyłącznie w ramach koncepcji zrównoważonego rozwoju [3].

Świadoma, społeczna akceptacja twardych niekiedy zasad zrównoważonego rozwoju ma związek z poczuciem tożsamości i dumy lokalnych społeczności. Podziwiając piękne, perfekcyjnie zadbane krajobrazy austriackiej wsi z okolic Salzburga, pisał Kapuściński o społeczności, której dziełem jest ów krajobraz: *Można zrozumieć dumę mieszkańców tych wsi, kiedy podróżują po brudnych miastach.[...] Są krajobrazy napelniające radością i takie, które budzą niechęć i odrzę. Pierwsze są przedłużeniem i owocem [...]wytwałej i pracowitej osobowości, drugie odrzucają nas: kurczymy się w sobie osaczeni przez agresywną brzydotę i tandetę* [4].

A więc: historia, tradycja, zakorzenienie w nich. A także wiedza, że pojęcia: „rozwój zrównoważony”, „zrównoważone budownictwo” itp. są kontynuacją i rozwinięciem bardzo niekiedy dawnych idei. Można chyba, do wspomnianych też Mumforda dorzucić jeszcze jeden punkt: równowagę pomiędzy historią i przyszłością. Polegałoby to na umiejętności korzystania z nagromadzonego przez wieki doświadczenia w realizacji planów i projektów możliwie najbardziej stosownych do wszelkich, także specyficznych, lokalnych uwarunkowań teraz i w przyszłości.

Zacznijmy zatem od uwag na temat ostatniego z wymienionych wyżej wątków.

2. Równowaga piękna i użyteczności

Pojęcia: „zrównoważone budownictwo”, „zrównoważone planowanie przestrzenne”, „zrównoważony rozwój” spotykamy od pewnego czasu w rozmaitych dokumentach i opracowaniach nagminnie. Warto pamiętać, że choć nazwa tej idei stosunkowo nowa, to wiele jej elementów znanych jest i praktykowanych od dawna. Generał Dezydery Chłapowski, wielki patriota i znakomity gospodarz realizował zasady „zrównoważonego planowania” już w XIX wieku w swoim majątku w Turwi w Wielkopolsce. Tyle, że miał dla nich inne określenie: mówił o zasadach harmonijnego łączenia Piękną z Użytecznością w kształtowaniu krajobrazu rolniczego. Poczytywał za błąd, jeśliby od rolnictwa posiadającego tak istotny wpływ na środowisko przyrodniczo-krajobrazowe wsi oczekiwano wyłącznie użyteczności, wysokiej wydajności i zysku. Uważał, że misją rolnictwa jest także tworzenie w sposób świadomy piękna krajobrazowego. Wszakże piękno krajobrazowe obszarów rolnych wynika z istoty kultury rolnej, to jest z dbałości, pielęgnacji, uprawy, a więc z tych cech, które mają sens wówczas, gdy służą pożytkowi. Piękno i Użyteczność są zatem nierozłącznymi atrybutami dobrego, dziś powiedzielibyśmy „zrównoważonego” gospodarowania na obszarach wiejskich.

Gospodarowania, które nie odżegnuje się od korzystania w zmodernizowanej postaci także z tych sprawdzonych, tradycyjnych wzorców, realizowanych niekiedy „od wiek wieków”. Wszakże nawet w prastarym traktacie *O gospodarstwie wiejskim* Katona Starszego współcześni zwolennicy ekologicznego rolnictwa mogliby znaleźć nieustająco aktualne wskazówki. Np. taką, że: *Gospodarz już od wczesnej młodości winien dołożyć starań, aby swoją posiadłość obsadzić. Gdy chodzi o budowanie, należy się długo namyślać. Nad sadzeniem nie namyślać się trzeba, lecz działać*” [5].

Wiedzę o kształtowaniu obszarów wiejskich wedle zasady harmonijnego zrównoważenia Piękną i Użyteczności przywiózł Generał Chłapowski z Anglii, gdzie owa zasada była już wówczas respektowanym elementem brytyjskiej tradycji rolniczej. Oglądając krajobraz wsi angielskich mógł mieć Generał Chłapowski, ale także nam współczesny obserwator wrażenie, że oto widzi praktyczną realizację wspomnianego wyżej zalecenia sławnego Cenzora. Bowiem właśnie dzięki wspaniałym nasadzeniom drzew i żywopłotów, nawet dość mało urozmaicony pod względem ukształtowania terenu krajobraz angielski został w wielu miejscach przemieniony w przepiękny, ozdobny park. Wszakże nasadzeń nie rozmieszczano w owym parkowym krajobrazie pochopnie ani bezmyślnie lecz przeciwnie – umiejętnie i starannie je komponowano, aby służyły celom ozdobnym i użytkowym jednocześnie: jako pasy wiatrochronne, remizy, „liściarki”, „cieniarki” pastwiskowe i inne formy zieleni śródpolnej, przydrożnej, łęgowej itd., a także jako zielone pierścienie wokół wsi (np. Milton Abbas, w Dorset), a nawet wielkich miast (np. Londyn) [6]. Pieczołowicie komponowane brytyjskie obszary wiejskie stały się doskonałym modelem krajobrazu zrównoważonego, wzorcem realizowanym z sukcesem także w innych regionach Europy: Danii, Niemiec, Austrii, Szwajcarii i innych krajów.

I choć ten sielski obraz pięknego i zarazem użytecznego krajobrazu wiejskiego nie jest jedynym modelem realizowanym w Europie, i choć znaczne obszary zawładnięte przez technologie rolnictwa uprzemysłowionego mają dziś postać krajobrazów monokulturowych, gdzie kategoria piękna nie jest uwzględniana w kalkulacji zysków, to jednak konkurujący z rolnictwem uprzemysłowionym nurt rolnictwa łączącego Piękno z użytecznością posiada tam wyjątkowo mocne atuty w zakresie teorii i praktyki [7], a co może nawet ważniejsze, także w postaci pozytywnego nastawienia mieszkańców wspomnianych krajów do wsi i wiejskości.

3. Klimat społeczny dla zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich

Pozytywne postrzeganie wsi i wiejskości we wspomnianych krajach przenosi się dziś na dość powszechne, pozytywne odniesienie do realnych postulatów zrównoważonego rozwoju. Thomas Sharp, autor wydanej tuż po wojnie „biblii ruralistycznej” [8] tak charakteryzuje brytyjskie uwarunkowania społeczne i wynikające z nich konsekwencje dla zagospodarowania obszarów wiejskich:

Angielska wieś jest obiektem szczególnego afektu i dumy, zarówno mieszkańców wsi jak i miasta. Także przybysze z zagranicy postrzegają naszą wieś jako charakterystyczny i atrakcyjny produkt angielskiego stylu życia. [...] Zauważa się, że wieś, będąc przestrzenią użytkową, często bywa także nadzwyczajnie piękna, a co najmniej wdzięczna i miła. [...]

To uczucie jaki żywimy do naszych starych wsi oraz nasza z nich duma, jest wartością bezcenną. Wykazalibyśmy się bezdenną tępotą i niegospodarnością, nie byłibyśmy warci posiadanego dziedzictwa, gdybyśmy nie zadbali należycie o zachowanie ich tradycyjnej harmonii. Wszakże ta afektacja, duma i pamięć posiadają wartość jedynie wtedy, gdy utrzymywane są w zdrowej równowadze. [...] Respektowanie tradycji jest bowiem rzeczą wspaniałą tylko wówczas, jeśli owa tradycja jest nadal autentycznie żywa. Autentyczna tradycja jest czynnikiem wzrostu i rozwoju. [...] Jest jak płynący, pełen wirów, zbierający potok odświeżany i zasilany coraz to nowymi dopływami, potok, którego kierunek zmieniany jest przez nowe prądy kreowane przez nowe uwarunkowania.

Natomiast tradycja, stając się pretekstem do ograniczania aktywności w krajobrazie wiejskim jedynie do tego rodzaju elementów i działań, które znane tam były w przeszłości – jest fałszem. Sugestia, że budowa nowych miejscowości na obszarach wiejskich i rozbudowa wsi istniejących powinny wiernie naśladować dawne formy, bo one naszym starym wsiom dawały piękno i wdzięk, biorą się z niezrozumienia istoty tradycji. [...] Należy wypracowywać nowe formy, adekwatne do nowych potrzeb i możliwości. Ale to nie oznacza, że możemy ignorować osiągnięcia przeszłości. Studiując zasady kształtowania wsi, które świadomie lub nieświadomie, wszakże przyniosły naszym angielskim wsiom urodę, wdzięk i charakter, można jaśniej określić pryncypia przydatne dla naszego współczesnego planowania i budownictwa wiejskiego.

Trzeba stwierdzić, że inaczej niż w opisanych przez Sharpa uwarunkowaniach angielskich, klimat społeczny i świadomość społeczna w Polsce znacznie mniej sprzyjają kultywowaniu wiejskiego dziedzictwa, czyli tej „gleby” bez której rozwój idei zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich ma bardziej werbalny, deklaracyjny, niż rzeczywisty charakter. Stosunek ogółu polskiego społeczeństwa do wiejskiego dziedzictwa, tak odmienny od brytyjskiego, ale także od bawarskiego, tyrolskiego, holenderskiego, duńskiego, szwajcarskiego itd. ilustruje nader wymownie fakt, że słowo „wieś” i jego pochodne funkcjonują w języku polskim jako pojęcia pejoratywne. Znaczna część mieszkańców Polski wstydi się swojego wiejskiego rodowodu i zaciera skrupulatnie wszelkie świadectwa własnej wiejskości. W tej sytuacji trudno oczekiwać dbałości np. o zachowanie odziedziczonych starych chałup, a tym bardziej o dostrzeganie ich walorów, a nie wyłącznie ich wad. Walorów, które (prawdopodobnie, dla wielu nieoczekiwanie) mają w sobie załączki rozwiązań, które z dzisiejszej perspektywy zakwalifikowalibyśmy do kategorii budownictwa zrównoważonego [9]. Niestety, nie udało się owych załączkowych pomysłów rozwinąć i przenieść na większą skalę do polskiej, współczesnej architektury wiejskiej. Zostały one, podobnie jak znaczna część wiejskiego dziedzictwa kulturowego wyrzucone przez „spadkobierców” na śmietnik, bez zgłębienia przydatności.

Na niewiele, jak widać zdał się program polskiego regionalizmu [10], współbrzmiający zgodnie z przytoczonymi poglądami Sharpa, choć opublikowany 20 lat wcześniej niż *Anatomy of the village*. Tym większa szkoda, gdyż ten zapomniany program był wyraźnie prekursorski wobec wielu postulatów uznawanych dziś za główne wyznaczniki kierunków i celów idei zrównoważonego rozwoju. Już wówczas jego autorzy wyraźnie dostrzegali zagrożenia jakim m. in. dla walorów przyrodniczo-krajobrazowych i architektury wsi będzie ekspansja pozbawionej hamulców urbanizacji napędzanej przez równie niepohamowaną industrializację. Cytowane poniżej tezy Prof. Jana Gwalberta Pawlikowskiego opublikowane w 1926 roku, mogłyby i dziś być w pełni akceptowane we współczesnych manifestach idei zrównoważonego rozwoju. Oto niektóre z nich: - *w właściwościach terytorialnych przechowuje się swoiste cechy narodowe zatarte dziś przez kosmopolityczny urbanizm*, - *zróżnicowanie terytorialne stanowi o bogactwie kultury w przeciwieństwie do martwej jednolitości kosmopolitycznego urbanizmu*, -itd. (Jak podobne są te poglądy do cytowanych wyżej myśli Mumforda, opublikowanych 40 lat później!). A nade wszystko, postulat zawierający wyzwanie dla projektantów realizujących idee zrównoważonego planowania przestrzennego i zrównoważonego budownictwa: - *zachowanie swoistych cech etnograficznych i przyrodniczych ma wysokie znaczenie dla*

nauki; ma nie mniejsze znaczenie dla twórczości artystycznej, będąc krynicą pomysłów świeżych i form niezwykłych.

Autentyczny rozwój zrównoważony obszarów wiejskich w Polsce jest ograniczony w swej realnej postaci, kwitnie on natomiast w formie werbalnej, deklaratywnej. Przyczyną jest m.in. zaprzepaszczenie wspomnianych wyżej, istotnych elementów dziedzictwa wiejskiego o których pielęgnowanie postulowali polscy regionaliści. Rzecz w tym, że właśnie wartości kulturowe wsi (nie tylko etnograficzne) oraz wartości przyrodniczo-krajobrazowe obszarów wiejskich są głównymi „ofiarami” dokonujących się tam od wielu dekad gwałtownych przeobrażeń struktury architektonicznej i planistyczno-przestrzennej, ulegając jeśli nie całkowitemu unicestwieniu, co stało się udziałem znacznej części drewnianej architektury wiejskiej, to daleko idącym, negatywnym zniekształceniom, co jest udziałem większości układów planistyczno-przestrzennych wsi w różnych regionach kraju. Tego rodzaju „wykorzenienie” prowadzi do, jak to ujął Pawlikowski, *martwej jednolitości kosmopolitycznego urbanizmu*, czyli do zasadniczego zaprzeczenia istoty zrównoważonego rozwoju

4. Rozwój zrównoważony a planistyczne liberum veto

W Studiach i Planach uchwalanych przez małopolskie gminy wiejskie nader często występuje wspomniana już wcześniej istotna rozbieżność pomiędzy deklaracjami na rzecz zrównoważonego rozwoju ogłaszanymi w części tekstowej owych dokumentów, a konkretnymi rozwiązaniami proponowanymi w rysunkach planów - sprzecznymi z ideą zrównoważonego rozwoju.

Wieś Jurgów, podobnie jak kilka innych wsi na Spiszu, charakteryzowała się do niedawna stosunkowo zwartym układem planistyczno-przestrzennym, co na tle wsi typowych dla Małopolski było ewenementem. W dodatku Jurgów wyposażony został w latach 60-tych w obwodnicę drogową, uwalniającą obszar zabudowy wiejskiej od ruchu tranzytowego. To również, w porównaniu z sytuacją innych małopolskich wsi było szczególnym, pozytywnym wyróżnikiem. Obydwa wymienione wyróżniki planistyczno-przestrzenne Jurgowa: zwarta zabudowa i obwodnica stwarzały bardzo dobrą podstawę dla działań modernizacyjnych dzięki którym można było zapewnić prawidłową realizację głównych funkcji wsi: mieszkaniową, rolniczą, rekreacyjną, a także wypełnić postulaty ochronne wynikające z sąsiedztwa Tatrzańskiego Parku Narodowego i unikatowej Doliny Białki.

Szansa realizacji rozsądnych, planistyczno-przestrzennych i architektonicznych działań modernizacyjnych została wszakże w poważnym stopniu unicestwiona przez samych mieszkańców Jurgowa. W uchwalonym przez Radę Gminy Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego, wskazano nowe tereny budownictwa mieszkaniowego, znacznie większe niż już istniejące, inicjując tym sposobem proces ekspansji zabudowy na obszary krajobrazu otwartego. Co gorsza, nowe tereny budowlane zlokalizowano po obu stronach istniejącej obwodnicy drogowej, przez co utraciła ona podstawowy sens swojego istnienia, zamieniając się w hybrydę, czyli drogę de facto wewnątrzosiedlową, tyle, że obciążoną międzynarodowym ruchem tranzytowym [11].

Podobną sytuację obserwować można w gminie Czarny Dunajec na Orawie, gdzie istniejąca obwodnica drogowa jest również obudowywana. Po obydwu jej stronach wyznaczono w Miejscowym Planie Zagospodarowania Przestrzennego całkiem nowe tereny mieszkaniowe, dodajmy, znacznie przekraczające powierzchnię dotychczasowych terenów budowlanych miejscowości [12]. Autorzy Studium UiKZ uchwalonego tuż po uchwaleniu MPZP (kolejność uchwalania, będąca sama w sobie paradoksem), zdając sobie sprawę z absurdalności decyzji o wyznaczeniu terenów mieszkaniowych po obydwu stronach istniejącej obwodnicy proponowali zarezerwowanie jeszcze innego pasa terenu dla budowy nowej obwodnicy, kiedyś w przyszłości. Szybko jednak z tego pomysłu wycofali się, gdyż został on zdecydowanie oprotestowany przez mieszkańców Czarnego Dunajca (!) [13].

Najbardziej oczywistą cechą koncepcji planistycznej zatwierdzonej w postaci Studium UiKZ oraz Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego dla podkrakowskiej gminy Michałowice [14] jest mechaniczne nałożenie na sieć istniejących dróg i drózek, pasm projektowanej zabudowy mieszkaniowej, wyznaczonych po obydwu

stronach jezdni. Tym sposobem obszary gruntów rolnych osaczone zostały przez otaczające je zewsząd tereny budowlane. Kształty owych obszarów rolnych, podobnie jak ich wielkości nie były przedmiotem planistycznych rozważań. Po prostu są one „resztówkami” pozostawionymi po wyznaczeniu terenów budowlanych. Niektóre z „resztówek” gruntowych są tak małe lub tak nieforemne, że rolnictwo stało się tam praktycznie niemożliwe. Tym bardziej, że w planie miejscowym nie zaprojektowano dróg gospodarczych umożliwiających dostęp do terenów rolnych. O takich elementach jak pasy wiatrochronne lub korytarze ekologiczne dla migracji zwierząt, także nie ma mowy w planie, dotyczącym jakby nie było gminy wiejskiej.

Opracowania planistyczne dla wymienionych wyżej gmin nie są przypadkami szczególnymi ani też wyjątkowo drastycznymi. Przeciwnie, zużywanie obszarów wiejskich na cele budowlane kosztem terenów rolniczych, bez analizowania relacji zmieniających się na niekorzyść zasobu terenów rolniczych, jest zasadą realizowaną powszechnie w polskich gminach. Oglądając Studia i Plany gmin, np.: Kościeliska, Lanckorony, Sieprawia, Stryszawy i setek innych, widać, że wyznaczone tam grunty budowlane stanowią jedną z największych powierzchniowo form użytkowania terenów, zajmując niekiedy blisko połowę obszaru gminy. Już sam ten fakt świadczy o poważnym zachwianiu równowagi osadniczo rolnej, ale ta nierównowaga, polegająca na iście rabunkowym zabudowywaniu powierzchni biologicznie czynnych jest jeszcze wyraźniejsza gdy weźmie się „pod lupę” sposób funkcjonowania i zagospodarowania poszczególnych działek budowlanych.

Rozproszenie zabudowy sprawia, że np. w gminie Siepraw liczącej ok. 8 tysięcy mieszkańców, w większości nie zajmujących się rolnictwem, łączna długość utwardzonych dróg publicznych wynosi aż 80 km! Do tego dochodzą nie ujmowane w ewidencjach drogi „prywatne”. Wiele z nich ma długość kilkudziesięciu metrów, ale łatwo można wskazać dość liczne przypadki dróg liczących nawet do 600 m. długości i obsługujących tylko jedną działkę budowlaną, niekoniecznie zagrodową. Regułą jest podłączanie osobnymi drogami dojazdowymi do drogi głównej poszczególnych, nawet sąsiadujących ze sobą działek budowlanych. Prowadzi to do sytuacji paradoksalnych, gdy np. na dziesięciometrowym odcinku drogi głównej włączają się do niej aż trzy prywatne drogi wyprowadzone tuż obok siebie, równolegle, z trzech sąsiednich działek. Nikt nie monitoruje tego rodzaju „konsumpcji” terenów, w związku z czym nie wiadomo jak wielka jest sumaryczna powierzchnia obszarów biologicznie czynnych zużywanych w poszczególnych gminach na budowę wszelkiego rodzaju dróg i podjazdów.

Pomimo rozproszenia zabudowy, nierzadkie są przypadki, szczególnie w gminach podmiejskich, niebawale intensywnego, często nawet niezgodnego ze standardami planistycznymi, zagęszczenia zabudowy. Realizowane bywają osiedla domów jednorodzinnych na tak małych działkach, że nie ma nawet możliwości wykrojenia choćby miniaturowego ogródka przydomowego. W „osiedlach” tych nie ma miejsca na zieleni, parkingi, chodniki, ogródek zabaw dla dzieci oraz inną postać przestrzeni publicznej itd. Nie można więc uznać tego rodzaju zespołów mieszkaniowych za wzorzec racjonalnego, zrównoważonego osadnictwa.

Przedstawione powyżej przypadki planistyczne ilustrują fakt, że w ramach funkcjonującego w Polsce systemu planistyczno-przestrzennego nie da się realizować idei zrównoważonego rozwoju. To niedostosowanie widać zarówno w szczegółach jak i w generalnej konstrukcji systemu planowania.

Jak widać, akceptowane bywają nawet takie rozwiązania, które są sprzeczne z podstawową wiedzą planistyczną i nie posiadają uzasadnienia w odpowiednich analizach studialnych. Zapotrzebowanie na nowe tereny budowlane nie jest poparte analizą potwierdzającą zasadność tworzenia planowanej wielkości rezerw terenowych [15]. Lokalizacja nowych terenów budowlanych nie jest poddana rzetelnej ocenie z punktu widzenia ochrony i przyszłego wykorzystania zasobów rolnych. Planowanie na obszarach wiejskich wykonywane jest pomimo braku koncepcji modernizacji rolnictwa, a także bez przeprowadzonych prac scaleniowych i parcelacyjnych, w związku z czym niewielkie są szanse na uporządkowanie krajobrazu w taki sposób, aby można było realizować bezkolizyjnie główne funkcje wsi: rolnicze, rekreacyjne i mieszkaniowe.

Wymienione trzy funkcje nie są postrzegane przez samych mieszkańców jako czynniki, które należy równoważyć w procesie kształtowania obszarów wiejskich. Zdecydowanie priorytetowo traktowana jest funkcja mieszkaniowa. Działka budowlana jest

konkretem. Działka budowlana usytuowana na skraju lasu, daleko od zwartej zabudowy wsi, stwarza ponadto właścicielowi uzasadnioną nadzieję na dodatkowy zarobek związany z obsługą turystów. Rolnictwo nie jest przez większość mieszkańców wsi brane pod uwagę jako źródło dochodu. Jego znaczenie staje się marginalne. Charakterystyczne dla Małopolski, rozdrobnione własności rolne, po przekwalifikowaniu ich na budowlane ulegają jeszcze większemu rozdrobnieniu. Rośnie w ten sposób liczba właścicieli gruntów a tym samym uczestników procesu planowania. Czy spełnia się w ten sposób zasada partycypacji społecznej czyli jednego z głównych postulatów zrównoważonego rozwoju? Z pewnością tak, ale ma ona więcej wspólnego z koniunkturalnym, skoncentrowanym na „tu i teraz”, destrukcyjnym *liberum veto* niż z twórczym, perspektywicznym zagospodarowywaniem obszarów wiejskich. Karykaturą partycypacji społecznej jest tego rodzaju udział właścicieli gruntów w planowaniu, który daje usprawiedliwienie planistycznemu oportunizmowi, jak to się stało w przypadku Jurgowa, Czarnego Dunajca oraz wielu innych wsi.

Rosnąca liczba nie zatrudnionych w rolnictwie ale mieszkających na wsi właścicieli gruntów rodzi wyzwanie, którego system planowania przestrzennego w Polsce prawdopodobnie nie jest w stanie podjąć, a w każdym razie, dotychczas go nie podejmuje. Przewaga „nierolniczych” mieszkańców wsi tworzy bowiem nacisk na sposób zagospodarowania obszarów wiejskich, który określany bywa mianem „rurbanizacji” [16] będącej wszakże przeciwieństwem zrównoważonego rozwoju na owych obszarach.

Krótko mówiąc, idea zrównoważonego rozwoju, której wyrazem jest umiejętność łączenia na obszarach wiejskich Piękna i Użyteczności nie jest w istocie realizowana. Użyteczność ma zdecydowany priorytet nad Pięknem. Ale i ona akceptowana bywa głównie w standardach niskich i w zakresie ograniczonym, zgodnie ze zbiorową wolą wyrażającą poziom świadomości lokalnej społeczności.

5. Poszukiwanie równowagi: miasto wśród wiejskich krajobrazów

Haverleij to zespół dziewięciu „miasteczek” (zwanych też ze względu na swoją formę architektoniczną „kasztelami”), rozmieszczonych na obszarze 225 hektarów w pobliżu s’Hertogenbosch w Holandii. Tereny dość zwartej zabudowy poszczególnych „miasteczek” i związanej z nimi komunikacji zajmują zaledwie 10% obszaru, którego pozostałą część stanowią zagajniki leśne, łąki, trochę pól uprawnych, rozlewiska rzeczne i mokradła chronione jako „obszary natury”, zielen parkowa i pole golfowe. Lokatorami tego zespołu liczącego łącznie ponad 1000 mieszkań są „nie-rolnicy”, którzy jednak cenią sobie możliwość codziennego przebywania wśród sielskich krajobrazów. Wystarczy kilka kroków, by z każdego „miasteczka” wydostać się na otaczające je, rozległe obszary świetnie utrzymanej zieleni. Korzystanie z wygod miasta i uroków wsi jednocześnie znajduje wielu zwolenników. Większość mieszkań jest użytkowanych. Miasteczek z Haverleij nie da się rozbudowywać na zewnątrz, ani też nadmiernie zagęszczać ich sieci kosztem obszarów zielonych. Zasada ta stanowi gwarancję stabilnej równowagi osadniczo rolnej na obszarze

Realizacja „miasteczek” lub innych form zabudowy intensywnej na obszarach wiejskich powinna opierać się na całościowej koncepcji planistycznej obejmującej dającą się wyodrębnić jednostkę krajobrazowo-geograficzną. W Haverleij jest to obszar zwany „Wyspą Aniołów” zamknięty w wieloboku utworzonym przez dawne kanały melioracyjne. W opracowanej przez P. Portoghesiego koncepcji zagospodarowania Vallo di Diano [17] jest to obszar znacznie większy, obejmujący rozległą dolinę rzeki Tanagro, ograniczoną z trzech stron pasmami wzgórz. Osadnictwo w dolinie, to 19 miasteczek gminnych i towarzysząca im, rozproszona zabudowa ludności rolniczej. Projekt przewidywał wprowadzenie nowych zespołów zabudowy zwartej, nawiązującej do zasad kształtowania „miast idealnych”. Miasteczka te, zaprojektowane nie tylko z myślą o strukturze mieszkaniowej, ale wyposażone w pięknie rozwiązane przestrzenie społeczne (place, rynki, obiekty usługowe) funkcjonować miały jako „magnesy” przyciągające stopniowo do siebie z obszarów rozproszonej zabudowy tych mieszkańców, którzy rezygnowaliby z pracy na roli. Atutem wzmacniającym ów trend byłaby rozbudowana sieć drogowa usprawniająca komunikację w obrębie doliny i ze światem zewnętrznym. Nowe i stare miasteczka otoczone zaprojektowanymi zielonymi plantami i rozciągającymi się poza nimi obszarami

uprawowymi stanowiłyby dominanty kompozycyjne w krajobrazie rolniczym, również starannie zakomponowanym na podobieństwo wielkiego, ozdobnego parku. Proponowane modyfikacje funkcjonalno-przestrzenne i kompozycyjno-krajobrazowe opierały się na respektowaniu i stałym doskonaleniu zasad uniwersalnych, które nawet w niniejszych uwagach były już przywoływane w odniesieniu do różnych sytuacji i okresów historycznych: do zasady równowagi osadniczo-rolnej oraz do zasady łączenia Piękna z Użytecznością. Wszakże z punktu widzenia niniejszych rozważań istotne jest i to, że w innych uwarunkowaniach powtarza się ten sam motyw małych miasteczek budowanych na obszarach wiejskich dla ludności nierolniczej, jako metoda realizacji wspomnianych wyżej zasad.

Idea „miasteczka” przewija się także w polskich, dziś niestety tylko teoretycznych poszukiwaniach stosownego modelu „habitatu” dla ludności nierolniczej na obszarach wiejskich. Spośród wielu dawniejszych i obecnych pomysłów, przywołajmy jako zbyt mało znane, chociaż niezwykle inspirujące koncepcje profesora Zbigniewa Wzorka. Rysowane w latach czterdziestych, na skrawkach cudem zdobywanego papieru, podczas zesłania Profesora do Uzbekistanu, były, jak wyznawał Autor, marzeniem o polskim miasteczku. Szkice przedstawiają różne warianty zabudowy mieszkalnej, tworzącej wraz z centralnie usytuowanym placem publicznym, ratuszem, kościołem i ośrodkiem społeczno-kulturalnym starannie zakomponowaną bryłę architektoniczną o zwartej formie i jednoznacznie określonych granicach. Pod względem kompozycyjnym miasteczka Profesora Wzorka są znacznie dojrzalsze kompozycyjnie niż obiekty z Haverleij i Vallo di Diano, ale ich sens planistyczno-przestrzenny i krajobrazowy jest bardzo podobny. Ich realizacja stworzyłaby nieporównanie lepsze warunki zamieszkania dla ludności nierolniczej niż jest to osiągalne w warunkach zabudowy rozproszonej, a jednocześnie przyczyniłaby się do zdecydowanie oszczędniejszego zużywania obszarów rolnych, łąkowych i leśnych na cele inwestycyjno-budowlane.

Profesor Wzorek miał rację zwracając uwagę na niewykorzystane walory modelu tzw. „miasteczka polskiego”. Takiego jak np. Głogów Małopolski, Sędziszów, Frampol i wiele innych. Miasteczka budowanego wśród pól, na obszarach latyfundiów, dla osadzenia w nim rzemieślników lub kupców, czyli ludności nierolniczej, choć w okresach dekonunktury, zwykle imającej się także pracy na roli. Miasteczko takie, zazwyczaj niewielkie (ale jednak większe od „miasteczek” Haverleij) reprezentowało nieosiągalną dziś dyscyplinę planistyczną: posiadało precyzyjnie wyznaczone granice zabudowy, czytelne zasady kompozycji, wyposażone było w rynek lub place i inne urządzenia służące celom publicznym...A przy tym, jakże oszczędne pod względem zużycia terenu były to rozwiązania, w porównaniu z obecnymi „wysypiskami” domów wolnostojących.

Oto np. Frampol: w swej oryginalnej postaci czysto zarysowany wśród pól kwadrat o boku 500 metrów (powierzchnia 25 ha). Gdyby wszyscy obecni mieszkańcy Frampola (ok. 1500 osób) zechcieli mieszkać w obrębie pierwotnie zaprojektowanego obrysu miasteczka, gęstości zaludnienia wyniosłaby brutto 60 osób/ha. Bez trudu można wskazać liczne przykłady wygodnych i pięknych osiedli mieszkaniowych, zrealizowanych w różnych krajach w systemie „nisko-gęsto”, w których ilość mieszkańców na hektar jest dwa lub nawet trzy razy większa (120 do 180 osób / ha brutto).

Jednak zarówno w przypadku Frampola jak i większości innych miasteczek, te czytelnie zarysowane konstrukcje urbanistyczne ulokowane wśród wiejskich krajobrazów zostały pozacierane przez późniejszą zabudowę, rozlewającą się niechłujnie na okoliczne obszary, bez respektu dla pierwotnej, zdyscyplinowanej propozycji projektowej. Zdyscyplinowane postępowanie planistyczne, niezbędne, gdy buduje się choćby nawet najmniejsze miasteczko, zostało zarzucone jako niewątpliwie trudniejsze od spontanicznego, „akcyjnego” działania inwestycyjnego, którego efektem jest chaotycznie rozproszona zabudowa. Wzorzec jakim mogły być polskie miasteczka, czyli model skoncentrowanego uporządkowanego w swej formie osadnictwa dla ludności nierolniczej na obszarach wiejskich, nie został zatem wykorzystany.

6. Podsumowanie

Można zrozumieć, że zrównoważony rozwój obszarów wiejskich bywa z konieczności realizowany w sposób, co zabrzmiał paradoksalnie – nierównomierny.

Nierzadko będzie i tak, że dom wzniesiony z uwzględnieniem kryteriów eko-architektury, tkwić może długo jeszcze w środku bezładnego „wysypiska” zabudowy rozproszonej w krajobrazie, stanowiącej żywe zaprzeczenie idei zrównoważonego rozwoju. Obiekty eko-architektoniczne, są mimo wszystko łatwiejsze w realizacji niż modernizacyjne koncepcje planistyczno-przestrzenne na obszarach wiejskich, które od dawna tkwią w stanie stagnacji koncepcyjnej i ealizacyjnej. Wspomniane obiekty mogą więc, przez swoją rosnącą liczebność czynić błędne złudzenie, że przeobrażenia na obszarach wiejskich odbywają się wedle zasad zrównoważonego rozwoju. Tak nie jest i trudno spodziewać się pozytywnej zmiany, jak długo struktura planistyczno-przestrzenna obszarów wiejskich kształtowana będzie wedle tak bezwzględnie górującej nad wszelkimi innymi racjami, zasady „liberum veto” niezliczonej liczby właścicieli gruntów.

Koncentracja zabudowy na obszarach wiejskich jest priorytetem realizowanym skutecznie także w tych krajach, gdzie poszanowanie prywatnej własności jest przecież nie mniejsze niż w Polsce. Wydaje się jednak, że tam, gdzie jest realizowana prawidłowa, zgodna z kryteriami zrównoważonego rozwoju koncentracja zabudowy, istnieje świadomość właścicieli gruntów, że są oni „akcjonariuszami” posiadającymi swoje udziały w ramach większego obszaru (gminy, zespołu gmin, jak w Vallo di Diano), za który siłą rzeczy też odpowiadają.

W Polsce brakuje dobrego, przykładowego wzorca modernizacyjnego zrealizowanego w skali planistyczno-przestrzennej na wybranym obszarze wiejskim. Dawniej można było liczyć na dobre chęci i możliwości wykształconych właścicieli ziemskich, którzy jak wspomniany we wstępie do niniejszych uwag Generał Chłapowski stworzyli tego rodzaju wzorzec, własnym sumptem w Turwii. Odwołujemy się do tego przykładu już od ponad półtora wieku. Czy dzisiejszej Polski nie stać na to, aby zrealizować współczesny wzorzec modernizacyjny, obejmujący w sposób kompleksowy zarówno przestrzeń rolno-leśno-łąkową wybranej wsi, jak i obszar zabudowy z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju we wszystkich skalach i zakresach projektowych?

Literatura i przypisy

- 1 Kowalewski, Adam: *W urbanizacyjnym chaosie* <http://www.ekonomia24.pl/arttykul/914384.html>
Rezerwy te znacznie wykraczają ponad obecne i przewidywalne potrzeby. W skali kraju składa się to na wielkości absurdalne. Wg danych opublikowanych przez Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej (*"Planowanie przestrzenne w gminach"* 2012) wielkość zarezerwowanych w uchwalonych planach miejscowych terenów mieszkaniowych wynosi 1214945 ha o chłonności 77 mln osób. W studiach uwarunkowań zasoby terenów dla budownictwa jednorodzinnego i wielorodzinnego (4388260 ha) odpowiadają potrzebom kraju liczącego 316 milionów osób! Na zabudowanie terenów mieszkaniowych wyznaczonych w uchwalonych planach miejscowych, w tempie określonym rocznymi obrotami na rynku działek budowlanych w Polsce potrzeba by było 900 lat.
- 2 Mumford, Lewis: *Technika i cywilizacja, Historia rozwoju maszyny i jej wpływ na cywilizację*, PWN Warszawa, 1966, ss. 123 i 337. Najnowszym potwierdzeniem słuszności obserwacji Mumforda jest spektakularny upadek Detroit, niegdyś kwitnącego, ale zbyt jednostronnie wyspecjalizowanego ośrodka przemysłowego.
- 3 Kowicki, Marek: *Wieś przyszłości jako alternatywa osadnicza miasta*, Seria Architektura, Wydawnictwo PK, monografia 222, Kraków 1997, ss 184 + 67
- 4 Kapuściński, Ryszard: *Lapidaria*, Warszawa, 2002
- 5 Cato, Marcus Porcius: *O gospodarstwie wiejskim*, (przekład i opracowanie: Stanisław Łoś), Biblioteka Narodowa, seria II, nr 103, Ossolineum, Wrocław-Kraków, s.15
- 6 Łuczyńska-Bruzda, Maria: *Zadrzewienia w krajobrazie otwartym. Ekologiczne i kulturowe przesłanki zadrzewień w krajobrazie rolniczym w świetle literatury przedmiotu*, Krajobrazy nr 6 (18), Studia i Materiały, Ośrodek Ochrony Zabytkowego Krajobrazu, Warszawa, 1995
- 7 Udział w tworzeniu teorii i praktyki posiada już wiele generacji wybitnych osobowości, poczynając od Johana Wolfganga Goethego, którego dzieło *Versuch, die Metamorphose...* (*Próba wytłumaczenia metamorfozy roślin*), było dla Rudolfa Steinera inspiracją do opracowania zasad

- rolnictwa biodynamicznego zgodnego z interpretacją przyrody na gruncie światopoglądu antropozoficznego, co z kolei zainspirowało kolejnych badaczy i praktyków do tworzenia nurtów określanych dziś ogólną nazwą „rolnictwa ekologicznego” (w tym także stosownych ośrodków badawczych, z których najstarszym, prowadzącym badania w zakresie biodynamiki jest założone w 1925 roku słynne centrum antropozoficzne w Dornach k. Bazylei). Rolnictwo ekologiczne jest bardzo ważnym elementem idei zrównoważonego rozwoju.
- 8 Sharp, Thomas: *The Anatomy of the village*, Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, 1946
 - 9 obszerne uwagi na temat wybranych, konkretnych pomysłów architektonicznych stosowanych w chałupach, posiadających cechy prekursorskie w stosunku do współczesnych rozwiązań architektonicznych zamieszczono w książce - Kowicki, Marek: *Patologie / wyzwania architektoniczno-planistyczne we wsi małopolskiej. Studium na tle tendencji krajowych i europejskich*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2010, ss 211
 - 10 za: Patkowski, Aleksander: *Regionalizm* [w:] *Dziesięciolecie Polski Odrodzonej 1918-1928*, red. Marian Dąbrowski, IKC, Kraków – Warszawa, 1928, ss 781-788. Program polskiego regionalizmu opublikowano w wydawnictwie Powszechnych Uniwersytetów Regionalnych w 1926 roku, a swoje postulaty dotyczące realizacji idei regionalistycznych w rozmaitych dziedzinach życia społecznego, gospodarczego, politycznego, kulturalnego itd. przedstawili profesorowie, m.in. Bukowiecki, Bujak, Brzeski, Estreicher i in.)
 - 11 [http://www.wrotamalopolski.pl/root_BIP: Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Gminy Bukowina Tatrzańska, uchwalone w 2012 roku.](http://www.wrotamalopolski.pl/root_BIP: Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Gminy Bukowina Tatrzańska, uchwalone w 2012 roku)
 - 12 [http://www.wrotamalopolski.pl/root_BIP: Miejscowy Plan Zagospodarowania Przestrzennego Gminy Czarny Dunajec, uchwalony w 2003 roku.](http://www.wrotamalopolski.pl/root_BIP: Miejscowy Plan Zagospodarowania Przestrzennego Gminy Czarny Dunajec, uchwalony w 2003 roku)
 - 13 http://www.wrotamalopolski.pl/root_BIP: Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Gminy Czarny Dunajec, uchwalone w 2003 roku. ss. 39-40, czytamy: W studium rezygnuje się ze wskazania przebiegu uprzednio wyznaczonych projektowanych tras obwodnicowych dróg wojewódzkich nr 957 i 958. Powyższe rozstrzygnięcie wynika z następujących okoliczności:
 - 14 -brak organizacyjnych, finansowych i prawnych możliwości skutecznego utrzymania rezerw terenu (zadania powyższe nie zostały wpisane do rejestru zadań rządowych; możliwość ich realizacji nie wydaje się realna - nie określony jest nawet przybliżony jej termin); gmina nie jest w stanie udźwignąć skutków finansowych wprowadzenia tych zadań do własnych dokumentów planistycznych,
 - 15 -w procesie sporządzania planu miejscowego gminy projektowane odcinki dróg były przedmiotem zdecydowanego sprzeciwu znacznej liczby mieszkańców gminy (kilkaset zarzutów do planu). Rozstrzygając o sposobie rozpatrzenia zarzutów Rada Gminy w drodze stosownej uchwały postanowiła o rezygnacji z rezerw terenu dla w/w inwestycji drogowych.
 - 16 http://www.wrotamalopolski.pl/root_BIP: Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Gminy Michałowice oraz Miejscowy Plan Zagospodarowania Przestrzennego, uchwalony w 2012 roku
 - 17 Gołąb-Korzeniowska, Monika: *Szwajcarskie podejście do kształtowania przestrzeni*, [w:] *Czasopismo Techniczne*, Kraków, z.13, rok 109, 4-A/2012, ss7-24. Autorka powołuje się na badania Instytutu Rozwoju Miast, zawarte w opracowaniu *Analiza polityki przestrzennej gmin krakowskiego obszaru metropolitalnego* Kraków, 2007). Píše: w 75% gmin małopolskich powierzchnia pod zabudowę wyznaczona w Studiach Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego wynosi statystycznie: ponad 1000m²/osobę. W 5 gminach małopolskich jest to nawet więcej niż 2000m²/osobę. Standardy szwajcarskie określają ten wskaźnik na poziomie nie przekraczającym 40m²/osobę.
 - 18 Merlin P., Choay F.: *Dictionaire de l'Urbanisme et de l'Amenagement*, Presses Universitaires de France, Paris, 1988, s.596
 - 19 Portoghesi, Paolo: *The Citta-Vallo di Diano Project. A polycentric city from the unification of ninteen municipalities*, katalog towarzyszący wystawie: *Paolo Portoghesi and the Citta-Vallo di Diano*, Italian Institute of Culture, New York, Edizioni Kappa, Roma 1981, ss 143

Equilibrium in spatial planning in rural areas. Selected issues

Marek Kowicki

*Division of Rural Architecture and Planning, Institute of Urban Design
Faculty of Architecture, Cracow University of Technology, kowicki@pk.edu.pl*

abstract: Sustainable rural development is an issue so large, so multi-threaded that it seems necessary to remind ourselves from time to time, what does it mean? An equilibrium, but between what and what? The first part of these remarks is that kind of "retreat" in reference to rules implemented by the General Chłapowski of equilibrium between Beauty and Utility in the development of rural areas. Apparently this is an universal principle, because it can be found in the works of various authors. Reminded also of the more specific criteria of the equilibrium which were regarded by these authors. Presented the numerous examples of the different evidences of disequilibrium in the rural planning which are tolerated in Poland, as well as opposite examples: the projects that the concentration of non-agricultural population of settlers try to use as a tool of balance between the building land or agricultural purposes on the rural areas. The notes ends a statement of necessity of executing in the chosen rural area in Poland the exemplary model of the planning and architectural complex modernization in the spirit of sustainable development.

keywords: rural areas, spatial development, landscape, spatial equilibrium / disequilibrium, settlement for non-farm population

Tradycyjne budownictwo wiejskie

Irena Niedźwiecka-Filipiak

*Instytut Architektury Krajobrazu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, e-mail: irena.niedzwiecka-filipiak@up.wroc.pl*

Streszczenie: Wieś zawsze była odbiciem tradycji i kultury regionu. Przejawiało się to w tradycyjnej zabudowie wiejskiej, której formy, kolorystyka i zdobnictwo były zróżnicowane i charakterystyczne dla danego miejsca. W dzisiejszej dobie powszechnej unifikacji, a także przemian wsi związanych z utratą jej dawnej funkcji rolniczej, tradycyjna zabudowa wiejska nie ma podstaw funkcjonalnych do dalszej jej kontynuacji. Jednak bardzo ważne jest dla zachowania odrębności wsi i miast, a także w wielu przypadkach charakteru regionalnego krajobrazu kulturowego, aby wszelkie działania związane z modernizacjami dawnej zabudowy, a także wprowadzaniem nowej zabudowy, szczególnie w historyczną tkankę były kierunkowane na odpowiednie kształtowanie przestrzeni wiejskiej. Formy ochrony konserwatorskiej w wielu przypadkach nie są skutecznym narzędziem zachowania tradycyjnej zabudowy wsi, ponieważ nie idą one równoległe ze świadomością właścicieli tych obiektów, którzy z obawy przed kosztami lub z nieświadomości wykonują modernizacje, które czasem bezpowrotnie zacierają dawne formy budownictwa. Podejmowane są działania zmierzające do zapobiegania tym procesom, jednak skala przekształceń jest tak duża, że wszystkie środowiska zarówno polityczne, jak i naukowe, a także lokalne powinny szukać wspólnych rozwiązań zmierzających do rozwiązania tego trudnego problemu.

Słowa kluczowe: obszary wiejskie, wieś, zabudowa wsi, modyfikacja zabudowy.

1. Wprowadzenie

Przez wiele stuleci wsie były miejscem zamieszkania ludności trudniącej się rolnictwem. Znajdowało to odzwierciedlenie w zabudowie wsi kształtowanej harmonijnie, zgodnie z naturą na potrzeby jej mieszkańców. W budownictwie wiejskim odbijała się specyfika regionu widoczna w kształcie przestrzennym miejscowości, formach zagród i budynków również tych, które nie pełniły funkcji rolniczej. To również materiały używane do budowy, nadające koloryt wsiom i zdobnictwo architektoniczne, a także zagospodarowanie całej przestrzeni wsi wraz z zielenią. Charakterystyczne wiejskie panoramy w terenie pofalowanym widoczne z daleka, a w płaskim zamykające horyzont wraz z przysadzistą zabudową wsi przeplatającą się z zielenią, czasem z dominantą wieży kościoła, to widok kojarzący się z tradycyjną wsią [1]. Wieś zmieniała swe oblicze wraz z upływem czasu, w zależności od postępu technicznego, zmian gospodarczych i politycznych. Największe przeobrażenia i kryzys dla tradycyjnych form zabudowy wsi przyszedł wraz z całkowitą zmianą sposobu życia jej mieszkańców. Dzisiejsi przedstawiciele społeczności wiejskiej to ludność, dla której głównym źródłem utrzymania nie jest już uprawa ziemi i hodowla i chów zwierząt. Obecnie tylko nieliczni, zawodowo czynni mieszkańcy wsi związani są z produkcją rolną. Z tego powodu dawna zabudowa przeznaczona do obsługi rolnictwa traci swą pierwotną funkcję, a nowa to przede wszystkim zabudowa mieszkaniowa, czasem usługowa lub o funkcji produkcyjnej. Te procesy zachodzą z różnym nasileniem w zależności m.in. od położenia w sieci osadniczej i właściwie można by było zaakceptować częściową urbanizację wsi i upodabnianie się jej do miasta. Jednak to właśnie wieś jest nośnikiem specyfiki regionalnej i jak się okazało już w latach 70. XX wieku w Europie zachodniej akceptacja urbanizacji wsi nie zatrzymała wpływu ludności wiejskiej do miast, a nawet pogłębiła ten proces. Z tego powodu powstał m.in. Program Odnowy Wsi, który miał na celu podniesienie standardu życia mieszkańców wsi z jednoczesnym zachowaniem jej tradycyjnego krajobrazu[2]. Takie podejście do wsi pozwala utrzymać jej odrębność

w stosunku do miasta i zachować równowagę, która jest istotna do funkcjonowania takiej struktury.

Tradycyjna wieś z jej elementami była inspiracją dla artystów nie tylko ludowych, ale również tych szukających natchnienia z dala od miejskiego zgiełku [3]. Nieodłącznie kojarzona z harmonijnym powiązaniem z otaczającą przyrodą zachęcała do wypoczynku, a w ostatnim czasie do przenoszenia się na wieś mieszkańców miast szukających ucieczki od wielkomiejskiego szumu. Najczęściej jednak nie mają oni zamiaru mieszkać w „stodołach” i zostać „wieśniakami”, tylko starają się szukać wzorców w dawnych dworach, albo w przykładach zagranicznych odbiegających od tradycji regionu. Główną przyczyną wyboru miejsca zamieszkania na wsi dla tych ludzi jest niestety nie sentyment do zwyczajów, lecz mała gęstość zaludnienia. Dawna wieś stanowiła zwartą społeczność, w której istniała zależność od sąsiadów oraz poczucie wspólnoty, czego przejawem były miejsca spotkań. Współcześnie w wielu miejscach mieszkańcy wsi, starają się być anonimowi bez chęci udziału w społeczeństwie obywatelskim. Kolejnym problemem jest unifikacja wynikająca z katalogów zabudowy jednorodzinnej, które proponują takie same rozwiązania dla całej Polski bez uwzględnienia specyfiki regionalnej. Można tu postawić następujące pytania. Jakim przekształceniom podlega tradycyjne budownictwo wiejskie? Czy jest możliwe zachowanie tradycyjnego krajobrazu wsi z jednoczesną jej modernizacją?

2. Przekształcenia tradycyjnej zabudowy wiejskiej

Między budownictwem wiejskim dawnym a dzisiejszym istnieje ogromna różnica. Na tradycyjną zabudowę wsi składała się m.in. zabudowa zagrodowa o charakterystycznych układach jedno lub wielobudynkowych, zabudowania folwarków, młyny wiatraki, tartaki folusze, gorzelnie i browary oraz inne obiekty przemysłowe, kościoły ze szkołami i karczmy, towarzyszące wsi założenia pałacowo-parkowe [4]. Dziś nowa zabudowa stawiana we wsi to przede wszystkim zabudowa mieszkaniowa w postaci pojedynczych budynków lub całych osiedli, czasem usługowa a dla ludności trudniącej się rolnictwem duże kubaturowo fermy zwierząt i wiaty na sprzęt rolniczy. Na szczególnie intensywne przemiany narażone są obszary podmiejskie ulegające suburbanizacji (*suburban areas*), a także te, w których silnie rozwija się turystyka (*rurban areas*). Dawne budownictwo wiejskie czytelne i jednorodne jest dość szeroko opisywane w odniesieniu do regionów w literaturze przedmiotu [m.in. 5, 6, 7, 8, 9]. Zależnie, między innymi od stopnia zamożności społeczności i dostępności materiałów budowlanych oraz panujących zwyczajów mamy dziś w Polsce miejsca z wsiami o dobrze zachowanej zabudowie drewnianej a także murowanej z kamienia, cegły lub o konstrukcji mieszanej. Wykończenie elewacji budynków z ekspozycją materiału powoduje zróżnicowany wygląd poszczególnych wsi skłaniając do nazywania ich np. wsią „białą”, „czerwoną” lub „w kratę” [10]. We wsiach pojawiają się specyficzne elementy (np. podlaskie piece i okiennice), które czasem mają lokalne nazwy i kojarzą się z konkretnym miejscem (opolskie „lauby” i „hażle”) [m.in. 11, 12, 13].

Problemy dotyczące kształtowania krajobrazu współczesnej wsi z uwzględnieniem tradycyjnej zabudowy wiejskiej związane są po pierwsze z przystosowaniem dawnej zabudowy do współczesnych potrzeb mieszkańców wsi, po drugie nawiązaniem nowych budynków do istniejącej już tkanki budowlanej. Do tego wszystkie te działania są szczególnie istotne w historycznie ukształtowanych częściach miejscowości, które można by przyrównać do miejskich „starówek”, jednak nie zawsze objętych ochroną konserwatorską. W wielu przypadkach nawet prawna ochrona nie gwarantuje zachowania tradycyjnego charakteru wnętrza miejscowości. Tradycyjne budownictwo drewniane, którego wiele zachowanych przykładów można znaleźć w Polsce północno-wschodniej było tematem Międzynarodowej Narady Konserwatorskiej w Ciechanowcu „Architektura drewniana Podlasia. „Stan wiedzy, a strategia ochrony materialnych i niematerialnych wartości”, która miała miejsce w grudniu 2012 roku. Brali w niej udział przedstawiciele samorządu, NIDu, naukowcy, a także przedstawiciele Białorusi i Litwy, w których to państwach problemy są podobne. W dyskusjach przewijał się bardzo ważny problem odpowiedzialności właścicieli za drewnianą zabytkową zabudowę, ponieważ nałożenie ochrony konserwatorskiej w wielu przypadkach odnosiło odwrotny skutek. Właściciele, prawdopodobnie z obawy przed ponoszeniem kosztów i odpowiedzialności za posiadany

zabytkowy dom, pozbywali się kłopotów w prosty sposób - zabudowa ulegała zniszczeniu w wyniku pożarów. Dotyczyło to wszystkich form drewnianej historycznej zabudowy. Inne problemy dotyczą zabudowy murowanej, która podlega różnym przeróbkom zmieniającym ich charakterystyczny wygląd.

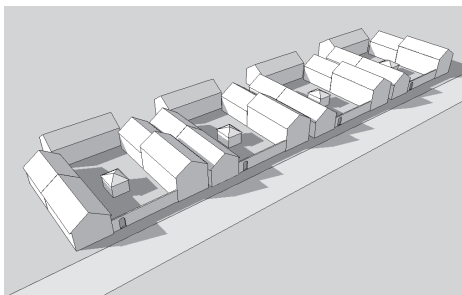
2.1. Modyfikacje tradycyjnej wiejskiej zabudowy

Modyfikacje tradycyjnej zabudowy wiejskiej przybierają różne formy. Są one wynikiem zmiany funkcji poszczególnych budynków, a także działań związanych z podniesieniem standardu ich użytkowania. Można je podzielić na dwie grupy. Pierwsza to przekształcenia całych układów tradycyjnej zabudowy np. zagród, druga to zmiany dotyczące poszczególnych obiektów, ich gabarytów, formy, wykończenia i detalu architektonicznego.

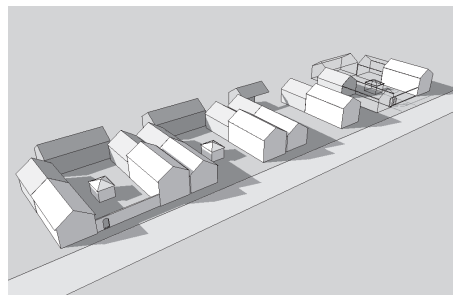
2.1.1. Przeobrażenia układów tradycyjnej zabudowy

Największym problemem w skali wsi jest zmiana funkcji zabudowy. W dawnych zagrodach pozostają budynki o funkcji mieszkalnej natomiast inne, które wcześniej miały za zadanie obsługi funkcji rolniczej najczęściej nie są już potrzebne, a jedynie stwarzają problem ich użytkowaniem. Z tego powodu te obiekty powoli „wypadają” i tworzy się nowa przestrzeń wiejska, odmienna od historycznej. Ma to przede wszystkim znaczenie w takim krajobrazie wsi, w którym zabudowa zagrodowa tworzyła zwartą strukturę, z jednolitym podziałem na poszczególne działki. Na przykład, jeśli w ich układzie znajdowały się duże budynki składowo-gospodarcze zamykające widok na otaczające pola, to w przypadku ich likwidacji tworzy się nowe wnętrze wsi z otwarciem widokowym na otoczenie wsi. Rysunek 1 pokazuje schemat fragmentu zabudowy wsi (charakterystycznej dla terenu południowej Opolszczyzny), z zagrodami wielobudynkowymi z dwoma budynkami mieszkalnymi ustawionymi szczytowo do drogi, z których jeden był domem gospodarzy, a drugi domem wycużnym dla ich rodziców. Na ich przedłużeniu znajdowały się zabudowania m.in. inwentarskie poprzecznie zamknięte budynkiem stodoły. Od strony ulicy znajdował się mur z bramą i furtą a na środku podwórza płyta gnojowa czasem gołębnik. Całość tworzyła jednorodną pierzeję ulicy. Rys. 2 pokazuje symulację likwidacji kolejnych zabudowań w tych zagrodach, przez co powstaje nowy układ zabudowy ze zmienionym charakterem pierzei ulicy.

Likwidacja zabudowań gospodarczych w zagrodach potęguje także chaos przestrzenny we wnętrzu wsi, w których zabudowa zagrodowa nie przyjmowała takich regularnych form. W tym przypadku część obiektów jest w złym stanie technicznym, powstają puste przestrzenie, a nowa zabudowa lokalizowana jest najczęściej na obrzeżach miejscowości, stanowiąc kontrast pomiędzy starą i nową częścią wsi.



Ryc. 1. Schemat układu dużych tradycyjnych zagród frankońskich typowych dla południowej Opolszczyzny, oprac. P. Filipiak



Ryc. 2. Schemat modyfikacji zagród frankońskich, oprac. P. Filipiak

Przekształceniom widocznym w krajobrazie poszczególnych wsi podlegają również dawne folwarki [14]. Te rozległe obszarowo struktury często wtopione były w tkankę wsi a budynki gospodarcze oraz mieszkania robotników rolnych nierzadko korespondowały formą z otaczającą zabudową. Po 1945 roku ogromne kubatury obiektów, które składały się na cały dawny majątek miały jeszcze uzasadnienie do dalszego bytu, gdy były miejscem

dawnych Państwowych Gospodarstw Rolnych. Popadały w ruinę dawne gorzelnie, browary, młyny i inne zabudowania wiejskiego przemysłu, ale pozostała struktura, co prawda najczęściej pozbawiona remontów i modernizacji dalej funkcjonowała. Zmiana nastąpiła w momencie rozwiązania PGR-ów w 1991 roku i przejściu ich przez Agencję Własności Rolnej Skarbu Państwa (obecnie Agencja Nieruchomości Rolnych), która zajęła się restrukturyzacją i prywatyzacją mienia. Spowodowało to w wielu przypadkach skomplikowaną sytuację własnościową w obrębie jednego folwarku utrudniającą prawidłowe podejście do modernizacji zarówno pojedynczych obiektów, jak i całej jego struktury. Z tego powodu wiele folwarków znikło i znika nadal z krajobrazu wsi. Zachowanie folwarku było i jest możliwe najczęściej w przypadku znalezienia dla niego nowej jednorodnej funkcji. Jako przykłady pozytywnych działań, które zachowały tę tradycyjną formę zabudowy wiejskiej z nową jakością można podać chociażby Krzyżową, w której folwark z pałacem jest obecnie siedzibą fundacji „Krzyżowa” i ma funkcję hotelowo-gastronomiczną, albo Kamień Śląski, gdzie utworzono atrakcyjne centrum sanatoryjne na bazie bardzo już zdewastowanych zabudowań folwarcznych i pałacu. Dla krajobrazu wiejskiego były to obiekty o tyle istotne, że duże kubatury folwarków wraz z towarzyszącą im zabudową przemysłową stanowiły dominanty i elementy charakterystyczne odróżniające wsie od siebie. Opisując problemy związane z folwarkami nie sposób pominąć założen pałacowo-parkowych, które są kolejnym bardzo szerokim tematem. Były to obiekty, które również wyróżniały się w wiejskim krajobrazie swą indywidualną formą i gabarytem, a nierzadko nadawały charakter położonej w bezpośrednim sąsiedztwie wsi. Jednak w niniejszym artykule celowo pominięto ich analizę, gdyż problematyka ta jest odrębnym, szeroko opisywanym zagadnieniem.

2.1.2. Modyfikacje budynków

We wsiach wiele się zmienia także w zakresie wyglądu poszczególnych budynków. Problem ten dotyczy wszystkich form zabudowy wiejskiej z wyłączeniem kościołów, które najczęściej zachowały swą pierwotną formę i detal, pomijając historyczne przebudowy wynikające z trendów globalnych związanych ze zmianami powszechnie obowiązujących stylów architektonicznych. Zabytkowe kościoły, jako jedne z nielicznych obiektów, objętych we wsiach ochroną prawną, otaczane są dodatkowo opieką samych parafian, którzy odnoszą się do nich z szacunkiem. Problem pojawia się w momencie braku wiernych np. w sytuacji dawnych wsi wielowyznaniowych, w których istniały dwa lub nawet więcej miejsca kultu religijnego, a obecnie często użytkowany jest tylko jeden obiekt. Pozostałe popadają w ruinę lub co gorsze stają się rezerwuarem materiałów budowlanych, tak jak nierzadko miało to miejsce na Dolnym Śląsku.

Konieczne ze względu na dostosowanie do współczesnych standardów, remonty i modernizacje budynków mogą być prowadzone w taki sposób, że w efekcie końcowym powstaje obiekt, który nawiązuje do cech charakterystycznych zabudowy danej wsi. Jednak często zdarza się, że mieszkańcy wsi, w ich mniemaniu dokonują niewielkich zmian, które jednak zdecydowanie wpływają na przeobrażenie wyglądu budynku, a co za tym idzie wizerunku całej wsi. Modyfikacje te można podzielić na dotyczące:

- bryły i proporcji budynku,
- kąta nachylenia połaci dachu,
- wielkości, proporcji i położenia otworów okiennych oraz drzwiowych wraz z podziałami w ich obrębie,
- wprowadzenia doświetlenia poddasza w postaci lukarn, okien połaciowych,
- pokrycia, kolorystyki dachów,
- wykończenia i kolorystyki elewacji,
- detalu architektonicznego.

Wszystkie wymienione przekształcenia zabudowy nabierają negatywnego charakteru, jeśli zmieniają wnętrze miejscowości, szczególnie, gdy przybierają masowy charakter.

Skalę przekształceń – modyfikacji tradycyjnej zabudowy wiejskiej można pokazać na przykładzie studiów ruralistyczno-historycznych wsi wykonywanych na zlecenie Opolskiego Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków, a także planów rozwoju i inwentaryzacji zasobów wsi wykonywanych na Dolnym Śląsku w ramach programu Odnowy Wsi. Jako przykład wybrano wieś Grobniki na Opolszczyźnie, która jest w całości objęta ochroną konserwatorską.

Wieś Grobniki to ulicówka, natomiast wg Orłowskiego [15] to forma okolnicy, której centralny plac miał znaczenie obronne. Jej kształt przestrzenny determinuje przepływający przez nią ciek Psina, który rozdziela ją na dwie części. W literaturze spotyka się wynikające z tego faktu nazwy obu części wsi jako dolną i górną, co jest również wynikiem ukształtowania terenu. Wzdłuż Psiny, po obu jej stronach biegną dwie równoległe ulice, pomiędzy którymi, na terenie zalewowym początkowo lokalizowano pojedyncze zabudowania chałupników. Po zewnętrznej stronie obu dróg znajdowały się duże wielobudynkowe gospodarstwa, a całość spinał po zachodniej stronie miejscowości zamek joannitów z parkiem, folwarkiem i kościołem. W wyniku rozbudowy wsi wykształciły się poprzeczne ulice i powstała struktura wielodrożna. Obecna zabudowa zagrodowa wsi to obiekty w większości murowane, tynkowane powstałe w przeważającej części w XVIII i na początku XIX w. Układ ruralistyczny wsi Grobniki został wpisany do rejestru zabytków w 1964 roku, co zapobiegło, pomimo braku miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego niekontrolowanemu rozprzestrzenianiu się zabudowy, będącego wynikiem bezpośredniego sąsiedztwa z miastem Głubczyce. We wsi tej dodatkowo wpisano 38 obiektów do rejestru zabytków, w tym park, kościół, plebanie, kaplicę św. Barbary, dawne komturstwo joannitów całe zagrody oraz domy, spichlerze, bramy i furty w zagrodach. W gminnej ewidencji zabytków znalazło się dodatkowo 60 obiektów. Wydawać by się mogło, że powinno to zagwarantować także zachowanie wizualnego charakteru miejscowości, jednak wątpliwości rodzą się już w momencie przyjazdu do wsi, ponieważ trudno dopatrzeć się w jej zabudowie cech, które spowodowały taką jej ochronę.

W opracowaniu Autorka przyjęła 3 stopnie modyfikacji budynków [16]:

0. Zachowane w niezmienionym stanie.

1. Drobne zmiany w zdobnictwie, wymiana stolarki w tych samych proporcjach otworów.
2. Zmiana proporcji okien, usunięcie detalu architektonicznego bez zmiany bryły i dachu.
3. Zmiana układu otworów okiennych i drzwiowych oraz ich proporcji. Likwidacja detali architektonicznych (gzymsy, obramienia okien, naroża), zmiana geometrii dachu, zmiana kształtu bryły budynku).

Przyjęte stopnie modyfikacji zabudowy pozwoliły na określenie zmian we wszystkich budynkach we wsi. Zestawienia pokazujące obraz przemian zabudowy powstałej przed 1945 rokiem przedstawiano ulicami z podziałem na budynki mieszkalne, gospodarcze, wiaty i garaże. Okazało się, że prawna ochrona całej wsi nie spowodowała należytego podejścia do poszczególnych budynków. W efekcie wiele „niewygodnych” obiektów, przede wszystkim gospodarczych zniknęło w wyniku braku pomysłów na nadanie im nowej funkcji, a w konsekwencji nie prowadzenia remontów. Pozostałe trudno traktować jako podstawę kompleksowej jednorodnej struktury. Stosunkowo spójny charakter we wsi ma ulica Szkolna, na której zachowanych zostało względnie dużo budynków pochodzących sprzed 1945 r. Jednak i tutaj były trudności z identyfikacją dzisiejszej zabudowy na zdjęciach znajdujących się w archiwum Wojewódzkiego Opolskiego Konserwatora Zabytków, ponieważ część fotografii posiadała jedynie podpis z nazwą ulicy bez numeru. W wielu przypadkach modyfikacje zabudowy były tak duże, że dopiero wnikliwa analiza i zestawienie zdjęć razem pozwalało na ich identyfikację. Jeden z przykładów przedstawiono na rys. 3,4,5,6, pokazujący kolejne etapy modyfikacji zagrody nr 38, w której dom mieszkalny, brama i dwie furty mają wpis do rejestru zabytków z 1966 roku. Zmieniono kształt dachu, kąt nachylenia połaci i pokrycie, wymieniono stolarkę na pozbawioną podziałów i zlikwidowano częściowo mur z bramą oraz jego zwieńczenie. W innych zagrodach zlikwidowano spichlerze, częściowo zabudowę gospodarczą, mury, bramy i furty. Natomiast przy prowadzonych remontach i modernizacjach budynków najczęściej likwidowano gzymsy, zmieniano układ otworów okiennych, wymieniano stolarkę okienną na pozbawioną podziałów i wprowadzono jaskrawą kolorystykę elewacji, co w przyjętej skali modyfikacji oznaczało najczęściej stopień drugi, a nawet trzeci.

Wykres na rys. 7 przedstawia ilościowy rozkład poszczególnych grup zachowanych budynków sprzed 1945 roku w zależności od stopnia ich modyfikacji na ulicy Szkolnej. Największym wpływem modyfikacji uległy budynki mieszkalne, natomiast gospodarcze w większości zachowały dawny wygląd. Jednak to zabudowa mieszkalna w Grobnikach usytuowana jest bezpośrednio przy drodze tworząc pierzeje ulic. Obiekty gospodarcze

znajdują się w głębi zagród i często są niewidoczne z ulicy. Stopień modyfikacji budynków mieszkalnych wpływa, więc znacząco na wizerunek wsi, zmieniając jego charakter.



Rys. 3. Grobniki ul. Szkolna 38. Stan w 1934 r.
Źródło: Arch. O.W. K. Z.



Rys. 4. Stan w 1943 r. Źródło: Arch. O.W. K. Z.

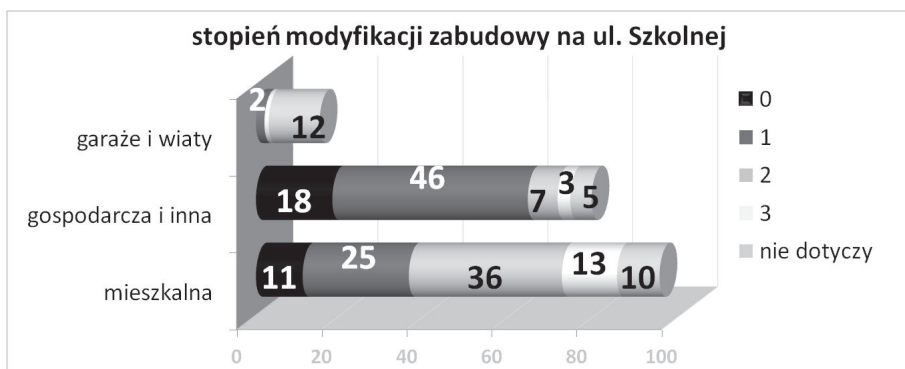


Rys. 5. Stan w 1973, Źródło: Arch. O.W. K. Z.



Rys. 6. Obiekt po modyfikacjach, Stan w 2012 r.
fot. I. Niedźwiecka-Filipiak

Tradycyjny pozostaje tutaj jedynie układ budynków, lecz ze względu na utratę funkcji i stan techniczny budynków niezmodyfikowanych, najczęściej dawnych gospodarczych trudno mówić obecnie o atrakcyjnych walorach krajobrazu kulturowego tej wsi, przez co problematyczna jest w tej chwili zasadność utrzymania ścisłej ochrony konserwatorskiej w całej miejscowości.



Rys. 7. Modyfikacja budynków na ulicy Szkolnej we wsi Grobniki na Opolszczyźnie, oprac. P. Filipiak

W tej miejscowości konserwator był jedynie utrudnieniem w zamierzonych działaniach. Podczas prowadzonych rozmów wielu z mieszkańców nie rozumiało wartości zabytkowego charakteru swojej miejscowości i nie kryło niezadowolenia z faktu, że np. dachy muszą być kryte czerwoną dachówką, ponieważ wiąże się to z dużym kosztem przy remontach, na który nie wszystkich mieszkańców stać.

3. Działania zmierzające do zachowania wizerunku wsi z uwzględnieniem jej tradycyjnej zabudowy

Jedną z metod ratowania tradycyjnej zabudowy wiejskiej jest tworzenie sieci skansenów, które mogą jednocześnie pokazywać w czystej formie tradycyjne wzorce zabudowy i sposób życia mieszkańców wsi, a także być inspiracją do tworzenia nowych. Jednak nie rozwiązuje to problemów w istniejących wsiach, których krajobraz i przestrzeń, aby były harmonijne muszą mieć pomysł na teraz, a przede wszystkim na przyszłość.

Na terenie naszego kraju podejmowane są także działania zmierzające do określenia wzorców do stosowania w danym regionie, które odpowiadałyby zarówno jego specyfice, jak i współczesnym standardom. Charakterystyczny dla regionu nowy dom mieszkalny był celem Konkursu na „Dom Sudecki o cechach architektury regionalnej ziemi kłodzkiej” zorganizowanego przez Powiat Kłodzki w 2009 r. Kolejny Konkurs zorganizowany był przez Urząd Marszałkowski Województwa Opolskiego na współczesny „Dom Opolski”, a także w 2010 r. przez Samorząd Województwa Warmińsko-Mazurskiego na dom jednorodzinny przeznaczony dla terenów wiejskich województwa warmińsko-mazurskiego. Był to ogólnopolski konkurs architektoniczny „Twój dom-dialog z tradycją” [17]. Zwycięskie projekty umieszczono w katalogach dostępnych dla mieszkańców danego regionu. Część z nich była zainspirowana cechami regionalnymi, natomiast w każdym były również propozycje, które miały być współczesnym rozwiązaniem pasującym do danego miejsca. Trudno się jednak oprzeć wrażeniu, że niektóre z nich były identyczne w trzech zaprezentowanych katalogach skierowanych do jakże odmiennych regionów. Pojawiają się także opracowania poszukujące wartości i możliwości wykorzystania dawnej zabudowy wiejskiej, na przykład budynków inwentarskich [18], a także propozycja kreowania nowego wizerunku wsi z wykorzystaniem jej architektonicznych i krajobrazowych „wyróżników” [19].

Kolejne działanie mające na celu uzmysłowienie wartości posiadanego dziedzictwa to konkurs na najlepiej zachowany zabytek drewniany, który organizowany jest z inicjatywy Urzędu Marszałkowskiego Województwa Podlaskiego od 2007 roku. Wydawane publikacje zawierające nagrodzone i wyróżnione zabytki pokazują tradycyjne wzorce i piękno zabudowy, przede wszystkim wiejskiej. Jako kuriozum można podać, że otrzymaną nagrodę jeden ze zwycięzców przeznaczył na modernizację nagrodzonego obiektu w wyniku, której został on całkowicie przekształcony i zmieniony bez zachowania jego tradycyjnej formy. Jak wskazuje podany przykład wsi Grobniki, nie wystarczy objęcie ochroną prawną miejscowości, aby działania związane z zachowaniem tradycyjnej zabudowy wsi były skuteczne. Muszą one być zaakceptowane i prowadzone wraz z jej mieszkańcami. Takie podejście do dziedzictwa kulturowego wsi ma wspomniany wcześniej Program Odnowy Wsi, który rozpoczął się już w latach 70. XX wieku w Niemczech. Był on odpowiedzią na urbanizację wsi, co podnosiło jakość i standard życia jej mieszkańców, jednak nie zatrzymywało ich odpływu do miast. Dopiero powrót do dawnych zwyczajów tradycji przenoszonych z pokolenia na pokolenie, zwrócenie uwagi na wartość tradycyjnej zabudowy wiejskiej i wiejskiego krajobrazu, podnoszenie standardu zabudowy z zachowaniem jej tradycyjnego wyglądu zmieniło podejście mieszkańców do swoich miejsc zamieszkania, wzbudzając w nich poczucie dumy z tych miejsc i własnej wartości. Jednocześnie ideą działania tego programu była inicjatywa oddolna. To właśnie mieszkańcy muszą chcieć podjąć inicjatywę. To oni tworzą strategię działań na przyszłość i wizję rozwoju miejscowości. Program ten realizowany jest w Polsce od 1997 roku i obecnie objął województwo opolskie dolnośląskie i wielkopolskie, w fazie początkowej jest na Podkarpaciu i w województwie warmińsko-mazurskim. Koordynatorami są Urzędy Marszałkowskie, które zapewniają różne instrumenty wsparcia. Mieszkańcy wsi uczestniczący w tym programie mają świadomość, że ich wieś ma pozostać wsią, że tradycyjne elementy budownictwa są wartością w ich miejscowościach, często odróżniając

wsie od siebie. Jednak najtrudniej uzmysłowić mieszkańcom co te pojęcia znaczą, a także na co zwracać uwagę i jakie działania podejmować aby nie zatrzeć dawnego charakteru miejscowości. Z tego powodu włączani są specjaliści, organizowane są tematyczne szkolenia, jednak największą wartość mają podróże studyjne pokazujące prawidłowe działania we wsiach realizujących program od dłuższego czasu. Jedną z wsi prezentowanych podczas takiego objazdu była wieś Konken w Niemczech, w której cała zabudowa zagrodowa wsi została poddana modernizacjom i adaptacjom, a także wielu obiektom nadano nową funkcję. Jednak, aby zachować tradycyjny charakter zabudowy we wsi narzucono pewne ogólne rygory, np. przy adaptacjach budynków gospodarczych na funkcje mieszkalne należało zachować proporcje budynków i ich formy a także wrota [20]. Większość budynków wyglądała jak przedstawiony na rys. 8, natomiast jeden zmieniono na okazałą rezydencję z wrotami będącymi reprezentacyjnym wejściem do budynku (rys. 9).



Rys. 8. Przykład zespólnego budynku mieszkalno-gospodarczego. Konken, Niemcy, fot. I. Niedźwiecka-Filipiak



Rys. 9. Budynek o funkcji mieszkalnej w dawnym budynku gospodarczym. Konken, Niemcy 2004, fot. I. Niedźwiecka-Filipiak

Innym mobilizującym działaniem są konkursy na najpiękniejszą wieś w poszczególnych województwach, a co dwa lata na najpiękniejszą wieś europejską.

Jednak nie zawsze działania prowadzone w ramach programu Odnowa wsi i obejmującego w szerszym zakresie podobne działania Programu Leader są do końca skuteczne w zakresie zachowania tradycyjnego charakteru miejscowości. Motywacja do działań nie wystarczy do uzyskania pozytywnego efektu w wykonywanych projektach, jeśli nie są one wspierane fachowym doradztwem. Jak wykazują badania wiele projektów wykonanych ze środków finansowych przyznanych w ramach Programu Odnowy Wsi nie nawiązuje do tradycyjnego charakteru miejscowości [21]. Projekty nie mają indywidualnego charakteru dobranego do danej miejscowości, często materiały użyte są na zasadzie najtańszych, a nie charakterystycznych dla miejsca, a modernizacje budynków zmieniają ich pierwotny charakter i wygląd. Z tego względu powstała kolejna inicjatywa Wojewody Opolskiego wraz z Zespołem ds. ochrony dziedzictwa kulturowego wsi Opolskiej wprowadzenia w Polsce sieci Najciekawszych Wsi. Inspiracją do pomysłu była Stowarzyszenie Najpiękniejszych Wsi Francuskich „Plus Beaux Villages de France”, którego działanie zostało zapoczątkowane w tym kraju w 1982 roku. Główny nacisk położono tu na ratowanie dziedzictwa kulturowego wsi, a uczestnictwo miejscowości w sieci jest uwarunkowane uzyskaniem pozytywnej oceny komisji weryfikującej. Program opiera się na jakości, wizerunku i rozwoju wsi. Jakość rozumiana jest m.in. jako zachowane materialne dziedzictwo danej wsi, w tym tradycyjna zabudowa i krajobraz. Brak tych elementów, często uniemożliwia przystąpienie miejscowościom do Stowarzyszenia. Natomiast dzięki utworzeniu sieci wsi o cennych walorach kulturowych, z możliwością zwiedzania i spędzania czasu w poszczególnych miejscowościach, wspólnym logo i marką, która daje pewność jakości oferowanego „produktu” zainteresowanie turystów jest coraz większe. Jest to przykład, który pokazuje, że cała zabytkowa tkanka budowlana wsi nie stanowi problemu, a dodatkowo stwarza możliwość zarobkowania. Program ten znalazł naśladowców w Walonii, Quebecu, Włoszech i Japonii, a zapoczątkowano go także w Rumunii, Hiszpanii i Saksonii. Niestety, w wielu miejscach Polski wdrożenie takiego

działania może stwarzać problemy, gdyż tradycyjna zabudowa wiejska uległa już znacznym modyfikacjom i uzyskanie odpowiedniej jakości może być już nieosiągalne.

4. Podsumowanie

Tradycyjne budownictwo wiejskie to temat, który może być nie tylko zagadnieniem rozpatrywanym w kontekście przeszłości i zamkniętego rozdziału polskiej wsi. Może stać się ono inspiracją do poszukiwania nowych rozwiązań we współczesnym budownictwie na obszarach wiejskich. Zachowanie *in situ* najcenniejszej dawnej zabudowy wiejskiej jest możliwe, gdy znajdzie ona uzasadnienie poprzez nadanie jej nowej funkcji i odpowiedniego standardu. Jednak ważne jest, aby przy tym zachowana zastała jakość związana z tradycyjnym wizerunkiem wsi i jej elementami charakterystycznymi. Istotne jest, aby pokazać mieszkańcom wsi, że tradycyjna zabudowa wsi to także „produkt na sprzedaż”, na którym można zbudować swoją przyszłość. Nie jest to zadanie łatwe, ale przykłady z innych krajów pozwalają mieć nadzieję, że również u nas znajdą się wsie, w których będzie to możliwe.

Literatura

- 1 Borcz Z. Krajobraz nizinnych wsi dolnośląskich, Wyd. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław, 1999.
- 2 Niedźwiecka-Filipiak I., Kuriata Z., Architektura krajobrazu w Programie Odnowy Wsi Opolskiej, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 2010.
- 3 Borcz Z. Zmiany w krajobrazie wsi na przełomie XX i XXI wieku, „Architektura Krajobrazu”, 2005, s. 4-9.
- 4 Borcz Z. Architektura wsi. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 2003.
- 5 Ciołek G., Regionalizm w budownictwie wiejskim Polsce, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 1984.
- 6 Tłoczek I. Dom mieszkalny na polskiej wsi, PWN, Warszawa 1985.
- 7 Gładyszowa M. Górnośląskie budownictwo ludowe, Zakład Narodowy Imienia Ossolińskich, Wyd. PAN, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk, 1978.
- 8 Trocka-Leszczynska E. Wiejska zabudowa mieszkaniowa w regionie sudeckim. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995.
- 9 Liżewska I. Tradycyjne budownictwo wiejskie na Warmii i Mazurach, Stowarzyszenie WK. „Borussia”, Olsztyn 2007.
- 10 Szewczyk J. Piec i komin w tradycyjnym budownictwie ludowym Podlasia, Oficyna Wydawnicza Politechniki białostockiej, Białystok 2011.
- 11 Wijas-Grocholska E., Jasińska M., Rzecz o budynkach z czerwonej cegły na wsi opolskiej z przełomu XIX/XX wieku, Architektura wsi Śląska Opolskiego, Opole 2011.
- 12 Wijas-Grocholska E., Lauby, Architektura wsi Śląska Opolskiego, Opole, 2009.
- 13 Wijas-Grocholska E. Wzory na połaciach wiejskich dachów, Architektura wsi Śląska Opolskiego, Opole, 2011.
- 14 Gubańska R. Budynki i budowle dolnośląskich folwarków, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2009.
- 15 Orłowski M., Grobniki – rys historyczny, 2004, Kalendarz Głubczycki 2005, Głubczyce, s. 77-86.
- 16 Niedźwiecka-Filipiak I., Filipiak P. Wpływ stopnia modyfikacji zabudowy na wartość kulturową wsi, w: Wartościowanie w ochronie i konserwacji zabytków, Wyd. ICOMOS, s. 151-160.
- 17 <http://architektura.warmia.mazury.pl/> (dostęp maj 2013).
- 18 Drożdż-Szczybura M. O wyrazie architektonicznym budynków inwentarskich. Od kraalu do farmy pionowej. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011.
- 19 Niedźwiecka-Filipiak I. Wyróżniki krajobrazu i architektury wsi Polski południowo-zachodniej, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław 2009.
- 20 Entwurfsdokumentation Konken SS 95. Ortsentwicklungs-und Ortserneuerungsplanung, Materialien zur Raum-und Umweltp lanung Nr. 83, Universität Kaiserslautern, 1996.
- 21 Wilczyński R. Jak efektywnie prowadzić rewitalizację wsi i unikać dotychczasowych błędów, w: Problemy planistyczne jesień 2012, seminarium szkoleniowe, ZOIU 2/2012, Wrocław, s.5-20.

- 22 Sieci Najpiękniejszych Wsi. Opracowanie eksperckie projektu – możliwości utworzenia sieci, pod red. R. Wilczyńskiego, Opole 2012, maszynopis.

Traditional rural buildings

Irena Niedźwiecka-Filipiak¹

¹ *Institute of Landscape Architecture, The Faculty of Environmental Engineering and Geodesy,
Wrocław University of Environmental and Life Sciences,
e-mail: irena.niedzwiecka-filipiak@up.wroc.pl*

Summary: The village has always been reflection of the tradition and culture of the region. It was manifested in traditional rural buildings, which forms, colouring and ornamentation were varied and specific for each region. In today's era of widespread unification and transformation of the village connected with losing its former agricultural function, the traditional rural buildings have no reason to maintain their functional continuity. However, it is very important to preserve individual features of villages and towns, and in many cases, the regional character of the cultural landscape. All the activities related to the modernization of old buildings, as well as the new development, especially in the historic areas should be oriented to shaping the rural space in a proper way. Forms of conservation in many cases are not an effective tool for the preservation of the traditional rural development. That's because they do not go in parallel with the awareness of owners of these buildings, who out of fear of big costs or just because of ignorance modernize the buildings with their own idea, which sometimes irrevocably blur the old and valuable forms of construction. There are steps are taken to prevent these processes, but the scale of transformation is so high that all the political and science circles, as well as local authorities should seek joint solutions to solve this difficult problem.

Key words: rural areas, village, village buildings, building's modernization

Rewitalizacja zabudowy poprzemysłowej na przykładzie cukrowni na Lubelszczyźnie

Elżbieta Przesmycka

*Zakład Konstrukcji i Budownictwa Ogólnego, Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska,
e-mail: elzbieta.przesmycka@pwr.wroc.pl*

Streszczenie W artykule przedstawiono sposoby „rewitalizacji” wybranych historycznych zakładów przemysłu rolnego na przykładzie Lubelszczyzny. Badając stan zachowania obiektów przemysłu rolnego (zespołów cukrowni, browarów, mniejszych zakładów przemysłu spirytusowego, takich jak gorzelnie) zlokalizowanych w dawnych majątkach ziemskich, a działających jeszcze do końca XX wieku, można zauważyć proces upadku całego przemysłu rolno-spożywczego na badanym terenie. Przez okres ostatnich 20 lat wiele obiektów poprzemysłowych (jeżeli nie zostały wyburzone) niszczało, zmieniało właścicieli, skutkując zmianą sposobu użytkowania i dotychczasowych funkcji. Tylko nieliczne, duże zakłady zachowały ciągłość działalności i te najczęściej modernizowano i rozwijano (np.: mleczarnie - Krasnystaw, Radzyń Podlaski, Ryki). Związane to było z polityką rolną Unii Europejskiej, dążącej do poprawy jakości produkcji przemysłu rolno-spożywczego. Większość polskich przedsiębiorstw przetwórczych posiadało przestarzały park technologiczny, co przesądziło o konieczności zaprzestania dotychczasowej produkcji i zamknięcia wielu z nich. Proces ten można prześledzić na przykładzie losów cukrowni w Lublinie, Opolu Lubelskim, Garbowie (Zagrodach), Rejowcu, Zagłobie.

Słowa kluczowe: budownictwo przemysłu rolnego, architektura poprzemysłowa, rewitalizacja, Lubelszczyzna

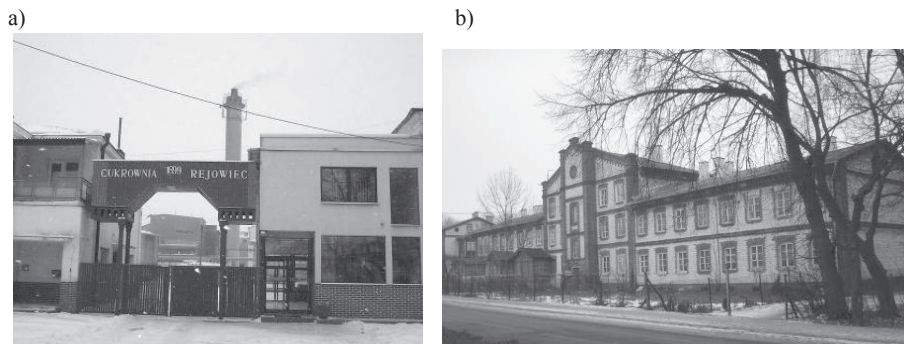
1. Wprowadzenie

Rewitalizacja - pojęcie nadrzędne, w stosunku do takich pojęć jak: rewaloryzacja, adaptacja, przebudowa, modernizacja, regeneracja, remont itp. oznacza odnowę, przywracanie do życia, ożywianie. Rewitalizacja łączy w sobie elementy rozwoju gospodarczego i społecznego, planowania przestrzennego, ochrony środowiska naturalnego i dziedzictwa kulturowego. Do działań rewitalizacyjnych zaliczyć można odbudowę lub przebudowę aktywnych w przeszłości obiektów, często zdekapitalizowanych lub zniszczonych w wyniku różnych działań, w tym powojennego użytkowania, dewastacji i rozbiórek. Ich odbudowa (przebudowa) służy najczęściej ożywieniu przyległych terenów. Stąd użycie tego określenia w stosunku do obiektów budowlanych związanych w przeszłości (czasem bardzo nieodległej) z rolnictwem i przemysłem rolno-spożywczym, wydaje się być bardzo aktualne w kontekście podnoszenia jakości środowiska kulturowego terenów poprzemysłowych.

2. Historyczne uwarunkowania gospodarcze Lubelszczyzny

W czasach Królestwa Polskiego Lubelszczyzna była terenem typowo rolniczym. Tradycyjnie rozwijało się tu browarnictwo i gorzelnictwo w oparciu o surowce dostarczane przez duże majątki ziemskie. Tam też lokalizowane były zakłady przemysłowe.

Pod koniec XIX wieku na Lubelszczyźnie dynamicznie zaczęło rozwijać się cukrownictwo. Początkowo istniały dwie cukrownie w Poturzynie i Mirczu. Były to małe zakłady o przestarzałej technologii produkcji. Dopiero cukrownia w Zakrzówku (1875), Kijanach (1879) i Opolu Lubelskim (1884) dały początek intensywnemu rozwojowi cukrownictwa. Do końca 1900 roku powstały następne cukrownie: w Klemensowie (1891), Zagłobie (1894), Lublinie (1895), Nieledwi (1898), Strzyżowie (1898), Rejowcu (1899), Trawniskach (1899). [1]



Rys. 1. Zabudowa Cukrowni w Rejowcu, 2006 rok, fot. Sidorczuk

W 1908 roku założono cukrownie w Garbowie, Milejowie i Woźuczynie. Cukrownie poza Lublinem zlokalizowane były w majątkach ziemskich i przynosiły ich udziałowcom znaczne dochody. Dawały możliwość zatrudnienia okolicznej ludności oraz przyczyniły się do znacznej intensyfikacji rolnictwa. Z czasem uprawą buraka cukrowego zaczęli zajmować się okoliczni chłopcy, ale głównie była to domena majątków właścicieli ziemskich.

Większość cukrowni posiadała dobrą lokalizację w stosunku do głównych linii kolejowych, zaś niektóre posiadały własną wąskotorową kolej wraz z infrastrukturą do dostarczania buraków cukrowych i wysyłania cukru (Garbów, Klemensów, Milejów, Nieleśwa, Opole Lubelskie).



Rys. 2. Cukrownia Lublin, a) i b) budynki mieszkalne pracowników cukrowni, stan 2013 rok, fot. autor

Losy tych cukrowni były różne. Cukrownia w Zakrzówku działała do 1832 roku, potem wznowiła działalność 1920, zaś zlikwidowana została w 1932 roku. Cukrownia w Strzyżowie została spalona w 1916 roku przez wycofujące się wojska rosyjskie. W 1922 r. uruchomiono ją ponownie, ale w 1939 skradziono z cukrowni wszystkie urządzenia. W 1940 rozpoczęto pierwszą okupacyjną kampanię cukrowniczą, ale już w 1944 r. wszystkie urządzenia zostały przez Niemców zdemontowane i wywiezione. Los cukrowni w Trawniskach był podobny – w 1916 wojska rosyjskie kradną wszystkie urządzenia, w 1919 zostaje uruchomiona ponownie, ale w latach 1932-1939 jest zamknięta z powodu kryzysu, który wywołał spadek spożycia cukru o 33,6%. Dopiero po wojnie, w październiku 1959 roku w budynkach dawnej cukrowni uruchomiono zakłady dziewiarskie. Cukrownia w Milejowie zbankrutowała w 1935 roku. W cukrowni w Nieleświe, podczas wojny Niemcy utworzyli fabrykę przetworów konserwowych, a po wojnie utworzono tu fabrykę win.

W okresie PRL-u, na terenie Lubelszczyzny powstały dwie nowe cukrownie – w 1963 r. w Werbkowicach i w 1976 r. w Krasnymstawie (Siennica Nadolna) [1], [2].

3. Przemiany na przełomie XX i XXI wieku

Do największych zmian doszło po roku 1990, kiedy to nastąpiły istotne przekształcenia w sposobie zarządzania przedsiębiorstwami, dawniej państwowymi. Reorganizacja własnościowa, tworzenie spółek kapitałowych, dały początek lawinowo postępującemu procesowi przemian wielu przedsiębiorstw. W roku 2004 po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej procesy te skutkowały reorganizacją i likwidacją wielu gałęzi przemysłu, w tym rolno-spożywczego. Wprowadzono „restrukturyzację” przemysłu cukrowniczego, której celem było ograniczenie produkcji cukru w naszym kraju. Cukru produkowaliśmy za dużo i był on zbyt tani. Efektem restrukturyzacji była likwidacja w 2004 roku cukrowni w Klemensowie i Garbowie, w 2005 r. w Opolu Lubelskim, w 2006 r. w Woźuczynie. O likwidacji cukrowni w Lublinie zdecydowano najpóźniej, choć była jedną z najnowocześniejszych w kraju.

Lubelską cukrownię rozebrano w 2012 roku, a na jej miejscu zaczęto budować stadion sportowy. Pozostały jedynie zabytkowe budynki dyrekcji, oraz kamienice mieszkalne dla pracowników (Rys. 2.)

Cukrownie na Lubelszczyźnie powstawały pod koniec XIX i na początku XX wieku. Większość z nich działała nieprzerwanie do okresu transformacji ustrojowej w kraju. Zmiany nastąpiły na początku XXI wieku w momencie wstąpienia Polski w struktury Unii Europejskiej. Przestarzałe technologie produkcji oraz złe zarządzanie były motywacją do likwidacji wielu zakładów. Polityka rolna podporządkowana została wytycznym unijnym określającym limity produkcji poszczególnych działów przemysłu rolnego. Od roku 2004 rozpoczęto proces likwidacji większości cukrowni, młeczarni, gorzelni jeszcze pracujących. Likwidacja połączona była z wyprzedacją pozostałego majątku materialnego, który stanowił niejednokrotnie ciekawe zespoły historycznych zabudowań zarówno produkcyjnych, magazynowych i mieszkalnych dla pracowników.

W większych miastach tereny po likwidowanych zakładach najczęściej stanowiły i stanowią atrakcyjne lokalizacje. I tak w Lublinie po likwidowanej cukrowni zostanie wzniesiony stadion, w Opolu Lubelskim systematycznie rozbierane są zabudowania produkcyjne, to samo spotkało cukrownie w Garbowie (Zagrody) i Zagłobie.

Obiekty te w większości nie były objęte ochroną konserwatorską. Tylko nieliczne wybrane z zespołów fabrycznych obiekty podlegały ochronie.

Cukrownia w Opolu Lubelskim

Zespół budynków cukrowni usytuowany jest przy ulicy Fabrycznej. Wszystkie obiekty cukrowni były murowane z charakterystyczną dla przełomu XIX i XX wieku dekoracją ścian za pomocą lizen i ukośnie ustawionych cegieł w gzymsach. Po II wojnie światowej cukrownię przejął Skarb Państwa. W latach 90. XX wieku cukrownie gruntownie przebudowano, nadbudowano starą halę produkcyjną, dobudowano nowe obiekty. W skład zespołu cukrowni wchodził istniejący do dziś budynek mieszkalny dla wyższych urzędników cukrowni. Większość budynków zachowana była do ostatnich lat w dobrym stanie. Po likwidacji cukrowni kilka budynków produkcyjnych wyburzono, jedynie parterowe budynki administracyjne (1884, 1913) wynajmowane są przez różne drobne podmioty gospodarcze. Otoczenie fabryki wypełniają nowe obiekty komercyjnej (stacja paliw, pawilony handlowe różnych branż). Pofabryczny komin (1913) wykorzystywany jest jak maszt telefonii komórkowych (Rys. 3).



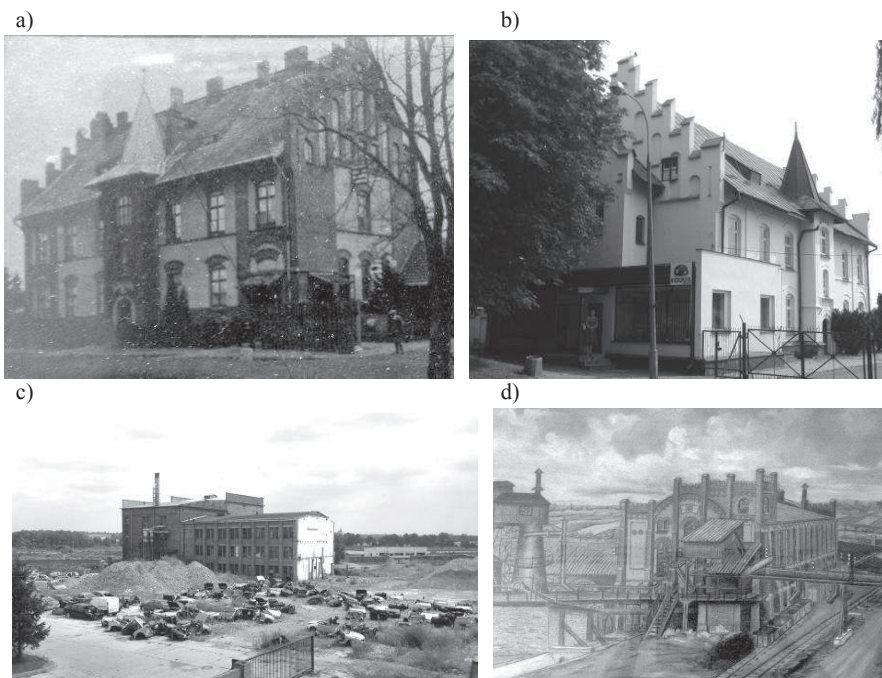
Rys. 3. Ogólny widok zabudowań cukrowni w Opolu Lubelskim, 2013 r., fot. autor

Cukrownia Garbów (Zagrody) i folwark Garbów

W cukrowni Garbów 2 lata temu rozebrano główny budynek fabryczny cukrowni wraz z kominem, na placu manewrowym i składowym buraków urządzono magazyn używanych części samochodowych, część terenu wynajmuje inna firma handlowa. Pozostał tylko jeden budynek produkcyjny, który jest w złym stanie technicznym i przeznaczony jest do rozbiórki (Rys.4) oraz wyremontowany neogotycki budynek dyrekcji cukrowni (wyremontowany 10 lat temu).

Otoczenie zespołu produkcyjnego stanowi kilka budynków mieszkalnych byłych pracowników cukrowni i dawny dom kultury, obecnie dzierżawiony od nowych właścicieli cukrowni przez bank i aptekę. Pracę straciło 125 pracowników etatowych cukrowni, w większości mieszkańców osiedla zakładowego (350 w czasie kampanii cukrowniczej). W swoim założeniu zakład produkcyjny stanowił integralną część założenia urbanistycznego dopełnionego układem zieleni wysokiej, usługami łączył się z założeniem parkowym willi dyrektora cukrowni.

Właściciele Cukrowni (Broniewscy) mieszkali w pobliskim majątku w Garbowie. Majątek ten posiadał w obrębie folwarku gorzelnię rektyfikacyjną, parowę cegielnię, młyn, liczne budynki gospodarcze i gospodarstwo rybne. Po wojnie odebrano majątek właścicielom, przebudowano szosę warszawską, która podzieliła założenie pałacowo-parkowe na dwie części. Północna część parku uległa zniszczeniu. W pałacu umieszczono przychodnię zdrowia. Po likwidacji PGR-u zabudowa produkcyjna majątku została opuszczona. Młyn i przyległe obiekty do końca XX wieku ulegały niszczeniu. Dopiero niedawno rozpoczęto remont niektórych budynków (Rys.5). Zabytkowy młyn staje się centrum nowej wykreowanej przestrzeni publicznej uzupełniającej dawny zespół pawilonów handlowych z lat 60. po GS.[3]



Rys.4. Widok cukrowni w Garbowie, a) budynek Dyrekcji (1908), fotografia ze zbiorów prywatnych, b) budynek obecnie, fot.autor2013, c) ogólny widok zakładu, pastel z roku 1949, zbiory prywatne, d) pozostałości po zabudowie cukrowni, 2013 r., fot. autor



Rys. 5. Zespół zabudowy folwarku w Garbowie, a) młyn, stan w 2008roku, b) w trakcie prac remontowych, i rewitalizacji otoczenia zabytkowego młyna, 2013, fot. autor

Prace porządkowe otoczenia poprawiają znacznie jakość przestrzeni, czyniąc ją atrakcyjną dla mieszkańców. Gorzelnia (1915), do niedawna czynna czeka na nową funkcję, będąc w rękach prywatnych (Rys. 6).

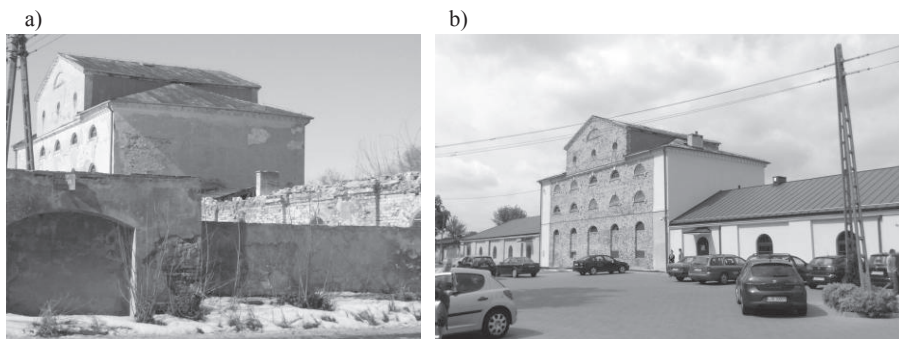


Rys. 6. Nieużytkowana gorzelnia w Garbowie (1913r), stan w 2013r, fot. autor

Można tu mówić o zamierzonej rewitalizacji części założenia folwarcznego sprowadzonej aktualnie do stworzenia centrum handlowo-usługowego, wykorzystując potencjał historycznych budynków i ich najbliższego otoczenia (pozostałości po parku dworskim). Proces rewitalizacji zespołu odbywa się samoistnie, fragmentarycznie, prezentując gusty aktualnych właścicieli i użytkowników terenu.

Cukrownia w Zagłobie

W zespole fabrycznym cukrowni w Zagłobie mieści się obecnie zakład przetwórstwa owocowo-warzywnego. Do dziś zachowały się budynki produkcyjne, komin fabryczny i budynek dyrekcji. Niestety budynki produkcyjne są dziś trudne do zidentyfikowania architektonicznego, bowiem zostały wyremontowane, docieplone i otynkowane. Pierwotnie zespół wzniesiony był z miejscowej opoki, wzmacnianej wykończeniami ceglany. Jedynie dwukondygnacyjny budynek dyrekcji zachowany jest do dziś w swojej oryginalnej formie podlega ochronie konserwatorskiej. Niestety został opuszczony przez użytkowników i właściciele liczą na jego szybkie zniszczenie (Rys. 7).



Rys. 7. Zespół zabudowy dawnej cukrowni w Zagłobie, a) zabytkowy budynek administracyjny cukrowni (1894r) i odnowione budynki dla obecnego zakładu przetwórstwa owocowego, b) zabudowa mieszkalna dla pracowników cukrowni w trakcie docieplania, 2013r, fot. autor

Charakterystyczna dla tego rejonu Lubelszczyzny XIX wieczna zabudowa kamienna pozostała jeszcze w przyległym do cukrowni osiedlu pracowniczym złożonym z dwóch zespołów mieszkalnych. Obecnie mieszkańcy „rewitalizują” własnym kosztem poszczególne fragmenty budynków, docieplając i tynkując elewacje wraz z wymianą stolarki na współczesną. Jest to przykład spontanicznej działalności mieszkańców według własnej wizji i z użyciem dostępnych w całym kraju tych samych materiałów budowlanych (Rys. 8).



Rys. 8. Charakterystyczny detal XIX zabudowy przemysłowej wznoszonej z opoki wapiennej i cegły ceramicznej, Zagłoba, 2013, fot. autor

4. Podsumowanie

Analizując stan zachowania wybranych przykładów zabudowy zespołów przemysłowych służących rolnictwu i przemysłowi rolno-spożywczemu można stwierdzić, iż w regionie o najwyższym nasyceniu tego typu obiektów, powstałych ponad 100 lat temu, procesy rewitalizacji w ujęciu kompleksowym występują sporadycznie. Najczyściej jest to wypadkowa działań władz lokalnych, polityki UE i obecnych właścicieli. Nie udało się utrzymać wielu gałęzi przemysłu rolnego, czego najlepszym przykładem jest sytuacja dawnych cukrowni. Paradoksalnie, te najlepiej niegdyś prosperujące przedsiębiorstwa produkcji rolnej, w przeciągu zaledwie paru lat znikają (dosłownie) z powierzchni ziemi. Losy lubelskiej cukrowni są tego najlepszym świadectwem. Mówienie o rewitalizacji w tym przypadku, jak też innych cukrowni, jest co najmniej niestosowne. Uległy one w większości rozbiórce, a na ich miejsce proponuje się nowe, zupełnie inne funkcje. Ostatnimi świadkami historii i materialnego dziedzictwa poprzemysłowego są jeszcze budynki mieszkalne oraz administracyjne. One też, pomimo ochrony konserwatorskiej w większości omawianych przykładów skazane są w najlepszym przypadku na tak zwaną „rewitalizację”, wykonywaną przez obecnych właścicieli bez wspólnej koncepcji renowacyjnej. Budynki dyrekcji z reguły, jako najcenniejsze architektonicznie nie leżą w zainteresowaniu obecnych właścicieli i inwestorów, co skutkuje ich opuszczeniem i brakiem konserwacji. W przypadku XIX-wiecznych konstrukcji, z tak delikatnych materiałów jak chociażby kamień wapienny doprowadza do nieodwracalnych zniszczeń prowadząc nieuchronnie do ich bezpowrotnej utraty dla przyszłych pokoleń. Paradoksem jest również to, iż obiekty te przetrwały ponad stulecie, a podlegają całkowitemu zniszczeniu w ciągu kilku ostatnich lat.

Jednym z pozytywnych przykładów właściwej rewitalizacji może być zespół młyna w Garbowie. W ostatniej chwili udało się uratować pozostałości zabudowy folwarcznej i zdaje się, iż po ukończeniu prac będzie to jeden z nielicznych zrealizowanych z uszanowaniem substancji historycznej przykładów rewitalizacji zespołu poprzemysłowego na Lubelszczyźnie.

Literatura

- 1 Koprucki A. W okresie kształtowania się kapitalizmu 1864-1918, w: Dzieje Lubelszczyzny. (ed. J. Dobrzański, H. Zins) Warszawa 1974, s.641-736.
- 2 Dostatni J. Lubelszczyzna w 25-leciu PRL, Wydawnictwo Lubelskie, Lublin 1971, s.112.
- 3 Przesmycka E. Lubelszczyzna Wielokulturowość osadnictwa, budownictwa i architektury, Lublin 2008.

Revitalization of post industrial buildings on the example of sugar factories in Lublin Region

Elżbieta Przesmycka

*Department of Building Structures and Civil Engineering, Faculty of Architecture,
Wrocław University of Technology, e-mail: elzbieta.przesmycka@pwr.wroc.pl*

Abstract: The article shows different ways of "revitalization" of choosen historical agro-industry companies on the example of Lublin Region. Examining the current state of agro-industry companies (such as sugar factories, breweries, small alcohol factories situated in former private land proprieties, which had been working until the end of XXth century) it is possible to notice the process of the decline in the whole agro industry. During the last twenty years many of post industrial buildings (if they were not demolished yet) were destructed. They were changing their owners, original functions and the way of use.

Only few largest companies, which have continued production, were modernized and developed (for example dairies in Krasnystaw, Radzyń Podlaski, Ryki).

This process was related to the agricultural policy of EU, that aspired to improvement of the quality of agricultural industry. The most of polish agro industry factories had antiquated processing lines what determined ceasing the current production and closing many of them.

This process we can follow with the example of the history of sugar factory in Lublin, Opole Lubelskie, Rejowiec, Garbów (Zagrody), Zagłoba.

Key words: agro-industry buildings, post industrial architecture, revitalization, Lublin Region

Generacja rozproszona w terenowych sieciach rozdzielczych – realia i nadzieje

Piotr Kacejko, Sylwester Adamek

Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, e-mail: p.kacejko@pollub.pl, s.adamek@pollub.pl

Streszczenie W referacie przedstawiono problematykę rozwoju generacji rozproszonej w polskim systemie elektroenergetycznym. Wskazano, że rozwój ten będzie postępował sukcesywnie pomimo licznych barier. Omówiono obiegowe opinie o negatywnym oddziaływaniu DER na sieć rozdzielczą wykazując ich niesłuszność. Zaproponowano nowy sposób regulacji napięcia możliwy do zastosowania w sieciach z generacją rozproszoną bazujący na rozwiązaniach typowych dla sieci inteligentnych.

Słowa kluczowe sieci rozdzielcze, generacja rozproszona, regulacja napięcia

1. System elektroenergetyczny Polski - realna ocena wielkości generacji rozproszonej

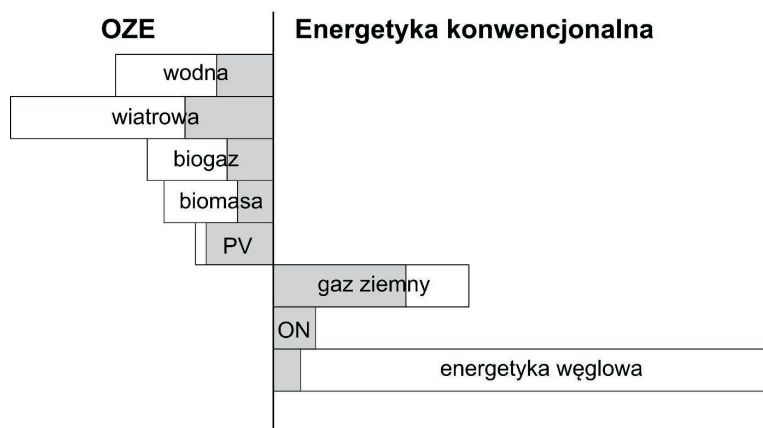
Generacja rozproszona to obecnie bardzo szeroka i dynamicznie rozwijana gałąź elektroenergetyki, aczkolwiek pojęcie to nie ma precyzyjnej i ścisłej definicji. Trudno jednoznacznie stwierdzić, czy rozwój źródeł generacji rozproszonej (często używany skrót - DG – *dispersed generation*, inne określenia - *distributed generation*, *embedded generation*, *dispersed energy resources* - DER) jest wynikiem postępu technologicznego (spadek cen źródeł wytwórczych wynikający z postępu technologicznego), istnienia systemów wsparcia ekonomicznego, czy też jest wynikiem stymulacji o charakterze społeczno – politycznym (np. poprzez aktywność środowisk „zielonych”), poprzez akty prawne takie jak [1]. Niewątpliwie awarie systemowe oraz polityka klimatyczna tendencje rozwojowe generacji rozproszonej jeszcze bardziej nasiliły.

W opinii społecznej i w przekazach medialnych pojęcie generacji rozproszonej często jest utożsamiane z pojęciem *odnawialnych źródeł energii* (w Polsce często używany jest skrót – OZE). Faktycznie, znacząca część źródeł odnawialnych przyłączana jest do sieci w postaci źródeł rozproszonych. Z drugiej jednak strony specyfika źródeł rozproszonych nie leży w zastosowanej technologii. Ich istota, czyli właśnie **rozproszenie** wynika ze sposobu usytuowania w systemie elektroenergetycznym. Termin **rozproszenie** oznacza bowiem, że źródło może znaleźć się w rozdzielni hipermarketu, szkolnej wymiennikowi ciepła, miejskiej kotłowni czy w ogrodzie lub na dachu sąsiada. W konsekwencji zawsze będzie to lokalizacja, do której infrastruktura sieci elektroenergetycznej nie była pierwotnie przygotowana. Inne cechy wytwarzania rozproszonego, na które zwraca uwagę literatura to jego niezależność od scentralizowanego planowania rozwoju systemu i niepodleganie centralnemu (oraz obszarowemu) dysponowaniu mocą.

Wzajemne relacje pojęciowe pomiędzy energetyką konwencjonalną, a energetyką odnawialną i rozproszoną pokazano na rys. 1. Aby operować konkretnymi, poniżej określono oszacowano liczbę jednostek, które w Polsce tworzą zbiór instalacji rozproszonych (wg stanu na rok 2012):

- **małe elektrownie wodne (MEW)** – 691 (nie uwzględniono dużych elektrowni takich jak Włocławek, Żydowo czy Żarnowiec), liczba ta w ciągu ostatnich lat nie zmienia się,
- **elektrowni wiatrowe** – 620 instalacji (nie uwzględniono farm wiatrowych przyłączonych do sieci 110 kV takich jak Margonin czy Kamieńsk), większość powstała w latach 2008 – 2012,
- **elektrownie na biogaz** – 178 (w latach 2008 -2012 powstało 21 jednostek wytwarzających biogaz rolniczy),

- **instalacje zasilane biomasą** 12 (nie uwzględnia się współspalania w elektrowniach konwencjonalnych),
- **farmy fotowoltaiczne** o mocy do 2 MW (1 farma i kilkanaście na zaawansowanym etapie budowy),
- **kogeneracyjna energetyka gazowa** – 63 jednostki (nie uwzględnia się bloków gazowo – parowych takich jak Lublin, Rzeszów, Zielona Góra);
- **agregaty awaryjne** – kilkadziesiąt tysięcy jednostek zasilanych olejem napędowym lub pracujących wyłącznie w trybie indywidualnym na wydzielone odbiory, w stanach awaryjnych,
- **konwencjonalne jednostki energetyki kogeneracyjnej** kilkadziesiąt instalacji w zakładach przemysłowych (nie uwzględniano wielkich zakładów typu ZA Puławy) podlegające sukcesywnej likwidacji (tak jak w cukrowniach).



Rys. 1. Symboliczne umiejscowienie zakresu energetyki rozproszonej w odniesieniu do OZE i energetyki konwencjonalnej (obszar DER zaciemniony)

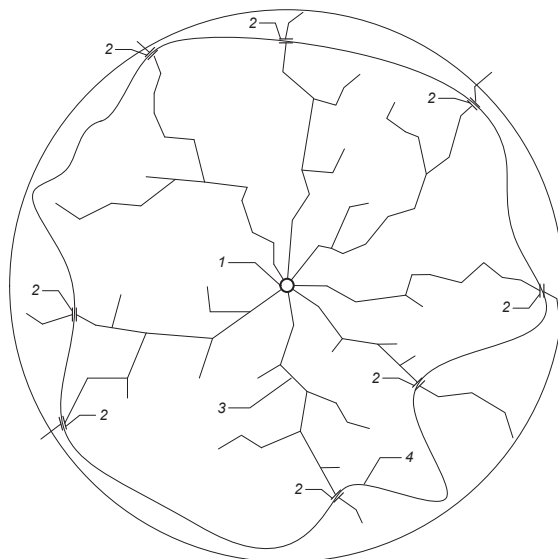
Sumaryczną liczbę instalacji rozproszonych przyłączonych do sieci średniego i niskiego napięcia można zatem oszacować na mniej niż 2000, a ich łączną moc na 3000 MW. O tym, czy jest to duża liczba może mówić odniesienie do liczby stacji transformatorowych 110/SN (SN – 10,15, 20 kV). Stacji takich, zasilających obszar Polski (z wyłączeniem aglomeracji miejskich) jest ok. 1000. Tym samym na jedną stację przypadają „niecałe” dwie jednostki zaliczane do DER. Ta statystyka obala wstępny mit o dynamicznym rozwoju energetyki rozproszonej i o problemach związanych z ich przyłączeniem do sieci. Pomimo istotnej dynamiki zaobserwowanej w branży wiatrakowej na pewnych obszarach Polski, generalnie rozwój ten postępuje powoli. Warto w tym miejscu zacytować dane dotyczące energetyki niemieckiej. Oprócz powszechnie znanego lawinowego rozwoju energetyki wiatrowej (nastąpił on jednak głównie w formie farm dużej mocy) od 2008 r. zbudowano tam niewiarygodnie dużą liczbę biogazowni (ponad 6000), a moc instalacji fotowoltaicznych (głównie rozproszonych) przekroczyła 25 000 MW (w Polsce 2 MW).

Szczegółowa diagnoza istniejącego stanu rzeczy, sprowadziłaby prezentowany tekst do obszaru rozważań ekonomicznych, prawnych czy nawet politycznych. Tymczasem intencją autorów jest prezentacja problematyki technicznej generacji rozproszonej, bowiem jej rozwój, czy nawet ekspansja jest tylko kwestią czasu niezależnie od działań obstrukcyjnych operatorów sieci czy lobby związanego z energetyką WEK (wielkoskalowa energetyka konwencjonalna – [2]). Tym samym proces rozwoju generacji rozproszonej autorzy traktują jako obiektywny element postępu technologicznego energetyki, nie dokonując jego oceny.

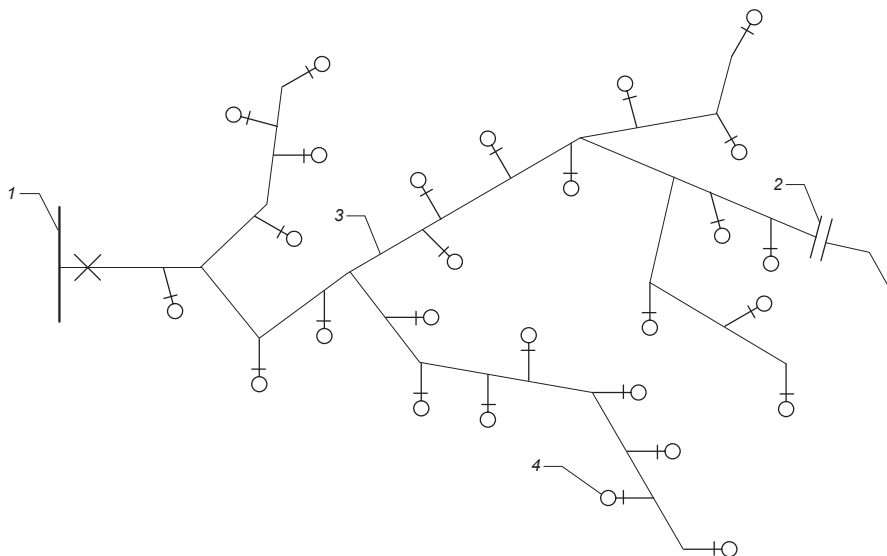
2. Jak generacja rozproszona zmieni obraz sieci rozdzielczych

Jak już wspomniano podstawą zasilania odbiorców terenowych są sieci rozdzielcze średniego napięcia, zasilane ze stacji 110/SN kV. Liczbę takich stacji oszacowano na ok. tysiąc. Z każdej stacji wyprowadzonych jest 10-20 linii magistralnych, o długości 10-15 kilometrów każda. Z linii tych oraz z ich odgałęzień zasilane są odbiorcze stacje transformatorowe. Statystycznie na jedną stację 110/SN przypada 100 – 300 stacji odbiorczych SN/0,4 kV. Tym samym „populacja” stacji odbiorczych transformatorowych w Polsce to ok. 300 000 sztuk i z nich zasilanych jest ponad 10 000 000 instalacji odbiorczych. Aby ułatwić wyobrażenie sobie typowych rozwiązań inżynierskich omawianych wyżej obiektów na rys. 2 i 3 przedstawiono przykładowe struktury sieci SN zasilanej ze stacji 110/SN (w przybliżeniu obszar kołowy) oraz dokładniej przedstawiono linię magistralną SN z odgałęzieniami i stacjami odbiorczymi. Na rys. 3 i 4 przedstawiono te same elementy, ale z uwzględnieniem generacji rozproszonej, rozbudowanej znacznie bardziej niż obecnie (ponad 10 instalacji na jedną stację). Taki udział generacji rozproszonej w strukturze systemu elektroenergetycznego będzie można uznać za znaczący.

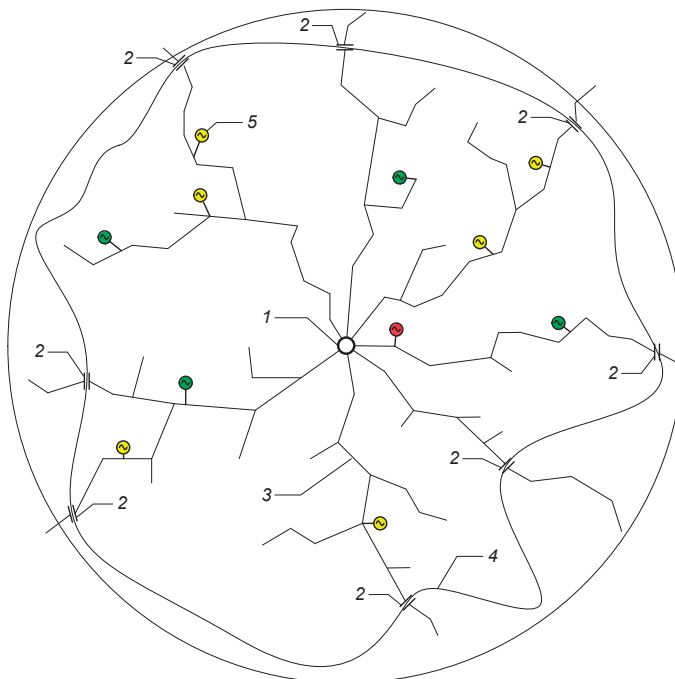
Z energetycznego punktu widzenia przy takiej statystyce moc zainstalowana w jednostkach rozproszonych wyniosłaby ok. 5000 MW. Jednoczesna moc osiągalna nie przekroczyłaby 2500 MW, (wobec zapotrzebowania w szczycie na poziomie 25 000 MW), a produkcja energii elektrycznej 5-6% zapotrzebowania krajowego. Tym stosunkowo mało wymiernym efektem energetycznym towarzyszyć będzie widoczne osłabienie monopolistycznej pozycji operatorów sieci, postawienie wobec nich nowych zadań i wymagań. Być może nazywanie energetyki rozproszonej „energetyką obywatelską” [2] jest zbyt górnolotne, ale bez wątpienia tworzy w energetyce nową jakość.



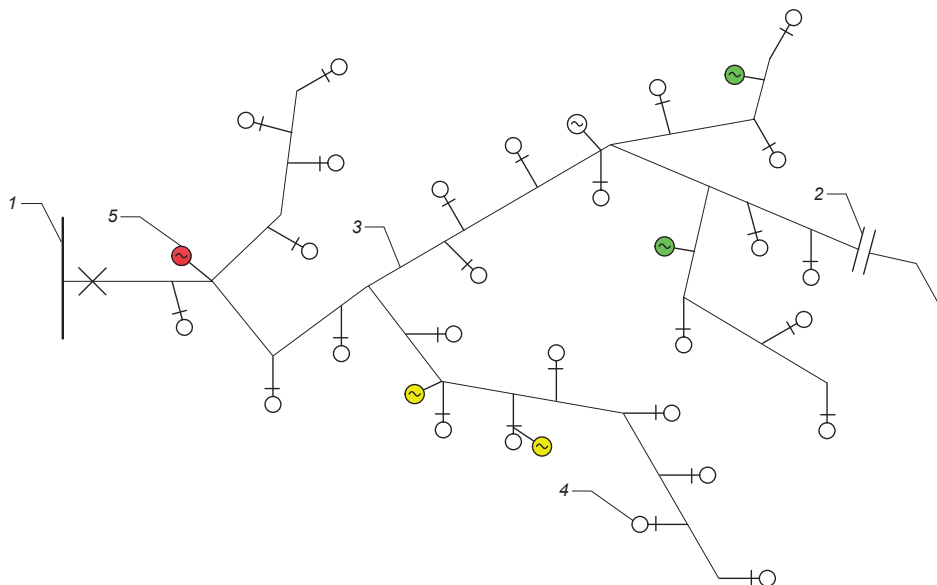
Rys. 2. Widok ogólny topologii sieci rozdzielczej SN zasilanej z jednej stacji 110 kV/SN; 1 – stacja zasilająca, 2 – punkt stałego podziału sieci, 3 – linia SN, 4 – granica obszaru zasilanego z danej stacji



Rys. 3. Układ sieci rozdzielczej SN – linia rozgałęziona dwustronnie zasilana z punktem stałego podziału; 1 – stacja zasilająca, 2 – punkt stałego podziału sieci, 3 – pień linii SN, 4 – stacja transformatorowa SN/nn



Rys. 4. Widok ogólny topologii sieci rozdzielczej SN zasilanej z jednej stacji 110 kV/SN i przez kilka źródeł rozproszonych; 1 – stacja zasilająca, 2 – punkt stałego podziału sieci, 3 – linia SN, 4 – granica obszaru zasilanego ze stacji, 5 – źródło rozproszone



Rys. 5. Układ sieci rozdzielczej SN – linia rozgałęziona dwustronnie zasilana z punktem stałego podziału zasilana ze stacji GPZ i źródła rozproszone; 1 – stacja zasilająca, 2 – punkt stałego podziału sieci, 3 – pień linii SN, 4 – stacja transformatorowa SN/nn, 5 – źródło rozproszone

3. Łatwe do obalenia mity

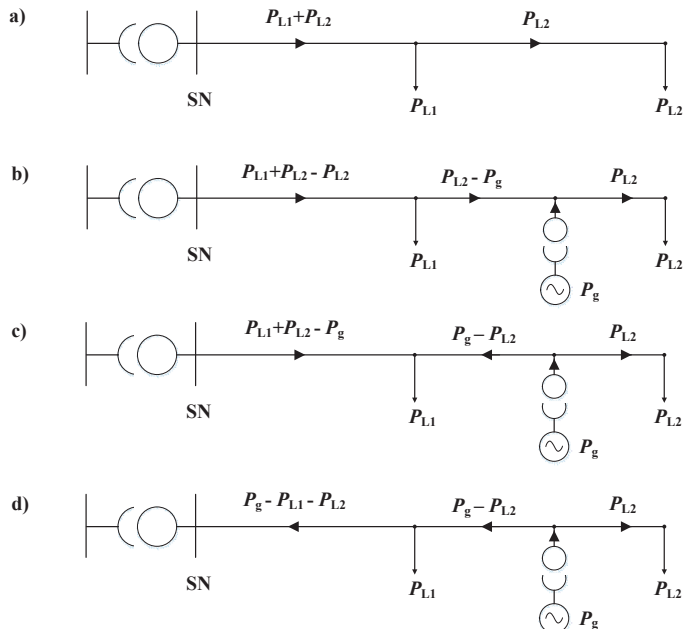
Przeciwnicy (oficjalni lub nieoficjalni) generacji rozproszonej przedstawiają społeczeństwu szereg trudności związanych przede wszystkim, z przyłączaniem tych jednostek do sieci oraz z ich współpracą z energetyką konwencjonalną. Część tych trudności jest faktem, ale część tworzy nieprawdziwy obraz konfliktujący ideę generacji rozproszonej i bezpieczeństwa elektroenergetycznego. Wspomniane mity można streścić następująco:

- źródła rozproszone spowodują dodatkowe obciążenie sieci rozdzielczej, która i tak znajduje się w złym stanie technicznym spowodowanym niedoinwestowaniem;
- mocy ze źródeł rozproszonych nie da się „wepchnąć” do sieci, bo do tego potrzebna jest specjalna infrastruktura podnosząca napięcie (bowiem moc elektryczna jak się powszechnie uważa płynie od napięcia wyższego do niższego);
- większość źródeł rozproszonych uznawana jest za nieprzewidywalne (używa się też nieuprawnionego terminu – niestabilne) co nakłada dodatkowe (trudne lub niemożliwe do spełnienia) zadania na jednostki energetyki konwencjonalnej.

Poniżej ustosunkowano się do tych opinii wykazując ich nieprawdziwy i tendencyjny charakter.

4. Generacja rozproszona a obciążalność torów prądowych

Najczęściej stosowanym kryterium oceny wpływu źródeł rozproszonych na system elektroenergetyczny jest zmiana obciążenia elementów systemu pod wpływem generowanej w nich mocy. Zakładając, że aparatura i osprzęt sieciowy związany z samym źródłem i jego rozdzielnicą zostały przez projektantów i producentów dobrane prawidłowo, istota problemu polega na ocenie, czy przepływ mocy generowanej (lub jej części) nie spowoduje przeciążenia istniejących elementów sieci, poza miejscem zainstalowania źródła.



Rys. 6. Fragment sieci SN z linią magistralną, zastępczymi odbiorami i przyłączonym do niej źródłem a) układ wyjściowy b), c), d) różne postaci rozpyły mocy zależne od wartości mocy źródła w stosunku do mocy odbiorów (omówienie w tekście)

Na rys. 6a przedstawiono uproszczony schemat linii magistralnej SN z odgałęzieniami, który może posłużyć do wyciągnięcia wniosków odnośnie możliwych relacji pomiędzy mocą generowaną, a charakterystycznymi cechami jej rozpyły (aby nie zaciemniać rysunku pominięto moc bierną). Na rys. 6.1b, c, d przedstawiono źródło przyłączone do rozpatrywanej sieci, przy czym w zależności od relacji wielkości mocy w nim generowanej do mocy pobieranej przez odbiory, rozpyły mocy może mieć 3 charakterystyczne postaci:

- moc generowana o niewielkiej wartości ($P_g < P_{L2}$) jest zużywana przez odbiory zainstalowane pomiędzy miejscem przyłączenia źródła a końcem magistrali (punktem rozcięcia sieci), przepływ mocy przez magistralę w części pomiędzy GPZ a źródłem ulega zmniejszeniu o wartość mocy generowanej – rys. 6.1b;
- moc generowana o średniej wartości ($P_{L2} < P_g < P_{L2} + P_{L1}$) pokrywa w całości zapotrzebowanie odbiorów w części magistrali pomiędzy miejscem przyłączenia źródła a jej końcem, w części magistrali moc zmienia kierunek i jest równa mocy generowanej pomniejszonej o moc odbieraną w części końcowej; w początkowej części magistrali, tak jak w poprzednim przypadku moc zapotrzebowana jest zmniejszona o moc generowaną – rys. 6.1c.
- moc generowana o dużej wartości ($P_{L2} + P_{L1} < P_g$) pokrywa zapotrzebowanie wszystkich odbiorów zasilanych z magistrali, w początkowej i w środkowej jej części moc płynie w kierunku GPZ, jej wartość jest pomniejszona o moc odbiorów – rys. 6.1d.

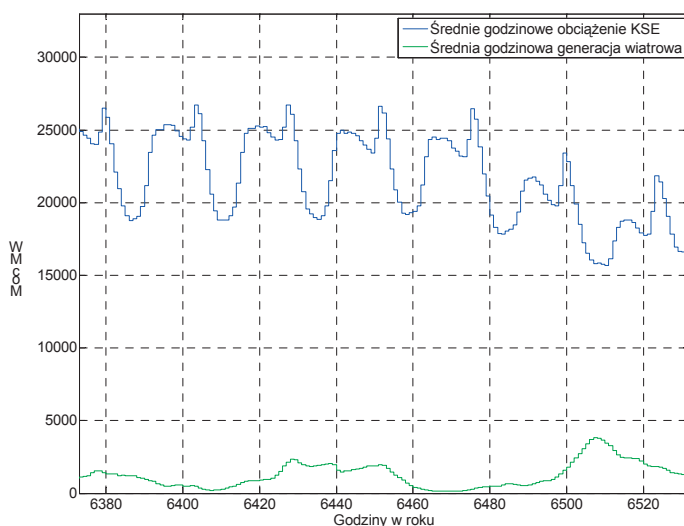
W żadnym z rozpatrywanych przypadków nie zachodzi addytywne oddziaływanie wzajemnie istniejącego obciążenia sieci i mocy generowanej w przyłączonym źródle. Jest to wniosek raczej trywialny, ale konieczność jego przedstawienia wynika z zaobserwowanego rozumowania niektórych „praktyków” wyrażających obawy, że planowana generacja „dodatkowo” obciąży elementy sieci. Z drugiej strony, przy dużej zmienności zapotrzebowania na moc przez odbiory przyłączone do magistrali, nie można wykluczyć sytuacji, w której zachodzi zależność $P_{L2} + P_{L1} < P_g$, co oznacza, że o stopniu obciążenia torów prądowych decyduje źródło rozproszone. Dlatego też, jako uproszczone kryterium oceny zgodności ich obciążalności z prądem źródła można przyjąć zależność

$$I_{ddmin} > I_{gmax} \quad (1)$$

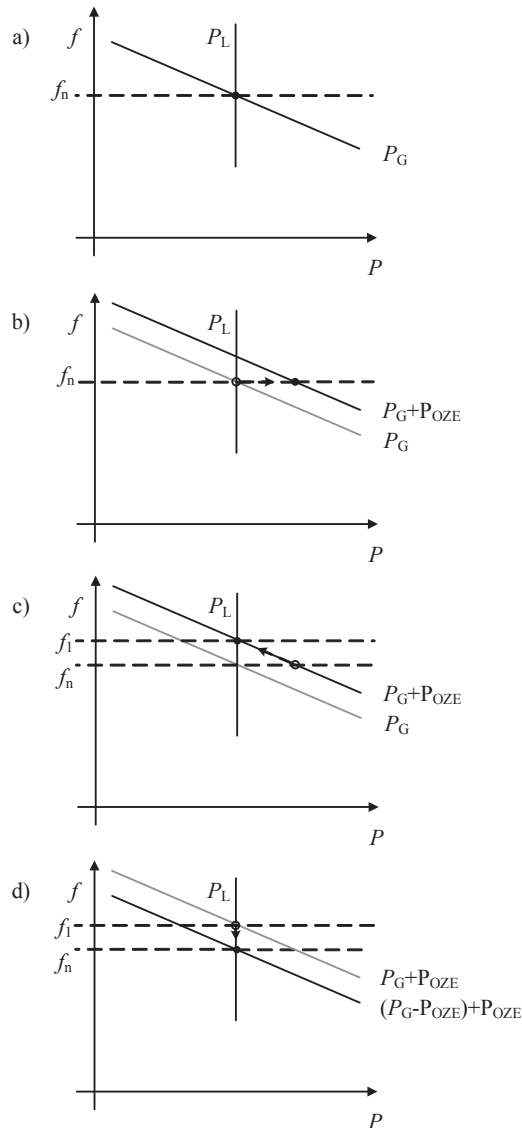
(obciążalność długotrwała minimalna odcinka sieci pomiędzy źródłem a GPZ-tem powinna być większa od maksymalnego prądu wprowadzanego do sieci przez źródło I_{gmax}).

5. Nieprzewidywalność generacji rozproszonej

Nie ulega wątpliwości, że wiatr i słońce wpływają na losowy charakter mocy wyjściowej elektrowni wiatrowych i słonecznych. Duży stopień zmienności charakteryzujący pojedyncze źródła jest jednak niesłusznie przypisywano zespołom wielu instalacji pracujących na dużym obszarze, jakim niewątpliwie jest nasz kraj. Na rys. 6 przedstawiono dobową zmienność obciążenia systemu Polski przewidywaną dla przełomu października i września 2020 r. (na podstawie danych z 2012 odpowiednio przeskalowanych) i zmienności generacji w 217 farmach wiatrowych, których budowa jest realnie planowana. Z pewnością na tle regularnych i przewidywalnych zmian obciążenia, moc farm wiatrowych nie ma charakteru wyrównanego, ale jej zmiany nie mają charakteru skokowego (bo zawsze „gdzieś wieje”). Systemy prognozowania stosowane obecnie na świecie pozwalają na tworzenie bardzo dokładnych prognoz, przy czym 48 godzin jest standardem.



Rys. 7. Przebieg zmienności obciążenia KSE przewidywany dla tygodnia na przełomie września i października 2020 r. oraz zmienności generacji wiatrowej dla zbioru 217 farm zlokalizowanych na terenie całego kraju



Rys. 8 Wykres zmian częstotliwości i mocy w zależności od zmian mocy generowanej w OZE (DER)

6. Bilansowanie systemu prądu przemiennego, czyli mit o konieczności „wpychania” mocy z DER

Istota pracy systemu elektroenergetycznego prądu przemiennego polega na wykorzystaniu częstotliwości jako nośnika informacji o stanie zbilansowania mocy wytwarzanej i odbieranej. Jeśli obciążenie wrasta, maszyny synchroniczne zwalniają, co powoduje reakcję ich układów regulacyjnych i zwiększenie mocy wytwarzanej. Spadek mocy wytwarzanej odbieranej powoduje wzrost częstotliwości, przyspieszenie maszyn, a w konsekwencji zmniejszenie mocy wytwarzanej. Taka regulacja, zwana regulacją pierwotną, jest prowadzona przez duże zespoły wytwórcze energetyki konwencjonalnej w bardzo wąskim paśmie częstotliwości ± 10 mHz, który jednak jest wystarczający by

nadać za zmianami obciążenia KSE. Jeśli nowy punkt pracy ustali się na wartości innej niż częstotliwość znamionowa 50 Hz, ma miejsce regulacja wtórna, realizowana jako odpowiedź na sygnał wypracowany przez system centralnego dysponowania mocą. Źródła tworzące DER nie podlegają regulacji systemowej, a ich moc nie zależy w przybliżeniu od częstotliwości sieciowej, tylko od parametrów technologicznych (np. prędkość wiatru, przełyk wody, różnica entalpii). Przyłączenie do systemu źródła rozproszonego pozwala na niczym nieograniczone wprowadzenie jego mocy do sieci, któremu towarzyszy zmniejszanie generacji jednostek systemowych. Tym samym system regulacyjny powoduje „ustąpienie” pierwszeństwa małym jednostkom i żadne zabiegi techniczne określone jako „wpychanie mocy” nie są potrzebne – moc wpłynie do sieci samoczynnie. Inna sprawa, że efekt zmniejszenia generacji jest rozłożony równomiernie w całym systemie (wzrostowi generacji wiatrowej na wybrzeżu Bałtyku odpowiada odciążenie jednostek wytwórczych na całym terytorium Polski). Ilustrację, tych stosunkowo trudnych do zrozumienia przez osoby „spoza branży” kwestii pokazuje rys. 8.

Zgodnie z rys. 8a system jest w stanie równowagi, gdy moc odbiorów P_L jest równa mocy wytwarzanej P_G , a częstotliwość ma wartość znamionową. Wprowadzając moc P_{OZE} (np. pochodzącą z przetworzenia energii słonecznej w elektryczną w baterii ogniwo fotowoltaicznych) w sposób niezależny od aktualnej wartości częstotliwości doprowadza się do podniesienia zastępczej charakterystyki wytwarzania systemu w górę, o wartość P_{OZE} . Punkt pracy przemieszcza się w prawo na nową charakterystykę (rys.8b) i z uwagi na nadwyżkę mocy generowanej nad mocą obciążenia system zaczyna przyspieszać. Nowy punkt równowagi powstaje dla częstotliwości f_1 (rys.8c) – jest to wynik działania regulacji pierwotnej. Regulacja wtórna „zdejmuje” nadwyżkę mocy z elektrowni systemowych, doprowadzając częstotliwość do wartości znamionowej (rys.8d). Jak więc widać, poglądy o specjalnych warunkach, które muszą być spełnione do „wpychania” mocy z DER wynikają z braku zrozumienia istoty procesów regulacyjnych w systemie elektroenergetycznym.

7. Rzeczywisty problem DER – oddziaływanie napięciowe na sieć

Nie można jednak twierdzić, że praca wielu jednostek DER w sieci, nie wpływa na warunki jej pracy. Można wykazać, że wprowadzając do sieci moc czynną P_G oraz bierną Q_G wystąpi charakterystyczny efekt „podbicia napięcia” w miejscu przyłączenia. Związek przyczynowo skutkowy jest jednak taki – to przesył mocy powoduje wzrost napięcia, a nie wzrost napięcia wymusza przepływ mocy (w pewnych warunkach można przesyłać moc od napięcia niższego do wyższego). Odpowiednia zależność ma następującą postać – [3]

$$U_G = U_{GPZ} + \frac{P_G}{U_n} \cdot R_{G-GPZ} + \frac{Q_G}{U_n} \cdot X_{G-GPZ} \quad (2)$$

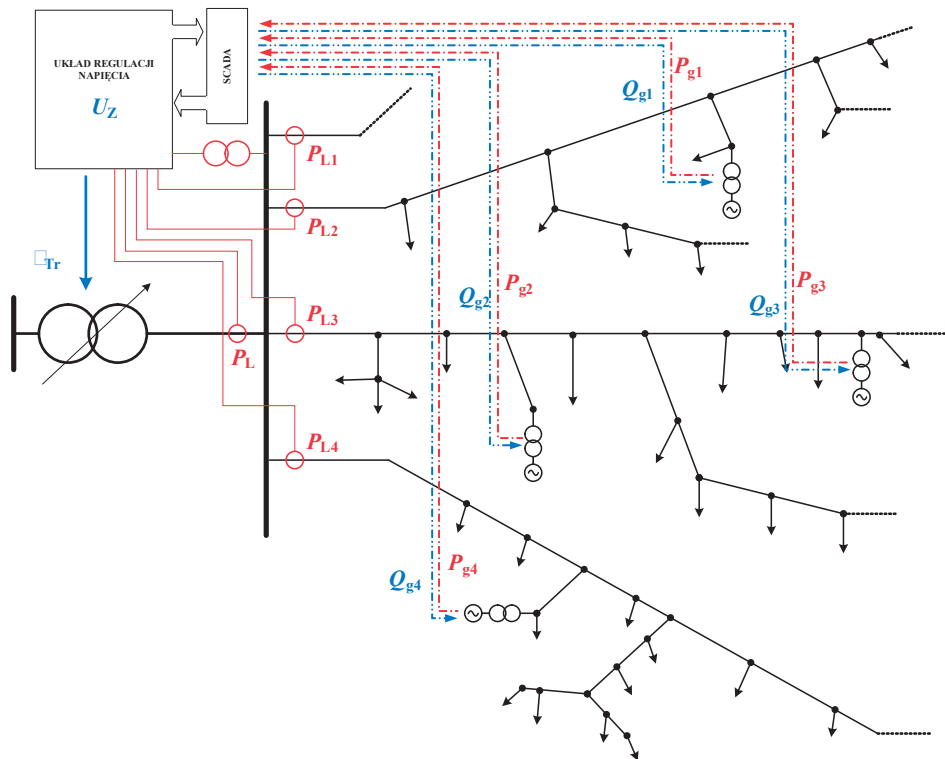
gdzie: U_n – napięcie znamionowe sieci, U_G – napięcie w węźle przyłączenia źródła, U_{GPZ} – napięcie na szynach stacji zasilającej, P_G , Q_G – moc czynna i bierna generowane w źródle, R_{G-GPZ} , X_{G-GPZ} – rezystancja i reaktancja linii pomiędzy źródłem a stacją zasilającą.

W praktyce, pomimo mniejszego „podbicia” napięcia ze względu na pobór mocy w węzłach odbiorczych, zdarza się, że wprowadzenie mocy czynnej do sieci może powodować wzrost napięcia powyżej wartości dopuszczalnych, co z kolei wymusza ograniczenie produkcji energii w źródle. Sytuacja komplikuje się dodatkowo, gdy w sieci zasilanej z jednego GPZ-tu pracuje kilka źródeł (rys. 4 i rys.5). W rezultacie sieć SN z generacją rozproszoną wykazywać może zmienność warunków napięciowych utrudniając pracę normalnych odbiorców – a to przecież dla nich przede wszystkim jest przeznaczona sieć dystrybucyjna i ten fakt nie może budzić wątpliwości. Jak się jednak okazuje idea sieci inteligentnych pozwala na rozwiązanie tego problemu.

8. Koncepcja nowego układu regulacji napięcia w sieci rozdzielczej z generacją rozproszoną

Rozwój rozwiązań technicznych prowadzących do powstawania sieci inteligentnych (*smart grid*), bardzo często w odczuciu społecznym sprowadza się do problematyki

liczników inteligentnych (*smart metering*). Tymczasem możliwości współczesnych rozwiązań teletechnicznych umożliwiają stworzenie systemów sterowania dedykowanych dla źródeł rozproszonych i w istotnym zakresie eliminujących ich „anonimowość” i nieprzewidywalność. W ramach [5] opracowano nową metodę regulacji napięcia w sieci rozdzielczej. Jej idea polega na doprowadzeniu do regulatora napięcia transformatora 110 kV/SN, oprócz sygnału podstawowego (napięcie na szynach SN w stacji zasilającej), także dodatkowych sygnałów określających poziom zapotrzebowania na moc w zasilanym obszarze oraz (co najistotniejsze) sygnałów określających obecność w sieci źródeł rozproszonych i wartości mocy w nich generowanych (w danej chwili). Występujący w tradycyjnych regulatorach napięć transformatorów pojedynczy sygnał wyjściowy (do przełącznika zaczepek) powinien zostać wzbogacony o zwrotne sygnały sterujące do źródeł, wpływające na wartość generowanej w nich mocy biernej. Układ regulacji napięcia odpowiadający przedstawionemu powyżej opisowi pokazano na rys. 9.



Rys. 9 Schemat przedstawiający ideę działania układu optymalnej regulacji napięcia sieci SN z generacją rozproszoną

Zdając sobie sprawę, z nieobserwowalności (w sensie napięciowym i topologicznym) węzłów sieci rozdzielczej, należy jednak pamiętać, że obecnie operatorzy sieci wymagają od inwestorów zapewnienia niezawodnych układów telekomunikacyjnych pomiędzy każdym przyłączanym źródłem rozproszonym a systemem sterowania i nadzoru sieci (SCADA). Tym samym jako całkowicie realne można przyjąć założenie o ciągłej dostępności pomiarowej wartości mocy czynnej generowanej w każdym ze źródeł. Równocześnie operatorzy sieci chcąc zagwarantować sobie nadzór nad pracą źródła wymagają zastosowania komunikacji skierowanej w stronę przeciwną. Generalnie ma ona służyć do interwencyjnego odstawiania źródła, może jednak być wykorzystana do przesyłania innych sygnałów. Tak więc założenie o możliwości zwrotnego przesyłu do każdego ze źródeł zadanej wartości mocy biernej jest także realne.

Planując realne wykorzystanie powyższego układu regulacji napięcia i stawiając

przed nim zadanie spełnienia warunków optymalności należy rozwiązać następujące problemy:

- odpowiednio ukształtować jego dynamikę dopasowując ją do wymagań i możliwości konstrukcyjnych członu wykonawczego, czyli przełącznika zaczepów,
- określić algorytm wyznaczania wartości napięcia zadanego U_Z dla zmierzonych wartości mocy generowanych w źródłach rozproszonych ($P_{g1}, P_{g2}, P_{g3}, \dots, P_{gi}$) oraz sposób wyznaczania wartości mocy biernej ($Q_{g1}, Q_{g2}, Q_{g3}, \dots, Q_{gi}$), które mają być generowane w poszczególnych źródłach, tak by warunki pracy sieci były optymalne.

9. Podsumowanie

Rozwój generacji rozproszonej, pomimo działań obstrukcyjnych o charakterze technicznym, ekonomicznym i prawnym stymulowanych przez lobby energetyki wielkoskalowej (WEK) jest nieuniknioną konsekwencją postępu w technologiach produkcji energii elektrycznej w źródłach o małej mocy. Zastrzeżenia zgłaszane pod adresem źródeł rozproszonych, przy ich realnym udziale w pokryciu zapotrzebowania na moc na poziomie 10% w szczycie letnim i zapotrzebowania na energię na poziomie 5-10% są nieuzasadnione ze względów technicznych. Możliwości współczesnej teletechniki umożliwiają kontrolę nad pracą tych źródeł i dopasowywanie ich parametrów do warunków pracy sieci w czasie rzeczywistym.

Literatura

- 1 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE 32009L0028
- 2 Popczyk J.: USTAWA, KTÓREJ NIE MA, CHOĆ OD GRUDNIA 2010 POWINNA BYĆ. Rzecz o wykorzystaniu technologii OZE/URE do ochrony bezpieczeństwa energetycznego w horyzoncie 2020 i zmniejszenia ryzyka stranded costs w energetyce WEK w horyzoncie 2050. Materiały problemowe, cire.pl 29.12.2011r
- 3 Kacejko P., Adamek S.: Regulacja napięcia w sieciach rozdzielczych średniego napięcia z generacją rozproszoną. Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review) nr 7/2010
- 4 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA GOSPODARKI z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. z dnia 29 maja 2007 r.) z późniejszymi zmianami.
- 5 Adamek S.: Optymalna regulacja napięcia w sieciach rozdzielczych z generacją rozproszoną. Rozprawa doktorska. Politechnika Lubelska 2010.

Rural Distribution Networks with Dispersed Generation – Realities and Hopes

Piotr Kacejko, Sylwester Adamek

Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, e-mail: p.kacejko@pollub.pl, s.adamek@pollub.pl

Abstract The paper presents dispersed generation (DG) issues for the Polish Power System. It has been indicated that a successive growth of the mentioned DG will occur in spite of multiple barriers. Current opinions about the negative influence of DG on distribution grids has been discussed and it has been proven that such a claim is not valid. A new method of voltage control that can be implemented in distribution networks has been proposed. The method is based on typical smart-grid solutions.

Keywords distribution grids, dispersed generation, voltage control

Budownictwo leśne jako element lokalnej infrastruktury budowlanej

Grzegorz Trzcinski

*Katedra Użytkowania Lasu, Wydział Leśny, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,
e-mail: grzegorz_trzcinski@sggw.pl*

Streszczenie: Lasy zajmują prawie jedną trzecią powierzchni kraju stanowiąc integralną część krajobrazu i przestrzennego zagospodarowania obszarów. Lasy wokół miast zajmują 645 tysięcy hektarów, a znaczna ich część (prawie 8500 tys. ha) graniczy z obszarami wiejskimi i małymi miast. Obiekty budowlane, które oprócz ogólnych wymagań (bezpieczeństwa konstrukcji, energochłonności, funkcjonalności) muszą zapewnić realizację zadań wielofunkcyjnej gospodarki leśnej przy jednoczesnym ograniczeniu interwencji w środowisko i krajobraz leśny. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe (PGL LP), jako zarządca większości obszarów leśnych oraz obiektów budowlanych występujących na ich terenie, stara się realizować inwestycje budowlane zapewniając ich funkcjonalność, ale także wpisujące się w lokalną infrastrukturę budowlaną, a szczególnie krajobraz leśny. Konieczne jest zwrócenie uwagi przez projektantów na specyficzne warunki obszarów leśnych i zachowanie indywidualnego podejścia przy projektowaniu nowych oraz przy przebudowie już istniejących obiektów budowlanych w gospodarce leśnej. Analizie poddano wybrane obiekty budowlane zarządzane przez PGL LP, a omawiane zagadnienia są również istotne dla pozostałych zarządców lasów: osób fizycznych, samorządów, czy władz parków narodowych.

Słowa kluczowe: budownictwo leśne, inżynieria leśna, drogi leśne, Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe.

*„Sztuka nigdy nie zdoła dorównać przyrodzie”
(Girolamo Savonarola)*

1. Wstęp

Powierzchnia lasów w Polsce wynosi obecnie 9143,6 tys. ha, co odpowiada lesistości - 29,2% (wg GUS – stan w dniu 31.12.2011 r.). Przeważającą powierzchnią lasów (77,4 %) zarządza Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe (PGL LP), drugą grupę stanowią osoby fizyczne (18,7%). Realizacja zadań wielofunkcyjnej gospodarki leśnej związanych z funkcją ekologiczną, społeczną i gospodarczą lasu możliwa jest jedynie przy wykorzystaniu obiektów budowlanych: budynków, budowli, obiektów liniowych i małej architektury. Specyfika gospodarki leśnej wynikająca przede wszystkim z pracy nad materiążywioną (fauną i florą) w długich okresach czasowych (wiek rębności drzewostanów), prowadzenia działalności na styku terenów przyrodniczych i w mniejszym lub większym stopniu zurbanizowanych (np. siedziby leśniczego w środku lasu, a budynki nadleśnictwa w miastach i wsiach lub na ich pograniczu) oraz z obowiązku zachowania kulturowego i krajobrazowego dziedzictwa narodowego decyduje o konieczności bardzo indywidualnego i rozważnego projektowania obiektów budowlanych w gospodarce leśnej. Niech wstępem do rozważań będą słowa Profesora Wiktora Żina „...każdy architekt-projektant zaczynający działanie we wnętrzu lasu, a nawet w jego sąsiedztwie, powinien przyjąć postawę pokorną i mieć świadomość, że to, co czyni, jest zaledwie skromnym dodaniem części do już istniejącej całości” [1].

2. Charakterystyka obiektów budowlanych w PGL LP

Budownictwo leśne jest częścią budownictwa ogólnego i w inżynierskim zagospodarowaniu lasu zostało zdefiniowane jako zwyczajowe odróżnienie budownictwa

związanego z wielofunkcyjną gospodarką leśną, które zapewnia funkcjonowanie gospodarstw leśnych Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe nadzorowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych (DGLP), regionalne dyrekcje Lasów Państwowych (RDLP) i nadleśnictwa [2, 3, 4]. Do budownictwa leśnego zalicza się:

- budynki: mieszkalne, administracyjno-biurowe, zaplecza techniczno-socjalnego, domy wypoczynkowe oraz domki myśliwskie;
- budowle: infrastrukturę drogową, wieże obserwacyjne, ogrodzenia upraw, budowle na terenie szkółek leśnych, kempingi, ambony, zadaszenia i wiaty turystyczne oraz ogrodzenia osad i zagród leśnych;
- obiekty małej architektury: urządzenia na ścieżkach zdrowia, ławki, piaskownice, kosze na śmieci oraz inne obiekty na placach zabaw i biwakach wykorzystywane przy turystycznym zagospodarowaniu lasu.

2.1. Budynki

Ogólna liczba budynków w zarządzie PGL LP na dzień 31 grudnia 2011 r. wynosiła 38491 obiektów wśród których najwięcej było budynków gospodarczych, zaplecza technicznego. Budynki zaplecza techniczno-socjalnego występują najczęściej przy siedzibie nadleśnictwa oraz na terenie szkoły leśnej zapewniając warunki socjalne pracownikom, obsługę posiadanego parku maszynowego oraz w przypadku szkółek leśnych produkcję materiału sadzeniowego. Pojedyncze budynki gospodarze znajdują się również w zagrodach leśniczego i przy budynkach mieszkalnych wielorodzinnych.

Tabela 1. Stan posiadania budynków w PGL LP na koniec 2011 r.

Lp.	Wyszczególnienie	Liczba
1	Budynki mieszkalne	4874
2	Lokale mieszkalne	9570
3	Hotele, internaty, wczasowe	510
4	Osady, zagrody	187
5	Budynki przemysłowe	853
6	Budynki transportu	1486
7	Budynki handlowo-usługowe	90
8	Budynki oświaty, nauki, kultury	64
9	Budynki produkcyjne i gospodarcze dla rolnictwa	17077
10	Budynki chłodni i magazyny specjalne	179
11	Budynki o powierzchni magazynowej	1649
12	Budynki inne niemieszkalne	1952
	Razem	38491

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych źródłowych PGL LP

Do budynków pełniących funkcje biurowe zaliczamy siedziby nadleśnictw (430 obiektów), RDLP (17 obiektów) oraz DGLP, które niejednokrotnie posiadają wydzieloną część zaplecza mieszkalnego – pokoje gościnne. Budownictwo mieszkaniowe stanowią budynki jednorodzinne i wielorodzinne, zapewniające mieszkania dla służby leśnej. Wolnostojące budynki jednorodzinne zwane leśniczówkami przeznaczone dla leśniczego łączą funkcję mieszkalną z biurowo-służbową, stanowiąc miejsce pracy leśniczego (przyjmowanie interesantów, praca nad dokumentami). Funkcje społeczne lasów PGL LP realizuje przy wykorzystaniu budynków służących edukacji (centra edukacji przyrodniczo-leśnej), budynkach zamieszkania zbiorowego (ośrodki szkoleniowo-wczasowe) oraz kwaterach myśliwskich. Do dyspozycji turyści mają między innymi 66 ośrodków edukacji, 301 izb leśnych, ponad 4,5 tys. miejsc noclegowych [5].

Budynki wykonane są w konstrukcji drewnianej i murowanej z zastosowaniem różnych materiałów od kamienia, cegły ceramicznej po najnowsze technologie. Wiele z tych budynków pochodzi z końca XIX lub z początku XX wieku i są wartościowymi przykładami dawnej architektury regionalnej.

2.2. Obiekty komunikacyjnego udostępnienia lasu

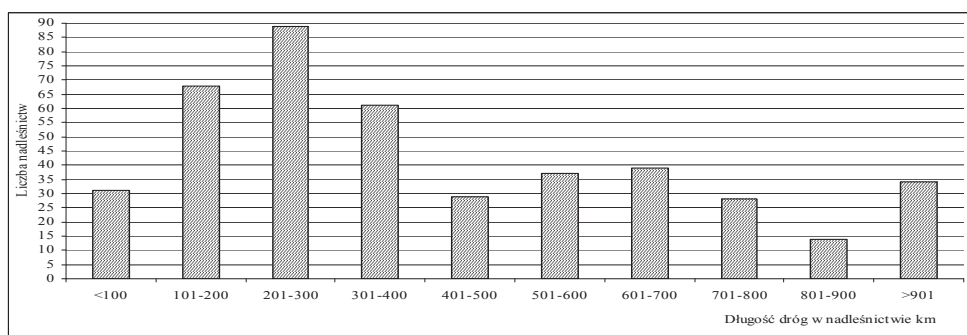
Drogi leśne w połączeniu z drogami publicznymi (głównie lokalnymi, gminnymi, powiatowymi) stanowią trzon komunikacyjnego udostępnienia obszarów leśnych. Na mocy przepisów (art.29 ustawy o lasach Dz.U. z 2011 r. Nr 12, poz. 59) na drogach leśnych ograniczony jest ruch pojazdów mechanicznych jedynie do przejazdów związanych z gospodarką leśną. Jednak wiele dróg, ze względów społecznych oraz warunków lokalnych, jest dopuszczona do ruchu publicznego przez zarządzającego – nadleśniczego. PGL LP wykazuje pod swoim zarządem 182,97 tys. km dróg leśnych, z których największą grupę stanowią drogi o nawierzchni gruntowej (76%), a dróg o nawierzchni twardej ulepszonej jest ok. 2% (tabela 2).

Tabela 2. Charakterystyka dróg leśnych w PGL LP według rodzaju nawierzchni

Lp.	Rodzaj nawierzchni	Długość dróg [km]	Udział procentowy
1	Gruntowa naturalna	138707	75,8
2	Gruntowa ulepszona	14793	8,1
3	Żwirowa	9503	5,2
4	Żużłowa	4324	2,4
5	Tłuczniowe	10187	5,6
6	Inne nawierzchnie nieulepszone	1343	0,2
7	Na podbudowie geokraty	223	0,1
8	Bruk	678	0,4
9	Bitumiczne	2621	1,4
10	Inne nawierzchnie ulepszone	1494	0,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych źródłowych PGL LP z 2007r.

Sumaryczna długość dróg leśnych w jednym nadleśnictwie wynosi od poniżej 100 km do 1470 km. Średnia długość dróg leśnych w PGL LP wynosi 425,5 km, przy czym najczęściej jest nadleśnictw z długością dróg 201-300 km (89) i 101-200 km (68) (rys.1). Przez obszary leśne przebiega 48,8 tys. km dróg publicznych (bez autostrad i dróg szybkiego ruchu), z których 18,9 tys. km posiada nawierzchnie gruntowe, a nawierzchnie ulepszone posiada 22,4 tys. km dróg.



Rys.1. Długość dróg leśnych w nadleśnictwach

Ważnym elementem komunikacyjnego udostępnienia obszarów leśnych, ze względu na zabezpieczenie przeciwpożarowe lasów, jest dobrze zaplanowana sieć dojazdów pożarowych oraz ich parametry techniczne. Wśród dróg leśnych 25% (45332 km) w operatach urzędzeniowych dla nadleśnictw (plan ochrony przeciwpożarowej nadleśnictwa) zostało zakwalifikowanych jako dojazdy pożarowe (tabela 3). Zróżnicowanie w długości i liczbie dojazdów pożarowych między regionalnymi dyrekcjami wynika z zagrożenia pożarowego obszarów leśnych, zakwalifikowania nadleśnictw do pierwszej, drugiej lub trzeciej grupy zagrożenia pożarowego [6].

Tabela 3. Długość i liczba dojazdów pożarowych w RDLP

Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych	Dojazdy pożarowe	
	Liczba odcinków	Długość [km]
Białystok	1073	3408
Gdańsk	511	1410
Katowice	2832	5388
Kraków	370	836
Krosno	525	1610
Lublin	890	2207
Łódź	1088	2244
Olsztyn	1469	3706
Piła	1067	2682
Poznań	1274	2625
Radom	518	1272
Szczecin	1213	3655
Szczecinek	1067	3507
Toruń	864	2427
Warszawa	920	1316
Wrocław	1543	4216
Zielona Góra	917	2819
Razem	18141	45332

2.3. Budowle

W gospodarce leśnej budowie wykorzystywane są przy realizacji zadań związanych z ochroną lasu (punkty czerpania wody, wieże przeciwpożarowe, gradzenie upraw, budowie hydrotechniczne), użytkowaniem i komunikacyjnym udostępnieniem lasu (składnice drewna, mosty, przepusty) oraz turystycznym zagospodarowaniem (ścieżki rowerowe, wiaty, ambony, wieże widokowe). Na terenie osad i zagród leśnych mamy do czynienia z budowlami związanymi z infrastrukturą działki budowlanej.

Tabela 4. Wieże przeciwpożarowe w PGL LP

Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych	Liczba wież przeciwpożarowych	Srednia wysokość wieży [m]
Białystok	31,0	35,0
Gdańsk	26,0	35,0
Katowice	65,0	32,9
Kraków	6,0	32,5
Krosno	14,0	37,2
Lublin	29,0	35,7
Łódź	23,0	34,8
Olsztyn	39,0	36,0
Piła	27,0	34,6
Poznań	38,0	34,9
Radom	42,0	33,7
Szczecin	55,0	36,0
Szczecinek	45,0	39,1
Toruń	51,0	34,3
Warszawa	35,0	38,6
Wrocław	40,0	32,8
Zielona Góra	66,0	33,6
Razem	632	35,1

Szczególnie specyficzną budowlą dla gospodarki leśnej są wieże przeciwpożarowe (zwane także dostrzegalniami p.poż.) zapewniające szybkie wykrycie pożaru, konstrukcyjnie można je przyrównać do latarni morskich. Charakterystycznym parametrem wieży jest jej wysokość oraz powierzchnia obserwowanego lasu. Liczbę wież przeciwpożarowych oraz ich średnią wysokość w poszczególnych regionalnych dyrekcjach Lasów Państwowych przedstawiono w tabeli 4. Najniższa wieża znajdująca się w RDLP Poznań ma wysokość 11m, a najwyższa znajdująca się w RDLP Krosno ma wysokość 70 m. Średnia wysokość wież w PGL LP wynosi 35,1m.

W ciągu dróg leśnych PGL LP posiadają 2469 obiektów mostowych o łącznej długości 18,03 tys. m, wśród których mosty o konstrukcji żelbetonowej lub betonowej

stanowią największą grupę obiektów – 1155 (tabela 5). Głównym mankamentem jest stan techniczny obiektów mostowych wynikający z ich wieku, jak i zastosowanych konstrukcji. Większość obiektów mostowych (1891 sztuk o łącznej długości 11554 m) nie ma określonej nośności. Tylko 53 obiekty są o nośności 30 ton, a 99 mostów ma dopuszczalny nacisk na oś 12,5 tony.

Tabela 5. Charakterystyka obiektów mostowych i przepustów drogowych w PGL LP

MOSTY [sztuk / m]						
Drewniane	Drewniane na podporach trwałych	Żelbetonowe / betonowe	Stalowe	Kamienne i ceglane	Na bazie blach i tworzyw sztucznych	Inne konstrukcji
617 / 3702	326 / 2271	1155 / 9249	57 / 667	121 / 893	162 / 1030	31 / 221
PRZEPUSTY [sztuk / m]						
481 / 2315	281 / 1596	53254 / 299563	490 / 2849	2184 / 12122	4397 / 24335	2760 / 15524

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych źródłowych PGL LP z 2007r.

Ważnym zadaniem w gospodarce leśnej PGL LP jest zapewnienie prawidłowego funkcjonowania 63847 przepustów drogowych o łącznej długości 358,29 tys. m. Zapewniają one prawidłowe odwodnienie dróg leśnych od wód opadowych oraz przeprowadzenie cieków wodnych pod drogą. Obecnie powszechnie stosuje się konstrukcje przepustu opartą na rurach z tworzyw sztucznych i w mniejszych ilościach (do większych średnic przepustu) z blach profilowanych. Przepusty o konstrukcji kamiennej, ceglanej i drewnianej nie są już wykonywane.

W turystycznym zagospodarowaniu obszarów leśnych w PGL LP funkcjonują następujące budowle: 545 wiat (tzw. zielonych klas), 1013 ścieżek dydaktycznych, 1840 punktów edukacyjnych i 3142 innych obiektów, prawie 4 tys. km szlaków rowerowych, ok. 7 tys. km szlaków konnych, ponad 300 leśnych pól biwakowych, przeszło 500 miejsc biwakowania i ponad 200 obozowisk. Poza tym funkcjonuje 300 miejsc w lesie i jego pobliżu, gdzie dozwolone jest rozpalanie ognisk, wyposażonych w obiekty małej architektury i zadaszenia (wiaty). Na punktach widokowych wybudowano prawie 30 wież widokowych. Zorganizowano 87 parkingów śródleśnych i blisko 3 tys. miejsc postoju pojazdów.[7]

2.4. Obiekty małej architektury

Obiekty małej architektury wykorzystywane są głównie przy turystycznym zagospodarowaniu lasu do celów rekreacji oraz w osadach i zagrodach leśnych w celu podniesienia ich walorów estetycznych. Przy polach biwakowych, obiektach liniowych (szlakach, ścieżkach), parkingach i miejscach postoju rozmieszczone są ławy, zadaszenia, place zabaw i urządzenia do ćwiczeń.

3. Wymagania stawiane obiektom budowlanym i główne czynniki wpływające na rozwiązania funkcjonalne i technologiczne

Wszystkie obiekty zgodnie z przepisami ustawy prawa budowlanego powinny spełniać wymagania podstawowe (bezpieczeństwo konstrukcji, użytkowania i pożarowego i inne) oraz warunki użytkowe zgodne z przeznaczeniem obiektu (art.5 ustawy prawo budowlane Dz.U. 1994 Nr 89 poz.414). Obiekty budowlane zarządzane przez Lasy Państwowe to nie tylko dobrze funkcjonujące budynki i budowle wykonane w najnowszych technologiach, ale to także wizytówka PGL LP. Dlatego też jest to związane z koniecznością dbania o walory krajobrazowe, o to aby obiekt stanowił harmonijną całość z otaczającym go krajobrazem [2]. Według Wielgusa [8] warunkiem wkomponowania obiektu w krajobraz jest zachowanie zgodności:

- linii tworzących formę obiektu z liniami tworzącymi rodzimy krajobraz,
- występowania podobnych elementów w obiekcie i w otaczającym krajobrazie,
- materiału (struktura, faktura, barwa), z którego zbudowano obiekt z materiałem występującym w danym terenie.

3.1. Budynek mieszkalno-administracyjny, leśniczówka

W większości przypadków leśniczówki są to budynki jednorodzinne w zabudowie zagrodowej zaspokajające potrzeby mieszkaniowe rodziny leśniczego oraz umożliwiające prowadzenie prac administracyjnych i obsługę lokalnej społeczności w zakresie zapotrzebowania na drewno oraz firm wykonujących usługi na rzecz gospodarki leśnej. W leśniczówce wydziela się część mieszkalną i administracyjną zwaną kancelarią. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych (DGLP) przy budowie nowych leśniczówek wprowadziła ujednolicone standardy, co do parametrów ogólnych budynku, określając ich maksymalną powierzchnię całkowitą do 200 m², w tym: część mieszkalna 60-100 m² oraz część służbowa ok. 25 m² z oddzielnym wejściem zawierająca kancelarię, wiatrołap (mała poczekalnia) i wc [9]. Leśniczówki funkcjonują (są budowane) w obszarach o małym uzbrojeniu technicznym lub jego braku (sieci techniczne) konieczne jest więc zapewnienie odpowiednich pomieszczeń technicznych, a szczególnie kotłowni na opał stały (leśniczy otrzymuje deputat drzewny). Zaleca się przy budowie nowych obiektów projektowanie budynku parterowego z użytkowym poddaszem, z częścią techniczną w podpiwniczeniu lub przyziemiu obok części służbowej.

3.2. Drogi leśne i dojazdy pożarowe

Jak już wspomniano drogi leśne są drogami wewnętrznymi z bardzo ograniczonym ruchem pojazdów mechanicznych, nie muszą więc być projektowane zgodnie z przepisami i wytycznymi dla dróg publicznych. Jedynie zjazd (skrzyżowanie) z drogi publicznej powinien spełniać wszystkie wymagania techniczne i bezpieczeństwa ruchu określone dla niej. Wytyczne do projektowania dróg określone zostały w wewnętrznych przepisach PGL LP przez DGLP „Drogi leśne, poradnik techniczny” [10], a obecnie przygotowane są do druku nowe „Wytyczne projektowania dróg leśnych” [11]. Parametry dojazdów pożarowych zostały określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [6] i są obligatoryjne (kat prawny).

Podstawowym punktem wyjścia do projektowania każdej drogi jest ustalenie struktury ruchu, to jest natężenia oraz obciążenia od kół pojazdów, czyli określenie liczby osi obliczeniowych w połowie okresu eksploatacji drogi po remoncie. Na drogach leśnych nie wykonuje się badań natężenia i struktury ruchu z bezpośrednich pomiarów, a jedynie obciążenie drogi ustala się na podstawie „potoku ładunku” (ilości transportowanego drewna) określonej w „planie sieci dróg leśnych dla nadleśnictwa” oraz wiedzy i doświadczenia zarządcy drogi. Badania nad strukturą ruchu na drogach leśnych [12, 13, 14] wykazują małe natężenie ruchu (maksymalnie do kilku pojazdów na dobę), lecz o dużym obciążeniu pojazdów przekraczającym 80 kN/oś [15] i niejednokrotnie przekraczającym dopuszczalne wartości nawet dla dróg publicznych (krajowych, 125 kN/oś) [16]. W obecnej sytuacji uregulowano transport drewna poprzez nowelizację ustawy Prawo o ruchu drogowym (art. 61 ust. 16) [17] i wprowadzenie przeliczników dla ustalenia masy drewna w kilogramach [18], co przy określeniu masy własnej zestawu wywozowego (przez przewoźnika lub dokumentacji pojazdu) pozwala leśniczemu na wydanie takiej ilości drewna, aby zestaw go transportujący nie przekroczył dopuszczalnej masy całkowitej. Zestawy wywozowe wraz z ładunkiem charakteryzują się znaczną długością do 21 m [16], a w prawie o ruchu drogowym [16] dopuszcza się wystawianie drewna dłużycowego poza zestaw 5 m od osi przyczepy kłonicowej.

Podstawowym założeniem do projektowania parametrów dróg leśnych oraz zapewnienia bezpieczeństwa ruchu jest ustalenie dopuszczalnej prędkości na drogach leśnych na 30 [km/h]. Przy małym natężeniu ruchu przyjęto założenie projektowania dróg leśnych jednopasowych o szerokości jezdni 3,5 m z rozmieszczonymi na trasie mijankami o 6,5 m szerokości. Pomimo występujących dużych nacisków na oś w zestawach wysokotonazowych do wywozu drewna, lecz przy małym natężeniu ruchu na drogach leśnych projektuje się w większości nawierzchnie nieulepszone (żwirowe, tłuczniowe, żuźlowe, na podbudowie z kruszyw budowlanych). Parametry zewnętrzne zestawów wywozowych wskazują na konieczność stosowania promieni łuków (wyokrągłeń) na skrzyżowaniach większych od 12 m.

Dojazdami pożarowymi są drogi leśne w nadleśnictwie, które w połączeniu z siatką dróg publicznych umożliwiają dotarcie bez ograniczeń do pożaru lasu pojazdom biorącym

udział w akcji gaśniczej. Parametry techniczne dojazdów pożarowych określono w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [6], wśród najważniejszych można wymienić: prawidłowy układ sieci dojazdów, zachowanie skrajni drogi (6x4 m), rozmieszczenie mijanek co 300 m na jezdniach jednopasowych oraz konstrukcje jezdni o nośności minimum 50 kN/oś.

3.3. Obiekty małej architektury

Rozmieszczenie i ilość obiektów małej architektury uzależniona jest od intensywności zagospodarowania obszaru leśnego oraz przewidywanej frekwencji osób korzystających z turystycznego zagospodarowania lasu. Obiekty te powinny w pierwszej kolejności być bezpieczne w użytkowaniu i spełniać wymagania ergonomiczne [19] oraz charakteryzować się prostą formą, estetyką i jednorodnością materiału [20]. Najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie materiałów naturalnych takich jak drewno, kamień, kruszywa naturalne, a stal nierdzewna oraz beton powinny być stosowane sporadycznie [2, 20].

4. Perspektywy rozwoju infrastruktury leśnej

Liczba jednostek organizacyjnych PGL LP jest stabilna i wynosi obecnie 430 nadleśnictw, które jednocześnie działają na ograniczonym terytorium. Jednocześnie zmiany zachodzące w sposobie organizacji prac leśnych oraz w strukturze zatrudnienia w PGL LP wpłynęły na zmianę polityki mieszkaniowej Lasów Państwowych. Efektem tych działań była znaczna redukcja (sprzedaż) zbędnej infrastruktury budowlanej w niektórych przypadkach ponad 55% [21]. Zbicie pustostanów, czy też niepotrzebnych budynków przez PGL LP nie oznacza zaniechania rozbudowy infrastruktury potrzebnej do realizacji wielofunkcyjnego leśnictwa. PGL LP prowadzi rozbudowę infrastruktury inżynierskiej związanej z ochroną lasu (dojazdy pożarowe, wieże p.poż., przeciwdziałanie erozji, zwiększenie retencji wodnej), poprawą dróg leśnych, czy rozbudową bazy turystyczno edukacyjnej. W ostatnich latach obserwuje się ciągły wzrost inwestowania w obiekty budowlane o czym świadczy przyrost wartości brutto rzeczowych aktywów trwałych dla tej grupy środków (tabela 6).

Tabela 6. Przyrost wartości brutto rzeczowych aktywów trwałych w PGL LP

Grupa aktywów	Przyrost aktywów w roku [tys. zł]		
	2008	2009	2011
Budynki i lokale	176 867,7	130 289,6	161 358,0
Obiekty inżynierii wodnej i lądowej	213 144,5	89 727,0	602 835,8

Źródło: sprawozdania finansowo – gospodarcze Lasów Państwowych

Tabela 7. Stan i perspektywy rozwoju elementów komunikacyjnych w PGL LP

Elementy infrastruktury drogowej	Stan infrastruktury w latach			
	1976	1986	2007	2017*
Długość dróg leśnych [km]	147070	179911	182973	185452
Udział dróg o nawierzchni utwardzonej [%]	12,1	13,1	16,1	20,1
Potrzeba wybudowania nowych dróg [km]	19100	9506	2565	-
Potrzebne remonty i przebudowy [km]	26 900	26 900	19733	-
Liczba obiektów mostowych i ich długość [sztuk] / [m]	4161 (27090)	3189 (22394)	2245 (17834)	2705 (22171)
Potrzeba wybudowania nowych obiektów mostowych [sztuk] / [m]	-	614 (4937)	460 (4337)	-

* plany PGL LP na dzień 1.01.2007

O planowaniu zwiększenia liczby i stanu technicznego obiektów infrastruktury obiektów inżynierii wodnej i lądowej na obszarach leśnych świadczą także realizowane przez PGL LP programy:

- Zwiększanie możliwości retencyjnych oraz przeciwdziałanie powodzi i suszy w ekosystemach leśnych na terenach nizinnych (koszt realizacji projektu 195,2 mln zł).

- Przeciwdziałanie skutkom odpływu wód opadowych na terenach górskich. Zwiększanie retencji i utrzymanie potoków oraz związanej z nim infrastruktury w dobrym stanie (170,8 mln zł).
- Odtworzenie potencjału produkcji leśnej zniszczonego przez katastrofy i wprowadzenie odpowiednich instrumentów zapobiegawczych (działanie 226 z PROW 2007-2013 planowane środki 100 mln Euro, rozliczono 173,5 mln zł.).

W perspektywie rozwoju infrastruktury budowlanej na najbliższe lata PGL LP priorytetem będzie zabezpieczenie przeciwpożarowe obszarów leśnych związane z poprawą dojazdów pożarowych, punktów czerpania wody (zwiększa retencje wody w lasach), co wiąże się z rozbudową obiektów drogowych (tabela 7).

5. Skutki bezpośredniej implementacji rozwiązań budownictwa ogólnego do architektury leśnej

Stosowanie schematów, jak i gotowych rozwiązań (projektów powtarzalnych) w projektowaniu obiektów budownictwa leśnego nie zawsze przynosi dobre efekty. Ujemnym skutkiem bezpośredniego przeniesienia gotowego projektu oraz stosowanych technologii może być:

- brak zsynchronizowanie bryły obiektu z krajobrazem leśnym,
- zastosowanie materiałów i technologii obcych dla środowiska leśnego,
- niefunkcjonalność obiektu lub jego części,
- zanik (zniszczenie) historycznego charakteru obiektu,
- przewymiarowanie parametrów obiektu.

Jak zauważa Wielgus [8] pomijany jest związek obiektów inżynierskich z otaczającym krajobrazem i wzajemnego eksponowania walorów. Przyczyną takiej sytuacji w architekturze może być stosowanie barw kontrastujących ze sobą i otoczeniem z dominacją mocnych i często ostrych barw oraz formy i materiały [22].

5.1. Budynki mieszkalne i administracyjne

W gospodarce centralnie planowanej oraz w okresie rozwoju technologii żelbetonowych do budownictwa leśnego wprowadzono bloki mieszkalne tworząc „osiedla leśne”, pojedyncze budynki leśniczówki oraz budynek nadleśnictwa o płaskich dachach pozbawionych elementów regionalnej architektury. Jednocześnie budynki te nie uwzględniały zapotrzebowań mieszkańców, co do ich funkcjonalności i sposobu życia poza miastem. W obecnej sytuacji zdarza się, że adaptowane gotowe projekty budynku mieszkalnego do funkcji leśniczówki nie przewidują odpowiednich powierzchni na część służbową (kancelarię z oddzielnym wejściem) oraz pomieszczeń kotłowni na opał stały (drewno) z odpowiednim dostępem z części mieszkalnej. Przy remontach istniejących budynków zmiana konstrukcji dachu i połąci dachowej oraz elementów elewacji prowadziła do zaniku pierwotnego regionalnego charakteru remontowanego obiektu.

5.2. Budowle

W wielu projektach budowy i remontu dróg leśnych autorzy powołują się na spełnienie wymagań stawianym w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. nr 43 poz. 430 z późn. zm.), a drogi leśne są przecież drogami wewnętrznymi o innych parametrach ruchu. Zastosowani tych przepisów prowadzi do przewymiarowania elementów drogi, a niespełnienie tych wymagań daje podstawę do podważenia dokumentacji. W projektowaniu elementów korpusu drogowego nadmiernie stosuje się elementy prefabrykowane: ścieki drogowe, płyty żelbetonowe w umocnieniu skarp, betonowe ściany przepustów oraz stalowe element barier ochronnych. W projektowaniu przebiegu drogi w profilu podłużnym oraz poprzecznym nie zwraca się uwagi na ograniczenie ingerencji w środowisko (głębokość wykopów i wielkość nasypów drogowych). Jednocześnie pomija się aspekty funkcjonalności drogi leśnej (zjazdu na szlaki zrywkowe, składnice drewna, mijanki).

W obiektach turystycznego zagospodarowania lasu (wiatach i zadaszeniach) próbowano stosować do konstrukcji materiały stalowe oraz betonowe, a na wykończenie

powierzchni dywaniki bitumiczne i płyty betonowe. Nadinterpretacją przepisów jest także próba wymagania projektowania ścieżek rowerowych na obszarach leśnych o parametrach określonych w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. nr 43 poz. 430 z późn. zm.) tak jakby były one umieszczone w pasie drogi publicznej.

5.3. Obiekty małej architektury

Wprowadzenie stalowych urządzeń do rekreacyjnego zagospodarowania lasu miało ujemny skutek. Jednym z przykładów tego może być stosowanie jako koszy na śmieci obrczy stalowych na których mocowano niezabezpieczone worki foliowe na śmieci, które były rozdierane przez zwierzynę leśną. Przy zagospodarowaniu parkingów leśnych stosowano czasami zamontowane na stałe podpory betonowe pod ławy i stoły.

6. Podsumowanie

Obiekty budownictwa leśnego stanowią integralną część lokalnej infrastruktury i są jej ważnym elementem, o czym świadczą następujące argumenty:

- ilość wszystkich obiektów budowlanych jest znacząca i rozpoznawalna przez społeczeństwo,
- obiekty budowlane zaspokajają realizację gospodarki leśnej dla funkcji ochronnych, społecznych i gospodarczych lasu,
- obiekty budowlane wpisują się w krajobraz i są przykładami architektury regionalnej,
- architektura budynków mieszkalnych i administracyjnych nadleśnictw w wielu przypadkach świadczy o zachowaniu ich historycznego wyglądu,
- w wielu przypadkach infrastruktura dróg leśnych jest udostępniona do ruchu publicznego i poprawia komunikacyjność obszarów wiejskich,
- inwestycje w rozwój budownictwa leśnego (budowy, remonty) są dla lokalnych społeczności źródłem utrzymania.

Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe prowadząc inwestycje związane z budownictwem leśnym stara się przy remontach istniejących obiektów zachować historyczny ich charakter, a przy realizacjach nowych projektów zachować piękno krajobrazu leśnego i regionalnego budownictwa.

Konieczne jest wspomaganie Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe i jego jednostek terenowych przez projektantów oraz instytucje naukowe w celu stosowania już istniejących rozwiązań i opracowywania nowych zmierzających do zachowania krajobrazu leśnego i dziedzictwa kulturowego.

Projektowanie obiektu budowlanego dla gospodarki leśnej wymaga indywidualnego podejścia bez stosowania schematów, co wynika z różnorodności krajobrazu leśnego oraz funkcji pełnionych przez obiekt.

Literatura

- 1 Architektura sadyb leśnych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych 2004.
- 2 Czerwiński H. Budownictwo leśne. Wydawnictwo SGGW-AR 1985.
- 3 Koczwański S. Inżynieria i budownictwo leśne. PWN 1998.
- 4 Trzciniński G. Budownictwo leśne. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo SGGW 2004.
- 5 Sprawozdanie finansowo – gospodarcze Lasów Państwowych za 2010. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych 2012.
- 6 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 marca 2006 r. w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczenie przeciwpożarowego lasów. Dz.U z 2006 Nr 58, poz. 405.
- 7 Raport o stanie lasów w Polsce 2011. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych 2012.
- 8 Wielgus K. Ochrona i kształtowanie dzieł inżynierii w krajobrazie – zakres problematyki. Architektura krajobrazu a planowanie przestrzenne. Politechnika Krakowska, Kraków 2001.
- 9 Chabowski H. Informator w sprawie realizacji inwestycji i remontów budowlanych w PGL LP. Ośrodek Rozwojowo - Wdrożeniowy Lasów Państwowych 2012.

- 10 Dzikowski J. i inni. Drogi Leśne. Poradnik techniczny. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych 2006.
- 11 Czerniak A. i inni. Wytyczne projektowania dróg leśnych. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych 2013.
- 12 Antończyk S. Ładunki przewożone drogami leśnymi i ich zróżnicowanie. Sylwan 3 (1989) 53-60.
- 13 Koczwański S. Nowakowska-Moryl J. Badanie ruchu drogowego na wybranych drogach leśnych w nadleśnictwie Krzeszowice. Sylwan 10 (1992) 19-42.
- 14 Trzcinski G. Analiza struktury ruchu w leśnej sieci komunikacyjnej nadleśnictwa. Rozprawa doktorska. Maszynopis Biblioteka SGGW 2001.
- 15 Bień B. Ekonomiczne aspekty doboru nacisków osi pojazdów samochodowych na nawierzchnie dróg. Auto-technika motoryzacyjna 5(1987) 6-9.
- 16 Trzcinski G. Analiza parametrów technicznych dróg leśnych w aspekcie wywozu drewna samochodami wysokotonażowymi. Wydawnictwo SGGW 2011.
- 17 Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym. Dz.U. nr z 2005 Nr 108, poz. 908.
- 18 Rozporządzenie Ministra Środowiska oraz Ministra Gospodarki z dnia 2 maja 2012 r. w sprawie określenia gęstości drewna. Dz.U. Nr 0 poz. 536.
- 19 Woźnicka M. Zastosowanie badań ergonomicznych w projektowaniu leśnych urządzeń rekreacyjnych. Studia i Materiały CEPL w Rogowie. Zeszyt 1 (2011) 40-45.
- 20 Ważyński B. Urządzanie i zagospodarowanie lasu dla potrzeb turystyki i rekreacji. Wydawnictwo AR im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu 1997.
- 21 Trzcinski G., Kaczmarczyk M. Zmiany w zasobach budownictwa leśnego po zmianach organizacyjnych w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering 55 (2010) 117-123.
- 22 Vidella S. A. Atlas współczesnej architektury krajobrazu. Top Mark Center, Warszawa 2009.

Forest architecture as part of the local building infrastructure

Grzegorz Trzcinski

*Department of Forest Utilization, Faculty of Forestry, Warsaw University of Life Sciences – SGGW,
e-mail: grzegorz_trzcinski@sggw.pl*

Abstract: Forests cover nearly one-third of Polish area constituting an integral component of the landscape and spatial management of these lands. Significant proportion (nearly 8.5 milion ha) borders with rural areas and small towns, while 645,000 ha surrounds cities. In addition to the general requirements (safety, energy consumption, functionality) constructions must ensure the implementation of tasks of multifunctional forest management together with reduction of interventions in the environment and forest landscape. The State Forests National Forest Holding (PGL LP), as a manager of the majority of forest areas and buildings, endeavors to implement projects ensuring not only their functionality, but also suiting them to the local building infrastructure and especially to the forest landscape. Architects should pay attention to the specificity of forest areas exhibiting an individual approach to the design of new and reconstruction of existing buildings. We analyzed selected forest constructions managed by the State Forests, but discussed issues are also relevant to other forest administrators: individuals, self-governments and national parks authorities.

Keywords: forest architecture, forest engineering, forest roads, State Forests National Forest Holding

Drogi lokalne na terenach wiejskich – stan aktualny i perspektywy

Michał Ćwiakala¹, Paweł Tarasewicz²

¹ Instytut Innowacyjnych Technologii Sp. z o.o., Warszawa, e-mail: m.cwiakala@iit.edu.pl

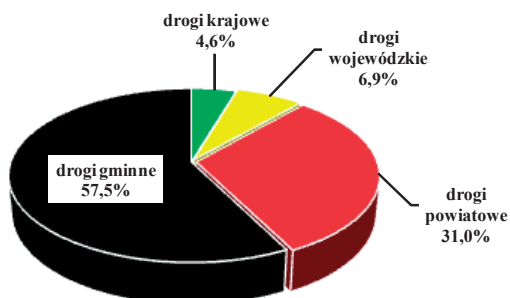
² Wapeco Sp. z o.o., Warszawa, e-mail: p.tarasewicz@wapeco.eu

Streszczenie: Drogi publiczne stanowią ok. 95% wszystkich dróg w Polsce. Są one zarządzane i finansowane – przede wszystkim – przez jednostki samorządu terytorialnego. Aktualnie sieć dróg samorządowych, z uwagi na nieodpowiednie parametry techniczne konstrukcji nawierzchni – jest w stanie złym oraz niezadawalającym. Większość dróg publicznych (ok. 80%) wymaga przeprowadzenia remontów i przebudowy, w celu poprawy jakości parametrów, płynności ruchu oraz bezpieczeństwa komunikacyjnego. Polepszenie właściwości technicznych dróg lokalnych na terenach wiejskich (gminnych) powinno umożliwić powiązanie tych dróg z siecią dróg powiatowych, wojewódzkich i krajowych, co pozytywnie wpłynie na rozwój gospodarczy kraju i – przede wszystkim – zwiększy komfort mieszkańców obszarów wiejskich. Rozwój infrastruktury komunikacyjnej na szczeblu lokalnym uwarunkowany jest odpowiednim zarządzaniem (w tym nadzorem i kontrolą jakości w trakcie i po realizacji inwestycji drogowej) przez jednostki samorządu terytorialnego (w tym także jednostki laboratoriów instytucji niezależnych, akredytowanych) oraz finansowaniem, nie tylko z własnych środków, lecz także z dotacji budżetu państwa, funduszy celowych i środków Unii Europejskiej.

Słowa kluczowe: drogi lokalne na terenach wiejskich, perspektywy rozwoju dróg lokalnych, finansowanie dróg lokalnych, przekroje poprzeczne dróg lokalnych, technologia budowy dróg lokalnych

1. Wprowadzenie

Utrzymanie i modernizacja infrastruktury drogowej jest niemal dla wszystkich gmin w Polsce jednym z największych wydatków. Instrumentów finansowania tych procesów wprowadzić nie brakuje, ale o uzyskanie z nich środków z roku na rok jest coraz trudniej. Ze struktury dróg publicznych w Polsce (ze względu na pełnione funkcje w sieci drogowej) wynika, iż dróg gminnych jest najwięcej (rys. 1).

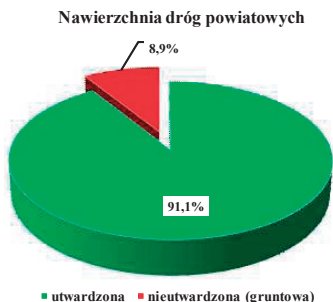


Rys. 1. Struktura dróg publicznych w Polsce [10]

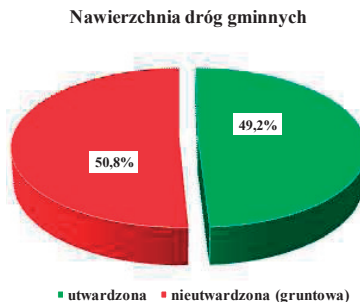
Przedstawiony podział dróg (rys. 1) odnosi się do 16 województw, 308 powiatów, 65 miast na prawach powiatu oraz 2489 gmin. W Polsce istnieje 412 263,7 km dróg publicznych, w tym [10]:

- powiatowych – 127 743,2 km (co stanowi 31,0% dróg publicznych),
- gminnych – 237 243,6 km (co stanowi 57,5% dróg publicznych).

Drugi lokalne (powiatowe i gminne) spośród wszystkich dróg publicznych są drogami o największej długości nawierzchni nieutwardzonej (131 798,1 km), z czego ponad połowa wszystkich dróg gminnych to drogi nieutwardzone (120 419,0 km) – rys. 3 i 4. Stan techniczny dróg gminnych w Polsce jest zróżnicowany w poszczególnych regionach Polski. Nie mniej jednak ilość nieutwardzonych dróg na tych terenach świadczy o dużej skali problemu.



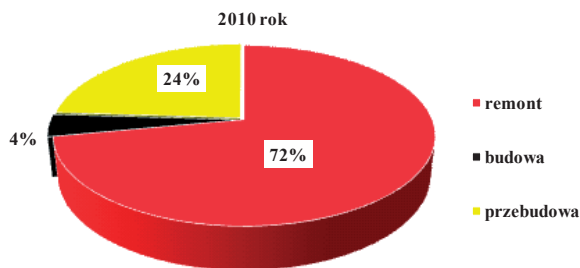
Rys. 3. Udział procentowy nawierzchni utwardzonej i nieutwardzonej (gruntowej) dla dróg powiatowych [10]



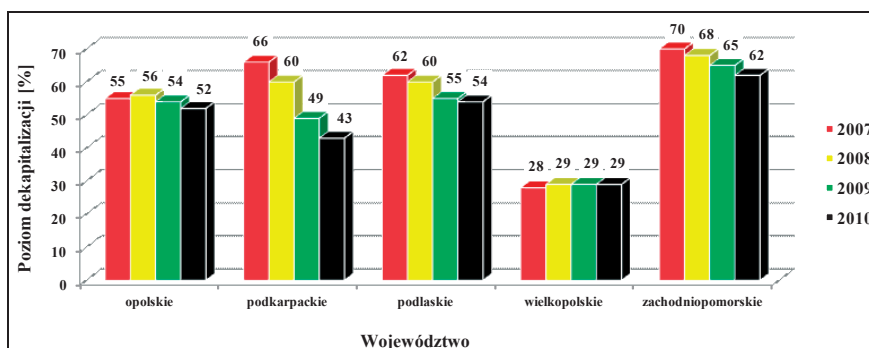
Rys. 4. Udział procentowy nawierzchni utwardzonej i nieutwardzonej (gruntowej) dla dróg gminnych [10]

Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad corocznie publikuje raporty o stanie technicznym nawierzchni dróg krajowych, określane w ramach tzw. Systemu Oceny Stanu Nawierzchni [27]. W stanie złym i niezadowolającym znajduje się ok. 40% wszystkich dróg krajowych, z czego prawie połowa wymaga przeprowadzenia natychmiastowych remontów. Do stanu technicznego nawierzchni dróg powiatowych i gminnych w Polsce nie przywiązuje się dużej wagi, nie opracowuje się szczegółowych corocznych raportów, informujących o stanie technicznym tych dróg, tak jak opracowuje się to w przypadku dróg krajowych. Instytucją, która podjęła czynności kontrolne z własnej inicjatywy, w celu dokonania pełnej oceny realizacji zadań w ramach inwestycji drogowych w okresie 2008-2011 (Narodowego Programu Przebudowy Dróg Lokalnych 2008-2011) – jest Najwyższa Izba Kontroli (NIK). Podjęła ona kontrolę w pięciu urzędach wojewódzkich, u 15 powiatowych i 20 gminnych zarządców dróg oraz w jednym starostwie powiatowym nie będącym zarządcą dróg [17]. Kontrole w urzędach wojewódzkich przeprowadzono na podstawie art. 2 ust. 1 ustawy z dnia 23 grudnia 1994 roku [23] pod względem kryteriów: celowości, rzetelności i gospodarności w obszarze Programu Przebudowy Dróg Lokalnych. W wyniku tej kontroli stwierdzono m.in. [17]:

- nierzetelne prowadzenie przez zarządców dróg dokumentacji oceny stanu technicznego gminnej i powiatowej sieci drogowej. Zazwyczaj nie posiadali planów rozwoju sieci drogowej, aktualnej ewidencji dróg i nie dokumentowali sukcesywnie przeglądów stanu technicznego dróg,
- zaniedbania w sprawowaniu nadzoru realizacji zadań inwestycyjnych. Niska była skuteczność nadzoru inwestorskiego w toku realizacji robót drogowych ale także na ich etapie odbioru końcowego. Zaniedbania takie mogą prowadzić do wystąpienia w przyszłości uszkodzeń nawierzchni drogowej, a w konsekwencji konieczności ponownego remontu (bądź nawet przebudowy) konstrukcji nawierzchni tych dróg. Nie egzekwowano od wykonawców (przystępujących do realizacji inwestycji drogowych) udokumentowania jakości prowadzonych robót drogowych (w tym sporządzania programów przed i po zrealizowaniu danego zadania), usunięcia wad i usterek,
- nieprawidłowości w dokumentacji przetargowej na etapie udzielania zamówień publicznych. Polegały one głównie na niewłaściwej procedurze udzielenia zamówienia, począwszy od sporządzenia dokumentacji technicznej, poprzez postanowienia zawartych umów z wykonawcami, a skończywszy na niewłaściwym wykonawstwie i odbiorze robót drogowych,
- nieprawidłowości związane z założeniami samej dokumentacji projektowej drogi oraz specyfikacji technicznej wykonania i odbioru robót budowlanych.



Rys. 5. Struktura zadań realizowanych w ramach „Narodowego Programu Przebudowy Dróg Lokalnych 2008 – 2011” [17]



Rys. 6. Poziom dekapitalizacji stanu sieci drogowej dla pięciu województw [17]

Kontrola NIK określiła stan techniczny nawierzchni dróg lokalnych w zakresie wybranych obszarów objętych kontrolą. Uznała, że jest on zły i w konsekwencji przyczynia się do utrudnień w ruchu drogowym oraz zmniejszenia bezpieczeństwa komunikacyjnego. Zły stan nawierzchni dróg wynika z braku środków finansowych na ich budowę, remonty, przebudowę, ale także z: nieprawidłowego projektowania (brak prawidłowo sporządzonej specyfikacji technicznej wykonania i odbioru robót budowlanych przez projektantów oraz adekwatnego do niej projektu konstrukcji nawierzchni), technologii wykonania robót, utrzymania drogi i w końcu zarządzania (brak oceny stanu technicznego, brak nadzoru realizacji inwestycji, niewłaściwa procedura zamówień publicznych). W związku z powyższym większość (około 80-90%) dróg lokalnych wymaga budowy, remontów i przebudowy – rys. 5.

Potrzebę remontów dróg lokalnych można scharakteryzować jako poziom dekapitalizacji (rys. 6), czyli procentowy stosunek długości dróg wymagających remontu do całkowitej ich długości [17]. Wynika, iż poziom ten w kolejnych latach jest coraz niższy, co jest zjawiskiem pozytywnym (rys. 6).

2. Finansowanie dróg publicznych

Gminy napotykała ogromne trudności w procesie finansowania infrastruktury drogowej na swoim terenie.

Wydatki związane z budową, przebudową, remontem, utrzymaniem i ochroną dróg krajowych, wojewódzkich, powiatowych i gminnych ustala ustawa z 2005 roku [24]. Finansowanie przedsięwzięć dotyczących dróg krajowych, wojewódzkich i lokalnych (powiatowych i gminnych) różni się zasadniczo, ponieważ drogi np. krajowe są finansowane:

- na poziomie centralnym oraz mają zapewnioną stałą (wysoką) pozycję corocznego budżetu Państwa,
- ze środków Unii Europejskiej (Program Operacyjny „Infrastruktura i Środowisko na lata 2007-2013”, w ramach którego realizowane były projekty ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego i Funduszu Spójności).

Na realizację Programu Operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko na lata 2007-2013” przeznaczono kwotę 37,7 mld euro, z czego wkład unijny to 28,3 mld euro (ze środków Funduszu Spójności 79% – prawie 22,4 mld euro oraz Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego 21% – niemal 6 mld euro), zaś wkład własny (krajowy) to 9,4 mld euro [29]. Drogi lokalne, w przeciwieństwie do dróg krajowych, finansowanych z budżetu Państwa i ze środków Unii Europejskiej na kwoty rzędu dziesiątki miliardów, są finansowane [17]:

- ze środków własnych (stąd zadłużenia gmin dochodzące do 40%),
- z budżetu Państwa – dotacje są zmienne w czasie i niewielkie,
- ze środków Unii Europejskiej – kwoty niskie, stanowiące do 10% całkowitego finansowania dróg,
- przy pomocy innych jednostek samorządowych.

Drogi lokalne stanowiące blisko 90% wszystkich dróg publicznych, mają niewystarczające finansowanie z budżetu Państwa oraz ze środków unijnych w porównaniu do dróg krajowych czy wojewódzkich, których jest zaledwie 11,5% (rys. 1). Przykładem może być finansowanie dróg krajowych w 2009 roku, kiedy to na budowę dróg krajowych (na sieci 18,5 tys. km) wydano 18,5 mld zł, podczas gdy wszystkie jednostki samorządu terytorialnego, na prawie dwudziestokrotnie większej sieci dróg lokalnych (364,5 tys. km), otrzymały tylko 15 mld zł [17]. Utworzenie Narodowego Programu Przebudowy Dróg Lokalnych (zapoczątkowanego przez Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji Grzegorza Schetynę) przyczyniło się, iż do końca 2010 roku zmodernizowano i wybudowano ponad 5,6 tys. km dróg lokalnych, w tym: 2,4 tys. km dróg gminnych i 3,2 tys. km dróg powiatowych. W efekcie cel programu został osiągnięty. Wzrosła konkurencyjność i atrakcyjność inwestycyjna regionów oraz poprawiło się bezpieczeństwo na drogach. Nie mniej jednak potrzeba dalszych remontów dróg jest nadal olbrzymia. Ocenia się, że do końca 2015 roku zostanie przebudowanych, zbudowanych i wyremontowanych około 13 tys. kilometrów dróg lokalnych. W związku z czym, gminy powinny mieć kilka możliwości pozyskania środków z zewnątrz na realizację swoich projektów drogowych.

Obecnie realizowany jest drugi etap Narodowego Programu Przebudowy Dróg Lokalnych na lata 2012-2015. Podobnie jak w poprzedniej edycji (2008-2011) rola Ministra będzie nadzór i koordynacja działania wojewodów, których podstawowym zadaniem jest nabór wniosków o dotacje budżetowe od jednostek samorządu terytorialnego, a także udzielanie tych dotacji i monitorowanie ich prawidłowego wykorzystania i rozliczenia. Finansowanie inwestycji drogowych w latach 2012-2015 będzie odbywało się w następujących proporcjach: 30% środki budżetowe i 70% środki własne samorządów. W poprzedniej edycji proporcje te wynosiły równo po połowie. Dofinansowaniem objęte będą drogi publiczne, w tym powiatowe i gminne lub drogi, w których w wyniku realizacji zadania zostanie nadany status drogi publicznej. Nabór i ocena wniosków przeprowadzała właściwi wojewodowie. Wojewodowie przekazywali również środki finansowe gminom i powiatom oraz realizowali zadania obejmujące rozliczenie i kontrole wykorzystania środków pochodzących z budżetu państwa.

Najważniejszym źródłem dofinansowania inwestycji w zakresie poprawy infrastruktury dróg lokalnych są Regionalne Programy Operacyjne, które stworzono odrębnie w poszczególnych województwach, współfinansowane z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Każde z szesnastu województw Polski realizuje swój własny program operacyjny. W ramach tego programu o uniijne pieniądze można się starać w zakresie edukacji, ochrony zdrowia, społeczeństwa informacyjnego, kultury, turystyki, sportu, a także infrastruktury drogowej i ochrony środowiska. Środki finansowe (w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego) na modernizację i budowę dróg gminnych są dostępne do końca 2013 roku. Maksymalny poziom dofinansowania wynosi 60-85% wartości kosztów kwalifikowanych, przy czym wielkość procentowa jest uzależniona od rodzaju programu oraz województwa. Podstawa uzyskania środków z Regionalnego Programu Operacyjnego jest przygotowanie wniosku o dofinansowanie. Inwestycje, które stara się o dofinansowanie z Regionalnego Programu Operacyjnego powinny być zgodne z założeniami strategii rozwoju regionu oraz wpisywać się w miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego. Preferowane są zazwyczaj projekty, które realizują politykę zrównoważonego rozwoju, a jednocześnie są korzystne dla środowiska naturalnego.

Innym, najczęściej poruszanym zagadnieniem w kontekście finansowania inwestycji publicznych, jest partnerstwo publiczno-prywatne. Stanowi ono rozwinięcie się formy współpracy między organami publicznymi a sektorem prywatnym, umożliwiające zwiększenie efektywności usług publicznych poprzez podział ryzyka i wykorzystanie doświadczenia sektora prywatnego. Jest ono także dodatkowym źródłem kapitału. Aktualnie w Polsce, spotkał się z partnerstwem publiczno-prywatnym w przypadku budowy dróg szybkiego ruchu, np. autostrady A2. Te formule finansowania inwestycji mogłyby również wykorzystywać samorządy gminne do budowy dróg na swoich terenach, tym bardziej, iż przewidywał to ustawodawca. Ustawa o drogach publicznych [22] nawiązuje do ustawy o partnerstwie publiczno-prywatnym w art. 19 ust. 7 [25] wymienia zadania zarządcy drogi, które może przejąć sektor prywatny w formule partnerstwa publiczno-prywatnego. W takim układzie partner prywatny odpowiedzialny jest za projektowanie, budowę i finansowanie zadania oraz późniejsze zarządzanie drogą. Płaci on za to opłatę w zależności od stopnia ryzyka związanego z popytem na daną inwestycję. Taka formuła inwestycji powinna być atrakcyjna dla gmin ponieważ:

- zobowiązania wynikające z umowy partnerstwa publiczno-prywatnego nie są wliczane do długu publicznego (a jego wysokość jest w przypadku polskich samorządów największym ograniczeniem wydatków inwestycyjnych),
- w najbliższych latach liczba podmiotów zainteresowanych tego typu współpracą może rosnąć. Świadczy o tym doświadczenia krajów leniej rozwiniętych, w których popularność formuły partnerstwa publiczno-prywatnego stale rośnie.

3. Stan aktualnych rozwiązań projektowych dróg gminnych

Wymagania techniczno-użytkowe drogi lokalnej określa Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 1999 roku [19]. Wymagania te, zależą od prędkości projektowej dla danej drogi. Dla dróg lokalnych dopuszcza się dwie prędkości projektowe na terenie zabudowanym: 30 i 40 km/h oraz dwie prędkości projektowe poza terenem zabudowanym: 40 i 50 km/h. Wymagania techniczno-użytkowe, dla dróg lokalnych, kształtują się następująco:

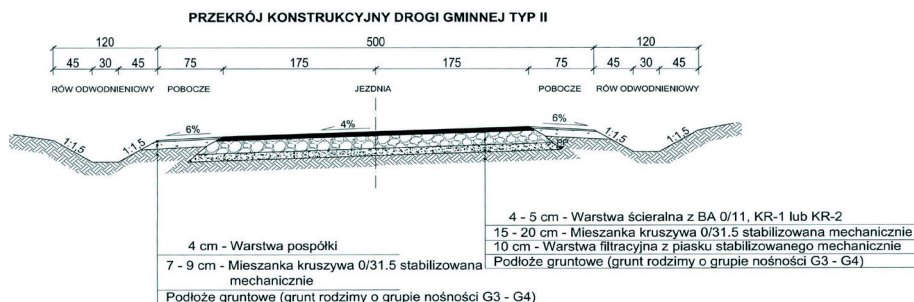
- najmniejsza szerokość drogi w liniach rozgraniczających – 12 m,
- najmniejsza szerokość drogi w liniach rozgraniczających poza terenem zabudowy – 15 m,
- szerokość pasa ruchu (na terenie zabudowy – 3,0 m; poza terenem zabudowy – 2,5-2,75 m),
- szerokość pobocza gruntowego – 0,75 m,
- minimalna odległość chodnika od krawędzi jezdni – bezpośrednio przy krawędzi,
- minimalna wysokość skrajni drogi – 4,5 m.

Najczęstszymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi dróg gminnych są konstrukcje nawierzchni praktykowane obecnie w trzech typach – rys. 7-9.

Każda z tych konstrukcji (rys. 7-9) pod względem poprawności założonych rozwiązań (zarówno projektowych i technologicznych) jest niewystarczająca, a czasami nawet wręcz nieprawidłowa. Zdarzają się także konstrukcje, w których w ogóle pominięto kwestie związane z wykonaniem utwardzonego pobocza oraz odpowiedniego odwodnienia. Są to najczęściej nawierzchnie (rys. 7-9), które pozbawione są pobocza i rowu odwodnieniowego. Nie zwraca się także uwagi na stan podłoża gruntowego, stanowiącego fundament konstrukcji nawierzchni drogowej. Fundament ten, prawie we wszystkich zbadanych przypadkach nie odpowiada grupie nośności podłoża G1. Są to zazwyczaj grunty rodzime o grupie nośności G3-G4. Rzadko się zdarza, aby zbadane podłoża gruntowe (grunt rodzimy) na terenach gminnych należało do grupy nośności G1. W takich przypadkach konieczne jest doprowadzenie podłoża gruntowego do należytego (oczekiwanego) stanu nośności. W przeciwnym przypadku, inwestowanie w jakiegokolwiek warstwy konstrukcyjne nawierzchni (leżące powyżej podłoża gruntowego), jest bezcelowe, nieprawidłowe i niegospodarne. Powyższe konstrukcje (rys. 7-9) w ok. 90-100% wymagają corocznego remontu bądź nawet całkowitej przebudowy, która polega na ponownym zainwestowaniu w istniejącą już (wybudowaną od nowa bądź wyremontowaną) drogę, na którą rok wcześniej zarządcy tych dróg wydali pewną kwotę pieniędzy.



Rys. 7. Przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni drogi gminnej – typ I



Rys. 8. Przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni drogi gminnej – typ II



Rys. 9. Przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni drogi gminnej – typ III

Z powyższych obserwacji (ekspertyz) stanu dróg gminnych nasuwają się następujące wnioski, iż:

- drogi te nie spełniają parametrów (kryteriów i wymogów) stawianym drogom lokalnym o niskiej kategorii ruchu (KR1-KR2), ponieważ szybko się degradują,
- nie egzekwuje się od zarządców dróg gminnych celowości, gospodarności pieniędzmi oraz przede wszystkim nadzoru na tego typu inwestycjach, a z kolei od projektantów, technologów i wykonawców drogi – udokumentowania prawidłowego odbioru robót budowlanych, rzetelności wykonania projektu budowlanego i specyfikacji technicznej zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zawodowymi doświadczeniami oraz próbą zbilansowania i wykorzystania w maksymalnym stopniu zasobów mineralnych (budowlanych) zalegających na danym terenie gminnym,
- brak jest odpowiedzialności zawodowej (a także cywilnej) zarówno ze strony zamawiającego, jak również wykonującego zamówienie.

4. Perspektywy budowy dróg

Zdeformowana nawierzchnia drogowa stwarza niebezpieczeństwo dla ruchu pojazdów i bywa przyczyną wielu wypadków. Wynika to przede wszystkim z zakłóconej

równowagi poprzecznej pojazdu podczas najechania na koleinę lub próby jej ominięcia [14, 26]. Inne niebezpieczeństwo wynika z wody zgromadzonej w koleinach; sprzyja ona poślizgom oraz wytwarza mgłę ograniczającą widoczność. W deformowaniu nawierzchni biorą udział wszystkie jej warstwy. Wielkość udziału pojedynczej warstwy w tym procesie zależy od jej właściwości wytrzymałościowych i położenia w konstrukcji nawierzchni. Najbardziej narażona na odkształcenia jest warstwa ścieralna. Decyduje o tym bezpośrednie oddziaływanie na nią nacisków pochodzących od kół pojazdów oraz temperatura otoczenia [13, 31].

Aby temu zapobiec stosuje się nowe technologie, do których możemy zaliczyć m.in.:

- zastosowanie mastyksu grysowego (SMA) z dużą ilością grysów kamiennych oraz odpowiednich stabilizatorów,
- zastosowanie asfaltów modyfikowanych polimerami z grupy plastomerów lub elastomerów,
- modyfikowanie asfaltu gumą,
- zbrojenie nawierzchni asfaltowych za pomocą siatek z włókien węglowych i szklanych,
- zastosowanie technologii polegających na wbudowaniu grubych ziaren kruszywa łamanego w warstwę ścieralną konstrukcji jezdni [2],
- zastosowanie nowoczesnych nawierzchni drogowych (w tym półsztywnych) opartych o nowe projekty badawcze uwzględniające w trakcie projektowania parametry zmęczeniowe wykonywane na modelach badawczych, tj. na odcinkach rzeczywistej nawierzchni drogowej [1].

Opracowanie tych technologii było wynikiem wielu obserwacji zachowania się dróg w skali naturalnej oraz licznych badań, które prezentowane są w wielu publikacjach [3, 5, 6, 11, 21, 30]. Wśród przykładów z całego świata znajdujemy szereg udanych zastosowań nowoczesnych nawierzchni drogowych, w tym półsztywnych z cienkowarstwową bitumiczną warstwą ścieralną, które przetrwały znacznie dłużej niż to przewidziano w projektach. Nad nowoczesnymi nawierzchniami półsztywnymi pracował m.in. ELLPAG (European Long Life Pavement Group), przy czym badania tych nawierzchni w skali naturalnej były przeprowadzone we współpracy z Instytutem Badawczym Dróg i Mostów w Żmigrodzie w ramach projektu badawczego ECO-SERVE (European Construction In Service of Society) [1]. W celu oceny nowych rozwiązań projektowych nawierzchni półsztywnych (w ramach programu ECO-SERVE) przewidziano badania konstrukcji z elementami podbudowy stabilizowanej. Skonstruowano nawierzchnię półsztywną zblizoną do nawierzchni badanych przy użyciu aparatu HVS w ramach duńskiego projektu z 2003 roku, która posiadała następujące warstwy: warstwę jezdnią mineralno-asfaltową o grubości 3 cm, warstwę stabilizacji cementowej o grubości 18 cm (podbudowa zasadnicza), oraz warstwę podbudowy pomocniczej z kruszywa o grubości 100 cm. Zastosowano dwa rodzaje stabilizacji cementowej o maksymalnym uziarnieniu do 16 i 32 mm. Były to stabilizacje cementowe o krzywej uziarnienia odpowiadające minimalnym wymaganiom normowym. Gotowy model nawierzchni półsztywnej poddano badaniom zmęczeniowym, których celem było osiągnięcie odpowiednio dużego modułu sprężystości podłużnej warstwy stabilizacji cementowej oraz uzyskanie jak najmniejszego ugięcia nawierzchni w wyniku przyłożenia około 10 tysięcy obciążeń w zakresie od 0 do 150 kN. Obciążenia te w postaci przebiegu impulsów półsinusoidalnych odpowiadały przejściu koła z prędkością 20-30 km/h. Przemieszczenia w kierunku pionowym (ugięcia) rejestrowano przy pomocy przetworników przemieszczeń umieszczonych na obrzeżu płyty obciążającej oraz w odpowiedniej od niej odległości (rys. 10). Symulacyjne obliczenia numeryczne modelu nawierzchni półsztywnej przeprowadzono przy użyciu programu do analizy elementów skończonych ISLAB 2000.

Generalnie wiadomo, że konieczność stabilizacji gruntu jest bezpośrednio związana z cechami podłoża oraz rodzajem budowli i stawianymi jej wymaganiami. W „Wytocznych wzmacniania podłoża gruntowego...” [28] zdefiniowano grunty słabe jako warstwy gruntu nie spełniające wymagań wynikających z warunków nośności lub stateczności albo warunków przydatności do użytkowania, w odniesieniu do konkretnego obiektu lub elementu konstrukcji. A zatem, do gruntów słabych, w podłożu budowli ziemnych, fundamentów budowli oraz nawierzchni drogowych, należą grunty nie spełniające kryteriów, określonych w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej

z dnia 2 marca 1999 roku [19]: rodzaju i uziarnieniu gruntu, wskaźnika zagęszczenia I_s , modułu odkształcenia E_2 oraz stosunku modułów E_2/E_1 wymaganych w normie PN-S-02205 [18], jak również wymagań dla grupy nośności GI – wysadzinowości i wskaźnika nośności CBR .



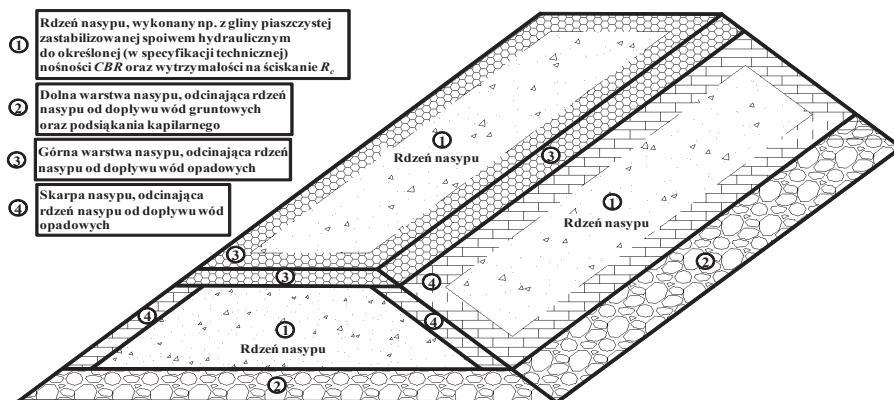
Rys. 10. Rozmieszczenie czujników indukcyjnych (fot. Michał Cwiakała)

Stabilizacja podłoża gruntowego jest procesem powszechnym i coraz częściej stosowanym, w kraju i na świecie, ze względów ekonomicznych i środowiskowych [7, 8, 9, 12, 15, 16, 20], które przemawiają za wykorzystywaniem w budowlach ziemnych niemal wszystkich miejscowych gruntów, a także materiałów odpadowych [4]. Zastosowanie technik ulepszania podłoża pozytywnie wpływa na stan środowiska naturalnego, obciążając go w mniejszym stopniu aniżeli klasyczne rodzaje konstrukcji. Odnosi się to głównie do wykorzystania lokalnego gruntu oraz odpadów przemysłowych, tj. popiołów lotnych, żużli, odpadów kopalnianych i hutniczych.

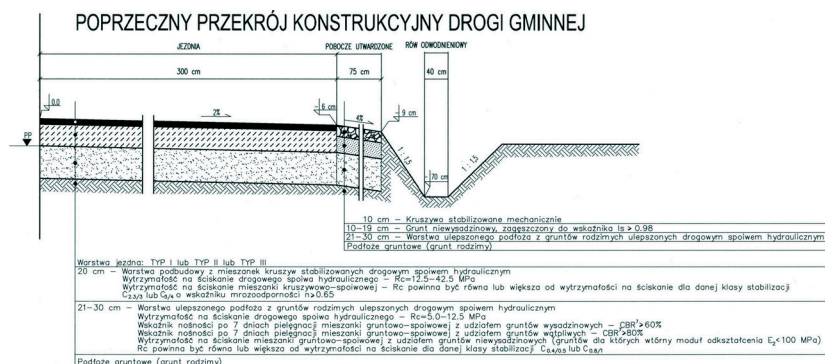
W gminach pozyskanie dobrych jakościowo materiałów naturalnych jest coraz trudniejsze, więc alternatywą staje się używanie materiałów miejscowych (bez względu na ich jakość). W przypadku budowy nasypów oraz podbudów, potrzebne są duże ilości materiału budowlanego, w związku z powyższym istotne jest, aby zastosować odpowiednią technologię ich budowania, mającą przede wszystkim na względzie wykorzystanie naturalnych materiałów miejscowych. Dzięki temu, możliwe będzie uzyskanie niższych kosztów wykonania konstrukcji nawierzchni przy jednoczesnym zachowaniu w niej odpowiednich parametrów technicznych, zawartych w danej specyfikacji technicznej budowy. Problem zastosowania gruntów naturalnych (rodzimych) dotyczy głównie przewilgoconych gruntów spoistych takich jak: gliny, pyły, ropy, piaski gliniaste i pylaste – sprawiających kłopot podczas prowadzenia robót ziemnych. Zdaniem autorów pracy, w przypadku gruntów gliniasto-pylastych (o dużej zawartości frakcji pyłowych i ropy) skuteczne ich zastosowanie byłoby wówczas, gdyby chroniono je przed zawiłgoceniem. Ze względu na to, iż są to grunty wrażliwe na działanie wody i mrozu, zabezpieczenie ich przed wpływem wody gruntowej oraz opadowej, może przyczynić się do większego ich wykorzystania w budownictwie komunikacyjnym. Dowodem zastosowania tych gruntów w odpowiedniej technologii, może być wybudowanie rdzenia nasypu drogowego (np. z gliny piaszczystej zastabilizowanej drogowym spoiwem hydraulicznym), skutecznie zabezpieczonego warstwami odcinającymi (izolacyjnymi) w celu zapobieżenia dopływu wody do niego w każdym możliwym kierunku (od dołu, góry oraz skarp nasypu) – rys. 11. Dzięki temu rozwiązaniu, rdzeń nasypu jest zabezpieczony od wpływu działania wody, a tym samym nie będzie narażony na wysadzinowość. Grubość warstw odcinających dobiera się w zależności od specyfikacji budowy konstrukcji nawierzchni i jej przeznaczenia, ale także od rodzaju materiału i sprzętu używanego do jego zagęszczenia.

Obecnie w Polsce, szczególnie w województwach: mazowieckim, małopolskim, łódzkim, lubelskim, dolnośląskim oraz lubuskim, wdrażany jest nowy program poprawy infrastruktury dróg gminnych pt.: „Eko Droga samorządowa Wapeco”. Jest to autorski program firmy Wapeco Sp. z o.o. z siedzibą w Warszawie, którego celem jest wdrożenie na terenach wiejskich nowych technologii konstrukcji półsztywnych do budowy i remontu dróg lokalnych. Przekrój poprzeczny konstrukcji takiej nawierzchni (rys. 12), ale także założone dla niej parametry technologiczne poszczególnych warstw wg technologii Wapeco (tab. 1), jest niewątpliwie lepszym rozwiązaniem konstrukcyjnym pod względem trwałościowym (nośności i wytrzymałości konstrukcji nawierzchni) od tych rozwiązań (i założeń technologicznych) jakie napotykamy najczęściej na terenach gminnych (rys. 7-9).

Nie mniej jednak odbiega on od typowych konstrukcji nawierzchni jakie przewiduje np. Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, opracowany w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów w Warszawie.



Rys. 11. Poglądowy rysunek wykonania konstrukcji nasypu, w której rdzeń nasypu wykonany jest z mieszanki gruntowo-spoiwowej z udziałem np. gliny piaszczystej, stanowiący około 60-80% objętości masowej całej konstrukcji, zabezpieczony z każdej strony warstwami odcinającymi dopływ wody gruntowej oraz opadowej



Rys. 12. Przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni drogi gminnej wg technologii Wapeco

W Instytucie Innowacyjnych Technologii (na zlecenie firmy Wapeco) wykonano kilka odcinków próbnych nawierzchni (o różnych modelach konstrukcyjnych – tab. 1), polegających na przeprowadzeniu specjalistycznych badań zmęczenia (deformacji trwałych) przy różnych symulacjach obciążeniowych. Celem było zbadanie zachowania się nawierzchni półsztywnych (tab. 1) oraz opracowanie modelu konstrukcji pozwalającego przewidzieć zużycie nawierzchni na podstawie pomiarów ugięć trwałych, a w konsekwencji spękań nawierzchni. Wykonano także ugięcia obliczeniowe (sprężyste) dla rozpatrywanych modeli (tab. 1), uzależnionych głównie od: zróżnicowanej grubości i ilości projektowanych warstw konstrukcyjnych nawierzchni (typ I, II i III) oraz założonych parametrów wytrzymałości i nośności poszczególnych warstw.

Na podstawie uzyskanych obliczeniowych ugięć sprężystych wynika, iż ugięcia te wahają się (w zależności od przyjętych parametrów wytrzymałości na rozciąganie warstw, przyjętego dla nich współczynnika Poissona, modułu sprężystości i innych wartości współczynników) w granicach: 1.4 mm (typ I), 0.927 mm (typ II) oraz 0.721 mm (typ III). Są to szacunkowe wartości ugięć obliczeniowych otrzymanych ze wzoru w fazie II, tzn. po spękanu nawierzchni. Uzyskane wartości ugięć sprężystych świadczą o tym, iż im większe jest to ugięcie, tym większe są naprężenia rozciągające występujące na spodzie poszczególnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni, a to z kolei jest przyczyną spękań

nawierzchni i w efekcie ich destrukcji. Głównym celem badań zmęczeniowych (deformacji trwałych) było uzyskanie minimalnego ugięcia pionowego nawierzchni (trwałego przemieszczenia pionowego), nie przekraczającego 18.0 mm w zakresie cyklicznych obciążeń dynamicznych (od 0 do 100 kN). Zgodnie rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 roku [19] jako dopuszczalne nierówności poprzeczne (nierówności trwałe) mierzone metodą łąty i klina pomiarowego można uznać wartości przedstawione w tabeli 2.

Tabela 1. Parametry technologiczne konstrukcji nawierzchni Wapeco dla trzech typów rozwiązań konstrukcyjnych

TYPY KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DROGOWEJ WG TECHNOLOGII WAPECO		
TYP I	WARSTWY KONSTRUKCYJNE	Powierzchniowe utrwalenie 20 cm – Podbudowa stabilizacja o klasie C _{2,3/3} lub C _{3/4} o wskaźniku mrozowym $n \geq 0.65$ 30 cm – Ulepszone podłoże gruntowe (o grupie nośności G1) ulepszenie gruntów wysadzinowych – CBR ⁷ (po 7 dniach pielęgnacji) $\geq 60\%$ ulepszenie gruntów wątpliwych – CBR ⁷ (po 7 dniach pielęgnacji) $\geq 80\%$ ulepszenie gruntów niewysadzinowych ($E_2 < 100$ MPa) – C _{0.4/0.5} lub C _{0.8/1} Grunt rodzimy
	POBOCZE UTWAR-DZONE	10 cm – Kruszywo stabilizowane mechanicznie 10 cm – Grunt niewysadzinowy 30 cm – Ulepszone podłoże gruntowe Grunt rodzimy
TYP II	WARSTWY KONSTRUKCYJNE	5 cm – Warstwa ścierna BA 0/11, KR1-KR2 20 cm – Podbudowa stabilizacja o klasie C _{2,3/3} lub C _{3/4} o wskaźniku mrozowym $n \geq 0.65$ 25 cm – Ulepszone podłoże gruntowe (o grupie nośności G1) ulepszenie gruntów wysadzinowych – CBR ⁷ (po 7 dniach pielęgnacji) $\geq 60\%$ ulepszenie gruntów wątpliwych – CBR ⁷ (po 7 dniach pielęgnacji) $\geq 80\%$ ulepszenie gruntów niewysadzinowych ($E_2 < 100$ MPa) – C _{0.4/0.5} lub C _{0.8/1} Grunt rodzimy
	POBOCZE UTWAR-DZONE	10 cm – Kruszywo stabilizowane mechanicznie 15 cm – Grunt niewysadzinowy 25 cm – Ulepszone podłoże gruntowe Grunt rodzimy
TYP III	WARSTWY KONSTRUKCYJNE	4 cm – Warstwa ścierna BA 0/11, KR1-KR2 5 cm – Warstwa wiążąca BA 0/20, KR1-KR2 20 cm – Podbudowa stabilizacja o klasie C _{2,3/3} lub C _{3/4} o wskaźniku mrozowym $n \geq 0.65$ 21 cm – Ulepszone podłoże gruntowe (o grupie nośności G1) ulepszenie gruntów wysadzinowych – CBR ⁷ (po 7 dniach pielęgnacji) $\geq 60\%$ ulepszenie gruntów wątpliwych – CBR ⁷ (po 7 dniach pielęgnacji) $\geq 80\%$ ulepszenie gruntów niewysadzinowych ($E_2 < 100$ MPa) – C _{0.4/0.5} lub C _{0.8/1} Grunt rodzimy
	POBOCZE UTWAR-DZONE	10 cm – Kruszywo stabilizowane mechanicznie 19 cm – Grunt niewysadzinowy 21 cm – Ulepszone podłoże gruntowe Grunt rodzimy

W tabeli 2 wymagana równość poprzeczna określona jest przez wartość odchylenia równości między łątą a mierzoną powierzchnią w danym profilu, która nie może być przekroczona przez wartości zmierzone w liczbie pomiarów stanowiących 90, 95 i 100% liczby wszystkich pomiarów na badanym odcinku. Przyjmując maksymalne nierówności poprzeczne równe 18.0 mm dla podbudowy zasadniczej klasy drogi G (tab. 2) jako punkt odniesienia (stan trwałego granicznego ugięcia), można określić maksymalne procentowe

zakresy udziałów przemieszczeń pionowych (nierówności) w stosunku do założonego punktu odniesienia. Z przeprowadzonych badań zmęczeniowych stwierdzono, iż maksymalny udział ten wynosi około 60, 78 i 85% stanu granicznego ugięcia odpowiadający odpowiednio typom konstrukcji III, II i I, co świadczy o dużym zapasie bezpieczeństwa wynoszącym aż 15-40%. Ugięcia zmęczeniowe nie przekraczały założonych wartości dopuszczalnych (krytycznych). Nasuwa się zatem wniosek, iż przemieszczenia trwale jakie uzyskano dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych (rys. 12) świadczą o dobrze zaprojektowanej konstrukcji nawierzchni ze względu na jej nośność i trwałość. Po wykonaniu badań zmęczeniowych, w obszarach punktów obciążanych siłownikami hydraulicznymi wywiercono odwierty do głębokości warstwy ulepszanego podłoża w celu wykonania oceny spękań na podstawie przekrojów poprzecznych i podłużnych próbek (rys. 13). Okazało się, iż warstwa podbudowy i ulepszanego podłoża uległa spękanom zmęczeniowym (zarówno poprzecznym jak i podłużnym), aczkolwiek spękania te nie zakwalifikowano do spękań, mających znaczący wpływ na nośność nawierzchni w czasie jej eksploataowania.

Tabela 2. Dopuszczalne nierówności poprzeczne mierzone metodą łaty i klina pomiarowego [19]

Klasa drogi	Element nawierzchni	Rodzaj warstwy konstrukcyjnej	Procent liczby pomiarów		
			90%	95%	100%
			[mm]		
G, Z	Pasy ruchu zasadnicze, dodatkowe, włączania, postojowe, jezdnie łącznic, utwardzone pobocza	Ścieralna	≤ 6	-	≤ 9
		Wiążąca	≤ 9	-	≤ 12
		Podbudowa zasadnicza	-	-	≤ 18

Z badań i obliczeń wynika, iż modele nawierzchni (tab. 1), mogą być dopuszczone do kategorii ruchu KR1-KR2, przy czym zaleca się, aby na drogach tych ograniczyć jednak ilość przejazdów samochodów ciężarowych, szczególnie o dużym tonażu. W stosunku do rozwiązań obecnych jakie natykamy na drogach gminnych (rys. 7-9), konstrukcje te (rys. 12) są zdecydowanie lepsze pod względem jakościowym i trwałościowym. Pierwszym czynnikiem, który przemawia za zastosowaniem tego typu rozwiązań jest posadowienie warstw konstrukcyjnych nawierzchni (warstwy podbudowy i warstwy jezdnej) na dobrze przygotowanym podłożu gruntowym, tzn. na podłożu rodzimym ulepszonym drogowym spoiwem hydraulicznym, co w efekcie pozwoli otrzymać mocny fundament (o grupie nośności G1) pod konstrukcją nawierzchni drogi. Drugim istotnym czynnikiem jest wybudowanie (na mocnym już fundamencie) pierwszej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni w postaci warstwy z mieszanek kruszyw (naturalnych, sztucznych, z recyklingu bądź ich mieszanina) stabilizowanych również drogowym spoiwem hydraulicznym, co w konsekwencji utworzy dosyć mocną warstwę podbudowy zasadniczej (o klasie wytrzymałości $C_{2.3/3}$ lub $C_{3/4}$), odporną także na działanie czynników mrozowych. Dopiero na tak przygotowanych warstwach nawierzchni (o łącznej grubości od 41-50 cm) planowana jest warstwa jezdna w trzech wariantach (powierzchniowe utwardzenie lub jedna bądź dwie warstwy betonu asfaltowego). Rozwiązania te w ocenie Instytutu Innowacyjnych Technologii spełniają założenia i celowość wdrażania na obszarach wiejskich programu „Eko Droga samorządowa Wapeco”, w wyniku którego jakość dróg lokalnych budowanych tą technologią znacznie się poprawi.



Rys. 13. Widok wykonanych odwiertów próbek z obszarów punktów obciążanych bezpośrednio pod obciążnikiem nawierzchni w przypadku rozważania konstrukcji Wapeco typu II

5. Podsumowanie

Nad nowoczesnymi rozwiązaniami nawierzchni półsztywnych pracuje wiele instytucji naukowych zarówno w Polsce jak i na świecie. Przykładem chociażby takich rozwiązań na skalę światową były badania przeprowadzone w ramach tematu financed by the European Commission under the 5 Framework Programme (GROWTH) w trakcie realizacji zadania „Large Scale Test of Semi Brigid Pavements at Test Stand In Żmigród” [1]. W Polsce jest wciąż mało korzystnych rozwiązań nawierzchni półsztywnych, popartych badaniami zmęczeniowymi, zarówno w skali laboratoryjnej jak i naturalnej (rzeczywistej). Badania zmęczeniowe nawierzchni drogowych w skali naturalnej powinny ułatwić podejmowanie decyzji projektowych i symulować nawierzchnie drogowe w czasie jej użytkowania. Wyniki badań zmęczeniowych uzależnione są od prawidłowego wybudowania w skali naturalnej (ale także laboratoryjnej) modelu nawierzchni drogowej. Model taki powinien być odpowiednio zaprojektowany pod kątem prawidłowego doboru gruntu użytego do budowy fundamentu nawierzchni drogowej. Projektując kolejną warstwę konstrukcji nawierzchni, a w szczególności warstwę kruszywa wzmacnianego drogowym spoiwem hydraulicznym, należy dobrać odpowiedni szkielet mineralny mieszanki kruszywowej, zróżnicowany zarówno pod względem rodzaju kruszywa jak i wielkości oraz kształtu użytych ziaren. Istotną dla warstw stabilizacji spoiwem (w zależności od przeznaczenia) jest wytrzymałość na ściskanie oraz pomijany często wskaźnik mrozoodporności. Całą konstrukcję nawierzchni drogowej zamyka warstwa jezdna (ścieralna). W badaniach zmęczeniowych należy rozpatrywać najbardziej niekorzystne dla nawierzchni schematy obciążeń i umieszczać czujniki przemieszczeń indukcyjnych nie tylko w obszarach obciążanych, ale także poza tym obszarem – weryfikując w ten sposób zachowanie się nawierzchni drogowej w miejscach bezpośredniego nacisku oraz w miejscach nienarażonych na bezpośrednie obciążenie. Badania zmęczeniowe nawierzchni drogowych informują nas o trwałości eksploatowanego w przyszłości odcinka drogi, określając zarazem jego stan nawierzchni.

Optymalnie zaprojektowane drogowe spoiwo hydrauliczne, uwzględniające niekorzystne parametry skurczu i pęcznienia w połączeniu z mieszanką kruszywową może tworzyć warstwy mieszanki kruszywowo-spoiwowej. Dla przykładu, zastosowanie zoptymalizowanej domieszki piasku rzeczno-żwirowego z aktywnym popiołem lotnym korzystnie wpływa na zmianę uziarnienia, zwiększając udział w mieszance frakcji żwirowo-piaskowej do wartości pozwalających na zastosowanie ich do nasypów drogowych, a także powoduje zmniejszenie wartości pęcznienia liniowego. Takie rozwiązanie może być z powodzeniem masowo wykorzystywane w budownictwie komunikacyjnym [4]. Zadaniem przyszłych projektantów powinno być prawidłowe określenie grubości, ilości i jakości wbudowywanych materiałów budowlanych w konstrukcję drogową, jak również ograniczenie kosztów jej wybudowania.

Aby polepszyć jakość infrastruktury dróg lokalnych na terenach wiejskich, mając jednocześnie świadomość niewielkiego budżetu jakim dysponują gminy na ten cel, konstrukcje nawierzchni drogowych np. typ I, II i III programu „Eko Droga samorządowa Wapeco” powinny być w miarę konkurencyjne cenowo w stosunku do obecnie projektowanych i wykonywanych konstrukcji (rys. 7-9), które niestety nie sprawdziły się na terenach gminnych, gdyż ich stan oceniany jest w co najmniej 50% jako zły. Niewątpliwie potrzebna jest poprawa tej infrastruktury komunikacyjnej, a wdrażanie nowych rozwiązań technologicznych i projektowych, przyczyni się z pewnością do poprawy jakości dróg gminnych. Należy zwiększyć także dofinansowanie dróg lokalnych na terenach najuboższych, gdzie gminy są zadłużone i nie posiadają środków finansowych na remonty oraz przebudowy dróg. W dążeniu do poprawy stanu technicznego nawierzchni dróg gminnych i ich funkcjonowania (płynności ruchu i bezpieczeństwa komunikacyjnego) należy wprowadzić działania zmierzające do usprawnienia obszarów ich zarządzania, finansowania oraz nadzoru. Trzeba mieć także świadomość, iż zapewnienie odpowiedniego stanu nawierzchni drogom lokalnym (których jest najwięcej w Polsce) daje olbrzymie korzyści dla całej sieci dróg publicznych.

Literatura

- 1 Busch Ch., Wysokowski A., Ćwiąkała M., Adesiyun A., Żurawicka A., Duszyński A., Korusiewicz L., Kaszuba P., Nowak A. Large Scale Test of Semi Brigid Pavements at Test Stand In Żmigród. Raport IBDiM – TW 65406/G1RT-CT-2002-05085, Żmigród – Kopenhaga October (2006).
- 2 Ćwiąkała M. Koleiny zmorą polskich dróg. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego – Natura, Zeszyt Nr 11, Zielona Góra (2005).
- 3 Ćwiąkała M. Badania zagęszczalności kruszyw używanych w budownictwie drogowym. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego – IV Międzynarodowa Konferencja: „Ochrona i Rekultywacja Terenów Dorzecza Odry – Rekultywacja Terenów Zdegradowanych”, Zeszyt Nr 133, Zielona Góra (2007).
- 4 Ćwiąkała M., Sosiński R., Nowak W., Szymańska J. Aktywowanie popiołów lotnych z węgla brunatnego elektrowni Pątnów w młynie elektromagnetycznym. Wydawnictwo PAN, Inżynieria i Ochrona Środowiska, T. II Nr 4, Częstochowa (2008).
- 5 Duszyński A., Rowińska W., Wysokowski A. Zastosowanie żużli w budownictwie drogowym. III Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i Bezpieczne Nawierzchnie Drogowe” Kielce (1997) 381-391.
- 6 Duszyński A., Wodyński R., Wysokowski A. Jakość kruszyw do budowy autostrad w Polsce. Polskie Drogi nr 8 (1995) 19-20.
- 7 Edil T., Benson C., Bin-Shafique M., Kim W., Tanyu B., Senol A. Field evaluation of construction alternatives for roadway over soft subgrade. Transp. Res. Rec. 1786, TRB, Washington, DC: National Research Council (2002) 36-48.
- 8 Gajewska B. Nieznormalizowane metody wzmacniania podłoża. Seminarium IBDiM i PZWFS – Wzmacnianie podłoża gruntowego i fundamentów budowli, Warszawa (2007) 73-82.
- 9 Gajewska B., Kłosiński B. Rozwój metod wzmacniania podłoża gruntowego. Seminarium IBDiM i PZWFS – Wzmacnianie podłoża gruntowego i fundamentów budowli, Warszawa, (2011) 13-54.
- 10 GUS 2012. Transport – wyniki działalności w 2011 roku. GUS, Warszawa (2012).
- 11 Harvey J., Roesler J., Farver J., Liang L. Preliminary Evaluation of Proposed LLPRS Rigid Pavement Structures and Design Inputs. Report Prepared for California Department of Transportation. Pavement Research Center Institute of Transportation Studies University of California at Berkeley. The study number FHWA/CA/OR-2000/02 (2000).
- 12 Hossain K., Lachemi M., Easa S. Stabilized soils for construction applications incorporating natural resources of Papua new Guinea. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 51, (2007) 711-731.
- 13 Judycki J., Dołżycki B., Cyske W. Porównanie wyników badań odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe według testów terenowych, metody Marshala, pełzania statycznego, pełzania dynamicznego i okleinowania. Politechnika Gdańska, Gdańsk (1977).
- 14 Karwat A. Trwałe nawierzchnie asfaltowe odporne na odkształcenia. Nowości zagranicznej techniki drogowej nr 128. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa (1996).
- 15 Kołodziejczyk U., Ćwiąkała M., Widuch A. Podbudowa drogi. Podbudowy z gruntów lub kruszyw stabilizowanych spoiwami hydraulicznymi. Opracowanie procedury badawczej dotyczącej trybu postępowania przy projektowaniu mieszanek gruntowo-spoiwowych. Warunki techniczne wykonania i odbioru dróg i mostów – Poradnik kierownika budowy i inspektora nadzoru. Wydawnictwo Verlag Dashofer, Warszawa (2012).
- 16 Kukko H. Stabilization of clay with inorganic by-products. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 12 (4) (2000) 307-309.
- 17 NIK 2011. Informacja o wynikach kontroli stanu realizacji Narodowego Programu Przebudowy Dróg Lokalnych 2008-2011. Najwyższa Izba Kontroli, Poznań (2011).
- 18 PN-S-02205. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania (1998).
- 19 Rozp.Min.Transportu i Gospodarki Morskiej z 2 marca 1999 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (DzU 1999 r, Nr 43, poz. 430).

- 20 Rychlewski P. Wzmacnianie podłoża a posadowienie obiektów inżynierskich. Seminarium IBDiM i PZWFS – Wzmacnianie podłoża gruntowego i fundamentów budowli, Warszawa (2007) 28-32.
- 21 Transportation Research Board of The National Academies. Lessons Learned from the AASHO Road Test and Performance of the Interstate Highway System. Transportation Research Circular. Nr E-C118, (2007).
- 22 Ustawa z 20 marca 1985 roku o drogach publicznych (DzU 2007, Nr 19, poz. 115).
- 23 Ustawa z 23 grudnia 1994 roku o Najwyższej Izbie Kontroli (DzU 1995, Nr 13, poz. 59).
- 24 Ustawa z 16 grudnia 2005 roku o finansowaniu infrastruktury transportu lądowego (DzU 2005r. Nr 267, poz. 2251).
- 25 Ustawa z 19 grudnia 2008 roku o partnerstwie publiczno-prywatnym (DzU z 2009r Nr 19, poz.100).
- 26 Wałęcka H. Odporność nawierzchni asfaltowych na koleinowanie. Nowości zagranicznej techniki drogowej nr 139. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa (1999).
- 27 Wytyczne Stosowania Systemu Oceny Stanu Nawierzchni SOSN. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa (2002).
- 28 Wytyczne wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym. Praca zespołowa GDDKiA i IBDiM, Warszawa (2002).
- 29 www.pois.gov.pl
- 30 Quanliang X., Junpei B., Shutao M. Study of Flexible Base and Semi-Rigid Base Asphalt Pavement Performance Under Accelerated Loading Facility (Alf). 3rd International Conference on Accelerated Pavement Testing in Madrid. Spain (2008).
- 31 Zawadzki J. Symulacje badania nad tworzeniem się kolein w nawierzchniach asfaltowych. Nowości zagranicznej techniki drogowej nr 141. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa (2000).

Local roads in rural areas – current status and prospects

Michał Ćwiakala¹, Paweł Tarasewicz²

1 Innovative Technologies Institute Ltd, Warsaw, e-mail: m.cwiakala@iit.edu.pl

2 Wapeco Ltd, Warsaw, e-mail: p.tarasewicz@wapeco.eu

Abstract:Public roads account for about 95% of all roads in Poland. They are mainly managed and funded by the Local Government Units. Currently, local roads are in poor and unsatisfactory condition, above all due to inadequate technical parameters of surface structures. Most public roads (about 80%) require repairs and reconstruction, in order to improve a parameters quality, traffic flow and traffic safety. Improvement of the technical characteristics of local roads in rural areas (communal) should allow to link these roads with the network of district, provincial and national roads, which has a positive impact on the economic development of the country, and – above all – will increase the comfort of rural residents. Development of transport infrastructure at the local level is conditioned by the appropriate management (including supervision and quality control during and after the road investment) of Local Government Units (including the institution of the independent, accredited laboratories) as well as funding, not only from its own resources, but also grants from the state budget, target-oriented funds and the European Union' resources.

Keywords: local roads in rural areas, the prospects for the development of local roads, local roads funding, cross-sections of local roads, local roads construction technology

Rozwiązania konstrukcyjne lekkiej obudowy termoizolacyjnej stosowane w przechowalniach, chłodniach i mroźniach

Artur Krzywulski

artur.krzywulski@kingspan.com

Streszczenie: Niniejsze opracowanie przedstawia charakterystykę płyt warstwowych jako podstawowego produktu do konstruowania lekkiej obudowy obiektów przechowalni, chłodni oraz mroźni. Są przedstawione definicje przechowalni, chłodni oraz mroźni, jako obiektów do przechowywania produktów żywnościowych. Podane są charakterystyczne cechy środowisk wewnętrznych panujących w tych obiektach. W nawiązaniu do tych charakterystyk, przedstawia się wymagania i kryteria doboru dotyczące lekkiej obudowy termoizolacyjnej z płyt warstwowych, ze wskazaniem na szczegółowe rozwiązania charakterystyczne dla obiektów o kontrolowanej atmosferze wewnętrznej.

Słowa kluczowe: chłodnia, mroźnia, przechowalnia, płyta warstwowa, PUR, PIR, EPS, kontrolowana atmosfera, wymagania.

1. Wprowadzenie

Ze względu na położenie geograficzne oraz zmienność pór roku przechowywanie produktów żywnościowych wiąże się z koniecznością wytworzenia sztucznego środowiska o obniżonej temperaturze, a często także o odpowiednim składzie atmosfery wewnętrznej. Chłodnie mroźnie oraz przechowalnie stanowią obszar budownictwa rolniczego bezpośrednio przeznaczony do długoterminowego magazynowania produktów roślinnych, mięsa ryb oraz ich przetworów. W literaturze obiekty te należą do kategorii obiektów o kontrolowanej atmosferze wewnętrznej, przy czym pojęcie atmosfera odnosi się tutaj zarówno do warunków termicznych, wilgotnościowych i składu gazowego powietrza wewnętrznego. Konieczność sztucznego utrzymania odpowiednich temperatur, wilgotności oraz mieszanki gazowej, wymusza użycie do konstruowania tychże obiektów, materiałów budowlanych charakteryzujących się przede wszystkim odpowiednim poziomem izolacyjności termicznej oraz szczelności gazowej. W okresie ostatnich 40 lat, na rynku materiałów budowlanych wykształcił się produkt, który idealnie nadaje się do konstruowania obiektów z tego obszaru. Jest to płyta warstwowa w okładzinach z blach powlekanych z rdzeniem z materiału termoizolacyjnego.

2. Charakterystyka płyty warstwowej

Płyty warstwowe w obecnej formie są znane w Polsce już od ponad 30 lat, głównie za sprawą Przedsiębiorstwa „Metalplast” z Obornik Wielkopolskich i pionierskiego produktu płyty PW8/B. Sytuacja ta sprawiła, że bardzo często do określania płyty warstwowej używa się określenia „płyt obornicka”. Gwałtowny rozwój i rozpowszechnianie się płyt warstwowych nastąpiło w Polsce po roku 1990.

Płyta warstwowa jest produktem dość elastycznym, ponieważ pozwala na dostosowanie swojej struktury w zależności od zastosowania czy też w zależności od wymaganych parametrów techniczno-użytkowych. Możliwość zastosowania różnych rodzajów okładzin metalowych w połączeniu z dostępnymi materiałami termoizolacyjnymi powoduje że produkt ten znajduje zastosowanie we wszelkiego rodzaju obiektach budowlanych.

Z technicznego punktu widzenia płyty warstwowe są zdefiniowane i opisane poprzez Polskie Normy. W latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia powstał jedna z pierwszych na świecie norma opisująca płyty warstwowe, była to PN-84/B-03230 „Lekkie ściany

osłonowe i przekrycia dachowe z płyt warstwowych i żebrowych. Obliczenia statyczne i projektowanie”. Wspomniana norma została zastąpiona przez normę PN-EN 14509 [1] po wejściu Polski do Wspólnoty Europejskiej. Obecnie obowiązująca Polska Norma zharmonizowana [1] podaje definicję oraz szczegółową specyfikację materiałową płyt warstwowych.

Podstawowy podział płyt warstwowych jest oparty o kryterium zastosowania oraz rodzaju rdzenia izolacyjnego. Tak więc w przypadku pierwszego kryterium wyróżniamy:

- płyty dachowe,
- płyty ściennie elewacyjne(zewnętrzne),
- płyty do zabudowy wewnętrznej – ściennie i sufitowe,

W przypadku kryterium rdzenia termoizolacyjnego najbardziej powszechne rodzaje to:

- płyty z rdzeniem z wełny mineralnej,
- płyty z rdzeniem z polistyrenu ekspandowanego EPS(styropian),
- płyty z rdzeniem z pianki poliuretanowej(PUR) oraz polizocyjanurowej(PIR),

Na rynku występują także inne rodzaje rdzenia termoizolacyjnego, takie jak pianki fenolowe(PF), styropian ekstrudowany(XPS) czy szkło piankowe(CS), jednakże ich popularność jest mocno ograniczona z powodów ekonomicznych.

Zastosowanie trwałego połączenia okładzin metalowych , o wysokich parametrach wytrzymałościowych, z rdzeniem termoizolacyjnym, którego charakterystyka wytrzymałościowa jest o rząd wielkości niższa od okładzin, powoduje uzyskanie efektu kompozytowego, przez co finalny produkt osiąga parametry znacząco lepsze niż każdy z komponentów osobno. Efekt ten jest doskonale znany w branży materiałów budowlanych zarówno konstrukcyjnych jak i nie-konstrukcyjnych. Zatem efekt kompozytowy oraz superpozycja właściwości techniczno-użytkowych okładzin i rdzenia izolacyjnego sprawiają, że płyty warstwowe zajmują ugruntowaną pozycję jako podstawowy produkt do wykonywania lekkiej obudowy obiektów o kontrolowanej atmosferze. Pozycja ta dodatkowo jest wsparta zaletami montażowymi. Płyty warstwowe są elementami prefabrykowanymi, cechującymi się fabryczną jakością. W połączeniu z małą masą jednostkową , modularnymi rozmiarami oraz ukształtowaniem złącz typu „pióro-wpust” - pozwalają na znaczące skrócenie prac montażowych przy zachowaniu wysokiego poziomu jakości prac.

3. Charakterystyka obiektów przechowalniczych chłodniczych i mroźniczych.

Jak zostało to określone we wstępie przechowalnie, chłodnie oraz mroźnie są typami obiektów klasyfikowanych jako obiekty o kontrolowanej atmosferze. Do tej rodziny obiektów należą głównie obiekty w których się produkuje, przetwarza lub magazynuje artykuły spożywcze. Obiekty będące przedmiotem tego opracowania służą do magazynowania i przechowywania produktów roślinnych oraz mięsa i jego przetworów. Charakterystyka tych obiektów przedstawia się następująco:

3.1. Mroźnie

Jak sama nazwa sugeruje są to obiekty w których temperatura wewnętrzna jest utrzymywana poniżej temperatury 0°C. W tego typu obiektach nie występują dodatkowe uwarunkowania związane ze składem mieszkanki gazowej. Produkty przechowywane są w naturalnej atmosferze. W zależności od poziomu temperatury wewnętrznej możemy wydzielić następujące typy mroźni [2]:

- temperatura poniżej -25°C – są to mroźnie do długoterminowego przechowywania mięsa, ryb, owoców i wstępnie obrobionych artykułów spożywczych(np. lody, kotlety, itp.),
- temperatura ok. -18°C - są to mroźnie do krótkoterminowego przechowywania mięsa i wstępnie obrobionych artykułów spożywczych,
- temperatura od 0°C do -10°C - są to mroźnie do przechowywania świeżego mięsa(do dalszej przeróbki), wstępnego schładzania mięsa oraz do długoterminowego przechowywania owoców i warzyw nieprzetworzonych.

3.2. Chłodnie

Ten typ obiektów charakteryzuje temperatura wewnętrzna, która jest utrzymywana w przedziale od 0°C do 10°C. Podobnie jak w mroźniach ten typ obiektu posiada naturalną atmosferę wewnętrzną i w większości przypadków służy do krótkoterminowego przechowywania produktów spożywczych. Bardzo często chłodnie są obiektami dystrybucji i sortowania artykułów spożywczych wszelkiego asortymentu

3.3. Przechowalnie

Przechowalnie można zdefiniować jako chłodnie, czyli obiekty o temperaturze wewnętrznej pomiędzy 0°C i 10°C, gdzie dodatkowo utrzymywany jest odpowiedni poziom wilgotności powietrza i odpowiedni skład gazowy powietrza. Przechowalnie są głównie obiektami do krótko- i długoterminowego przechowywania owoców i warzyw przeznaczonych głównie do spożycia. Warunki wilgotnościowe i odpowiedni skład gazowy powietrza, chodzi tu o obniżenie zawartości tlenu, mają za zadanie maksymalnie opóźnić, proces dojrzewania owoców i warzyw, lub jak w przypadku niektórych warzyw (ziemniaki, marchew) podtrzymać maksymalnie długo świeżość do spożycia. Należy tutaj zaznaczyć, że każdy z gatunków owoców i warzyw posiada swoje indywidualne warunki przechowywania. Stąd też, oprócz sprawnie działającej obudowy przechowalni, kluczową rolę spełniają systemy podtrzymujące wilgotność i skład gazowy atmosfery. W literaturze fachowej ten typ obiektów często jest określany jako obiekty ULO – „Ultra Low Oxygen”, lub żargonowo jako komory gazoszczelne.

4. Wymagania dotyczące obiektów o kontrolowanej atmosferze.

Obiekty o kontrolowanej atmosferze, w podstawowym zakresie, podlegają ogólnym przepisom Prawa Budowlanego [3] oraz Warunkom Technicznym [4]. Jako, że są to w większości obiekty rolnicze podlegają również warunkom Technicznym dla obiektów rolniczych [5]. Wspomniane powyżej akty prawne podają tzw. wymagania podstawowe które muszą spełniać wszystkie materiały budowlane, są to:

- bezpieczeństwa konstrukcji,
- bezpieczeństwa pożarowego,
- bezpieczeństwa użytkowania,
- odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych oraz ochrony środowiska,
- ochrony przed hałasem i drganiami,
- oszczędności energii i odpowiedniej izolacyjności cieplnej przegród.

Biorąc pod uwagę charakterystykę obiektów przechowalniczych, chłodniczych i mroźniczych oraz powyższe wymagania podstawowe można sformułować zestaw szczególnych wymagań dla obiektów o kontrolowanej atmosferze:

- izolacyjność termiczna uwzględniająca specyficzne temperatury wewnętrzne,
- wytrzymałość elementów w odniesieniu do zadeklarowanych obciążeń oraz uwzględniająca obciążenie temperaturą elementów lekkiej obudowy,
- odporność na przenikanie wilgoci(paroszczelność),
- zapewnienie szczelności gazowej,
- trwałość lekkiej obudowy w kontekście parametrów użytkowych,
- utrzymanie wysokiej higieny, w tym łatwość czyszczenia, mycia i dezynfekcji,
- odporność pożarowa,
- izolacyjność akustyczna lekkiej obudowy,

Powyższa kolejność wymagań uwzględnia wagę poszczególnych kryteriów w kształtowaniu lekkiej obudowy, należy zaznaczyć że są to kryteria techniczno - użytkowe. W życiu codziennym pojawiają się jeszcze wymagania ekonomiczne, które często dość poważnie utrudniają odpowiednie zaprojektowanie obudowy z punktu widzenia techniczno - użytkowego.

5. Spełnienie wymagań – rozwiązania konstrukcyjne.

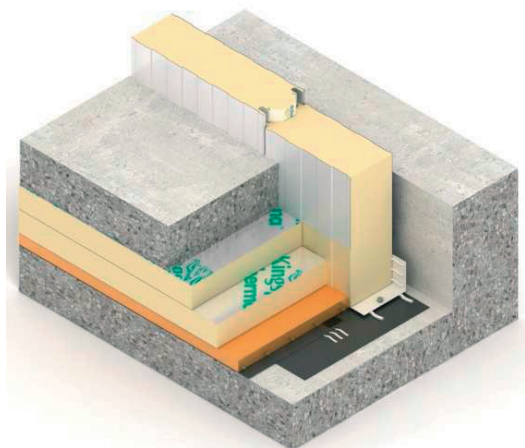
5.1. Izolacyjność termiczna.

Izolacyjność termiczna jest jedną z podstawowych charakterystyk obudowy obiektów

o kontrolowanej atmosferze. Kryterium to zarówno determinuje globalne rozwiązanie lekkiej obudowy jak również charakteryzuje obudowę w kontekście jej grubości.

W rozwiązaniu globalnym funkcjonuje zasada ciągłości rdzenia izolacyjnego. Dotyczy ona ogólnego rozwiązania lekkiej obudowy jak również odpowiedniego kształtowania szczegółów konstrukcyjnych. To zasada jest odpowiedzialna za zasadniczą różnicę między układem mroźni a chłodni i przechowalni.

Temperatury poniżej 0°C w mroźniach, wymagają ciągłego połączenia izolacji termicznej ścian i sufitów z posadzką. Chodzi o wytworzenie swego rodzaju „termosu”. Płyty obudowy ścian zostają obniżone i zatopione w posadzce po uprzednim połączeniu z izolacją posadzki, jak pokazano na Rys.1. W przypadku obiektów chłodniczych i przechowalniczych płyty ściennie są montowane bezpośrednio na posadzce bez konieczności połączenia z izolacją posadzki.



Rys.1. Szczegół połączenia płyt ściennych z izolacją posadzki w mroźni

Zasada ciągłości wymusza eliminację wszelkiego rodzaju mostków cieplnych, które mogą powstawać we wszelkiego rodzaju narożnikach. Klasyczne połączenie płyt warstwowych w narożniku sprawia że okładzina wewnętrzna jednej z płyt „przechodzi” na stronę zewnętrzną. W sytuacji kontrolowanej temperatury takie sytuacje są eliminowane. W tym celu w szczegółach narożników stosuje się 2 rozwiązania:

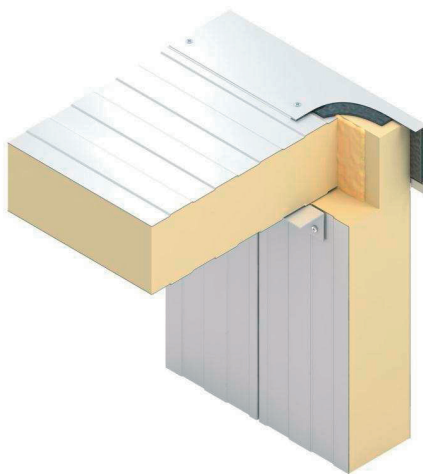
- usuwa się lokalnie okładzinę metalową z powierzchni styku-przejęcia, tworząc bezpośredni kontakt (ciągłość) izolacji termicznej, jak pokazano na Rys. 1 w miejscu styku płyt ściennych z izolacją posadzki, lub
- tworzy się połączenia schodkowe, które dodatkowo osłabiają lokalne mostki termiczne, jak pokazano na Rys.2.

Wieloletnia praktyka spowodowała, że rozwiązania z usuwaniem okładzin stosuje się zazwyczaj w chłodniach i przechowalniach, a połączenia schodkowe są cechą charakterystyczną szczegółów konstrukcyjnych mroźni.

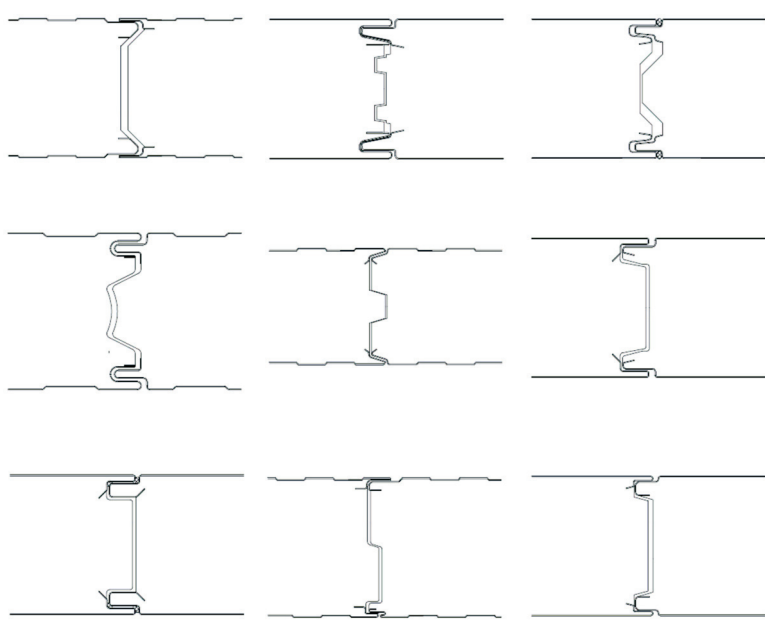
Konieczność eliminacji mostków termicznych znalazła też swoje odbicie charakterystycznym kształcie złącza płyt warstwowych chłodniczych. Połączenie piórowpuszt, jest także formowane w obszarze rdzenia izolacyjnego. Kształt i forma są bardzo różne – z reguły każdy producent płyt chłodniczych ma wypracowaną swoją własną geometrię, która odróżnia dany typ płyt od innych – ale cel jest jeden osłabić liniowy mostek termiczny na zamku płyt. Na Rys.3. przedstawiono kilka przykładów kształtów złącza płyt chłodniczych.

W oparciu o to kryterium dokonuje się pierwszego wyboru dotyczącego rodzaju rdzenia termoizolacyjnego płyt warstwowych. Z uwagi na właściwości cieplne materiałem pierwszego wyboru jest pianka poliuretanowa lub polizocyjanurowa. Wynika to faktu, że pianki PUR/PIR posiadają jeden z najniższych współczynników przewodzenia ciepła wśród materiałów termoizolacyjnych, wynoszącym od 0,020 W/m²K do 0,023 W/m²K. Dodatkowym argumentem za wyborem tych materiałów izolacyjnych jest ich struktura, są to pianki z zamkniętymi porami, co powoduje że są odporne na zawilgocenie; które może

jedynie występować na powierzchniach ciętych(końce płyt), gdzie zamknięta struktura została naruszona mechanicznie.



Rys.2. Połączenie schodkowe płyt warstwowych w narożniku



Rys.3. Przykładowe szkice złącza płyt chłodniczych

Określenie odpowiedniej grubości płyt warstwowych odbywa się na zasadzie analizy różnicy temperatur panujących na danej przegrodzie (sufit lub ściana). Międzynarodowa organizacja zrzeszające inżynierów zajmujących się projektowaniem i wznoszeniem obiektów chłodniczych IACSC (International Association for Cold Storage Construction), w swojej publikacji [2] podaje proste kryterium właściwego doboru izolacji termicznej. Na podstawie wieloletniej praktyki i obserwacji funkcjonowania tego typu obiektów IACSC ustalił, że minimalna grubość izolacji termicznej powinna być tak dobrana aby strumień ciepła powodowany różnicą temperatur na przegrodzie, nie był większy niż 10 W/m^2 . W praktyce sprowadza się to rozwiązania prostego równania(1):

$$\Phi = (T_e - T_i) \cdot U < 10 \text{ W/m}^2, \quad (1)$$

Gdzie:

Φ – strumień ciepła przechodzący przez przegrodę,

T_e – Temperatura na zewnątrz przegrody (pomieszczenia)

T_i – temperatura wewnątrz przegrody (pomieszczenia)

U – współczynnik przenikania ciepła płyty warstwowej o grubości d [m] i współczynnika przenikania ciepła λ [W/m²K].

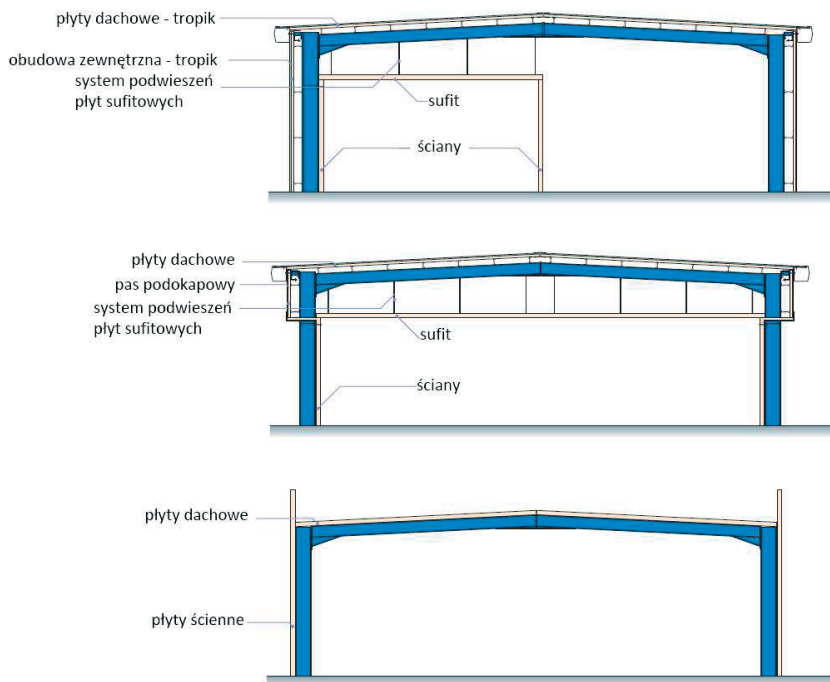
Przekształcając równanie (1), otrzymujemy nierówność (2) określającą minimalną grubość izolacji termicznej o współczynnika przenikania ciepła λ :

$$d_{\min} > \frac{(T_e - T_i) \lambda}{10} \quad (2)$$

W praktyce, obliczenia nie są konieczne gdyż producenci płyt warstwowych posiadają gotowe tabele doboru płyt warstwowych w zależności od różnicy temperatur.

5.2. Wytrzymałość konstrukcyjna.

Płyta warstwowa dzięki swoim własnościom kompozytowym jest zdolna do przenoszenia obciążeń zewnętrznych oddziaływujących na obiekt. Oddziaływania w postaci odpowiednich reakcji przekazywane są za pośrednictwem pod-konstrukcji wsporczych (płatwi lub rygli) na konstrukcję główną obiektu. Należy tutaj podkreślić, iż płyty warstwowe w znaczącej większości zastosowań wymagają mocowania do konstrukcji wsporczej. W przypadku elementów obudowy zewnętrznej jest to warunek konieczny natomiast w przypadku zabudowy wewnętrznej, w zależności od występujących obciążeń i rozmiarów pomieszczeń, istnieje możliwość zaprojektowania i wykonania poszycia jako obudowy niezależnej od konstrukcji wsporczej.



Rys.4. Schematy układu obudowy (od góry) z tropikiem pełnym, częściowym oraz jednopłaszczyznowej

Rozpatrując przedmiotowe obiekty jedynie chłodnie są wykonywane w systemie obudowy jedno-płaszczyznowej, zewnętrznej. Mroźnie oraz przechowalnie, ze względu na

specyfikę pracy - występujące temperatury oraz konieczność kontrolowania składu i wilgotności atmosfery, są projektowane jako obudowy z tropikiem pełnym („box-in-box”-puszka w puszcze) lub częściowym (dach i pas podokapowy). Szkice na Rys.4 ilustrują przedstawione powyżej schematy

5.2.1. Chłodnie

Są projektowane i wymiarowane identycznie jak standardowe lekkie obudowy obiektów z płyt warstwowych. W wymiarowaniu przeprowadza się analizę elementów ściennych i dachowych, rozpatrując odpowiednie kombinacje obciążeń zewnętrznych oraz ustalone temperatury wewnętrzne. Szczegółowa procedura obliczeniowa podana jest w normie PN-EN 14509 [1]. W praktyce nie wykonuje się indywidualnych obliczeń płyt ściennych czy dachowych, projektowanie opiera się na wykorzystaniu tabel nośności i obciążenia. Producenci płyt warstwowych opracowują te tabele dla każdego rodzaju płyt warstwowych, w których uwzględnione są wpływy obciążeń zewnętrznych i panujących warunków wewnętrznych dla standardowych obiektów przemysłowych czy użyteczności publicznej.

5.2.2. Mroźnie i przechowalnie

W przypadku tego typu obiektów większość rozwiązań zakłada układ konstrukcyjny z tropikiem zatem wpływ podstawowych obciążeń zewnętrznych przejmowane jest przez płaszczyznę zewnętrzną. Wewnętrzna obudowa mroźni czy przechowalni podlega zatem jedynie obciążeniom wewnętrznym w tym przypadku temperatury i różnicy ciśnień.

Struktura płyt warstwowych powoduje, że elementy te – z punktu widzenia statyki - są podatne na zmiany temperatury, a w szczególności na różnice temperatur. Okładziny metalowe wystawione na działanie różnicy temperatur (strony wewnętrzna i zewnętrzna) powodują odkształcenia płyt warstwowych, a także powstanie dodatkowych sił wewnętrznych w przypadkach układów wieloprzęślowych. Uwzględnienie różnicy temperatur ma znaczenie szczególnie przy długościach płyt warstwowych, większych niż 5-6m. Pojawiające się przemieszczenia spowodowane temperaturą mogą doprowadzić do lokalnych rozszczelnień, co w przypadku obiektów o kontrolowanej atmosferze jest niedopuszczalne. Szczegółowa procedura wyznaczania odkształceń oraz sił wewnętrznych generowanych przez różnicę temperatur jest dokładnie podana w normie PN-EN 14509 [1]. W przypadku maksymalnych dopuszczalnych odkształceń przyjmując się dla płyt warstwowych warunek $L/200$, zarówno dla elementów ściennych jak i sufitowych.

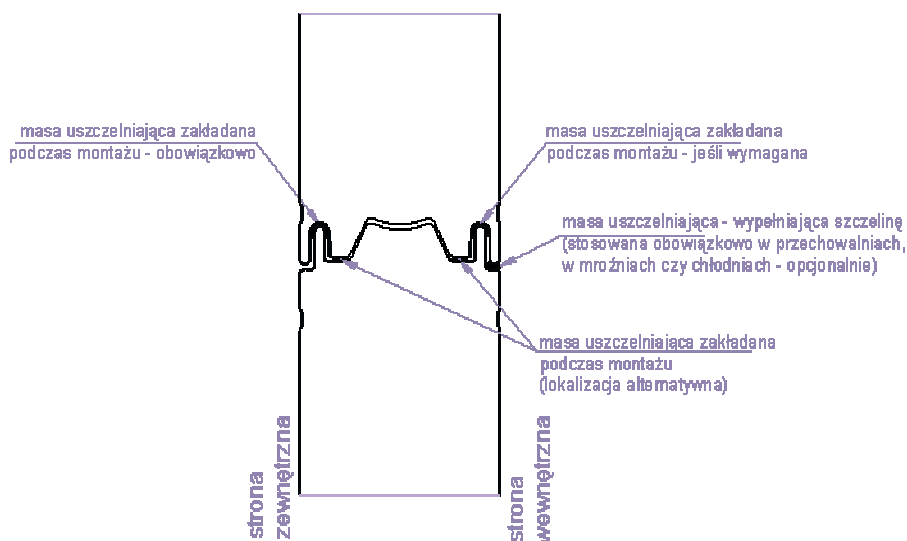
Różnice ciśnień oddziałujące na zabudowy wewnętrzne może być skutkiem działania urządzeń podtrzymujących określony skład mieszanki gazowej lub zmianami temperatury. W przypadku urządzeń kontrolujących atmosferę wewnętrzną oddziaływanie na obudowę jest niewielkie, gdyż systemy te głównie starają się utrzymać ciśnienie na poziomie ciśnienia atmosferycznego – zatem żadna znacząca różnica ciśnień nie występuje. Pomimo tego w pracach projektowych przechowalni, zaleca się przyjmować do obliczeń wartość ciśnienia (podciśnienia) wewnętrznego na poziomie 0,25 kPa, aby w trakcie użytkowania obudowa była w stanie poprawnie funkcjonować. Dużo bardziej niebezpieczne są różnice ciśnień pojawiające się w przypadku różnicy temperatur. Sytuacja ta ma miejsce podczas procesu schładzania komór, w szczególności mroźniczych. Zgodnie z prawami termodynamiki, jeżeli będziemy schładzać zamkniętą objętość powietrza, to spowoduje to spadek ciśnienia (równanie Clapeyrona). Jak wspomniano sytuacja ta ma może mieć miejsce jedynie w okresie schładzania komór – może mieć miejsce, ponieważ proces schładzania komór jest bardzo ważnym etapem w pracy urządzeń chłodniczych, tak więc inżynierowie chłodnicy, z reguły podają dokładną procedurę procesu schładzania, między innymi po to aby uniknąć efektu powstania podciśnienia. W praktyce dla zabezpieczenia obudowy mroźni przed nieprzewidzianymi skutkami procesu schładzania montuje się specjalne zawory dekompresyjne w obudowie mroźni. Mają one za zadanie wyrównywanie ciśnienia w komorach jeżeli zostanie przekroczony ustalony poziom bezpieczeństwa. W projektowaniu obudowy mroźniczej nie uwzględnia się podciśnień pochodzących z fazy schładzania ze względu na podejmowane środki ostrożności ze strony branży chłodniczej, nie mniej jednak należy tutaj wspomnieć, że odnotowano wiele przypadków awarii obudowy komór mroźniczych z powodu lekkomyślnego podejścia do fazy schładzania obiektu.

W kontekście obudowy z tropikiem należy wskazać jeszcze jedno ważne zagadnienie związane z ogólną konstrukcją obudowy, odnoszące się do sposobu mocowania (podparcia) płyt sufitowych. Jak przedstawiono na schematach na Rys.4. większość elementów sufitowych jest mocowana (podwieszana) do konstrukcji głównej dachu obiektu. W tak przyjętym schemacie należy zawsze przeanalizować wpływ ugięć konstrukcji głównej na elementy sufitowe. Jest to szczególnie istotne zagadnienie w przypadku sufitów podwieszonych o dużych rozpiętościach, gdzie np. płyty sufitowe są łączone z kilku elementów aby przekryć całą rozpiętość komory. Odształcenia dźwigarów dachowych są przenoszone za pośrednictwem podwieszeń na elementy sufitowe obudowy komór, w przypadku dźwigarów o dużych rozpiętościach, ugięcia te niejednokrotnie mogą spowodować rozszczelnienie styków płyt oraz detali połączeń. W takich przypadkach podczas prac projektowych należy szczegółowo przeanalizować systemy podwieszania sufitów komór, i w przypadkach ryzykownych zastosować zamiast podwieszeń pionowych system odciągów ukośnych które będą zamocowane do dźwigarów w miejscach mniejszych ugięć.

Jako uzupełnienie tego zagadnienia należy też wspomnieć, iż płyty warstwowe umożliwiają także budowę komór wewnętrznych w układzie samonośnym. Są to pomieszczenia wewnątrz większych obiektów lub budynków, które nie posiadają konstrukcji wsporczej, ani nie są do niej zamocowane. Integralność całej obudowy jest zapewniona albo poprzez wytrzymałość samych płyt warstwowych, które są odpowiednio połączone i zastosowano odpowiednie detale połączeń konstrukcyjnych lub poprzez tzw. zamki hakowe („cam-lock”), które są zatopione w krawędziach płyt warstwowych i po złożeniu w sposób mechaniczny realizują połączenia pomiędzy poszczególnymi płytami. Najczęściej rozwiązania te są dostępne na rynku w postaci gotowych typoszeręgów komór, które można odpowiednio dobrać do swoich potrzeb. Tego typu rozwiązania najczęściej znajdują zastosowania w gastronomii, są to po prostu dużych rozmiarów lodówki lub zamrażalki.

5.3. Odporność na przenikanie wilgoci

Płyta warstwowa składa się z okładzin metalowych i rdzenia termoizolacyjnego, z punktu widzenia przenikania wilgoci okładziny metalowe stanowią barierę nieprzepuszczalną, zatem zapewnienie odporności na przenikanie wilgoci koncentruje się na odpowiednim zabezpieczeniu zamków płyt warstwowych oraz poszczególnych szczegółów konstrukcyjnych – naroży(ściana-ściana, ściana-sufit, ściana-posadzka), przejść instalacyjnych oraz styków z innymi elementami obudowy(drzwi, bramy, okna, itp.).

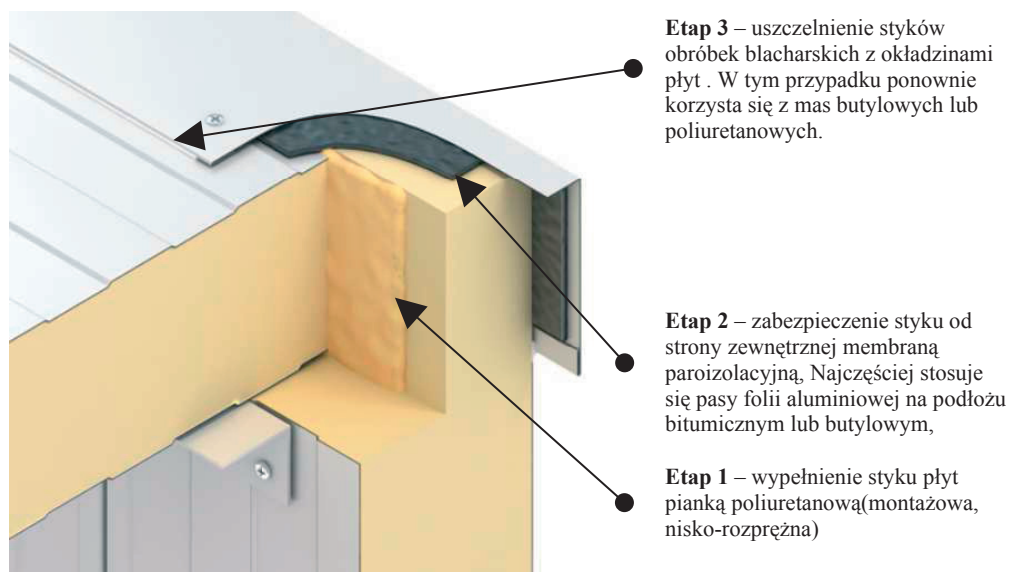


Rys.5. Szkic złącza płyt chłodniczych z zaznaczonymi miejscami aplikacji mas uszczelniających.

Połączenie pióro-wpust w obrębie złącza nie jest w stanie zapewnić 100% szczelności na przenikanie wilgoci, ale daje możliwość zaaplikowania dodatkowych środków uszczelniających w postaci plastycznych mas poliuretanowych czy butylowych. Rys.5.przedstawia typowy przekrój przez złącze(zamek) płyty warstwowej chłodniczej, z zaznaczonymi miejscami aplikacji mas uszczelniających. W większości przypadków masy są aplikowane podczas prac montażowych, z reguły jest to szczegółowo opisane w instrukcjach montażowych z wyszczególnieniem konkretnych typów mas. Są także dostępne rozwiązania z fabrycznie zaaplikowanymi uszczelkami w gniazdach zamków, które gwarantują osiągnięcie pożądanej szczelności.

W przypadku konkretnych szczegółów konstrukcyjnych, odpowiedni poziom szczelności jest uzyskiwany w trzech etapach - zilustrowanych na Rys.6.

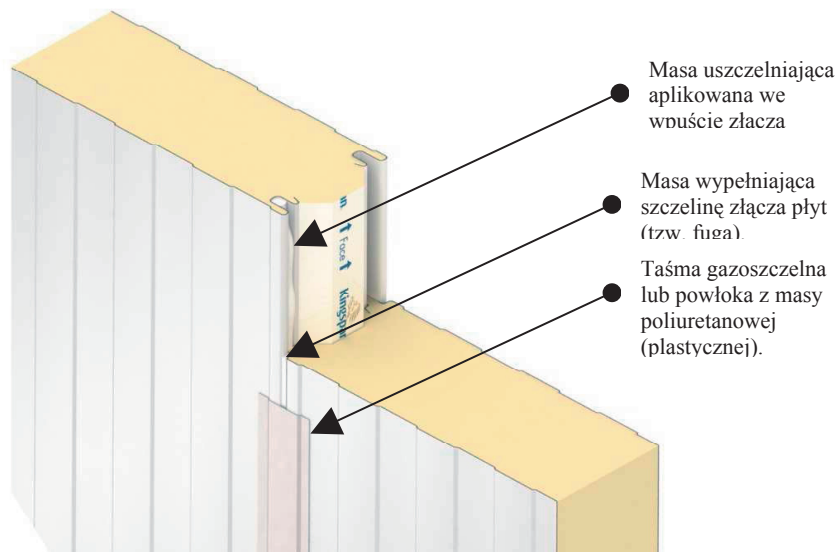
Należy zaznaczyć że w przypadku obiektów mroźniczych oraz przechowalniczych realizuje się wszystkie trzy etapy zapewnienia szczelności detali konstrukcyjnych, natomiast w przypadku chłodni wystarczy wykonanie Etapu 1 oraz 3.



Rys.6. Wykonanie uszczelnień złącza narożnego płyt chłodniczych.

5.4. Zapewnienie szczelności gazowej

Sztucznie utrzymywany skład gazowy atmosfery wewnętrznej wymusza konstruowanie obudowy o 100% szczelności gazowej. Szczelność gazową osiąga się stosując identyczne rozwiązania jak w przypadku zabezpieczenia szczelności na przenikanie wilgoci, przedstawionych w punkcie 5.3. W praktyce przy konstruowaniu komór gazo-szczelnych, dodatkowo stosuje się aplikacje taśm gazoszczelnych na wszystkich złączach płyt oraz pokrywając wszystkie inne detale połączeń(narożniki, styki, przejścia) – Rys.7. Typowe taśmy gazoszczelne to wstęgi folii aluminiowej na podłożu butylowym. W praktyce często taśmy aluminiowe są zastępowane przez wykonanie na stykach i złączach powłoki z masy poliuretanowej.



Rys.7. Szczegół złącza płyt warstwowych w komorach przechowalniczych.

5.5. Trwałość obudowy

Jak wcześniej zdefiniowano, środowisk wewnątrznych mroźni, chłodni oraz przechowalni nie klasyfikuje się jako agresywne. Jedynym szkodliwym czynnikiem jest wysoka wilgotność m przypadku chłodni i przechowalni. Sztuczna atmosfera podtrzymywane dla przechowywania owoców i warzyw(mieszanaka gazowa) nawet w połączeniu z wysoką wilgotnością nie stanowią szczególnego zagrożenia dla trwałości płyt warstwowych. Ponieważ płyty warstwowe składają się z różnych materiałów więc trwałość płyty jako całości zależy od trwałości najsłabszego ogniwa systemu. W tym przypadku – najsłabszym ogniwem są powłoki metalowe. Okładziny metalowe, niemalże we wszystkich przypadkach, są to blachy stalowe, powlekane ogniowo powłokami metalicznymi w sposób ciągły i powlekane lakierami organicznymi. Stosowane powłoki metaliczne to najczęściej powłoki cynkowe(Z), cynkowo-aluminiowe(ZA) lub aluminiumo-cynkowe(AZ). Na rynku dostępne są jeszcze inne powłoki metaliczne jednakże stanowią one mniejszy udział w produkcji płyt warstwowych. Dokładne specyfikacje techniczne oraz warunki dostawy opisują odpowiednie Polskie Normy. W przypadku powłok organicznych, najczęściej stosowane to powłoki naniesione w sposób ciągły metodą „coil-coating”: poliestrowe(SP/PES), z polifluorku winylidenu(PVDF), poliuretanowe(PUR) oraz z modyfikowanego polichlorku winylu(PVC) W przypadku modyfikowanego PVC, bardzo powszechnie jest stosowany laminat z tej powłoki (PVC-F) przeznaczony tylko do zastosowań wewnętrznych, potocznie nazywany „Food-safe”.

Przedstawione powyżej warianty ochrony antykorozyjnej blach stalowych, jeżeli są wykonane zgodnie z wymaganiami minimalnymi określonymi dla powłok metalicznych w PN-EN 508-1:2010 [6], i jeżeli w połączeniu z dowolną powłoką organiczną posiadają kategorię odporności korozyjnej(jako całość: blacha stalowa+powłoka metaliczna +powłoka organiczna) co najmniej RC3 wg PN-EN 10169-2:2008 [7] – to stanowią wystarczające zabezpieczenie dla zagwarantowania trwałości płyt warstwowych w lekkiej obudowie obiektów z kontrolowaną atmosferą wewnętrzną. W przypadku stosowania obudowy jednopłaszczyznowej(chłodnie) należy jeszcze dodatkowo odpowiednio wyspecyfikować rodzaj ochrony blach stalowych dla strony zewnętrznej paneli. W tym przypadku stosuje się procedurę opartą na klasyfikacji korozyjnej środowisk, zgodnie z PN-EN ISO 12944-2:2001 [8], i odpowiadających im kategorii powłok wg [7].

Standardowo określa się żywotność lekkiej obudowy z płyt warstwowych na poziomie od 30 do 40 lat. Przedstawiona powyżej metoda doboru ochrony okładzin stalowych, gwarantuje spełnienie tego warunku z punktu widzenia korozji chemicznej

i fizycznej. W szczególności obiekty rolnicze, są narażone na korozję biologiczną, do której należy zaliczyć degradację elementów lekkiej obudowy na wskutek obecności insektów lub gryzoni oraz na wskutek rozwoju różnych grzybów i pleśni. Działalność insektów oraz gryzoni jest jedynie niebezpieczna dla płyt warstwowych z rdzeniem styropianowym, stąd też płyty warstwowe z tym rdzeniem izolującym znajdują co raz mniej zastosowań. Rozwój grzybów i pleśni ma charakter tymczasowy i jest stosunkowo nieszkodliwy dla płyt warstwowych, stanowi jedynie zagrożenie higieny wewnętrznej obiektu, którą można w łatwy sposób kontrolować poprzez mycie i dezynfekcję.

5.6. Higiena.

W przypadku obiektów przechowalniczych wymagania higieniczne nie są tak restrykcyjne jak w przypadku obiektów i pomieszczeń przetwórstwa lub produkcji żywności. W przypadku wymogów higienicznych, spełnienie tego kryterium jest możliwe dzięki zastosowaniu:

- płyt warstwowych o odpowiednim kształcie powierzchni (przeprofilowaniu), które nie będzie sprzyjało akumulacji brudu i kurzu, a także będzie łatwe do zmywania oraz dezynfekcji,
- odpowiednich powłok organicznych, które są neutralne, nie powodują wydzielania żadnych szkodliwych substancji, a także są wystarczająco odporne na zabiegi zmywania i dezynfekcji.

W praktyce stosuje się płyty warstwowe o okładzinach płaskich lub lekko profilowanych, gdzie głębokość przetłoczeń nie przekracza 3mm. Powłoki organiczne wymienione w poprzednim punkcie są bezpieczne higienicznie, stabilne chemicznie i nie wydzielają żadnych szkodliwych substancji, dodatkowo są obojętne na stosowane środki czystości i dezynfekcji.

5.7. Odporność pożarowa.

Odporność pożarowa obiektów mroźni, chłodni i przechowalni jest realizowana zgodnie z zasadami zawartymi w Warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [4]. Klasyfikacja wynikająca z przepisów Prawa Budowlanego narzuca na elementy lekkiej obudowy obowiązek posiadania klasyfikacji NRO (nie rozprzestrzeniający ognia). W zależności od innych pomieszczeń oraz układu całego obiektu, mogą się pojawić dodatkowe wymagania dotyczące odporności ogniowej przegród (ścian lub/i sufitów). W tym przypadku płyty warstwowe muszą posiadać odpowiednią klasyfikację ogniową potwierdzającą wymagana odporność ogniową. Praktyka dowodzi, że w przypadku płyt warstwowych klasyfikacja NRO jest zapewniona. Natomiast odporność ogniowa zależy od rodzaju rdzenia izolującego. Najlepsze parametry ogniowe mają oczywiście płyty warstwowe z rdzeniem z wełny mineralnej, jednakże ich popularność wśród obiektów o kontrolowanej atmosferze jest mocno ograniczona. Natomiast płyty z wypełnieniem z pianki PUR lub PIR spełniają parametry ogniowe na poziomie wystarczającym do stosowania ich jako elementy obudowy mroźni, chłodni oraz przechowalni. W przypadku płyt z rdzeniem ze spienionego polistyrenu (EPS) osiągnięcie wymaganych klasyfikacji ogniowych często jest niemożliwe.

5.8. Izolacyjność akustyczna

Chłodnie, mroźnie oraz przechowalnie to, ujęciu przepisów Prawa Budowlanego, obiekty magazynowe, których oddziaływanie w zakresie hałasu i drgań jest wręcz nieodczuwalne. Stąd też tego rodzaju obiektom, w zasadzie, nie stawia się żadnych wymagań dotyczących izolacyjności akustycznej przegród.

6. Podsumowanie

Obecnie na rynku lekkich obudów z płyt warstwowych, jest dostępnych wiele standardowych rozwiązań szczegółów konstrukcyjnych mroźni, chłodni i przechowalni. W tak rozbudowanym środowisku informacyjnym jest niezbędna orientacja według jakich kryteriów dokonywać wyboru odpowiednich detali konstrukcyjnych. Zrozumienie szczegółowych warunków funkcjonowania i pracy obiektów o kontrolowanej atmosferze, i wynikających z nich szczegółowych kryteriów i wymagań, jest kluczem do dokonania

właściwego wyboru. W związku z tym warto uświadomić sobie, jeden, bardzo istotny wniosek, który jest myślą przewodnią podręcznika [2]: „... nie ma złych płyt warstwowych – są tylko źle dobrane lub źle zaprojektowane”.

Literatura

- 1 PN-EN 14509:2010 Samonośne izolacyjno-konstrukcyjne płyty warstwowe z dwustronną okładziną metalową. Wyroby fabryczne. Specyfikacje
- 2 IACSC European Division(praca zbiorowa), Design, Construction, Specification and Fire Management of Insulated Envelopes for Temperature Controlled Environments
- 3 Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane(Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414 z późn. zm).
- 4 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie(Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późn. zm.)
- 5 Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie(Dz.U. 1997 nr 132 poz. 877)
- 6 PN-EN 508-1:2010 Wyroby do pokryć dachowych z metalu. Charakterystyka wyrobów samonośnych z blachy stalowej, aluminiowej lub ze stali odpornej na korozję. Część 1: Stal
- 7 PN-EN 10169-2:2008 Wyroby płaskie stalowe z powłoką organiczną naniesioną w sposób ciągły. Część 2: Wyroby stosowane na zewnątrz budowli.
- 8 PN-EN ISO 12944-2:2001 Farby i lakiery. Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich. Część 2: Klasyfikacja środowisk

Design Solutions of Light Insulated Envelopes used in Chill Stores, Cold Stores and Controlled Atmosphere Stores

Artur Krzywulski

e-mail: artur.krzywulski@kingspan.com

Abstract: This paper presents the characteristics of insulated composite panels as basic construction solution for the envelope of chill-stores, cold-stores and controlled atmosphere stores. The particular definitions of chill store, cold store and CA stores are given, to present specific details of storing the food products. In relation to this premises specific conditions of internal environments are given. In terms of these conditions there are presented specific requirements and design rules for insulated composite panels specified as the envelope of the of the controlled atmosphere premises.

Keywords: chill store, cold store, CA, ULO, controlled atmosphere, composite panel, construction details, requirements, PUR, PIR, EPS, MW.

Perspektywy nowych rozwiązań technicznych i zastosowań płyt warstwowych i materiałów kompozytowych w budownictwie rolniczym

Zbigniew Pozorski

*Institut Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika
Poznańska, e-mail: zbigniew.pozorski@put.poznan.pl*

Streszczenie: W pracy przedstawiono kierunki rozwoju płyt warstwowych stosowanych w budownictwie. Materiał ten znajduje szerokie zastosowanie również w budownictwie rolniczym. Dyskusja dotycząca nowoczesnych materiałów i konstrukcji budowlanych została przedstawiona na tle występujących obecnie ograniczeń wynikających z mechanizmów zniszczenia oraz ograniczeń technologicznych procesów produkcji. Przegląd problematyki płyt warstwowych został uzupełniony o przykłady zastosowań innych materiałów kompozytowych. Materiały kompozytowe, dzięki swym właściwościom, stopniowo wypierają tradycyjne rozwiązania oraz stwarzają zupełnie nowe możliwości w rozwoju budownictwa. Przedstawiono koncepcje rozwiązań, które zmierzają do spełnienia stale rosnących wymagań w zakresie oszczędności energii. Omówiono możliwe kierunki działań postrzeganych jako pro-ekologiczne.

Słowa kluczowe: kompozyty, płyty warstwowe, budownictwo lądowe, mechanizmy zniszczenia, rozwiązania ekologiczne.

1. Wprowadzenie

Budownictwo rolnicze w praktycznym ujęciu oznacza budowę obiektów budowlanych, które mają stanowić część składową gospodarstwa rolnego. Wyodrębnienie pojęcia budownictwa rolniczego jest związane przede wszystkim z funkcją jaką spełniają obiekty budowlane. Obiekty te mają umożliwiać produkcję rolną. Oznacza to, że stosowane materiały i rozwiązania konstrukcyjne często są identyczne jak w innych obszarach budownictwa lądowego. Ewentualne różnice wynikają ze specyficznych wymagań technicznych, technologicznych i funkcjonalnych odpowiadających produkcji rolnej.

Główną część pracy poświęcono płytom warstwowym, które są powszechnie stosowane (również w budownictwie rolniczym) jako obudowa dachów i ścian. Płyty te składają się z zewnętrznych, cienkich i sztywnych okładzin stalowych oraz podatnego rdzenia. Dzięki swojej budowie płyty posiadają dobrą nośność przy niewielkim ciężarze oraz doskonałą izolacyjność termiczną. Niewielki ciężar oraz wysoki poziom prefabrykacji pozwalają na szybki i tani montaż. Liczne zalety płyt zostały podkreślone w monografiach [1] i [2]. Dostępność tego produktu oraz wysoki poziom konkurencji na rynku sprawiły, że płyty warstwowe na przestrzeni ostatniej dekady z powodzeniem wyparły tradycyjne rozwiązania materiałowe. Płyty warstwowe traktowane jako całość są materiałem kompozytowym, jednak z uwagi na ogromne znaczenie, powszechność i perspektywy dalszego rozwoju, płyty zostały omówione w odrębnym rozdziale.

Celem pracy jest przedstawienie nowoczesnych materiałów kompozytowych i rozwiązań technicznych stosowanych w budownictwie rolniczym. W pierwszej części pracy omówione zostały aktualne kierunki rozwoju płyt warstwowych. W drugiej części przedstawiono przykłady innych, nowoczesnych materiałów kompozytowych, które znajdują coraz szersze pola zastosowania.

Można wyróżnić co najmniej kilka kierunków rozwoju materiałów i konstrukcji. Jeden z nich to z pewnością ciągłe doskonalenie produktu oparte na istniejących pomysłach i rozwiązaniach technicznych. Inny kierunek to poszukiwanie zupełnie nowych materiałów lub konstrukcji, które często są przeznaczone do pełnienia specyficznych funkcji w budynku. Można tutaj wymienić na przykład zapewnienie wysokiego poziomu

odporności ogniowej, izolacyjności akustycznej, odporności na uderzenia. Przy doskonaleniu istniejących rozwiązań dąży się między innymi do maksymalizacji izolacyjności termicznej przegród, maksymalizacji nośności konstrukcji i jednoczesnej minimalizacji kosztów produkcji. Maksymalizacja nośności jest bezpośrednio powiązana z zapobieganiem powstawaniu uszkodzenia materiału i konstrukcji. Jednoczesna poprawa wszystkich parametrów produktu jest oczywiście praktycznie niemożliwa. Problemy wielokryterialnej optymalizacji płyt warstwowych są omawiane w licznych pracach [3, 4].

2. Płyty warstwowe

2.1. Stan aktualny

W budownictwie powszechnie są wykorzystywane płyty z okładzinami stalowymi o grubości nominalnej od 0,4 do 0,6 mm. Płyty ściennie mają obie okładziny płaskie (ze względów architektonicznych sporadycznie profilowanie faliste), natomiast płyty dachowe mają dolną okładzinę płaską, a górną głębokoprofilowaną (wysokość profilowania od 35 do 45 mm). Głębokie profilowanie okładziny zapewnia większą sztywność płyty oraz zmniejsza efekt pełzania wywołanego długotrwałym obciążeniem śniegiem i ciężarem własnym. Sporadycznie zdarzają się płyty z dwoma okładzinami głębokoprofilowanymi. Rdzenie wykonuje się z pianki poliuretanowej PUR lub PIR, z wełny mineralnej lub ze styropianu. Technologia produkcji jest uzależniona od stosowanego rdzenia. Płyty z pianką poliuretanową są wytwarzane na ciągłej linii produkcyjnej. Pianka jest rozprowadzana na jedną z okładzin. Wzrost pianki i połączenie z okładzinami trwa kilkadziesiąt sekund, a po wyjściu z tunelu technologicznego produkt wymaga tylko krótkiego okresu wysezonowania i może być zastosowany na budowie. Rdzeń z wełny mineralnej wykonuje się z przygotowanych półproduktów (tzw. lameli). Układ włókien w lameli jest uporządkowany. Lamele są wklejane pomiędzy okładziny stalowe za pomocą klejów poliuretanowych, przy czym kierunek włókien wełny mineralnej jest zazwyczaj prostopadły do okładzin. Wielkość lameli jest zróżnicowana, jednak żeby zmniejszyć efekt nieciągłości rdzenia i poprawić nośność na ścinanie, lamele są przesunięte względem siebie. Rdzeń styropianowy jest wytwarzany z gotowych płyt styropianowych, które są następnie przyklejane do okładzin. Elementy rdzenia styropianowego mają długość do kilku metrów. Łączenie elementów rdzenia jest technologicznie dość złożone i kosztowne. Zazwyczaj nie wykonuje się tego łączenia, lecz tylko odpowiednio frezuje elementy styku płyt rdzenia (np. w kształcie grzebienia). Zapewnienie nośności płyty w miejscu nieciągłości rdzenia jest jednym z podstawowych problemów takich płyt.

W płytach warstwowych występuje kilka podstawowych mechanizmów zniszczenia. Wyróżnić można pomarszczenie okładziny przy zginaniu płyty, uplastycznienie okładzin, ścięcie rdzenia, zgniecenie rdzenia na podporze oraz pomarszczenie okładziny na podporze wynikające z interakcji docisku rdzenia i ściskania okładziny wzdłuż płyty (rysunek 1). W układach statycznych jednoprzęsłowych decydujące może być ugięcie płyty, pogłębiane w przypadku płyt dachowych efektem pełzania rdzenia. Występujące mechanizmy zniszczenia ograniczają zakres stosowalności płyt, a większość działań innowacyjnych zmierza do zwiększenia tego zakresu. Oczywiście nie można zapomnieć o spełnieniu coraz wyższych wymagań dotyczących izolacyjności termicznej budynków oraz odporności ogniowej przegród budowlanych. Wyższa izolacyjność termiczna jest podyktowana oszczędnością energii. Należy pamiętać, że obecność zwierząt w pomieszczeniach powoduje emisję ciepła ich ciał do powietrza, dzięki czemu potrzeba mniej energii do ogrzania budynków inwentarskich, jednakże zapewnienie prawidłowej wentylacji pomieszczeń i dobrej izolacyjności termicznej przegród zapobiega nadmiernemu wychładzaniu się budynków zimą. Współczynnik przewodzenia ciepła dla pianki poliuretanowej jest rzędu 0,023 W/mK, co przy grubości płyty 20 cm daje współczynnik przenikania ciepła 0,115 W/m²K. Wysokie wymagania odporności ogniowej wynikają z zapewnienia bezpieczeństwa ludziom, zwierzętom i konstrukcji. Odporność ogniowa dla przekrycia dachowego jest uzależniona od zastosowanego rdzenia. Najlepsze są płyty z rdzeniem z wełny mineralnej, dla których osiąga się REI 60 (ogniowa nośność R, szczelność E, izolacyjność I przez okres 60 minut) oraz poziom reakcji na ogień A1.



Rys. 1. Podstawowe mechanizmy zniszczenia płyt warstwowych: a) pomarszczenie okładziny profilowanej połączone z uplastycznieniem tej okładziny, b) pomarszczenie okładziny gładkiej, c) ścięcie rdzenia, d) ścięcie rdzenia wraz połączone ze zgnieciem na podporze

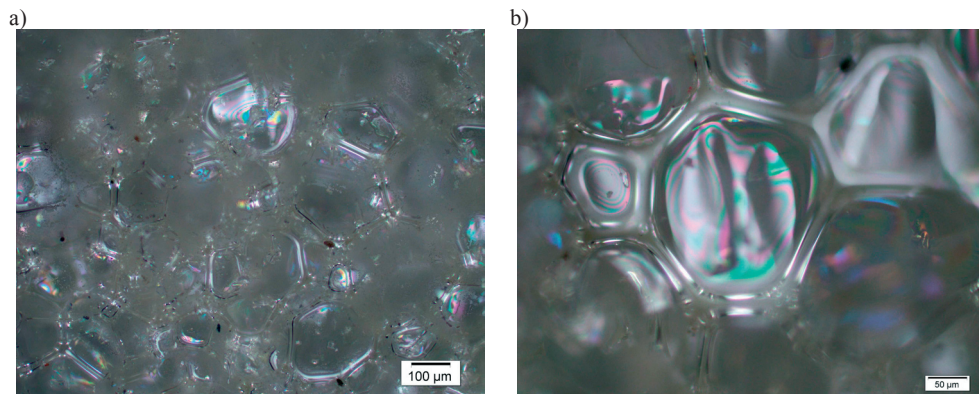
2.2. Perspektywy nowych rozwiązań

Przykładem nowoczesnych trendów w produkcji płyt warstwowych jest poszukiwanie coraz lepszych rdzeni piankowych. Stosowane pianki poliuretanowe składają się w około 90% z komórek zamkniętych. Strukturę zamkniętej komórki piankowej tworzą powierzchnie (powłoki zamykające komórkę), krawędzie i narożniki (rysunek 2). Cechą charakterystyczną pianek poliuretanowych są pierścieniowe wiązania, które dzięki swojej sztywności i właściwościom zapobiegającym zbijaniu się, mogą wytrzymać znacznie większe obciążenia niż tradycyjne materiały termoizolacyjne. Najwięksi producenci chemii poliuretanów na świecie tacy jak Bayer, BASF, Huntsman, Dow Chemical twierdzą, że potrafią w dużym zakresie wpływać na strukturę pianek powstających w procesie produkcji. Naturalną jest tendencja do zmniejszania gęstości pianki przy zachowaniu jej wytrzymałości. Lżejszą piankę uzyskamy przy większym wymiarze komórki i mniejszej grubości powłoki i krawędzi. Zwiększanie smukłości elementów składowych komórki może jednak skutkować większą podatnością na lokalną utratę stateczności materiału rdzenia.

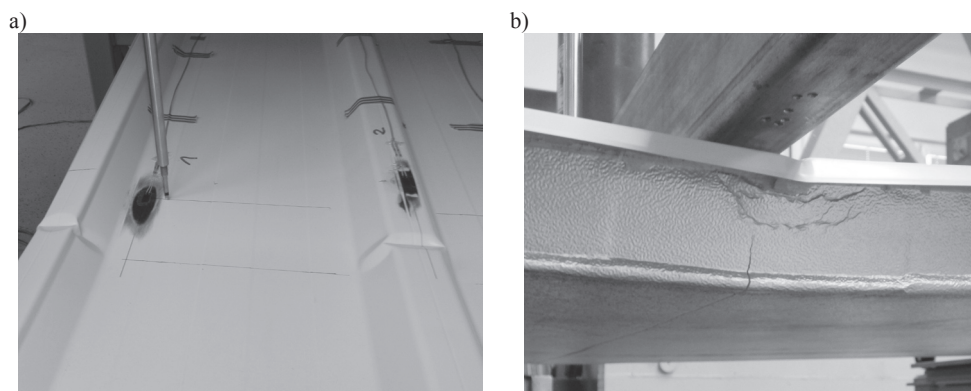
Bardzo obiecująco wygląda perspektywa zastosowania na szeroką skalę pianek fenolowych (rezolowych), które mają wysoką wytrzymałość i lepszy niż tradycyjna pianka poliuretanowa współczynnik przewodzenia ciepła 0,018 W/mK. Należy sądzić, że już niedługo pianki te będą powszechnie stosowane. Parę lat temu na rynek wkraczały pianki poliizocyanuranowe (PIR), które mają lepsze właściwości ogniowe niż pianki PUR. Obecnie pianki PIR są najdynamiczniej rozwijającym się segmentem rynku izolacji.

Od pewnego czasu do izolacji termicznych stosuje się pianki (w szczególności PIR) w miękkich okładzinach. Cienka i podatna okładzina o grubości rzędu 50 μm może być wykonana z papieru kompozytowego, aluminium lub innego materiału. Podatna okładzina jest stosowana w celach technologicznych – do ograniczenia rozprzestrzeniania się pianki podczas produkcji. Płyty z obustronną miękką okładziną służą do termoizolacji konstrukcji budowlanych. Nieco innym produktem jest płyta z jedną okładziną miękką i jedną okładziną sztywną, stalową, głębokoprofilowaną (rysunek 3). Badania przeprowadzone na

Politechnice Poznańskiej [5] pokazują, że płyta ta ma zaskakująco wysoką nośność na zginanie. Miękką okładziną zapewnia zachowanie się zbliżone do pracy klasycznej płyty warstwowej. Nośność takiej płyty jest uzależniona od jej orientacji. Wyższa nośność jest uzyskiwana przy okładzinie miękkiej umiejscowionej na górze (od strony zewnętrznej budynku).

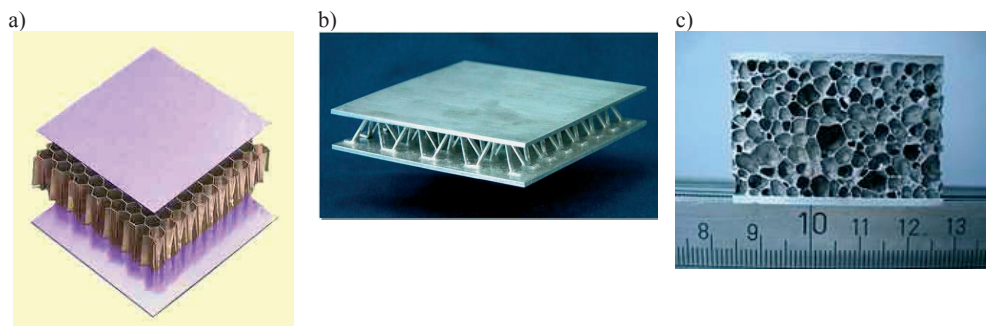


Rys. 2. Struktura pianki poliuretanowej a) widok struktury, b) zbliżenie jednej komórki



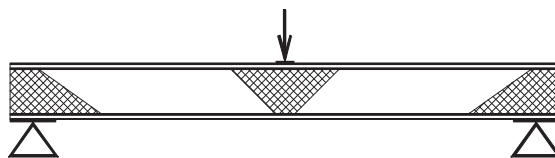
Rys. 3. Płyta warstwowa z jedną okładziną sztywną i okładziną z papieru aluminiowego podczas badań doświadczalnych: a) pomarszczenie górnej okładziny stalowej, b) zgniecenie rdzenia i rozerwanie okładziny dolnej wykonanej z papieru aluminiowego

Rdzenie z lameli z wełny mineralnej oraz z płyt ze styropianu spełniają identyczną rolę jak pianki poliuretanowe, przy czym wełna mineralna charakteryzuje się doskonałą odpornością ogniową, a styropian jest najtańszym materiałem izolacyjnym. Inne typy rdzeni są stosowane ze względu na ich specyficzne właściwości. Znane z przyrody struktury typu „plaster miodu” (honeycomb) są stosowane w budownictwie przy produkcji drzwi ze względu na dużą sztywność i optymalne wykorzystanie materiału (minimalne zużycie przy pełnym wypełnieniu objętości rdzenia). Struktury rdzenia z kratownic przestrzennych (lattice core) są wykorzystywane gdy niezbędna jest lekka konstrukcja o dużej wytrzymałości i odporności na obciążenia dynamiczne. Rdzenie kratowe próbuje się stosować w konstrukcjach poszycia statków. Tego typu rdzenie samodzielnie nie zapewnią wystarczającej izolacyjności termicznej. Analizy teoretyczne dotyczące nośności układów warstwowych z rdzeniem kratowym przedstawiono w pracach [6, 7] Rdzenie z pianki aluminiowej [8, 9] są alternatywnym rozwiązaniem do rdzeni kratowych i typu „plaster miodu”. Charakteryzują się niewielką wagą i dużą wytrzymałością, wysoką odpornością na korozję, pleśń, grzyby i wysokim współczynnikiem przewodności cieplnej. Tego typu materiał może być z powodzeniem stosowany na elementy konstrukcyjne stropów i ścian.



Rys. 4. Przykłady różnych typów rdzenia: a) plaster miodu, b) kratownice przestrzenne, c) pianki aluminiowe

Wprowadzanie nowych rozwiązań materiałowych jest często związane z zapobieganiem określonemu mechanizmowi zniszczenia. Jednym z mechanizmów zniszczenia płyty jest zgniecenie rdzenia na podporze. W przypadku płyt z rdzeniem z wełny mineralnej lub ze styropianu przyjmuje się, że w rdzeniu znikoma jest redystrybucja naprężeń dociskowych działających na styku płyty z podporą. Teoretycznie rozwiązaniem jest poszerzenie szerokości podpory, jednak czasami jest to trudne do realizacji. Poza tym, szeroka, ale sztywna podpora wcale nie musi zapewniać zmniejszenia naprężeń dociskowych ponieważ dochodzi do koncentracji naprężeń występujących na krawędziach podpory. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie wstawek rdzenia z innego, sztywniejszego materiału (rysunek 5).



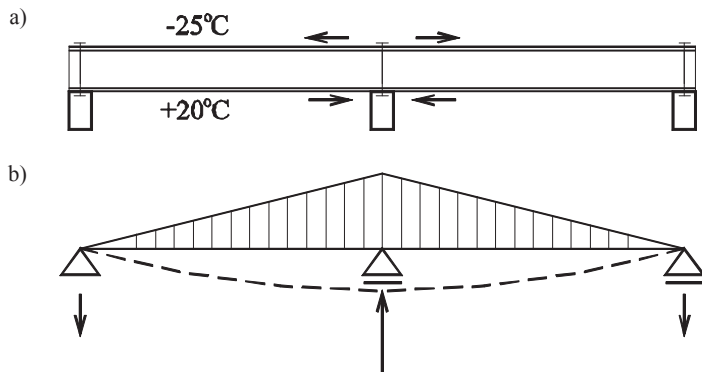
Rys. 5. Koncepcja zastosowania rdzenia o zwiększonej sztywności w miejscach skupionych oddziaływań

Pomysł ten jest analizowany w szczególności w pracach grupy skupionej wokół Aalborg University [10, 11]. Oryginalnym zamysłem autorów było wykorzystanie rdzenia o dwóch różnych sztywnościach w celu powstrzymania propagacji uszkodzenia zachodzącego na styku rdzenia i okładziny. Oczywiście sztywniejszy rdzeń powinien występować w miejscu koncentracji naprężeń, czyli w miejscach oddziaływania sił skupionych i reakcji podporowych. Oznacza to jednocześnie zmniejszenie odkształceń rdzenia w tych miejscach. Podstawowym problemem tego rozwiązania jest realizacja ciągłego procesu produkcji płyt o różnorodnej sztywności rdzenia, a następnie prawidłowy montaż płyt na budowie.

Najczęstszym mechanizmem zniszczenia płyt warstwowych jest pomarszczenie okładziny ściskanej podczas zginania. Szczególnie narażone na takie zniszczenie są obudowy chłodni i mroźni, ponieważ w tych wypadkach różnica pomiędzy temperaturą na obu okładzinach jest największa. Duża różnica temperatur wywołuje duże momenty zginające w układach wieloprzęsłowych. Rozwiązanie tego problemu powinno być dwukierunkowe. Po pierwsze należy podnosić odporność płyty na pomarszczenie (lokalną utratę stateczności), po drugie należy dążyć do rozwiązań konstrukcyjnych, które minimalizują powstawanie momentów zginających.

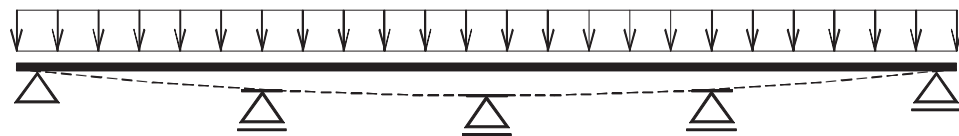
Warto w tym miejscu wyjaśnić skutki działania temperatury na płytę warstwową ponieważ stale budzą one pewne dyskusje i kontrowersje. W znacznym uproszczeniu można powiedzieć, że płyta znajdująca się wstępnie w temperaturze T_0 jest poddawana działaniu temperatury. Przyjmijmy, że na okładzinę górną działa temperatura T_1 , na dolną temperatura T_2 , a stan ten jest ustalony. Oddziaływanie temperatury na płytę możemy rozdzielić na dwa efekty: równomierne oraz nierównomierne ogrzanie (schłodzenie) płyty. W zależności od warunków podparcia, oba zjawiska mogą powodować przemieszczenia

jak i wywoływać siły wewnętrzne. Oczywiście oba efekty mogą być niebezpieczne i mogą powodować uszkodzenie płyty, jakkolwiek zazwyczaj przyjmuje się, że sposób zamocowania płyty pozwala na pewną swobodę przesuwu w płaszczyźnie płyty, a zatem równomierne ogrzanie nie powoduje powstania sił, lecz jedynie niewielkie wydłużenie (skrócenie) płyty. Nierównomierne ogrzanie płyty wieloprzęsłowej powoduje powstanie sił tnących i momentów zginających (rysunek 6).



Rys. 6. Mechanizm pomarszczenia płyty dwuprzęsłowej poddanej obciążeniom termicznym

Jeśli płyta byłaby jednoprzęsłowa (bez podpory środkowej), w przypadku chłodzenia górnej okładziny i ogrzania dolnej, płyta doznałaby przemieszczenia oznaczonego na rys. 6b kreskowaną. W sytuacji, gdy płyta ma podporę środkową która ogranicza to przemieszczenie – powstają reakcje podporowe i momenty zginające przedstawione na rys. 6b. Moment zginający wywołuje rozciąganie okładziny górnej i ściskanie okładziny dolnej (oznaczono to odpowiednio strzałkami na rys. 6a). Okładzina dolna może ulec pomarszczeniu tym bardziej, że dodatkowo na podporze środkowej dochodzi do wgniecenia rdzenia. Powstające w płycie siły wewnętrzne są tym większe, im większa jest różnica temperatur i mniej podatna jest płyta. Dlatego szczególnie narażone są obudowy chłodni i mroźni, w których płyty są sztywne ponieważ mają dużą grubość ze względu na niezbędną izolację termiczną. Praktycznym rozwiązaniem problemu jest stosowanie układów jednoprzęsłowych, ale jest to niepożądane przy zabudowie dachu, który musi być szczytlny. Inną możliwością jest nadanie podporom pewnej podatności. W pracach [12, 13] przedstawiono analizy, z których wynika, że zastosowanie podpór o pewnej podatności (podpory sprężyste, podpory z luzami) może spowodować zwiększenie nośności konstrukcji obciążonych termicznie o około 35%. Sam pomysł nie jest nowy, ponieważ był dyskutowany m.in. w pracy [1], jednak nie jest on do tej pory wykorzystany na masową skalę. Koncepcja tego rozwiązania została przedstawiona na rysunku 7. Płyta poddana obciążeniu mechanicznemu jest wstępnie podparta na dwóch skrajnych podporach. Po określonym przyroście obciążenia i ugięciu płyty, do współpracy włączają się kolejne podpory powodując, że płyta zaczyna pracować jako układ wieloprzęsłowy. Wstępny luz na podporach wewnętrznych powoduje, że moment zginający jest mniejszy niż w podobnym układzie wieloprzęsłowym z podporami bez luzów. Oczywiście układy z luzami charakteryzują się większymi przemieszczeniami.

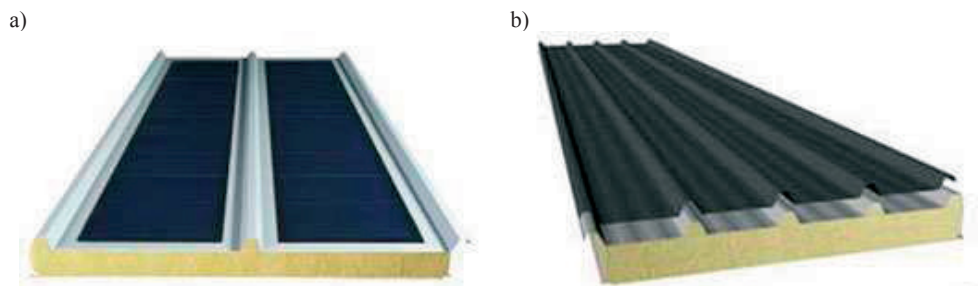


Rys. 7. Koncepcja płyty wieloprzęsłowej z podporami z luzami jednostronnymi

Innym ciekawym pomysłem na podniesienie nośności jest stosowanie płyt wielowarstwowych, które będą zoptymalizowane pod kątem wymagań im stawianym. Szereg prac i projektów na ten temat jest opracowywanych na Politechnice Poznańskiej, począwszy od prac dotyczących płyt z jednym rdzeniem pofałdowanym [14], do analiz płyt złożonych z wielu takich warstw. Ciekawą koncepcją jest również stworzenie materiałów hierarchicznych. Koncepcja hierarchicznie pofałdowanego rdzenia została przedstawiona w pracy [15]. Różne metody wytwarzania płyt z rdzeniem pofałdowanym są przedmiotem kolejnych patentów [16]. Poprawę dopuszczalnego obciążenia płyty warstwowej można uzyskać stosując materiały o minimalnej rozszerzalności termicznej okładzin oraz rozwiązania, które nie są podatne na lokalną utratę stateczności, a więc takie, w których nośność okładziny będzie bliska granicy plastyczności materiału okładziny.

Należy wyraźnie podkreślić, że obecnie stosowane rozwiązania płyt warstwowych nie są optymalne pod względem odporności na pomarszczenie. Decydujące znaczenie ma tutaj sposób profilowania okładziny metalowej. Stosowane najczęściej tzw. liniowanie jest znacznie gorszym rozwiązaniem niż np. profilowanie skośne, a różnica nośności jest rzędu 30%. Geometria płyt dachowych jest jeszcze bardziej niedopracowana. W przyszłości należy oczekiwać zoptymalizowania kształtu płyt dachowych oraz udoskonalenia metod mocowania płyt do konstrukcji wsporczej. Niestety w Polsce prowadzi się niewiele badań, które są poprzedzone właściwą analizą teoretyczną problemu pomarszczenia.

Nośność konstrukcji jest bardzo ważna, jednak obserwując ogólne tendencje w budownictwie można stwierdzić, że przyszłość należy do budownictwa ekologicznego, przy czym efekt ekologiczny może być osiągany w różny sposób. Wysoka izolacyjność termiczna płyt sama w sobie wpływa na oszczędność energii. Zastosowanie materiałów, które mogą być poddane łatwemu recyklingowi (drewno, papier) też jest działaniem proekologicznym. Już obecnie wdrażane są rozwiązania płyt, które nie tylko stanowią doskonałą izolację zapobiegającą stratom energii, lecz również same pozyskują energię. Są to płyty ze zintegrowanymi panelami fotowoltaicznymi wytwarzającymi energię elektryczną lub płyty zintegrowane z solarami, które przetwarzają energię słoneczną na ciepło. Do czołowych producentów płyt ekologicznych pozyskujących energię należy firma TRIMO. Przykładowe produkty przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Płyty pozyskujące energię: a) panel z ogniwem fotowoltaicznym, b) płyta spełniająca jednocześnie rolę solara (źródło: www.trimo.pl)

Problematyka płyt warstwowych jest pojęciem bardzo szerokim. Na uwagę zasługuje między innymi zastosowanie płyt jako elementów akustycznych, które stanowią izolację lub też dodatkowo pochłaniają hałas. Od kilkudziesięciu lat znana jest też koncepcja SIP (structural insulated panels), w których płyta warstwowa jest elementem izolacji termicznej i jednocześnie spełnia rolę elementu konstrukcji całego budynku. Takie płyty mogą przenosić obciążenia bezpośrednie na fundament lub też mogą stanowić zabezpieczenie innych elementów przed utratą stateczności i zwichrzeniem. Dużą uwagę należy też poświęcić zjawiskom zachodzącym w okolicach otworów okiennych i drzwiowych. Panele warstwowe w typowych zastosowaniach są poddawane głównie zginaniu walcowemu, jednak w miejscach występowania otworów na stolarkę stan mechaniczny płyty jest bardzo złożony.

3. Materiały kompozytowe - przykłady

Materiały kompozytowe znajdują coraz szersze pola zastosowań, w tym również w budownictwie. Dzieje się tak głównie dzięki ogromnej elastyczności w kształtowaniu nowego produktu kompozytowego, tak, aby spełniał on oczekiwania potencjalnych nabywców oraz z powodu coraz większej dostępności tego typu produktów. Jak już wyżej wspomniano, płyty warstwowe również należą do grupy materiałów kompozytowych, jednak ze względu na swoją specyfikę zostały omówione w osobnym rozdziale. W niniejszym rozdziale przedstawione zostaną wybrane przykłady innych materiałów lub pewnych tendencji w rozwoju kompozytów ukierunkowanych na zastosowania w przemyśle budowlanym. Przedstawione zostanie szło włókniste (GFRP – glass fiber reinforced plastic) ze szczególnym uwzględnieniem kompozytów poliestrowo-szklanych oraz drewno kompozytowe (WPC – wood plastic composite) i kompozyty wykonane z materiałów drewnopochodnych. Przedstawiona zostanie również koncepcja materiałów zmienno fazowych (PCM – phase change materials). W pracy pominięty zostaje ogromny dział fibrobetonów, które są już powszechnie stosowanym materiałem kompozytowym w budownictwie, jednak ze względu na swoje znaczenie wymagają odrębnej prezentacji.

GFRP jest polimerem wzmacnianym włóknami szklanymi. Matrycę stanowi żywica epoksydowa, tworzywo termoutwardzalne (np. poliester) lub termoplastyczne. GFRP jest lekki i ma dużą wytrzymałość. Materiał ten ma nieco mniejszą wytrzymałość i sztywność niż tworzywa wzmacniane włóknami węglowymi, jednak jest znacznie mniej kruchy i jest zdecydowanie tańszy.

Włókna szklane zostały wynalezione w 1932 roku w Stanach Zjednoczonych, ale ich silny rozwój nastąpił w czasie II wojny światowej wraz z zastosowaniem tego materiału do produkcji poszycia samolotów. Kompozyty z włóknami szklanymi szybko znalazły zastosowanie w przemyśle lotniczym, okrętowym, budowlanym, samochodowym i do wytwarzania sprzętu sportowego.

Kompozyty z włóknem szklanym są stosowane do produkcji rur instalacyjnych (woda, gaz). W Polsce produkuje się rury do średnicy kilku metrów. Z tego samego materiału produkuje się zbiorników (rysunek 9a) o pojemności do około 300 m³. Zbiorniki te (szczególnie z powłoką polipropylenową) są odporne na działanie większości związków chemicznych i dlatego mogą być wykorzystywane zarówno w przemyśle chemicznym jak i w rolnictwie.

W budownictwie stosuje się kompozyty z włóknami szklanymi głównie jako elementy dachowe np. świetliki, choć były już próby wykonania całych budynków (dom w kształcie kopuły w Davis, Kalifornia, USA). Świetliki z GFRP dostosowane wymiarowo do płyt warstwowych są już dostępne na polskim rynku (rysunek 9b). Produkt ten nie jest jeszcze doskonały (m.in. pod względem wytrzymałościowym), ale jest perspektywiczną próbą rozwiązania problemu doświetlenia budynków magazynowych i gospodarskich. Izolacyjność termiczna jest zapewniona przez niezależną warstwę wykonaną z poliwęglanu komorowego.

a)



b)



Rys. 9. Przykłady produktów wykonanych z GFRP; a) podziemny zbiornik na wodę (źródło: www.amitech.pl), b) świetlik połaciowy (zewnętrzna powłoka z GFRP, od wewnątrz poliwęglan komorowy)

Doskonałe właściwości kompozytów poliestrowo-szklanych powodują, że produkt ten jest postrzegany jako jeden z najlepszych materiałów konstrukcyjnych. Jednym z licznych i nadal perspektywicznych zastosowań są ramy okienne. Pierwsze okna tego typu były dostępne w Polsce w latach 90-tych. Okna z kompozytów są wytrzymałe i dlatego ramy nie wymagają żadnych dodatkowych elementów wzmacniających ze stali czy aluminium. Takie ramy okienne są odporne na uderzenia, a ewentualne uszkodzenia można łatwo naprawić. Produkt jest odporny na niskie i wysokie temperatury, a co również ważne – charakteryzuje się niską rozszerzalnością termiczną (dla włókna typu E $\alpha=4,68 \cdot 10^{-6}$ 1/°C). Kompozyty z włóknem szklanym mogą być poddane recyklingowi.

Od wielu lat podstawowym materiałem używanym do tworzenia konstrukcji budowlanych była stal. W ostatnim czasie pojawiły się profile konstrukcyjne w formie kształtowników wykonane z żywicy poliestrowej wzmacnianej włóknami szklanymi (m.in. LS Tech-Homes S.A.). Profile są kształtowane w procesie przeciągania (poltruzji). Materiał ten jest oczywiście lżejszy od stali, a odporność na korozję i czynniki chemiczne powoduje, że idealnie sprawdza się w ciężkich warunkach środowiskowych. Należy dodać jeszcze jedną kwestię, istotną również dla użytkowania okien z fibroglassu. Profile i kształtowniki są utwardzane termicznie, dzięki czemu profile „zapamiętują” swój kształt. Po ustaniu obciążenia profile powracają do pierwotnej formy nadanej podczas procesu produkcji. Profile takie mogą być stosowane niezależnie lub też mogą być elementem systemu wznoszenia budynków, w których płyty warstwowe typu SIP spełniają również rolę konstrukcyjną [17, 18].

Od wielu lat stosowane są w budownictwie kompozyty drewnopochodne zbudowane z elementów drewna o różnym stopniu rozdrobnienia połączonego odpowiednim spoiwem. Wyróżnić można kompozyty wytwarzane z fornirów czyli się z cienkich warstw uzyskanych poprzez skrawanie mechaniczne drewna (przykładowym materiałem powstałym z połączenia fornirów jest sklejka). Duża grupa kompozytów jest wytwarzana z wiórów sklejonych żywicą lub spoiwem mineralnym (płyty wiórowe). Z drewna rozdrobnionego i sprasowanego pod wysokim ciśnieniem produkuje się płyty pilśniowe. W porównaniu do drewna, kompozyty drewnopochodne charakteryzują się lepszymi parametrami mechanicznymi (sklejka), jednorodnością budowy i możliwością wytwarzania większych elementów powierzchniowych (płyty wiórowe, płyty pilśniowe), stałością wymiarów przy zmianach wilgotnościowych (sklejka, płyty wiórowe), dobrą dźwiękochłonnością (płyty pilśniowe) i wyższą odpornością na działanie grzybów i owadów. Materiały drewnopochodne są tańsze od drewna, ale przede wszystkim zapewniają prawidłową gospodarkę odpadami drzewnymi. Do szerokiej grupy materiałów wykonanych z drewna i połączonych spoiwem należy zaliczyć też drewno klejone, choć jego przynależność do grupy kompozytów może budzić pewne kontrowersje. Drewno klejone stanowi przykład materiału, który dzięki swym parametrom wytrzymałościowym i niepodważalnym walorom estetycznym coraz skuteczniej konkuruje ze stalą i betonem.

Połączenia różnych materiałów drewnopochodnych, drewna lub materiałów drewnopochodnych z materiałem należącym do innej grupy (metale, tworzywa) należy zaliczyć do grupy kompozytów mieszanych. Kompozyty te mają najczęściej budowę warstwową. Jednym z pierwszych przykładów jest zastosowanie balsy jako rdzenia kompozytu, z którego był zbudowany brytyjski myśliwiec „Mosquito” z czasów II wojny światowej. Obecnie produkowane płyty OSB (ang. *Oriented Strand Board*) zbudowane ze smukłych wiórów drewnianych połączonych żywicą syntetyczną stanowią np. rdzeń sklejki (jednowarstwowe płyty OSB). Trójwarstwowe płyty OSB są stosowane jako zamiennik sklejki i desek w technologii budownictwa drewnianego szkieletowego. Płyty OSB cechują się stabilnością kształtu i dobrą odpornością na wpływy warunków atmosferycznych. Płyty te są również trudnozapalne. Liczne i różnorodne zalety materiałów drewnopochodnych dają ogromne możliwości w kształtowaniu nowych, ekologicznych, mieszanych produktów kompozytowych. Jednym z przykładów nowoczesnego elementu konstrukcyjnego są belki o przekroju dwuteowym składające się ze środka wykonanego z płyty OSB oraz z półek wykonanych z drewna litego.

Drewno kompozytowe (WPC) jest materiałem powstałym z połączenia włókien lub mączki pochodzących z drewna oraz polimeru termoplastycznego (np. polietylen, polipropylen, polichlorek winylu). Drewno kompozytowe należy do szerokiej grupy produktów wykorzystujących włókna pochodzące ze źródeł naturalnych. Zachowanie się

WPC jest zbliżone bardziej do polimerów niż drewna. Materiał ten ma mniejszą wytrzymałość i sztywność niż drewno. Włókna drewniane nie są odporne na grzyby, a polimer jest wrażliwy na promieniowanie ultrafioletowe. Włókna drewniane absorbują też wilgoć. Pomimo tego, materiał ten jest postrzegany jako perspektywiczny i ekologiczny ponieważ może być wytwarzany z tworzyw z recyklingu i odpadów pochodzących z obróbki drewna. Produkt ten jest alternatywą dla drewna naturalnego, ma lepszą niż drewno odporność na czynniki atmosferyczne, nie wymaga barwienia i impregnacji, a obróbka jest identyczna jak w przypadku drewna [19, 20].

Materiały drewnopochodne stale podlegają rozwojowi w zakresie produkcji, metod analizy i projektowania, zmiany koncepcji i optymalizacji rozwiązań materiałowych oraz nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Do czołowych światowych jednostek zajmujących się tą tematyką należy *Engineered Wood Products Association*. Pełen zakres problematyki naukowej jest dyskutowany między innymi podczas cyklicznych konferencji *World Conference on Timber Engineering*.

Materiały zmiennofazowe (PCM) to materiały, które dzięki wykorzystaniu swojej przemiany fazowej (topnienie-zestalenie) mają bardzo wysoką pojemność cieplną. Materiały te wkomponowane w strukturę budynku zwiększają jego pojemność (bezwładność) cieplną. Większa zdolność do akumulacji ciepła powoduje zmniejszenie zużycia energii niezbędnej do zapewnienia komfortu cieplnego oraz do efektywnego wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych [21, 22].

Obecnie wznoszone obiekty wykonywane w lekkich technologiach mają wysoką izolacyjność cieplną, ale niską pojemność cieplną. Zwiększenie pojemności cieplnej jest możliwe przez zastosowanie właśnie materiałów zmiennofazowych. Koncepcja materiałów zmiennofazowych została zaproponowana już w latach 70-tych, jednak cały czas trwają prace nad opracowaniem skutecznych technologii wytwarzania elementów budowlanych z wbudowanym materiałem PCM. Przemiany fazowe materiału stosowanego w budownictwie powinny być wywoływane przez czynniki naturalne, tzn. wysoka temperatura w ciągu dnia powinna powodować topnienie materiału, a niska temperatura w nocy powinna wywoływać odbiór ciepła i zestalenie materiału. Podejmowane są próby połączenia materiałów zmiennofazowych wykonanych w formie mikrogranulatu z kulek otoczonych powłoką polimerową z klasycznymi materiałami gipsowymi lub betonowymi. PCM przewidziane do zastosowania w budownictwie mają zdolność akumulacji ciepła rzędu 100 kJ/kg. Dostępne obecnie produkty handlowe mają postać gotowych elementów, np. płyt gipsowo-kartonowych lub elastycznych torebek z materiałem zmiennofazowym. Dostępne są też półprodukty, np. granulaty do wytwarzania zaprawy gipsowej lub warstw akumulacyjnych w podłodze. Należy uczciwie dodać, że produkty te oferowane przez kilkunastu producentów na świecie są trudnodostępne, a często są nadal na etapie badań naukowych lub w trakcie procesu wdrożenia.

4. Podsumowanie

Płyty warstwowe są od szeregu lat z powodzeniem stosowane w budownictwie, a rosnąca konkurencja oraz lepsze opanowanie technologii produkcji powoduje, że produkt ten jest bardzo atrakcyjny. Płyty typu „sandwich” mają szereg bezsprecznych zalet, ale również i kilka wad. Przewidywany rozwój tego kompozytu będzie zmierzał w trzech kierunkach. Jeden z nich to ciągła poprawa parametrów, które decydują o przewadze płyt warstwowych nad innymi materiałami. Należy tutaj przede wszystkim wymienić niski współczynnik przewodzenia ciepła. Drugi kierunek to sukcesywna poprawa parametrów, które decydują o zakresie stosowności płyt. Należy się więc spodziewać ciągłych prób podniesienia nośności konstrukcji przy zachowaniu jej ciężaru. Poprawiana będzie też odporność na ogień oraz izolacyjność akustyczna. Trzeci kierunek to realizacja zupełnie nowych funkcji, które mogą być osiągane poprzez podniesienie poziomu złożoności produktu. Nowe funkcje mogą dotyczyć np. pozyskiwania energii odnawialnych, umiejętności akumulacji ciepła i innych. W filozofii kształtowania elementów budynku cały czas będą się ścierały dwie sprzeczne koncepcje. Z jednej strony dążenie do budownictwa o wysokim stopniu prefabrykacji i powtarzalności rozwiązań, z drugiej zaś strony koncepcja dużej elastyczności i możliwości kształtowania obiektów

niepowtarzalnych. W budownictwie rolniczym powinien dominować wysoki stopień prefabrykacji.

Przedstawione w pracy przykłady zastosowań różnorodnych kompozytów wskazują na ogromny potencjał tej grupy materiałów. Kompozyty są stosowane najczęściej tam, gdzie zależy nam na lekkości i wytrzymałości konstrukcji. Nowoczesne materiały kompozytowe mogłyby zastąpić praktycznie wszystkie klasyczne materiały budowlane (będące kompozytem lub nie) pod warunkiem spełnienia kilku podstawowych warunków. Warunki te są właściwie aktualne dla każdego materiału stosowanego w budownictwie. Przede wszystkim materiał musi być bezpieczny, ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa zdrowia człowieka i bezpieczeństwa pożarowego. Ponadto technologie wytwarzania kompozytów i zasady ich stosowania muszą być opanowane w wystarczająco powszechnym stopniu. Rozwinięte powinny być metody niezawodnego projektowania konstrukcji wykonywanych z kompozytów. Prawdziwy sukces zostanie jednak osiągnięty jedynie przez produkty, które będą wytwarzane w szybkim i tanim procesie produkcyjnym.

Literatura

- 1 Davies, J. M. *Lightweight Sandwich Construction*. Blackwell Science Ltd., 2001.
- 2 Zenkert D. *An Introduction to Sandwich Construction*. Engineering Materials Advisory Services Ltd., 1995.
- 3 Tan X.H., Soh A.K. Multi-objective optimization of the sandwich panels with prismatic cores using genetic algorithms. *International Journal of Solid and Structures*, 44 (2007), 5466-5480.
- 4 Studziński R., Pozorski Z., Garstecki A. Optimal design of sandwich panels with soft core. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 47, 3 (2009), 685-699.
- 5 Sól R., Szajda J. *Analiza stanu naprężenia i odkształcenia w zginanych płytach warstwowych z jednostronną okładziną*. Politechnika Poznańska, 2012.
- 6 Xue Z., Hutchinson J.W. A comparative study of blast-resistant metal sandwich plates. *International Journal of Impact Engineering*, 30, 11 (2004), 1283-1305.
- 7 Côté F., Deshpande V.S., Fleck N.A., Evans A.G., The compressive and shear responses of corrugated and diamond lattice materials. *International Journal of Solid and Structures*, 43 (2006), 6220-6242.
- 8 Simone A.E., Gibson L.J. Aluminum foams produced by liquid-state processes. *Acta Materialia*, 46, 9 (1998), 3109-3123.
- 9 Bastawros A-F., Bart-Smith H., Evans A.G. Experimental analysis of deformation mechanisms in a closed-cell aluminum alloy foam. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 48, 2 (2000), 301-322.
- 10 Jakobsen J., Bozhevolnaya E., Thomsen O. T. New peel stopper concept for sandwich structures. *Composites Science and Technology* 67, 15-16 (2007), 3378-3385.
- 11 Jakobsen J., Bozhevolnaya E., Thomsen O. T., Jakobsen L. Peel stopper for sandwich components. Patent Application 2006-521/01-0184 Aalborg University, 2006.
- 12 Studziński R. *Optymalizacja i analiza wrażliwości płyt warstwowych z miękkim rdzeniem*. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska (2012).
- 13 Studziński R., Pozorski Z., Garstecki Z. Sensitivity analysis of sandwich beams and plates accounting for variable support conditions. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, 61, 1 (2013).
- 14 Magnucki K. et al. Strength and buckling of sandwich beams with corrugated core. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 51, 1 (2013), 15-24.
- 15 Kooistra G.W., Deshpande V., Wadley H.N.G. Hierarchical Corrugated Core Sandwich Panel Core. *Journal of Applied Mechanics*. 74 (2007), 259-268.
- 16 Park Y.J., Chung M., Lee J. Corrugated sandwich panel and method for manufacturing the same. United States Patent Application Publication. US 2005/0095405 A1 (2005).
- 17 LS Tech-Homes S.A. *Panele SIP. Atrakcyjna oferta dla budownictwa*. Materiały budowlane, 481, 9 (2012).
- 18 Panjehpour M. et al. Structural Insulated Panels. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 3, 1 (2013), 2-8.

- 19 Clemons C. Wood-plastic composites in the United States: The interfacing of two Industries. *Forest Product Journal*, 6, 52 (2002).
- 20 Klyosov, A. A. *Wood-Plastic Composites*. John Wiley & Sons, 2007.
- 21 Zalba B., Martyn J.M., Cabeza L.F., Mehling H. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*, 23, 25 (2003), 251–283.
- 22 Zhang Y., Zhou G., Lin K., Zhang Q., Di H. Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook. *Building and Environment*, 42 (2007), 2197–2209.

The perspectives of the new technical solutions and applications of sandwich panels and composite materials in rural buildings

Zbigniew Pozorski

*Institute of Structural Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Poznan
University of Technology, e-mail: zbigniew.pozorski@put.poznan.pl*

Abstract: This paper presents the development trends of sandwich panels used in civil engineering. This material is also widely used in rural buildings. Discussion on advanced materials and structures is shown in the background of the currently existing limitations resulting from the damage mechanisms and the technological limitations in the production processes. An overview of the sandwich panels issues was supplemented by other examples of applications of composite materials. Composite materials, due to its properties, gradually replace traditional solutions and create new possibilities in the development of the civil engineering. The paper presents conceptions of the solutions that aim to meet the increasing demands for energy savings. The paper discusses possible trends perceived as eco-friendly.

Keywords: composites, sandwich panels, civil engineering, damage mechanisms, eco-solutions.

Ochrona konstrukcji żelbetowych w obiektach rolniczych w świetle wymagań norm i wytycznych ITB

Teresa Możaryn¹, Anna Sokalska², Michał Wójtowicz³

¹ Instytut Techniki Budowlanej, e-mail: t.mozaryn@itb.pl

² Instytut Techniki Budowlanej, e-mail: a.sokalska@itb.pl

³ Instytut Techniki Budowlanej, e-mail: m.wojtowicz@itb.pl

Streszczenie: Artykuł dotyczy żelbetowych konstrukcji rolniczych, które w trakcie użytkowania narażone są na szkodliwe oddziaływania środowiskowe, w tym substancje chemiczne zawarte w produktach gospodarstw rolniczych. W takich warunkach użytkowania żelbet przestaje być wystarczająco trwały i odporny, dlatego wymaga zastosowania zabiegów ochronnych. Powszechnie stosuje się zabiegi zwiększające trwałość betonu oraz zabiegi zwiększające odporność betonu, stanowiące ochronę powierzchniową. W artykule omówiono wymagania dotyczących trwałości i ochrony powierzchniowej żelbetu wg norm europejskich i instrukcji ITB. Wymagania te zastosowano do oceny zagrożenia wybranych obiektów rolniczych agresją środowisk oraz do analizy zasad i metod ich ochrony. Przedstawiono charakterystykę oddziaływań środowiskowych i analizę zagrożeń korozyjnych wybranych obiektów rolniczych. Omówiono sposoby zwiększania trwałości betonu w danej klasie ekspozycji środowiskowej oraz zasady i metody ochrony powierzchniowej betonu w zastosowaniu do wybranych obiektów rolniczych. Dla trzech zomawianych konstrukcji rolniczych pokazano sposób postępowania przy doborze ochrony powierzchniowej do warunków ich użytkowania i szkodliwych oddziaływań.

Słowa kluczowe: żelbetowe konstrukcje rolnicze, trwałość, środowisko agresywne, ochrona powierzchniowa.

1. Wprowadzenie

Konstrukcje żelbetowe podlegają w trakcie eksploatacji oddziaływaniom środowiskowym, które powodują mniej lub bardziej intensywną degradację betonu i stali zbrojeniowej. Niszczenie konstrukcji żelbetowych spowodowane jest przez następujące procesy działające pojedynczo lub w połączeniu:

- fizyczne - np. zawilgacanie, zamarzanie/rozmarzanie, odkształcenia i przemieszczenia, krystalizacja soli w kapilarach i rysach betonu, erozja, uderzenia, ścieranie, zarysowania, kawitacja,
- chemiczne - np. korozja kwasowa, siarczanowa, węglanowa, magnezowa, amonowa, zasadowa, korozja stali zbrojeniowej,

Środowiska w których użytkowane są konstrukcje żelbetowe dzielą się na dwie zasadnicze grupy:

- środowiska zewnętrzne,
- środowiska wewnętrzne.

Od zewnątrz konstrukcje z betonu narażone są na działanie czynników atmosferycznych i gruntów, wody morskiej i środków odladzających. Dotyczy to wszelkich obiektów żelbetowych [1]. Wewnątrz obiektów elementy konstrukcji z betonu narażone są na działanie agresywnych środowisk chemicznych jedynie w obiektach budownictwa przemysłowego, spożywczego lub pokrewnych, gdzie w trakcie eksploatacji używane i/lub wydzielane są substancje chemiczne.

Szczególną rolę w procesach niszczenia odgrywa woda. Mechanizm niszczenia betonu i zbrojenia z udziałem wody ma charakter zarówno fizyczny, chemiczny i elektrochemiczny. Szkodliwe działanie wody polega nie tylko na wchodzeniu przez nią w bezpośrednie reakcje z materiałami konstrukcji żelbetowej, ale przede wszystkim na

aktywizowaniu obecnych w środowisku substancji chemicznych do wchodzenia w szkodliwe reakcje. Większość substancji chemicznych, z którymi obiekty żelbetowe mają kontakt nie byłaby agresywna gdyby nie obecność wody.

Szkodliwe działanie substancji chemicznych występujących w zewnętrznym środowisku obiektu żelbetowego jest dodatkowo intensyfikowane przez oddziaływanie czynników atmosferycznych. W obiektach budownictwa przemysłowego, spożywczego i pokrewnych występujące substancje chemiczne stanowią zwykle środowiska agresywne wobec żelbetu.

W celu zapobiegania przedwczesnemu niszczeniu konstrukcji żelbetowych użytkowanych w środowiskach agresywnych stosuje się różne techniki ich zabezpieczania. Powszechnie stosuje się zabiegi zwiększające trwałość betonu oraz zabiegi zwiększające odporność betonu, stanowiące tzw. ochronę powierzchniową.

Obiekty budownictwa rolniczego są narażone w trakcie eksploatacji na działanie zarówno środowisk zewnętrznych jak i wewnętrznych. Specyficzne warunki ich użytkowania, w których występują substancje chemiczne, oraz stawiane tym obiektom wymagania [2] sprawiają, że już na etapie projektowania powinny być uwzględniane zasady i metody ochrony betonu i stali zbrojeniowej przed korozją i niszczącymi czynnikami atmosferycznymi. W artykule podjęto próbę zastosowania istniejących wymagań dotyczących trwałości i ochrony powierzchniowej żelbetu według norm europejskich i instrukcji ITB, do oceny zagrożenia obiektów rolniczych agresją środowisk oraz do analizy zasad i metod ich ochrony.

2. Wymagania dotyczące trwałości i ochrony powierzchniowej betonu

Trwała konstrukcja powinna być tak zaprojektowana i wykonana, aby w projektowym okresie użytkowania i przy uwzględnieniu przewidywanego poziomu utrzymania, zmiany następujące w wyniku wpływów środowiska nie obniżyły właściwości użytkowych konstrukcji poniżej założonego poziomu [3]. Zwiększenie trwałości betonu polega na odpowiednim doborze jego składników, kształtowaniu struktury, stosowaniu innych zabiegów przed stwardnieniem (np. zagęszczanie, specjalna ochrona zbrojenia). Wymagania dotyczące trwałości zawarte są w aktualnie dostępnych normach i instrukcjach ITB; PN- EN 206-1:2003 [1], PN- EN 1990:2004 [3], PN-B-06265:2004 [4], PN-EN 1992-1-1:2008 [5], Poradnik ITB nr 468/2011[6]. Wymagania te obejmują właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu wobec oddziaływań środowiskowych sklasyfikowanych w klasach ekspozycji. Są one ściśle powiązane z klasyfikacją środowisk zewnętrznych działających na konstrukcję [1,4,7]. Można wyróżnić zasadnicze właściwości, które - jeżeli spełniają stawiane im wymagania - pozwalają na zwiększenie trwałości betonu w danej klasie ekspozycji:

- współczynnik w/c,
- zawartość cementu,
- klasę wytrzymałości,
- grubość otuliny stali zbrojeniowej,
- szerokość rys.

Dla klas ekspozycji w warunkach zamrażania/rozmarzania wymagane są odpowiednie mrozoodporne kruszywa i określona zawartość powietrza w mieszance betonowej, a dla klas ekspozycji w warunkach agresji chemicznej stosowanie cementu siarczanoodpornego, gdy występuje agresja siarczanowa. Poniżej podano przykładowe zestawienie wymagań właściwości mieszanki betonowej i betonu w powiązaniu z klasami ekspozycji oddziaływania środowisk na beton, w których najczęściej użytkowane są obiekty rolnicze. Wymagania dotyczące ochrony stali zbrojeniowej przed korozją obejmują: grubość otulenia betonem [5], zabezpieczenia powłokowe prętów zbrojeniowych i ochronę katodową [9].

Podstawowym wymaganiem, które powinno być zawsze uwzględniane, jest wymaganie minimalnej grubości otuliny betonowej stali zbrojeniowej ze względu na ochronę stali przed korozją w powiązaniu z klasami ekspozycji środowisk. W tabeli 2 zestawiono przykładowe wymagane minimalne grubości otuliny betonowej dla klas ekspozycji środowiskowych, w których najczęściej użytkowane są obiekty rolnicze.

Tabela 1. Przykładowe zestawienie wymagań dla składu i właściwości betonu zalecanych przy zwiększaniu trwałości beton (zestawienie opracowano w oparciu o tablicę F1 [1]).

Skład i właściwość	Klasy ekspozycji											
	Korozja spowodowana karbonatyzacją				Korozja wywołana chlorkami			Zamrażanie rozmrażanie	Agresja chemiczna			
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF3	XA1	XA2	XA3
Maksymalne w/c	0,65	0,60	0,55	0,50	0,55	0,55	0,45	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45
Minimalna, klasa wytrzymałości	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Minimalna zawartość cementu [kg/m ³]	260	280	280	300	300	300	320	300	320	300	320	360
Minimalna zawartość powietrza, [%]									4,0			

Tabela 2. Minimalne grubości otuliny betonowej (mm) wymagane ze względu na trwałość stali zbrojeniowej (zestawienie opracowano w oparciu o tablicę 4.4N [5])

Klasa konstrukcji	Klasa ekspozycji środowiskowej						
	Korozja zbrojenia spowodowana karbonatyzacją				Korozja zbrojenia spowodowana chlorkami		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	15	15	20	25	30	35
S3	10	20	20	25	30	35	40
S4	15	25	25	30	35	40	45
S5	20	30	30	35	40	45	50
S6	25	35	35	40	45	55	55

Ochrona powierzchniowa polega na zwiększeniu odporności konstrukcji z betonu na działanie środowisk agresywnych przez ograniczenie lub odcięcie dostępu środowiska agresywnego do powierzchni betonu. Ochronę powierzchniową uzyskuje się w wyniku powlekania powierzchni stwardniałego betonu wyrobami, które w efekcie przebiegu reakcji fizyko-chemicznych tworzą w przypowierzchniowej warstewce lub na powierzchni betonu barierę zabezpieczającą. Wymagania dotyczące ochrony powierzchniowej betonu ujmują aktualnie dostępne normy i instrukcje ITB [8, 9, 11, 13]: Wymagania te odnoszą się do istotnych właściwości użytkowych zabezpieczeń powierzchniowych betonu decydujących o ich skuteczności ochronnej. Ochronę powierzchniową dobiera się w zależności od mechanizmu niszczenia betonu i zbrojenia, stosując odpowiednią zasadę ochrony. Zasady ochrony powierzchniowej betonu oparte są na chemicznych lub fizycznych prawach, które pozwalają na zabezpieczenie przed zachodzeniem niszczących procesów chemicznych i fizycznych przebiegających w betonie albo procesów elektrochemicznych przebiegających na powierzchni stali zbrojeniowej, albo przez stabilizację tych procesów. Każdą zasadę ochrony można realizować kilkoma metodami ochrony [9, 10]. Do danej zasady i metody ochrony mogą być stosowane, różne rodzaje wyrobów (Tabela 3). Wyroby powinny wykazywać odpowiednie właściwości użytkowe, umożliwiające realizację danej zasady i metody ochrony. Wyroby te powinny spełniać stawiane im wymagania z zakresu cech identyfikacyjnych i właściwości użytkowych. Spełnianie wymagań przez wyroby powinno być potwierdzone deklaracją zgodności z normą lub aprobatą techniczną.

Tabela 3. Zestawienie zasad i metod ochrony oraz podstawowych właściwości użytkowych wyrobów wymaganych dla danej zasady i metody (zestawienie opracowano w oparciu o tablicę 5 [11])

Zasada ochrony	Metoda ochrony			
	Impregnacja hydrofobizująca	Impregnacja	Powłoka	Izolacja chemoodporna
Zasada 1. Ochrona przed wnikaniem	- głębokość wnikania, - nasiąkliwość wodą i odporność na alkalia, - szybkość wysychania	- absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody, - głębokość wnikania	- przepuszczalność CO₂, - przepuszczalność pary wodnej, - absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody, - przyczepność przy odrywaniu	- przyczepność przy odrywaniu, - odporność na silną agresję chemiczną, - naprężenia zrywające, - wydłużenie przy maks. naprężeniu, - przepuszczalność wody pod zwiększonym ciśnieniem
Zasada 2. Kontrola wilgoci w betonie	- przyczepność przy odrywaniu - nasiąkliwość wodą i odporność na alkalia, - szybkość wysychania	brak danych	- przepuszczalność pary wodnej, - absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody, - przyczepność przy odrywaniu	nie dotyczy
Zasada 5. Zwiększenie odporności fizycznej	nie dotyczy	- odporność na ścieranie, - absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody, - odporność na uderzenia, - przyczepność przy odrywaniu - głębokość wnikania	- odporność na ścieranie, - absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody, - odporność na uderzenia, - przyczepność przy odrywaniu	nie dotyczy
Zasada 6. Zwiększenie odporności na chemikalia	nie dotyczy	brak danych	- odporność na silną agresję chemiczną, - przyczepność przy odrywaniu	- przyczepność przy odrywaniu, - odporność na silną agresję chemiczną, - naprężenia zrywające, - wydłużenie przy maks. naprężeniu, - przepuszczalność wody pod zwiększonym ciśnieniem
Zasada 8. Podwyższenie odporności elektrycznej	- głębokość wnikania, - nasiąkliwość wodą i odporność na alkalia, - szybkość wysychania	brak danych	- przepuszczalność pary wodnej, - absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody, - przyczepność przy odrywaniu	nie dotyczy

3. Żelbetowe konstrukcje rolnicze – charakterystyka oddziaływań środowiskowych i analiza zagrożeń korozyjnych

Pośród żelbetowych budowli rolniczych szczególnie narażone na oddziaływania środowiskowe są: zbiorniki na płynne odchody zwierzęce, płyty do składowania obornika, silosy na kiszonkę, silosy na paszę i zboże, komory fermentacyjne, zbiorniki biogazu [14, 15, 16, 17, 18, 19].

Płyty obornikowe i zbiorniki na płynne odchody zwierzęce są typowymi zestawami wyposażenia gospodarstw rolniczych. Płyty obornikowe, usytuowane na gruncie, pozostające w kontakcie z atmosferą, stanowią magazyny do składowania obornika, który podlega reakcjom chemicznym prowadzącym do wytworzenia się gnojówki i gnojowicy. Gnojówka i gnojowica odprowadzane są do zamkniętych zbiorników na gnojówkę i gnojowicę kanalizacją, w którą wyposażone są płyty obornikowe. Zbiorniki służą do przechowywania gnojówki i gnojowicy, czyli naturalnych nawozów.

Silosy na kiszonkę w większości stanowią konstrukcje wieżowe z żelbetu, o średnicy od 3 do 10 m i wysokości od 16 do 20 m. Stosowane też są silosy przejazdowe z betonu lub prefabrykowane, o szerokości do 5 m. W silosach na kiszonkę magazynowana jest pasza soczysta obejmująca: kukurydzę, słonecznik, liście buraczane, rzepę, brukiew, kapustę pastewną itp. rośliny. Pasza ta poddawana jest kiszeniu kwasem mlekowym, w wyniku otrzymuje się kiszonkę dla zwierząt domowych. W trakcie kiszenia paszy soczystej wydzielają się soki kiszonkowe. Soki kiszonkowe są odprowadzane z silosów do studzienek zbiorczych, w które są wyposażone.

Silosy na zboże i paszę służą do magazynowania suchego pokarmu dla zwierząt w postaci ziaren zbóż i suchych pasz np., siana itp. Silosy te wykonywane są głównie z płaskiej blachy ocynkowanej, ale również z żelbetu. Warunki użytkowania wewnątrz silosów są specyficzne tzn. wymagana jest niska, kontrolowana wilgotność.

Komory fermentacyjne na biogaz stanowią konstrukcję w kształcie walca o stosunku średnicy do wysokości 1:1. Mogą być bardziej płaskie o wysokości dwukrotnie mniejszej niż średnica. Komory są zhermetyzowane, izolowane cieplnie, wyposażone w system grzewczy i mieszadła pionowe lub poziome. Do komór fermentacyjnych wprowadzana jest biomasa obejmująca: gnojowicę, gnojówkę, obornik, odpady zielone np. kukurydzę, liście rzepaku itp. W wyniku fermentacji w komorze powstają gazy fermentacyjne nazywane biogazem lub agrogazem oraz zalegająca w dolnej części masa przefermentowana.

Zbiorniki biogazu przeznaczone są do przechowywania biogazu. Według Rozporządzenia Ministra [2] powinny być konstrukcjami niskociśnieniowymi, metalowymi, żelbetowymi lub z tworzyw elastycznych. Zbiorniki metalowe i z tworzyw sztucznych są montowane do betonowych platform. Stosowane są również zbiorniki biogazu w postaci kopuł szczelnie zamontowanych do górnych krawędzi komór fermentacyjnych, w których gaz zbiera się bezpośrednio nad komorą fermentacyjną, w której powstaje. Kopuły te wykonywane są z laminatów z tkanin polimerowych pokrytych tworzywami: PCV lub PU.

Oddziaływania środowiskowe na wyżej opisane obiekty zestawiono w tabeli 4.

Przy ocenie zagrożenia korozyjnego rozpatrujemy całość oddziaływań środowiskowych analizując, czy działa środowisko tylko zewnętrzne, czy także i wewnętrzne, czy tylko wewnętrzne. Często konstrukcja podlega jednocześnie kilku oddziaływaniom i wówczas każde z nich powinno być sklasyfikowane. Do ustalania klas ekspozycji niezbędne są dane o parametrach powietrza, analizy chemiczne wód gruntowych i gruntów, analizy chemiczne wybranych substancji chemicznych obornika, gnojówki/ gnojowicy, biomasy, dane meteorologiczne.

Omawiane w niniejszym artykule konstrukcje rolnicze będą narażone na działanie środowiska zewnętrznego, obejmującego: czynniki atmosferyczne, gazy kwaśne zawarte w powietrzu oraz ewentualnie wody gruntowe. Wyjątek stanowią komory fermentacyjne, których zewnętrzne powierzchnie betonowe są izolowane od atmosfery i gruntu. Omawiane konstrukcje, z wyjątkiem silosów na zboża i pasze, będą od wewnątrz narażone na działanie środowisk o różnej agresji chemicznej. W silosach na zboża i pasze, przy prawidłowym użytkowaniu, nie występuje agresywne środowisko chemiczne.

Tabela 4. Oddziaływania środowiskowe na żelbetowe obiekty rolnicze

Rozdział konstrukcji	Oddziaływania środowiskowe	
	zewnętrzne	wewnętrzne
Płyty obornikowe wraz z kanalizacją	- agresywne oddziaływanie mrozu, bez środków odładzających, - ewentualna agresja chemiczna wód gruntowych, - ewentualna korozja stali zbrojeniowej spowodowana chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej	-- stałe działanie obornika, który stanowi nawóz naturalny składający się z przefermentowanego kału, moczu i ściółki o odczynie słabo alkalicznym (np. pH 8,5 – 7) lub słabo kwaśnym (np. pH 6 – 5,5) w przypadku nawozu wytwarzanego przez świnie.
Zbiorniki na płynne odchody zwierzęce	- agresywne oddziaływanie mrozu, bez środków odładzających, - ewentualna korozja spowodowana karbonatyzacją - ewentualna agresja chemiczna wód gruntowych	- stałe działanie gnojówki i gnojowicy. Gnojówka zawiera mocz i fekalia zwierzęce, które ulegają procesom gnilnym i fermentacyjnym w wyniku których wytwarzają się głównie następujące związki chemiczne: H_2S , H_2CO_3 , NH_3 , i kw. Moczowy. Zwykle gnojówka posiada odczyn słabo alkaliczny. Przefermentowany mocz zwierzęcy, gromadzony w zbiornikach, zawiera: 1- 3% suchej masy, 0,3- 0,6 % azotu, 0,7- 0,8% potasu i 0,04% fosforu. Gnojowica jest to płynna, przefermentowana mieszanina kału i moczu zwierząt domowych, wody z ewentualną domieszką niewykorzystanych pasz. Gnojowica przykładowo zawiera: 10% suchej masy, 0,38% azotu, 0,20% fosforu, 0,41% potasu, 0,32% wapnia, 0,09% magnezu. Gnojowica w zależności od pochodzenia i czasu składowania zwykle ma odczyn zasadowy lub obojętny, odchody świńskie dają odczyn kwaśny. Można ogólnie przyjąć że pH gnojowicy jest w zakresie od 8 do 5,5.
Silosy na kiszonkę wraz ze studzienkami zbiorczymi	- agresywne oddziaływanie mrozu, bez środków odładzających, - ewentualna agresja chemiczna wód gruntowych - ewentualna korozja spowodowana karbonatyzacją	- stałe działanie soków kiszonych zawierających kwasy organiczne. Skład chemiczny soków kiszonych jest różny ale najczęściej jest kwasu mlekowego, następnie octowego i najmniej kwasu masłowego, pH soków kiszonych wynosi od 3,5 do 5,2.
Silosy na zboża i pasze	- agresywne oddziaływanie mrozu, bez środków odładzających, - ewentualna agresja chemiczna wód gruntowych - ewentualna korozja spowodowana karbonatyzacją	- w prawidłowo użytkowanym silosie nie występują oddziaływania i substancje agresywne do żelbetu.
Komory fermentacyjne na biogaz	- brak agresywnych oddziaływań	- stałe działanie masy fermentacyjnej, w trakcie fermentacji pH masy może wynosić około 7 (możliwe wahania 6 do 8). Lotne kwasy organiczne występują w powietrzu w ilościach 50- 500 mg(przeliczeniu na CH_3COOH/dcm^3), występują ponadto nieznaczne ilości H_2S i N_2. Temperatura podczas fermentacji termofilnej wynosi 52°C, a podczas fermentacji mezofilnej 37°C. W górnej części działa biogaz o znacznym zawilgoceniu. Przykładowy skład chemiczny biogazu: CH_4 45- 75%, CO_2 25- 45%, N_2 < 2%, H_2S 0 – 3%, H_2 <1%, O_2 < 2%. - w dolnej części zalega masa przefermentowana o odczynie obojętnym. - stałe działanie biogazu jw.
Zbiorniki na biogaz	- agresywne oddziaływanie mrozu, bez środków odładzających, - ewentualna korozja spowodowana karbonatyzacją	

3.1. Oddziaływania środowiska zewnętrznego i wewnętrznego na płyty obornikowe

Na płyty obornikowe będą jednocześnie oddziaływać czynniki atmosferyczne i środowisko chemicznie agresywne (obornik, gnojówka/gnojowica). Rozpatrując oddziaływania środowiska zewnętrznego na płyty obornikowe bierzemy pod uwagę agresywne oddziaływanie mrozu (zmrażanie/rozmrężanie) bez środków odladzających i agresywność wód gruntowych, jeżeli występuje oraz ewentualną korozję stali zbrojeniowej spowodowaną chlorkami zawartymi w wodzie gruntowej. Powierzchnie wewnętrzne płyt obornikowych narażone są na stałe działanie fermentującego obornika stanowiącego mieszaninę różnych związków chemicznych, których odczyn jest na ogół słabo zasadowy, ale może zmieniać się do słabo kwaśnego (pH od 8 do 5,5). Należy się liczyć z korozją amonową i okresowo występującą korozją kwasową betonu oraz ewentualną korozją stali zbrojeniowej spowodowaną chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej (występującymi w oborniku). Agresywne oddziaływania mrozu i substancji chemicznych na beton płyt obornikowych nawzajem się intensyfikują powodując przyspieszenie procesów niszczących. Z tego względu oddziaływania środowiskowe chemiczne należy zakwalifikować do następnej wyższej klasy ekspozycji od otrzymanych z analizy poszczególnych oddziaływań.

Oddziaływanie środowiska zewnętrznego na zbiorniki na płynne odchody zwierzęce, silosy na kisonkę, silosy na zboża i pasze oraz zbiorniki na biogaz

Wymienione zbiorniki narażone będą na agresywne oddziaływanie mrozu (bez środków odladzających), korozję spowodowaną karbonatyzacją, oraz agresywne oddziaływanie wód gruntowych - w tym chlorków na stal zbrojeniową - jeżeli zbiornik będzie posadowiony w obrębie ich działania. Główne narażenia to zmrażanie/rozmrężanie oraz działanie dwutlenku węgla i wilgoci zawartych w otaczającym powietrzu. Przy ustalaniu klas ekspozycji dwutlenku węgla analizuje się warunki wilgotnościowe, od których zależy przebieg procesu karbonatyzacji. W środowisku stałym suchym lub stałym mokrym proces karbonatyzacji betonu praktycznie nie zachodzi (klasa ekspozycji XC1). Natomiast w środowisku umiarkowanie wilgotnym (XC3) proces karbonatyzacji zachodzi, a w środowisku cyklicznie mokrym/suchym możliwy jest proces karbonatyzacji, gdy w trakcie cyklicznych zmian występuje środowisko umiarkowanie wilgotne (XC4). Szybkość karbonatyzacji zależy od wielu parametrów, głównie od wilgotności powietrza, stężenia CO₂ w powietrzu i szczelności betonu [7]. Stężenia jonów chlorkowych w wodach gruntowych, a także stężenia jonów siarczanowych, amonowych, magnezowych, agresywnego dwutlenku węgla i pH wód gruntowych (zgodnie z tablicą 2 PN- EN 206-1:2003) powinny być oznaczane i przedstawiane do dyspozycji projektanta. Należy brać pod uwagę wszystkie możliwe oddziaływania.

Na podstawie tych danych klasyfikuje się oddziaływania środowiska czyli ustala klasy ekspozycji betonu i zbrojenia, np. XF1 ze względu na przemrażanie, np. XD2 ze względu na korozję chlorkową zbrojenia, np. XA1 ze względu na agresję chemiczną wody gruntowej lub gruntu. Dla danej klasy ekspozycji dobierane są zwiększające trwałość betonu i żelbetu parametry składu i właściwości betonu oraz minimalne grubości otuliny zbrojenia. Dobierając odpowiedni skład i składniki betonu dla wytypowanej klasy ekspozycji w CO₂ zwiększa się jego szczelność i tym samym trwałość betonu [7].

Oddziaływania środowiska wewnętrznego w zbiornikach na płynne odchody zwierzęce

Wewnętrzne powierzchnie zbiorników na płynne odchody zwierzęce będą narażone na stałe działanie gnojówki lub gnojowicy o pH zmieniającym się od słabo alkalicznego 8 do słabo kwaśnego 5,5. Z punktu widzenia oceny możliwości wystąpienia korozji betonu przydatne byłyby dane obejmujące stężenia jonów amonowych, magnezowych, siarczanowych, a także jonów chlorkowych w wyciągach wodnych z obornika, gnojówki i gnojowicy. Stężenia te mogłyby posłużyć do ustalenia klasy agresji chemicznej w oparciu o tablicę 2 normy PN- EN 206-1:2003 oraz zagrożenia korozją chlorkową zbrojenia. Aktualnie takie dane chemiczne są trudnodostępne. Mimo ich braku można w przybliżeniu ocenić zagrożenie korozyjne betonu. Obecność związków amonowych oraz możliwość oddziaływania kwaśnego środowiska na beton wskazuje na klasę ekspozycji co najmniej XA2 ze względu na aspekty trwałości. Uwzględniając możliwe mechanizmy niszczenia betonu w wyniku działania obornika, gnojówki i gnojowicy należy przyjąć możliwość

wystąpienia korozji amonowej betonu i, okresowo, jego korozji kwasowej.

Oddziaływanie środowiska wewnętrznego w silosach na kiszonkę

Wewnętrzne powierzchnie silosów narażone będą na stałe działanie soków kiszonkowych zawierających mieszaninę różnych kwasów organicznych, o przeważającej zawartości kwasu mlekowego, następnie octowego i masłowego. Odczyn soków kiszonkowych zmienia się od słabo kwaśnego do kwaśnego, pH wynosi od 5,2 do 3,5. Jest to środowisko agresywne wobec betonu, które już ze względu na możliwość wystąpienia pH 3,5 należy ocenić jako silnie agresywne [1]. Wystąpi także mniej lub bardziej intensywna korozja kwasowa betonu w przypowierzchniowej jego warstwie, z wytworzeniem rozpuszczalnych w wodzie: mleczanu wapniowego octanu wapniowego i masłanu wapniowego. W wyniku tych procesów będzie zachodziło wymywanie wapnia i degradacja powierzchni betonu. Z uwagi na silną agresję kwasową należy przyjąć klasę ekspozycji XA3.

4. Dobór rodzaju zabezpieczeń dla żelbetowych konstrukcji rolniczych

Z przeprowadzonej analizy zagrożeń korozyjnych żelbetowych konstrukcji rolniczych wynika, że najbardziej narażone na zniszczenia są płyty obornikowe i wewnętrzne powierzchnie zbiorników na kiszonkę. W mniejszym stopniu narażone są wnętrza komór fermentacyjnych i zbiorników biogazu oraz zbiorników na płynne odchody zwierzęce. Przy prawidłowej eksploatacji w silosach na zboża i paszę zagrożenie korozyjne nie występuje. Zewnętrzne powierzchnie konstrukcji, poza komorami fermentacyjnymi, narażone są na oddziaływanie środowisk o klasach ekspozycji XF, XC, XD i XA. Zastosowanie w tym przypadku zabiegów zwiększających trwałość betonu i zbrojenia jest podstawowym zabezpieczeniem obiektu żelbetowego w danej klasie ekspozycji. Klasyfikujemy oddziaływania zewnętrznego środowiska, jako jedną lub kilka klas ekspozycji. Dla otrzymanych klas ekspozycji dobieramy skład i właściwości betonu zgodnie z tabelą 1 oraz grubość otuliny betonowej zbrojenia, zgodnie z tabelą 2. Zabiegi zwiększające trwałość betonu i zbrojenia mogą być wystarczającą ochroną betonu w nieagresywnym chemicznym środowisku powietrznym lub w nieagresywnych lub słabo agresywnych gruntach lub wodach gruntowych. Dotyczy to zewnętrznych powierzchni zbiorników i silosów. W przypadku powierzchni betonowych stykających się z agresywnymi środowiskami gnojówki, gnojowicy, obornika, kiszonek, biomasy i biogazu zabiegi zwiększające trwałość betonu nie są wystarczające i konieczne jest dodatkowo zastosowanie ochrony powierzchniowej betonu.

Ochronę powierzchniową betonu przed niszczącymi procesami i agresją chemiczną uzyskuje się stosując odpowiednio dobrane do mechanizmów jego niszczenia zasady i metodę ochrony oraz wyroby ochronne o właściwościach użytkowych umożliwiających realizację zasady i metody.

Do ochrony powierzchniowej betonu odnosi się 5 zasad ochrony [9,10]:

- Zasada 1. Ochrona przed wnikaniem do betonu niepożądanych substancji, polegająca na zmniejszeniu lub zabezpieczeniu przed wnikaniem np. wody, ciekłych lub gazowych substancji chemicznych,
- Zasada 2. Kontrola wilgoci w betonie polegająca na przeciwdziałaniu zbyt szybkiemu zawilgacaniu/wysychaniu lub naprzemiennemu nawilżaniu i wysychaniu betonu,
- Zasada 5. Zwiększenie odporności fizycznej polegająca na zwiększeniu odporności powierzchni betonu na oddziaływania fizyczne, w tym uszkodzenia mechaniczne,
- Zasada 6. Odporność na chemikalia polegająca na zwiększeniu odporności powierzchni betonu na uszkodzenie wywołane działaniem substancji chemicznych,
- Zasada 8. Podwyższenie odporności betonu polegająca na zwiększeniu właściwego oporu elektrycznego betonu w celu ochrony zbrojenia przed korozją.

Wymienione zasady ochrony betonu można realizować stosując następujące metody ochrony [8,9, 10]:

- impregnację hydrofobizującą - brak powłoki, adsorpcja na powierzchni porów i kapilar w przypowierzchniowej warstwie betonu wyrobu hydrofobowego, nadającego powierzchni betonu właściwości odpychania cząsteczek wody,

- impregnację - powłoka na powierzchni betonu cienka, nieciągła, pory i kapilary w przypowierzchniowej częściowo lub całkowicie wypełnione wyrobem impregnującym
- zabezpieczania powłokowe – powłoka ochronna na powierzchni betonu, ciągła o określonej grubości, zazwyczaj od 0,1mm do 5 mm, w szczególnych przypadkach o grubości powyżej 5mm,
- izolacje chemoodporne - powłoka ochronna na powierzchni betonu ciągła, zwykle o grubości od 4 mm do 6- 8 mm, zbrojona wkładkami z mat lub tkanin lub niezbrojona.

Do danej metody ochrony mogą być stosowane, różne pod względem materiałowym, rodzaje wyrobów. W tabeli 5 podano przykładowe wyroby stosowane w danej metodzie ochrony.

Tabela 5 Wyroby zlecane do stosowania w danej metodzie (wg [9])

Metoda ochrony	Rodzaj wyrobu
Impregnacja hydrofobizująca	Wyroby: silikonowe, silanowe, siloksanowe, i inne, oparte na związkach krzemooorganicznych o właściwościach odpychania cząsteczek wody, nietworzące powłok
Impregnacja	Wyroby z żywic syntetycznych: epoksydowych, poliuretanowych, akrylowych, poliestrowych, np. farby impregnaty, lakiery, wyroby polimerowo- cementowe, wyroby mineralne, wypełniają one pory i kapilary, tworzą powłoki nieciągłe
Powłoki	Żywice syntetyczne i kompozycje z żywic: epoksydowych, poliuretanowych, akrylowych, poliestrowych, poliwęglanowych; inne wyroby polimerowe, wyroby polimerowo- cementowe, wyroby mineralne, tworzące powłoki ciągłe o skończonej grubości do 5 mm lub powyżej 5mm
Izolacje chemoodporne	Żywice syntetyczne i kompozycje z żywic: epoksydowych, poliuretanowych, poliestrowych, poliwęglanowych, modyfikowane dodatkami mineralnymi, bitumicznymi, z wkładkami zbrojącymi lub bez; jako wkładki zbrojące stosuje się maty i tkaniny szklane, tkaniny z włókien syntetycznych, tworzą one szczelne wobec parcia cieczy powłoki ciągłe o skończonej grubości , zwykle 4- 8 mm

W celu dokonania prawidłowego doboru zasady i metody ochrony powierzchniowej betonu należy rozpoznać warunki użytkowania z uwzględnieniem szkodliwych oddziaływań na konstrukcję przeznaczoną do zabezpieczania, w tym substancji chemicznych, które będą oddziaływać na beton. Na tej podstawie klasyfikuje się agresywność środowiska, określa mechanizm niszczenia betonu, a następnie dobiera zasadę i metodę ochrony. Dla wybranej metody ochrony ustala się wymagania dla właściwości użytkowych wyrobów i systemów ochrony powierzchniowej podanych w odpowiedniej normie lub zaleceniach udzielania aprobat ITB. Wybrane wyroby i systemy ochrony powierzchniowej powinny posiadać dokumenty jakości wyrobów tj. certyfikaty lub deklaracje zgodności z normą lub aprobatą techniczną oraz oferowane przez producentów karty techniczne z powołaniem na stosowne dokumenty jakości.

Zgodnie z powyżej opisanymi postanowieniami i wymaganiami norm europejskich i dokumentów ITB dotyczącymi ochrony powierzchniowej betonu analizujemy poniżej trzy z omawianych konstrukcji rolniczych pod kątem doboru ochrony powierzchniowej do warunków użytkowania i szkodliwych oddziaływań.

Płyty obornikowe

Na płyty obornikowe działa silnie agresywne środowisko ze względu na jednoczesne oddziaływania mrozu, wody i substancji chemicznych., z tego względu konieczna jest ochrona powierzchniowa .

Mechanizm niszczenia betonu będzie polegał na wnikanii do betonu wody i substancji chemicznych Wnikanie wody i chemikaliów będzie intensyfikowane przez korozję mrozową. Substancje chemiczne i woda wnikać do betonu będą wywoływały niszczące beton reakcje chemiczne ponieważ beton nie jest wystarczająco odporny chemicznie. Korozja chemiczna betonu będzie intensyfikować korozję mrozową.

Dla płyt obornikowych przydatne będą jednocześnie dwie zasady ochrony: Zasada 1 Ochrona przed wnikaniiem i Zasada 6 Odporność na chemikalia. Zasady te mogą być realizowane czterema metodami ochrony spośród wymienionych wyżej, z których należy wybrać najbardziej właściwą dla płyt obornikowych. Ponieważ pierwszym etapem

niszczenia płyt jest wnikanie wody i substancji chemicznych w głąb betonu ochrona powierzchniowa powinna szczelnie zabezpieczyć beton przed wnikaniem. Najbardziej skuteczną będzie metoda zabezpieczenia powłokowego. Impregnacja hydrofobizująca i impregnacja będą zabezpieczeniami „zbyt delikatnymi” a izolacja chemoodporna „zbyt solidną”.

Dla wybranej metody zabezpieczenia powłokowego należy przeanalizować wymagania właściwości użytkowych wyrobu powłokowego i powłoki zgodnie z [8] pod kątem ich przydatności do zabezpieczenia płyt obornikowych. W normie [8] podane zostały wymagania dla wszystkich możliwych właściwości użytkowych powłok do ochrony betonu przed korozją i czynnikami atmosferycznymi. Dla konkretnego zamierzonego stosowania właściwości użytkowe analizuje i określa projektant zabezpieczenia powierzchniowego. Z zestawienia w normie [8] wybrane zostały przez autorów wymagania, które powinny być spełnione, aby zabezpieczenie płyt obornikowych było skuteczne. Wybrane właściwości użytkowe i wymagania przedstawiono w tabeli 6.

Jak wynika z tabeli 6 powłoka zabezpieczająca powierzchnie płyt obornikowych powinna być odporna mechanicznie (ścieranie, uderzenia), odporna na działanie mrozu, szczelna wobec wnikania wodnej fazy gnojówki i gnojowicy oraz wody, przyczepna do podłoża betonowego, w tym zawilgoconego, odporna na chemiczne działanie zawilgoconego obornika, gnojówki, gnojowicy. Określone wymagania właściwości użytkowych, jakie powinna wykazywać powłoka na płytach obornikowych są pomocne przy wyborze rodzaju wyrobu powłokowego z pośród szerokiego wachlarza możliwości materiałowych, podanych w tabeli 5.

Tabela 6 Wymagania właściwości użytkowych powłok w zastosowaniu do ochrony powierzchniowej płyt obornikowych (opracowano w oparciu o [8])

Poz.	Właściwości użytkowe	Wymagania
1	Absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody	$w < 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$
2	Odporność na ścieranie	ubytek masy mniejszy niż 3000 mg koło ścierające H22/1000obrotów/obciążenie 1000g
3	Przepuszczalność pary wodnej	klasa I $s_D < 5 \text{ m}$ przepuszczalne dla pary wodnej, klasa II $5 \text{ m} < s_D < 50 \text{ m}$ klasa III $s_D > 50 \text{ m}$ nieprzepuszczalne dla pary wodnej
4	Przyczepność do betonu przy odrywaniu	bez obciążenia ruchem: systemy sztywne $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$ systemy elastyczne $\geq 0,8 \text{ N/mm}^2$
5	Przyczepność do mokrego betonu	$\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ w ponad 50% przypadków zniszczenie powinno występować w betonie, brak pęcherzy, rys i złuszczeń
6	Odporność na uderzenie	brak rys i odspojień po uderzeniach: klasa I: $\geq 4 \text{ Nm}$ klasa II: $\geq 10 \text{ Nm}$ klasa III: $\geq 20 \text{ Nm}$
7	Przyczepność po badaniu kompatybilności cieplnej	bez obciążenia ruchem: systemy sztywne $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$ systemy elastyczne $\geq 0,8 \text{ N/mm}^2$
8	Odporność na silną agresję chemiczną	zmniejszenie twardości o mniej niż 50%, zmniejszenie przyczepności przy odrywaniu o mniej niż 20% [11]

Najbardziej przydatne w praktyce okazały się wyroby polimerowo-cementowe i mineralne, ewentualnie modyfikacje polimerowo-bitumiczne. Powłoki polimerowo-cementowe i mineralne charakteryzują się właściwościami spełniającymi stawiane im wymagania. Szczególnie istotne jest, aby powłoka wykazywała odporność chemiczną na działanie gnojówki i gnojowicy. Właściwość ta potwierdzana jest badaniami laboratoryjnymi, między innymi prowadzonymi w laboratorium ITB. W tabeli 7 pokazano wyniki badań odporności chemicznej na działanie gnojowicy powłoki polimerowo-cementowej. Do badań zastosowano metodę opisaną w normie [12], a do oceny odporności chemicznej: zmiany wyglądu, przepuszczalności i przyczepności powłoki po 28 dniach

działania środowiska gnojowicy. Pozytywne wyniki wykonanych badań potwierdziły deklarowany przez producenta zakres stosowania.

Tabela 7 Wyniki badań odporności chemicznej powłoki polimerowo-cementowej na działanie środowiska gnojowicy metoda badania PN-EN 13529 (badania laboratoryjne ITB)

Poz	Oznaczana właściwość	Metody oceny	Wynik badania po 28 dniach działania gnojowicy
1	Wygląd powłoki przed i po działaniu gnojowicy :		Nie stwierdzono zmian wyglądu powłoki
	Zmiany wyglądu	PN-EN ISO 4628-1	0
	Występowanie pęcherzy	PN-EN ISO 4628-2	0
	Spękanie	PN-EN ISO 4628-4	0
	Złuszczenie	PN-EN ISO 4628-5	0
2	Przenikanie gnojowicy przez powłokę	Ocena wizualna	Nie występuje przenikanie gnojowicy przez powłokę
3	Przyczepność do podłoża	PN-EN ISO 4624:2004	Nie stwierdzono zmiany przyczepności powłoki

Wewnętrzne powierzchnie zbiorników na kiszonkę.

Na powierzchnie betonu wywiera stałe działania silnie agresywne środowisko o odczynie kwaśnym (reagent- kwas mlekowy i masa kiszonkowa). Z tego względu konieczna jest ochrona powierzchniowa betonu. Mechanizm niszczenia będzie polegał na wnikanii do betonu roztworów wodnych kwasów organicznych i postępującym rozpuszczaniu wierzchniej warstewki betonu. Podobnie jak dla płyt obornikowych przydatne będą jednocześnie dwie zasady ochrony: Zasada 1 Ochrona przed wnikaniem i Zasada 6 Odporność na chemikalia. Najbardziej skuteczna będzie w tym przypadku również metoda zabezpieczenia powłokowego. Z analizy wymagań właściwości użytkowych wyrobu powłokowego i powłoki zgodnie z [8] wybieramy te właściwości, które po spełnieniu wymagań normowych, zapewnią, że wykonana powłoka będzie skutecznie chronić beton wewnętrznych powierzchni silosów na kiszonki. Z zestawienia w normie [8] wybrane zostały przez autorów odpowiednie wymagania. Szczególnie istotnym wymaganiem przy wyborze rodzaju wyrobu powłokowego jest wymaganie odporności powłoki na działanie silnie agresywnego środowiska kwaśnego. Jest to wskazówka, że w grę mogą wchodzić tylko wyroby polimerowe kwasoodporne ponieważ wyroby polimerowo-cementowe i mineralne nie wykazują wystarczającej odporności chemicznej na działanie środowiska kwaśnego o silnej agresji. Do zabezpieczania wewnętrznych powierzchni mogą być przydatne kwasoodporne powłoki epoksydowe, poliestrowe lub poliuretanowe, które równocześnie spełniają wymagania z tabeli 7, tzn. są szczelne wobec cieplego środowiska kiszonki i CO₂ oraz przyczepne do podłoża betonowego. Charakterystyki właściwości użytkowych wyrobów powłokowych podają karty techniczne wyrobów, oferowane przez producentów z powołaniem na stosowne dokumenty jakości.

Wewnętrzne powierzchnie komór fermentacyjnych.

We wnętrzu komór powierzchnie betonowe narażone są na znaczne zawilgocenie osiagające 90-100%, działanie kwasów organicznych w trakcie fermentacji kwaśnej, działanie - będącej pod zwiększonym ciśnieniem - mieszaniny gazów: metanu, dwutlenku węgla, siarkowodoru i amoniaku oraz podwyższonej temperatury. Oddziaływania te stwarzają agresywne środowisko wobec betonu, o stopniu agresywności okresowo średnim lub silnym. Cennym produktem fermentacji jest biogaz i z tego względu, poza ochroną betonu przed korozją, niezbędne jest szczelne zabezpieczenie wewnętrznych powierzchni. Zabezpieczenie to chroni beton przed korozją i zapobiega ubytkom biogazu przez nieszczelności lub uszkodzenia korozyjne. W tym przypadku przydatna będzie zasada 1 „Ochrona przed wnikaniem” realizowana metodą „Izolacji chemoodpornej”. Metoda ta umożliwi uzyskanie powłoki szczelnej wobec wilgoci, fazy cieplej i mieszaniny gazów (biogazu) wywierających nadciśnienie, a jednocześnie powłoki o dobrych parametrach mechanicznych, elastycznej, zdolnej do pokrywania rys w podłożu betonowym, a - przede wszystkim - chemoodpornej w warunkach działających w komorze chemikaliów.

Z zestawienia w instrukcji [9] wybrane zostały przez autorów wymagania dla takich

właściwości użytkowych izolacji chemoodpornych które powinny być spełnione, aby zabezpieczenie wnętrza komory fermentacyjnej było skuteczne. Wymagania te przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 8 Wymagania właściwości użytkowych powłok w zastosowaniu do ochrony powierzchniowej betonu we wnętrzu silosu na kiszonkę (opracowano w oparciu o [8])

Poz.	Właściwości użytkowe	Wymagania
1	Odporność na ścieranie	ubytek masy mniejszy niż 3000 mg koło ścierające H22/1000obrotów/obciążenie 1000g
2	Przepuszczalność CO ₂	$s_D > 50$
3	Przepuszczalność pary wodnej	klasa I $s_D < 5$ m przepuszczalne dla pary wodnej, klasa II $5 < s_D < 50$ m klasa III $s_D > 50$ m nieprzepuszczalne dla pary wodnej
4	Absorpcja kapilarna i przepuszczalność wody	$w < 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$
5	Odporność na silną agresję chemiczną	zmniejszenie twardości o mniej niż 50%, zmniejszenie przyczepności przy odrywaniu o mniej niż 20%
6	Przyczepność do betonu przy odrywaniu	bez obciążenia ruchem: systemy sztywne $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$ systemy elastyczne $\geq 0,8 \text{ N/mm}^2$
7	Odporność na uderzenie	brak rys i odspojień po uderzeniach: klasa I: $\geq 4 \text{ Nm}$ klasa II: $\geq 10 \text{ Nm}$ klasa III: $\geq 20 \text{ Nm}$

Tabela 9 Wymagania właściwości użytkowych izolacji chemoodpornych (niezbrojonych) w zastosowaniu do ochrony powierzchniowej betonu we wnętrzu komory fermentacyjnej biogazu (opracowano w oparciu o [8, 11])

Poz.	Właściwości użytkowe	Wymagania
1	Odporność na ścieranie	ubytek masy mniejszy niż 3000 mg koło ścierające H22/1000obrotów/obciążenie 1000g
2	Przepuszczalność CO ₂	$s_D > 50$
3	Przepuszczalność pary wodnej	klasa III $s_D > 50$ m nieprzepuszczalne dla pary wodnej
4	Przepuszczalność wody pod zwiększonym ciśnieniem	$w < 0,1 \text{ MPa}$
5	Odporność na silną agresję chemiczną	zmniejszenie przyczepności przy odrywaniu o mniej niż 20% po działaniu substancji chemicznej
6	Przyczepność do betonu przy odrywaniu	$\geq 1,0 \text{ MPa}$
7	Maksymalne naprężenie rozciągające	$\geq 1,0 \text{ MPa}$
8	Wydłużenie względne przy zerwaniu	$\geq 20\%$
9	Zdolność do pokrywania rys podłoża	klasa ciągłego rozwarcia rysy dobierana przez rojektanta, po badaniu dla odpowiedniej klasy nie powinny występować żadne uszkodzenia powłoki

Z danych zawartych w tablicy 5 wynika szeroka oferta materiałowa dla izolacji chemoodpornych. Są to żywice i kompozycje z żywic syntetycznych: epoksydowych, poliuretanowych, poliestrowych, poliwęglanowych, modyfikowane dodatkami mineralnymi, bitumicznymi itp. Jednak decydującą właściwością przy doborze materiałowym będzie odporność chemiczna powłoki na działanie środowiska występującego w komorze fermentacyjnej i wymienione wyroby powinny być sprawdzone pod względem odporności chemicznej uzyskanych z nich powłok. Najbardziej przydatne w praktyce okazały się powłoki epoksydowe, stosowane dawniej jako zbrojone matami lub tkaninami szklanymi, obecnie stosowane są powłoki epoksydowe niezbrojone, zdolne do pokrywania rys podłoża.

5. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza istniejących wymagań dotyczących trwałości i ochrony powierzchniowej żelbetu wg norm europejskich i instrukcji ITB w zastosowaniu do konstrukcji rolniczych wykazała ich przydatność do oceny zagrożenia czynnikami atmosferycznymi i agresją chemiczną środowisk oraz do analizy zasad i metod ich ochrony. Dla skutecznego zabezpieczania konstrukcji rolniczych konieczne są zarówno zabiegi zwiększające trwałość betonu jak i zabiegi zwiększające odporność betonu, stanowiące tzw. ochronę powierzchniową. Zastosowanie zabiegów zwiększających trwałość betonu i zbrojenia jest podstawowym zabezpieczeniem obiektu żelbetowego w danej klasie ekspozycji. Zabiegi zwiększające trwałość betonu i zbrojenia mogą być wystarczającą ochroną betonu w nieagresywnym chemicznym środowisku powietrznym lub w nieagresywnych lub słabo agresywnych gruntach lub wodach gruntowych. Dotyczy to zewnętrznych powierzchni zbiorników i silosów. W przypadku powierzchni betonowych stykających się z agresywnymi środowiskami gnojówki, gnojowicy, obornika, kiszzonek, biomasy i biogazu zabiegi zwiększające trwałość betonu nie są wystarczające i konieczne jest dodatkowe zastosowanie ochrony powierzchniowej betonu. Do ustalania klas ekspozycji i agresywności chemicznej środowisk wewnętrznych niezbędne są dane o parametrach powietrza, dane meteorologiczne, analizy chemiczne wód gruntowych i gruntów, analizy chemiczne wybranych substancji chemicznych obornika, gnojówki/gnojowicy, biomasy. Aktualnie te ostatnie dane chemiczne są trudnodostępne, co sprawia problemy przy ocenie agresji chemicznej i doborze ochrony powierzchniowej betonu narażonego na działanie środowisk występujących w obiektach rolniczych. Wskazana byłaby inicjatywa pojęcia takich analiz chemicznych dla potrzeb budownictwa. Byłoby to korzystne dla prawidłowego doboru zasady i metody ochrony powierzchniowej betonu zgodnie z obecnymi normami europejskimi i instrukcjami ITB. Tworzenie zbiorów danych uzyskiwanych podczas diagnozowania stanu technicznego obiektów rolniczych, z uwzględnieniem zaleceń normy PN-EN 1504-9, może stanowić podstawę do prognozowania ich trwałości oraz rozwoju technik badawczych i diagnostycznych wykorzystujących w szerszym niż obecnie stopniu nieniszczące metody badawcze i analizy numeryczne.

Literatura

- 1 PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 2 Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r.
- 3 PN-EN 1990:2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji
- 4 PN-B-06265:2004 Krajowe uzupełnienia PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 5 PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- 6 Poradnik ITB 479/2012 Naprawa i ochrona konstrukcji żelbetowych, Warszawa Instytut Techniki Budowlanej 2012
- 7 Czarnecki L., Woyciechowski P., Concrete carbonation as a limited process and its relevance to concrete cover thickness, *ACI Materials Journal* 2012, Vol.109, nr 3, s. 275-282
- 8 PN-EN 1504-2:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu
- 9 PN-EN 1504-9:2010 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 9: Ogólne zasady dotyczące stosowania wyrobów i systemów
- 10 Czarnecki L., Łukowski P., Naprawy i ochrona betonu zgodnie z PN-EN 1504, *Materiały Budowlane*. 2009, nr 2, s. 2-4, 22
- 11 Instrukcja ITB nr 453/2009 Ochrona powierzchniowa betonu w warunkach agresji chemicznej, Warszawa Instytut Techniki Budowlanej 2009
- 12 PN-EN 13529:2005 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Odporność na silną agresję chemiczną

- 13 ZUAT-15/VI.05-1:2009 Wyroby do zabezpieczania powierzchni betonowych przed korozją. Cz. 1: Wyroby do wykonywania ciągłych izolacji chemoodpornych. Ciekłe żywice syntetyczne i kompozycje z żywic syntetycznych
- 14 Anna Zakowicz Wymagania dla zbiorników na gnojówkę/gnojowicę Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 1(2010) 327-334, Politechnika Białostocka
- 15 Kwaśny Justyna, Kowalski Zygmunt, Banach Marcin Właściwości nawozowe gnojowicy w kontekście zawartości wybranych makro i mikro elementów, 2-Ch/2011 zeszyt 10, Politechnika Krakowska
- 16 Marta Marszałek Marcin Banach, Zygmunt Kowalski Utylizacja gnojowicy na drodze fermentacji metanowej i tlenowej 2-Ch/2011 zeszyt 10, s. 143-158, Politechnika Krakowska
- 17 K i K. R. Imhoff, Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Poradnik, Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1996
- 18 Z. Heinrich, A. Witkowski, Urządzenia do oczyszczania ścieków. Projektowanie i przykłady obliczeń, Wydawnictwo 'Seidel-Przywecki' Sp. z o.o., Warszawa 2005

Protection of reinforced concrete structures in the agricultural buildings on the point of view of the requirements of the standards and ITB guidelines

Teresa Możaryn¹, Anna Sokalska², Michał Wójtowicz³

¹ *Building Materials Department, Building Research Institute e-mail t.mozaryn@itb.pl,*

² *Building Materials Department, Building Research Institute, e-mail a.sokalska@itb.pl*

³ *Building Research Institute, e-mail m.wojtowicz@itb.pl*

Abstract: The paper concerns the agricultural RC structures, which, in use conditions, are exposed to destructive impacts including chemicals of farm products. The reinforced concrete structures are not sufficiently durable and resistant in this conditions so they require the suitable protection. The durability of RC structures is commonly assured by modifications of concrete and surface treatment. The paper discusses the requirements for durability and surface protection of RC structures in accordance with the EU standards and the technical instructions published by Building Research Institute. These requirements are useful to assess the impact of chemicals on the agricultural RC structures as well to analyze and select the principles and methods of protection. The measures to increase the durability of RC structures in various environmental exposures as well the principles and methods of concrete surface protection applied to some agricultural structures were discussed. The procedures for selection of surface treatment of concrete for three typical agricultural structures were presented.

Keywords: agricultural RC structures, durability, aggressive impact, surface treatment

Szkło jako materiał konstrukcyjny dla szklarni – wymagania, zagadnienia badawcze, trendy rozwojowe

Agnieszka Marczevska

Zakład Technologii Szkła, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, e-mail: a.marczevska@icimb.pl

Streszczenie: Dobór szkła o parametrach optymalnych dla danej produkcji szklarniowej istotnie wpływa na proces wegetacji roślin zwiększając nawet o kilkanaście procent wydajność zbiorów. W pracy przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat szkieł obecnie stosowanych jako pokrycie szklarni. Ponadto zamieszczono wybrane wyniki badań ich właściwości mechanicznych, świetlnych i słonecznych. Stwierdzono, że dostosowanie parametrów transmisji i odbicia światła widzialnego szkła szklarniowego do indywidualnych potrzeb oświetleniowych dla poszczególnych rodzajów upraw jest uzależnione przede wszystkim od rodzaju powłoki naniesionej na szkło.

Słowa kluczowe: szklarnia, szkło szklarniowe, szkło dyfuzyjne, przepuszczalność światła

1. Wprowadzenie

Uzyskanie wysokiego i dobrej jakości plonu jest możliwe tylko przy zapewnieniu optymalnych warunków uprawianym roślinom. Szeroka wiedza w zakresie nowych technologii oraz wymagań roślin w uprawach pod osłonami stawia przed producentem wysokie wymagania w zakresie konstrukcji i wyposażenia szklarni. Nowoczesne szklarnie powinny sprostać tym wymaganiom, dlatego też wciąż wprowadzane są radykalne zmiany w ich konstrukcji. Prawa wolnego rynku wywierają ogromny nacisk na zwiększenie wydajności i obniżenie kosztów produkcji. Wielu autorów [1-3] podkreśla, że w naszej strefie klimatycznej dla uzyskania wysokiego i wczesnego plonu niezbędne jest użytkowanie takich obiektów, które zapewniają dostateczną ilość światła. Podają oni, że ograniczenie dostępu światła roślinom o 1% spowoduje zmniejszenie wczesnego plonu o 1%. [1]. Należy podkreślić, że plon wczesny to jeden z głównych czynników poprawiających efektywność produkcji. Jest to podstawowy czynnik zapewniający rentowność produkcji, a także pozyskanie klienta. [2-3].

Obecnie obiekty szklarniowe to lekkie i wysokie konstrukcje. Technologie konstrukcyjne muszą zapewnić dużą hermetyczność, a zastosowane materiały powinny cechować się wysokim oporem cieplnym, co pozwala na łatwiejsze sterowanie klimatem wewnętrznym. [1]

Szkło dzięki swoim właściwościom fizycznym takim jak wysoka przepuszczalność światła, wytrzymałość mechaniczna, odporność na działanie promieniowania UV, wytrzymałość na działanie wysokiej temperatury, jest materiałem często wykorzystywanym w konstrukcjach szklarni.

2. Rodzaje szkła szklarniowego

Obecnie do zastosowań jako materiał pokryciowy w szklarniach wykorzystuje się różne rodzaje szkła. Są to:

2.1. Szkło ciągnięte

Szkło to, produkowane metodą ciągnięcia jest bezbarwne i obustronnie gładkie, o grubości 3,4 a nawet 5 mm. Obecnie jest coraz rzadziej stosowane, ze względu na metodę ciągnięcia którą produkowane jest to szkło. Metoda ta zostaje zastąpiona metodą produkcji szkła float. [4-8]

2.2. Szkło float

Jest to szkło bezbarwne, o bardzo niskiej zawartości żelaza, dzięki czemu posiada wysoką przepuszczalność światła (powyżej 90%). Najczęściej o grubości 4 mm, ale dostępne również w innych grubościach od 3 mm do 5 mm. W porównaniu ze szkłem ciągnionym cechuje się lepszymi właściwościami estetycznymi, ponieważ nie występuje w tym przypadku zjawisko falistości. Posiada też wyższą wytrzymałość na obciążenia. [4-8]

2.3. Szkło szklarniowe wzorzyste

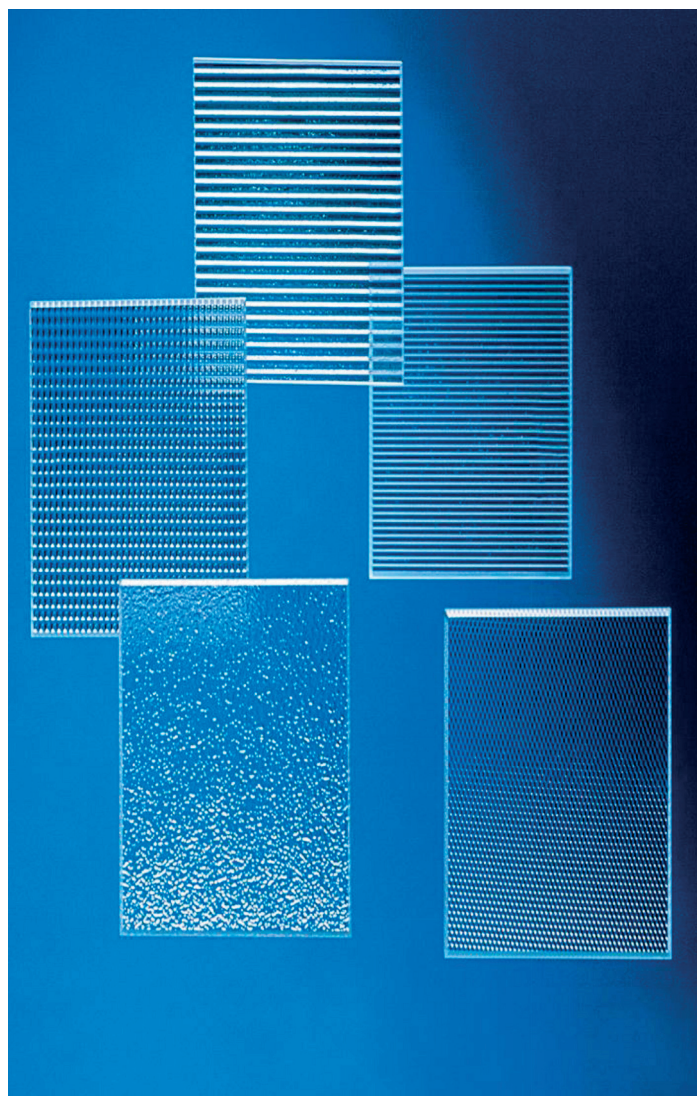
Jest to szkło odlewane o grubości 4 mm, w którym jedna strona jest gładka, a druga chropowata. Światło przenikające przez tafłę na skutek jej chropowatości jest lekko rozproszone. Szkło to stanowi odpowiednik dawnej surówki szklarniowej o wysokim współczynniku przepuszczalności światła i jednocześnie właściwościach rozpraszających światło. [4-8].

2.4. Szkło specjalne

Izolacyjność szkła ciągnionego lub surowego jest niewielka, stąd w ogrodnictwie znalazły zastosowanie takie, które na etapie wytwarzania zostały pokryte jedno - lub dwustronnie warstwą tlenków metali (zazwyczaj tlenku cynku). Pozwala to na zaoszczędzenie od 9 do 30 % ciepła. Jednak takie pokrycie szklarni może być zrealizowane tylko przy uprawie roślin o mniejszych wymaganiach pod względem dostępu światła ponieważ posiada ono średnio o 9% niższą przepuszczalność. Na rynku dostępne jest również szkło o zwiększonej przepuszczalności światła w stosunku do standardowego średnio o ok. 10%. Efekt taki uzyskiwany jest przez pokrycie powierzchni szkła warstwami tlenku tytanu. Zastosowanie szkła specjalnego powoduje jednak znaczne podwyższenie wydatków inwestycyjnych – nawet do 60%. [4-8] Ze względów bezpieczeństwa szkło użyte do krycia dachów szklarni powinno być hartowane. Najczęściej stosuje się w tym przypadku szkło pojedyncze ze względu na zapewnienie odpowiedniego dostępu światła. Nowością w zakresie szkła używanego do krycia szklarni jest wielowarstwowe szkło antyrefleksyjne, które wg danych firm produkujących takie szkło przepuszcza o około 6% więcej światła niż najczęściej używane do pokrywania konstrukcji szkło standardowe. Szkło antyrefleksyjne uzyskuje się poprzez jego obróbkę chemiczną dzięki czemu wierzchnia warstwa nabiera mikroskopijnej szorstkości. [1,9] Są to innowacyjne rozwiązania najczęściej chronione patentami.

2.5. Dyfuzyjne szkło szklarniowe

Dyfuzyjne szkło szklarniowe (szkło rozpraszające światło) jest nowością na rynku wprowadzoną przez jednego z czołowych polskich producentów szkła szklarniowego w 2009 r. Jest to szkło sodowe typu float niskożelazowe modyfikowane powierzchniowo. Na podstawie badań prowadzonych przez firmę [10] w obiektach w których zastosowano ten rodzaj szkła, stwierdzono że zbiory znacznie przewyższają ilości uzyskiwane w obiektach pokrytych szkłem bez właściwości dyfuzyjnych. Przykłady szkła dyfuzyjnego przedstawiono na fot. 1. [11]



Fot. 1. Przykłady szkła dyfuzyjnego [11]

Okazuje się, że rozproszenie światła wpadającego do szklarni daje liczne korzyści powodujące zwiększenie plonów. W szklarni pokrytej szkłem dyfuzyjnym dystrybucja światła jest zupełnie inna w porównaniu do szklarni pokrytej zwykłym szkłem. Dzięki rozpraszającym właściwościom szkła dyfuzyjnego do dolnych partii roślin dociera znacznie większa ilość światła niż miałyby to miejsce w przypadku szklarni nie pokrytych tym szkłem. Rośliny są więc równomiernie nasświetlane na każdym poziomie w odróżnieniu do sytuacji w tradycyjnych szklarniach gdzie dystrybucja światła jest nierównomierna i górne liście otrzymują większość światła. Dzięki zastosowaniu szkła dyfuzyjnego można również osiągnąć korzyści o charakterze ekonomicznym. Szkło dyfuzyjne pozwala na zbliżenie roślin do siebie ponieważ zaciniają się one wzajemnie w znacznie mniejszym stopniu. Dojrzewanie owoców jest również bardziej efektywne w tym przypadku z uwagi na zwiększenie równomierności oświetlania. Kolejną zaletą szkła dyfuzyjnego jest obniżenie temperatury wewnątrz szklarni podczas silnego nasłonecznienia. Jest to związane z efektem

bardziej równomiernej transpiracji roślin od górnych jej partii aż do dolnych. W przypadku szklarni pokrytej tradycyjnym szkłem woda najsilniej wyparowuje z górnych części roślin. Szkło dyfuzyjne wpływa na zmniejszenie różnic temperatur jakie odczuwają rośliny wewnątrz szklarni pomiędzy godzinami o najmniejszym i największym natężeniu promieniowania słonecznego na zewnątrz, co jest korzystne dla ich wzrostu. Latem, kiedy intensywne nasłonecznienie powoduje wzrost temperatury w obiekcie, co jest niekorzystne a nawet szkodliwe dla roślin szkło rozpraszające światło zapewnia ochronę przed bezpośrednią ekspozycją wierzchołków roślin na promieniowanie słoneczne i ich poparzeniem, zacienia uprawę i wpływa na obniżenie temperatury. Podwyższeniu ulega również jakość pracy zespołów pracowników w takich warunkach. [12]

Zasadniczą cechą szkła dyfuzyjnego szklarniowego jest więc możliwość sterowania intensywnością rozpraszania światła proporcjonalnie do intensywności oświetlenia, przy zapewnieniu bardzo wysokich parametrów zarówno transmisji bezpośredniej światła, jak i hemisferycznej - czyli uśrednionej wartości przechodzenia promieni słonecznych pod różnymi kątami w ciągu doby do wnętrza obiektu szklarniowego. Zwykle w przypadku szkła szklarniowego podawana jest bezpośrednia przepuszczalność światła przy kącie padania promieni słonecznych 90° . Jednak o wiele bardziej praktyczną metodą jest badanie transmitancji hemisferycznej, którą stanowi uśredniona wartość przepuszczalności światła przechodzącego przez szkło i mierzonego pod wszystkimi kątami od 0° do 90° co 1° lub co 5° . Przeprowadzenie takiego badania możliwe jest jednak tylko z zastosowaniem wysoko specjalistycznego spektrofotometru z kulą całkującą o odpowiednio dużej średnicy. Pozwala to na dokonanie oceny w jakim stopniu szkło przepuści promieniowanie świetlne o różnych porach dnia kiedy Słońce znajduje się pod różnym kątem nad widnokregiem. Szkło dyfuzyjne umożliwia dostosowanie stopnia rozproszenia i cienia do potrzeb poszczególnych gatunków roślin i do różnych stref klimatycznych. Ponadto, wg producenta tego szkła, ze względu na zastosowaną morfologię posiada właściwości samoczyszczące oraz większą wytrzymałość mechaniczną i obciążeniową. Szkło dyfuzyjne może zostać dodatkowo pokryte powłoką antyrefleksyjną, a także być wyprodukowanym na szkło hartowanym co czyni je bardziej bezpiecznym.

Szkło antyrefleksyjne jest odmianą szkła chemicznie lub magnetronowo przetworzonego o zmienionej morfologii powierzchniowej. Cechuje się niższym współczynnikiem odbicia światła w porównaniu z tradycyjnym szkłem, co stanowi jego dużą zaletę ze względu na to, że dzięki temu wzrasta jego współczynnik przepuszczalności światła.

Według opinii użytkowników szklarni najlepszym rozwiązaniem ograniczenia strat ciepła przez ściany boczne szklarni jest zastosowanie szkła pojedynczego oraz podwójnych kurtyn – cieniującej i termicznej. Uzyskana szczelność między szkłem a ekranami gwarantuje ograniczenie strat ciepła a także możliwość wyboru wersji osłony co pozwala na sterowanie dostępem światła. [1]

3. Wymagania i metodyka badań

Do najbardziej istotnych czynników decydujących o przydatności materiału przekryciowego obiektu, w którym prowadzona jest produkcja roślinna, jest jego przepuszczalność światła, odporność na starzenie się, zabrudzenie, działanie środków chemicznych oraz cechy konstrukcyjne takie jak wytrzymałość na obciążenie, czy odporność na uderzenie. Ze względów energetycznych oraz produkcyjnych równie ważna jest przewodność ciepła oraz zachowanie się kondensatu pary wodnej na powierzchni. [1] Szkło stanowiące razem z innymi elementami materiał konstrukcyjny szklarni musi więc spełnić wymagania dotyczące odporności na obciążenie powodowane przez zmienne warunki klimatyczne takie jak śnieg i wiatr. Natomiast jako materiał osłonowy szklarni powinno zapewnić bardzo wysoką przepuszczalność światła oraz jak najniższe straty ciepła. Polskie normy z zakresu szkła nie zawierają szczególnych wymagań jakościowych dotyczących szkła przeznaczonego do zabudowy w szklarniach. Nie ma też w zbiorach polskich norm normy przedmiotowej z zakresu szkła szklarniowego. Natomiast z uwagi na możliwości zastosowań w szklarniach różnych rodzajów szkieł takich jak szkło ciągnione, float i szkła z modyfikowaną powierzchnią przyjmuje się, że w zakresie wymagań i badań obowiązują normy dla danego typu szkła. Przykładowo są to normy: PN-EN 572-1: 2005

„Szkło w budownictwie. Podstawowe wyroby ze szkła sodowo – wapieniowo – krzemianowego: Definicje oraz ogólne właściwości fizyczne i mechaniczne” [13], której wymagania dotyczą różnych rodzajów szkieł budowlanych. Obciążenie szkła szklarniowego śniegiem, wiatrem czy gradobiciem może znaleźć odzwierciedlenie w metodyce badania wytrzymałości na obciążenie równomierne. Sposób wyznaczania tego parametru podaje norma PN-84/B-13166 „Szkło. Metody badań. Oznaczenie wytrzymałości płyt szkła na obciążenie równomierne” [14]. Zasada metody polega na oznaczaniu wartości ciśnienia niszczącego płytkę szkła (próbkę) o określonych wymiarach zamocowaną dwustronnie na dwóch dłuższych krawędziach. Ciśnienie słupa wody przenoszone jest na powierzchnię próbki szkła poprzez przeponę gumową. Wytrzymałość na obciążenie równomierne oblicza się z oznaczonej wartości ciśnienia niszczącego uwzględniając grubość próbki. Wynik uznaje się za miarodajny jeżeli współczynnik zmienności nie przekracza 25%.

Promieniowanie słoneczne padające na szkło zamontowane w obiekcie budowlanym zostaje nie tylko przepuszczone do wnętrza, ale również ulega odbiciu, oraz absorpcji. Wykresy przepuszczalności i odbicia światła dla wszystkich długości fal stanowią krzywe widmowe szkła. Dla danego promieniowania przepuszczalność i odbicie światła zależą od barwy szkła, jego grubości i w przypadku szkła powlekanego od rodzaju powłoki.

W zakresie pomiaru przepuszczalności światła dla szkła płaskiego, które znajduje zastosowanie jako materiał pokryciowy w szklarniach wytyczne podaje norma holenderska NEN 2675: 1990 „Pomiar przepuszczalności światła - szkło płaskie” [15]. Zawiera ona metodykę wyznaczania współczynnika przepuszczalności światła czyli stosunku intensywności promieniowania przechodzącego do promieniowania padającego na powierzchnię szkła pod kątem 90°C , oraz współczynnika odbicia stanowiącego stosunek intensywności promieniowania odbijanego do promieniowania padającego na powierzchnię szkła prawie pod kątem 90°C . Natomiast aby określić jaka część padającej energii słonecznej zostanie przepuszczona, zatrzymana i odbita oraz wyznaczyć odpowiednie charakterystyki, które mogą służyć jako podstawa obliczeń dotyczących oświetlenia, nagrzewania i ochładzania obiektów budowlanych niezbędne jest przeprowadzenie pełnych badań spektrofotometrycznych. Dzięki nim możliwe jest uzyskanie podstawowych parametrów energetycznych i świetlnych określonych przez wartości przepuszczalności, odbicia i absorpcji promieniowania słonecznego przez przeszkłone ściany. Takie badania wykonywane są w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie z zastosowaniem spektrofotometru z kulą całkującą ILN - 472. Zgodnie z normą PN-EN-410:2011 „Szkło w budownictwie. Określenie świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia” [16] głównymi i jednocześnie najważniejszymi parametrami określającymi właściwości świetlne i słoneczne oszkieł budowlanych są: współczynnik przepuszczalności τ_v i współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego g – solar factor. Na szczególną uwagę zasługuje współczynnik g (solar factor), który jest stosunkiem całkowitej przepuszczalności energii do padającej energii słonecznej. Energia całkowita to suma energii przenikającej do wnętrza bezpośrednio i energii oddanej przez szkło do wnętrza w następstwie jego nagrzania przez absorpcję energii. Wielkość tego współczynnika, określa więc jaka część promieniowania słonecznego padającego na szkło jest całkowicie przez nie przepuszczana bezpośrednio, jak również pośrednio w wyniku absorpcji z następnym wtórnym przekazaniem w postaci energii cieplnej w kierunku wnętrza. Ilość energii cieplnej przekazywanej do wnętrza budynków za pośrednictwem oszkieł kształtuje warunki termiczne wewnątrz obiektów budowlanych. W związku z tym wielkość współczynnika g stanowi jeden z podstawowych parametrów charakteryzujących właściwości użytkowe oszkieł.

4. Wyniki przeprowadzonych badań szkła szklarniowego

Przeprowadzono badania różnych rodzajów szkieł szklarniowych. Były to badania wytrzymałości na obciążenie równomierne, przepuszczalności światła oraz badania świetlnych i słonecznych właściwości szkieł.

4.1. Właściwości mechaniczne

Badanie wytrzymałości na obciążenie równomierne wykonano z zastosowaniem próbek szkła szklarniowego ciągnionego o wymiarach 1100 x 700 mm pobranych ze ścian bocznych szklarni dwóch szklarni (szklarni 1 i szklarni 2). [17] Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

Średnia wytrzymałość na obciążenie równomierne próbek pochodzących ze szklarni 1 wynosiła 33,84 MPa, natomiast dla próbek ze szklarni 2 - 42,13 MPa. Współczynnik zmienności wartości wytrzymałości na obciążenie równomierne dla próbek pochodzących ze szklarni 1 wynosił 5,4 % podczas gdy wartość tego parametru dla próbek ze szklarni 2 osiągnęła wartość 19,7 %. W przypadku wytrzymałości mechanicznej podana w normie [8] wartość wytrzymałości na zginanie wynosząca 45 MPa nie jest precyzyjnym wymaganiem, które powinno być spełnione przez szkło, w tym również szkło do zastosowań w szklarniach lecz ogólnie akceptowaną wartością dla szkła odpężonych, stosowaną w obliczeniach w których nie jest wymagany wysoki stopień dokładności. Uzyskane wartości dotyczą wyrobów (szkła) po wieloletnim użytkowaniu, oddanych procesom korozji pod wpływem działania warunków klimatycznych. Należy więc sądzić, że w chwili zabudowy szkła te charakteryzowały się wyższymi wartościami tego parametru. Wyniki badań podane w tabeli 1 wskazują że szkło zastosowane w konstrukcjach szklarni 1 i 2 spełniało wymagania w zakresie wytrzymałości na obciążenie równomierne, które może symulować obciążenie wiatrem czy śniegiem w warunkach rzeczywistych.

Tabela 1. Wyniki badań wytrzymałości na obciążenie równomierne dla próbek szkła pobranych z dwóch szklarni.

Nr próbki	Średnia grubość szkła [mm]	Ciśnienie niszczące [kPa]	Wytrzymałość na obciążenie równomierne [MPa]
Szklarnia 1			
1	3,98	1,51	30,50
2	4,02	1,66	32,87
3	3,99	1,78	35,78
4	4,08	1,74	33,45
5	4,02	1,79	35,44
6	4,02	1,77	35,05
Szklarnia 2			
1	4,06	1,73	33,58
2	4,05	2,02	39,40
3	3,98	2,78	56,16
4	3,99	2,52	50,65
5	3,98	1,79	36,16
6	4,02	1,86	36,83

4.2. Przepuszczalność światła szkła ciągnionego

Badaniom współczynnika przepuszczalności światła poddano próbki szkła ciągnionego o grubości 3 i 4 mm. Zakres badań obejmował wyznaczenie współczynnika przepuszczalności światła TL[%] zgodnie z normą [15] i [16].

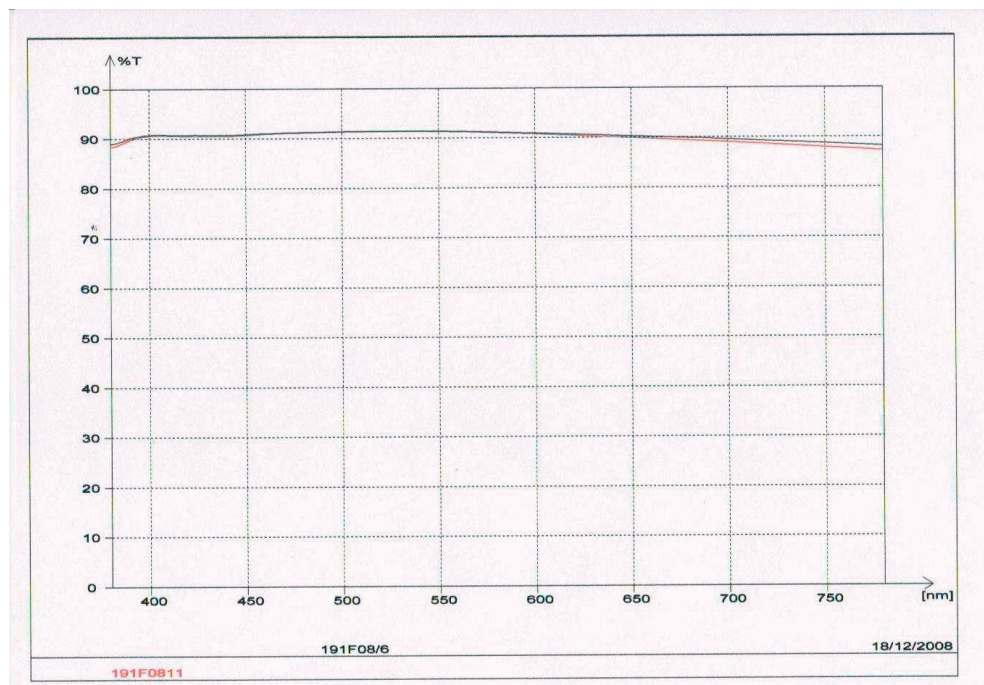
Tabela 2. Wyniki badań współczynnika przepuszczalności światła TL[%].

Nr próbki	Przepuszczalność TL [%] zgodnie z NEN 2675: 1990		Przepuszczalność TL [%] zgodnie z PN-EN-410:2001	
	Szkło o grubości 3	Szkło o grubości 4	Szkło o grubości 3	Szkło o grubości 4
	mm	mm	mm	mm
1	90,9	90,6	91,2	91,0
2	90,9	90,6	91,2	91,0
3	90,9	90,6	91,2	91,0
4	90,9	90,4	91,2	90,9
5	90,9	90,5	91,2	90,9
średnia	90,9	90,5	91,2	91,0

Badania przeprowadzono przy użyciu spektrofotometru UV/VIS/NIR V-570 firmy JASCO. Niepewność rozszerzona pomiarów współczynników przepuszczalności światła przy poziomie ufności 95% i współczynniku $k = 2$ wynosiła 0,3 %. Wyniki badań współczynnika przepuszczalności światła TL[%] zamieszczono w tabeli 2

Na rysunku 1 pokazano charakterystyki spektralne przepuszczalności promieniowania słonecznego w zakresie od 380 nm do 780 nm dla szkieł ciągniętych o grubości 3 i 4 mm.

Uzyskane wyniki wysokiej przepuszczalności światła powyżej 90% dla szkła ciągniętego potwierdziły jego przydatność do zastosowań w szklarniach, zarówno w przypadku szkła o grubości 3 mm jak i 4 mm



Rys. 1. Charakterystyki spektralne przepuszczalności szklarniowego ciągniętego o grubości 3mm (linia czarna) i 4 mm (linia czerwona)

4.3. Właściwości świetlne i słoneczne szkieł dyfuzyjnych nowej generacji

Badaniom właściwości świetlnych i słonecznych zgodnie z normą [16] poddano próbki szkieł dyfuzyjnych o grubości 4 mm. Były to próbki:

- dyfuzyjnego szkła wzorzystego obustronnie (z regularnym wzorem na powierzchni szkła – w postaci pasków) z powłoką antyrefleksyjną oznaczone na potrzeby badań jako 1/1
- dyfuzyjnego szkła wzorzystego obustronnie (z regularnym wzorem na powierzchni szkła – paski) z powłoką typu mat nałożoną dwustronnie oznaczone na potrzeby badań jako 2/1
- dyfuzyjnego szkła wzorzystego jednostronnie (z regularnym wzorem na powierzchni szkła w postaci drobnych pasków) z powłoką antyrefleksyjną oznaczone na potrzeby badań jako 3/1
- dyfuzyjnego szkła wzorzystego jednostronnie (z regularnym wzorem na powierzchni szkła w postaci drobnych pasków) z powłoką antyrefleksyjną oznaczone na potrzeby badań jako 4/1

W tabeli 3 przedstawiono właściwości świetlne i słoneczne dla wybranych typów szkieł dyfuzyjnych.

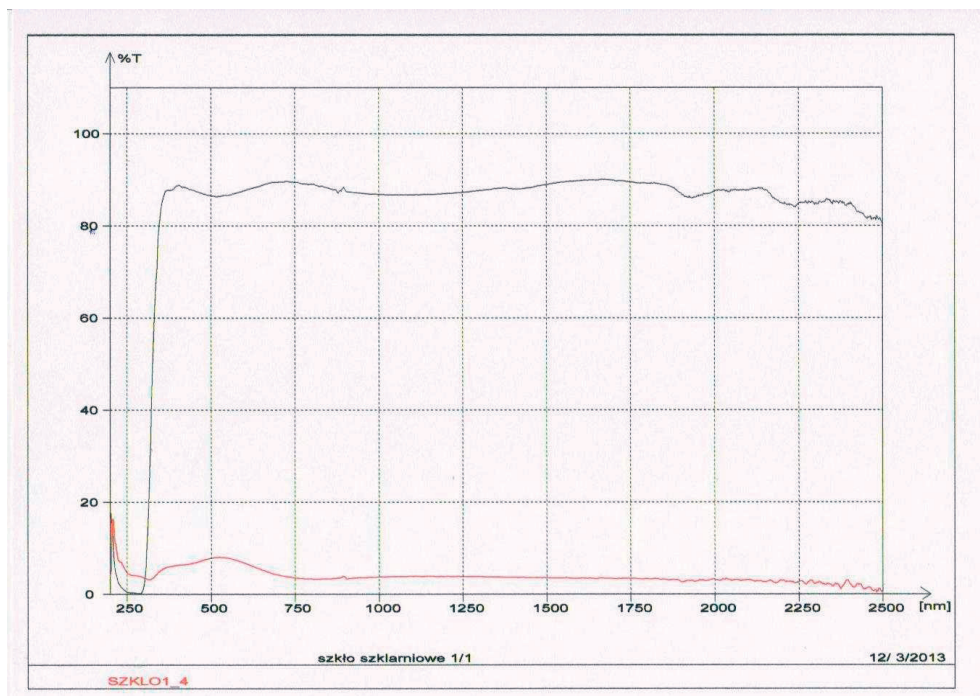
Tabela 3. Właściwości świetlne i słoneczne dla wybranych typów szkieł dyfuzyjnych.

Właściwość		Próbka			
		1/1	2/1	3/1	4/1
Przepuszczalność światła	τ_v	0,870	0,871	0,927	0,908
Odbicie światła*	ρ_v	0,073	0,072	0,066	0,071
Odbicie światła**	ρ_v	0,073	0,072	0,061	0,067
Bezpośrednia przepuszczalność promieniowania słonecznego	τ_e	0,872	0,858	0,909	0,895
Odbicie promieniowania słonecznego*	ρ_e	0,050	0,071	0,064	0,071
Odbicie promieniowania słonecznego **	ρ_e	0,050	0,071	0,060	0,067
Absorpcja bezpośrednia	a_e	0,078	0,071	0,026	0,035
Wtórne przekazywanie ciepła do wewnątrz	q_i	0,018	0,017	0,006	0,008
Współczynnik nasłonecznienia (solar factor)	g	0,891	0,874	0,916	0,903
Przepuszczalność UV	τ_{UV}	0,740	0,763	0,819	0,837
Współczynnik zacinienia	SC	1,02	1,00	1,05	1,04
Ogólny wskaźnik wyrażania barw	Ra	99	98	100	100

* kierunek padania promieniowania z zewnątrz

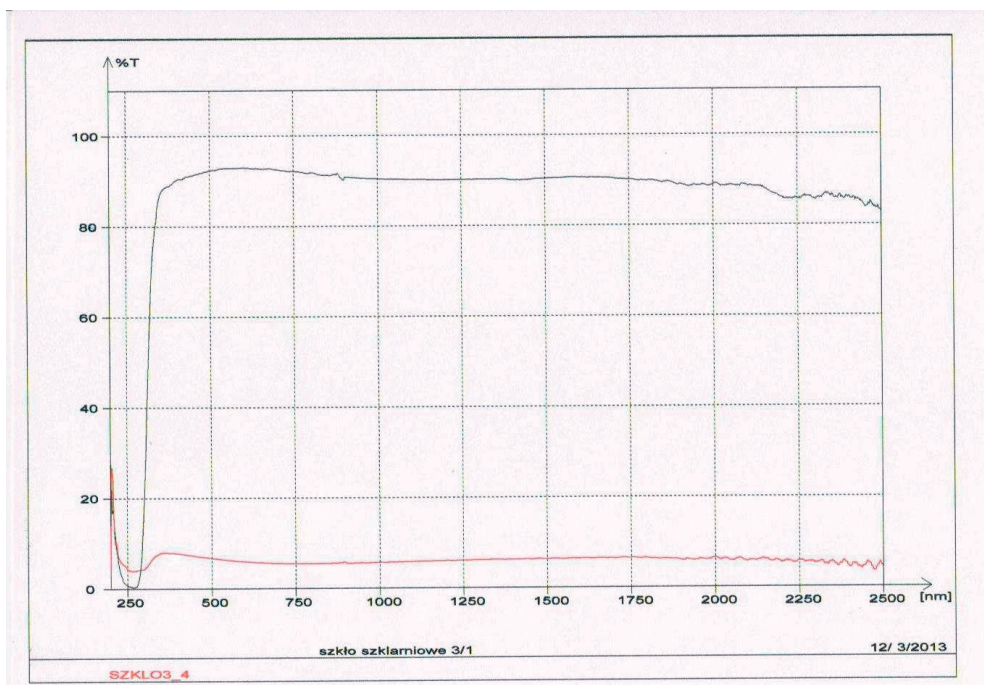
** kierunek padania promieniowania z wewnątrz

Na rys. 2 i 3 pokazano charakterystyki spektralne przepuszczalności i odbicia promieniowania w zakresie od 200 nm do 2500 nm dla wybranych szkieł dyfuzyjnych z powłoką antyrefleksyjną i obustronnym wzorem (rys. 2) oraz wzorem jednostronnym (rys. 3).



Rys. 2. Charakterystyki spektralne przepuszczalności (linia czarna) i odbicia (linia czerwona) dyfuzyjnego szkła szklarniowego z powłoką antyrefleksyjną i obustronnym wzorem

Uzyskane wyniki badania dyfuzyjnych szkieł szklarniowych z powłoką antyrefleksyjną w zakresie różnych parametrów świetlnych i słonecznych pozwalają sądzić, że możliwości doboru odpowiedniego szkła do zastosowania w szklarniach są bardzo szerokie. Biorąc pod uwagę rodzaj uprawy, wymagania roślin oraz strefę klimatyczną istnieje możliwość wyboru szkła o najbardziej optymalnych parametrach, które w korzystny sposób wpłynie na proces wegetacji roślin zwiększając wydajność zbiorów. Szkła mocno rozpraszające powodują nieznaczny spadek transmisji światła. W przypadku szkła z obustronnym regularnym wzorem oraz powłoką antyrefleksyjną stwierdzono nieznacznie obniżoną transmisję światła kształtująca się na poziomie 87% podczas gdy dla szkła z regularnym wzorem jednostronnym oraz powłoką antyrefleksyjną wynosi ona już powyżej 90%. Solar factor g osiągnął niższe wartości dla szkła z obustronnym wzorem i powłoką antyrefleksyjną o około 2% w stosunku do szkła z jednostronnym wzorem i powłoką antyrefleksyjną.



Rys.3. Charakterystyki spektralne przepuszczalności (linia czarna) i odbicia (linia czerwona) dyfuzyjnego szkła szklarniowego z powłoką antyrefleksyjną i jednostronnym wzorem

5. Podsumowanie

Postęp w zakresie szklarniowej produkcji roślinnej stwarza nowe możliwości ale równocześnie stawia ostre wymagania dotyczące warunków uprawy. W ostatnim czasie zauważa się wyraźne zmiany w konstrukcji szklarni i technologii upraw pod osłonami. Obecnie uwaga producentów szkła skierowana jest na wytwarzanie szkła z powłokami zapewniającymi przede wszystkim możliwość kontroli natężenia promieniowania światła ale również ochronę cieplną. Znajduje to odzwierciedlenie w dążeniu do nadawania oszkleniom dodatkowych, sterowanych funkcji umożliwiających poprawę ich efektywności w zakresie dostępu promieni słonecznych. Wszelkie podejmowane prace badawcze w tym zakresie zmierzają do dynamicznego sterowania przepuszczalnością i odbiciem światła oraz energią pochodzącą z promieniowania słonecznego.

Zastosowanie w konstrukcjach szklarni dyfuzyjnego antyrefleksyjnego szkła stanowi innowacyjne rozwiązanie techniczne, oraz alternatywę dla dotychczas wykorzystywanych

szkieł. Wyższe zbiory oraz lepsze warunki pracy dla pracowników wewnątrz szklarni dzięki niższej temperaturze oraz brak bezpośredniej ekspozycji na bezpośrednie działanie promieni słonecznych przy jednoczesnym zachowaniu wysokiego poziomu przepuszczalności światła powodują, że szkło to staje się coraz bardziej popularne.

Literatura:

- 1 Rutkowski K. Najnowsze technologie i rozwiązania techniczne w produkcji ogrodnictwa pod osłonami – Kraków 2011
- 2 Libik A, Starzecki W, Szubski J. Technologia dokarmiania upraw szklarniowych dwutlenkiem węgla przy zastosowaniu prototypowego systemu EUDW-2 Zeszyty Nauk Rolniczych z 429, 195 – 2001
- 3 Sady W. Wpływ składu mineralnego pożywki i wybranych czynników agrotechnicznych na wzrost i plonowanie pomidora w uprawie CKP. Zeszyty Nauk. AR w Krakowie, Seria Rozprawy 1987
- 4 Kurpaska S. Szklarnie i tunele foliowe - 2007 s.17-19
- 5 Chroboczek E. Zasady budowy i wyposażenia szklarni 1971 s. 44-45
- 6 Zabeltitz C. Szklarnie – projektowanie i budowa 1991 s. 60-66
- 7 Lutz A. Inspekty, tunele foliowe, małe szklarnie 1987 s.30-32
- 8 Pinske J. Szklarnie 2008 s. 33-35
- 9 Zwart de H.F., Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation Rusing simulation model PhD, Wageningen University, 1996 – www.owocewarzywa.kwiaty.pl
- 10 <http://www.daglass.pl> (2013)
- 11 Fotografia udostępniona przez firmę DA Glass – Rzeszów – 2013
- 12 Dębicki Z, Bosak P. Dyfuzyjne szkło szklarniowe – www.daglass.pl - 2013
- 13 PN-EN 572 – 1 „Szkło w budownictwie. Podstawowe wyroby ze szkła sodowo – wapieniowo - krzemianowego: Definicje oraz ogólne właściwości fizyczne i mechaniczne”
- 14 PN-84/B - 13166 „Szkło. Metody badań. Oznaczenie wytrzymałości płyt szkła na obciążenie równomierne”
- 15 NEN 2675: 1990 „Pomiar przepuszczalności światła - szkło płaskie”.
- 16 PN-EN 410: 2011 „Szkło w budownictwie. Określenie świetlnych i słonecznych właściwości oszklenia”
- 17 J. Brzezicki, I. Kozubek, A. Mucha Opinia dotycząca jakości szyb zbudowanych w roku 2006 i 2007 w szklarniach gospodarstwa ogrodnictwa – 2012

Glass as a construction material for greenhouses – requiring, research issues, trends of development

Agnieszka Marczevska

Division of Glass Technology, Department of Glass and Building Materials in Krakow, Institute of Ceramics and Building Materials, e-mail: a.marczevska@icimb.pl

Abstract: Selection of optimal performance glass for the greenhouse production has a significant impact on the process of enhancing plant growth by up to ten percent collection efficiency. This paper presents the current state of knowledge about the glasses currently used as cover for a greenhouse. In addition, a list of selected results of the mechanical, light and the sun properties. It was found that adjusting the parameters of transmission and reflection of visible light for glass greenhouse for individual lighting needs for different types of crops depends mainly on the type of coating applied to the glass.

Keywords: greenhouse, greenhouse glass, glass diffuse, light transmittance

Istota biogazowni oraz procesy technologiczne i obiekty w biogazowniach

Andrzej Myczko, Ryszard Konieczny

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy O/Poznań, e-mail: a.myczko@itep.edu.pl

Streszczenie: Zarówno model rozwoju kogeneracji biogazowej, jak również model mikrogeneracji, której rozwój jest w ostatnim okresie preferowany, muszą dopasować stosowane techniki i technologie do tych nowych wymagań. Światowa strategia gospodarcza oraz polityka Unii Europejskiej wymusza na nas wspieranie i rozwój niskoemisyjnych systemów gospodarowania i wytwarzania energii. Pojawia się więc potrzeba poprawy efektywności stosowanych obecnie, w zakresie OZE, technik produkcji. Będzie to wymagało budowy instalacji hybrydowych w sposób umożliwiający nie tylko proste sumowanie efektów, ale przede wszystkim takich, które pozwolą na uzyskanie efektu synergicznego, czyli określonej większej wydajności niż w przypadku stosowania tych systemów równolegle. W artykule przedstawiono istotę procesów technologicznych w zakresie biogazowania biomasy oraz omówiono sposoby poprawy stopnia wykorzystania biomasy. Obecnie stosowane technologie posiadają bowiem jeszcze bardzo duże rezerwy w tym zakresie. Ich uruchomienie umożliwi intensywny rozwój biogazowni przy oszczędnym zaangażowaniu powierzchni dostępnych użytków rolniczych i ograniczonym angażowaniu powierzchni upraw paszowych i konsumpcyjnych. Omówiono również wpływ zastosowanej technologii biogazowania na dobór parametrów poszczególnych elementów konstrukcyjnych instalacji biogazowej.

Słowa kluczowe: biogaz, technologie biogazowania, fermentator, kogeneracja, poferment, separacja, substraty.

1. Wprowadzenie

Zrealizowanie „Polityki Energetycznej Polski do roku 2020” wymaga aby w każdej gminie powstała instalacja biogazowa. Budowa tych instalacji jest ważnym elementem dla realizacji „Założeń Narodowego Programu Gospodarki Niskoemisyjnej”, przyjętych przez Radę Ministrów w dniu 16 sierpnia 2011 r. Założenia te wskazują priorytety i kierunki niezbędnych działań dla zorganizowania nowoczesnej, energooszczędnej i materiałoozczędnej gospodarki, która w oparciu o innowacyjne technologie poprawi pozycję konkurencyjną polskiej gospodarki na europejskim i światowym rynku. Efektem zaplanowanych działań, w horyzoncie czasowym do 2050 roku, powinna być redukcja emisji gazów cieplarnianych i innych substancji zagrażających środowisku przy racjonalnym wykorzystaniu niezbędnych nakładów finansowych.

Projektowanie, budowę i poprawną eksploatację biogazowni rolniczych należy uznać za istotę obu wymienionych powyżej programów, które zapewnią korzyści ekonomiczne, społeczne i środowiskowe poprzez zastosowanie innowacyjnych technologii. Technologie te ograniczą zagrożenia środowiskowe, wygenerują rozproszoną i niskoemisyjną energię oraz umożliwią powstanie nowych miejsc pracy.

Dodatkowym efektem ekonomicznym i społecznym, spowodowanym budową i eksploatacją biogazowni w gospodarstwach rolnych, będzie poprawa dochodów gospodarstw z tytułu sprzedaży energii oraz zmniejszenie kosztów energii niezbędnej do realizacji procesów technologicznych w obrębie gospodarstwa.

Skupiska ludzkie i ich działalność generują wiele pozostałości, które mogą być substratami i kosubstratami do produkcji biogazu. Są to odpady komunalne, przemysłowe, ścieki bytowe oraz pozostałości poprodukcyjne z rolnictwa. Niektóre z nich, zgodnie z ustawą o odpadach, mogą być traktowane jako odpady lub pozostałości poprodukcyjne niebędące odpadami. Przy ich kwalifikowaniu istotny jest fakt tzw. ich „usunięcia” lub

„nieusunięcia” z procesu produkcyjnego. Decydujące dla prawidłowego zakwalifikowania jest między innymi rozstrzygnięcie czy materiał powstał w wyniku ciągłego procesu produkcyjnego. Jeśli tak to może on być zastosowany do produkcji biogazu [5]. W rolnictwie istnieją również duże rezerwy zasobów ziemi, które można wykorzystać do celowej produkcji biomasy na cele energetyczne. Poddając te materiały beztlenowym procesom fermentacji metanowej możemy wyprodukować biogaz, zawierający duże ilości metanu. Gaz ten jest niebezpieczny dla środowiska przyrodniczego. Ma on 21-krotnie większy wpływ na pogłębianie efektu cieplarnianego w stosunku do dwutlenku węgla.

Skład chemiczny biogazu:

- metan CH_4 (52 - 80%),
- dwutlenek węgla CO_2 (14 – do 48%),
- siarkowodór H_2S (0,08 - 5,5%),
- wodór H_2 (0 - 5%),
- tlenek węgla CO (0 - 2,1%),
- azot N_2 (0,6 - 7,5%),
- tlen (0,2 - 0,1%).

Metan jest gazem bezwonny, łatwopalny, bardzo szkodliwy dla atmosfery. Niszczy warstwę ozonową dwudziestokrotnie silniej, niż dwutlenek węgla. Jednak spalany w specjalnych instalacjach nie jest już szkodliwy dla środowiska. W czasie spalania 1 m^3 metanu powstaje około 1,6 kg wody w postaci pary. Do spalania 1 m^3 metanu potrzeba około 10 m^3 powietrza. Wykorzystywany jest on jako biopaliwo. Jego wartość opałowa wynosi 20-27 MJ/m^3 , jednak do obliczeń związanych z projektowaniem instalacji biogazowych oraz do doboru wielkości układu kogeneracyjnego należy przyjmować wartości nie wyższe niż 20 MJ/m^3 [7]. Biogaz może być również wykorzystany do oświetlania i napędu silników, natomiast pozostałość, tzw. masa pofermentacyjna może służyć jako naturalny bądź wzbogacony nawóz lub po odwodnieniu może być wykorzystana do spalania lub współspalania.

2. Fermentacja metanowa

Fermentacja w biogazowniach jest to beztlenowy proces biochemiczny wywołany poprzez mikroorganizmy rozkładające materię organiczną zawartą w substratach wchodzących w skład odpowiednio zaprojektowanej mieszaniny fermentacyjnej. Przy czym poszczególne substraty, o znanej (ustalonej wcześniej w badaniach laboratoryjnych) wartości metanotwórczej powinny zapewnić mieszaninie właściwą pojemność buforową, czyli zdolność do utrzymania PH w zoptymalizowanym zakresie po dodaniu silnej zasady lub silnego kwasu oraz właściwe obciążenie fermentatora suchą masą. Przeciążenie fermentatora suchą masą skutkuje nieodwołalnie obumieraniem flory bakteryjnej i w efekcie spadkiem lub całkowitym zanikiem produkcji biogazu. Należy pamiętać, że granica pompowności mieszaniny fermentacyjnej w układach hydraulicznych biogazowni jest co prawda określona maksymalnym poziomem 14% suchej masy, jednak dla większości mieszanin zawartość suchej masy, przy fermentacji metodą moką nie może przekroczyć 12%. Zwykle, dla mieszanin opartych na substratach rolniczych wartość ta, zależnie od rodzaju stosowanej technologii zawiera się pomiędzy 6 a 10 %.

Tabela 1. Przykładowe zawartości suchej masy (sm) i suchej masy organicznej (smo) w substratach i mieszaninie fermentacyjnej.

		Rodzaj substratu		
gnojowica	kiszonka	słoma	Mieszanina fermentacyjna	jednostka
8	30 - 35	98	8 - 14	sm - % śm
85	95	3,5 - 4,0	90	smo - % sm
6 - 7	30	3,5 - 4,0	6 - 13	smo - % śm
92	68	2	86	woda - % śm

O ile w fazie opracowywania założeń techniczno- technologicznych dla biogazowni dopuszczalne jest posługiwanie się tabelarycznymi wartościami biogazodochodowości substratów i kosubstratów planowanej do przerobu mieszaniny fermentacyjnej, to na potrzeby projektowania instalacji w ustalonej już lokalizacji należy przyjmować dane

pochodzące z badania konkretnych komponentów, które będą tworzyły mieszaninę fermentacyjną z dostępnych lokalnie surowców. W pierwszej kolejności powinny być przeprowadzone badania poszczególnych substratów w układzie statycznym. Ich wyniki powinny być podstawą do przeprowadzenia analiz w odpowiednim arkuszu kalkulacyjnym. Należy stosować takie arkusze kalkulacyjne, które umożliwiają zamodelowanie wszystkich niezbędnych danych do wykonania projektu konkretnej instalacji biogazowej.

Tabela 2. Wpływ parametrów technologicznych na wybrane parametry techniczne biogazowni [3]

Parametry	Receptura mieszaniny fermentacyjnej			
	1	2	3	4
Gnojowica (8% sm) - tr^{-1}	4600	1600	1200	860
Kiszonka (32% sm) - tr^{-1}	-	470	320	350
Pozostałości z przetwórstwa (46% sm) - tr^{-1}	-	-	550	950
Hydrauliczny czas retencji (HRT) - dni	12	24	24	24
Uzysk biogazu - m^3r^{-1}	124200	132600	143900	177000
Uzysk Energii - kWh	260800	278500	312150	381200
Obliczeniowa moc układu (dla 30% sprawności)	25	25	29	36
Minimalna pojemność zbiornika pofermentacyjnego (m^3)	1400	700	700	700

Wyniki uzyskane z przeprowadzonych kalkulacji powinny stanowić podstawę do weryfikacji opracowanej technologii w badaniach przeprowadzonych w układzie dynamicznym, w laboratoryjnej mikroinstalacji. Dopiero w ten sposób uzyskane dane mogą posłużyć do wykonania ostatecznych symulacji kalkulacyjnych, które mogą być wykorzystane na potrzeby projektowania i do wykonania ocen ekonomicznych. Dane te są również podstawą do oprogramowania urządzeń pomiarowych i sterujących biogazowni.

Proces fermentacji metanowej, któremu poddawana jest mieszanina fermentacyjna można podzielić na cztery fazy:

Faza hydrolityczna - podczas której zachodzi rozkład spolimeryzowanych związków organicznych za pomocą enzymów hydrolitycznych produkowanych przez bakterie beztlenowe. Białka rozkładane są do aminokwasów, węglowodany do cukrów prostych, natomiast tłuszcze do alkoholi i małocząsteczkowych kwasów tłuszczowych.

Faza kwasowa - jest to etap zakwaszania, w którym produkty hydrolizy są rozkładane do prostych kwasów tłuszczowych, alkoholi, aldehydów, dwutlenku węgla, wodoru, siarkowodoru.

Faza octanowa - w której kwasy tłuszczowe oraz etanol są przetwarzane przez bakterie octanowe do kwasu octowego, dwutlenku węgla i wodoru

Faza metanotwórcza nazywana również metanogenezą - w jej trakcie bakterie metanowe wytwarzają metan. Bakterie te są bardzo wrażliwe na zmiany warunków środowiskowych. Dlatego podczas tej fazy należy zachować parametry procesowe w zakresach dopuszczalnych odchyleń, aby proces przebiegał bez zakłóceń.

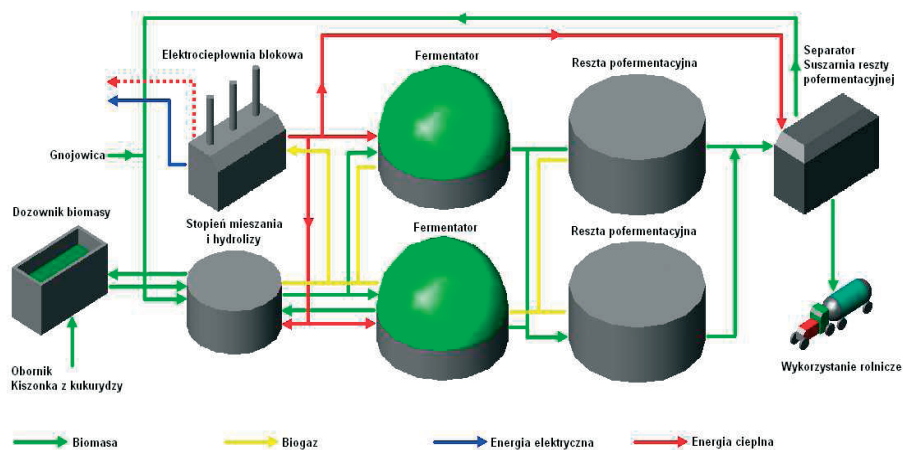
Tabela 3. Schemat procesu fermentacji beztlenowej (oprac. własne)

Mieszanina fermentacyjna złożona z substratów i kosubstratów	
Odczyn pH 4,5 – 6,2	HYDROLIZA (trawienie) Aminokwasy, cukry proste, alkohole, kwasy tłuszczowe
	Faza Kwasowa (kwasogenezą) Kwasy tłuszczowe, alkohole, aldehydy, CO_2 , H_2S , H_2
Odczyn pH 6,8 – 7,5	Faza Octanowa (acetogenezą) Kwas octowy, CO_2 , H_2
	Faza Metanotwórcza (metanogenezą) BIOGAZ CH_4 , CO_2 , H_2S , H_2 , N , O_2 , H_2O

3. Istota instalacji biogazowych

Biogazownia jest instalacją służącą do celowej produkcji biogazu z biomasy roślinnej, pozostałości poprodukcyjnych oraz odpadów. Najczęściej składa się z:

- układu podawania biomasy i wstępnego przygotowania mieszaniny,
- komory lub komór fermentacyjnych,
- układu oczyszczania biogazu,
- zbiornika magazynowego przefermentowanej biomasy (pofermentu),
- zbiornika biogazu,
- agregatu kogeneracyjnego,
- urządzeń dodatkowych, związanych ze sposobem wykorzystania biogazu, ciepła oraz sposobem wykorzystania pofermentu.



Rys. 1. Schemat biogazowni rolniczej mogącej pracować w procesie jednoetapowym lub dwuetapowym (opr. własne)

Prawidłowy przebieg fermentacji możliwy jest dopiero wtedy, gdy zostaną zachowane odpowiednie parametry technologiczne:

Fermentacja mokra wymaga takiej ilości wody, która zapewni pompowalność mieszaniny oraz zoptymalizowaną zawartość suchej masy. Ze względu na wysokie koszty wody należy zastępować ją płynnymi substratami rozcieńczającymi lub płynną frakcją odwirowanego pofermentu.

Warunki beztlenowe - bardzo ważnym czynnikiem jest również zachowanie *beztlenowych warunków* w przestrzeni fermentacyjnej. Niewielkie ilości tlenu mogą być aplikowane wyłącznie w strefie powyżej rusztowania wsporczonego powłoki zbiornika biogazowego w fermentatorach z nabudowanym zbiornikiem magazynującym biogaz. Rolą tego tlenu jest podtrzymanie rozwoju bakterii tlenowych oszczędzających się na rusztowaniu i wewnętrznej, elastycznej powłoce zbiornika, które są odpowiedzialne za wstępną fazę oczyszczania biogazu z siarkowodoru.

Zakres temperatury który należy utrzymać w zbiornikach fermentacyjnych zależy od rodzaju mikroorganizmów, charakterystycznych dla zastosowanej technologii i optymalnych warunków ich bytowania (psychrofilne, mezofilne, termofilne).

Stężenie jonów wodorowych (pH) – w zależności od fazy procesu ustala się odpowiednią wartość pH: fazy hydrolitycznej i kwasowej wymagają środowiska kwasowego (pH = 4,5 – 6,2), natomiast bakterie octanowe i metanotwórcze preferują zasadowe środowisko reakcji (pH = 6,8 – 7,5).

Dostępność substratów – odpowiednio zbilansowany skład i proporcje substratów i kosubstratów tworzących mieszaninę fermentacyjną pozwalają na uzyskanie najbardziej optymalnych warunków procesu i najwyższej wydajności pod względem ilościowym oraz pod względem zawartości metanu w biogazie.

Inhibitory reakcji – są to związki, czynniki których niewielka ilość może zahamować lub spowolnić cały proces. Mogą to być nieodpowiednie warunki w komorze fermentacyjnej, zbyt duża ilość podanego substratu, obecność metali ciężkich, amoniaku, antybiotyków, środków ochrony roślin, które przedostają się razem z substratami itp.



Fot. 1. Prawidłowo zaprojektowany węzeł podawania biomasy w biogazowni 2 MW w Dreźnie: lewa strona – substraty płynne, prawa - kiszonka (fot.A.Myczek)

Obciążenie suchą masą – zbyt duża ilość suchej masy organicznej może spowolnić lub nawet zahamować proces. Optymalny udział suchej masy w komorze podczas mokrej fermentacji to 8 – 12%. Fermentacja sucha zachodzi przy większej proporcji suchej masy i może osiągać wartości 30 – 45%.

Obciążenie objętościowe – jest to dopuszczalna ilość suchej masy organicznej zawartej w mieszaninie substratów przepływających przez 1 m³ zbiornika fermentacyjnego w jednostce czasu.

Hydrauliczny czas retencji (HRT) – jest to czas, w którym mieszanina substratów przebywa w komorze fermentacyjnej. Powinien on być odpowiednio długi, aby umożliwić całkowity rozkład związków organicznych. Jednocześnie zbyt długi czas retencji związany jest z przewymiarowaniem komory fermentacyjnej i dodatkowymi kosztami inwestycyjnymi.

Dynamiczna równowaga objętościowa – polega ona na zachowaniu odpowiednich ilości i proporcji substancji dostarczanej do procesu i z niego odbieranej. Zachowanie tej zasady pozwala na prowadzenie fermentacji w sposób ciągły.

Tabela 4. Radzaje procesów fermentacji metanowej

Kryterium	Rodzaj procesu
Liczba etapów procesu technologicznego	jednoetapowy dwuetapowy wieloletapowy
Temperatura procesu technologicznego	Psychrofilny 10 - 25°C Mezofilny 32 - 38°C Termofilny 52 – 55 °C
Sposób załadunku wsadu	nieciągły – przy fermentacji suchej i sucho-mokrej quasi ciągły oraz ciągły - przy fermentacji mokrej
Zawartość suchej masy w substratach	fermentacja mokra do 12% fermentacja sucha powyżej 12%

Mieszanie – czynność ta zabezpiecza przed tworzeniem się kożucha w warstwie powierzchniowej, zbryleń oraz rozwarstwianiu się (sedymantacji) poszczególnych składników mieszaniny. Procesy te mogłyby zahamować uwalnianie powstałego biogazu. Mieszanie powoduje homogenizację mieszniny reakcyjnej. Bakterie znajdują się w całej objętości mieszaniny. Intensywność mieszania nie powinna rozbijać zagregowanych skupisk mikroorganizmów aby nie wywołać hamowania procesu fermentacji.



Fot. 2. Różne systemy mieszania – różne nakłady energetyczne (fot. A.Myczko)

Skład biogazu – CH_4 , CO_2 , $\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$, H_2S , N_2O , CO , O_2 , N_2 , H_2 . Zawartość metanu świadczy o wydajności procesu, ale zależy głównie od wydajności substratów tworzących mieszaninę fermentacyjną oraz zachowania prawidłowych parametrów procesu. Najwięcej problemów podczas oczyszczania biogazu stwarza jego zanieczyszczenie siarkowodorem (H_2S), którego duże ilości pojawiają się gdy w mieszaninie mamy duże ilości wywaru gorzelnicznego oraz pozostałości poprodukcyjne z przetwórstwa. Zawartość siarkowodoru w biogazie dostarczanym do agregatu kogeneracyjnego, przekraczająca 560 ppm powoduje najczęściej utratę gwarancji na eksploatowany agregat. Zalecana, przez producentów agregatów zawartość H_2S to 260 ppm, natomiast w biogazowniach stosujących duże ilości wywaru i pozostałości poprodukcyjnych notuje się do 3000 ppm H_2S w biogazie. Najskuteczniejszym sposobem ochrony agregatu jest wtedy oczyszczanie biogazu węglem aktywnym, rudą darniową lub zastosowanie technik odsiarczania chemicznego.

W typowych instalacjach zawartość metanu w biogazie wynosi od 45 do 75%. Biogazownie mogą pracować w systemach CHP, czyli skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła w agregatach kogeneracyjnych. Energia elektryczna jest przesyłana do sieci energetycznej, a część jest zwykle zużywana jest na własne potrzeby. Energia cieplna, w pierwszej kolejności używana jest do ogrzewania komory fermentacyjnej, natomiast nadwyżka może być sprzedana np. do ogrzania pobliskiego osiedla, budynku lub kierowana do zewnętrznej sieci ciepłowniczej. Biogaz po odpowiednim oczyszczeniu do parametrów gazu sieciowego może być również wtłoczony do sieci gazowej. W dużych instalacjach, powyżej 2 MW koszty instalacji służącej do oczyszczania biogazu do parametrów gazu sieciowego są porównywalne z kosztami instalacji kogeneracyjnej. Biogaz z małych instalacji posieciowych lub prosumenckich może być również, w sposób ekonomicznie uzasadniony wykorzystany do napędu pojazdów np. rolniczych (fot.1), jednak budowa dużych systemów opartych na tej technologii, ze względu na koszty budowy i eksploatacji takiego systemu jest ciągle nieekonomiczna w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi.

Najprostsze instalacje działają w oparciu o proces jednoetapowy. Wszystkie fazy procesu zachodzą wtedy równocześnie, w jednym lub równolegle w kilku zbiornikach fermentacyjnych. Bardziej zaawansowane technologie pozwalają oddzielić od siebie poszczególne etapy i prowadzić je w oddzielnych zbiornikach fermentacyjnych. Wtedy łatwiej jest dostosować środowisko reakcji do odpowiedniej grupy drobnoustrojów. Ten sposób podnosi jednak koszty inwestycji i dlatego jest rzadko stosowany, bowiem lepszą sprawność wykorzystania właściwości metanotwórczych biomasy można uzyskać poprzez wstępną obróbkę mieszaniny fermentacyjnej, metodami zwiększającymi dostępność materii organicznej zawartej w biomase dla mikroorganizmów.

4. Sposoby i kierunki doskonalenia technik biogazowania

Obecny stan wiedzy o eksploatacji biogazowni rolniczych dotyczy stosunkowo dużych instalacji o mocy od 250kW do 3MW oraz stosunkowo nieskomplikowanych technologii wykorzystania biomasy produkowanej głównie na gruntach ornych. Liczne doniesienia naukowe dotyczą standardowych prób fermentacji metanowej substratów i kosubstratów stanowiących pozostałość poprodukcyjną oraz produkty uboczne

powstające w obrębie gospodarstw rolnych oraz na terenach wiejskich. Publikacje z tego zakresu dostarczają wiedzy o wydajności biogazotwórczej poszczególnych rodzajów stosowanej do biogazowania biomasy [2]. Znacznie mniej dostępnych publikacji zawiera wyniki badań w zakresie przygotowywania konkretnych mieszanin fermentacyjnych z dostępnych substratów i kosubstratów o znanej już wydajności biogazotwórczej [7]. Badania takie są prowadzone w naszym Instytucie [3, 7]. Nieliczne badania dotyczą wzajemnych oddziaływań inhibicyjnych oraz opracowań dotyczących optymalizacji mieszanek fermentacyjnych zawierających tzw. „substraty trudne”, które albo mogą oddziaływać hamująco na proces fermentacji (np. nasiona roślin strączkowych), albo są przyczyną nadmiernej ilości siarkowodoru w biogazie (np. wywar gorzelniany), albo są źródłem emisji odorowych (np. odpady cebuli itp.).

W kilku już eksploatowanych biogazowniach rolniczych w Polsce występują problemy z zanikiem procesu fermentacji, z wystąpieniem zagrożeń odorowych oraz z nadmierną ilością siarkowodoru w biogazie. Skutkiem tej sytuacji jest utrata gwarancji na drogie agregaty kogeneracyjne. Dla prawidłowego rozwoju rynku biogazowego w Polsce istotne jest więc aby problemy występujące w dużych biogazowniach (zawodowych) nie były przenoszone na małe, prosumenckie instalacje lokalizowane bezpośrednio w gospodarstwach rolnych. Poza tym obecnie stosowane technologie w małym jeszcze stopniu wykorzystują potencjał metanotwórczy substratów biomasowych. Natomiast dostępne wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że istnieją liczne metody intensyfikacji produkcji biogazu [1, 9].

Wiele z tych metod było już weryfikowanych na biogazowniach współpracujących z komunalnymi oczyszczalnią ścieków, natomiast w biogazowniach rolniczych dotychczas ograniczano się do takich metod jak:

- Właściwy dobór kosubstratów i ich proporcji do substratu strategicznego;
- Dodawanie mikroelementów (Cu, Zn, Mo, Fe, Co, Ni) w celu ograniczenia hamującego działania składników występujących w nadmiarze lub zbyt małej ilości;
- Dodawanie substancji porowatych takich jak węgiel brunatny, węgiel drzewny, bentonit, fosforyt, zeolit, pektyny, żel silikonowy itp., które tworząc strukturę zwiększającą powierzchnię dla rozwoju bakterii, poprawiają tempo i stabilność reakcji, a tym samym zwiększają wydajność;
- Dodawanie chlorku żelazawego lub innych soli żelazowych w celu związania siarkowodoru, który jest toksyczny dla bakterii metanotwórczych. Dodatek tych soli poprawia również dostępność dla bakterii mikroelementów i umożliwia ograniczenie ich dodawania w formie syntetycznej [12];
- Dodawanie substancji inokulujących, zawierających wyselekcjonowane szczepy bakterii, w celu zwiększenia populacji bakterii odpowiedzialnych za hydrolizę celulozy. Umożliwia to przyspieszenie fermentacji oraz poprawia przemianę lotnych związków organicznych w metan;
- Przyspieszanie hydrolizy biologicznej poprzez prowadzenie fazy hydrolizy w oddzielnym zbiorniku i oddzielenie jej od fazy fermentacji metanowej z jednoczesną recyrkulacją części zawartości fermentatora do zbiornika hydrolitycznego w celu dostarczenia do niego pożądanej dla procesu mikroflory;
- Dezintegracja chemiczna lub enzymatyczna, które są reakcjami zachodzącymi stopniowo. Reakcje te wywołują zwiększenie rozpuszczalności powstających polimerów oraz znaczne obniżenie lepkości. Szybkość procesu hydrolizy chemicznej zależy od stężenia użytego kwasu (czynnika katalizującego) oraz od temperatury procesu. Duże znaczenie ma tutaj również pochodzenie skrobi, a przede wszystkim wielkość ziaren skrobiowych. Enzymy natomiast spełniają rolę katalizatorów zapobiegających, przede wszystkim, odwracalności reakcji chemicznych.

W praktyce eksploatacyjnej oraz w dotychczasowych badaniach laboratoryjnych nad opisanymi powyżej technikami ustalono, że aby bakterie otrzymywały dostateczną porcję substancji odżywczych stosunek C:N:S:P powinien wynosić 600:15:5:1. Autor tej podaje, że dodatek węgla drzewnego do stabilnie pracującego laboratoryjnego fermentatora spowodował wzrost produkcji biogazu o 17-35%, zaś dodatek żelu silikonowego nawet o 100%, przy jednoczesnym wzroście stężenia metanu w biogazie o 62-73%. W tych

samych badaniach stwierdzono, że inokulacja fermentatora zasilanego mieszaniną osadu ściekowego, gnojowicy wieprzowej i topinamburem, szczepem bakterii produkującym celulazę i wodór spowodowała wzrost tempa produkcji biogazu o 60%. W odniesieniu do wstępnej hydrolizy biologicznej gnojowicy bydłowej, poprzez przetrzymanie mieszaniny fermentacyjnej przez 1-2 dni w temp. 30-35 stopni C uzyskano wzrost produkcji biogazu o 17-19% i wzrost stężenia metanu z 68-75% do 75-86%. Ten ostatni sposób może być wykorzystany do fermentacji metanowej wysłodków z buraka cukrowego i odpadów gastronomicznych.

Oprócz opisanych powyżej technik do poprawy sprawności i wydajności procesu fermentacji metanowej w biogazowniach rolniczych, można zastosować metody wymagające zastosowania innowacyjnych urządzeń technicznych [11]. Metody te wymagają zastosowania dodatkowych, niestosowanych dotychczas w praktyce produkcyjnej urządzeń, o parametrach dostosowanych do skali produkcji i wielkości eksploatowanych biogazowni. Wiedza w tym zakresie jest jeszcze skromna, a praktyczne zastosowanie w odniesieniu do instalacji rolniczych wymaga jeszcze szczegółowych badań, które umożliwią ich zastosowanie do doskonalenia sprawności i wydajności konwersji biomasy w energię elektryczną i ciepło, przy jednoczesnym nacisku na efekty proekologiczne w całym cyklu życia oraz na efekty ekonomiczne. Praktyczne udostępnienie tych technologii będzie również wymagało szczegółowych ocen dotyczących ochrony środowiska oraz poddania ich oceną ekologiczną. W poznańskim oddziale Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego [10] badano negatywne zmiany wzrostu wykorzystania surowców odnawialnych w postaci upraw roślin na cele energetyczne, które powodują przekształcenie upraw, a w dalszej konsekwencji gruntów i mogą doprowadzić do negatywnych zmian w bilansie emisji gazów cieplarnianych. Współczynnik pośrednich przekształceń użytkowania gruntu (iLUC – indirect Land Use Change), został określony jako wyraz prawdopodobnych zmian. Zastosowano metodykę LCA (Life Cycle Assessment) dla celów szacowania emisji powodowanej przez jednostkę energii w jej cyklu życia. Metoda ta ocenia wszystkie obciążenia środowiska, wywierane przez produkt w całym cyklu życia produktu, czyli od powstania aż do utylizacji. Wyniki przeprowadzonych symulacji wskazały, że pozyskanie energii z biogazu powoduje mniejsze obciążenie środowiska atmosferycznego aniżeli zastosowanie paliw konwencjonalnych. Wykorzystanie upraw roślin do produkcji biogazu, spowodowało jednakże zwiększenie emisji wynikające z powstania jednostki energii. Na potrzeby obecnych badań założono, że zwiększenie stopnia wykorzystania biomasy przeznaczony do biogazowania oraz wzrost sprawności całej instalacji biogazowej spowodują zmniejszenie obciążenia środowiska powodowane stosowaniem biomasy do celów energetycznych.

Najważniejsze metody, które umożliwiają wzrost wydajności metanotwórczej substratów, wymagające zastosowania urządzeń technicznych to:

- Dokładne rozdrabnianie mechaniczne biomasy młynami młotkowymi, kulowymi, koloidalnymi itp. w celu zwiększenia powierzchni kontaktu enzymów z substratem. Umożliwia to wzrost produkcji biogazu i metanu w przeliczeniu na jednostkę smo (suchej masy organicznej) zastosowanej biomasy. Na rynku są jednak dostępne urządzenia o bardzo zróżnicowanej energochłonności i wybór najmniej energochłonnego urządzenia przydatnego do obróbki substratów rolniczych, zwłaszcza w mieszaninach fermentacyjnych z dużym udziałem niespożywczych materiałów lignocelulozowych wymaga jeszcze szczegółowych badań. Cechą charakterystyczną tych urządzeń jest bezpośrednia zależność pomiędzy dokładnością rozdrobnienia, a energochłonnością. Funkcją celu przy optymalizacji tego sposobu powinien być więc jednostkowy koszt wyprodukowanej energii;
- Dezintegracja za pomocą ultradźwięków polega na działaniu wysokimi energiami ultradźwięków, które rozbijają struktury pojedynczych komórek, uwalniając z nich związki organiczne co umożliwia szybszą ich fermentację. Metoda ta skraca proces fermentacji i zwiększa stopień odfermentowania substratów. Ułatwia również odwodnienie osadów pofermentacyjnych. Na rynku występują typowe urządzenia mogące znaleźć zastosowanie również w instalacjach o małej wydajności;
- Hydroliza termiczna (*THP – Thermal Hydrolysis Process*) powoduje dezintegrację

struktur komórkowych jednocześnie sterylizując mieszaninę fermentacyjną [11]. W trakcie procesu następuje również zmniejszenie lepkości obrabianego materiału. Proces polega na wprowadzeniu do wypełnionej biomasą szczelnej komory, nasyconej pary wodnej. W znanych technologiach stosuje się zakresy temperatur od 150 do 200 stopni Celsjusza przez około 30 minut oraz zakres ciśnień od 6,5 do 10 bar. Optymalne parametry zapewnia się poprzez stopniowe podgrzewanie i ochładzanie biomasy oraz szybkie rozprężanie, kontrolując ciśnienie i temperaturę w sposób zautomatyzowany. W znanych już instalacjach np. firmy CAMBI oraz firmy Dauscher, jako wsad energetyczny do podgrzewania procesu wykorzystuje się ciepło odzyskane z instalacji kogeneracyjnej (CHP). Niestety na rynku brak urządzeń, które można by zastosować w małych, prosumenckich instalacjach;

- Ekstruzja – jest techniką powszechnie stosowaną w procesach przetwarzania surowców pochodzenia biologicznego na cele spożywcze. Polega ona na przetwarzaniu biomasy organicznej przez zespoły sitowe pod wysokim ciśnieniem, w temperaturze od 130 do 180 stopni Celsjusza oraz szybkim jej ochłodzeniu. Proces ekstruzji poprawia dostępność składników pokarmowych zawartych w biomasie. W porównaniu do hydrolizy termiczno-ciśnieniowej nie zawsze jednak następuje zmniejszenie lepkości biomasy.

Jak wynika z opisu dotychczasowego stanu wiedzy, duża różnorodność technik możliwych do zastosowania w doskonaleniu rolniczych instalacji biogazowych powoduje, że ocena wpływu na środowisko naturalne zastosowanych rozwiązań technologicznych i technicznych jest bardzo trudna i niejednoznaczna. Wielkość nakładów energetycznych niezbędnych do realizacji procesu, koszty inwestycyjne, koszty eksploatacyjne, sprawność elektryczna zastosowanych układów kogeneracyjnych, stopień i sposób wykorzystania ciepła z kogeneracji będą decydowały o proekologiczności budowanych i eksploatowanych w gospodarstwach rolnych instalacji. Dane te są niezbędne do oceny produktów metodą LCA.

5. System serwisowania

W trakcie użytkowania biogazowni nawet przy zachowaniu normalnych parametrów pracy, będą występować objawy naturalnego zużycia elementów konstrukcyjnych instalacji.

Destrukcja elementów betonowych może być spowodowana korozyjnym działaniem na materiał betonowy i elementy zbrojenia.

Zużycie urządzeń mechanicznych następuje najczęściej na skutek wzajemnego tarcia współpracujących elementów. Efekt mechanicznego zużycia w wyniku ścierania jest zwiększany w środowisku powodującym korozję, a także – na skutek tarcia elementów o cząstki stałe zawieszone w cieczy. W przypadku metalowych elementów zmniejszanie się ich wytrzymałości z powodu zmniejszania się wymiarów przekrojów na skutek tarcia i korozji może, w przypadku przekroczenia tzw. stanów granicznych, doprowadzić do uszkodzenia, a w konsekwencji – do awarii instalacji. W celu wyeliminowania nieplanowanych przerw w pracy instalacji należy przestrzegać zasad tzw. *planowo-zapobiegawczego systemu przeglądów i napraw*.

Znając tzw. *resurs*, (czyli przewidywaną liczbę bezawaryjnej pracy elementu) dostawca powinien określić tzw. *przebiegi międzynaprawcze* i pomóc w zaplanowaniu przerw w produkcji dla dokonania rutynowego przeglądu technicznego i ewentualnej wymiany elementów. Zmniejsza to zdecydowanie zapasy części zamiennych, ułatwia organizację pracy służb remontowych, zmniejsza przestoje spowodowane niespodziewanymi naprawami bieżącymi, a w konsekwencji – prowadzi do obniżki kosztów eksploatacji.

Biogazownia, której produktem finalnym jest energia elektryczna i ciepło jest, podobnie jak elektrownia, zakładem o ruchu ciągłym. Proces wytwarzania biogazu w komorach fermentacyjnych trwa nieprzerwanie 24 godziny na dobę. Zatrzymanie procesu fermentacji, choćby na krótko wiąże się z długim okresem dochodzenia do pełnej wydajności.

Zarówno w interesie właściciela – użytkownika biogazowni jak i odbiorców energii jest utrzymanie *wysokiej niezawodności biogazowni* (pojedynczej lub grupy instalacji). Niezawodność jest pojęciem służącym do określenia cech danego urządzenia technicznego. Warto tutaj przytoczyć jedną z definicji niezawodności.

Niezawodność (ang. *reliability*) jest to własność obiektu mówiąca o tym, czy pracuje on poprawnie (spełnia wszystkie powierzone mu funkcje i czynności) przez wymagany czas i w określonych warunkach eksploatacji (w danym zespole czynników wymuszających).

Jeżeli założymy, że niezawodność biogazowni będziemy oceniali jako prawdopodobieństwo jej ciągłej pracy przez cały zaplanowany okres, wtedy niezawodność określona jako równa 90% będzie oznaczała, że istnieje 90 procentowe prawdopodobieństwo, że biogazownia będzie pracowała normalnie w zaplanowanym okresie. Aby uzyskać ten efekt, należy jednak uwzględnić, że całkowita niezawodność wyposażenia zależy od niezawodności wszystkich jego elementów. Największej niezawodności podczas eksploatacji biogazowni wymaga się od komory fermentacyjnej. Powinna ona być wykonana w taki sposób i z takich materiałów, aby zapewnić nieprzerwaną bezawaryjną pracę (tj. bez osiągania stanu granicznego) np. w ciągu 20 lat. W roku kalendarzowym będzie ona pracowała przez 365 dni, po 24 godziny na dobę. Roczny czas jej pracy wyniesie więc 8.760 godzin ciągłej pracy.

Przykład:

Załóżmy, że do pierwszych napraw w komorze wymagających jej opróżnienia upłynie czas 7 lat, a następnie do kolejnej naprawy upłynie ponownie 7 lat i do zakończenia eksploatacji następne 7 lat. Nie ma realnej potrzeby planować remontu po 20 latach jeśli instalacja będzie uznana za wyeksploatowaną. Założmy, że przestoje na wykonanie tych zaplanowanych (a więc dobrze przygotowanych) napraw będą trwały (każdy z nich) 20 dni. Mamy więc:

Tabela 5 Niezawodność i parametry pracy biogazowni rolniczej [2]

Okres eksploatacji	Liczba godzin w okresie	Liczba godzin przerw	Liczba godzin pracy	Niezawodność, %
I okres, 7 lat	60.000	480	59.520	99,2
II okres, 7 lat	60.000	480	59.520	99,2
III okres, 7 lat	60.000	–	59.520	100,0
Cały okres, 20 lat	180.000	960	178.560	99,2

W czasie przestoju spowodowanego naprawą i konserwacją zbiorników fermentacyjnych inni specjaliści mogą wykonywać inne zaplanowane prace remontowe w instalacjach rurociągowych, zaworach pompach itp.

Pozostałe *metalowe elementy instalacji* takie jak: pompy, rurociągi, zawory, przepływomierze i inna aparatura kontrolno-pomiarowa, będą z reguły miały krótsze okresy międzynaprawcze i krótsze czasy trwania obsługi serwisowej lub wymiany szybko zużywających się części. Harmonogram napraw, wymian elementów szybko zużywających się i pracujących z przerwami można tak zaplanować, aby nie powodować przerw w procesie produkcyjnym.

Drugim po komorach fermentacyjnych ważnym elementem z punktu widzenia działania systemu jest *agregat prądowórczy*. Znane konstrukcje, niezależnie od wielkości, powinny być tak przystosowane, aby przepracować do naprawy głównej, czyli tzw. kapitalnego remontu 60.000 motogodzin tj. około siedem lat (82 miesiące). Te właśnie „przebiegi” międzynaprawcze uwzględnia powyższa tabela. W trakcie przestoju spowodowanego konserwacją zbiornika przeprowadzona jest wymiana kompletnego agregatu prądowórczego.

Przy zastosowaniu systemu napraw „*bezimiennych*” prace na terenie biogazowni ograniczą się do wymontowania agregatu przeznaczonego do remontu i do wstawienia na jego miejsce nowego lub świeżo wyremontowanego agregatu o takich samych parametrach i tego samego typu. Przymiotnik „*bezimienny*” oznacza, że naprawiany element nie wraca do miejsca, z którego został wymontowany w celu regeneracji. Następnie agregat jest przewożony do Centrum serwisowego (warsztatu naprawczego), skąd po remoncie będzie przeniesiony na nowe miejsce. Wyposażenie sieci biogazowni w takie same agregaty

stwarza dobre warunki eksploatacji napraw oraz pozwala na rytmiczną pracę warsztatów remontowych.

6. Podsumowanie

Techniki biogazowania i ekologicznie poprawna eksploatacja biogazowni rolniczych wymagają bardzo skomplikowanej i szczegółowej wiedzy o interdyscyplinarnym charakterze. Wiedza z zakresu mikrobiologii, biotechnologii, mechaniki, mechatroniki, projektowania urządzeń mechanicznych i mechaniki budowli musi być wspomagana wiedzą z zakresu eksploatacji urządzeń i instalacji mechanicznych oraz budowlanych. Dla budowy obiektów oraz ich poprawnej eksploatacji niezbędna jest również umiejętność przeprowadzania ocen i kalkulacji ekonomicznych, analiz logistycznych i analizowania rynku. Braki w tej wiedzy wśród naszych inwestorów i projektantów, ciągle jeszcze są przyczyną wielu kłopotów, zwłaszcza w początkowym okresie uruchamiania instalacji biogazowych i doprowadzania instalacji do pełnej, zaprojektowanej wydajności.

Częstym zjawiskiem jest zbyt długi okres rozruchu instalacji oraz spadek wydajności instalacji już po osiągnięciu pełnej wydajności w pierwszej fazie. Analiza przyczyn tego zjawiska pozwala wnioskować, że inwestorzy nie doceniają znaczenia wiedzy dotyczącej eksploatacji instalacji biogazowych. Spowodowane to jest również brakiem w kraju odpowiedniej liczby laboratoriów posługujących się akredytowanymi metodami badawczymi. Dlatego większą uwagę należy poświęcić przygotowaniu odpowiedniego szkolenia specjalistów w zakresie instalacji i eksploatacji biogazowni rolniczych. Program nauczania w zakresie obsługi urządzeń mechanicznych powinien być uzupełniony o wiedzę z zakresu sterowania procesem biotechnologicznym oraz eksploatacji urządzeń sterujących i kontrolno-pomiarowych.

Literatura:

- 1 Bień J., 2007.: Osady ściekowe. Teoria i praktyka. Wyd. Politechnika Częstochowska. s. 312, B5.
- 2 Karłowski i wsp. 2011.: Sprawozdanie z realizacji zadania badawczego „Rozwój niekonwencjonalnych systemów przygotowania i wykorzystania biogazu rolniczego (prace projektowe i testowanie”. Instytut Technologiczno-Przyrodniczy O/Poznań, s. 31. A4.
- 3 Kołodziejczyk T., Myczko R. Myczko A., 2011: Wykorzystanie pozostałości niespożywczego materiału celulozowego do produkcji biogazu – Use of Residua Non-Food Cellululosic Material for Biogas Production. wyd. Ciepłownictwo Ogrzewanie Wentylacja, nr 9, tom 42/2011(333-380), s. 360-363.
- 4 Lisowski A., 2011.: Biomasa jako źródło energii odnawialnej, ss.203-216, rozdział w monografii pod redakcją prof. Tadeusza Juliszewskiego i prof. Sławomira Kurpaski pt. Współczesna inżynieria rolnicza – badania i zastosowania, wyd. Wyd. Inż. Produkcji i energetyki UR w Krakowie, KTR-PAN i PTIR, Kraków, 2011, s. 415.
- 5 Myczko A., 2012: Scenariusz rozwoju sieci mikroproducentów energii, wyd. Czysta Energia, 5(129) ISDN 1634-125. s 26-27.
- 6 Myczko A., Kliber A., Tupalski L., 2012.: Odnawialne źródła energii a hybrydowe systemy energetyczne. Monografia pod redakcją prof. Bartosza Mickiewicza pt. Najnowsze Osiągnięcia z zakresu OZE wraz z przedstawieniem barier we wdrażaniu wyników badań do praktyki gospodarczej oraz sugestiami ich rozwiązań. Wyd. Feniks, Koszalin. s. 81-99. A5.
- 7 Myczko A., Myczko R., Kołodziejczyk T., Golimowska R., Lenarczyk J., Janas Z., Kliber A., Karłowski J., Dolska M., 2011.: Podstawowe rodzaje instalacji biogazowych, s. 122-129, rozdział w monografii pod redakcją prof. Andrzeja Myczko, pt. Budowa i eksploatacja biogazowni rolniczych. wyd. ITP, Warszawa-Poznań, s.137.A5, wydanie sfinansowane przez Europejski Fundusz Rolny.
- 8 Myczko A., 2011a.: Energetyzacja rolnictwa z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii, s. 217-251, rozdział w monografii pod redakcją prof. Tadeusza Juliszewskiego i prof. Sławomira Kurpaski pt. Współczesna inżynieria rolnicza – badania i zastosowania, wyd. Wyd. Inż. Produkcji i energetyki UR w Krakowie, KTR-PAN i PTIR, Kraków, 2011, ss.415.

- 9 Myszograj S., 2011: Fermentacja metanowa osadów ściekowych hydrolizowanych termochemicznie, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, Uniwersytet Zielonogórski. tom 10, nr 2, s. 141-152.
- 10 Namysłak Ł., 2012: Szacowanie wielkości emisji wybranych surowców energetycznych dla biogazowni przy zastosowaniu metody LCA, ss. 112-116, rozdział w monografii pod redakcją prof. Wacława Romaniuka pt. *Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i produkcji energii alternatywnej*. Wyd. ITP, Warszawa, s. 207. A4.
- 11 Początek M., Janik M., 2009: *Fermentacja Metanowa*, Technologie, Urządzenia, Przykłady. Wyd. EN4 S.C. s. 26. A4.
- 12 Rocson K.N., 1994: Wpływ bentonitu i chlorku żelazawego na zmiany ilościowe i jakościowe w produkcji biogazu z biomasy odpadowej. Praca doktorska pod kierunkiem prof. Czesława Opalińskiego, Wrocław. s. 67. A4.

Essence of the biogas installation as well as the technology processes and facilities in the biogas installation

Andrzej Myczko, Ryszard Konieczny

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy O/Poznań, e-mail: a.myczko@itep.edu.pl

Abstract: Both the biogas cogeneration installation development model and the micro-generation model which is lately a preferable solution have to update involved techniques and technologies to the new desired standards. The world economy strategy and the European Union policy require from us supporting and developing of low-emission energy generating and using systems. It requires to improve the effectiveness of presently used production techniques with respect to renewable energy sources. It will require the building of the hybrid installations in a way to enable not only adding the outcomes but first of all to enable achievement of the synergetic effect which means to obtain higher efficiency than in case of the parallel systems usage. In the paper the essence of the technological processes of the biomass digestion and ways of the improvement of the biomass utilization rate have been presented. Currently used technologies have got a significant unused capacities for the energy improvement efficiency. Their utilization will allow to intensify the biogas installation development while saving the area available for the agriculture lands and limited utilization of areas for feed and crops cultivation. The effect of applied biogas technology on parameters selection of particular parts of the biogas installation has been also discussed.

Keywords: biogas, biogas technology, digesters, cogeneration, post-digestate, separation, substrates

Kierunki rozwoju nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjno-funkcjonalnych budynków inwentarskich na przykładzie budynków dla bydła mlecznego

Tadeusz Głuski

*Katedra Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
e-mail: tadeusz.gluski@up.lublin.pl*

Streszczenie: W naszych warunkach klimatycznych i realiach gospodarczych funkcjonują dwa typy budynków dla bydła mlecznego. Budynki z poddaszem użytkowym i systemem stanowiskowym dla obsady do ok. 50 krów i budynki typu halowego bez poddasza użytkowego z systemem wolnostanowiskowym dla obsady powyżej 50 krów. W rozwiązaniach konstrukcyjno-funkcjonalnych widać tendencję do zwiększania wielkości obsady, zwiększenia efektywności produkcji, zmniejszenia nakładów robocizny i poprawy jakości pracy obsługi, poprawy dobrostanu zwierząt i jakości mleka. Prowadzi to do potrzeby stosowania automatyzacji i robotyzacji wszystkich procesów produkcyjnych łącznie z automatycznym systemem sterowania mikroklimatem w czasie rzeczywistym.

Słowa kluczowe: budynki dla bydła, układy konstrukcyjno-funkcjonalne, kierunki rozwoju, dobrostan zwierząt

1. Wprowadzenie

Budynki inwentarskie powinny zapewnić właściwy mikroklimat w hali zwierząt, umożliwić prawidłową realizację wszystkich procesów technologicznych oraz spełnić wymagania wynikające z dobrostanu zwierząt. Sprostanie tym wymaganiom zależy od prawidłowo zaprojektowanych i wykonanych rozwiązań konstrukcyjno-funkcjonalnych zarówno całego budynku jak i poszczególnych jego elementów. Na ostateczny kształt budynku inwentarskiego ma wpływ rodzaj zwierząt, wielkość stada oraz system utrzymania. Wpływ ten widoczny jest szczególnie w przypadku budynków dla bydła mlecznego, co wynika z dużej ilości realizowanych procesów technologicznych, różnorodności możliwych systemów utrzymania i stałej tendencji do zwiększania liczebności stada. Dążenie do ułatwienia pracy obsługi, zaspokojenia rosnących wymagań związanych z dobrostanem zwierząt, uzyskania wysokiej jakości mleka oraz obniżenia kosztów budowy i utrzymania jednego stanowiska prowadzi do powstania nowych technologii żywienia i zadawania pasz, usuwania odchodów i doju mechanicznego. Ponieważ procesy te realizowane są w budynku, to mają duży wpływ na jego rozwiązania konstrukcyjne i układ funkcjonalny.

2. Cel pracy

Stały postęp techniczny i rozwój technologii utrzymania bydła mlecznego oraz obowiązujące uregulowania prawne dotyczące dobrostanu zwierząt, wymuszają nowe spełniające wymagania rozwiązania budowlane. Celem pracy jest przedstawienie kierunków rozwoju budownictwa inwentarskiego na przykładzie budynków dla bydła mlecznego, nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych i funkcjonalnych oraz czynników, które mają na to największy wpływ.

3. Systemy utrzymania krów mlecznych a wielkość stada

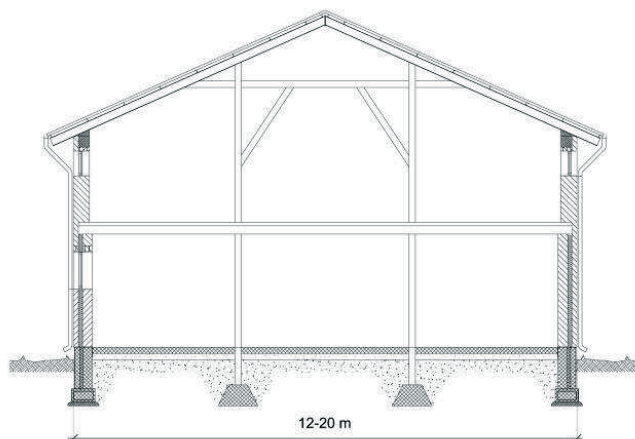
W naszych warunkach klimatycznych stosowane są dwa systemy utrzymania bydła mlecznego:

- stanowiskowy (uwięziowy), w którym krowy wiązane są na stanowiskach na których odbywa się dój mechaniczny,
- wolnostanowiskowy, w którym krowy mają swobodę ruchu, wyposażony jest w boksy lub kombiboksy, a dój odbywa się w hali udojowej lub przy pomocy robota udojowego.

Głównym czynnikiem decydującym o wyborze jednego z tych systemów jest wielkość obsady, która wynika z posiadanej przez gospodarstwo bazy paszowej. Nakłady inwestycyjne związane z produkcją mleka są stosunkowo wysokie i decydują o opłacalności produkcji. Koszt budowy jednego stanowiska zależy od wielkości obsady i maleje wraz ze wzrostem liczby stanowisk. Prawidłowość ta odnosi się zarówno do obór stanowiskowych jak i wolnostanowiskowych ale jej przebieg różni się w zależności od wielkości obsady. Koszt budowy stanowiska dla jednej krowy w oborach uwięziowych, dla stada liczącego do około 30 krów jest niższy niż w budynkach wolnostanowiskowych. Nakłady na stanowisko w oborach liczących 30 ÷ 60 krów są porównywalne, zależą w dużej mierze od wyposażenia, a przede wszystkim od sposobu usuwania obornika. W oborach o obsadzie powyżej 60 krów tańsze w budowie są obory wolnostanowiskowe [1]. Podstawową różnicą pomiędzy tymi systemami utrzymania krów mlecznych jest proces doju mechanicznego. Konieczność wybudowania kapitałochłonnej hali udojowej w systemie wolnostanowiskowym powoduje, że koszt jednego stanowiska maleje wraz ze wzrostem obsady. Ponieważ wzrost obsady wpływa również dodatnio na efektywność i opłacalność produkcji, to tendencja do zwiększania liczby krów widoczna jest we wszystkich krajach. Ograniczenie stanowi posiadana baza paszowa oraz uregulowania prawne czyli wprowadzenie w UE tzw. kwot mlecznych.

4. Budynki z poddaszem użytkowym

Budynek z poddaszem użytkowym i drewnianą więźbą dachową stanowi typową, tradycyjną konstrukcję, która od wielu lat wykorzystywana jest do utrzymania zwierząt na stanowiskach z uwięzią (rys. 1). W budynkach tego typu w dalszym ciągu trzymane są krowy w systemie stanowiskowym przy ograniczonej wielkości stada do ok. 50 szt. Najczęściej jest to budynek z dwoma rzędami stanowisk, centralnym korytarzem paszowym i pomieszczeniami pomocniczymi zlokalizowanymi po obu jego stronach przy jednej ze ścian szczytowych – paszarnią i pomieszczeniem na mleko. System wentylacji naturalnej stanowią umieszczone wzdłuż kalenicy kanały wyciągowe i umieszczone pod stropem lub pod oknami kanały nawiewne. Rozwiązanie takie posiada ograniczone możliwości regulacji strumienia powietrza wentylacyjnego a częstym błędem popełnianym podczas budowy jest brak izolacji kanałów wyciągowych, co znacznie ogranicza sprawne działanie systemu.

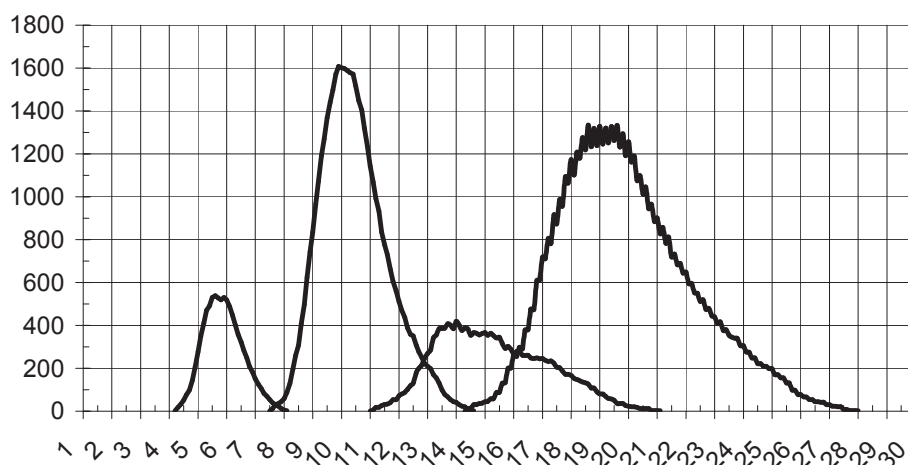


Rys. 1. Budynek z poddaszem użytkowym i drewnianą więźbą dachową [2]

Poddasze użytkowe wykorzystywane jest na magazyn ściółki, co w okresie zimowym stanowi dodatkowe ocieplenie stropu i pozytywnie wpływa na mikroklimat w hali zwierząt. Zaletą tego typu budynków jest zwarta zabudowa na działce zagrodowej oraz możliwość dużego udziału własnej pracy rolnika. Wadą jest ograniczona możliwość aranżacji wnętrza z uwagi na słupy, ograniczona kubatura pomieszczenia dla zwierząt oraz trudna zmiana systemu utrzymania zwierząt lub przeznaczenia budynku [2]. Problemem może być również lokalizacja funkcjonujących już budynków, która uniemożliwia wypuszczenie zwierząt na wybieg. Zgodnie z zaleceniami wynikającymi z dobrostanu zwierząt, krowy trzymane na uwięzi powinny być wyprowadzane na wybieg zimą i pastwiskowane latem.

4.1. Szerokość technologiczna budynku

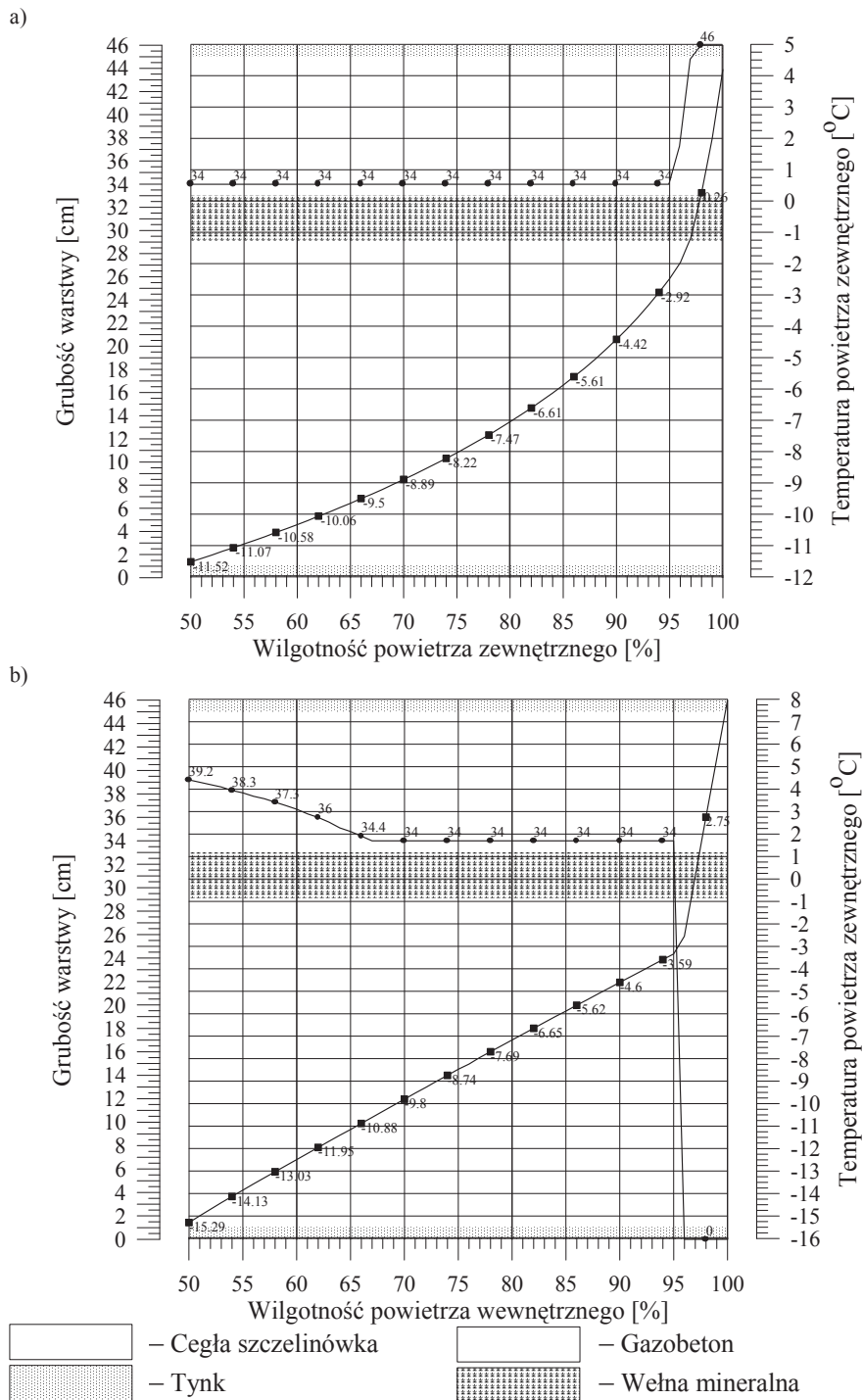
W oborach stanowiskowych przyjęta technologia zadawania pasz, usuwania odchodów i rodzaj stanowisk (ściółowe i beźściółowe) decydują o potrzebnej szerokości technologicznej (odległość pomiędzy wewnętrznymi powierzchniami ścian bocznych) budynku. Analiza wszystkich kombinacji dla rozpatrzonych 14 rodzajów żłobów, 4 rodzajów stanowisk, 15 typów maszyn i urządzeń do zadawania pasz oraz 29 typów urządzeń do usuwania odchodów wskazuje, że ilość możliwych rozwiązań technologicznych dla układu z dwoma rzędami stanowisk wynosi 1608 (rys. 2).



Rys. 2. Ilość rozwiązań technologicznych w zależności od szerokości hali zwierząt dla 1-, 2-, 3-, i 4-rzędowego układu stanowisk [3]

4.2. Mikroklimat w hali zwierząt

Wymiarowanie termiczne budynków inwentarskich wykonuje się w oparciu o bilans zysków i strat ciepła jawnego albo ciepła całkowitego, sformułowany w klasycznej metodzie wymiarowania termicznego, w której straty ciepła na wentylację liczone są według kryterium pary wodnej lub dwutlenku węgla. Bilans ciepła jest również podstawą opracowanej przez Wolskiego metody uproszczonej WWT (wskaźnik właściwości termicznych) oraz metody kształtowania cieplnego budynków inwentarskich [4]. W metodach tych obliczenia przeprowadza się korzystając z danych tabelarycznych i wykresów. Pozwala to na ocenę budynku z punktu widzenia zjawiska samoogrzewalności i stwierdzenie wielkości ewentualnych niedoborów ciepła. Korekta poszczególnych elementów mających wpływ na bilans ciepła wymaga ponownych obliczeń na zasadzie kolejnych przybliżeń.



Rys. 3. Występowanie płaszczyzny kondensacji pary wodnej w przegrodzie w zależności od temperatury zewnętrznej i wilgotności powietrza zewnętrznego a) i wewnętrznego b)

Metody wykorzystujące Wskaźnik Właściwości Termicznych budynku uwzględniają kształt budynku i jego charakterystykę termiczną ale w obliczeniach bilansu ciepła zakłada się warunki ustalone czyli tylko jedną obliczeniową temperaturę powietrza wewnętrznego, która zależy od rodzaju zwierząt i jedną obliczeniową temperaturę powietrza zewnętrznego, która zależy od strefy klimatycznej. W rzeczywistości budynek inwentarski znajduje się w stale zmiennych warunkach otoczenia, a mikroklimat w hali zwierząt jest wypadkową bardzo wielu złożonych czynników, które oddziałują na siebie wzajemnie na zasadzie sprzężenia zwrotnego. Temperatura i wilgotność względna powietrza po obu stronach przegród budowlanych ulegają dynamicznym zmianom a wymiana ciepła drogą przenikania przez przegrody odbywa się według warunków nieustalonych. Zmienność tych warunków powoduje, że istnieje dużo większe niebezpieczeństwo wystąpienia płaszczyzny lub strefy kondensacji pary wodnej w przegrodzie. Analizę tego zjawiska przedstawia rys. 3.

Ze względu na dużą ilość czynników wpływających na zjawisko kondensacji pary wodnej w przegrodzie, badania symulacyjne zmierzające do określenia warunków kondensacji wykonano w dwóch wariantach przy następujących założeniach [5]:

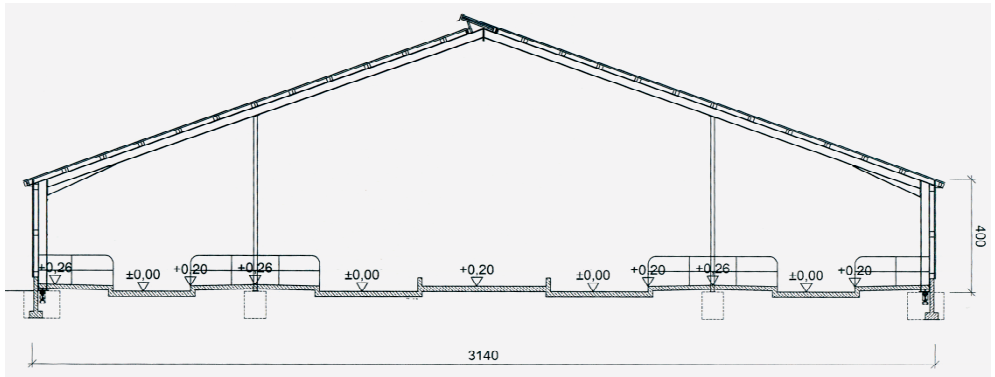
- a) - stała temperatura powietrza wewnętrznego równa 8°C ,
 - stała wilgotność powietrza wewnętrznego równa 85%,
 - zmienna wilgotność powietrza zewnętrznego od 50 do 100%.
- b) - stała temperatura powietrza wewnętrznego równa 8°C ,
 - stała wilgotność powietrza zewnętrznego równa 85%,
 - zmienna wilgotność powietrza wewnętrznego od 50 do 100%.

Analizowaną przegrodę zorientowano względem układu współrzędnych w taki sposób, że początek układu znajduje się na wewnętrznej powierzchni przegrody a oś x jest prostopadła do powierzchni poszczególnych warstw.

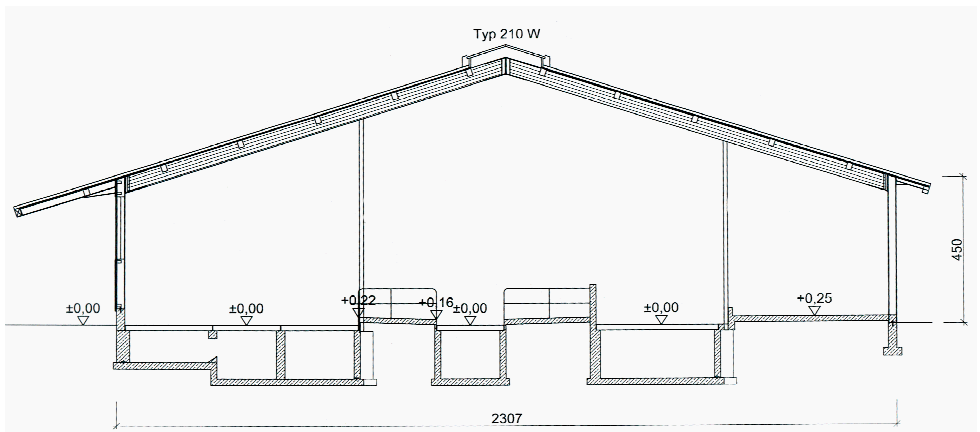
Stosowane obecnie metody wymiarowania cieplnego budynków inwentarskich charakteryzują się prostą formą zapisu matematycznego, co wynika z oceny przygotowania zawodowego do wykonywania obliczeń cieplnych przez użytkowników [6]. Rozwój techniki komputerowej stwarza zupełnie nowe możliwości analiz zjawisk i procesów cieplnych zachodzących w budynku inwentarskim. Obecnie trwają prace nad stworzeniem systemu umożliwiającego symulację wszystkich zjawisk w budynku wirtualnym.

5. Budynki typu halowego bez poddasza użytkowego

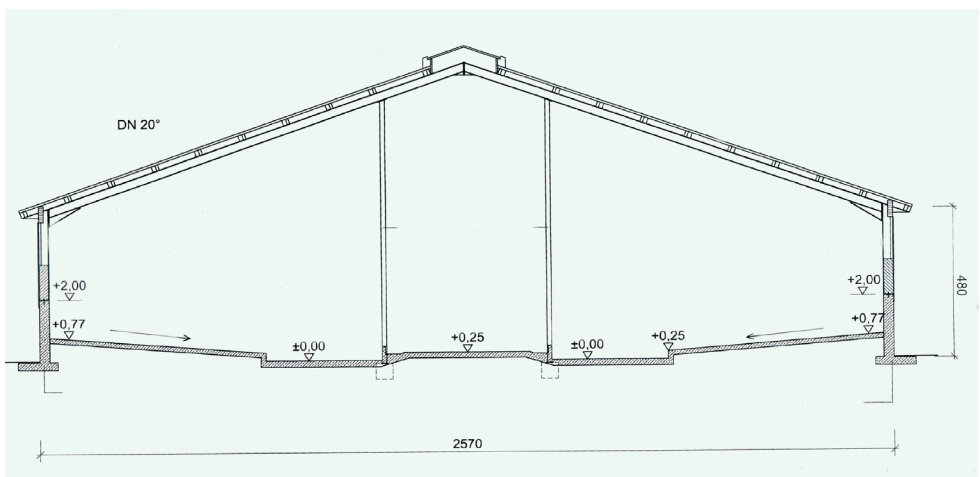
Budynki tego typu mogą być stosowane zarówno do obór stanowiskowych jak i wolnostanowiskowych ale obecnie budowane są z przeznaczeniem dla stanowiskowego systemu utrzymania bydła mlecznego. Mogą to być budynki o podłużnych ścianach nośnych i stalowym lub drewnianym wiązarem kratowym albo budynki o konstrukcji ramowej z ramami wykonanymi ze stali lub drewna klejonego lub też o konstrukcji łączonej z tych materiałów. Dążenie do zwiększania obsady zwierząt pociąga za sobą stosowanie coraz większych rozpiętości nawy a względy ekonomiczne wymuszają stosowanie słupów podporowych. Usytuowanie słupów zależy od położenia i rodzaju ciągów technologicznych i może być asymetryczne (rys. 5). Rozwiązania tego typu dają duże możliwości aranżacji wnętrza ale usytuowanie słupów musi być dostosowane do technologii obsługi zwierząt i lokalizacji ciągów technologicznych. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne budynków wolnostanowiskowych dla bydła mlecznego austriackiej firmy Wolf przedstawiają rysunki 4 ÷ 6.



Rys. 4. Konstrukcja stalowo-stalowa ze słupami pośrednimi. Wentylacja – kalenica pulpitowa i boczne kurtyny wentylacyjne [7]



Rys. 5. Konstrukcja stal-drewno klejone ze słupami pośrednimi. Obora bezściółowa. Wentylacja kalenicowa i boczne kurtyny wentylacyjne [7]



Rys. 6. Konstrukcja stalowo-stalowa ze słupami pośrednimi. System samospławialny. Wentylacja kalenicowa i boczne kurtyny wentylacyjne akrylowe [7]

5.1. Rozwiązania funkcjonalne hali zwierząt

Podstawowe procesy produkcyjne realizowane w budynkach dla bydła mlecznego to zadawanie pasz, usuwanie odchodów i dój mechaniczny. Technologia realizacji tych procesów decyduje o rozwiązaniach konstrukcyjnych budynku i układzie funkcjonalnym hali zwierząt. Na szerokość technologiczną budynku, rozmieszczenie słupów i bram wjazdowych decydujący wpływ mają:

- technologia zadawania pasz i usytuowanie ciągu paszowego,
- technologia usuwania odchodów i rozmieszczenie korytarzy komunikacyjnych,
- system utrzymania w chowie wolnostanowiskowym [2]: boksy, kombiboksy, głęboka ściółka, kojec samoczynny ze spadkiem.

Ze względu na wielkość obsady do chowu wolnostanowiskowego przeznacza się budynki o dużej rozpiętości nawy (powyżej 20 m), co daje duże możliwości aranżacji wnętrza. O ostatecznym kształcie układu funkcjonalnego obory decyduje rozwiązanie obszaru dojenia, który może być zlokalizowany w hali głównej lub poza nią. W stadach liczących kilkadziesiąt krów dojarnia usytuowana jest najczęściej w obrębie jednej obory (hali), przy stadach większych często mieści się w specjalnie na ten cel przeznaczonym budynku [8]. W obu przypadkach wymagana powierzchnia dla hali udojowej i pomieszczeń pomocniczych zależy od wielkości stada i w rezultacie wpływa na całkowitą powierzchnię budynku (budynków) i powierzchnię przypadającą na jedną krowę. Ilość stanowisk w dojarni powinna być dostosowana do wielkości stada, natomiast w zależności od sposobu zwalniania krów (pojedyncze lub grupowe) i zakładania kubków udojowych (z boku lub od tyłu) wyróżnia się dojarnie typu:

- rybia ość,
- tandem,
- bok w bok,
- karuzelowa (dla dużej obsady).

Odpowiednio do wielkości samej hali udojowej, w strefie związanej z dojem mechanicznym powinny znajdować się pomieszczenia towarzyszące o dopasowanej wielkości i wyposażeniu: pomieszczenie na mleko (zlewnia mleka), zmywalnia, maszynownia, pomieszczenia socjalne czy też wydzielone miejsca przeznaczone na zabiegi zootechniczne. Na całość układu funkcjonalnego związanego z dojem mechanicznym składa się również poczekalnia i korytarze przemieszczania się zwierząt.

Najnowszym rozwiązaniem procesu doju mechanicznego jest zastosowanie robota udojowego. Rozwiązanie to wiąże się z całkowicie inną organizacją procesu doju i dopasowaniem do tego układem funkcjonalnym hali zwierząt. Dój odbywa się nie o określonych porach dla całego stada ale w sposób ciągły w ciągu 24 godzin, a o tym o jakiej porze ma to nastąpić decyduje sama krowa. Krowa podchodzi do jednostki udojowej, następuje identyfikacja sztuki, decyzja o dojeniu i indywidualne karmienie paszą treściwą, a sam proces doju przebiega automatycznie. Zastosowanie robota udojowego ma szereg zalet szczególnie dzięki wyeliminowaniu pracy człowieka, a z punktu widzenia potrzebnej powierzchni budynku daje duże oszczędności. W porównaniu z halą udojową, poczekalnią i pomieszczeniami towarzyszącymi (oprócz pomieszczenia na mleko), robot udojowy zajmuje dużo mniej miejsca i daje możliwość zmiany miejsca usytuowania. Wielkość robota zależy od indywidualnych rozwiązań firmy produkującej, ale np. jednostka udojowa firmy Lely ma wymiary 334 cm długości i 227 cm szerokości.

5.2. Dobrostan zwierząt

Dobrostan zwierząt jest to dobre samopoczucie fizyczne i psychiczne, czyli pełny komfort stworzony utrzymywaniu zwierzęciu. Jednym z elementów dobrostanu jest spełnienie wymagań dotyczących bytowania w dobrych warunkach środowiskowych. Warunki takie zapewnia dobrze zaprojektowany i wykonany budynek oraz sprawnie działający system wentylacyjny. Bydło bardzo dobrze przystosowuje się do różnych warunków mikroklimatycznych szczególnie w wolnostanowiskowym systemie utrzymania. Jeżeli wilgotność względna nie przekracza 80%, to zakres temperatur od -10°C do +25°C ma niewielki wpływ na produkcję mleka. Ponieważ bydło dobrze znosi niskie temperatury to obecnie budowane budynki dla bydła mlecznego można podzielić na trzy kategorie w zależności od zastosowanej izolacji termicznej [2].

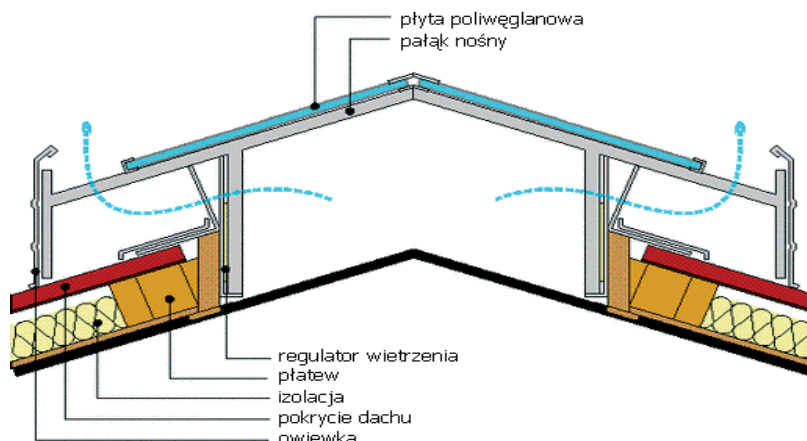
Tabela 1. Typ budynku i poziom izolacji termicznej jego konstrukcji

Typ budynku	Poziom izolacji	Uwagi
Izolowany	$< 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Osiągana temperatura wewnętrzna różna od temperatury zewnętrznej
Izolowany w stopniu minimalnym	$1,0 \div 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Redukcja skraplania pary wodnej Redukcja promieniowania słonecznego
Bez izolacji	$> 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Ochrona przed opadami i wiatrem

Budynki bez izolacji zalecane są tylko dla systemu wolnostanowiskowego. Zapewniają ochronę przed opadami atmosferycznymi i mają ograniczone możliwości regulacji mikroklimatu. W okresie mrozów temperatura powietrza w hali zwierząt może osiągać wartości ujemne a na wewnętrznej powierzchni dachu może występować zjawisko kondensacji pary wodnej. Temperaturowe ujemne nie mogą jednak wystąpić w obszarze dojenia, dlatego należy zapewnić tam odpowiednią izolację i możliwość ogrzewania. Na etapie projektowania powinno się uwzględnić możliwość wykorzystania ciepła powstającego w procesie chłodzenia mleka. W budynkach bez izolacji zabezpieczenia przed niskimi temperaturami wymaga również system zaopatrzenia w wodę pitną.

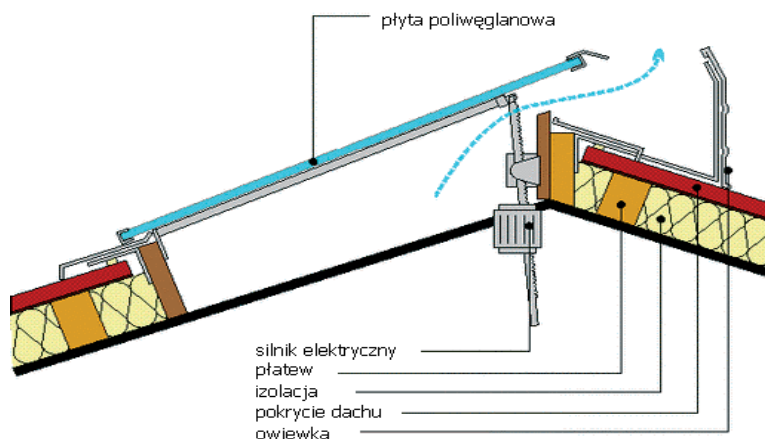
Głównym zadaniem systemu wentylacyjnego w budynku inwentarskim jest usunięcie nadmiaru szkodliwych gazów i doprowadzenie powietrza świeżego do hali zwierząt. W budynkach izolowanych można stosować wentylację mechaniczną, ale koszt instalacji i eksploatacji urządzeń wentylacyjnych oraz systemu awaryjnego i alarmowego wpływa na opłacalność produkcji. W budynkach dla bydła zdaje egzamin wentylacja naturalna pod warunkiem, że jest prawidłowo zaprojektowana i właściwie wykonana. W budynkach z poddaszem użytkowym stosuje się wentylację naturalną kominową z kanałami wywiewnymi umieszczonymi w podłużnej osi budynku. System ten ma ograniczone możliwości regulacji a częstym błędem jest brak izolacji kanałów wyciągowych.

W budynkach typu halowego, stosowana jest wentylacja naturalna, z otworami wylotowymi umieszczonymi wzdłuż kalenicy i otworami wlotowymi umieszczonymi w ścianach bocznych. Oba rodzaje otworów powinny posiadać możliwość regulacji w zależności od warunków pogodowych. Otwory wywiewne w postaci szczeliny znajdują się po obu stronach kalenicy i połączone są z pasem świetlnym (rys. 7).



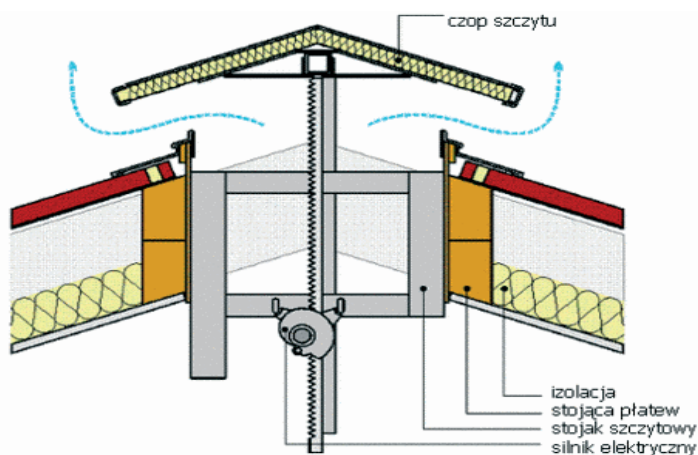
Rys. 7. Wentylacja kalenicowa połączona z pasmem świetlnym [7]

Na wydajność wentylacji kalenicowej w dużej mierze wpływa prędkość i kierunek wiatru. Rozwiązanie dachu pulpitowego uwzględnia najczęściej występujące kierunki wiatrów (rys. 8).



Rys. 8. Wentylacja kalenicowa z dachem pulpitowym i sterowaniem pogodowym [7]

Rozwiązania sposobu regulacji wielkości szczeliny wentylacyjnej mogą być bardzo różne. Jednym z nich jest szczyt ruchomy (rys. 9).



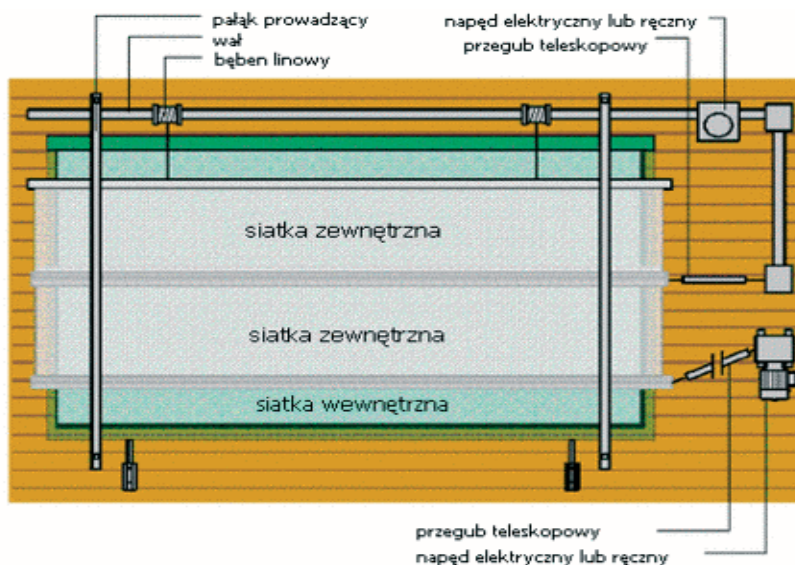
Rys. 8. Wentylacja kalenicowa z ruchomym szczytem i sterowaniem pogodowym [7]

W budynkach bez izolacji termicznej rolę otworów nawiewnych mogą spełniać kurtyny zamontowane zamiast ścian bocznych, zwijane automatycznie w zależności od warunków pogodowych (fot. 1).



Fot. 1. Regulowane w zależności od pogody kurtyny zamiast ścian bocznych [2]

W budynkach z izolacją termiczną zaleca się wykonanie ściany bocznej do pewnej wysokości, natomiast regulowane kurtyny powinny być umieszczone tylko w górnej części ściany bocznej. Kurtyny mogą być zwijane od góry, od dołu lub z obu stron. Otwór nawiewny powinien być zabezpieczony siatką przeciwwiatrową (rys. 9).



Rys. 9. Kurtyny zwijane i od góry i od dołu a otwór nawiewny zabezpieczony siatką przeciwwiatrową [7]

5.3. Automatyzacja procesów produkcyjnych

Nowoczesna obora wymaga form obsługi krów mlecznych z zaangażowaniem wiedzy z szeregu dyscyplin naukowych w celu zapewnienia optymalnych warunków do produkcji mleka i dobrostanu krów [9]. W rozwiązaniach budowlanych i wyposażeniu technicznym budynków dla bydła mlecznego widoczne jest dążenie do zwiększenia

efektywności produkcji, zmniejszenia nakładów robocizny i poprawy jakości pracy obsługi, poprawy dobrostanu zwierząt i jakości mleka oraz ochrony środowiska poprzez ograniczenie emisji szkodliwych gazów do atmosfery. Prowadzi to do konieczności stosowania systemów ciągłego zbierania i przetwarzania informacji, sterowania w czasie rzeczywistym oraz automatyzacji i robotyzacji wszystkich procesów produkcyjnych:

- pełny monitoring czynników pogodowych, czynników mikroklimatu wewnętrznego i automatyczne sterowanie elementami wentylacji,
- elektroniczna identyfikacja zwierząt i automatyczne indywidualne zadawanie pasz treściwych oraz stosowanie robotów do podgarniania pasz objętościowych.
- stosowanie robotów do usuwania odchodów,
- stosowanie robotów udojowych pozwalających na indywidualne traktowanie każdej krowy z monitorowaniem jakości i separacją pozyskiwanego mleka,
- stosowanie systemów zarządzania stadem, które pozwalają na zbieranie, przetwarzanie i magazynowanie informacji o każdej krowie, łącznie z pomiarem aktywności co pozwala na bezbłędne wykrycie rui.

6. Podsumowanie

W rozwiązaniach konstrukcyjno-funkcjonalnych budynków dla bydła mlecznego widoczne są tendencje: zwiększanie obsady, preferowanie wolnostanowiskowego systemu utrzymania, automatyzacja sterowania elementami wentylacji, automatyzacja wszystkich procesów produkcyjnych i mniejsze znaczenie ciepłochronności budynku. Wynika to z dążenia do zwiększenia efektywności produkcji, poprawy jakości obsługi, dobrostanu zwierząt i jakości mleka.

Literatura

- 1 Pankowski Z. Obora wolnowybiegowa czy uwięziowa. Top agrar extra. Polskie Wydawnictwo Rolnicze, Poznań 2001.
- 2 Romaniuk W., Overby T. Systemy utrzymania bydła. Projekt Bliźniaczy PHARE, Standardy dla gospodarstw rolnych. IBMER, Warszawa 2004.
- 3 Głuski T. Automatyzacja procesu projektowania wyposażenia technicznego w stanowiskowych budynkach dla bydła. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 445, s. 333-341, Warszawa. 1997.
- 4 Wolski L. Wymiarowanie termiczne obiektów w zabudowie rozproszonej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001.
- 5 Głuski T. Lokalizacja płaszczyzny kondensacji pary wodnej w warstwowych ścianach budynku inwentarskiego. Inżynieria Rolnicza 7(40), s.137-143, Kraków 2002.
- 6 Gaziński B. Praca zbiorowa. Środowisko wewnętrzne, wentylacja i wyposażenie pomieszczeń inwentarskich. Bydło, kozy i owce. Systherm, Poznań 2012.
- 7 Materiały firmy Wolf System
- 8 Romaniuk W., Fiedorowicz G. Nowoczesne technologie chowu krów mlecznych. Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Warszawa 1995.
- 9 Szlachta J. Inżynieria w produkcji zwierzęcej – rozwój – zastosowanie praktyczne, w: Współczesna inżynieria rolnicza – badania i zastosowania. (ed. Juliszewski T, Kuropaska S.) WIPiE Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Komitet Techniki Rolniczej PAN, PTIR, Kraków 2011, s. 325-340.

Development trends of modern structural-functional solutions of livestock buildings on an example of buildings for dairy cattle

Tadeusz Głuski

Department of Environmental Engineering and Geodesy, University of Life Sciences in Lublin, e-mail: tadeusz.gluski@up.lublin.pl

Abstract: There are two types of buildings for dairy cattle in our climatic and economic conditions: houses with utility attic and stall system for about 50 cows as well as a single-story buildings with no attic while with free-stall system for more than 50 cows. The structural-functional solutions reveal a tendency to increase the size of the livestock number, increase production efficiency, reduce labor, improve the quality of service, enhancing the animal welfare, and milk quality. This leads to the need for automation and robotics of all production processes, including automatic control of the microclimate in a real time.

Key words: buildings for cattle, structural-functional systems, development trends, animal welfare

Szklarnie – nowoczesne rozwiązania pozwalające na kształtowanie optymalnych warunków cieplno - wilgotnościowych i warunków oświetlenia

Sławomir Grabarczyk

*Instytut Budownictwa, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, Politechnika Warszawska
Filia w Płocku, e-mail: slawekg@pw.plock.pl*

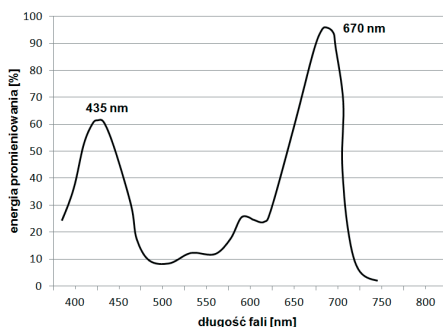
Streszczenie: W artykule przedstawiono rozwiązania techniczne mające na celu kształtowanie odpowiednich warunków mikroklimatu w szklarni. Omówiono te rozwiązania, które są stosowane w szklarniach eksploatowanych w polskich warunkach klimatycznych. Czynniki decydujące o wzroście roślin, takie jak światło, temperatura, wilgotność i skład powietrza, muszą być kształtowane w sposób optymalny, zapewniający jednocześnie minimalizację kosztów eksploatacji. Z tego też względu rozwiązania techniczne, takie jak przegrody podwójne czy ekrany termoizolacyjne, determinują możliwości kształtowania mikroklimatu. W tym celu opisano wpływ rozwiązań materiałowych przegród szklarni na utrzymanie właściwej temperatury, wilgotności i warunków oświetlenia w szklarni. Zwrócono uwagę na podział przegród na rozwiązania na bierne (instalowane na stałe) i aktywne (ruchome) funkcjonujące zależnie od zewnętrznych warunków klimatycznych.

Słowa kluczowe: szklarnia, mikroklimat, przegroda wielowarstwowa, ekran termoizolacyjny.

1. Wprowadzenie

Zadaniem szklarni jest zapewnienie optymalnych warunków mikroklimatu, koniecznych do prowadzenia całorocznej produkcji. Głównymi czynnikami decydującymi o wzroście roślin są: światło, temperatura, wilgotność i skład powietrza.

Światło jest głównym i niezbędnym czynnikiem klimatycznym mającym wpływ na szybkość wzrostu roślin, a także wielkość i jakość plonu. Jest źródłem energii w procesie fotosyntezy, w którym tworzą się asymilaty. O intensywności procesu fotosyntezy, zwłaszcza w warunkach niedoboru światła, decyduje jego jakość określona rozkładem spektralnym (rys. 1). Proces fotosyntezy zachodzi pod wpływem promieniowania widzialnego o długości fal 360 – 760 nm [1].



Rys. 1. Krzywa absorpcji światła słonecznego przez chlorofil [1]

W szklarni należy dążyć do utrzymania optymalnej temperatury powietrza dla danej uprawy. Przebiegi zmian temperatury w szklarni latem i zimą różnią się znacznie między sobą. W okresie zimowym konieczne jest ogrzewanie obiektów szklarniowych, natomiast

latem temperatura w szklarni może wzrastać powyżej wartości zadanych, zależnie od temperatury zewnętrznej i intensywności promieniowania słonecznego. Zbyt wysokie temperatury roślin powodują opóźnianie ich rozwoju a przekroczenie tzw. temperatury granicznej powoduje obumieranie roślin. Temperatura rośliny według Mackrotha [2] nie powinna przekroczyć 43°C. Optymalna wartość temperatury roślin zależy bezpośrednio od: rodzaju rośliny, natężenia światła oraz zawartości dwutlenku węgla w powietrzu. Jeżeli wewnątrz szklarni panuje dosyć duże stężenie CO₂ i naświetlanie jest dosyć intensywne, to optymalna temperatura liści może być większa niż w przeciętnych warunkach. W szklarni niecieniowanej temperatura rośliny może przekroczyć nawet o 15°C temperaturę powietrza [3]. Z powyższego wynika więc, że konieczne są zabiegi umożliwiające obniżenie temperatury rośliny poprzez ograniczenie intensywnego promieniowania słonecznego i obniżenie temperatury powietrza w szklarni. Przykładowe wymagania dotyczące temperatur powietrza w szklarni dla wybranych roślin podano w Handbook Fundamentals [4].

Wilgotność względna powietrza musi odpowiadać optymalnym wartościom dla poszczególnych upraw. Na wilgotność powietrza w szklarni mają wpływ zarówno same rośliny, jak i procesy odparowania i skraplania pary wodnej na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz wymiana powietrza z otoczeniem. Woda spełnia w roślinach następujące funkcje: jest budulcem komórek rośliny, zapewnia jej chłodzenie w wyniku parowania, reguluje ciśnienie osmotyczne w komórkach oraz spełnia rolę środka transportującego składniki mineralne i asymilaty. Za mały lub za duży deficyt wilgotności ma niekorzystny wpływ na fizjologię roślin. Duża wilgotność powietrza w bezpośrednim otoczeniu roślin zwiększa możliwość wystąpienia ich chorób, a obniżenie temperatury roślin poniżej temperatury punktu rosy powietrza powoduje na ich powierzchni kondensację wody [3].

Mając na uwadze podstawowe informacje na temat głównych czynników wpływających na wegetację roślin należy zauważyć ich silną współzależność, a w efekcie konieczność właściwego i umiejętnego kształtowania mikroklimatu szklarni. Zapewnienie warunków świetlnych w szklarni uzyskuje się przez stosowanie pokryć ze szkła, folii i płyt z tworzyw sztucznych.

Szklarnie pokryte szkłem i płytami z tworzyw sztucznych są używane głównie w Europie środkowej i północnej. W krajach o cieplejszym klimacie częściej stosuje się pokrycia foliowe. Ciepłarnie foliowe są tańszymi obiektami niż szklarnie i głównie z tego względu w Polsce więcej jest jednak obiektów z pokryciem foliowym. Według Rocznika Statystycznego Rolnictwa [5] w 2010 roku w Polsce powierzchnia upraw w szklarniach wyniosła 18 528 tys. m² (ok. 38% ogólnej powierzchni upraw pod osłonami) natomiast w tunelach foliowych 30 224 tys. m². W polskich warunkach klimatycznych koszty związane z ogrzewaniem tego typu obiektów mogą stanowić, zależnie od prowadzonej uprawy, nawet 75% całkowitych kosztów produkcji. Skutkiem tego jest stosowanie w obiektach szklarniowych rozwiązań technicznych ograniczających straty ciepła.

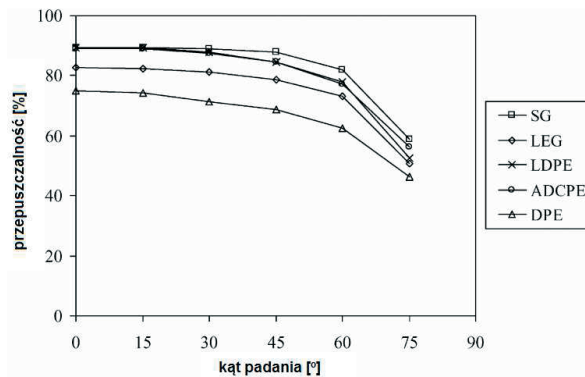
2. Pojedyncze pokrycia obiektów szklarniowych

Najczęściej używanym materiałem na pokrycia szklarni jest szkło ogrodnicze ciągnięte oraz szkło ogrodnicze surowe. Możliwe jest również zastosowanie szkła z warstwą tlenku cynku, które jest mało przepuszczalne dla promieni o długości powyżej 2200 nm. Szkło takie ma niższą przepuszczalność o ok. 9% niż szkło zwykłe, ale pozwala na zmniejszenie strat ciepła. Innym przykładem modyfikacji szkła jest pokrycie jego powierzchni tlenkiem tytanu. Uzyskuje się w ten sposób zwiększenie przepuszczalności do około 10%. W obu przypadkach należy jednak liczyć się z większymi o kilkadziesiąt procent kosztami inwestycyjnymi.

Najczęściej stosowanymi materiałami z tworzyw sztucznych są folie polietylenowe lub z kopolimerów etylenu. Wadą pokryć z tworzyw sztucznych jest ich mniejsza trwałość a także spadek przepuszczalności światła wraz z czasem ich użytkowania. Podstawowe wymagania dotyczące właściwości fizycznych i mechanicznych stawianych różnego rodzaju foliom określono w normie PN-EN 13206:2003 [6].

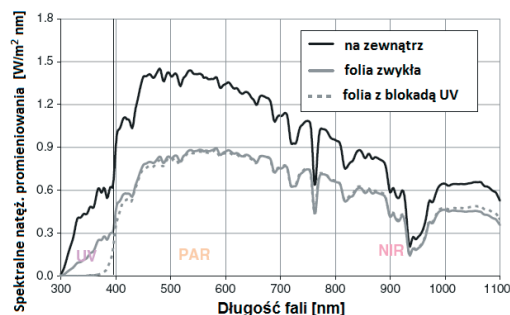
Porównanie przepuszczalności promieniowania słonecznego fotosyntetycznie aktywnego PAR w zależności od kąta padania na powierzchnię wybranych materiałów na pokrycia szklarni przedstawiono na rys. 2. Porównano dwa rodzaje szkła; szkło zwykłe

(SG) i szkło o niskiej emisyjności (LEG) oraz trzy rodzaje folii: zwykłą o niskiej gęstości (LPDE), folię polietylenową zapobiegającą tworzeniu się kropel i umożliwiającą powstanie cienkiego filmu wodnego na jej powierzchni (ADCPE) oraz folię dyfuzyjną (DPE).



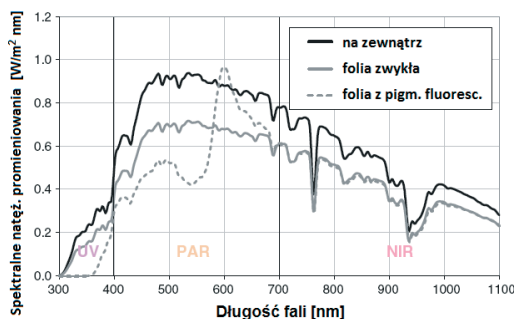
Rys. 2. Przepuszczalność światła słonecznego w zakresie PAR w zależności od kąta padania [7]

Pokrycia z folii polietylenowej nadają się szczególnie do modyfikacji w celu uzyskania pożądanych właściwości fizycznych. Występują folie chromatyczne, które zmniejszają przepuszczalność wraz ze wzrostem intensywności promieniowania słonecznego. Możliwe jest stosowanie folii dyfuzyjnych, które posiadają właściwości rozpraszania promieniowania słonecznego. Współczesne trendy w zakresie stosowania folii z tworzyw sztucznych zmierzają do modyfikacji ich właściwości tak, aby uzyskać odpowiedni efekt. Może to być np. zastosowanie folii z blokowaniem transmisji promieniowania w zakresie UV [8]. Brak jest jednoznacznych stwierdzeń dotyczących wpływu promieniowania UV na wzrost roślin. Wiadomo jest, że ma ono wpływ na wybarwienie kwiatów dużej liczby roślin ozdobnych, ale jednocześnie w tym celu wystarcza jedynie nieznaczna jego dawka [3]. Pozwala to na stosowanie zmodyfikowanych folii, które mogą zmniejszyć możliwość wystąpienia grzybów, np. *Botrytis cinerea* (szara pleśń) dla których namnażania promieniowanie UV jest niezbędne [8].



Rys. 3. Spektralna przepuszczalność światła słonecznego folii z blokadą UV [8]

Innym przykładem modyfikacji folii stosowanych w ogrodnictwie jest użycie pigmentów fluorescencyjnych, które zmieniają jego rozkład widmowy. Światło słoneczne o długości fali między 400 a 700 nm jest niezbędne w procesie fotosyntezy. Krzywą absorpcji światła przez chlorofil charakteryzują dwa maksima: jedno w zakresie promieniowania niebieskiego, drugie - czerwonego (w większym stopniu), natomiast najmniejsze znaczenie ma dla roślin promieniowanie o barwie zielonej. Zmodyfikowane pigmentami fluorescencyjnymi folie mogą przesuwać promieniowanie ultrafioletowe na światło niebieskie lub czerwone, bądź też zielone na światło czerwone [8].



Rys. 4. Spektralna przepuszczalność światła słonecznego folii z pigmentami fluorescencyjnymi [8]

Przydatności materiałów na pokrycia szklarni można dokonać porównując przepuszczalność w zakresie promieniowania słonecznego bezpośredniego i rozproszonego (tab. 1).

Tabela 1. Przepuszczalność promieniowania bezpośredniego i rozproszonego materiałów na pokrycia szklarni [9]

Materiał	Grubość [mm]	Promieniowanie bezpośrednie [%]	Promieniowanie rozproszone [%]
Szkło	4	89 – 91	82
Folia PE z	0,1 – 0,2	89 – 91	81
Folia EVA	0,18	90 – 91	82
Folia PVC	0,1 – 0,2	87 – 91	b.d.
Folia ETFE	0,1	93 – 95	85
Podwójna płyta PC	12	80	61
Podwójna płyta PMMA	16	89	76

Szklarnie ze względu na właściwości pojedynczych pokryw zewnętrznych są najbardziej energochłonnymi obiektami budowlanymi. Zapewnienie właściwych parametrów mikroklimatu koniecznych do prowadzenia całorocznej produkcji pod osłonami w polskich warunkach klimatycznych wymaga stosowania rozwiązań technicznych ograniczających straty ciepła. To właśnie te rozwiązania determinują warunki mikroklimatu szklarni. Analiza składników strat ciepła w szklarni wskazuje, że główne kierunki ich ograniczenia dotyczą kształtowania bryły budynku, poprawy właściwości termoizolacyjnych przegród zewnętrznych, ograniczenia wpływu mostków termicznych, ograniczenia nadmiernej wymiany powietrza przez nieszczelności w przegrodach zewnętrznych oraz możliwości uzyskania akumulacyjności ciepła w tego typu obiektach.

3. Przegrody wielowarstwowe

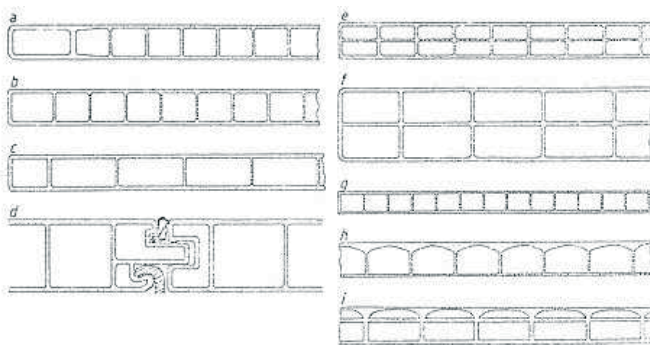
Możliwości zaoszczędzenia energii cieplnej w szklarni upatruje się głównie przez stosowanie wielowarstwowych pokryw przegród szklarni. W budynkach już istniejących jest to możliwe poprzez: nowe wykonanie wielowarstwowej przegrody, wymianę osłony pojedynczej na osłonę wielowarstwową lub montaż osłony dodatkowej.

Przegrody dodatkowe we współczesnych szklarniach, mając na uwadze aspekt energooszczędności i istotę funkcjonowania, można podzielić na dwa zasadnicze rodzaje. Pierwszy to rozwiązania bierne – stanowiące najczęściej trwałe element konstrukcyjny przegrody (nieruchome), np.: przegrody wielowarstwowe ze szła lub tworzyw sztucznych, dodatkowa osłona w postaci rozpiętej wewnątrz folii, folia pęcherzykowa na zewnątrz przegród pionowych. Drugi rodzaj to przegrody aktywne – funkcjonujące zależnie od zewnętrznych warunków klimatycznych, najczęściej z układem regulacji pogodowej, np.: ruchome folie, tkaniny lub włókniny o właściwościach termoizolacyjnych zainstalowane wewnątrz lub na zewnątrz szklarni.

W szklarni możliwe jest zastosowanie jednocześnie przegród biernych jak i aktywnych. Podwójna przegroda ze szkła to jednocześnie podwójny ciężar przegrody

zewnętrznej. Przy modernizacji obiektu szklarniowego konieczne jest sprawdzenie czy konstrukcja może przenieść znacznie większy ciężar od pierwotnie zakładanego [3].

Podwójne szkło to również zmniejszenie przepuszczalności promieniowania słonecznego o 5 - 7% w porównaniu ze szkłem pojedynczym [3]. Szersze zastosowanie znajdują coraz częściej płyty z tworzywa sztucznego będące lżejszymi i tańszymi materiałami, np.: polimetakrylan metylu (PMMA), poliwęglan (PC), polichlorek winylu (PVC).



Rys. 5. Przykłady dwu- i trójwarstwowych płyt z polimetakrylanu metylu PMMA i poliwęglanu PC stosowanych na pokrycia szklarni [3]

Wadą płyt oraz folii z tworzyw sztucznych jest konieczność właściwego doboru z uwagi na przepuszczalność widmową oraz zmianą przepuszczalności świetlnej w miarę upływu czasu. Przepuszczalność płyty z tworzywa sztucznego wraz ze zmianą ilości warstw zmniejsza się o ok. 10-20%, zmniejszając się również 2-3 krotnie straty ciepła przez taką przegrodę. Zaleca się stosowanie płyt z tworzyw sztucznych w obiektach szklarniowych jako przegrody pionowe (rys. 6).



Rys. 6. Ciepłarnia z pokryciem dachu z podwójnej folii polietylenowej i ścianami pionowymi z płyt poliwęglanowych [10]

Przykładem konstrukcji o dobrych właściwościach termoizolacyjnych są cieplarnie o wielowarstwowej folii utrzymywanej w stałym napięciu poprzez wypełnienie powietrzem (rys. 7). Rozwiązanie to w istotny sposób ogranicza wpływ mostków termicznych oraz skutecznie zmniejsza oddziaływanie wiatru na wymianę powietrza.

Podwójne przegrody ze szkła i tworzyw sztucznych powodują większą szczelność konstrukcji, a efektem tego jest zwiększenie wilgotności względnej powietrza w szklarni i zmniejszenie zawartości dwutlenku węgla niż ma to miejsce w szklarni z pojedynczym pokryciem. Podobnie jest w przypadku zastosowania podwójnego pokrycia z folii.



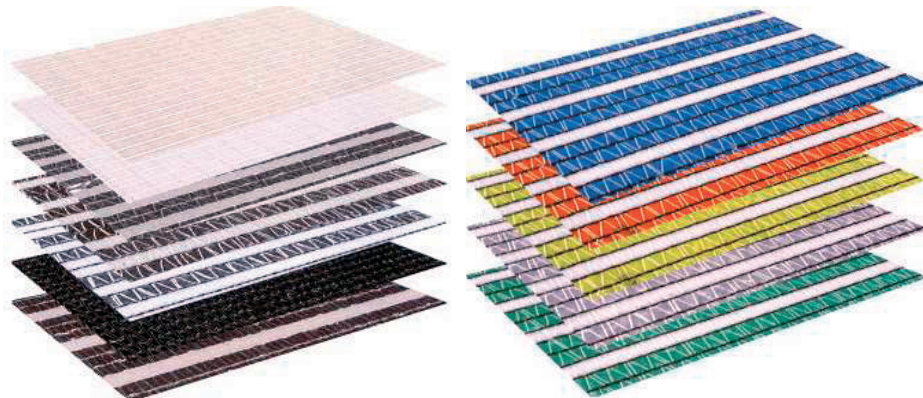
Rys. 7. Ciepłarnia Sur-Pneumatic TM Multi z pokryciem z nadmuchiwanego powietrzem podwójnej folii odpornej na działanie UV i opcjonalnie przeciwdziałającej kondensacji pary wodnej na powierzchni [11]

4. Ekrany cieniująco-energooszczędne

Ruchome ekrany są najbardziej zaawansowanymi technologicznie materiałami stosowanymi jako druga osłona wewnątrz lub na zewnątrz szklarni. Istnieje wiele typów ekranów zależnie od ich przeznaczenia i właściwości. Istotną zaletą ruchomych ekranów cieniująco-energooszczędnych jest to, że nie ograniczają dostępności światła słonecznego w okresie zimowym, natomiast latem mogą w skuteczny sposób ograniczyć nadmierne nasłonecznienie i przyrost temperatury w szklarni. Ekrany umożliwiają zmniejszenie strat ciepła i wymiany powietrza przez przegrodę zewnętrzną szklarni [3], ograniczają przepływ wilgoci przy małych szybkościach parowania a jednocześnie nie są przeszkodą w usunięciu nadmiaru wilgoci ze szklarni.

Współczesne ekrany są wytwarzane z następujących materiałów i ich kombinacji: folia poliestrowa, folia poliestrowa z folią aluminiową, tkanina akrylowa, tkanina akrylowa z folią aluminiową, tkanina akrylowa z folią poliestrową i folią aluminiową.

Parametrami opisującymi właściwości ekranu są: oszczędność charakterystyczna E dla powierzchni izolacyjnej, określająca procentowe zmniejszenie strat ciepła przez przegrodę zewnętrzną szklarni, oraz zacienienie Z oznaczające procentowe zmniejszenie przez ekran przepuszczalności promieniowania słonecznego do wnętrza szklarni.



Rys. 8. Ekrany cieniująco-energooszczędne firmy Ludvig Svensson do zastosowań wewnątrz szklarni [12]; po lewej od góry: SLS 10: $E = 45\%$, $Z = 20\%$; SLS 10 Ultra: $E = 43\%$, $Z = 15\%$; SLS 16: $E = 60\%$, $Z = 65\%$; ULS 16: $E = 60\%$, $Z = 65\%$; ULS 15F: $E = 20\%$, $Z = 50\%$; SLS Obscura: $E = 75\%$, $Z = 99,99\%$; ILS 70 Ultra: $E = 65\%$, $Z = 75\%$; po prawej: ULS 17 Revolux $E = 65\%$, $Z = 75\%$

Latem temperatura wewnątrz szklarni w dzień słoneczny wzrasta ponad wartość wymaganą, optymalną dla wzrostu i rozwoju rośliny, nierzadko dochodząc do 40°C . W celu zmniejszenia intensywności promieniowania słonecznego w szklarni stosuje się cieniówki, ograniczające jego wpływ ale umożliwiające dotarcie do rośliny dostatecznej

jego dawki niezbędnej do wzrostu i rozwoju rośliny (rys. 9). W cieniowanej szklarni temperaturę roślin można znacznie obniżyć tak, aby była tylko o kilka stopni wyższa od temperatury powietrza wewnątrz szklarni.

W warunkach polskich najczęściej stosowane są ekrany o podwójnych właściwościach, tzn. cieniujących i energooszczędnych, oznacza to możliwość poniesienia niższych nakładów inwestycyjnych. Jednocześnie ekran cieniująco-energooszczędny ma wartości charakterystycznej oszczędności energii E i zacienienia Z będące kompromisem (rys. 9).



Rys. 9. Ekrany w szklarni: cieniówka (po lewej) i cieniująco-energooszczędny (po prawej) [11]

Najkorzystniejsze z punktu widzenia kształtowania parametrów mikroklimatu w całorocznej eksploatowanej szklarni jest oczywiście stosowanie podwójnych ekranów, zarówno cieniującego jak i ekranu o właściwościach energooszczędnych (rys. 10). Podraża to oczywiście koszty instalacji, ale jednocześnie zastosowanie dwóch dodatkowych osłon ogranicza jeszcze bardziej straty ciepła przez przegrodę zewnętrzną szklarni.



Rys. 10. Ekrany w szklarni: cieniówka (u góry) i ekran energooszczędny (u dołu) [11]

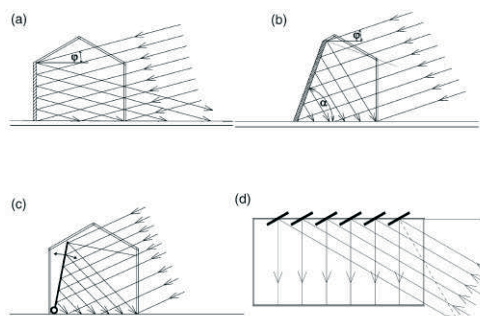
Ekrany wykorzystywane jako izolacja ciepłochronna zimą, muszą dobrze do siebie przylegać, aby dokładnie oddzielić przestrzeń uprawową od dachu i ścian zewnętrznych, zapobiegając nadmiernej infiltracji zimnego powietrza. Według danych literaturowych pojedyncze ekrany termoizolacyjne mogą przynieść oszczędności energii rzędu 35-40% w stosunku do szklarni bez rozwiązań energooszczędnych [13]. Najkorzystniejsze jest usytuowanie ekranu w odległości od 1 do 20 cm od powierzchni zewnętrznego pokrycia [14], a tym samym zamknięcie jak największej kubatury szklarni pod ekranem, ale co ważne w taki sposób by nie ograniczać ruchu powietrza w miejscach montażu wietrzników w okresie letnim.

Latem ekrany cieniujące nie są całkowicie zamykane, aby wymiana powietrza z otoczeniem nie była utrudniona i możliwe było usuwanie nadmiernych zysków ciepła od nasłonecznienia. W przeciwnym przypadku temperatura powietrza w szklarni może osiągnąć wyższe wartości niż bez zacielenia. Z badań własnych autora wynika, że zmiana parametrów mikroklimatu jest latem skuteczniejsza, im większa jest przestrzeń poniżej ekranów cieniujących.

montaż od strony zewnętrznej folii pęcherzykowej - widocznej na rys. 13 w górnej części. Folia pęcherzykowa to jedno z tańszych, ale jednocześnie skutecznych rozwiązań energooszczędnych stosowanych na przegrodach pionowych szklarni i to nie tylko zorientowanych na północ. Oprócz znacznego ograniczenia strat ciepła uzyskuje się również ograniczenie infiltracji zimnego powietrza, kosztem zmniejszonej przepuszczalności promieniowania słonecznego.



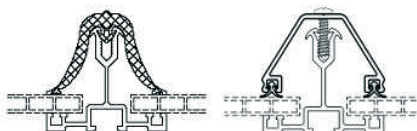
Rys. 13. Ekran odbijający promieniowanie słoneczne zainstalowany na przegrodzie północnej szklarni



Rys. 14. Szklarnia ze ścianą pionową (a) i nachyloną (b) ścianą o dużym współczynniku odbicia, (c) ściana o dużym współczynniku odbicia ze zmiennym nachyleniem, (d) ściana z żaluzjami refleksyjnymi [16]

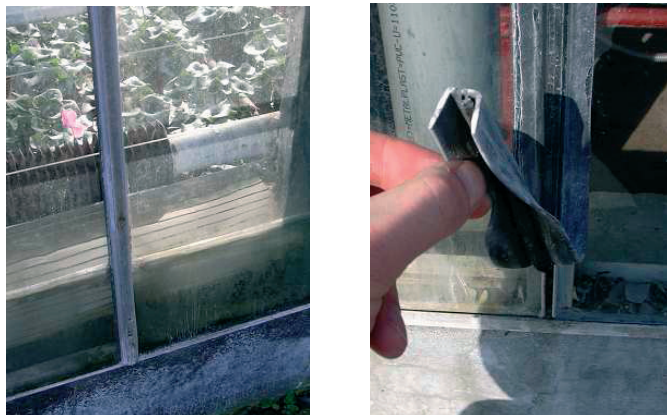
5. Elementy konstrukcyjne - szczeliny

Zapewnienie właściwych warunków świetlnych oraz ograniczenie strat ciepła przez przegrodę zewnętrzną szklarni wymaga zastosowanie odpowiednich elementów konstrukcyjnych poszycia szklarni. Muszą to być szczeliny, które nie będą znacząco przesłaniać powierzchni uprawnej, będą ograniczać lub nawet eliminować wpływ mostka termicznego oraz zapewnią dobrą szczelność zewnętrznego pokrycia szklarni (rys. 15).



Rys. 15. Konstrukcje szczelin minimalizujące infiltrację powietrza i wpływ mostków termicznych [17]

Stosowane obecnie szczeliny wyposażone są w uszczelki gumowe ograniczające infiltrację zimnego powietrza przez nieszczelności oraz mają konstrukcję minimalizującą bezpośredni kontakt nośnej części profilu z częścią dociskającą szybę (rys. 16).

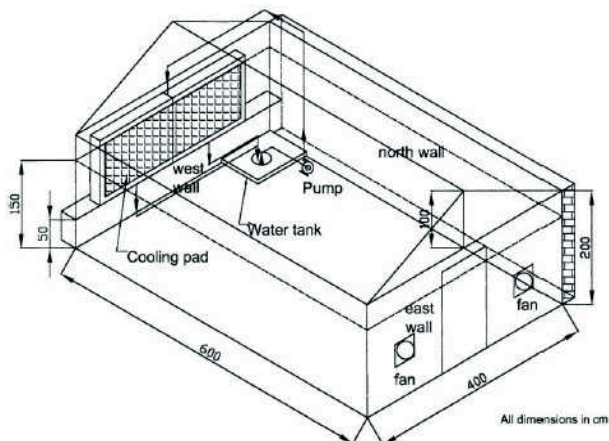


Rys. 16. Szczelbiny w szklarniach Clauhan Project (po lewej) i Debets Schalke (po prawej)

6. Rozwiązania nietypowe - przykłady

Klasyczna bryła budynku szklarniowego ulega przeobrażeniom, głównie z uwagi na większe możliwości stosowania rozwiązań technicznych w celu odpowiedniego kształtowania mikroklimatu oraz konieczności ograniczenia strat ciepła. Zmiany dotyczą nie tylko nowych materiałów pokryć szklarni, ale także zmiany postrzegania szklarni jako obiektu budowlanego.

Przykłady innych współczesnych rozwiązań technicznych w szklarniach, które w niedługim czasie mogą być standardem to min.: budowa masywnych ścian zorientowanych na kierunek północny w celu ograniczenia strat ciepła oraz jego akumulacji, chłodzenie i nawilżanie powietrza napływającego do wnętrza szklarni w okresie letnim (rys. 17). Wdrażanie tych rozwiązań obecnie staje się możliwe z racji na pojawianie się nowych rozwiązań technicznych i materiałowych, które znajdują uznanie u ogrodników, zwłaszcza jeżeli przynoszą wymierne korzyści w zakresie kształtowania mikroklimatu i oszczędności energii



Rys. 17. Szklarnia z masywną ścianą i przegrodą chłodzącą powietrze zewnętrzne [18]

Innym przykładem w zakresie kształtowania parametrów mikroklimatu może być stosowanie ogniw fotowoltaicznych w pokryciu zewnętrznym szklarni w celu cieniowania powierzchni uprawnej i produkcji energii elektrycznej (rys. 18). Wyniki badań w tym zakresie potwierdziły, że odpowiednio usytuowane i stanowiące kilkanaście procent powierzchni dachu ogniw nie wpływają w sposób istotny na pogorszenie warunków świetlnych [19].



Rys. 18. Moduły fotowoltaiczne zamontowane na połaci dachu szklarni w układzie liniowym (a) i szachownicowym (b) [19]

7. Podsumowanie

W artykule przedstawiano rozwiązania techniczne z zakresu przegród obiektów szklarniowych, mających na celu kształtowanie mikroklimatu szklarni. Przegląd nowoczesnych rozwiązań technicznych przegród zewnętrznych szklarni pozwala stwierdzić, że obserwuje się tendencję do stosowania rozwiązań aktywnych. Klasyczna szklarnia ulega przeobrażeniom, dostrzega się konieczność stosowania takich technologii, które umożliwiają optymalne kształtowanie parametrów mikroklimatu w szklarni przy jednoczesnym zapewnieniu zmniejszonych strat ciepła, a tym samym niższych kosztach produkcji.

Zestawienia właściwości rozwiązań technicznych, czy w zakresie współczynników przenikania ciepła czy przepuszczalności świetlnej materiałów [4][20][21], pozwalają na ocenę i wybór korzystniejszych rozwiązań przegród szklarni w celu kształtowania właściwych parametrów mikroklimatu szklarni.

Przedstawiony przegląd nie wyczerpuje tematu optymalnego kształtowania temperatury, wilgotności oraz warunków oświetlenia w szklarni, głównie z racji na mnogość rozwiązań opisanych w literaturze, ale także szereg technologii z zakresu technik instalacyjnych, a dotyczących systemów grzewczych, wentylacyjnych, nawilżania czy doświetlania.

Literatura

- 1 Pudelski T. (red.), Uprawa warzyw pod osłonami. PWRiL, Warszawa 1998
- 2 Mackroth K., Untersuchungen zum Gewachshausklima unter besonderer Berücksichtigung der Kuhlmöglichkeiten. TU Hannover, 1972.
- 3 von Zabeltitz Ch., Gewachshausern – Planung und Bau. Eugen Ulmer GmbH Co., Stuttgart 1986.
- 4 ASHRAE Handbook Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers, Atlanta 2005.
- 5 Rocznik Statystyczny Rolnictwa. Roczniki Branżowe. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2011.
- 6 PN-EN 13206:2003. Folie termoplastyczne osłonowe stosowane w rolnictwie i ogrodnictwie.
- 7 Pollet I.V., Pieters J.G., PAR transmittances of dry and condensate covered glass and plastic greenhouse cladding. Agricultural and Forest Meteorology 110 (2002) 285–298.
- 8 Espí E., Salmerón A., Fontecha A., García Y., Real A.I., Plastic films for agricultural applications. Journal of Plastic Film and Sheeting 22 (2006) 85–102.
- 9 von Zabeltitz Ch., Integrated greenhouse systems for mild climates. Springer, Heidelberg 2011.
- 10 Materiały katalogowe firmy Richel.

- 11 Strona internetowa firmy Agro-Sur: www.agrosur.com.pl
- 12 Materiały katalogowe firmy Ludvig Svensson.
- 13 Tantau, H.J., 1998. Energy saving potential of greenhouse climate control. *Mathematics and computers in simulation* 48 (1998) 93–101.
- 14 Tantau, H.J., Der Einfluss von Einfach und Doppelbedachungen auf das Klima und der Warmehaushalt von Gewächshäusern. ITG, Hannover 1975.
- 15 Tiwari G. N., Ghosal M. K., Mathematical modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and geothermal energy, *Solar Energy* 76 (2004) 603–613.
- 16 Pucar M. D., Enhancement of ground radiation in greenhouses by reflection of direct sunlight, *Renewable Energy* 26 (2002), 561–586.
- 17 Materiały katalogowe firmy International Greenhouse Company.
- 18 Tiwari G. N., Jain D., Modeling and optimal design of evaporative cooling system in controlled environment greenhouse, *Energy Conversion and Management* 43 (2002) 2235–2250.
- 19 Yano A., Kadowaki M., Furue A., Tamaki N., Tanaka T., Hiraki E., Kato Y., Ishizu F., Noda S., Shading and electrical features of a photovoltaic array mounted inside the roof of an east-west oriented greenhouse. *Biosystems engineering* 106 (2010) 367–377.
- 20 Papadakis G., Briassoulis D., Scarascia Mugnozza G., Vox G., Feuilloy P., Stoffers J.A., Radiometric and Thermal Properties of, and Testing Methods for, Greenhouse Covering Materials (Review paper). *Journal of Agriculture Engineering Research* 77 (1) (2000) 7–38.
- 21 Grabarczyk S., Wolski L., Ogólny współczynnik przenikania ciepła w wymiarowaniu termicznym nowoczesnych obiektów szklarniowych, w: *Materiały XLVI K-N Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa*. KILiW PAN i KN PZITB, Wrocław-Krynica 2000, 147–154.

Greenhouses – modern technologies allowing to form optimal air temperature, humidity and the lighting conditions

Sławomir Grabarczyk

*Institute of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Mechanics and Petrochemistry,
Warsaw University of Technology, Plock Campus, e-mail: slawekg@pw.plock.pl*

Abstract: This article presents modern technologies aimed at developing appropriate microclimate conditions in the greenhouse. Discussed these technologies, which are used in greenhouses operated in Polish climatic conditions. Factors influencing the growth of plants, such as light, temperature, humidity and air must be shaped in an optimal manner, ensuring at the same time minimizing costs. Therefore, the modern technologies, such as partitions or screens, double wall, is determined to shape the microclimate. For this purpose, describes the impact of material solutions glasshouse compartments to maintain proper temperature, humidity and light conditions in the greenhouse. Attention is drawn to split partitions for technologies to passive (permanently installed) and active (usually movable) operating according to the outside weather conditions.

Keywords: greenhouse, microclimate, double wall, thermal screen.

Wpływ środowiska wewnętrznego na kształtowanie przegród budowlanych w budynkach chłodni i mroźni do przechowywania owoców i mięsa

Henryk Nowak

Zakład Fizyki Budowli i Komputerowych Metod Projektowania, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Instytut Budownictwa, Politechnika Wrocławska, e-mail: henryk.nowak@pwr.wroc.pl

Streszczenie: W budynkach chłodni składowych i mroźni ze względów technologicznych powinna występować odpowiednio niska temperatura (do -30°C) i odpowiednia wilgotność względna powietrza (85-95%). Przegrody budowlane ograniczające całorocznie chłodzoną kubaturę budynku magazynu chłodniczego powinny charakteryzować się odpowiednią izolacyjnością cieplną i nie dopuścić do kondensacji pary wodnej na powierzchni i wewnątrz przegród. Izolacyjność cieplna przegród budowlanych w znaczący sposób wpływa na bilans cieplny (na 'bilans chłodu') magazynu chłodniczego. W tego typu budynkach panują zupełnie inne warunki termiczne i wilgotnościowe niż w budynkach ogrzewanych, inna jest specyfika pracy przegród pod względem cieplno-wilgotnościowym oraz są inne zasady wykonywania diagnostyki cieplnej budynków istniejących. W artykule przedstawiono główne problemy związane z projektowaniem pod względem cieplno-wilgotnościowym ścian zewnętrznych, stropodachów i podłóg na gruncie w budynkach chłodni składowych i mroźni.

Słowa kluczowe: budynki chłodni i mroźni, przegrody budowlane, przepływ ciepła i pary wodnej, projektowanie

1. Wprowadzenie

Szacuje się w skali globalnej, że około połowę żywności stanowią produkty nietrwałe, wymagające utrwalania w poszczególnych etapach produkcji. Potrzeba właściwego przechowywania i konserwacji żywności wynika także z sezonowych wahań podaży, przy prawie stałym poziomie konsumpcji, ze względów strategicznych oraz z różnej lokalizacji głównych ośrodków produkcji i spożycia.

Wśród stosowanych technik utrwalania żywności nadal przeważają chłodnictwo i suszenie oraz sterylizacja cieplna. Szczególnie szerokie zastosowanie w praktyce znajdują metody fizyczne, polegające na utrwalającym działaniu obniżonej temperatury, w tym najczęściej stosowane schładzanie i zamrażanie żywności, które jednocześnie należą do najzdrowszych metod utrwalania żywności. Zapewniają maksymalne przedłużenie trwałości produktów spożywczych, charakteryzują się względnie niskimi kosztami w skali przemysłowej, mają szeroki zakres zastosowania oraz powodują nieznaczne zmiany walorów dietetycznych i wizualnych.

W ostatnich latach w Polsce bardzo wzrosła liczba produktów spożywczych których mrożenie jest głównym sposobem na przedłużenie okresu przydatności do spożycia, co z kolei wymusza rozwój rynku usług chłodniczych. Od czasu przemian gospodarczych zapoczątkowanych z początkiem lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia krajowy przemysł zamrażalniczy przeżywa stały i intensywny rozwój. Powstało wiele nowych zakładów zbudowanych przy współpracy z renomowanymi firmami zachodnimi, a na światowym rynku produkcji i eksportu produktów mrożonych Polska od lat ugruntowaną mocną pozycję.

W budynkach chłodni składowych i mroźni (magazyny chłodnicze) ze względów technologicznych powinna występować odpowiednio niska temperatura (nawet do -30°C) i odpowiednia wilgotność względna powietrza (85-95%). Przegrody budowlane ograniczające całorocznie chłodzoną kubaturę budynku magazynu chłodniczego powinny charakteryzować się odpowiednią izolacyjnością cieplną i nie dopuścić do kondensacji pary

wodnej na powierzchni i wewnątrz przegród. Izolacyjność cieplna przegród budowlanych w znaczący sposób wpływa na bilans cieplny (a właściwie na 'bilans chłodu') magazynu chłodniczego. W tego typu budynkach panują zupełnie inne warunki termiczne i wilgotnościowe niż w budynkach ogrzewanych, inna jest specyfika pracy przegród pod względem cieplno-wilgotnościowym oraz są inne zasady wykonywania diagnostyki cieplnej.

W artykule przedstawiono główne problemy związane z projektowaniem pod względem cieplno-wilgotnościowym ścian zewnętrznych, stropodachów i podłóg na gruncie w budynkach chłodni składowych i mroźni.

2. Magazyny chłodnicze

2.1. Trochę historii

Do drugiej wojny światowej chłodnie były budowane jako wielokondygnacyjne budynki żelbetowe. Wysokość kondygnacji wynosiła od 3 do 3,6 m, a przeładunek towarów odbywał się ręcznie. Pod koniec lat czterdziestych w USA opracowano nowy typ chłodni jednokondygnacyjnej, który bardzo szybko rozpowszechnił się również w krajach Europy Zachodniej. Chłodnie parterowe były ciągle udoskonalane, a główny kierunek zmian obejmował zmniejszenie masy budynku i usprawnienie jego montażu. Pod koniec lat siedemdziesiątych chłodnie parterowe w zakresie rozwiązań funkcjonalnych jak i konstrukcyjnych zostały doprowadzone do perfekcji – między innymi kompleksowo zmechanizowano i zautomatyzowano przeładunki produktów. Masa budynku zmniejszyła się od 5 do 7 razy [1]. Należy jednak wyraźnie podkreślić, że głównym powodem rozpowszechnienia się chłodni jednokondygnacyjnych nie było obniżenie kosztów i czasu wznoszenia budynku, lecz możliwość wprowadzenia pełnej mechanizacji robót przeładunkowych, z wykorzystaniem samojezdnych podnośników widłowych. Ponadto, chłodnie parterowe miały większą pojemność z łatwiejszym dostępem do komór oraz były zdecydowanie tańsze w eksploatacji. Konstrukcja chłodni była stalowa, natomiast ściany i stropodachy wykonane były z płyt warstwowych. Objętość pojedynczych komór chłodniczych wynosiła od 7 000 do 15 000 m³, natomiast wysokość od 7 do 11 m. W latach osiemdziesiątych nastąpiło dalsze usprawnienie automatycznego systemu przeładunków, natomiast w latach dziewięćdziesiątych wprowadzono zintegrowany system automatycznego wybierania i kompletowania ładunków.

W Polsce oraz w innych krajach Europy Wschodniej chłodnie piętrowe były budowane jeszcze do końca lat pięćdziesiątych. Obecnie w Polsce funkcjonuje około 60 chłodni składowych, przy czym zaledwie kilkanaście z nich zostało wybudowanych w ostatnich latach i właściwie tylko one spełniają niezbędne wymagania jakościowe. Natomiast około trzy czwarte z istniejących budynków chłodniczych to budowle przestarzałe, wybudowane w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia. Zatem, potencjał tego rynku w Polsce jest ogromny.

2.2. Klasyfikacja magazynów chłodniczych

Chłodnia składowa jest istotnym ogniwem tzw. łańcucha chłodniczego, który jest definiowany jako system zabiegów technicznych i czynności, niezbędnych do dostarczenia konsumentowi towaru o odpowiedniej jakości. Zabiegi te rozpoczynają się w momencie pozyskiwania surowca, a kończą się w chwili rozmrożenia gotowego produktu przed konsumpcją. Ogniwa łańcucha chłodniczego są następujące [2]:

- chłodnie zakładowe,
- chłodnie składowe,
- chłodnie dystrybucyjne,
- chłodnie na zapleczech marketów,
- lada, meble chłodnicze w sklepach,
- lodówki i zamrażarki w domach.

Poszczególne ogniwa łańcucha chłodniczego łączy transport chłodniczy. Znamionną cechą łańcucha chłodniczego jest jego ciągłość, a wszystkie jego ogniwa są równie ważne (jeszcze do niedawna specjaliści przypisywali nadmierne znaczenie samemu procesowi zamrażania, uważając go za czynnik warunkujący jakość produktu). W organizacji

nowoczesnego łańcucha chłodniczego przyjmuje się zasadę, że należy tak organizować dystrybucję, aby produkt jak najdłużej przebywał w chłodni składowej a jak najkrócej w ładach sklepowych. Chłodnie składowe stanowią ogniwo wiążące produkcję z dystrybucją.

Chłodnia składowa jest najczęściej samodzielnym obiektem przeznaczonym do przechowywania produktów spożywczych w niskiej temperaturze. W chłodniach może się również odbywać schładzanie i zamrażanie produktów oraz inne procesy technologiczne. W skład obiektu wchodzi przede wszystkim komory składowe wyposażone w izolację zimnochronną oraz urządzenia chłodnicze, pomieszczenia produkcyjne, biurowe, administracyjne, socjalne, komunikacyjne i pomocnicze.

Ze względu na konstrukcję komory chłodnicze możemy podzielić na :

- komory murowane (wolnostojące oraz wbudowane),
- komory składane z segmentowych płyt poliuretanowych (montowane z modułów docinanych na wymiar podczas montażu, montowane na zamki hakowe),
- komory montowane w całości z płyt poliuretanowych u producenta.

W zależności od temperatury komory składowe dzielimy na [3]:

- komory chłodnicze, zakres temperatury $0 \div +10^{\circ}\text{C}$, w tym komory chłodnicze, tzw. okołozerowe, o temperaturze od -1 do $+1^{\circ}\text{C}$,
- komory mroźnicze, zakres temperatury $-5 \div -10^{\circ}\text{C}$,
- komory mroźnicze, tzw. standardowe, zakres temperatury $-18 \div -25^{\circ}\text{C}$,
- komory mroźnicze głębokiego mrożenia, temperatury -30°C i niższe,
- komory z atmosferą kontrolowaną.

Chłodnie składowe buduje się jako parterowe o konstrukcji stalowej, a ściany i stropodachy wykonuje się z płyt warstwowych o odpowiedniej izolacyjności cieplnej. Znane są również przypadki wykonywania komór chłodniczych w wyremontowanych obiektach istniejących i wówczas zewnętrzne ściany murowane należy ocieplić od strony wewnętrznej izolacją cieplną o odpowiedniej grubości.

Bardzo ważnym parametrem chłodni składowej, obok jej pojemności, jest wysokość składowania, która warunkuje rodzaj palet, liczbę ich warstw, rodzaj sprzętu transportowego. Jeszcze do niedawna stosowane były wysokości komór od 3 do ponad 10 m, co umożliwiało stosowanie nawet 5 warstw palet. Obecnie magazyny chłodnicze są w coraz większym stopniu zautomatyzowane, co umożliwia wykonywanie komór mroźni do wysokości 14 m – aktualnie są to obiekty zakwalifikowane jako średniowysokie. Posiadają one zwykle system regałów przesuwanych obsługiwanych przez operatora na podnośniku widłowym. Magazyny chłodnicze w pełni zautomatyzowane to chłodnie bardzo wysokie o wysokości sięgającej 40 metrów - takie obiekty wymagają prawidłowego rozwiązania obiegu powietrza w chłodni, najczęściej metodami numerycznymi. Ruch powietrza wewnątrz komory chłodniczej ma ogromny wpływ na jakość przechowywanych towarów i na koszty eksploatacyjne. W tym przypadku bardzo istotne jest prawidłowe rozmieszczenie wentylatorów chłodnic powietrza, gdyż w wysokich obiektach chłodniczych część ruchu powietrza zawsze odbywa się na drodze konwekcji swobodnej.

Komory chłodnicze mają pojemność od kilkuset do kilku tysięcy metrów sześciennych, a łączna pojemność komór nierzadko przekracza $50\,000\text{ m}^3$. Chłodnie składowe magazynujące dużą masę jednorodnych produktów przez długi okres nie wymagają dużej liczby komór o zróżnicowanej temperaturze powietrza. Jeżeli równocześnie obsługiwany jest szeroki asortyment towarów i jeżeli występuje intensywny obrót towarów to wówczas konieczna jest większa liczba komór o zróżnicowanej temperaturze powietrza.

Komory z kontrolowaną atmosferą są stosowane do przechowywania owoców i warzyw, które należy przechować w warunkach pozwalających zachować ich wagę, wygląd i walory smakowe. Magazynowanie owoców i warzyw przeprowadza się w celu zapewnienia ciągłości ich dostawy na rynku. Owoce i warzywa poddane procesowi magazynowania muszą być przechowywane w warunkach zapobiegających powstawaniu strat, powstających w wyniku działania czynników fizjologicznych, fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych. Do długotrwałego składowania owoców i warzyw wykorzystywane są specjalistyczne magazyny chłodnie o regulowanej temperaturze, wilgotności względnej, ilości tlenu i dwutlenku węgla w pomieszczeniu magazynowym, ponieważ te czynniki głównie decydują o zmianach jakościowych zachodzących

w składowanych produktach. Zabezpieczenie owoców i warzyw przed stratami polega na modyfikacji środowiska magazynowania oraz wprowadzanie różnego rodzaju działań profilaktycznych chroniących towar przed niekorzystnymi zmianami. Obecność tlenu wpływa niekorzystnie na jakość składowanych owoców i warzyw. Zawartość tlenu w atmosferze magazynów przechowalniczych obniża się samoistnie przez procesy fizjologiczne zachodzące w składowanych owocach. Jeżeli magazyn posiada szczelne ściany, podłogę, stropodach i drzwi zawartość tlenu w obecności składowanych owoców samoistnie obniża się. Zawartość dwutlenku węgla również wpływa niekorzystnie na jakość składowanych owoców i warzyw. Na skutek procesów fizjologicznych zachodzących w składowanych owocach zwiększa się zawartość dwutlenku węgla i dlatego, aby temu przeciwdziałać należy absorbować wydzielający się dwutlenek węgla.

Podstawowym typem atmosfery przechowalniczej, powszechnie stosowanej w praktyce, jest powietrze, o przybliżonym składzie: 21 % tlenu, 0,03 % dwutlenku węgla, 78 %, azotu i około 1 % innych gazów. Stosuje się również atmosfery o składzie odbiegającym od powietrza, czasami bardzo znacznie (tzw. technologia Kontrolowanych Atmosfer - KA), w których najczęściej:

- stężenie tlenu jest obniżone, z reguły poniżej 3 %,
- stężenie dwutlenku węgla jest podwyższone do 1 - 5 %,
- azot jest uzupełnieniem atmosfery do 100 % sumy stężeń.

Wykorzystanie technologii Kontrolowanych Atmosfer (KA) w praktyce przechowalniczej wymaga stosowania komór chłodniczych o bardzo wysokim stopniu gazoszczelności przegród budowlanych czyli ścian, stropodachu, podłogi na gruncie, drzwi wejściowych do komory oraz wszelkich przepustów instalacji technologicznych. Wysoka gazoszczelność komory uniemożliwia niekontrolowany przepływ gazów między wnętrzem komory a powietrzem atmosferycznym i powstającą w wyniku tego niepożądaną zmianę parametrów technologicznych przechowywania w technologii (KA), czyli wzrost stężenia tlenu oraz spadek stężenia dwutlenku węgla. W praktyce przechowalniczej stosuje się najczęściej następujące typy Kontrolowanych Atmosfer (KA):

- Modyfikowana Atmosfera (15-16 % tlenu, 5-6 % dwutlenku węgla),
- Kontrolowana Atmosfera (3 % tlenu, 3-5% dwutlenku węgla),
- atmosfera z bardzo niskim stężeniem tlenu, tzw. ULO (*ang.* Ultra Low Oxygen), zawartość tlenu 1-2 %, zawartość dwutlenku węgla 1,5-2 %.

Uzupełniająco stosuje się również atmosferę z wysokim stężeniem dwutlenku węgla (od 15 do 20 % i wyżej), a stężenie tlenu jest obniżone do wartości wynikającej z dodawania czystego dwutlenku węgla do powietrza.

3. Projektowanie przegród budowlanych pod względem cieplno-wilgotnościowym w magazynach chłodniczych

3.1. Ściany zewnętrzne i stropodachy

3.1.1. Budynki nowoprojektowane

Dobór mocy urządzeń chłodniczych przeprowadza się na podstawie szczegółowego bilansu cieplnego chłodni (tzw. "bilansu chłodu"). Bardzo istotną rolę w tym bilansie odgrywają przegrody budowlane ograniczające chłodzoną kubaturę magazynów chłodniczych, tj. ściany zewnętrzne, stropodachy i podłogi na gruncie, z odpowiednio dobraną grubością izolacji cieplnej. Naturalnie, należy również ograniczyć zyski ciepła, wydzielające się podczas eksploatacji chłodni, tj. zyski od ludzi, urządzeń i oświetlenia [4].

Specyfika magazynów chłodniczych w zakresie zachodzących procesów cieplnych i wilgotnościowych w przegrodach budowlanych polega, między innymi, na kierunku przepływu ciepła i dyfuzji pary wodnej – zjawiska te niemal przez cały rok przebiegają w kierunku do pomieszczenia chłodzonego. Zatem, przebiegają zupełnie odwrotnie niż to ma miejsce w przegrodach w budynkach ogrzewanych – największe straty chłodu oraz największe ryzyko wystąpienia kondensacji pary wodnej w przegrodach, w przypadku stosowania tradycyjnych przegród warstwowych, zachodzi w lecie. Również diagnostykę cieplną tych obiektów, w tym głównie badania termowizyjne, najlepiej jest wykonywać w okresie lata, oczywiście w porze nocnej. Komory mroźni można również badać w zimie

przy temperaturze powietrza zewnętrznego około 0°C, przestrzegając podstawowej zasady, aby różnica temperatury powietrza po obu stronach przegród budowlanych wynosiła co najmniej 15 C.

Przy projektowaniu przegród budowlanych w magazynach chłodniczych napotykamy na ważny problem, a mianowicie w Polsce od wielu lat nie ma odpowiednich norm i stosownych rozporządzeń do projektowania izolacji zimnochronnych w komorach chłodniczych i w komorach mroźni. Projektowanie termicznej obudowy takich budynków (hał magazynowych) powinno odbywać się na podstawie poradników i wytycznych do projektowania. Izolacje zimnochronne w magazynach chłodniczych należy tak projektować, aby współczynnik przenikania ciepła U dla ścian zewnętrznych i stropodachów nie przekraczał wartości [5], [6]:

- dla chłodni $U \leq 0,30$ [W/(m² K)],
- dla mroźni $U \leq 0,20$ [W/(m² K)].

Zalecenie o dopuszczalnej wartości współczynnika przenikania ciepła dla przegród magazynu chłodniczego $U_{\max}$ na poziomie 0,20 i 0,30 [W/(m² K)] wcale nie oznacza, że ściany zewnętrzne i stropodachy należy projektować na te właśnie wartości. W opracowaniach [5] i [6] podane są zalecane grubości izolacji cieplnej (zimnochronnej) ze styropianu, ze względów ekonomicznych, o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,043$ [W/(m K)]. Dla przegród zaizolowanych styropianem, tj. materiałem o zbliżonym do wełny mineralnej współczynniku przewodzenia ciepła, zalecana grubość izolacji zimnochronnej mieści się w przedziale od 20,0 cm do 32,0 cm (współczynniki przenikania ciepła wynoszą wówczas, odpowiednio, $U = 0,207$ [W/(m² K)] oraz $U = 0,131$ [W/(m² K)]).

W tabeli 3.1 przedstawiono zestawienie wartości współczynników przenikania ciepła ściennych płyt warstwowych różnych producentów. Z tabeli 3.1. wynika, że dostępne na rynku ściennie płyty warstwowe różnych producentów, przeznaczone do chłodni składowych, charakteryzują się współczynnikami przenikania ciepła w granicach od 0,10 do 0,19 W/(m² K), czyli znacznie poniżej zalecanych wartości.

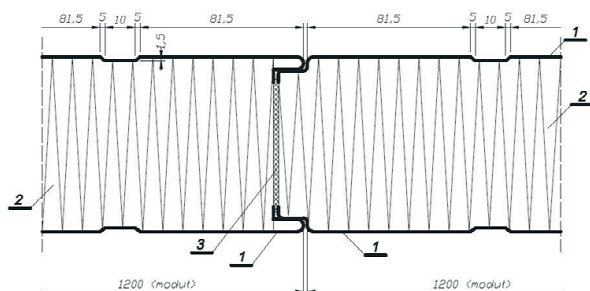
Tabela 1. Zestawienie wartości współczynników przenikania ciepła ściennych płyt warstwowych, tzw. chłodniczych, według różnych producentów

Firma	Grubość rdzenia [mm]	Współczynnik przenikania ciepła [W/(m ² K)]
Płyta KS1150 TL		
KINGSPAN	120	0,19
	150	0,15
	170	0,13
	180	0,12
	200	0,11
Płyta SP2E PIR		
RUUKKI	120	0,16
	160	0,12
	180	0,11
	200	0,10
Płyta BALEX THERM-PU-F		
BalexMetal	120	0,19
	160	0,14
	180	0,12
	200	0,10

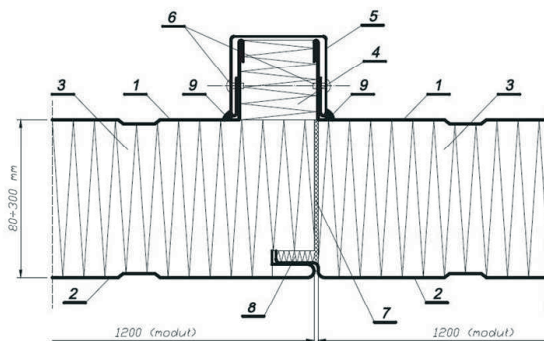
W opracowaniach [5] i [6] podane są również zalecane grubości izolacji zimnochronnej z pianki poliuretanowej, o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,021$ [W/(m K)], dla ścian zewnętrznych i stropodachu nasłonecznionego, w zależności od temperatury powietrza wewnątrz komór chłodniczych. Dla magazynu chłodniczego o temperaturze od +5°C do 0°C, zalecane grubości wynoszą: dla ścian zewnętrznych 12 cm i dla stropodachu 15 cm. W przeliczeniu, zalecana grubość wełny mineralnej powinna

wynosić, odpowiednio, około 22,0 cm oraz około 28,0 cm, w zależności od wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla wełny mineralnej.

Konstrukcje nowych obiektów chłodniczych wykonuje się najczęściej jako stalowe z obudową płytami warstwowymi ściennymi i dachowymi (najczęściej jest to pianka poliuretanowa w obudowie z blachy stalowej powlekanej), o charakterystyce cieplnej opisanej powyżej. Płyty warstwowe obudowy mocowane są do konstrukcji za pomocą śrub mocujących ze stali nierdzewnej. W tym przypadku projektowanie przegród budowlanych pod względem cieplno-wilgotnościowym sprowadza się do doboru płyt warstwowych z odpowiednią grubością izolacji cieplnej, bez obliczania ryzyka wystąpienia kondensacji pary wodnej wewnątrz przegród (obudowa płyt z blachy stalowej). Bardzo istotne, w tym przypadku, jest zapewnienie właściwej szczelności połączenia sąsiadujących płyt warstwowych, realizowanych najczęściej na wpust i pióro. Przykład połączenia paneli ściennych pokazano na Rys. 1. Natomiast na Rys. 2 przedstawiono przykładowy przekrój przez stropodach wykonany z płyt warstwowych [7].



Rys. 1. Przykładowy przekrój przez połączenie ściennych płyt warstwowych: 1) okładziny z blach powlekanych, 2) rdzeń z pianki poliuretanowej lub ze styropianu, 3) uszczelnienie – uszczelka lub pianka poliuretanowa



Rys. 2. Przykładowy przekrój przez stropodach pełny wykonany z płyt warstwowych: 1) i 2) okładzina, odpowiednio, górna i dolna z blachy powlekanej, 3) rdzeń styropianowy, 4) wkładka styropianowa, 5) obróbka styku płyt dachowych, 6) nity zrywalne co 350 mm, 7) uszczelka lub pianka poliuretanowa, 8) pianka poliuretanowa, 9) masa uszczelniająca

3.1.2. Adaptowane budynki istniejące

W przypadku adaptacji budynku istniejącego na magazyn chłodniczy (ostatnich latach zdarza się to coraz rzadziej) wykorzystuje się istniejące ściany murowane jako konstrukcję nośną, które należy ocieplić zgodnie z zasadami projektowania i wykonywania

izolacji cieplnych. Zasada ta brzmi: izolację cieplną należy umieszczać, o ile jest to możliwe, jak najbliżej strony zimniejszej – w budynkach ogrzewanych jest to strona zewnętrzna, natomiast w budynkach (pomieszczeniach) całorocznie chodzonych jest to strona wewnętrzna. Ma to wpływ na:

- rozkład temperatury w przegrodzie,
- rozkład ciśnienia pary wodnej w przegrodzie (ciśnienia rzeczywistego i ciśnienia pary nasyconej), czyli na ryzyko wystąpienia kondensacji pary wodnej wewnątrz przegrody,
- stateczność cieplną przegrody (poprawne ułożenie warstwy izolacji cieplnej poprawia parametry stateczności cieplnej przegrody w zimie i w lecie, czyli poprawia tzw. cieplne dynamiczne właściwości przegród),
- maskowanie (znaczące ograniczanie) wpływu mostków termicznych na właściwości cieplno-fizyczne przegród budowlanych.

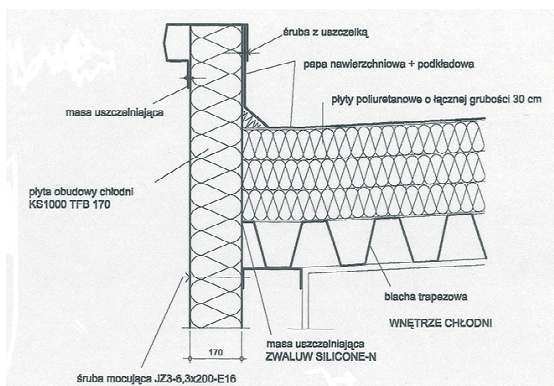
Przestrzegając zasady umieszczania izolacji cieplnej (w tym przypadku zimnochronnej) po stronie chłodniejszej, w budynkach remontowanych bądź w nowych, ale małych magazynach chłodniczych ze ścianami murowanymi, izolację zimnochronną należy umieścić od strony pomieszczenia komory chłodniczej. Najczęściej jest to styropian, zabezpieczony dodatkowo blachą fałdową. Można również stosować inne materiały termoizolacyjne, np. panele Glasbord. Są one wykonane z włókna szklanego utwardzanego żywicą poliestrową i cechują się dużą wytrzymałością oraz odpornością na wpływy chemiczne i wilgoć. Materiał ten jest stosowany jako zamiennik dla paneli metalowych, ceramicznych i termoplastycznych. Powierzchnia paneli Glasbord posiada wysoki połysk oraz fakturę o niskim profilu wytłoczenia, zapewniającą wysoką odporność na ścieranie. Ponadto, są one łatwe w utrzymaniu czystości i spełniają wszystkie wymagania higieny w zakładach przetwórstwa spożywczego.

Przy dobieraniu układu warstw w ścianach warstwowych należy przeprowadzić szczegółowe obliczenia cieplno-wilgotnościowe w celu ewentualnego doboru oporu dyfuzyjnego warstwy paroizolacji, najczęściej folii polietylenowej o bardzo dużym oporze dyfuzyjnym. Należy przy tym przestrzegać następującej zasady: paroizolację należy umieszczać na powierzchni przegrody od strony napływu pary wodnej, czyli od strony cieplejszej. Najczęściej układa się ją wewnątrz przegrody, ale wówczas należy ją umieszczać przed warstwą izolacji cieplnej, patrząc od strony napływu pary wodnej.

W tym przypadku, w razie konieczności, paroizolację należałoby umieścić po zewnętrznej stronie ściany, oczywiście zabezpieczoną okładziną zewnętrzną. Gdyby umieścić ją w środku, to jedynie między ścianą i izolacją termiczną. Należy również pamiętać, że paroizolacja ułożona w niewłaściwym miejscu najczęściej zwiększa ryzyko kondensacji pary wodnej wewnątrz przegrody i powoduje przyspieszoną destrukcję przegrody budowlanej.

O kierunku dyfuzji pary wodnej przez przegrodę budowlaną decyduje różnica ciśnień rzeczywistych pary – najczęściej para wodna dyfunduje zgodnie z kierunkiem przepływu ciepła, tj. od środowiska o wyższej temperaturze (od strony cieplejszej) w kierunku do środowiska o niższej temperaturze (do strony zimniejszej).

Na Rys. 3 pokazano połączenie stropodachu pełnego na blachach fałdowych ze ścianą zewnętrzną. W przeciwieństwie do stropodachów na pomieszczeniach ogrzewanych, w stropodachach nad magazynami chłodniczymi nie należy stosować folii paroizolacyjnej na blachach fałdowych, gdyż może to spowodować kondensację pary wodnej w wełnie mineralnej. W tego typu stropodachach należy dobrać odpowiednio duży opór dyfuzyjny warstw wierzchniego krycia papą i w ten sposób znacznie ograniczyć dyfuzję pary wodnej w kierunku do pomieszczenia magazynu chłodniczego. Największe ryzyko zawilgocenia kondensacyjnego wewnątrz stropodachu i oczywiście wewnątrz ścian zewnętrznych występuje w okresie lata.



Rys. 3. Połączenie stropodachu pełnego na blachach fałdowych ze ścianą zewnętrzną. W przeciwieństwie do stropodachów na pomieszczeniach ogrzewanych, w stropodachach nad magazynami chłodniczymi nie należy stosować folii paroizolacyjnej na blachach fałdowych

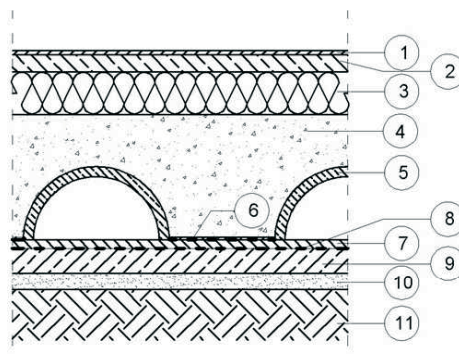
3.2. Podłogi na gruncie

Specyficznymi przegrodami w magazynach chłodniczych są podłogi na gruncie, ponieważ są narażone na szczególnie trudne warunki eksploatacyjne, do których można zaliczyć: znaczne obciążenia pochodzące od środków transportu wewnętrznego oraz składowanych produktów, niekorzystnie zmienne warunki termiczne i wilgotnościowe powietrza oraz działanie środków chemicznych w postaci tłuszczów i kwasów organicznych, soli i cukrów. Wymienione trudne warunki eksploatacyjne występują praktycznie we wszystkich pomieszczeniach technologicznych (chłodnie, zamrażalnie, mroźnie, wychładzalnie oraz pomieszczenia produkcyjne i ekspedycyjne produktów zamrażanych). Dodatkowo, oprócz ustabilizowanej ujemnej temperatury powietrza, w granicach od około 0°C do -30°C , może występować również temperatura do $+20^{\circ}\text{C}$ podczas okresowego rozmrażania. Stąd, podłogi w magazynach chłodniczych, jako podłogi o specjalnym przeznaczeniu, powinny być projektowane indywidualnie dla określonych warunków eksploatacyjnych.

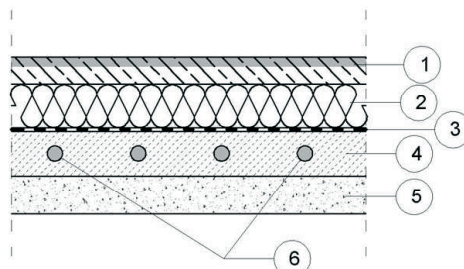
Niezależnie od odporności na działanie niskich i zmiennych temperatur, podłogi w magazynach chłodniczych powinny spełniać wszystkie inne wymagania jakie stawiane są dla podłóg w pomieszczeniach produkcyjnych i magazynowych, a w tym: odporność na ścieranie, na działanie czynników agresywnych i wilgoci, odporność na działanie czynników starzenia, właściwa izolacyjność przeciwdźwiękowa i cieplna, wieloletni okres eksploatacji, nieodkształcalność, zdolność do wykonywania napraw, trwałość barwy i estetyki, łatwość mycia i konserwacji, itd.

Podłogi w pomieszczeniach chłodniczych narażone są na przyspieszoną degradację, wynikającą z trudnych warunków eksploatacyjnych jak również z błędów projektowych i wykonawczych. Uszkodzenia podłóg pogarszają warunki użytkowania, a nawet uniemożliwiają eksploatację obiektów chłodniczych.

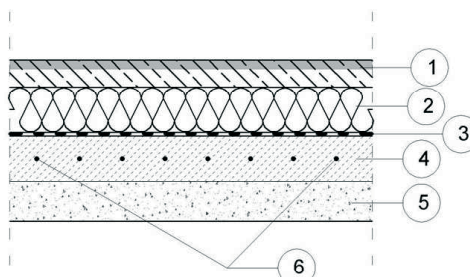
W magazynach chłodniczych, w których w sposób ciągły utrzymywana jest temperatura powietrza znacznie poniżej 0°C , zwłaszcza w przedziale od -20 do -30°C , następuje przemarzanie fundamentów i gruntu znajdującego się pod podłogą na gruncie. Zjawisko to zachodzi pomimo dobrze dobranej grubości izolacji cieplnej ułożonej pod podłogą. Szybkość, z jaką wystąpić może to niekorzystne zjawisko, zależy od rodzaju gruntu, poziomu i rodzaju wody gruntowej, temperatury powietrza wewnątrz chłodni oraz od wielkości pomieszczeń. Przemarzanie gruntu i związane z tym straty można w dużym stopniu ograniczyć za pomocą specjalistycznych systemów grzewczych montowanych pod warstwą izolacji zimnochronnej, co pokazano na Rys. 4, 5 i 6. Oczywiście, właściwy sposób ochrony gruntu przed przemarzaniem powinien być szczegółowo przeanalizowany na etapie projektowania obiektu. Należy tak dobrać wydajność systemu grzewczego, aby można było utrzymać temperaturę gruntu pod komorami niskotemperaturowymi na poziomie powyżej 0°C , co wynika bezpośrednio z bilansu cieplnego ("bilansu chłodu") komory.



Rys. 4. Przekrój podłogi pod magazynem chłodniczym z podgrzewaniem gruntu za pomocą kanałów powietrznych z wymuszonym przepływem powietrza: 1 - posadzka, 2 - płyta żelbetowa, 3 - izolacja cieplna (styropian), 4 - piasek lub żużel, 5 - żelbetowy kanał prefabrykowany ($R/r = 435/375$ mm), 6 - gładź cementowa na izolacji z papy, 7 - gładź cementowa, 8 - dwie warstwy papy bitumicznej, 9 - płyta żelbetowa, 10 - piasek, 11 - grunt.



Rys. 5. Przekrój podłogi pod magazynem chłodniczym z podgrzewaniem gruntu za pomocą rur z glikolem: 1 - płyta żelbetowa ochronna z utwardzoną powierzchnią, 3 - izolacja cieplna (zimnoochronna), 4 - warstwa grzewcza, 5 - utwardzone podłoże, 6 - rury z glikolem.



Rys. 6. Przekrój podłogi pod magazynem chłodniczym z podgrzewaniem gruntu za pomocą elektrycznych przewodów grzewczych: 1 - płyta żelbetowa ochronna z utwardzoną powierzchnią, 3 - izolacja cieplna (zimnoochronna), 4 - warstwa grzewcza, 5 - utwardzone podłoże, 6 - elektryczne przewody grzewcze.

3.3. Elementy wyposażenia dodatkowego

Niezależnie od prawidłowego zaprojektowania izolacji zimnoochronnych i ewentualnie paroizolacji w przegrodach budowlanych ograniczających chłodzoną kubaturę magazynów chłodniczych, specyfika warunków ciepłno-wilgotnościowych środowiska wewnętrznego tego typu obiektów wymusza również stosowanie w nich dodatkowego wyposażenia, które zapewnia prawidłową i bezpieczną eksploatację tych obiektów. W skład dodatkowego i niezbędnego wyposażenia wchodzi:

- zawory dekompresyjne – są to urządzenia wyrównujące ciśnienia w komorach

chłodniczych i mroźniczych. W komorach chłodniczych mamy do czynienia albo z podciśnieniem (schładzanie) lub nadciśnieniem (rozmrężanie/ogrzewanie). W wyniku zmian temperatury powietrza (ogrzewanie lub chłodzenie) w magazynach chłodniczych następuje zmiana objętości powietrza, która powoduje zmiany ciśnienia w postaci nadciśnienia lub podciśnienia. Zadaniem zaworów jest "powietrzne" połączenie przestrzeni komory z otoczeniem i w następstwie tego wyrównanie ciśnień. Zawór otwiera się samoczynnie po otrzymaniu odpowiedniego impulsu różnicy ciśnień. Zawory wyposażone są w grzałki zapobiegające zamarzaniu pary wodnej, co mogłoby doprowadzić do awarii. Brak zaworów (lub ich awaria) może spowodować wystąpienie naprężeń w konstrukcji obudowy komory, czego efektem może być implozja lub eksplozja, a w konsekwencji nawet poważna awaria budowlana.

- kurtyny paskowe przy drzwiach chłodni – jest to znane i sprawdzone od lat rozwiązanie stosowane w celu zminimalizowania strat ciepła (chłodu) w komorach chłodniczych i mroźniczych przy każdorazowym otwarciu drzwi. Ograniczają one ilość ciepłego powietrza zewnętrznego wpływającego do komory. Kurtyny są najbardziej skuteczne w komorach mroźniczych o najniższej temperaturze powietrza - dzięki zastosowaniu kurtyn paskowych występuje zjawisko wykraplania się wilgoci na paskach kurtyny, przez co eliminowane jest przedostawanie się jej do wnętrza komory i tym samym znacznie ograniczone jest występowanie zjawiska oszraniania i obładzania się parowników.
- urządzenie alarmowo-sygnalizacyjne "człowiek w komorze" – zadaniem urządzenia jest alarmowanie otoczenia w razie pozostania człowieka w pomieszczeniu chłodniczym. Obowiązek prawny stosowania sygnalizacji alarmowej oraz wymogi dotyczące urządzeń alarmowych (sygnalizacja awaryjna) dla komór chłodniczych o kubaturze powyżej 10 m³ określają odpowiednie przepisy [8].

3.4. Ogólne wymagania stawiane materiałom izolacyjnym w przegrodach budowlanych magazynów chłodniczych

Materiały izolacyjne (zimnochronne) stosowane w przegrodach budowlanych w magazynach chłodniczych, z uwagi na specyficzne środowisko ciepło-wilgotnościowe magazynów oraz specyfikę ich przeznaczenia powinny spełniać odpowiednie wymagania, do których należą:

- dobra izolacyjność cieplna – najwydajniejszym materiałem izolacyjnym jest pianka poliuretanowa w osłonie z blach stalowych powlekanych, o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda=0,021$ [W/(m K)]. W ścianach warstwowych z częścią nośną murowaną (patrz rozdz. 3.1.2) powinno się stosować styropian o współczynniku przewodzenia ciepła λ poniżej 0,04 [W/(m K)].
- duża oporność dyfuzyjna na przenikanie pary wodnej – ta właściwość ma duże znaczenie w przypadku ścian zewnętrznych warstwowych z warstwą izolacji cieplnej umieszczonej od strony pomieszczenia chłodzonego. Wówczas materiał zimnochronny powinien charakteryzować się dużym oporem dyfuzyjnym na przenikanie pary w celu zabezpieczenia przed kondensacją pary wewnątrz przegrody. Przy stosowaniu lekkiej obudowy w postaci płyt warstwowych z otuliną z blach stalowych powlekanych problem kondensacji wewnątrz przegród nie występuje. W tym przypadku najważniejsze są szczelne połączenia płyt warstwowych ściennych i dachowych na złączach płyt.
- wytrzymałość na ściskanie – ma znaczenie dla izolacji podłóg na gruncie z uwagi na znaczne sumaryczne obciążenie posadzką, regałami stalowymi, składowanymi produktami, ludźmi i pojazdami.
- stabilność właściwości fizycznych w funkcji temperatury – w zakresie temperatury od +20°C do -30 (-35°C) właściwości fizyczne materiałów izolacyjnych powinny być stabilne, a materiały izolacyjne nie mogą pęcznieć pod wpływem wilgoci.
- bezwonność i odporność na gnienie – w przegrodach magazynów chłodniczych nie należy stosować żadnych materiałów budowlanych i izolacyjnych wydzielających zapachy, które mogłyby przejść do przechowywanych produktów. Niedopuszczalne jest gnienie i pleśnienie materiału izolacyjnego pod działaniem

wilgoci, gdyż obniżyłoby to własności izolacyjne i wytrzymałościowe. Powstające podczas gnicia produkty rozkładu powodują degradację przegród budowlanych i wprowadzają nieprzyjemny zapach do komory.

- niepalność - materiały izolacyjne powinny być niepalne i posiadać wysoką temperaturę zapłonu. Umieszczenie materiału izolacyjnego między ścianami lub osłonami z blach stalowych osłonowych uniemożliwia w dużym stopniu zapłon, a gdyby materiał w jakiś okolicznościach uległ jednak zapaleniu, byłby bardzo trudny do ugaszenia.
- stabilność chemiczna - materiały izolacyjne w warunkach eksploatacyjnych powinny być stabilne chemicznie tzn. muszą być obojętne i nie mogą reagować chemicznie z materiałami przegród. Negatywnym efektem skutkiem ubocznym tego oddziaływania mogą być wydzielające się gazy czy zapachy.

4. Podsumowanie i wnioski

W Polsce występuje ogromny potencjał rynku projektowania i realizacji magazynów chłodniczych do przechowywania owoców i warzyw oraz mięsa. Szacuje się, że około 75 % istniejących obiektów są to budowle przestarzałe, wybudowane w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego stulecia.

Specyfika funkcjonowania magazynów chłodniczych w zakresie wymiany ciepła i dyfuzji pary wodnej przez przegrody budowlane polega na utrzymywaniu się całorocznej stałej i relatywnie niskiej temperatury powietrza, nawet do -30°C – -35°C oraz wilgotności względnej powietrza 85-95 %, w zależności od rodzaju przechowywanych produktów. Izolacyjność termiczna przegród budowlanych ograniczających chłodzoną kubaturę magazynów chłodniczych znacząco wpływa na ich bilans ciepła ("bilans chłodu") i na dobór mocy urządzeń chłodniczych. W przypadku magazynów nowoprojektowanych najczęściej stosuje się obudowę termiczną, tj. ściany zewnętrzne i stropodach, w systemowych płyt warstwowych z blachy powlekanej z rdzeniem z pianki poliuretanowej. W tym przypadku nie występuje ryzyko kondensacji pary wodnej wewnątrz przegród, natomiast bardzo istotne jest zapewnienie odpowiedniej szczelności połączeń płyt (najczęściej na pióro i wpust).

W przypadku realizacji magazynów chłodniczych o małej kubaturze ściany zewnętrzne mogą być wykonane jako murowane z izolacją cieplną od strony pomieszczenia (od strony chłodniejszej). Podobne rozwiązanie stosuje się przy remontach istniejących obiektów z przeznaczeniem na magazyny chłodnicze. W tym przypadku bardzo istotne jest umiejscowienie izolacji zimnochronnej od strony chłodnego pomieszczenia oraz sprawdzenie ryzyka pojawienia się kondensacji pary wodnej wewnątrz ścian, z ewentualną koniecznością zastosowania folii paroizolacyjnej na powierzchni ścian od strony zewnętrznej (cieplejszej) lub między ścianą i izolacją cieplną. Przy wykonywaniu stropodachu na blachach fałdowych absolutnie nie należy stosować folii paroizolacyjnej na blachach fałdowych, pod warstwą wełny mineralnej (rozwiązanie z folią paroizolacyjną ułożoną na blachach fałdowych, pod wełną mineralną, stosuje się nad pomieszczeniami ogrzewanymi).

Ważnym elementem termicznej obudowy magazynów chłodniczych są podłogi na gruncie, które narażone są na bardzo duże obciążenia mechaniczne, termiczne i chemiczne (patrz rozdział 3.2). Aby zabezpieczyć grunt pod podłogą przed przemarzaniem i wysadzinami należy podłogę zaopatrzyć w jeden z systemów podgrzewania gruntu. Moc urządzeń grzewczych powinna być dobrana na podstawie bilansu cieplnego magazynu chłodniczego.

Istotnym elementem w trakcie użytkowania magazynów chłodniczych jest systematyczny monitoring i diagnostyka cieplna obiektów, do której najczęściej wykorzystuje się sprawdzoną i bardzo skuteczną metodę badań termowizyjnych [9]. Ale ten temat wychodzi poza zakres niniejszego opracowania.

Literatura

- 1 Gruda Z., Postolski J.: Zamrażanie żywności. Wydawnictwa Naukow-Techniczne, Warszawa 1998.
- 2 Gutkowski K.M.: Chłodnictwo i klimatyzacja. WNT, Warszawa 2003.
- 3 Kijko M.: Wpływ błędów projektowych i montażowych na eksploatację komór chłodniczych i mroźniczych. Chłodnictwo i Klimatyzacja, Nr 6, 2012, s. 74-77.
- 4 Czapp M., Charun H.: Bilans cieplny chłodni. Zasady opracowania. Wydawnictwo WSI w Koszalinie, Koszalin 1995.
- 5 Praca zbiorowa pod red. B.Gazińskiego. Kalendarz chłodnictwa. Rok 2002. Wydawnictwo Systherm Serwis, Poznań 2002.
- 6 Klos z., Karwat M., Dubicki B.: Chłodnictwo. Część I, dane podstawowe. Poradnik projektanta Przemysłowego. Centralny Ośrodek Badawczo-Projektowy Budownictwa Przemysłowego "BISTYP", Warszawa 1979.
- 7 Katalog firmy Metalplast Oborniki Wielkopolskie.
- 8 PN-EN 378-1+A1:2011: Instalacje ziębnicze i pompy ciepła – Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska – Część 1: Wymagania podstawowe, definicje, klasyfikacja i kryteria wyboru.
- 9 Nowak H.: Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.

The influence of the internal environment on the shaping of building envelope in cold store and freezer buildings for storing fruits and meat

Henryk Nowak

*Division of Building Physics and Computational Design Methods, Faculty of Civil Engineering,
Wrocław University of Technology, e-mail: henryk.nowak@pwr.wroc.pl*

Abstract: For technological reasons a properly low air temperature (down to -30°C) and proper air relative humidity (85-95%) should prevail in cold store and freezer buildings. Building envelope enclosing the all the year round cooled volume of the cold store should be characterized by proper thermal insulation and prevent water vapour from condensing on their outer and inner surfaces. The thermal insulation intensity of the building envelope significantly affecting the thermal (cooling) balance of the cold store buildings. Completely different thermal and humidity conditions prevail in such buildings than in heated buildings. The thermal-humidity behaviour of the building envelope is quite different and so the principles of the thermal diagnosis of cold store and freezer buildings are different. The paper presents the main problems involved in the thermal-moisture design of the external walls, flat roofs, and floors on grade in cold store and freezer buildings.

Keywords: cold store and freezer buildings, building envelope, flow of heat and water vapour, design

Zagrożenia pożarowe obiektów budownictwa rolniczego i rozwiązania zabezpieczenia przeciwpożarowego

Andrzej Borowy, Andrzej Kolbrecki, Bogdan Wróblewski

*Zakład Badań Ogniwych, Instytut Techniki Budowlanej,
e-mail: a.borowy@itb.pl, a.kolbrecki@itb.pl, b.wroblewski@itb.pl*

Streszczenie: Bezpieczeństwo pożarowe obiektów budownictwa rolniczego związane jest bardzo silnie z prowadzoną w tych obiektach działalnością. Z wymagań użytkowych wynikają rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe. Obecnie można zaobserwować duży wpływ na poziom bezpieczeństwa stosowanych instalacji. Instalacje związane z technologią występują na ogół jako źródło zagrożeń. Stosowane w wybranych obiektach instalacje sygnalizacji pożarowej czy systemy tryskaczowe wpływają na poprawę poziomu bezpieczeństwa pożarowego. Prace badawcze dotyczące rozwoju pożaru mogą istotnie przyczynić się do poprawienia poziomu bezpieczeństwa pożarowego obiektów budownictwa rolniczego dając także podstawy do nowego podejścia do projektowania takich obiektów oraz wprowadzania zmian w przepisach techniczno-budowlanych.

Słowa kluczowe: budownictwo rolnicze, bezpieczeństwo pożarowe, zagrożenia pożarowe, rozprzestrzenianie ognia, obiekty inwentarskie i magazynowe, pożary.

1. Wprowadzenie

Określenie „obiekty budownictwa rolniczego” obejmuje dość długą listę różnych obiektów budowlanych, w stosunku do których stosowane są różne kryteria oceny bezpieczeństwa pożarowego. W podziale funkcjonalnym główne grupy to:

- budynki mieszkalne,
- budynki inwentarskie (obory, chlewnie, kurniki, owczarnie, stajnie, ujeżdżalnie),
- budynki produkcyjno-magazynowe (służące do przetwórstwa płodów rolnych, służące do przetwórstwa mięsa, chłodnie, suszarnie, przechowalnie owoców),
- budowle dla potrzeb rolnictwa i przechowywania produktów rolnych, w szczególności takie jak: zbiorniki na płynne odchody zwierzęce, płyty do składowania obornika, silosy na kiszonkę, silosy na zboże i pasze, komory fermentacyjne i zbiorniki biogazu,
- obiekty małej architektury.

Każda z wymienionych grup obiektów charakteryzuje się swoją specyfiką. Często podział funkcjonalny nie jest ostry i w jednym obiekcie przenikają się różne funkcje. W zależności od funkcji różne będą cele w zapewnieniu bezpieczeństwa pożarowego. W przypadku budynków mieszkalnych oczywistym celem jest zapewnienie bezpieczeństwa ludzi. W odniesieniu do budynków inwentarskich priorytetem będzie bezpieczeństwo zwierząt, zaś w przypadku budynków produkcyjno-magazynowych bezpieczeństwo mienia. W każdym przypadku konieczne jest uwzględnienie oddziaływania ewentualnego pożaru na inne obiekty usytuowane w sąsiedztwie (a także uwzględnienia sytuacji, gdy różne funkcje są łączone w tym samym obiekcie, lecz w różnych jego częściach).

Według statystyk pożarowych najczęstszymi miejscami powstawania pożarów są obiekty związane z rolnictwem: budynki gospodarcze, (szopy, komórki, garaże, wiaty, kotłownie), budynki inwentarskie i magazynowe, sterty i stogi, budynki i instalacje przerobu produktów rolnych (młyny i paszarnie), maszyny rolnicze, środki transportu rolniczego, uprawy rolne, łąki, nieużytkowe powierzchnie rolne. Najczęstsze przyczyny pożarów w rolnictwie związane są z nieostrożnością w posługiwaniu się ogniem otwartym, substancjami łatwopalnymi, w wykonywaniu prac pożarowo niebezpiecznych. Kolejne przyczyny to wady urządzeń, instalacji elektrycznych, grzewczych jak również ich nieprawidłowa eksploatacja, wady i niewłaściwa eksploatacja urządzeń mechanicznych

i procesów technologicznych. Kolejna grupa przyczyn to samozapalenie się materiałów oraz wyładowania elektryczne (elektryczność statyczna, pioruny). Pewna część pożarów spowodowana jest podpaleniami.

2. Obecne budownictwo rolnicze

W okresie ostatnich 60-ciu lat w Polsce nastąpił znaczny postęp technologiczny, materiałowy i konstrukcyjny w budownictwie rolniczym.

W latach 50-tych i 60-tych XX wieku w Polsce dominowały budynki z drewna, często dachy były jeszcze kryte strzechą słomianą. Budynki występowały w zwartej zabudowie. W tym okresie pożary często występujące na wsiach trawiły całe zagrody a nawet całe wsie.

Głównymi przyczynami powstawania pożarów były wówczas wyładowania atmosferyczne (przy braku odgromników), umyślne podpalenia, uszkodzenia instalacji elektrycznej, zaproszenie ognia przez dorosłych czy też dzieci.

W latach 70-tych i 80-tych XX wieku w Polsce coraz częściej budowano całe budynki rolnicze z materiałów niepalnych, np. ściany z bloczków lub pustaków silikatowych, albo z betonu komórkowego. Wieżby dachowe: dźwigary stalowe, połącz dachowa z blachy płaskiej, eternitu lub różnego rodzaju dachówek. Powstawały specjalistyczne budynki rolnicze do hodowli świń, krów, owiec, kur, koni itp. Budynki te były zazwyczaj wyposażone w instalacje elektryczne, wodne, czasami w instalacje wentylacyjne, ale rzadko w instalacje odgromowe. W tym okresie liczba pożarów zmniejszyła się.

Od lat 90-tych XX wieku w Polsce projektuje się i buduje na wsi nowoczesne obiekty rolnicze w najnowszych technologiach. Obecnie, często obiekty te wznoszone są poza obrębem wsi w znacznej odległości od budynków mieszkalnych. Projekty obiektów są dopasowane do funkcji, jaką obiekt na pełnić. Wynika to także z istotnych zmian, jakie zaszły w sposobie prowadzenia produkcji rolnej. Obok materiałów tradycyjnych projektanci i producenci proponują do wykonania budynków drewno klejone, blachy trapezowe, płyty warstwowe z rdzeniem ze sztywnej pianki poliuretanowej (PUR) lub z rdzeniem poliizocyanurowym (PIR, IPN). Powstały typowe rozwiązania projektowe budynków rolniczych, które gwarantują:

- zachowanie standardów higienicznych,
- zapewnienie izolacyjności termicznej,
- zapewnienie izolacyjności paro- i wiatro-szczelnej,
- odporność na przenikanie wilgoci,
- łatwość czyszczenia i zmywania,
- wytrzymałość mechaniczną,
- małą masę elementów,
- niski koszt eksploatacji,
- bezpieczeństwo pożarowe.

W obecnym budownictwie rolniczym stosuje się rozwiązania dopasowane do różnego przeznaczenia/użytkowania obiektu. W związku z tym wykorzystuje się różne rodzaje konstrukcji. Rozwiązania te charakteryzują się zróżnicowaną wrażliwością na powstanie i rozwój pożaru. Wymagania bezpieczeństwa pożarowego w odniesieniu do lekkich budynków inwentarskich będą zupełnie inne niż wymagania stawiane silosom i magazynom na zboże i pasze, ponieważ obiekty te pełnią różne funkcje użytkowe. Poszczególne rodzaje obiektów wymagają indywidualnej oceny w zależności od przewidywanego sposobu wykorzystania/użytkowania.

Znaczna część budynków wybudowanych zgodnie z nowymi projektami wyposażona jest w odpowiednio zaprojektowane instalacje elektryczne, wodno-kanalizacyjne, wentylacyjne i odgromowe. W niektórych budynkach stosowane są instalacje sygnalizacji pożaru (z wykorzystaniem czujek dymowych) a czasami nawet instalacje tryskaczowe, np. w magazynach sprzętu czy materiałów o znacznej wartości. Silosy są wyposażane w systemy sygnalizujące możliwość powstania samozapłonu.

Wśród stosowanych rozwiązań dominuje budownictwo lekkie, szybkie w montażu, tanie w montażu i eksploatacji, ale zapewniające wymagane warunki technologiczne. Równocześnie powszechne jest wykorzystywanie tworzyw sztucznych (rdzenie płyt

warstwowych, izolacja ścian i stropów – kasety i dachy warstwowe, instalacje, izolacje natryskiwane od wewnątrz) co istotnie zwiększa zagrożenie pożarowe w obiektach.

Na pewno nie da się jednak powiedzieć, że zagrożenie pożarowe zostało wyeliminowane. Obecnie budowane obiekty są znacznie większe. Na ogół są wykonywane w lekkich, tanich technologiach, niosących za sobą zwiększony udział materiałów palnych (głównie tworzyw sztucznych); obciążenie ogniowe jest w nich zazwyczaj większe niż w obiektach wznoszonych poprzednio.

3. Wymagania przepisów

Wymagania dotyczące bezpieczeństwa pożarowego zostały określone w przepisach prawa. W rozporządzeniach wykonawczych do ustawy *Prawo Budowlane* określone zostały wymagania jakie powinny spełniać różne obiekty budowlane.

Ustawa *Prawo Budowlane* [1] w Art. 3 definiuje obiekt budowlany jako:

- a) budynek wraz z instalacjami i urządzeniami technicznymi,
 - b) budowlę stanowiącą całość techniczno-użytkową wraz z instalacjami i urządzeniami,
 - c) obiekt małej architektury,
- a dalej stanowi, że:
- 1) budynek to taki obiekt budowlany, który jest trwale związany z gruntem, wydzielony z przestrzeni za pomocą przegród budowlanych oraz posiada fundamenty i dach,
 - 2) budowla to każdy obiekt budowlany niebędący budynkiem lub obiektem małej architektury, jak: obiekty liniowe, lotniska, mosty, wiadukty, estakady, tunele, przepusty, sieci techniczne, wolno stojące maszty antenowe, wolno stojące trwale związane z gruntem urządzenia reklamowe, budowle ziemne, obronne (fortyfikacje), ochronne, hydrotechniczne, zbiorniki, wolno stojące instalacje przemysłowe lub urządzenia techniczne, oczyszczalnie ścieków, składowiska odpadów, stacje uzdatniania wody, konstrukcje oporowe, nadziemne i podziemne przejścia dla pieszych, sieci uzbrojenia terenu, budowle sportowe, cmentarze, pomniki, a także części budowlane urządzeń technicznych (kotłów, pieców przemysłowych, elektrowni wiatrowych i innych urządzeń) oraz fundamenty pod maszyny i urządzenia, jako odrębne pod względem technicznym części przedmiotów składających się na całość użytkową,
 - 3) obiekty małej architektury – niewielkie obiekty, a w szczególności,
 - a) kultu religijnego, jak: kapliczki, krzyże przydrożne, figury,
 - b) posągi, wodotryski i inne obiekty architektury ogrodowej;
 - c) użytkowe służące rekreacji codziennej i utrzymaniu porządku, jak: piaskownice, huśtawki, drabinki, śmietniki.

Zatem budynki rolnicze – powinny spełniać wymagania „Warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” [2], zaś budowle rolnicze powinny spełniać wymagania „Warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie” [3].

Budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby w przypadku powstania pożaru możliwa była ewakuacja, aby ograniczyć rozprzestrzenianie się pożaru w budynku i między budynkami i aby w określonym czasie nie uległa zniszczeniu konstrukcja budynku [2].

W przepisach techniczno-budowlanych stosuje się podział wyrobów budowlanych na palne i niepalne. Wyroby palne dzieli się na niezapalne, trudnozapalne i łatwozapalne. Oprócz podanego wyżej podziału elementy budynku dzieli się na: nierozprzestrzeniające ognia, słabo rozprzestrzeniające ogień i silnie rozprzestrzeniające ogień.

Klasyfikacji ogniowej w zakresie reakcji na ogień dokonuje się według PN-EN 13501-1 [4]. Klasyfikację dachów w zakresie odporności na działanie ognia zewnętrznego (rozprzestrzeniania ognia przez dachy) określa się wg PN-EN 13501-5 [5]. Relacje pomiędzy określeniami z warunków techniczno-budowlanych a klasyfikacjami według norm PN-EN są podane w rozporządzeniu [2] i instrukcji [6]. Rozprzestrzenianie ognia przez zewnętrzne powierzchnie ścian zewnętrznych określa się wg dotychczasowej normy polskiej [7], bez odnoszenia do klasyfikacji według norm PN-EN.

Wymagania bezpieczeństwa pożarowego związane z ochroną bierną (odporność

pożarowa budynków, strefy pożarowe i oddzielenia przeciwpożarowe, drogi ewakuacyjne, wymagania dla elementów wykończenia i wyposażenia stałego, palenisk i instalacji, usytuowanie budynków z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe) są podane w rozporządzeniu [2] i częściowo [3].

W nowelizacji rozporządzenia [2] z 2009 roku wprowadzono punkt 4 w następującym brzmieniu: „Wymagania dotyczące bezpieczeństwa pożarowego budynków oraz części budynków stanowiących odrębne strefy pożarowe, określanych jako IN, odnoszą się również do takich budynków w zabudowie zagrodowej o kubaturze brutto nieprzekraczającej 1500 m³, jak stodoły, budynki do przechowywania płodów rolnych i budynki gospodarcze”. W przypadku innych budynków IN (inwentarskich) należy stosować w całej pełni wymagania zawarte w rozporządzeniu [2].

Wymaganie to zostało także w sposób ogólny sformułowane w odniesieniu do budowli rolniczych w § 39 rozporządzenia [3]: „Budowle rolnicze powinny być zabezpieczone przed pożarem i wybuchem ...”.

W szczególności wymaga się w § 40 [3] „Budowle rolnicze powinny być wykonane z elementów budowlanych nierozprzestrzeniających ognia”.

Klasyfikację ogniową w zakresie rozprzestrzeniania ognia po ścianach zewnętrznych określa się na podstawie PN-90/B-02867 + A1 [7] a po dachach na podstawie PN-EN 13501-5 [5].

Klasyfikacja w zakresie rozprzestrzeniania ognia ma wpływ na wymagane odległości między budynkami określone w Rozdziale 7 rozporządzenia [2]. W Tabeli 1 przedstawiono ogólne wymaganie dotyczące minimalnych odległości pomiędzy zewnętrznymi ścianami budynków niebędącymi ścianami oddzielenia przeciwpożarowego.

Tabela 1. Wymagane odległości między budynkami z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe

Rodzaj budynku oraz dla budynku PM maksymalna gęstość obciążenia ogniowego Q, [MJ/m ²]	Rodzaj budynku	
	ZL (zagrożenia ludzi)	IN (inwentarskie)
	[m]	[m]
ZL	8	8
IN	8	8
PM (przemysłowo-magazynowe) $Q \leq 1000$	8	8
PM $1000 < Q \leq 4000$	15	15
PM $Q > 4000$	20	20

Odległości podane w tabeli 1 dotyczą budynków ze ścianami i dachami nierozprzestrzeniającymi ognia; w przypadku, gdy jedna ze ścian zewnętrznych usytuowana od strony sąsiedniego budynku lub przekrycie dachu jednego z budynków jest rozprzestrzeniające ogień wówczas odległości z tabeli należy zwiększyć o 50%, a jeżeli dotyczy to obu ścian zewnętrznych lub przekrycia dachów obydwu budynków – o 100%. Jeżeli ściana lub przekrycie dachowe nie mają określonej klasyfikacji ogniowej to należy przyjąć, że są silnie rozprzestrzeniające ogień.

4. Zagrożenia pożarowe

Pomimo nowoczesnych technologii stosowanych we wznoszonych obecnie obiektach budownictwa rolniczego zagrożenie pożarem w tych obiektach jest nadal duże. Wynika ono przede wszystkim z wymagań technologii produkcji.

Obecnie wykonywane obiekty są obiektami przeznaczonymi do produkcji na wielką skalę (np. kurniki na 10 – 20 tys. szt.), muszą spełniać podwyższone wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej (izolacja cieplna z uwagi na koszty wykonywana jest na ogół z materiałów palnych), technologia wprowadza rozwiązania generujące dodatkowe źródła zagrożeń (np. dodatkowe ogrzewanie, istotne zwiększenie ilości występującego kurzu i pyłu czy stężeń gazów grożących wybuchem), co łącznie prowadzi do zwiększenia zagrożenia wystąpienia pożaru. Aktualne pozostaje zagrożenie ze strony działalności człowieka (nieostrożne wykonywanie prac remontowych i spawalniczych, brak systematycznego czyszczenia powierzchni, na których gromadzi się kurz i pył, brak konserwacji instalacji elektrycznych, itp.). Zagrożenie powstania pożaru jest większe w:

- budynkach do hodowli ściółkowej,
- gdzie jest gromadzona większa ilość siana i słomy,

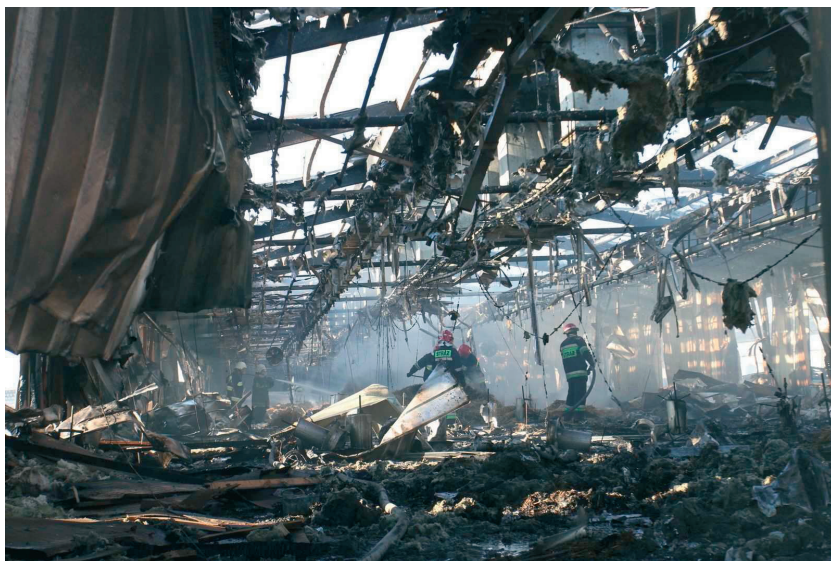
- suszarniach gdzie np. składowane są duże ilości suchego tytoniu,
- silosach na zboże.

Ze względu na dużą różnorodność występującą w produkcji rolnej obiekty budownictwa rolniczego są bardzo zróżnicowane. Wymagania użytkowe narzucają konieczność projektowania obiektów pod określone potrzeby i wymagania. W związku z tym powstają odpowiednie rozwiązania projektowe. W zależności od rodzaju obiektu wybierane są określone rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne, które z kolei wiążą się z określonymi właściwościami ogniowymi a w konsekwencji także z określonymi zagrożeniami pożarowymi. Nie można zapominać, że na rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne należy jeszcze nałożyć wymagania technologiczne. Dopiero zestawienie tych dwóch elementów pozwala oszacować poziom zagrożeń pożarowych. W niektórych przypadkach można zmniejszyć zagrożenie pożarowe poprzez zastosowanie dodatkowych rozwiązań (np. instalacji tryskaczowej), ale wiąże się to z dodatkowymi kosztami.

Poniżej przedstawiono kilka przykładów rzeczywistych pożarów budynków rolniczych, jakie wystąpiły na terenie Polski w ostatnich latach.

1. Pożar kurnika w Trękusku, 7 marca 2011 r.

Na fot. 1 i 2 pokazano akcję gaszenia pożaru kurnika oraz widok kurnika po pożarze. Na skutek pożaru zginęło 20 tysięcy kurcząt, budynek uległ spaleniu.



Fot. 1. Akcja gaszenia pożaru kurnika w Trękusku (fot. Grzegorz Wadowski, Gazeta Olsztyńska)



Fot. 2. Widok kurnika w Trękusku po pożarze (fot. Grzegorz Wadowski, Gazeta Olsztyńska)

2. Pożar stodoł w Nowej Białej na Spiszu, 3 września 2010 r.

Stodoły były pełne siana i to ograniczało większy dostęp powietrza i szybsze rozprzestrzeniania się ognia. W akcji gaśniczej brało udział 136 strażaków z 25 jednostek straży pożarnej z okolic Nowego Targu. Strażakom udało się opanować ogień po godzinie akcji i uratować budynki mieszkalne w okolicy płonących pięciu zabudowań gospodarczych. Był to siódmy pożar stodoł w okolicy na przestrzeni od lat siedemdziesiątych (wg Nowy Targ – Naszemiasto.pl).



Fot. 3. Akcja gaszenia pożaru stodoł w Nowej Białej (fot. Józef Słowik, Gazeta Krakowska)

3. Pożar chlewni w Zaworach (gmina Książ Wielkopolski), 1 grudnia 2012 r.

Ogień rozprzestrzenił się bardzo szybko i nie udało się uratować zwierząt. Z płonącego budynku wydobywał się tak gęsty dym, że strażacy pracowali w aparatach powietrznych. W akcji gaśniczej wzięło udział 41 strażaków (wg wielkopolskie.naszemiasto.pl).



Fot. 4. Pożar chlewni w Zaworach (źródło <http://wielkopolska.naszemiasto.pl/galeria/zdjecia/1637615>)

Przytoczone wybrane przykłady realnych pożarów w ostatnich latach w Polsce wskazują, że straty materialne wywołane tymi pożarami są znaczne i zawsze jest niebezpieczeństwo przedostania się ognia z jednego obiektu na drugi. Często jest tak, że straż pożarna jest zawiadamiana o pożarze, gdy cały budynek jest w ogniu. W budynkach rolniczych bardzo często występuje znaczna ilość materiałów palnych. Brak instalacji alarmowych (czujek dymowych czy temperaturowych), brak instalacji uziemiających, nierzadko wadliwie wykonana instalacja elektryczna oraz brak jej należytej konserwacji powodują, że powstały ogień w takich budynkach nie jest natychmiast zauważalny, pożar przechodzi w fazę rozwiniętą i jest trudny do ugaszenia.

Źródła zagrożeń związane są z zróżnicowanymi wymaganiami użytkowymi, instalacjami elektrycznymi, instalacjami grzewczymi, instalacjami technologicznymi, obciążeniem ogniowym (w tym kurz i pył) a także występującymi w otoczeniu pożarami zewnętrznymi: lasów, łąk, pól, kombajnów oraz wyładowaniami atmosferycznymi.

W zależności od rodzaju obiektu zagrożenia będą dotyczyć ludzi, inwentarza, mienia i/lub środowiska. We wszystkich przypadkach może wystąpić zagrożenie rozprzestrzenienia ognia na budynki sąsiednie – obecnie już nie tak powszechne ze względu na sytuowanie dużych obiektów inwentarskich i magazynowych (z innych względów) w odosobnieniu od budynków mieszkalnych i gospodarczych.

Ze względu na skalę prowadzonej obecnie produkcji rolnej coraz częściej pożary obiektów rolniczych wiążą się z dużymi stratami materialnymi.

5. Rozwiązania zabezpieczeń przeciwpożarowych w obiektach budownictwa rolniczego

Rozwiązania zabezpieczeń przeciwpożarowych w obiektach budownictwa rolniczego powinny dotyczyć dwóch obszarów: rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych oraz działań organizacyjno-szkoleniowych.

Rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne mogą obejmować:

- stosowanie rozwiązań wykorzystujących wyroby o lepszych właściwościach w zakresie reakcji na ogień, rozprzestrzeniania ognia i odporności ogniowej,
- wyposażanie obiektów w instalacje sygnalizacji pożaru oraz ewentualnie także w instalacje tryskaczowe,
- wyposażanie obiektów zagrożonych wybuchem w instalacje przeciwdziałające powstawaniu niebezpiecznych stężeń i sygnalizujące ich powstawanie,
- stosowanie w większym zakresie elementów oddzieleni przeciwpożarowych.

- Konkretnie rozwiązania zabezpieczeń materiałowo-technicznych muszą wynikać z zastosowanej konstrukcji obiektu i jego przeznaczenia.

Działania organizacyjno-szkoleniowe mogą obejmować:

- sytuowanie obiektów wrażliwych w określonej odległości od innych zabudowań,
- szkolenie obsługi w zakresie technologii produkcji i powstających przy tym zagrożeń pożarowych oraz kontrolowanie przestrzegania procedur postępowania,
- wyposażanie obiektów w odpowiedni podręczny sprzęt gaśniczy i stała jego kontrola,
- systematyczne kontrolowanie stanu instalacji, w które wyposażony jest obiekt (w szczególności instalacji elektrycznej),
- zorganizowanie skutecznego systemu łączności z jednostkami straży pożarnej,

Podejmowane działania dotyczące bezpieczeństwa pożarowego muszą uwzględniać specyfikę technologii i sposobu użytkowania obiektu. W określonym obiekcie spełnienie wymagań formalnych wynikających z przepisów może być niewystarczające.

6. Podsumowanie

Budownictwo rolnicze stale się zmienia. Stosowane są nowoczesne rozwiązania dobrane do wymagań użytkowych obiektów. Wymagania w zakresie bezpieczeństwa pożarowego sformułowane w przepisach zazwyczaj nie nadążają za rozwojem nowych technologii. Wprowadzane rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe często wykorzystują w znacznie większym stopniu wyroby palne – szczególnie izolacje cieplne. Powoduje to zwiększenie zagrożenia pożarowego. Istotnym elementem przy podejmowaniu decyzji są także wymagania ubezpieczycieli przy ustalaniu warunków ubezpieczenia. Powinna występować tu równowaga pomiędzy wymaganiami prawnymi a rynkowymi zasadami prowadzenia działalności gospodarczej.

Prace badawcze koncentrują się na ustalaniu wpływu stosowanych rozwiązań materiałowo-technicznych na możliwy rozwój pożaru. Tworzone są w ten sposób podstawy do wprowadzenia zmian w przepisach techniczno-budowlanych a także wskazywane są kierunki prac nad nowymi rozwiązaniami konstrukcyjno-materiałowymi.

Przykładami takiego rozwiązania jest zastosowanie natrysku z pianek poliuretanowych. Zgodnie z podanymi wcześniej wymaganiami ściany z takimi natryskami powinny mieć klasyfikację nierozprzestrzeniających ogień. Oznacza to konieczność stosowania specjalnych powłok tak, aby system uzyskał klasę reakcji na ogień co najmniej B-s3,d0 (nierozprzestrzenianie ognia) lub D-s1,d0 (słabe rozprzestrzenianie ognia). Innym przykładem jest stosowanie płyt warstwowych, które mają specjalne powłoki ochronne przed oddziaływaniami biologicznymi, stosowanie których może mieć wpływ na spełnienie określonych kryteriów charakterystyk użytkowych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego.

Laboratoria badań ogniowych prowadzą również badania do oceny właściwości ogniowych wymaganych w przepisach techniczno-budowlanych [8]. Wyniki tych badań stanowią podstawę nie tylko do oferowania tych wyrobów budowlanych i elementów budynku na rynku, ale także umożliwiają projektantom opracowywanie nowych rozwiązań, zapewniających lepsze właściwości ogniowe [6], [9].

Rolnicy i właściciele nieruchomości na wsi obligatoryjnie zobowiązani są do opłacania składek ubezpieczenia od odpowiedzialności cywilnej za swoje budynki, a firmy ubezpieczeniowe przy ustalaniu składek zwracają uwagę na bezpieczeństwo pożarowe obiektów, jednak bez dokładniejszej weryfikacji zastosowanych rozwiązań.

Niewątpliwie występuje potrzeba wnikliwszej analizy statystyki, monitorowania występujących przypadków pożarów w obiektach budownictwa rolniczego, prowadzenia prac badawczych, które umożliwią stworzenie podstaw do ustalenia wymagań funkcjonalnych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w odniesieniu do tego rodzaju budownictwa – cele do osiągnięcia mogą mieć tu inne priorytety: bezpieczeństwo inwentarza, bezpieczeństwo mienia (zboże, płody rolne, owoce, warzywa, itp.), bezpieczeństwo ludzi i obiektów sąsiadujących czy też możliwy wpływ na środowisko.

Działalność w sferze badawczej i naukowej w obszarze bezpieczeństwa pożarowego prowadzi do stworzenia podstaw do racjonalnych rozwiązań technicznych i odpowiednich kodyfikacji prawnych, przy czym obie te sfery w efekcie wzajemnie się przenikają i uzupełniają: wymagania wymuszają określony kształt rozwiązań technicznych i odwrotnie

– wprowadzane nowe rozwiązania techniczne oparte na wynikach prac badawczych i naukowych powodują konieczność nowego formułowania wymagań prawnych (stan wymagań prawnych zawsze odnosi się od określonego poziomu dostępnych rozwiązań technicznych).

Literatura

- 1 Ustawa *Prawo Budowlane*, tekst jednolity ogłoszony obwieszczeniem Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dn. 12 listopada 2010 r. (Dz. U. Nr 243 poz. 1623).
- 2 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75 poz. 690, ze zm.).
- 3 Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 97 poz. 132).
- 4 PN-EN 13501-1+A1: 2010 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień.
- 5 PN-EN 13501-5+A1: 2010 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 5: Klasyfikacja na podstawie wyników badań oddziaływania ognia zewnętrznego na dachy.
- 6 Instrukcja ITB 401/2004 Przyporządkowanie określeniom występującym w przepisach techniczno budowlanych klas reakcji na ogień według PN-EN
- 7 PN-90/B-02867 + A1 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Metoda badania stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany.
- 8 Wróblewski B., Borowy A. Fire resistance tests and fire resistance classification of timber building elements. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology* № 80 (2012) 211-214.
- 9 Instrukcja ITB 409/2004 Projektowanie elementów żelbetowych i murowych z uwagi na odporność ogniową.

Fire hazard of agricultural construction works and fire protection solutions

Andrzej Borowy, Andrzej Kolbrecki, Bogdan Wróblewski

*Fire Research Department, Building Research Institute,
e-mail: a.borowy@itb.pl, a.kolbrecki@itb.pl, b.wroblewski@itb.pl*

Abstract: Fire safety of agricultural constructions is strongly connected with activity taken up in those places. Structural-material solutions result from the usage requirements. Currently, huge influence on the level of fire safety the installations usage can be observed. Such installations, connected with the technology, are thought to be the source of fire hazard. The use of fire detection installations and sprinkler systems exert an influence on the improvement level of fire safety in selected buildings. Research works dealing with the fire development can significantly contribute to the improvement of agricultural constructions fire safety level. Moreover, they can give a basis for the new approach to design of agricultural constructions and can implement changes to the building code.

Keywords: agricultural building, fire safety, fire hazard, fire spread, livestock and storage construction works, fires.

Specyfika projektowania, wykonawstwa i eksploatacji silosów na produkty rolne

Andrzej Łapko

*Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Politechnika Białostocka, e-mail: lapko@pb.edu.pl*

Streszczenie: W pracy omówiono i przedyskutowano wybrane problemy projektowania konstrukcji silosów dla rolnictwa, w oparciu o aktualnie obowiązujące zasady i reguły projektowania. Szczególną uwagę zwrócono na uwzględnianie w projektach silosów realistycznych warunków eksploatacji, takich jak dobór parametrów materiałowych, wpływy termiczne na konstrukcje i sposoby eksploatacji komór silosowych. Opisano procesy eksploatacyjne związane ze składowaniem produktów rolnych w silosach oraz działania w celu zabezpieczenia jakości przechowywanych produktów oraz bezpieczeństwa użytkowania i trwałości tych obiektów.

Słowa kluczowe: silosy, zasady projektowania, warunki eksploatacji, trwałość.

1. Wprowadzenie

Przeznaczeniem silosów dla rolnictwa jest tymczasowe składowanie płodów rolnych lub ich przetworów, a także paszy dla zwierząt. Zagadnienia kształtowania i projektowania konstrukcji zbiorników na ośrodki sypkie doczekały się w naszym kraju wielu opracowań [8], [9], [10]. Należy jednak podkreślić, że silosy należą do obiektów o podwyższonym stopniu ryzyka i zagrożenia katastrofą, w porównaniu do innych budowli inżynierskich. Tematyka prac badawczych z tego zakresu jest bardzo obszerna. Na całym świecie nadal prowadzone są liczne prace studialne i badania na modelach i obiektach rzeczywistych. Analizy dość licznie występujących uszkodzeń, awarii i katastrof silosów wykazują, że ich przyczyny tkwią nie tylko w błędach wykonawczych lub niezgodnych z przepisami sposobów eksploatacji tych obiektów ale często wynikają z błędnych założeń na etapie projektowania [7]. Niezwykle ważne jest rozpoznanie realistycznych stanów naprężeniowych w konstrukcji komór silosowych wynikających z kombinacji obciążeń i oddziaływań. Na etapie założeń do projektu silosu konieczna jest zatem wnikliwa ocena czynników wewnętrznych i zewnętrznych, które mogą wpływać na zachowanie się tych konstrukcji w czasie wykonawstwa i eksploatacji. Zasadom wyznaczania obciążeń w zbiornikach na ośrodki sypkie poświęcono oddzielny obszerny tom Eurokodu 1 część 4 [14]. Jednakże wymieniona norma charakteryzuje się licznymi ograniczeniami i uproszczeniami [3]. Wynika to po części stąd, że składowane ośrodki sypkie charakteryzują się zmiennością właściwości w przestrzeni silosu i w funkcji czasu składowania, dlatego losowo-zmienne rozkłady obciążeń obliczeniowych często mogą różnić się od rozkładów rzeczywistych. Jednakże przy obecnym stanie wiedzy, precyzyjne określenie średniej wartości parcia silosowego i jego wariancji podczas opróżniania nie jest możliwe [14].

W niniejszej pracy omówiono wybrane zagadnienia dotyczące projektowania silosów na produkty rolne z uwzględnieniem realnych warunków eksploatacji w procesach napełniania, składowania i opróżniania komór silosowych.

2. Projektowanie silosów

2.1. Aktualne założenia do wyznaczania obciążeń w silosach

Ze względu na stan fizyczny i sposób przepływu w komorach silosów składowanych ośrodków pochodzenia rolniczego wyróżnia się:

- Silosy na suche produkty rolne, z przepływem grawitacyjnym.
- Silosy na kiszonki, wymagające specjalnych urządzeń do opróżniania.

Zasady projektowania silosów na kiszonki omówiono szczegółowo w pracy [10]. W niniejszej opracowaniu omówiono wyłącznie zasady wyznaczania oddziaływań w silosach na suche produkty rolne. Wielkości parcia w tych silosach wywołane procesami napełniania lub opróżniania komór zależą od wielu złożonych parametrów związanych zarówno ze składowanym ośrodkiem rozdrobnionym, parametrów dotyczących materiału konstrukcyjnego komory, a także jej wymiarów geometrycznych. Mimo licznych badań doświadczalnych na modelach silosów i obiektach w skali naturalnej, a także zaawansowanych analiz teoretycznych, wielkości parcia silosowego przyjmowane do analizy rozkładów sił wewnętrznych i wymiarowania mają nadal charakter przybliżony. Ponadto dodatkowym źródłem oddziaływań na komory silosów jest jego otoczenie, które wywołuje takie efekty, jak wahania temperatury powietrza, zmienną wilgotność, nasłonecznienie, a także oddziaływanie wiatru i śniegu. Istotnym czynnikiem jest tu cykliczny charakter oddziaływań ośrodka sypkiego na silosy, które zgodnie z wymaganiami normy europejskiej [14] należy traktować jako obciążenia zmienne. Podstawowe obciążenia i oddziaływania na konstrukcje silosów zestawiono tablicy 1.

Tabela 1. Rodzaje obciążeń i oddziaływań na komory silosów wg [11]

Oddziaływania wewnętrzne	Oddziaływania zewnętrzne	
	Niemechaniczne	Mechaniczne
Parcie materiału sypkiego podczas napełniania, składowania i opróżniania grawitacyjnego (lub pneumatycznego)	Klimatyczne: Zmiany wilgotności: Zawilgocenie i wysychanie, Radiacja słoneczna, Zamrażanie i rozmrażanie	Ciężar własny konstrukcji i wyposażenia silosu
Parcie termiczne spowodowane równomiernym ochłodzeniem ściany silosu lub/i samo nagrzewem ośrodków sypkich	Temperaturowe Różnice temperatury na grubości ścian i między częściami konstrukcji, Zmiany nasłonecznienia	Obciążenia klimatyczne (śnieg, parcie wiatru, oblodzenie)
Parcie termiczne nagrzaných ośrodków sypkich	Zewnętrzne czynniki korozji materiałowej	Oddziaływania sejsmiczne lub parasejsmiczne
Sprężenie ścian silosu	Procesy ścierania wewnętrznej powierzchni ścian	Wybuchy pyłów ośrodków sypkich
Skurcz, pękanie betonu	Wody gruntowe	Nierównomierne osiadanie fundamentów

Określone w Eurokodzie PN-EN-1991:2008 [14] oddziaływania na silosy można uznać za spełniające kryterium 2% prawdopodobieństwa ich przekroczenia w okresie jednego roku. Wartości charakterystyczne obciążeń przyjęte w normie nie wynikają jednak z formalnej analizy statystycznej, z uwagi na brak wystarczających danych do takiej analizy. Z uwagi na brak możliwości precyzyjnego określania oddziaływań na dno i ściany komór, dla celów projektowania konstrukcje silosów przypisano do 3 klas oceny obciążeń (ang. *Action Assessment Class - AAC*), różnicując silosy z uwagi na rozmiar (pojemność składowania) oraz niepewność przy ocenie skutków mimośrodowego opróżniania lub napełniania poprzez otwory zlokalizowane na odpowiednio dużych mimośrodkach.

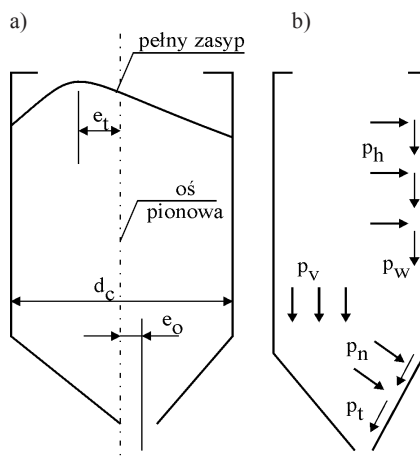
Przyjęto założenie, że dla małych pojemności składowania w komorach silosowych nieuzasadnione byłoby ponoszenie nadmiernych kosztów wynikających ze stosowania wysokiej jakości materiałów konstrukcyjnych lub też przeprowadzanie badań doświadczalnych właściwości składowanych ośrodków sypkich. Konsekwencje awarii konstrukcji żelbetowych silosów oraz związane z tym ryzyko utraty życia i mienia uwzględniono stosownie do postanowień normy PN-EN-1990 [15]. Klasyfikację sytuacji obliczeniowych silosów stosownie do wymagań niezawodności według europejskiej normy silosowej zestawiono w tabeli 1. Oznaczenia przyjęte w tabl. 2 podano na rys. 1a.

Do małych silosów zaliczonych do klasy AAC1 stosuje się uproszczone metody projektowania. Możliwe jest przyjmowanie klasy wyższej, niż podana w tabl. 2. Skutkuje to każdorazowo koniecznością przyjmowania procedur obliczeniowych obowiązujących

w danej klasie. Wybór klasy niezawodności powinien być uzgodniony pomiędzy projektantem a zlecającym. Przy projektowaniu baterii komór silosów zblokowanych przy wyborze klasy niezawodności należy kierować się parametrami pojedynczej komory w bloku.

Tablęla 2. Klasyfikacja sytuacji obliczeniowych silosów z podziałem na klasy oceny oddziaływań AAC wg PN-EN1991-4 [14]

Klasa oceny	Opis warunków zaliczenia silosu do danej klasy oceny oddziaływań AAC
Klasa AAC3	Silosy o pojemności komory powyżej 10 000 ton Silosy o pojemności komory powyżej 1000 ton, w których ma miejsce co najmniej jedna z poniższych sytuacji: - opróżnianie mimosrodowe przy mimosrodzie $e_0/d_c > 0,25$ (rys.1a) - napełnianie mimosrodowe niskich silosów, jeśli $e_0/d_c > 0,25$ (rys.1a)
Klasa AAC2	Silosy uwzględnione w normie PN-EN-1991-4 lecz nie zakwalifikowane do innej klasy
Klasa AAC1	Silosy o pojemności poniżej 100 ton



Rys. 1: Sytuacje obliczeniowe w silosach: a) – rozmieszczenie mimosrodowe otworów technologicznych, b) – składowe parcia w silosie traktowane jako obciążenia symetryczne według normy [14]

2.2. Sytuacje obliczeniowe przy projektowaniu silosów

2.2.1. Zasady wyznaczanie obciążeń

W obliczeniach parcia ośrodka sykiego w fazie napełniania i opróżniania należy rozważać przypadki obciążeń wynikające z następujących oddziaływań (rys 1b):

- maksymalna składowa parcia, normalna do pionowej ściany komory,
- maksymalna składowa parcia, styczna do pionowej ściany komory,
- maksymalne parcie pionowe na dno silosu,
- maksymalne obciążenie leja silosu.

We wszystkich przypadkach obciążeń należy przyjmować górną charakterystyczną wartość ciężaru objętościowego składowanego produktu rolnego γ . Każdy z przypadków obciążeń należy ustalić przyjmując odpowiednie wartości właściwości produktu:

- μ - charakterystyczną wartość współczynnika tarcia materiału o ścianę komory,
- K - iloraz składowej parcia poziomego i pionowego materiału,
- ϕ_i - kąt tarcia wewnętrznego rozdrobnionego produktu rolnego.

Aby zapewnić wymagany poziom bezpieczeństwa przy projektowaniu konstrukcji silosów w klasach AAC2 i AAC3 według PN-EN [14] należy przyjmować zróżnicowane ekstremalne wartości parametrów ośrodków sykich, wyznaczane z uwzględnieniem ich

rozkładu statystycznego. Dla każdego z przypadków obciążeń silosu wartości parametrów materiałowych należy przyjmować według schematu podanego w tabl. 3.

Tabela 3. Poziomy parametrów materiałowych przyjmowanych w różnych sytuacjach obliczeniach komór silosowych zaliczanych do klas AAC2 i AAC3 [14]

Zakres obliczeń	Wartość charakterystyczna przyjmowana do obliczeń		
	Współczynnik tarcia o ścianę silosu μ	Iloraz K parcia poziomego i pionowego	Kąt tarcia wewnętrzniego ϕ_i
Maksymalne parcie normalne na pionową ścianę silosu	Dolna wartość	Górna wartość	Dolna wartość
Maksymalna składowa tarcia na ścianę pionową	Górna wartość	Górna wartość	Dolna wartość
Maksymalne pionowe obciążenie leja lub dna płaskiego	Dolna wartość	Dolna wartość	Górna wartość

Tabela 4. Wybrane właściwości niektórych produktów rolnych składowanych w silosach: symbol ☼ oznacza materiały podatne na wybuchy pyłów [14]

Rodzaj ośrodka rozdrobnionego	Ciężar jednostkowy γ [kN/m ³]		Kąt stoku naturalnego ϕ_r	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ_i	Iloraz parcia bocznego K		
Poziom parametru	dolny γ_l	górny γ_u	średni ϕ_r	średni ϕ_{im}	parametr a_ϕ	średni K_m	parametr a_K
Materiał brakujący	6,0	22,0	40°	35°	1,3	0,50	1,5
Mieszanka paszy dla zwierząt	5,0	6,0	39°	36°	1,08	0,45	1,10
Granulowana pasza	6,5	8,0	37°	35°	1,06	0,47	1,07
☼ Jęczmień	7,0	8,0	31°	28°	1,14	0,59	1,11
☼ Mąka	6,5	7,0	45°	42°	1,06	0,36	1,11
☼ Kukurydza	7,0	8,0	35°	31°	1,14	0,53	1,14
Ziemniaki	6,0	8,0	34°	30°	1,12	0,54	1,11
Ziarno sojowe	7,0	8,0	29°	25°	1,16	0,63	1,11
☼ Cukier	8,0	9,5	38°	32°	1,19	0,50	1,20
Burak cukrowy granulowany	6,5	7,0	36°	31°	1,16	0,52	1,15
☼ Pszenica	7,5	9,0	34°	30°	1,12	0,54	1,11

Wartości średnie parametrów materiałowych dla powszechnie znanych produktów rolnych zestawiono w tabl.4. za normą europejskiej [14]. W celu określenia charakterystycznych wartości (górnych lub dolnych) tych właściwości należy posłużyć się odpowiednimi współczynnikami konwersji a_θ podanymi na podstawie rozkładów statystycznych oddzielnie dla każdego z materiałów składowanych w silosie.

Górna charakterystyczna wartość parametru θ

$$\theta = a_\theta \theta_m \quad (1)$$

Dolna charakterystyczna wartość parametru θ

$$\theta = \theta_m / a_\theta \quad (2)$$

W silosach zaliczonych do klasy AAC1 obciążenia należy ustalać dla średnich wartości parametrów materiału rozdrobnionego μ_m , K_m i ϕ_{rm} .

W sytuacji, gdy koszt badań właściwości składowanego materiału nie jest uzasadniony, a jednocześnie koszt projektowanego silosu przy założeniu składowania materiałów o wielu różnych właściwościach nie jest znaczny, można posłużyć się właściwościami tzw. „materiału brakującego”. W silosach małych rozmiarów właściwości te mogą być adekwatne. Jednakże w dużych silosach doprowadzi to do bardzo

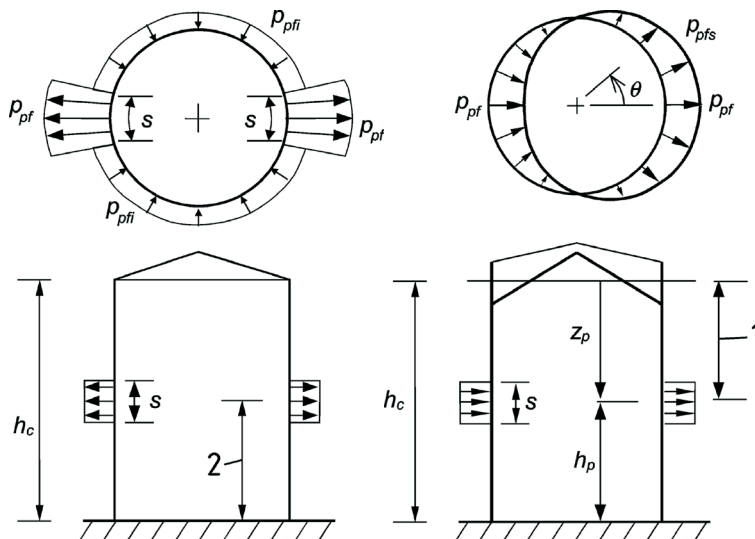
nieekonomicznych rozwiązań projektowych i w tych przypadkach zawsze preferowane są badania materiałowe.

Parcie na ściany komór silosów wywołane napełnianiem i opróżnianiem grawitacyjnym składowanych produktów rolnych przez otwory wysypowe zlokalizowane na małych mimośrodkach względem osi pionowej komory ($e_0/d_c \leq 0,25$, patrz rys.1a) należy obliczać jako superpozycję dwu rodzajów oddziaływań: **parcie symetryczne plus parcie lokalne**.

Parcie symetryczne w silosach smukłych (o wartości stałej na danym poziomie głębokości komory) wg Eurokodu 1-4 [14] wyznacza się na podstawie założeń klasycznej teorii Jansena [9] oddzielnie dla stanu po napełnieniu i podczas opróżniania określając następujące składowe (rys.1b):

- poziomą p_h działającą na wewnętrzną powierzchnię ściany komory,
- normalną p_n do powierzchni nachylonej leja wysypowego,
- styczną p_w i p_t do powierzchni ściany i leja,
- pionową na poziomie płaskiego dna komory p_v .

Parcie lokalne (ang. *patch load*) należy obliczać zarówno po napełnieniu komory, jak i podczas jej opróżniania. Uwzględnia się w ten sposób wpływ lokalnego zwiększenia parcia materiału sypanego na obwodzie komory silosu wynikającego z imperfekcji i mimośrodowego usytuowania otworów technologicznych. Koncepcja ta pochodzi z badań niemieckich [12]. Parcie lokalne jest nieumiejscowione i powinno być uwzględnione w dowolnym miejscu ściany komory silosowej. W normie europejskiej [14] parcie lokalne przypisano do silosów klas AAC2 i AAC3. W silosach klasy AAC1 parcie to może być pominięte. Koncepcję obciążenia lokalnego wg EC1-4 [14] pokazano na rys.2a, b.

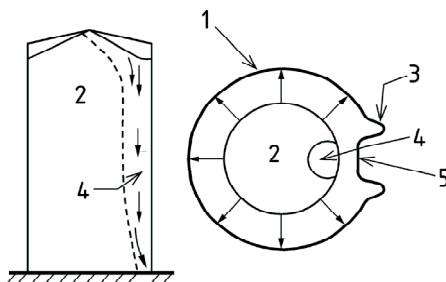


Rys. 2. Schematy obciążenia lokalnego przy napełnianiu silosu: a) - komory stalowe, b) - komory żelbetowe; elewacje boczne i rozkłady obciążenia lokalnego na obwodzie [14]

W przypadku silosów o ścianach sztywnych (z betonu zbrojonego) parcie lokalne występuje w postaci dwu działających w kierunku zewnętrznym lokalnie przyłożonych składowych parcia p_{pf} (przy napełnianiu) lub p_{pe} (przy opróżnianiu) na powierzchni kwadratu o boku s (rys.2b):

$$s = \pi d_c / 16 \cong 0,2 d_c \quad (3)$$

W przypadku opróżniania silosów przez otwory technologiczne na dużych mimośrodkach ($e_0/d_c > 0,25$, patrz rys.1a), w silosach zaliczanych do klasy AAC 3 należy dodatkowo uwzględnić schemat niesymetrycznego rozkładu parcia na obwodzie silosu [14], co pokazano na rys.3.



Rys. 3. Niecentryczny kanał przepływu przy opróżnianiu silosu przez otwór na dużym mimośrodku i wywołany tym niesymetryczny rozkład parcia według Eurokodu 1-4 [14] (1-parcie statyczne, 2-strefa ośrodka w bezruchu, 3-lokalne maksimum parcia, 4-kanał przepływu, 5-parcie w kanale przepływu)

Dodatkowo należy uwzględnić parcie termiczne p_{hT} w komorze silosu cylindrycznego wywołane obniżeniem się średniej temperatury ściany pod wpływem zmian dobowej temperatury otoczenia, z uwagi na opór jaki stawia materiał sypki.

$$p_{hT} = C_T \alpha_w \Delta T \frac{E_w}{\frac{r}{t} + (1-\nu) \frac{E_w}{E_m}} \quad (4)$$

gdzie: C_T - współczynnik obciążenia, α_w - współczynnik rozszerzalności termicznej ściany, ΔT - równomierny spadek temperatury ściany, r - promień komory, t - grubość ściany, E_w - moduł sprężystości materiału ściany, ν - współczynnik Poissona składowanego materiału, E_m - moduł sprężystości materiału w silosie wyznaczany na podstawie badań doświadczalnych lub ze wzoru podanego w EC 1-4 [14].

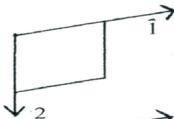
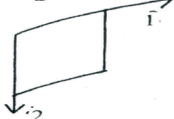
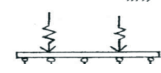
Powyższy wzór został wyprowadzony na podstawie definicji sztywności ośrodka sypkiego i termicznych deformacji wolnostojącego silosu cylindrycznego, które mogą wystąpić w czasie eksploatacji. Badania w tym zakresie, prowadzone na Politechnice Białostockiej na modelach silosów [2], [13] wykazały znacznie większe wartości parcia termicznego, niż określone z podanego wyżej wzoru (4).

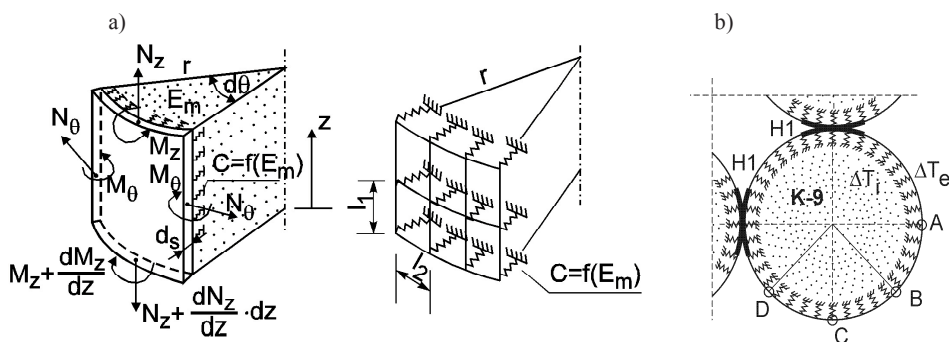
2.2.2. Założenia do obliczeń statycznych i wymiarowania

Skomplikowany charakter obciążeń w komorach silosów powoduje wystąpienie w ścianach i lejach komór zmiennych układów sił wewnętrznych, omówionych tabl.5.

Prace studialne z udziałem autora [2] wykazały, że w analizie sił wewnętrznych w konstrukcjach silosów celowe jest uwzględnienie modelu interakcji ściany silosu i składowanego materiału sypkiego. Wymaga to oceny rozkładu sztywności materiału składowanego w kontakcie ze ścianą silosu. W modelu numerycznym MES w węzłach ustroju ściany wprowadza się więzy sprężyste o założonej podatności C będące funkcją modułu sprężystości E_m składowanego materiału pochodzenia rolniczego. Schemat takiego modelu obliczeniowego pokazano na rys.4a. Powyższy model nadaje się szczególnie do analizy sił wewnętrznych wywołanych parciem lokalnym i parciem termicznym. Jego zastosowanie jest także przydatne w analizie schematów statycznych baterii silosowych (rys. 4b).

Tabela 5. Układy sił wewnętrznych w elementach konstrukcyjnych silosów wolnostojących wg [11]

Typ elementu konstrukcyjnego	Schematy obliczeniowe	Stan naprężeniowo - odkształceniowy
1 Przekrycia nadsilosowe:		Stany zgięciowe w płytach. Brak cyklicznych oddziaływań związanych z procesami napełniania i opróżniania.
Stropy płytowo-belkowe		Stany bezmomentowe w kopułach z uwzględnieniem efektów brzegowych
Przekrycia bezbelkowe		
Powłoki typu kopułowego		
2 Ściany komór silosów:		Wzdłuż osi 1 – mimośrodowe rozciąganie od parcia materiału sypkiego i parcia lokalnego
Silosy prostopadłościennie		Wzdłuż osi 2 – ściskanie od ciężaru własnego i tarcia materiału o ściany. Występują efekty cyklicznej zmienności sił wewnętrznych
Silosy koliste		
3 Konstrukcje podsilosowe:		Mimośrodowe dwukierunkowe rozciąganie wywołane parciem materiału w lejach stożkowych
Leje stożkowe lub ostrosłupowe		Zginanie w płytach płaskich podpartych słupami
Płyty denne płaskie wsparte na słupach		
4 Płyty fundamentowe		Płyta na podłożu sprężystym z obciążoną zmienną reakcją słupów



Rys. 4: Schematy obliczeniowe ściany silosu uwzględniający interakcję konstrukcji i składowanego materiału: a) dyskretyzacja MES ściany komory wolnostojącej, b) schemat MES dla baterii silosów

3. Wybrane problemy wykonawstwa i eksploatacji silosów

3.1. Zapewnienie szczelności ścian komór silosowych

Przechowywanie produktów pochodzenia rolniczego w silosach wymaga zapewnienia odpowiednich warunków termiczno-wilgotnościowych składowanego ośrodka. Wymaga się, aby podczas składowania materiałów agrofizycznych nie dochodziło do wzrostu ich zawilgocenia. Z analiz przeprowadzonych przez Blighta [1] na silosach zbożowych wynika, że lokalne zawilgocenie ziarna zboża, wywołane zaciekami deszczu przez nieszczelne ściany komór żelbetowych może być przyczyną nie tylko utraty jakości ziarna (z uwagi na biologiczne procesy butwienia i towarzyszący im efekt lokalnego wzrostu temperatury

produktu nazywany zjawiskiem samonagrzewu) ale prowadzi to do powstania dodatkowych zarysowań w silosach żelbetowych lub wybożenia ściany wykonanych z blachy stalowej. Proces utraty szczelności ścian ulega więc dodatkowemu przyspieszeniu.

Podstawowym zagadnieniem wykonawstwa komór silosów betonowych jest zatem zapewnienie szczelności ścian, co należy osiągnąć poprzez zastosowanie odpowiedniego składu mieszanki betonowej gwarantującej szczelność betonu. Na cechę tę ma wpływ odpowiedni dobór uziarnienia kruszywa, rodzaj cementu, zastosowanie domieszek uszczelniających oraz właściwa pielęgnacja. Zwiększenie szczelności powierzchniowej ściany z betonu można również uzyskać poprzez zastosowanie odpowiednich wykładzin, takich jak krzemianowanie lub fluatowanie [9].

Betonowanie silosów żelbetowych lub sprężonych z reguły wykonywane jest techniką deskowań ślizgowych, co umożliwia wykonywanie tego procesu w zasadzie bez przerw roboczych. Gdy zaistnieje konieczność wykonywania takich przerw (np. w zbiornikach dużych średnic) należy połączyć warstwę nowego betonu z warstwą już wykonaną, jeszcze przed jej związaniem [9]. W celu uzyskania szczelnego betonu w konstrukcjach komór należy stosować właściwe wibratory, które zapewnią likwidację szczelin powietrznych powstałych pod prętami zbrojenia poziomego komór. Brak usunięcia takich szczelin doprowadzi do przeciekania ścian, a dalszej kolejności do korozji zbrojenia i wspomnianych wyżej procesów gwałtownego pogorszenia się jakości składowanych produktów rolnych. Wskazane jest wydłużenie pielęgnacji betonu co najmniej do 2 tygodni, aby skurcz betonu nie nastąpił przed osiągnięciem przez beton wystarczającej wytrzymałości.

3.2. Zapewnienie warunków składowania produktów rolnych w silosach

Warunki składowania produktów rolnych w silosach muszą zapewnić ich dobrą jakość w odpowiednio długim czasie. Przykładowo, ziarno podstawowych zbóż, po wysuszeniu do wilgotności 14% i schłodzeniu do temperatury poniżej 10°C, przy zachowaniu stałych parametrów, może być składowane nawet do 3 lat [16]. Bezpośrednio po zbiorze produkty rolne charakteryzują się dużą nierównomiernością rozkładu wilgotności i temperatury, a także zawierają dość wysoką masą zanieczyszczeń. Trwają w nim jeszcze procesy dojrzewania. Takie produkty są narażone na działalność szeregu szkodliwych czynników.

Wzrost temperatury masy produktów rolnych składowanych w silosach jest zawsze niepożądany. Może on nastąpić z kilku powodów. W normalnych warunkach składowania przyczyną jest wzrost sezonowej temperatury otoczenia silosu. Należy jednak podkreślić, że zmiany te są z reguły bardzo powolne. Z badań Sinha i Wallace [6] w silosie stalowym na rzepak wynika, że sierpniowa temperatura masy ziarna + 27⁰ C (w sierpniu pierwszego roku badań) utrzymała się bez wyraźnych zmian aż do grudnia tego roku i dopiero w kolejnym roku latem spadła do +5⁰C. Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli 5. Inaczej jest z temperaturą ściany komory, która może zmieniać się w cyklu dobowym (wpływ nasłonecznienia, deszczu, pory dnia). Wynikające stąd stany naprężeń w silosach były analizowane na Politechnice Białostockiej w zespole kierowanym przez autora [2, 13].

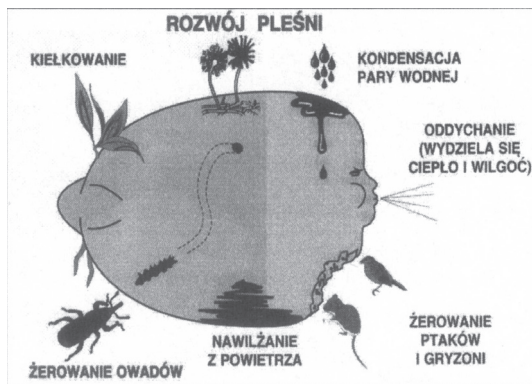
Tabl. 5. Rozkłady temperatury w stalowym silosie na ziarno rzepaku z badań Sinha and Wallace [2]

Okres	Temperatura latem		Temperatura zimą	
	Temperatura ściany	Temperatura w ośrodku sytkim	Temperatura ściany	Temperatura w ośrodku sytkim
1-szy rok badań	Sierpień + 37 ⁰ C	Sierpień + 27 ⁰ C	Grudzień - 7 ⁰ C	Grudzień + 27 ⁰ C
2-gi rok badań	Lipiec + 31 ⁰ C	Lipiec + 5 ⁰ C	Styczeń - 16 ⁰ C	Styczeń + 16 ⁰ C

Nagle przyrosty temperatury w masie składowanych produktów rolnych są zawsze sygnałem wystąpienia patogennych procesów biologicznych prowadzących do różnorodnych uszkodzeń i obniżenia jakości materiałów [4]. Przykładowy wykaz zagrożeń, na jakie jest narażone jest ziarno zboża podczas przechowywania w silosie przedstawiono na rys. 5. Produkty rolne o zwiększonej wilgotności wydzielają w komorze silosu ciepło i parę wodną, która kondensuje na ich powierzchni produktów i sprzyja rozwojowi grzybów

pleśniowych, a nawet kiełkowaniu. Najbardziej szkodliwa jest działalność grzybów chorobotwórczych wydzielających tzw. mikotoksyny [16].

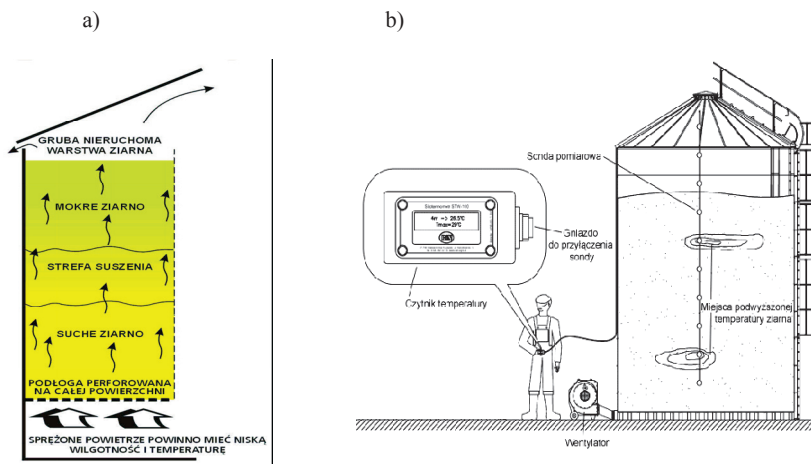
Porażone ziarna nie nadają się na cele konsumpcyjne ani siewne. Obniżona zostaje ich zdolność kiełkowania. Ziarno może ulec procesowi rozkładu, występuje jego zbrylanie się, wydziela nieprzyjemny zapach. Nierzadko nie nadaje się nawet na paszę.



Rys. 5: Zagrożenia na jakie narażone jest ziarno zbóż przechowywanych w silosach, wg [16]

Aby zapewnić dobrą jakość produktów składowanych w dłuższym czasie, nowoczesne komory silosów powinny być wyposażone w urządzenia do podsuszania (rys.6a). Proces podsuszenia polega tu na wykorzystaniu przepływu powietrza atmosferycznego przez dosuszaną masę produktów od dolnej warstwy aż do powierzchni górnej. Powietrze suszące wdmuchiwane jest za pomocą wentylatora pod perforowane dno silosu i przepływając przez przestrzeń międzyziarnową przechwytuje wilgoć odparowywaną z produktów rolnych, a następnie po przejściu przez całą masę produktu wydostaje się na zewnątrz poprzez otwory wentylacyjne w dachu silosu.

Komory silosów powinny być także wyposażone w system monitoringu temperatury w masie składowanych produktów. Układu pomiaru temperatury pokazano na rys. 6b [16]. Sonda pomiarowa typu linowego zbudowana jest z czujników temperatury rozmieszczonych na długości liny, zwykle co 1m. Jeden koniec liny jest zamocowany się na stropie nadkomorowym (lub w dachu silosu). Czujniki są połączone przewodem elektrycznym, wyprowadzonym poza komorę silosu wprost do czytnika temperatury.



Rys. 6. Schemat wyposażenia silosu zbożowego w system niskotemperaturowego suszenia ziarna (a) i kontroli temperatury w masie produktu (b) [16]

Utrzymywanie wymaganych reżimów temperatury i wilgotności podczas eksploatacji produktów rolnych w silosach nie dopuszcza do strat wywołanych rozwojem szkodników (owady, roztocza lub gryzonie), które mogą w krótkim czasie zupełnie zniszczyć składowane produkty. Szkodniki magazynowe są bardzo płodne. Przykładowo, od jednej pary wołków zbożowych po sześciu pokoleniach może powstać aż ponad 8 milionów potomstwa, z których każde zjada dziennie około 0,5 mg ziarna. Ponieważ chrząszcze wołka zbożowego żyją przeciętnie 150 dni, zatem w ciągu swego życia taka populacja wołków może zjeść ponad 6 ton ziarna zbóż. Szkodniki powodują zawilgocenie i rozgrzewanie się produktów, wskutek czego pogarszają się warunki dalszego ich składowania.

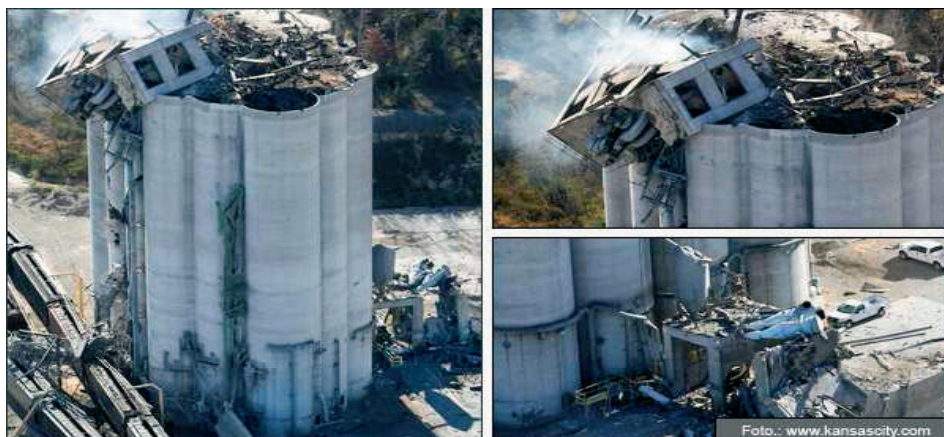
3.3. Przeciwdziałanie wybuchom pyłów w silosach

Wybuchy pyłów produktów rolnych składowanych w silosach (patrz tabl. 4) należą do częstych przyczyn poważnych awarii, a nawet katastrof silosów żelbetonowych i stalowych. Eksplozja pyłów w silosie jest zjawiskiem złożonym i zawsze groźnym dla użytkownika. Czynnikiem inicjującym wybuch jest unosząca się wewnątrz komory mieszanina pyłu i powietrza oraz jej kontakt ze źródłem ciepła w postaci nagrzaných elementów lub iskiei z instalacji elektrycznej. Przyczyną wybuchu może być też ciepło wydzielające się z żarówek. Jako temperaturę zapłonu przyjmuje się zakres temperatury 400-500°C. Jako dolną granicę wybuchowości przyjmuje się ilość pyłu unoszącego się w powietrzu, wynosząca 20 g/m³. Przykładowe poziomy stężenia produktów rolnych i ich pyłów zestawiono w tabeli 6 [17].

Tabela 6. Właściwości eksplozyjne wybranych produktów zbożowych

Rodzaj produktu rolnego	Mąka kartoflana	Mąka pszenna	Mąka żytnia	Kurz zbożowy pszenny	Kurz z owsa i jęczmienia
Temperatura tlenia [°C]	200	209-215	180	135	150
Temperatura samozapłonu [°C]	409	485-504	354	421	368
Dolna granica wybuchu [g/m ³]	85	60-73	95-130	110	68

Pojawiające się gwałtownie podczas eksplozji pyłu nadciśnienie o wartościach 150-200 kPa powinno być zwykle przejmowane przez klapy bezpieczeństwa, montowane w silosie. Nadciśnienie wywołuje naprężenia rozciągające, które przejmowane są przez ściany i przekrycie silosu. Natomiast podciśnienie wybuchu w komorze (redukcja rzędu 60-70%), wywołuje ściskanie obwodowe, groźne w skutkach szczególnie w silosach stalowych [5]. Efekty wywołane wybuchem w baterii silosu zbożowego przedstawiono na rys.7.



Rys. 7: Konsekwencje wybuchu pyłu zbożowego w elewatorze Bartlettgrain Co. w USA, wg [17]

4. Podsumowanie

Silosy należą do obiektów o podwyższonym stopniu zagrożenia katastrofą, w porównaniu do innych budowli. Na etapie projektowania niezwykle ważne jest rozpoznanie realistycznych stanów naprężeniowych w konstrukcji komór silosowych wynikających z kombinacji obciążeń i oddziaływań. Mimo licznych badań doświadczalnych na modelach silosów i obiektach w skali naturalnej, a także zaawansowanych analiz teoretycznych, wielkości parcia silosowego przyjmowane do analizy rozkładów sił wewnętrznych i wymiarowania mają nadal charakter przybliżony, co uwzględniono w postanowieniach normy europejskiej PN-EN 1991-4:2008. Projektując silos należy mieć na uwadze niezawodność zarówno samej konstrukcji, jak i trwałość produktów rolnych, co wymaga instalowania w silosach odpowiednich urządzeń do redukowania wilgotności ośrodka i monitoringu temperatury, a także montowania zabezpieczeń przeciwko wybuchom pyłów.

Literatura

- 1 Blight G.E. Effect of moisture on properties of grain stored in silos. *Bulk solids Handling*. Vol.15, 2, (1995), 177-181.
- 2 Łapko A., Prusiel J.A. Numerical and Experimental Analysis of Temperature Effects on RC Cylindrical Silo Bins, *Archives of Civil Eng.*, vol. XLIV, 1, (1998), 121-148.
- 3 Łapko A. Uwagi do europejskiej normy PN-EN 1991-4:2008 dotyczącej obciążeń w silosach. *Przegląd Budowlany*. Nr. 4 (2012), 120-124.
- 4 Muir W. E. et all. Interdisciplinary Grain Storage Research. *Powder Handling and Processing*. Vol. 1, No 3., (1989), 281 – 295.
- 5 Prusiel J., Łapko A.: Przeciwdziałanie wybuchom pyłów materiałów sypkich składowanych w silosach. *Inżynier Budownictwa*. Nr 2/2012, 68-70.
- 6 Sinha R. N. and Wallace H. A. Storage Stability of Farm Stored Rapeseed and Barley. *Canadian Journal. Plant Sci.* No.57, 107 – 132, 1977.
- 7 Tim G., Windels R. Siloprobleme aus der Sicht der Praxis. *Beton-und Stahlbetonbau*, 7 (1979), 161-170.
- 8 Halicka A., Franczak D. Projektowanie zbiorników żelbetowych. *Zbiorniki na Materiały sypkie*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa, 2011, s. 316.
- 9 Kobiak J., Stachurski W. Konstrukcje Żelbetowe. Tom IV. Wydawn. Arkady. Wa-a, 1991, s. 509.
- 10 Kobiela S., Hutnik E. Mądry G. Betonowe Silosy na Kiszonki, *Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne*, Wrocław 2008, s. 108.
- 11 Puhonto L. M. Dolgoviethnost zhelezobetonnykh konstruktsii inzhenernykh sooruzhenij. Wydawn. ASW, Moskwa 2004.
- 12 Martens. P.: *Silo Handbuch*. Wilhelm Ernst & Sohn Verlag. Berlin, 1988.
- 13 Lapko A, Prusiel J.A.: Studies on Thermal Actions and Forces in Cylindrical Storage Silo Bins, w: *Handbook of Conveying and Handling of Particulate Solids*, Elsevier Science B.V. Amsterdam 2001, 189 – 197.
- 14 PN-EN 1991-4:2008. Eurokod 1 – Oddziaływania na konstrukcje. Część 4. Silosy i zbiorniki.
- 15 PN-EN 1990:2006. Eurokod 0 – Podstawy projektowania konstrukcji.
- 16 <http://www.bin.agr.pl>
- 17 <http://tessa.eu/Pl/news>

Specific problems of design, construction and exploitation of silos for agriculture

Andrzej Lapko

*Department of Building Structures, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Bialystok
University of Technology, lapko@pb.edu.pl*

Abstract: In the paper there are described and discussed some selected problems of designing and construction of silos for storing an agriculture products on the basis of recent principles and recommendations. The paper concerns particularly the formulation of realistic conditions of silo exploitation, such as the type of silo filling and emptying, ambient temperature and humidity conditions and application of proper material characteristics of stored agriculture products. There are also described some exploitation problems concerning the safety and durability of silo chambers and are presented the methods of protection of stored products against destructive processes that may appear in the stored agricultural products.

Keywords: silos, principles of design, conditions of exploitation, durability.

Przykłady badania i modelowania obciążeń silosów na zboże

**Józef Horabik¹, Marek Molenda¹, Michael D. Montross², Ira J. Ross²,
Rafał Kobyłka¹**

¹*Instytut Agrofizyki Polskiej Akademii Nauk e-mail: j.horabik@ipan.lublin.pl*

²*Wydział Biosystemów i Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Kentucky, Lexington, USA*

Streszczenie: W pracy przedstawiono oraz przedyskutowano wyniki badań eksperymentalnych oraz symulacji komputerowych wykonanych metodą DEM rozkładu obciążenia w modelowych silosach zbożowych. Badania eksperymentalne wykonane zostały w zbiornikach o średnicy 0,6, 1,2 oraz 2,4 m. Analizowano pionowe obciążenie ściany i dna zbiornika oraz jego asymetrię spowodowaną niecentrycznym napełnianiem i opróżnianiem. Stwierdzono, że niecentryczne napełnianie wprowadza pewną uprzywilejowaną orientację niesferycznych ziaren, która powoduje asymetrię obciążenia ściany a także anizotropię oporu przepływu powietrza przez złożę ziarna.

Słowa kluczowe: silos na zboże, napór, napełnianie, opróżnianie, pęcznienie ziarna, opór przepływu powietrza, Metoda Elementów Dyskretnych.

1. Wprowadzenie

Magazynowanie, obróbka i przetwarzanie materiałów sypkich (rolniczych, farmaceutycznych, mineralnych) jako interdyscyplinarny obszar technologii łączy zainteresowania wielu dziedzin nauki i techniki takich jak: fizyka, chemia, mechanika, rolnictwo, inżynieria materiałowa. Wśród nich rolnictwo i przemysł spożywczy to, obok przemysłu chemicznego i farmaceutycznego, najwięksi producenci i przetwórcy materiałów sypkich. Urządzenia technologiczne do obróbki i przetwarzania materiałów sypkich powinny spełniać dwa podstawowe wymagania: zapewniać utrzymanie wysokiej jakości przetwarzanych materiałów oraz prawidłowy i bezpieczny przebieg przeprowadzanych operacji.

Począwszy od pionierskich badań Janssena z XIX w. [1] wykonanych zostało bardzo dużo badań eksperymentalnych, teoretycznych oraz numerycznych symulacji w celu precyzyjnego określenia statycznego i dynamicznego parcia w silosach oraz pola przepływu materiału [2-5]. Początek opróżniania materiału sypkiego z silosu wywołuje gwałtowną redystrybucję naprężenia, co prowadzi z kolei do silnego wzrostu naporu na ścianę. Większość awarii silosów występowała w chwili rozpoczęcia wypływu. Jednym z symptomów niestabilności jest pojawianie się zlokalizowanej warstwy ścinania w złożu materiału sypkiego [6]. Przykładem zagadnienia szeroko badanego doświadczalnie jest niecentryczne opróżnianie silosu [7,8,9]. Zagadnienie to, bardzo ważne z praktycznego punktu widzenia, doczekało się odpowiednich rekomendacji w normie Eurocode 1 [10].

Równolegle prowadzone były intensywnie poszukiwania równań konstytutywnych materiałów sypkich [11,12]. Efekty mikrostruktury materiału pozostawały jednak długo poza zasięgiem większości modeli materiałowych rozwijanych w ramach mechaniki kontinuum. Nowe możliwości głębszego wglądu w oddziaływania na poziomie mikro otworzyła Metoda Elementów Dyskretnych [13]. Symulacje wykonywane metodą DEM zapewniają wysoką zgodność z wynikami badań doświadczalnych, o ile wyposażone zostaną we właściwe parametry materiałowe [14,15,16].

Materiały sypkie pochodzenia roślinnego stanowią spójną grupę materiałów wyróżniającą się dużą odkształcalnością ziaren oraz bardzo silną zależnością cech mechanicznych od wilgotności. W odróżnieniu od materiałów pochodzenia mineralnego wilgotność wnika do wnętrza ziaren, co prowadzi często do jakościowej zmiany właściwości fizycznych. Ta specyfika materiałów pochodzenia biologicznego prowadzić może do nietypowego zachowania, co wymaga czasami odpowiedniej adaptacji modeli

materiałowych, technik pomiarowych oraz rozwiązań technologicznych. Najistotniejszym jednak jest, że zgromadzone ziarno to biologicznie żywy materiał, w którym zachodzi wiele procesów mikrobiologicznych. Aby zapewnić wysoką jakość materiału podczas magazynowania niezbędne jest interdyscyplinarne podejście wykorzystujące wiedzę kilku dyscyplin naukowych: biologii, chemii, toksykologii, inżynierii oraz modelowania matematycznego do badania złożonych interakcji pomiędzy fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi zmiennymi w ekosystemie elewatora zbożowego [17].

W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych rozkładu obciążenia w modelowych silosach o różnej wielkości wybrane z kilku projektów wykonywanych przez autorów. Szczególną uwagę zwrócono na zachowania wynikające z cech typowych dla ziarna zbóż, takich jak: osadzanie się kutyny na powierzchni tarcia czy też wpływ sprężystości ziarna, anizotropii złoża oraz pęcznienia ziarna na obciążenie konstrukcji silosu. Dla wybranych eksperymentów wykonano symulacje numeryczne metodą DEM.

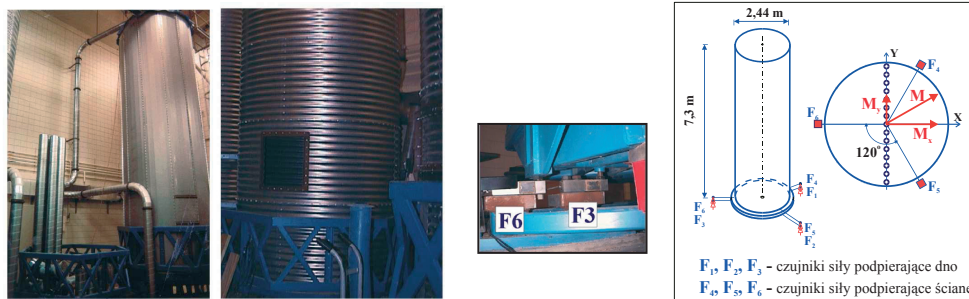
2. Układ eksperymentalny

Badania modelowe na silosach o średnicy 0,6 oraz 2,4 m i wysokości 7,3 m przeprowadzono w Laboratorium Materiałów Sypkich na Wydz. Biosystemów i Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Kentucky w Lexington w USA zaś badania na zbiorniku o średnicy 0,4 m wykonano w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie. Większość pomiarów wykonana została na zbiorniku o średnicy 2,4 m i wysokości 7,3 m wykonanym z blachy gładkiej oraz blachy falistej. Ściana oraz dno modelowego silosu zawieszane były oddzielnie, każde na trzech czujnikach siły. Pozwalało to na wyznaczenie pionowego obciążenia ściany i dna zbiornika oraz wypadkowego momentu siły, M , wywieranego przez materiał sypki na ścianę bądź dno zbiornika [18]:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (1)$$

$$M_x = R(F_1 \sin \alpha_1 + F_2 \sin \alpha_2 + F_3 \sin \alpha_3) \quad (2)$$

$$M_y = R(F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 + F_3 \cos \alpha_3) \quad (3)$$



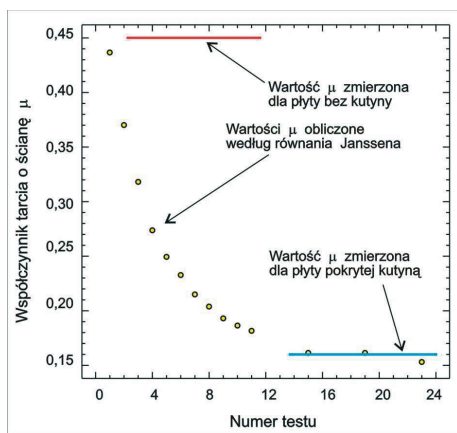
Rys. 1. Układ eksperymentalny: a) zbiornik stalowy o średnicy 2,4 m, b) szczegóły mocowania czujników siły, c) schemat układu pomiarowego

Moment siły stanowił globalną miarę asymetrii rozkładu naporu (Rys. 1c). Zbiornik był napełniany pszenicą do wysokości złoża H/D około 2,75. Obciążenie ściany wyznaczano dla centrycznego oraz niecentrycznego napełniania oraz opróżniania zbiornika o ścianie wykonanej z blachy gładkiej oraz blachy falistej (Rys. 1a).

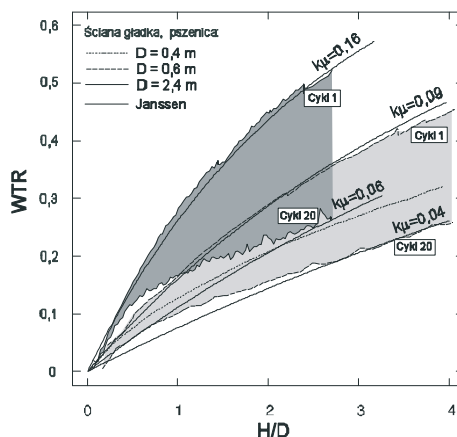
3. Pionowe obciążenie ściany silosu

W trakcie użytkowania silosu zbożowego zachodzi systematyczne wygładzanie powierzchni ściany i pokrywanie jej substancją organiczną. Prowadzi to do redukcji współczynnika tarcia. Skutkiem tego w miarę użytkowania zbiornika maleje pionowe

obciążenie ściany. Szczególnie duże zmiany obserwowane są w początkowym okresie użytkowania zbiornika. Badania wykonane na zbiorniku o ścianie gładkiej wykazały, że wygładzanie ściany w początkowej fazie użytkowania prowadzi do blisko 70% redukcji współczynnika tarcia (Rys. 2). Przedstawione porównanie wyników badań doświadczalnych współczynnika tarcia z wynikami obliczeń naporu wykonanymi na podstawie równania Janssena wskazuje (Rys. 3), że zakres zmian pionowego obciążenia ściany silosu, wyznaczony podczas 20 cykli napełniania i opróżniania, mieści się w przedziale wartości teoretycznych odpowiadających eksperymentalnym przedziałom wartości ilorazu naporu i współczynnika tarcia o powierzchnię ściany [19].



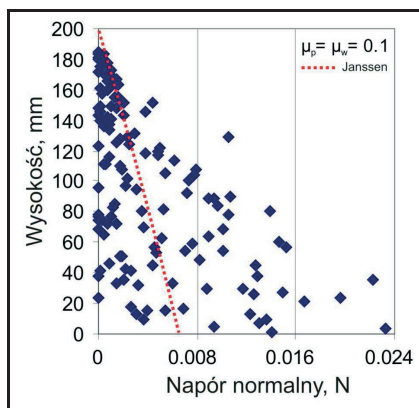
Rys. 2. Współczynnik tarcia o ścianę podczas pierwszych 20 cykli opróżniania zbiornika [19]



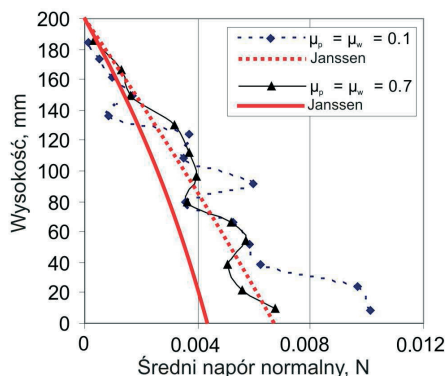
Rys. 3. Zakres zmienności pionowego obciążenia ściany podczas pierwszych 20 cykli opróżniania zbiornika [20]

Stosunkowo mała wartość modułu sprężystości złoża ziarna (około 20 MPa [21]) może w specyficzny sposób wpływać na rozkład obciążenia w silosie. Stwierdzono, że w końcowej fazie opróżniania zbiornika, gdy stosunek iloraz wysokości słupa ziarna do średnicy zbiornika, H/D , mała poniżej ok. 1, wypadkowa siła tarcia ziarna o ścianę zbiornika zmieniała zwrot i była skierowana ku górze [22]. Sprężysta reakcja ziaren zgromadzonych w martwej strefie zbiornika nad płaskim dnem na malejące parcie kolumny wypływającego ziarna powoduje niewielkie przemieszczenie ziarna martwej strefy ku górze, co powoduje zmianę zwrotu wypadkowej siły tarcia o ścianę.

Symulacje oddziaływań zachodzących w materiale sypkim wykonywane metodą DEM, bazujące z definicji na oddziaływaniach pomiędzy poszczególnymi ziarnami ośrodka, zawierają na ogół bardzo duży rozrzut wartości sił w poszczególnych kontaktach. Dopiero wartości uśrednione dostarczają dużo bardzo użytecznych informacji. Przedstawiony na Rys. 4a rozkład sił w punktach kontaktu ziaren z pionową ścianą (6000 cząstek, 2D) jest dobrym przykładem skali rozrzutu pojedynczych wartości. Rozkład siły poziomej uśredniony po 10 kontaktach cząstka-ściana (Rys. 4b) przedstawia znacznie już wygładzony przebieg parcia poziomego w funkcji wysokości złoża [23]. Wyniki symulacji przewidują znacznie wyższe wartości parcia niż wyznaczone z równania Janssena [1]. Balevičius i in. [24] otrzymali dobrą zgodność wyników symulacji DEM rozkładu poziomego naporu w funkcji wysokości złoża z danymi eksperymentalnymi uzyskując również wartości wyższe niż przewidywane przez rozwiązanie równania Janssena [1] oraz rekomendowane przez normę Eurocode 1 [10]. Dobrze rozpoznany doświadczalnie skok naporu poziomego w obszarze połączenia ściana pionowa – część zbieżna zbiornika jest bardzo czytelny również w symulacjach DEM [25], podobnie jak znany z doświadczenia wpływ anizotropii orientacji punktów kontaktu na rozkład naporu [26].



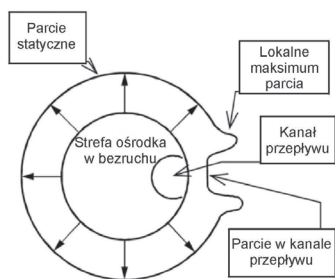
Rys. 4a. Rozrzut naporu poziomego wyznaczony metodą DEM



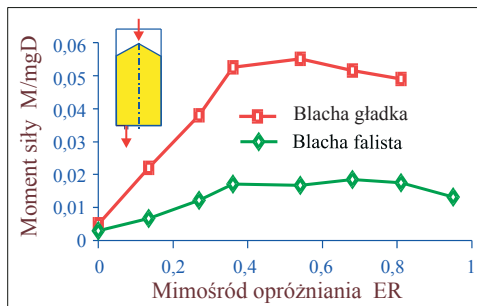
Rys. 4b. Średni napór normalny na ścianę (uśrednienie z 10 kontaktów ziarno-ściana) oraz rozwiązanie Janssena

4. Asymetria obciążenia ściany

Niecentryczne opróżnianie silosów prowadzi do silnej asymetrii rozkładu naporu (Rys. 5 [10]). Obserwacje użytkowników wskazują, że asymetria obciążenia ściany powoduje owalizację jej przekroju, co po dłuższym czasie eksploatacji lub w przypadkach skrajnie wysokich wartości obciążeń powoduje awarie konstrukcji. Moment siły wywierany na ścianę wyznaczano na zbiorniku o średnicy 2,4 m o ścianie gładkiej oraz wykonanej z blachy falistej (Rys. 6). Stwierdzono największą wartość momentu siły przy lokalizacji otworu wysypowego w połowie promienia zbiornika. W przypadku ściany wykonanej z blachy falistej moment siły był ponad 2-krotnie mniejszy niż w przypadku blachy gładkiej [27].



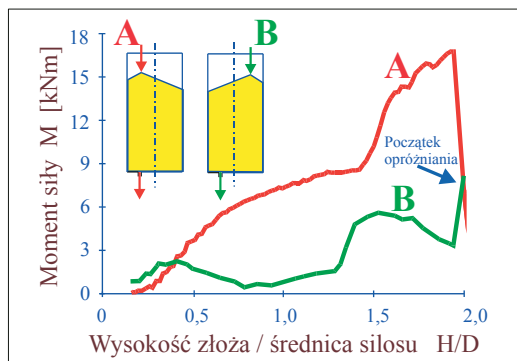
Rys. 5. Rozkład naporu na ścianę zbiornika w przypadku niecentrycznego opróżniania wg Eurocode 1 [10]



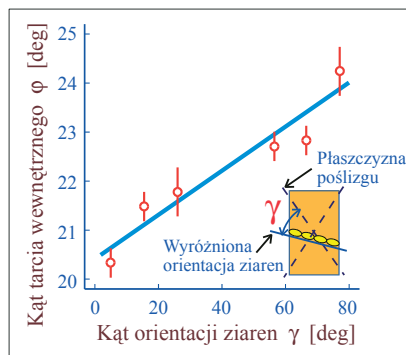
Rys. 6. Bezwymiarowy moment siły wywierany na ścianę w funkcji mimośrodu otworu wysypowego [27]

Również nieosiowe napełnianie powoduje asymetrię rozkładu obciążenia. Podjęto zatem badania możliwości wykorzystania asymetrii rozkładu naporu wywołanej niecentrycznym napełnianiem do redukcji asymetrii wywołanej niecentrycznym opróżnianiem [28]. Wyniki badań ilustruje Rys. 7. Linia czerwona przedstawia przebieg wypadkowego momentu siły wywieranego na ścianę zbiornika w trakcie opróżniania w przypadku, gdy zbiornik napełniano i opróżniano po tej samej stronie. W chwili rozpoczęcia opróżniania asymetria obciążenia gwałtownie wzrasta. Linia zielona to analogiczny przebieg w przypadku, gdy zbiornik napełniano i opróżniano po przeciwnych

stronach. W chwili rozpoczęcia opróżniania spada asymetria obciążenia. Zatem napełniając odpowiednio zbiornik można do pewnego stopnia zredukować asymetrię obciążenia wynikającą z niecentrycznego opróżniania, zwłaszcza w początkowej fazie [29].



Rys. 7. Moment siły wywierany na ścianę zbiornika wywołany niecentrycznym napełnianiem i opróżnianiem: A - napełnianie i opróżnianie po tej samej stronie, B - po przeciwnych stronach [28]

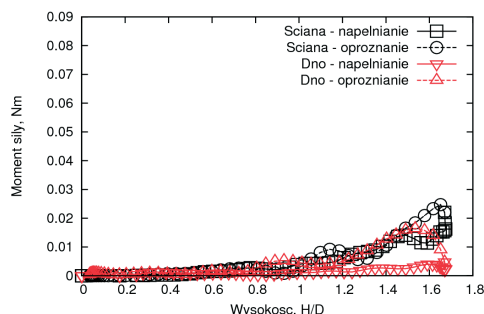


Rys. 8. Kąt tarcia wewnętrznego w funkcji kąta zawartego pomiędzy płaszczyzną poślizgu w tęście trójosiowego ściskania oraz kierunkiem preferowanej orientacji ziaren [21]

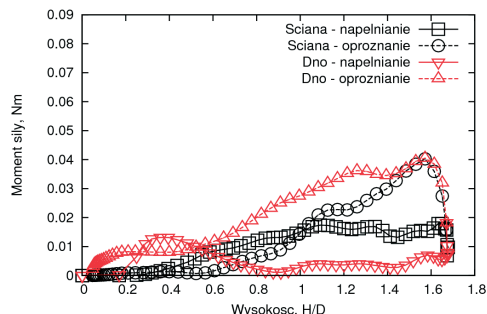
Źródłem asymetrii obciążenia powstającej wskutek niecentrycznego napełniania jest m.in. anizotropia złoza materiału sypkiego powstająca w trakcie staczania się niesferycznych ziaren wzdłuż powierzchni stożka naturalnego usypu. Ziarna zbóż są wyraźnie niesferyczne. W przypadku pszenicy długość ziarna jest około dwukrotnie większa od szerokości. Jeżeli ziarna są zorientowane losowo i upakowane z jednakową gęstością, to materiał będzie izotropowy i jednorodny. Jeśli jednak osie niesferycznych ziaren są równoległe do pewnego wyróżnionego kierunku, to materiał wykazuje własności anizotropowe - posiada różną wytrzymałość na ścinanie w różnych kierunkach. Łatwym do zaobserwowania przykładem powstawania anizotropii jest powolne staczanie się ziaren wzdłuż powierzchni stożka naturalnego usypu. Ziarna układają się wtedy na ogół najdłuższą osią wzdłuż tworzącej stożka. Pomiary kąta tarcia wewnętrznego ziarna zbóż przeprowadzone metodą trójosiowego ściskania oraz bezpośredniego ścinania wykazały, że kąt tarcia wewnętrznego rośnie ze wzrostem kąta zawartego między kierunkiem wyróżnionej orientacji ziarna, a kierunkiem poślizgu (Rys. 8; [21]). Horabik i in. [30] wykazali, że anizotropia wynikająca z preferowanej orientacji ziarna powstająca podczas niecentrycznego napełniania powoduje istotną asymetrię rozkładu obciążenia.

Symulacje DEM niecentrycznego napełniania i opróżniania modelowego zbiornika o średnicy 10 cm (skala eksperyment/DEM = 24; 30 000 cząstek) dostarczyły wyników zbliżonych do doświadczalnych. Pewna wstępna asymetria obciążenia występuje podczas centrycznego napełniania i opróżniania (Rys. 9a), asymetria ta wzrasta w przypadku niecentrycznego napełniania (Rys. 9b) oraz niecentrycznego opróżniania (Rys. 9c). Wypadkowa pozioma siła wywierana na ścianę oraz dno zbiornika (Rys. 9d) koresponduje dobrze z wypadkowym momentem siły (Rys. 9c; [31]).

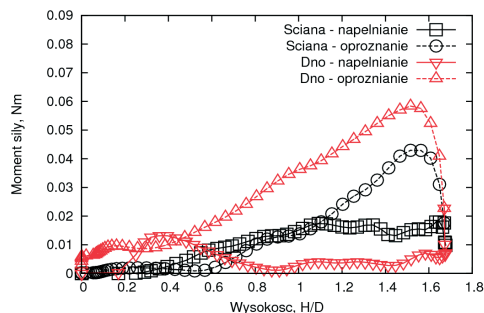
Modelując metodą DEM szybki przepływ sypkich materiałów biologicznych należy bardzo starannie dobierać odpowiedni model kontaktu, gdyż ziarna wykazują różne zachowanie zależnie od wilgotności [32]. Właściwości mechaniczne ziarna zależą silnie od wilgotności, która pełni podobną rolę jak temperatura w materiałach termoplastycznych. Wojtkowski i in. [33] wykazali, że sprężysto-plastyczny model kontaktu zaproponowany przez Thorntona i Ninga [16] dobrze opisuje zachowanie się suchych nasion rzepaku, podczas gdy do opisu zachowania się nasion mokrych należy stosować model lepko-sprężysty, np. model Kuwabara i Kono [15]. Parafiniuk i in. [34] użyli obu tych modeli do symulacji wpływu nasion rzepaku z modelowego zbiornika uzyskując dobrą zgodność z doświadczeniem. W przypadku bardzo wilgotnych ziaren należy wziąć pod uwagę również siły adhezji, np. w postaci mostków cieczowych [14].



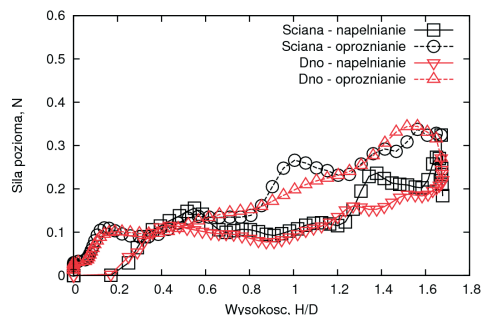
Rys. 9a. Moment siły wywierany na ścianę i dno modelowego zbiornika dla przypadku centrycznego napełniania i opróżniania wyznaczony metodą DEM [31]



Rys. 9b. Moment siły wywierany na ścianę i dno modelowego zbiornika dla przypadku niecentrycznego napełniania oraz centrycznego opróżniania wyznaczony metodą DEM [31]



Rys. 9c. Moment siły wywierany na ścianę i dno modelowego zbiornika podczas niecentrycznego opróżniania wyznaczony metodą DEM [31]



Rys. 9d. Wypadkowa pozioma siła wywierana na ścianę oraz dno modelowego zbiornika podczas niecentrycznego opróżniania wyznaczona metodą DEM [31]

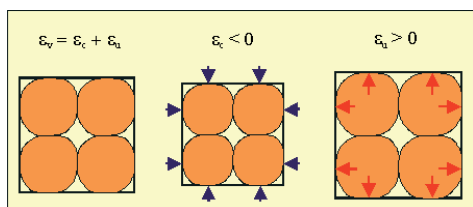
5. Pęcznienie ziarna

W ziarnie zgromadzonym w silosie może nastąpić niekontrolowany przyrost wilgotności. Wilgotność wzrastać może na skutek oddychania ziarna, bądź też na skutek jego zawilgocenia w trakcie wietrzenia powietrzem atmosferycznym. Wzrost wilgotności powoduje wzrost objętości ziarna. Szywność ścian zbiornika ogranicza odkształcenie w kierunku poziomym, co może prowadzić do dużego przyrostu naporu [35,36]. Zaproponowano teoretyczny model [37] pozwalający przewidzieć zależność przyrostu naporu od przyrostu zawartości wody oparty na założeniu, że przyrost objętości ziarna równy jest objętości pochłoniętej wody (Rys. 10). W kolejnym kroku aproksymacji rozważono spadek modułu sprężystości ziarna ze wzrostem wilgotności [38]. Model pozwala przewidzieć górną granicę przyrostu naporu osiąganą w warunkach dużego wstępnego zagęszczenia materiału w zakresie przyrostu zawartości wody ok. 2%. W miarę pęcznienia ziarna rosną siły w obszarach kontaktu. Równocześnie maleje moduł sprężystości. W efekcie napór wywołany pęcznieniem ziarna początkowo wzrasta a następnie spada. Wypadkowe odkształcenie objętościowe, ε_v , jest sumą dwóch niezależnych składników: odkształcenia ε_c - wywołanego ciśnieniem zewnętrznym oraz odkształcenia ε_u - powstałego w wyniku pęcznienia ziarna.

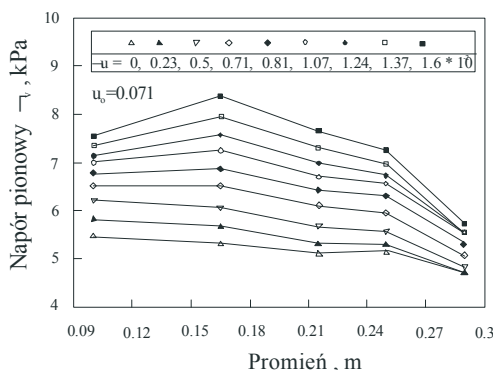
Układ eksperymentalny do wyznaczenia przyrostu naporu wywołanego pęcznieniem ziarna składał się z modelowego zbiornika o średnicy 0,61 m i wysokości 0,75 m umożliwiającego pomiar rozkładu naporu pionowego na dno i płytę górną oraz średniego naporu normalnego na ścianę. Stanowisko było wyposażone w układ przygotowania, dozowania i doprowadzania wilgotnego powietrza do złoża ziarna [38].

Rysunek 12 przedstawia rozkłady pionowego naporu σ_v na dno modelowego silosu dla kilku przykładowych wartości przyrostu zawartości wody. Przyrost naporu jest największy w pobliżu środka zbiornika i maleje w kierunku ściany na skutek malejącego tempa pochłaniania wilgoci przez ziarno wzdłuż drogi przepływu powietrza. Przyrost średniego naporu poziomego na ścianę zbiornika σ_n przypadający na jednostkę przyrostu zawartości wody wynosi około 125 kPa/kg/kg (Rys. 13).

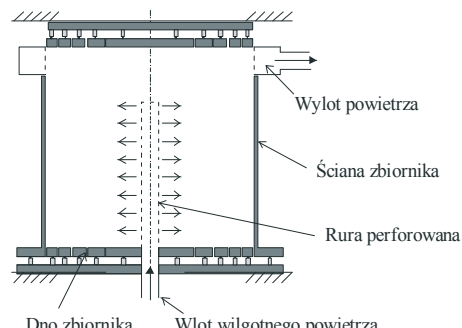
Badania eksperymentalne potwierdziły, że zastosowany w rozważaniach efektywny moduł sprężystości złoza wyrażony jako potęgowa funkcja średniego ciśnienia [39] prawidłowo opisuje warunki zagęszczania złoza. Model poprawnie opisuje przyrost ciśnienia wywołany pęcznieniem ziarna w zakresie wzrostu wilgotności ziarna do ok. 2%.



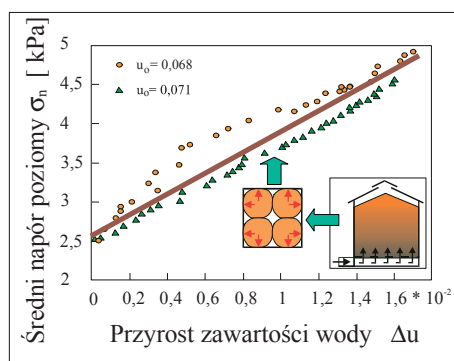
Rys. 10. Odształcenie objętościowe ε_v : zagęszczanie ε_c pod wpływem naporu oraz pęcznienie pod wpływem pochłaniania wilgoci ε_u



Rys. 12. Rozkład naporu pionowego σ_v dna zbiornika dla różnych przyrostów wilgotności ziarna



Rys. 11. Modelowy zbiornik z systemem nawilżania ziarna

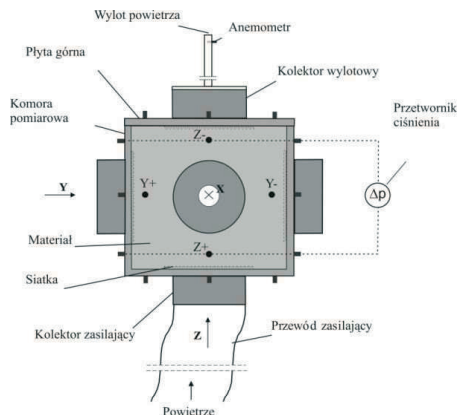


Rys. 13. Średni napór poziomy na ścianę zbiornika σ_n w funkcji przyrostu wilgotności ziarna

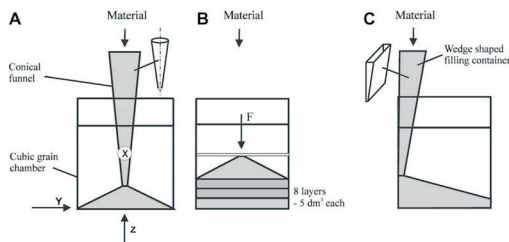
6. Opór przepływu powietrza przez warstwę ziarna

Jednym z ważnych zabiegów wykonywanym podczas składowania ziarna w silosie jest jego wietrzenie. Wiedza na temat przepływu powietrza przez ziarno w silosie jest kluczowym elementem niezbędnym dla zapewnienia efektywnego i bezpiecznego wietrzenia, schładzania, suszenia, modyfikowania atmosfery. Zwykle do projektowania urządzeń do tego celu przyjmuje się jednorodność materiału oraz jego izotropowość. Badania eksperymentalne wykazały, że opór przepływu powietrza zależy również od kierunku przepływu odniesionego do wyróżnionej orientacji ziarna [40]. Kumar i Muir [41] stwierdzili, że przy prędkości powietrza $0,077 \text{ ms}^{-1}$ spadek ciśnienia w złożu pszenicy oraz jęczmienia był o około 60% wyższy w kierunku pionowym niż w poziomym. Norma ASAE D272.3 [42] zaleca aby w obliczeniach stosować opór przepływu w kierunku poziomym na poziomie 60-70% oporu w kierunku pionowym. Łukaszuk i in. [43]

stwierdzili, że nie tylko globalna porowatość, ale również orientacja porów wpływa na opór przepływu powietrza.



Rys. 14. Schemat układu pomiarowego do wyznaczania oporów przepływu powietrza przez złożo ziarna w kształcie sześcienniej kostki

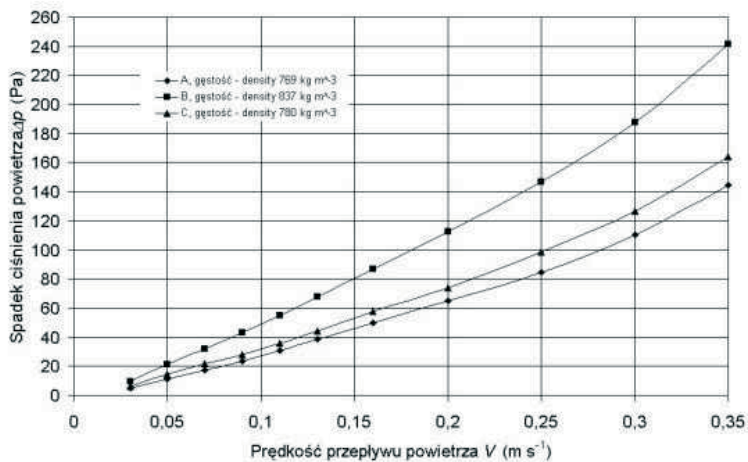


Rys. 15. Metody napełniania komory pomiarowej

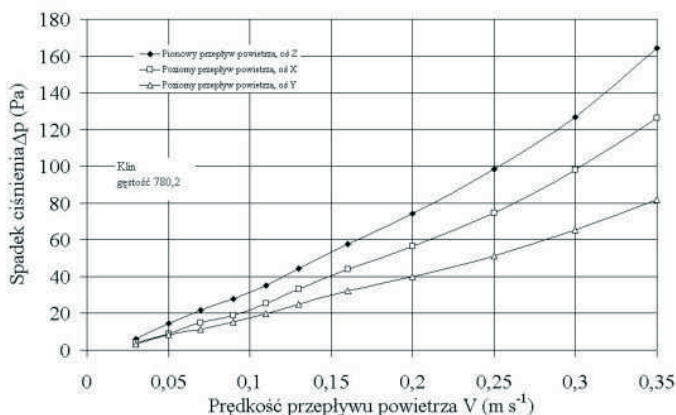
Analizowano zmienność oporów przepływu powietrza przez warstwę ziarna pszenicy w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach przy trzech metodach napełniania komory pomiarowej w kształcie sześcienniej kostki o wymiarze boku 35 cm [44]. W każdej ze ścian komory pomiarowej wykonano kołowe otwory o średnicy 0,16 m, które przesłonięto blachą perforowaną (Rys. 14). Spadek ciśnienie powietrza mierzono przy prędkości przepływu zmieniającej się w zakresie od $0,3 \text{ ms}^{-1}$ do $0,35 \text{ ms}^{-1}$.

Rysunek 16 ilustruje spadek ciśnienia Δp na drodze 0,25 m w funkcji prędkości przepływu powietrza w kierunku Z przez próbkę uformowaną na trzy sposoby. Spadek ciśnienia Δp , jak i gęstość próbki, zależały od metody usypywania. Wartości Δp przy prędkości przepływu $0,3 \text{ ms}^{-1}$ wynosiły od 118,2 Pa przy napełnianiu metodą A do 195,1 Pa przy metodzie B. Analogiczne zależności wyznaczono dla trzech kierunków X, Y i Z dla przypadku napełniania metodą C (Rys. 17). Najniższy spadek ciśnienia Δp stwierdzono w kierunku Y a największy w kierunku Z. Odmienne niż w przypadku metod napełniania A i B, w przypadku napełniania metodą C spadek ciśnienia w kierunku X był większy niż w kierunku Y. Przy prędkości przepływu $0,3 \text{ ms}^{-1}$ spadek ciśnienia w kierunku X był 1,5 większy niż w kierunku Y.

Metoda napełniania C, z zastosowaniem zasobnika klinowego, bazowała na zjawisku zsypanywania się ziaren wzdłuż powierzchni usypu, nachylonej względem płaszczyzny XY. Kolejne warstwy ziarna osuwając się wzdłuż powierzchni usypu utworzonej przez ziarno już spoczywające w komorze zatrzymywały się najczęściej z orientacją najdłuższej osi wzdłuż kierunku zsypania, co powodowało, że w strukturze ułożenia ziaren dominował pewien wyróżniony kierunek - struktura u nie posiadała osiowej symetrii jak w przypadku metod napełniania A i B. Stąd też w każdym z trzech kierunków spadek ciśnienia był inny, przy czym w kierunku X był on o ok. 50% większy niż w kierunku Y.



Rys. 16. Spadek ciśnienia Δp w złożu ziarna pszenicy w funkcji prędkości przepływu powietrza V w kierunku Z dla trzech metod napełniania



Rys. 17. Spadek ciśnienia Δp w złożu ziarna pszenicy w funkcji prędkości przepływu powietrza V dla kierunków przepływu X, Y, Z, napełnianie metodą C [44].

7. Wnioski

1. Badania eksperymentalne rozkładu obciążeń w silosach oraz symulacje wykonane Metodą Elementów Dyskretnych wykazały silny wpływ właściwości fizycznych materiału oraz metody napełniania i opróżniania na rozkład parcia. Wyglądanie ściany zbiornika oraz pokrywanie jej kutyną, woskową substancją zgromadzoną na powierzchni ziarna, w początkowej fazie użytkowania zbiornika prowadzi do bardzo dużej redukcji pionowego obciążenia ściany. Pęcznienie ziarna zachodzące czasem w silosie na skutek niekontrolowanego wzrostu wilgotności ziarna to kolejny przykład zjawiska typowego dla materiałów pochodzenia biologicznego.
2. Niecentryczne opróżnianie zbiornika wywołuje silną asymetrię rozkładu obciążenia ściany. Asymetrię tę można w pewnych granicach zredukować stosując niecentryczne napełnianie.
3. Opór przepływu powietrza przez warstwę ziarna zależy silnie od prędkości przepływu powietrza oraz od struktury upakowania ziarna. Opór przepływu powietrza może być różny w różnych kierunkach, zależnie od kierunku wyróżnionej orientacji ziarna.

Różnica sięgać może 100%.

4. Pewna część wniosków wynikających z badań eksperymentalnych została potwierdzona na drodze symulacji komputerowych metodą DEM. Pomimo znacznej różnicy skali (1:24) uzyskano dużą zgodność wyników.

Literatura

- 1 Janssen H.A. Versuche über Getreidedruck in Silozellen. Verein Deutscher Ingenieure, Zetschrift (Düsseldorf) 39 (1895) 1045-1049.
- 2 Holst J.M.F.G., Ooi, J.Y., Rotter, J.M., Rong, G. H., Numerical modeling of silo filling II. Discrete element analyses. Journal of Engineering Mechanics-ASCE 125 (1999) 104-110.
- 3 Jenike R. Storage and flow of solids. University of Utah: Utah Engineering Experimental Station Bulletin, 1964.
- 4 Roberts A.W., Wensrich Ch.M. Flow dynamics or 'quaking' in gravity discharge from silos. Chemical Engineering Science 57 (2002) 295-305.
- 5 Kamiński M., Antonowicz R. The flow of rape seed in a silo equipped with a discharge device. Task Quarterly 7 (2003) 561-569.
- 6 Wójcik M., Tejchman J. Modeling of shear localization during confined granular flow in silos within non-local hypoplasticity. Powder Technology 192 (2009) 298-310.
- 7 Borcz A., el Rahim Hamdy Abd. Wall pressure measurements in eccentrically discharged cement silos. Bulk Solids Handling 11 (1991) 469-476.
- 8 Guaita M., Couto A., Ayuga F. Numerical simulation of wall pressure during discharge of granular material from cylindrical silos with eccentric hoppers. Biosystems Engineering 85 (2003) 101-109.
- 9 Łapko A. Pressure of agricultural bulk solids under eccentric discharging of cylindrical concrete silo bin. International Agrophysics 24 (2010) 51-56.
- 10 Eurocode 1. Actions on structures. Part 4. Actions in silos and tanks. Ref. No EN 1991-4, 2003.
- 11 Drucker D.C., Prager W. Soil mechanics and plastic analysis or limit design. Quarterly of Applied Mathematics 10 (1952) 157-165.
- 12 Mühlhaus H.B., Vardoulakis I. The thickness of shear bands in granular materials. Géotechnique 37 (1987) 271-283.
- 13 Cundall P.A., Strack O.D. A discrete element model for granular assemblies, Géotechnique 29 (1979) 47-65.
- 14 Anand A., Curtis J.S., Wassgren C.S., Hancock B.C., Ketterhagen W.R. Predicting discharge dynamics of wet cohesive particles from a rectangular hopper using the discrete element method (DEM). Chemical Engineering Science 64 (2009) 5268-5275.
- 15 Kuwabara G., Kono K. Restitution coefficient in a collision between 2 spheres. Japanese Journal of Applied Physics 26 (1987) 1230-1233.
- 16 Thornton C., Ning Z. A theoretical model for the stick/bounce behaviour of adhesive, elastic-plastic spheres. Powder Technology 99 (1998) 154-162.
- 17 Jian F., Jayas D.S. The Ecosystem Approach to Grain Storage. Agric. Res. 1 (2012) 148-156.
- 18 Horabik J., Schwab C.V., Ross I.J. Non-symmetrical loads in a model grain bin during eccentric discharge. Transactions of the ASAE 35 (1992) 987-992.
- 19 Molenda M., Horabik J., Ross I.J. Wear-in effects on loads and flow in a smooth-wall bin. Transactions of the ASAE 39 (1996) 225-231.
- 20 Horabik J., Molenda M., Schwab C.V., Ross I.J.: Wall and bottom loads in grain bins of different diameters. Bulk Solids Handling 15 (1995) 215-218.
- 21 Horabik J., Laskowski J.(Eds.) Mechanical Properties of Granular Agro-Materials and Food Powders for Industrial Practice. Part I: Molenda M., Horabik J.: Characterization of mechanical properties of particulate solids for storage and handling. Institute of Agrophysics, Lubin, 2005.
- 22 Horabik J., Molenda M., Ross I.J. Friction force reversal in a model grain bin during emptying. International Agrophysics 6 (1992) 167-171.
- 23 Sykut J., Molenda M., Horabik J. Influence of filling method on packing structure in model silo and DEM simulations. Granular Matter 10 (2008) 273-278.

- 24 Balevičius R., Sielamowicz I., Mróz Z., Kačianauskas R. Investigation of wall stress and outflow in a flat-bottomed bin: A comparison of the DEM model results with the experimental measurements. *Powder Technology* 214 (2011) 322-336.
- 25 González-Montellano C., Gallego E., Ramírez-Gómez Á., Ayuga F. Three dimensional discrete element models for simulating the filling and emptying of silos: Analysis of numerical results. *Computers and Chemical Engineering* 40 (2012) 22-32.
- 26 Masson S., Martinez J. Effect of particle mechanical properties on silo flow and stress from distinct element simulations. *Powder Technology* 109 (2000) 164-178.
- 27 Molenda M., Horabik J., Ross I.J. Comparison of loads on smooth- and corrugated-wall model grain bins. *International Agrophysics* 15 (2001) 95-100.
- 28 Molenda M., Horabik J., Thompson S.A., Ross I.J. Bin loads induced by eccentric filling and discharge of grain, *Transactions of the ASAE* 45 (2002) 781-785.
- 29 Molenda M., Montross M.D., Horabik J. Non-Axial Stress State in a Model Silo Generated by Eccentric Filling and Internal Inserts. *Particle & Particle System Characterization* 24 (2007) 291-295.
- 30 Horabik J.A., Ross I. J., Schwab C.V. Effects of spatial orientation on grain load distribution. *Transactions of the ASAE* 31 (1988) 1787-1793.
- 31 Kobyłka R., Molenda M. DEM modelling of silo load asymmetry due to eccentric filling and discharge. *Powder Technology* 233 (2013) 65-71.
- 32 Wiącek J., Molenda M. Moisture-dependent physical properties of rapeseed – experimental and DEM modeling. *International Agrophysics* 25 (2011) 59-65.
- 33 Wojtkowski M., Pecen J., Horabik J., Molenda M. Impact of rapeseed against flat surface: Physical testing and DEM simulation with two contact models. *Powder Technology* 198 (2010) 61-68.
- 34 Parafiniuk P., Molenda M., Horabik J.: Discharge of rapeseeds from a model silo: physical testing and Distinct Element Method simulation. *Computers and Electronics in Agriculture* (2013) (w druku).
- 35 Blight G.E.: Swelling pressure of wetted grain. *Bulk Solids Handling* 6 (1986) 135-1140.
- 36 Dale A.C., Robinson R.N.: Pressure in deep grain storage structures. *Agricultural Engineering* 35 (1954) 570-573.
- 37 Zhang Q., Britton M.G.: Predicting hygroscopic loads in grain storage bins. *Transactions of the ASAE* 38 (1995) 1221-1226.
- 38 Horabik J., Molenda M.: Grain pressure in a model silo as affected by moisture content increase. *International Agrophysics* 14 (2000) 385-392.
- 39 Walton K.: The effective elastic moduli of a random packing of spheres. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 35 (1987) 213-226.
- 40 Molenda M., Montross M.D., McNeill S.G., Horabik J.: Airflow resistance of seeds at different bulk densities using Ergun's equation. *Transactions of the ASAE* 48 (2005) 1137-1145.
- 41 Kumar A., Muir W.E.: Airflow resistance of wheat and barley affected by airflow direction, filling method and dockage. *Transactions of the ASAE* 29 (1986) 1423-1426.
- 42 ASAE, 2007. ASAE D272.3 MAR1996 (R2007). Resistance to airflow of grains, seeds, other agricultural products and perforated metal sheets. *ASABE Standards* 4, 627-633.
- 43 Łukaszuk J., Molenda M., Horabik J., Szot B., Montross M.D.: Airflow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Research in Agricultural Engineering* 54 (2008) 50-57.
- 44 Łukaszuk J., Molenda M., Horabik J., Montross M.D.: Variability of pressure drop in grain generated by kernel shape and bedding method. *Journal of Stored Products Research* 45 (2009) 112-118.

Examples of experimental studies and modeling of grain silo loads

Józef Horabik¹, Marek Molenda¹, Montross² M.D., Ross² I.J., Rafał Kobyłka¹

¹*Institute of Agrophysics Polish Academy of Sciences, e-mail: j.horabik@ipan.lublin.pl*

²*Dept. of Biosystems and Agric. Engng, University of Kentucky, Lexington, USA*

Abstract: Experimental studies and DEM simulations of load in a grain silo were presented and discussed in the paper. Experiments were performed on the model silos of 0.6, 1.2 and 2.4 m in diameter. The vertical wall and bottom loads and moments of force exerted on the wall and the bottom and its asymmetry were analysed during centric and off-center filling and discharge. It was indicated that off-center filling silo produces preferred orientation of nonspherical grain that results in asymmetry of silo wall load as well as in anisotropy of airflow resistance of bulk of grain.

Keywords: grain silos, pressure, filling, discharge, swelling, air flow resistance, Distinct Element Method.

Stalowe silosy na produkty rolne – rozwiązania konstrukcyjne, analizy nośności, trwałość, awarie

Eugeniusz Hotała

Katedra Konstrukcji Metalowych, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, e-mail: eugeniusz.hotala@pwr.wroc.pl

Streszczenie: Pierwsze silosy metalowe do składowania zboża zbudowano przed 80 laty na Dolnym Śląsku i są one eksploatowane z powodzeniem do dzisiaj. Intensywny rozwój stalowych konstrukcji silosów w Polsce miał miejsce w okresie ostatnich 40 lat, kiedy to zaczęto wznosić baterie lekkich silosów z blach falistych i duże zblokowane baterie silosów z blach gładkich do magazynowania zboża i pasz rolniczych. W ostatnim czasie do magazynowania produktów rolnych wznoszone są głównie lekkie silosy stalowe o pojemnościach użytkowych 100 – 20000 m³. W takich silosach magazynuje się często różne rodzaje biomasy pochodzenia rolniczego. Awaryjność stalowych silosów, stosowanych w przemyśle rolnym, jest bardzo duża. Wiele z takich silosów jest eksploatowanych w stanie zagrożenia awaryjnego, o czym nie wiedzą ich użytkownicy. Przyczyny awarii stalowych silosów do magazynowania produktów rolnych są złożone i wynikają z m.in. ze specyficznych właściwości materiałów składowanych w silosach, niedostatków wiedzy w zakresie obciążeń wyjątkowych, błędów projektowych i wykonawczych oraz zaniedbań w zakresie konserwacji i napraw konstrukcji silosów. Dużym problemem eksploatacyjnym jest rozładunek silosów z materiałów lepkich i kohezyjnych, do których należą m.in. pasze rolnicze i biomasa. Trwają badania prototypowych konstrukcji silosów stalowych, w których nie powinno dochodzić do zaburzeń procesu rozładunku. W niniejszej pracy przedstawiono syntetycznie wymienione wyżej zagadnienia.

Słowa kluczowe: silos metalowy, obciążenie silosu, nośność graniczna, awaria konstrukcji.

1. Wprowadzenie

Rozwój rozwiązań konstrukcyjnych silosów związany jest od samego początku z rolnictwem, a jego historia związana jest z rozwojem sposobu przechowywania zboża. Słowo „silo” ma pochodzenie mauretańskie i oznaczało ono ziemny magazyn do przechowywania zboża [1]. Pierwsze konstrukcje drewnianych magazynów zbożowych, będące silosami o przekroju prostokątnym, powstały w Egipcie w czasach biblijnych ok. 3000 r. p.n.e. (*Księga Rodzaju*), a cesarze Rzymu Klaudiusz (41-54 r. n.e.) i Trajan (98-117 r. n.e.) wybudowali w Ostii -olbrzymie silosy zbożowe o prostokątnych przekrojach ceglanych komór i płaskich dnach. Potężnym impulsem w rozwoju konstrukcji silosów było wynalezienie w USA kombajnów do zbioru zbóż w drugiej połowie XIX w. i wynikiły z tego faktu olbrzymi wzrost produkcji zbóż. W tym okresie wzniesiono pierwsze silosy betonowe z żelaznymi pierścieniami zewnętrznymi, przenoszącymi obwodowe siły rozciągające w ich wielokątnych lub kołowych komorach.

Pierwsze stalowe silosy zbudowano w Niemczech na początku lat 30-tych XX wieku [2], a kilka baterii tych silosów o ładowności 2000-5000 ton jest eksploatowanych z powodzeniem już przez 80 lat na terenie Dolnego Śląska (Strzegom, Świebodzice, Jawor, Dzierżoniów). W ciągu ostatnich 40 lat nastąpił wyraźny wzrost ilościowy i jakościowy wznoszonych konstrukcji stalowych silosów. Stosunkowo lekkie silosy o płaszcach z blach gładkich zastępowane były jeszcze lżejszymi silosami o płaszcach z uźebrowanych blach falistych o grubościach $t \leq 1,0$ mm, a w ostatnim czasie nawet gładkie blachy płaszczy mają podobne grubości i bardzo duże smukłości $r/t > 3000$ (r – promień walcowego płaszcza). Powszechna jest też prefabrykacja płaszczy i lejów silosów,

prowadząca do wyeliminowania prac spawalniczych podczas ich montażu, gdyż prefabrykowane elementy łączone są ze sobą na śruby.

W lekkich silosach stalowych, charakteryzujących się dużą smukłością i podatnością walcowych komór, wartości obciążeń ich den i płaszczy mogą się różnić znacznie od wartości proponowanych przez normy projektowania, w tym przez aktualną normę PN-EN 1991-4, co wykazywano m.in. w pracach [3], [4], [5]. Specyficzne właściwości produktów rolnych składowanych w silosach, zmieniające się w czasie składowania (np. wzrost kohezji), sprzyjają powstawaniu wyjątkowych stanów obciążeń płaszczy i lejów silosów [6], skutkujących często poważnymi awariami tych konstrukcji [7]. W powszechnie stosowanych w rolnictwie konstrukcjach silosów o płaszcach z blachy falistej, nawet w normalnych stanach eksploatacyjnych występują odmienne od normowych stany obciążeń, co wykazywano m.in. w pracach [3], [4], [5], [8]. Te stany obciążeń wynikają z samej geometrii i chropowatości walcowych płaszczy oraz ich znacznej podatności w kierunku południkowym. Duża awaryjność konstrukcji stalowych silosów stosowanych w rolnictwie wynika nie tylko z niedostatków wiedzy w zakresie ich wyjątkowych stanów obciążeń i nośności, ale też z zaniedbań w projektowaniu i utrzymaniu tych obiektów. Nie do rzadkości należą przypadki traktowania silosów na produkty rolne jako urządzenia do suszenia ziarna i nie stosowania przepisów Prawa Budowlanego w zakresie projektowania, realizacji i utrzymania obiektów budowlanych, którymi są silosy.

Dość często poważnym problemem eksploatacyjnym w silosach na produkty rolne jest ich rozładunek. Przesklepienia materiału składowanego w komorze silosu, oblepianie ścian komory tym materiałem (cukrem, śrutą sojową, biomasą, paszą itp.) sprawiają, że poszukuje się ciągłe takich rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych, które wyeliminują te niekorzystne zjawiska i zapewnią bezzakłóceniovą eksploatację silosów na produkty rolne. Stosowanie silosów płaskodennych zamiast silosów lejowych jest dobrym kierunkiem w tych poszukiwaniach, gdyż zwięźający się lej stożkowy stanowi pewną przeszkodę w bezzakłóceniovym przepływie materiału składowanego w kierunku otworu wysypowego. Gdyby udało się doprowadzić do sytuacji, w której prawie cały ciężar składowanego materiału obciąża płaskie dno silosu, to opróżnianie silosu za pomocą ślimakowych urządzeń wybierających byłoby już stosunkowo prostym zabiegiem. Parcie hydrostatyczne materiału składowanego na płaskie dno jest więc idealnym rozwiązaniem, ale osiągnięcie takiego stanu obciążenia nie jest proste. Zastosowanie całkowicie wiotkich ścian walcowego płaszcza silosu w kierunku południkowym wydaje się być dobrym rozwiązaniem w celu osiągnięcia efektu wyłączenia się płaszcza z przyjmowania obciążeń południkowych, a tym samym bezproblemowego przesuwania się materiału składowanego w kierunku dna podczas procesu opróżniania silosu. Takie prototypowe rozwiązania konstrukcyjne autora niniejszej pracy są już dostępne i objęte ochroną patentową w UP RP: nr P.402661 i nr P.402662.

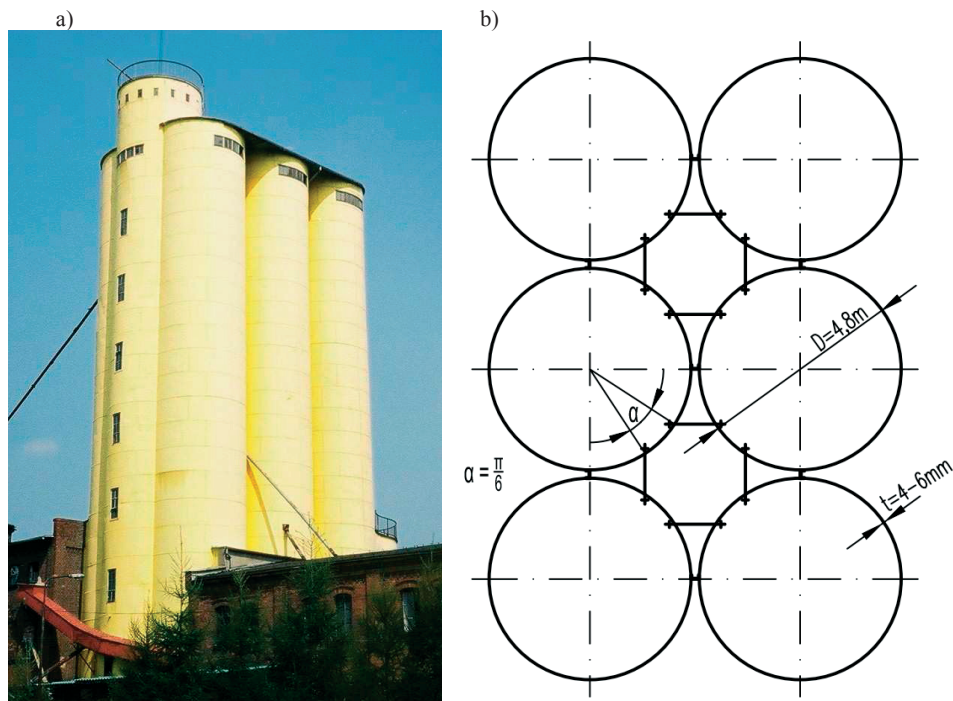
W rolnictwie eksploatowanych jest wiele konstrukcji silosów o płaszcach z blach falistych, zbudowanych przed ponad 30 laty, w których dochodzi coraz częściej do poważnych awarii, rozpoczynających się oberwaniem lejów [9]. Pomimo wielu śmiertelnych ofiar podczas takich awarii podobne silosy są nadal eksploatowane w wielu miejscach Polski w stanie zagrożenia awaryjnego.

2. Konstrukcje silosów na produkty rolne z blachy gładkiej

Pierwsze stalowe konstrukcje silosów do składowania zboża (rys. 1, 2a), wzniesione przed 80-ciu laty, miały walcowe płaszcze z arkuszy blach gładkich o grubości $t = 4-6$ mm, łączonych na montażu na śruby. Ich ładowność wynosi 2100-2400 ton zboża i są one eksploatowane do dzisiaj. Podobne prefabrykowane konstrukcje stalowych baterii silosów na zboże produkowała firma TMS Pardubice (rys. 2b), ale miały one znacznie większą ładowność, wynoszącą 25 tys. lub 50 tys. ton zboża. Prefabrykatami są uźebrowane panele, stanowiące fragmenty płaszczy silosów, które na montażu łączone są na śruby. Wykorzystywane są też przestrzenie między cylindrycznymi komorami, które stanowią dodatkowe komory baterii, tak jak to pokazano na rys. 1b, stosując również pręty usztywniające te komory o przekroju „gwiazdkowym”. Silosy te mają zewnętrzne ocieplenie (rys. 1b). W roku 1986 rozpoczęto w Polsce wnoszenie 8 takich baterii,

wyprodukowanych w TMS Parbubice, w tym m.in. w Oleśnicy, Ząbkowicach Śląskich i Lubyczy Królewskiej.

Spawane konstrukcje silosów o walcowych płaszczach z blachy gładkiej ładowności 200 – 400 ton zboża wykonywane były w Polsce przed ponad 30-tu laty na podstawie projektów ZREMB Warszawa i COBPKM Mostostal Warszawa. Są one trwałe i z powodzeniem eksploatowane do dziś.



Rys. 1. Konstrukcja baterii silosów stalowych na zboże zbudowana w Strzegomiu w 1934 r.: a) widok baterii, b) geometria i układ komór w baterii

Dążenie do zmniejszenia zużycia stali przyczyniło się do opracowania konstrukcji silosów, w których zastosowano na walcowe płaszcze silosów blachy o grubości $t = 1,0$ mm. Z uwagi na bardzo ciekłą blachę płaszczu zastosowano w tych silosach uźebrowanie południkowe walcowych płaszczu, a blachy łączone są na śruby. Realizowane koncepcje tego typu silosów o pojemności 240 m^3 opisuje Banachewicz [10].

Dalsze poszukiwania zmniejszenia zużycia stali w silosach na produkty rolne doprowadziły do opracowania powszechnie stosowanych płaskodennych silosów BIN, w których stosuje się również blachy o grubości $t = 1$ mm, ale rezygnuje się z południkowych żeber walcowego płaszczu, który jest opierany równomiernie na płycie fundamentowej. Silosy te mają ładowności od $10 \div 2200$ ton pszenicy ($V = 15,6 \div 2902 \text{ m}^3$) i średnice

$d = 2293 \div 17189$ mm. Zdominowały one w ostatnich latach rynek silosów rolniczych, choć równie duży segment tego rynku należy do konstrukcji silosów z blach falistych. Podobne konstrukcje silosów z blach płaskich o uźebrowanych i nieuźebrowanych płaszczach o pojemnościach przekraczających 20000 m^3 są oferowane przez wielu krajowych i zagranicznych dostawców. W silosach tych nie można jednak wykazać spełnienia normowego warunku stanu granicznego LS3 (stateczności) płaszczu silosu wg PN-EN 1993-1-6, ustalając wartości ściskających naprężeń południkowych na podstawie obciążeń wg normy PN-EN 1991-4. Z uwagi na małą sztywność południkową ściskanego płaszczu w początkowej fazie jego utraty stateczności obciążenie styczne płaszczu od sprężystego słupa składowanego materiału zmniejsza się znacznie (wzrasta podatność południkowa)

i ustala się pewien stan równowagi, który sprawia, że płaszcze te nie ulegają zniszczeniu wskutek utraty stateczności. Występuje tu analogia do wiotkiego, tkaninowego worka, który pomimo braku nośności w kierunku południkowym pozwala na stabilne utrzymanie w pionie walcowego słupa zboża, zgromadzonego w tym worku, opartym na płaskim podłożu. Zagadnienia te są przedmiotem aktualnych badań autora.



Rys. 2. Baterie stalowych prefabrykowanych silosów zbożowych z blachy gładkiej: a) w Jaworze z roku 1934, b) fragment baterii o ładowności 50 tys. ton firmy TMS Pardubice z 1986 r

3. Wybrane konstrukcje silosów na produkty rolne z blachy falistej

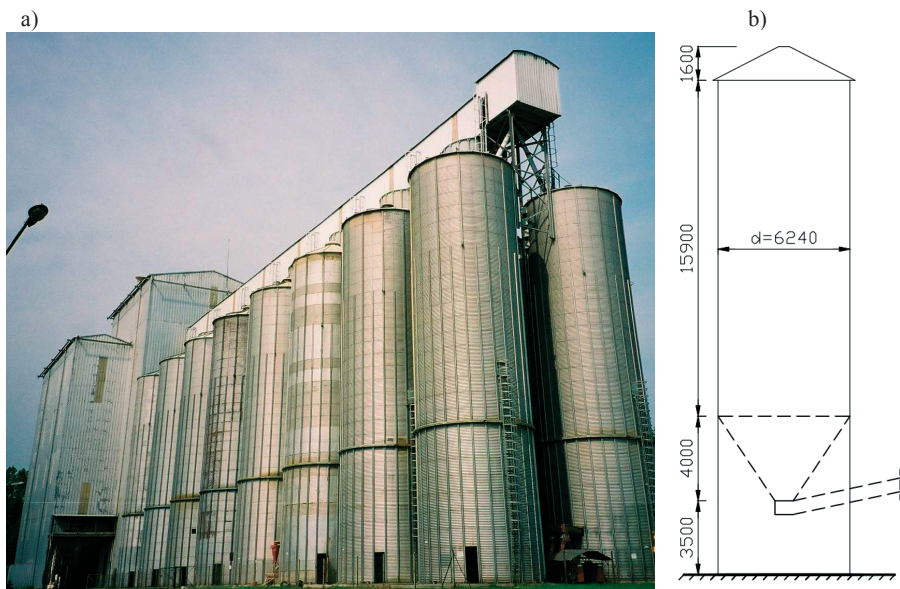
Stalowe ocynkowane blachy faliste wykorzystuje się bardzo często do realizacji walcowych płaszczy silosów na produkty rolne z uwagi na ich lekkość i dużą sztywność w kierunku obwodowym. Z reguły płaszcze takich silosów mają pełne lub częściowe uźebrowania pionowe (podłużnice), które przenoszą obciążenia południkowe płaszcza, a blacha falista przenosi naprężenia obwodowe i zapewnia utrzymanie kołowego przekroju komory silosu podczas działania wiatru i innych niesymetrycznych poziomych obciążeniach silosu.

Na rynku występuje bogata oferta silosów o płaszczach z blachy falistej, a ich pojemności wynoszą od 3 m^3 do ponad 20000 m^3 . Z reguły stosowane są ocynkowane blachy faliste o grubości $t = 1\text{--}2 \text{ mm}$ o niezbyt wysokiej fali $d = 10\text{--}20 \text{ mm}$. Południkowe (pionowe) uźebrowania płaszczy tych silosów wykonywane są najczęściej z walcowanych lub zimnogiętych profili o przekroju ceowym lub kapeluszowym i mocowane są do fałd blach falistych od strony zewnętrznej lub wewnętrznej za pomocą śrub M8-M12. W dużych silosach stosowane są najczęściej płaskie dna z wybierakami ślimakowymi, a w silosach mniejszych montowane są dość często stożkowe leje z blach gładkich. Konstrukcje wsporcze mniejszych silosów lejowych stanowią słupy (6-8 szt.), a w silosach większych konstrukcje wsporcze kształtowane są w formie przedłużonej powłoki płaszcza silosu do płyty fundamentowej. Załadunek silosów z blach falistych na produkty rolne jest grawitacyjny poprzez rurę zasypową, umieszczoną w dachu silosu. Lekkie dachy w kształcie powłok stożkowych z cienkich blach z ukształtowanymi w nich zimnogiętymi żebrami, mają często kominki wentylacyjne, a komory silosow w części poddachowej są na ogół wentylowane. W silosach o dużych średnicach stosowane są prętowe konstrukcje wsporcze dachów.

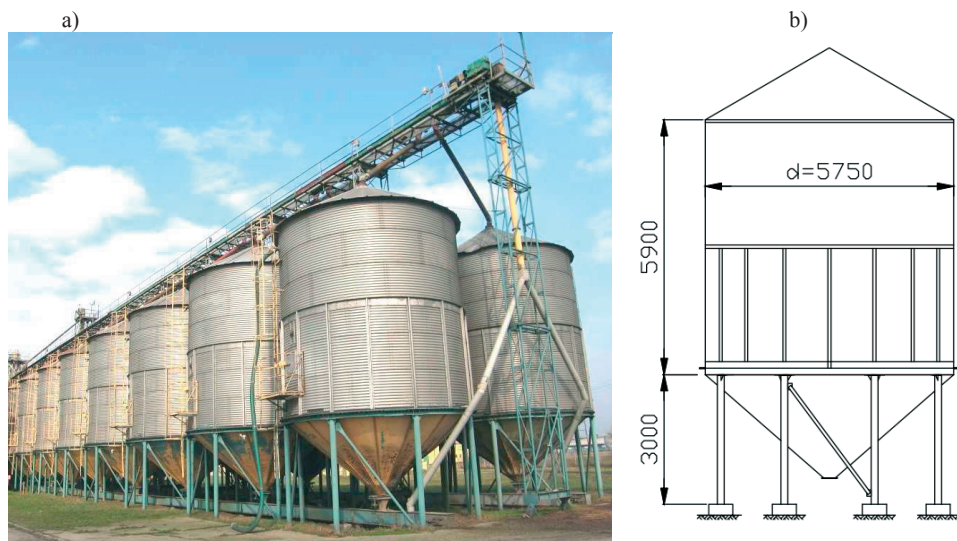
Pierwsze duże silosy stalowe o płaszczach z blach falistych o pojemności $V=530 \text{ m}^3$, importowane z Francji, zbudowano w Polsce przed prawie 40-laty (rys. 3). Blacha falista o wymiarach $d \times l = 19 \times 76,2 \text{ mm}$ i grubości $t = 1\text{-}2 \text{ mm}$, usztywniona była 28 słupkami z zimnogiętych ceowników $C106 \times 73 \times 26 \times 6$, łączonymi do każdego grzbietu fali śrubami M8.

W obu wzniesionych w Polsce bateriach silosów wydarzały się regularnie poważne awarie (rys. 7a), rozpoczynające się oberwaniem leja podczas losowego tąpnięcia powstałych przesklepień magazynowanej śruty sojowej.

W latach 70-tych XX w. sprowadzono do Polski z firmy PETKUS (NRD) bardzo dużą liczbę baterii silosów typu K850/2 do magazynowania zboża i pasz rolniczych o pojemności pojedynczego silosu $V = 187 \text{ m}^3$ (rys. 4). Blachy faliste $t = 1 \text{ mm}$ wykonane są ze stopów aluminium AlMg3, podobnie jak żebra pionowe o przekroju kapeluszowym. Lej pojedynczego silosu ma formę 32-kątnego ostrosłupa, wykonany jest z blachy gładkiej $t = 3 \text{ mm}$. Silosy te są nadal eksploatowane, pomimo, że zostały wzniesione ponad 30 lat temu. Od prawie 10 lat występują bardzo częste przypadki poważnych awarii tych silosów [7], [9], rozpoczynające się oberwaniem się leja, skutkujące nierzadko ofiarami śmiertelnymi wśród ludzi.



Rys. 3. Bateria silosów z blachy falistej na pasze rolnicze: a) widok ogólny, b) geometria silosu



Rys. 4. Silosy K850/2 firmy PETKUS (NRD) na zboże i pasze rolnicze: a) widok baterii, b) geometria silosu

W ostatnim okresie nastąpił rozwój konstrukcji dużych płaskodennych silosów z blach falistych, przeznaczonych dla rolnictwa (rys. 5). Pojemności użytkowe takich pojedynczych silosów wynoszą nawet $V = 20000 \text{ m}^3$. Blachy faliste są ocynkowane (ok. 450 g/m^2) lub dodatkowo pokryte organicznymi powłokami typu „Solano”. Styki blach falistych uszczelniane są specjalnymi pastami lub taśmami. W połączeniach blach i pionowych żeber stosuje się specjalne śruby kl. 8.8. Na europejskim rynku występuje bogata oferta kilku dostawców konstrukcji silosów z blach falistych o bardzo pojemnościach. Często ich wytwórcy produkują je na terenie Chin.



Rys. 5. Duże płaskodenne silosy na produkty rolne z blachy falistej

4. Problemy eksploatacyjne i awarie silosów na produkty rolne

Podstawowa grupę silosów w rolnictwie, które ulegają licznym awariom, stanowią silosy o płaszcach z blach falistych [7], [11]. W tej grupie dominują silosy lejowe, choć w silosach płaskodennych też występują niekiedy przypadki awarii. Uzasadnionym jest stwierdzenie, że silosy metalowe w przemyśle rolnym, są obiektami budowlanymi o dużej awaryjności, a wiele z nich jest eksploatowanych w stanie realnego zagrożenia awaryjnego, z którego nie zdają sobie sprawy ich użytkownicy.

Podstawowe przyczyny awarii silosów stalowych, eksploatowanych w rolnictwie są następujące:

- niekorzystne zmiany własności fizycznych produktów rolnych, w tym biomasy, składowanych w silosach,
- częste występowanie wyjątkowych stanów obciążeń w silosach, dotychczas słabo rozpoznanych,
- niedostateczny stan badań nad nośnością (statecznością) stalowych powłok silosów,
- błędy w projektowaniu i realizacji,
- niewłaściwa eksploatacja i konserwacja,
- brak fachowych, okresowych przeglądów,
- błędne kwalifikowanie silosów na produkty rolne jako urządzeń do suszenia nasion, a nie jako obiektów budowlanych.

Produkty rolne, składowane w silosach zmieniają swoje właściwości, pod wpływem temperatury, absorpcji wilgoci z otoczenia, procesów biologicznych i długotrwałego przechowywania bez przesypywania. W takich sytuacjach może m.in. wzrosnąć kohezynność składowanych produktów, prowadząca do powstawania przesklepień i nawisów, utrudniających rozładunek silosów. Poobijane leje w większości silosów świadczą dobitnie o tych utrudnieniach eksploatacyjnych. Samoczynna lub wymuszona likwidacja przesklepienia w silosie skutkuje bardzo dużymi oddziaływaniami dynamicznymi na leje i dna silosów, pochodzącymi od spadającej masy składowanego materiału. Prawie każda awaria silosu lejowego z blachy falistej rozpoczyna się od oberwania leja. Oberwanie to następuje wskutek wyjątkowych oddziaływań po likwidacji przesklepienia, wskutek korozji połączenia leja z pierścieniem podporowym oraz wskutek błędów projektowych, wykonawczych i zaniedbań eksploatacyjnych.

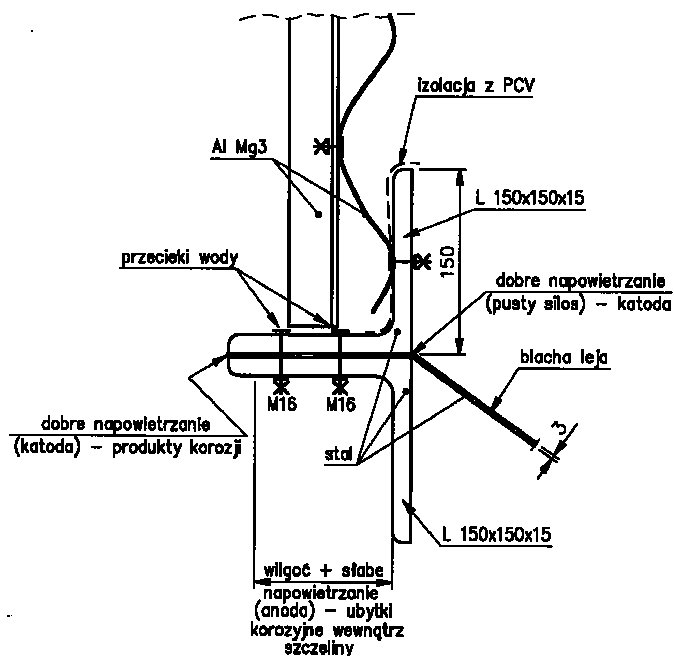
Powszechnie występujące w rolnictwie silosy typu K850/2 firmy PETKUS z byłej NRD zostały wyprodukowane 35-40 lat temu i już dawno zakończył się okres ich bezpiecznej eksploatacji. Autorowi znane są liczne przypadki obrywania się lejów w tych silosach (rys. 6a, 7b, 9) wskutek intensywnej korozji blach leja, zlokalizowanej wyłącznie w bardzo wąskim pasmie (5-10 mm) na styku leja z pierścieniem podporowym. Ta lokalna korozja może objawiać się nawet perforacją korozyjną leja, widoczną od wewnątrz silosu (rys. 9). Korozja blach leja występuje niekiedy wewnątrz pierścienia podporowego (rys. 8). Ta intensywna, lokalna korozja jest trudna do stwierdzenia podczas rutynowych przeglądów technicznych silosu, gdyż miejsce jej występowania jest trudno dostępne do pomiarów, a już w odległości 2-3 cm od tej zagrożonej strefy grubości blach leja wynoszą ok. 3 mm, czyli tak jak w dokumentacji projektowej. Wiele baterii takich silosów wzniesione zostało bez dokumentacji projektowej i pozwolenia na budowę, gdyż ze względów podatkowych klasyfikowano je jako urządzenia do suszenia ziarna, a nie jako obiekty budowlane. Dość często silosy te pochodzą z rozbiórki w innych lokalizacjach, stąd jakość uszczelnień pierścienia oraz poprawność izolacji blach i żeber ze stopu aluminium od konstrukcji ze stali może budzić wiele wątpliwości. Silosy te powinny przejść gruntowne przebudowy połączeń lejów z pierścieniami, gdyż stanowią bezpośrednie i poważne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi.



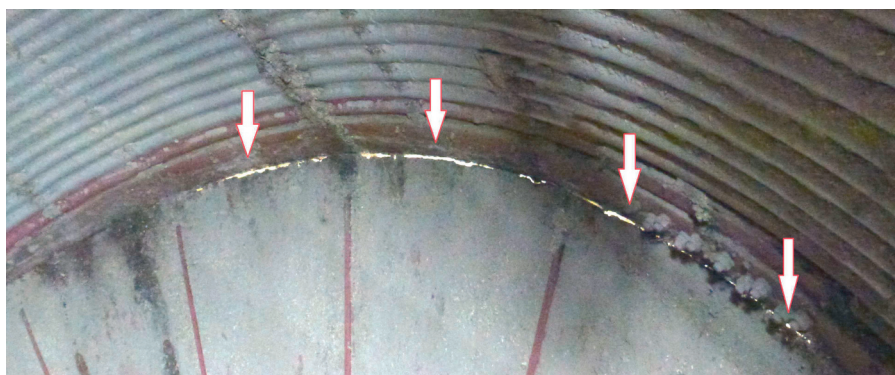
Rys. 6. Awarie silosów na zboże rozpoczynające się od oberwania leja: a) silos K850/2 PETKUS po usunięciu oberwanego leja, b) silos $V = 200 \text{ m}^3$ z żebrami wewnętrznymi płaszcza



Rys. 7. Silosy z blachy falistej po awarii rozpoczętej oberwaniem się leja [9]: a) silos na śrutę sojową wg rys. 3, b) silos na zboże K850/2 wg rys. 4



Rys. 8. Warunki korozyjne w połączeniu leja z pierścieniem podporowym w silosach K850/2



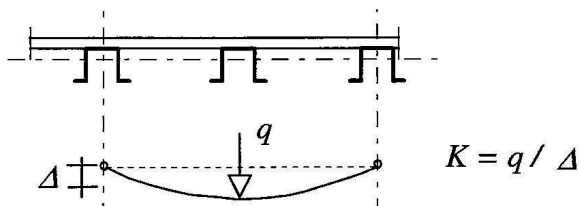
Rys. 9. Widok perforacji korozyjnych w połączeniu leja silosu K850/2 z pierścieniem (od wnętrza silosu)

5. Wybrane zagadnienia analiz nośności silosów z blach falistych

Analizy nośności płaszczy i lejów silosów z blach falistych poprzedzone są wyznaczeniem wartości obciążeń od materiału wypełniających te silosy. W przypadku silosów o płaszczy z blach falistych norma PN-EN 1991-4 ustala dość wyczerpująco zasady wyznaczania wartości oddziaływań materiałów sypkich na niepodatne ściany walcowych komór silosów i stożkowych lejów. Tymczasem walcowe płaszcze silosów z blach falistych mogą mieć dość dużą podatność południkową, zależną od geometrii fal oraz stopnia pionowego uźebrowania. Wzrost podatności południkowej płaszcza silosu skutkuje spadkiem jego południkowego (pionowego) obciążenia, kosztem zwiększenia pionowego obciążenia dna lub leja, co wykazano w pracach [3], [4], [5]. Taka sytuacja przeciążenia leja mogła być jedną z ważniejszych przyczyn wielu awarii silosów z blach falistych, w których następowało oberwanie lejów (rys. 6, 7). Badania tych zagadnień prowadzone są nadal, gdyż są one ważne ze względu na poprawę bezpieczeństwa

eksploatacji silosów.

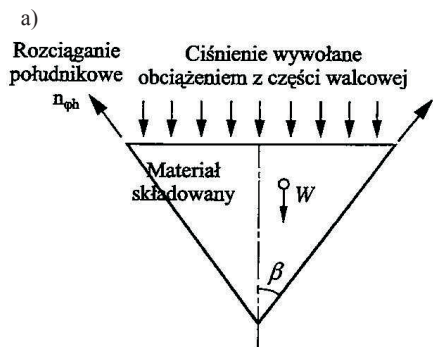
W praktyce projektowej w przypadku ortotropowych płaszczy silosów z uźebrowanych blach falistych (poziome pofalowanie) dość powszechne jest stosowanie zasady, że żebra pionowe przenoszą całkowite obciążenia południkowe, a blach falista odpowiada za przenoszenie naprężeń obwodowych, pochodzących od poziomego parcia materiału składowanego i zewnętrznego ciśnienia wiatru. Nośność pionowych, ściskanych zeber płaszcza silosu wyznacza się z uwzględnieniem wyboczenia, a współczynnik wyboczenia χ wyznaczany jest z uwzględnieniem sztywności K poszycia z blachy falistej, które usztywnia ściskane żebro.



Rys. 10. Określanie sztywności K poszycia silosu z blachy falistej przy wyboczeniu żebra – wg rys. 5.5 normy PN-EN 1994-4-1

W silosach o płaszcach walcowych sztywność poszycia K jest znacznie większa niż to podaje norma PN-EN 1993-4-1 (rys. 10), gdyż poszycie to jest dość sztywną powłoką, w której nie ma przegubów pokazanych na rys. 10. Ponadto, to nie sąsiednie żebra decydują o warunkach wyboczenia pojedynczego żebra (rys. 10) ale realna sztywność walcowego poszycia z blachy falistej, która zależy od geometrii fal tej blachy, średnicy płaszcza i odległości pomiędzy pierścieniem podporowym i poddachowym. Uwzględniając rzeczywisty schemat powłokowej konstrukcji usztywniającej żebra pionowe uzyskuje się na ogół wartość $\chi \approx 1,0$, a podejście normowe jest zbyt konserwatywne, skutkujące koniecznością stosowania zeber o dużym przekroju poprzecznym.

Innym zbyt dużym uproszczeniem w normie PN-EN 1993-4-1 jest stosowanie zasad statyki konstrukcji prętowych do powłokowych konstrukcji stożkowych lejów (rys. 11a).



b)



Rys. 11. Równowaga sił w stożkowej powłoce leja: a) wg rys. A.1 normy PN-EN 1993-4-1, b) w rzeczywistości, podwieszonym na pionowych cięgnach stożku, który jest bryłą sztywną

Rys. A.1 w normie PN-EN 1993-4-1 (rys. 11a) sugeruje, że lej od obciążeń pionowych oddziałuje siłami ukośnymi n_{ph} na pierścień lub płaszczyznę silosu, tak jakby ten lej był wykonany z niezależnych od siebie południkowych prętów. Tymczasem powłoka leja jest dość sztywną bryłą i jej oddziaływania pionowe na swoją konstrukcję wsporczą (pierścień), pochodzące od obciążeń pionowych wg rys. 11a, są również pionowe, co pokazano na rys. 11b. W powłoce stożkowej leja występuje bowiem równowaga sił południkowych i obwodowych z obciążeniami zewnętrznymi. Z uwagi na połączenie leja z pierścieniem na styku tych elementów występują pewne wzajemne oddziaływania, ale nie są one tak duże, jak to wynika z rys. 11a, co łatwo wykazać w dobrze przeprowadzonych analizach numerycznych.

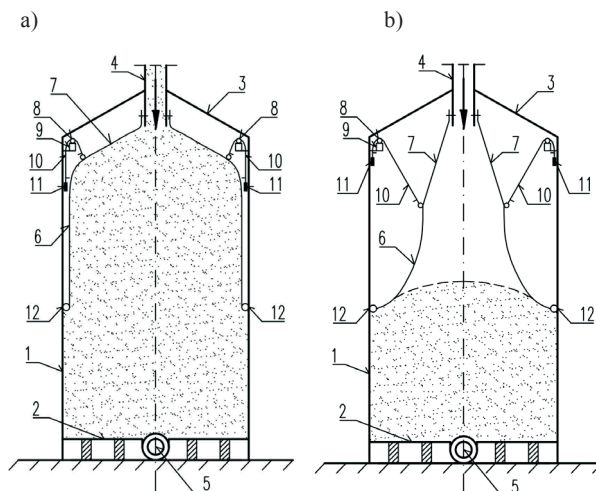
6. Prototypowe konstrukcje silosów o wiotkich płaszczach

Prowadzone badania zespołowe pod kierunkiem autora niniejszej pracy mają na celu poszukiwania takich rozwiązań konstrukcyjnych płaszczy płaskodennych silosów, w których nie wystąpią problemy z ich opróżnianiem, nawet w przypadku składowania w nich kohezyjnych materiałów (pasze rolnicze, biomasa). Podstawowym warunkiem, zapewniającym realizację takiego celu jest osiągnięcie takiego stanu obciążenia płaszcza silosu, w którym parcie pionowe p_v od składowanego materiału na płaskie dno będzie równe lub zbliżone do parcia hydrostatycznego, a tym samym tarcie materiału na płaszcz p_w będzie zbliżone do zera. Jeśli płaszcz nie będzie przejmował obciążeń stycznych, to nie będzie stanowił przeszkody w swobodnym przepływie materiału w kierunku dna podczas opróżniania silosu. Techniki bezzakłócenowego wybierania każdego materiału, znajdującego się na płaskim dnie silosu, są powszechnie znane i skuteczne.

Dobrym rozwiązaniem konstrukcyjnym, które zapewnia brak udziału walcowego płaszcza w przenoszeniu obciążeń pionowych (południkowych) jest zastosowanie na płaszcz odpowiednio wytrzymałych tkanin technicznych (np. poliamidowych). Taki płaszcz silosu w kształcie worka powinien przenieść tylko naprężenia obwodowe, gdyż obciążenia pionowe od ciężaru materiału przekazywane są w całości są przekazywane przez słup materiału na płaskie dno. Walcowy płaszcz tkaninowy nie powinien być podwieszony na stałe do konstrukcji nadsilosowej, aby nie stawiał oporu pionowego podczas opróżniania. Badania zachowania się modeli takich płaszczy silosów przedstawione są na rys. 12. Płaszcz o średnicy 80 cm i wysokości 2,40 m miał uchwyty w części górnej, do których podwieszone były poprzez rolki obciążniki (6 x 2 kg), stanowiące ok. 2% masy peletu drzewnego, zgromadzonego w modelu. Obciążniki te nie przeszkadzały w swobodnym przemieszczaniu się płaszcza w dół podczas opróżniania modelu silosu, a po zakończeniu opróżniania przywracały płaszczu pierwotny walcowy kształt przed procesem kolejnego napełniania. Szczegóły realizacji walcowych płaszczy silosów z tkanin technicznych (poliamidowych), wynikające z przeprowadzonych badań eksperymentalnych, których fragment pokazano na rys. 12, są chronione i zawarte w zgłoszeniach patentowych w UP RP pod numerami P.402661 (rys. 13) oraz P.402662.



Rys. 12. Fazy badania wiotkiego płaszcza silosu: a) po napełnieniu, b) podczas opróżniania, c) po opróżnieniu



Rys. 13. Tkaninowy płaszcz wewnętrzny w silosie: a) po napełnieniu, b) po częściowym opróżnieniu (opis oznaczeń w P.402661)

Oprócz silosów o płaszczach całkowicie wiotkich można zastosować tkaninowe wkłady w postaci rękawów do istniejących silosów (rys. 13), wykorzystując odpowiednio dobrane obciążniki do automatycznego podnoszenia rękawów do pierwotnego położenia przed kolejnym napełnieniem silosu. Pewnym utrudnieniem eksploatacyjnym jest konieczność pełnego opróżnienia silosu z wiotkim płaszczem przed kolejnym jego napełnieniem.

7. Podsumowanie

Silosy na produkty rolne mają różnorodne konstrukcje i warunki ich eksploatacji. Istnieje potrzeba dalszych badań konstrukcji i obciążeń silosów o płaszczach z blach falistych oraz poszukiwania takich rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych, które wyeliminują niekorzystne zjawiska przesklepień i innych utrudnień w opróżnianiu silosów. Zjawiska te mają bezpośredni wpływ na powstanie zagrożeń awaryjnych silosów na produkty rolne. Wiele silosów metalowych w rolnictwie jest eksploatowanych w stanie zagrożenia awaryjnego. Istotne są badania bardzo zmiennych właściwości materiałów składowanych w silosach [12], [13], gdyż właściwości te wpływają bezpośrednio na stan wyłączenia komór silosów.

Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego NCN nr N N506 099840

Literatura

- 1 Martens P. Silohandbuch. Ernst & Sohn, Berlin 1988.
- 2 Stünkel A. Stahl-Getreidesilos. Stahlbau, 8/1935, s. 103-104.
- 3 Hotała E., Zambrowicz M. Problemy składowania wybranych rodzajów biomasy w silosach z blachy falistej. Przegląd Budowlany nr 5/2010, s. 97-100.
- 4 Hotała E., Pawłowski K. Badania stalowych silosów do składowania biomasy. Przegląd Budowlany nr 5/2012, s. 14 -18.
- 5 Hotała E., Pawłowski K. Awaryjne przeciążenia płaszczy i lejów w silosach z blachy falistej. Materiały XXV Konferencji naukowo-Technicznej „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 24-27 maja 2011, s. 793-800.
- 6 Hotała E. Nośność graniczna nieuźebrowanych cylindrycznych płaszczy silosów stalowych. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej nr 83, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.

- 7 Pasternak H., Hotała E., Vayas I. Schäden an Stahlsilos – weitere Beispiele. Bauingenieur 2002, Bd. 77, Nr 3, s. 108-112.
- 8 Molenda M., Horabik J., Thompson S. A., Ross I. J. Grain loads on smooth – and corrugated-wall model silos. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Nr 419/2001.
- 9 Hotała E. Remonty i wzmacnianie silosów metalowych. Materiały XXIII Ogólnopolskiej Konferencji „warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji”, Szczyrk, 5-8 marca 2008, T. 1, s. 443-484.
- 10 Banachewicz W. Lekki, stalowy silos na produkty rolne – koncepcja konstrukcji i montażu. Inżynieria Rolnicza, nr 1/2005 (61), s. 5-14.
- 11 Hotała E., Awaryjność silosów z blachy falistej. Materiały Budowlane, Nr 2/2006, s. 37-39.
- 12 Stasiak M., Molenda M., Rusinek R., Horabik J., Właściwości mechaniczne złoża nasion rzepaku wyznaczane w teście jednoosiowego ściskania. Acta Agrophysica, 2001, nr 46.
- 13 Hotała E., Kuśnierek M., Badania laboratoryjne właściwości biomas składowanych w silosach. Materiały Budowlane, Nr 3/2013, s. 57-58.

Steel silos for agricultural products – structural solutions, resistance analysis, durability, failures

Eugeniusz Hotała

Department Chair of Metal Structures, Faculty of Civil Engineering, Wrocław University of Technology, e-mail: eugeniusz.hotala@pwr.wroc.pl

Abstract: First grain storage silos were built 80 years ago in the Lower Silesia and exploited successfully to today. The intensive development of silos steel structures in Poland took place in the last 40 years, when at the same time the light silos batteries from corrugated sheets and big interlocked silos batteries smooth sheets for grain and agricultural feed were built. Recently, the steel, light silos with 100-20000 m³ of usable capacity are mainly erected. In such silos various types of biomass are often stored. The fallibility of steel silos employed in agricultural industry is very high. Lot of them are operated in the state of emergency without the users' awareness. The causes of failures of steel silos for agricultural products are complex due to i. a. specific properties of the stored material, by the lack of knowledge about exceptional actions, design and constructional errors, and negligence in the area of maintenance and repair. Unloading of silos from viscous and cohesive materials as agricultural feed and biomass constitutes a major problem of exploitation. Testing of prototypical steel silos structures is ongoing, in witch the disorder of discharge process should be overcome. In this paper, the above mentioned issues are synthetically presented.

Keywords: metal silos, load to silos, load-bearing capacity, structure failure.

Melioracje a rozwój obszarów wiejskich

Edward Pierzgalski

*Katedra Kształtowania Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, e-mail:
Edward_Pierzgalski@sggw.pl*

Streszczenie: W pracy scharakteryzowano wielofunkcyjność urządzeń melioracji wodnych. Wykazano, że mająca konsekwencje prawno-ekonomiczne definicja melioracji wodnych zawarta w *Prawie wodnym* jest definicją merytorycznie zawężoną, gdyż urządzenia melioracyjne, oprócz regulacji uwilgotnienia gleby, mogą pełnić inne funkcje, jak ochrona gleb i wód, nawożenie gleb, ochrona przed przymrozkami itp. Systemy melioracyjne mogą być elementem ochrony przed powodzią nie tylko gruntów rolnych, ale także obszarów leśnych i zurbanizowanych. W artykule przedstawiono stan ilościowy i techniczny urządzeń melioracji wodnych oraz efekty i zagrożenia związane z funkcjonowaniem urządzeń melioracyjnych. Wskazano na istotne role, które melioracje powinny spełniać w podnoszeniu wydajności produkcji roślinnej, w systemach ochrony przed powodzią i podtopieniami, a także w łagodzeniu skutków zmian klimatu, w tym zagrożeń związanych z okresami posuszowymi i suszą. Przedstawiono współczesne i przyszłe uwarunkowania rozwoju obszarów wiejskich oraz zakres potrzeb dostosowania do nich urządzeń melioracyjnych. Podkreślono także ważną rolę systemów melioracyjnych we wdrażaniu polityki wodnej Unii Europejskiej dotyczących m.in. dobrego stanu wód i ochrony ekosystemów. Scharakteryzowano także zakres prac nad projektem „Narodowego Programu Odnowy Melioracji i Rozwoju Retencji”.

Słowa kluczowe: melioracje wodne, nawodnienia, odwodnienia, rozwój obszarów wiejskich.

1. Wprowadzenie

W aktualnie obowiązującym *Prawie wodnym* z roku 2001 przyjęto, że: „Melioracje wodne polegają na regulacji stosunków wodnych w celu polepszenia zdolności produkcyjnych gleby, ułatwienia jej uprawy oraz na ochronie użytków rolnych przed powodzią”. Jest to definicja niesłusznie zawężająca zakres oraz funkcje systemów i urządzeń melioracyjnych, które wraz z rozwojem społecznym i gospodarczym ulegały istotnym zmianom.

W okresie rozwoju najstarszych cywilizacji jednym z ważniejszych zadań melioracji wodnych stanowiących element gospodarki wodnej było zaopatrzenie w wodę i nawadnianie. Wzrost liczby ludności zmuszał do zwiększania produkcji żywności, co wiązało się z koniecznością powiększania powierzchni uprawnej. Początkowo odbywało się to kosztem lasów, a po wyczerpaniu tej możliwości, przystosowywano do produkcji rolniczej tereny trudniejsze: podgórskie, górskie oraz mokradła. Na obszarach o dużych spadkach powierzchni dominowały melioracje przeciwerozyjne, których najpowszechniej stosowanym urządzeniem były tarasy. Przekształcenie mokradeł na użytki rolne wymagało wykonania systemów odwadniających. Najczęściej stosowano stosunkowo proste odwodnienia za pomocą kanałów i rowów. Po zagospodarowania większości przydatnych rolnictwu terenów jedynym sposobem zwiększania produkcji rolnej była jej intensyfikacja, a to z kolei wymagało regulowania stosunków wodnych w glebie. Do odprowadzania wody stosowano rowy oraz od XIX wieku odwodnienie podpowierzchniowe za pomocą rurek drenarskich. Szczególnie duży postęp techniczny towarzyszył nawodnieniom: od nawodnień zalewowych o niskiej efektywności wykorzystania wody (w granicach 10-20%) do nawodnień ciśnieniowych (deszczownianych, kropłowych) sterowanych komputerowo o efektywności przekraczającej 90 %.

Oprócz klasycznych działań melioracji rolnych, czyli odwodnień i nawodnień, do inżynierii melioracyjnej zalicza się także agromelioracje, melioracje przeciwerozyjne,

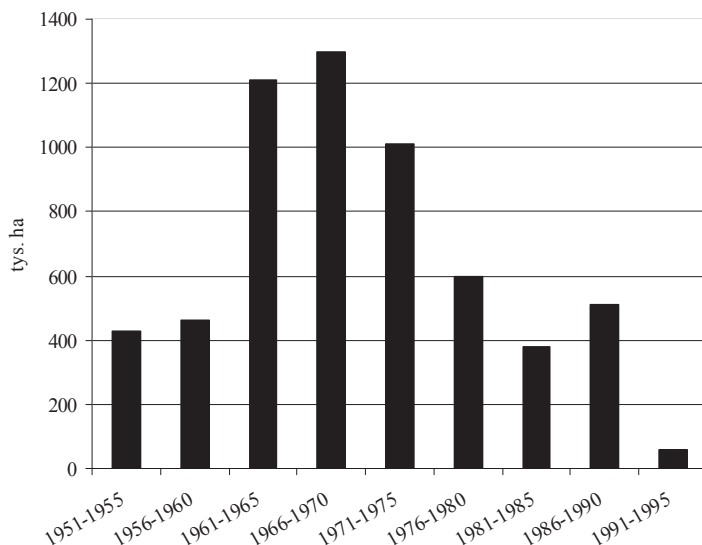
melioracje terenów depresyjnych, melioracje leśne, stawy rybne, urządzenia ochrony przeciwpowodziowej.

Aktualne uwarunkowania społeczne, gospodarcze, ekologiczne oraz prognozowane zmiany klimatu wskazują na konieczność redefinicji zadań melioracji wodnych w Polsce.

Celem artykułu jest przedstawienie stanu urządzeń melioracji wodnych, skutków ich funkcjonowania w aspekcie rozwoju obszarów wiejskich, a także scharakteryzowanie najważniejszych problemów wymagających rozwiązania w tym zakresie.

2. Funkcje i stan melioracji wodnych

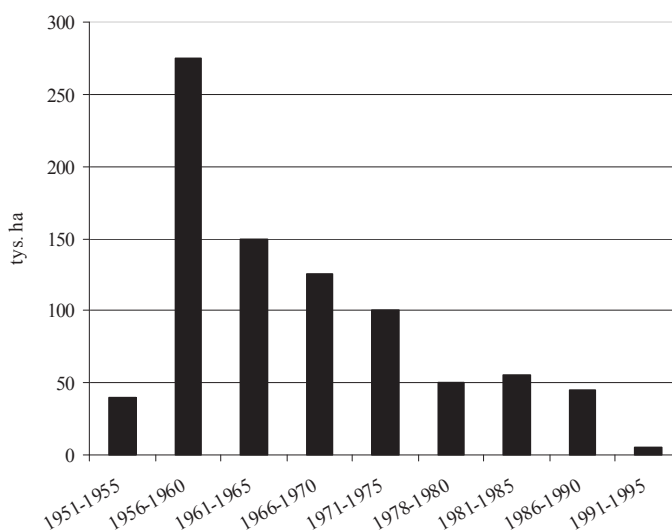
Cele inwestycji melioracyjnych w Polsce ulegały zmianom w różnych etapach zagospodarowywania obszarów leśnych i rolniczych. Przede wszystkim ich zadaniem było inżynierskie udostępnienie terenu, łagodzenie ekstremalnych zjawisk hydrologicznych powodujących susze, powodzie i podtopienia, a także zwiększenie rolniczej przestrzeni produkcyjnej np. poprzez odwodnienie mokradeł. Większość istniejących obecnie w Polsce systemów melioracyjnych została wykonana w okresie od lat 50. do 90. XX wieku (rys. 1).



Rys. 1. Powierzchnie gruntów rolnych zmeliorowanych w okresie 1951-1995

Powierzchnia zmeliorowanych gruntów rolnych według danych Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi wynosi łącznie 6,4 mln ha, w tym 4,6 mln ha stanowią grunty orne i 1,8 mln ha użytki zielone [1]. Oznacza to, że 38,2% gruntów ornych i 56,3% użytków zielonych jest zmeliorowanych. W przeważającej części są to melioracje odwadniające. Powierzchnia nawadniana w Polsce jest mało znacząca: w 2011 roku wynosiła jedynie 0,41 % powierzchni użytków rolnych: 66 tys. ha, w tym 61 tys. ha stanowiły nawodnienia podsiąkowe na użytkach zielonych w dolinach rzecznych - wykorzystując jedynie w kilkunastu procentach istniejące urządzenia nawadniające [2]. Natomiast podana przez GUS liczba 5 tys. ha nawadnianych innych użytków rolnych nie wydaje się być informacją wiarygodną.

W omawianym okresie wykonano także urządzenia melioracyjne w lasach. Na początku lat 50. ubiegłego wieku powierzchnię lasów, na której potrzebne były urządzenia melioracyjne określono na 1 050 tys. hektarów. W okresie 1951-1991 wykonano systemy melioracyjne na powierzchni 850 tys. hektarów, czyli na około 9 % powierzchni polskich lasów [3]. Po 1991 roku prace melioracyjne w lasach zostały prawie całkowicie zaniechane (rys.2).



Rys. 2. Powierzchnie gruntów leśnych zmeliorowanych w okresie 1951-1995

Wśród wykonanych urządzeń dominowały urządzenia odwadniające służące do odprowadzenia okresowych nadmiarów wód oraz inżynierskiego udostępnienia terenu. Celem inwestycji melioracyjnych w lasach było przede wszystkim kształtowanie warunków wodnych optymalnych dla produkcji drewna, a także, podobnie jak w rolnictwie, zwiększenie leśnej powierzchni produkcyjnej poprzez odwodnienie „nieużytków śródleśnych”, jak nazywano wówczas bagna i torfowiska śródleśne. Większość wykonanych inwestycji obejmowała odbudowę, przebudowę lub renowację istniejących, lecz zniszczonych lub zaniedbanych urządzeń. Szacuje się, że nowe systemy melioracyjne wykonano jedynie na powierzchni 45 tys. hektarów. Nawodnienia stosuje się głównie na szkółkach leśnych, z których ponad 90% jest wyposażonych w urządzenia nawadniające na powierzchni około 3 tys. ha.

Urządzenia melioracji podstawowych są wykonywane i utrzymywane przez wojewódzkie zarządy melioracji i urządzeń wodnych. Według danych GUS [2] obejmują one rzeki istotne dla rolnictwa: nieuregulowane (ok. 24 tys. km) i uregulowane (50 tys. km), zbiorniki wodne (210 sztuk o pojemności 270 mln m³), stacje pomp (587 sztuk) oraz 8485 km wałów przeciwpowodziowych.

Z punktu widzenia aktualnych potrzeb rolnictwa i leśnictwa ilościowy stan urządzeń melioracji szczegółowych można generalnie uznać za wystarczający. Natomiast uzupełnienia ilościowego wymagają urządzenia melioracji podstawowych. Zasadniczo większym problemem od ilości urządzeń jest ich stan techniczny i funkcjonalność.

Według Kowalewskiego i Lipińskiego [4] wśród urządzeń melioracji podstawowych w stanie niedostatecznym znajduje się: 18 % jazów, 19% zastawek, 12% stopni wodnych, 4% zbiorników oraz 30% wałów przeciwpowodziowych. Natomiast wśród budowli zaliczanych do urządzeń melioracji szczegółowych w niedostatecznym stanie technicznym znajduje się 26862 zastawek (71%) oraz 4161 stopni (52%).

Zasadniczą przyczyną takiego stanu są niewystarczające środki finansowe na utrzymanie systemów melioracyjnych. Lipiński i Kowalewski [4] oszacowali, że potrzebne środki na utrzymanie urządzeń podstawowych powinny być dwukrotnie wyższe i wynosić rocznie 812 mln zł rocznie. Prace utrzymaniowe na urządzeniach szczegółowych wykonują spółki wodne. W 2011 r. działalnością spółek objęto jedynie 67% powierzchni zmeliorowanej. Łączne koszty utrzymania urządzeń wyniosły 151 mln i pochodziły ze składek członków spółek (110 mln zł), dotacji państwowych (16 mln zł). Reszta pochodziła z nakładów rzeczowych. Bardzo istotnym problemem jest spadek liczby spółek wodnych i brak prac utrzymaniowych na ponad 2 mln ha zmeliorowanych gruntów rolnych.

Przeprowadzona w 2010 roku przez Najwyższą Izbę Kontroli ocena stanu urządzeń melioracji szczegółowych w województwie podlaskim wykazała, że są one źle utrzymywane i wskutek tego nie mogą w pełni spełniać zadań, dla których zostały wykonane. Z szeregu innych opracowań wynika, że woj. podlaskie nie jest wyjątkiem. W podobnie złym stanie znajduje się większość urządzeń melioracji szczegółowych w Polsce. Znaczenie tego problemu jest poważne, chociażby z powodu dużych nakładów inwestycyjnych poniesionych na wykonanie urządzeń melioracji szczegółowych, które według poziomu cen 2007/2008 Wierzbicki i Michaluk [5] szacują na 64 mld zł, w tym 54,4 mld z budżetu państwa.

Ogólnie można stwierdzić, że od ponad 30 lat spada zainteresowanie melioracjami wodnymi. Dotyczy to zarówno nowych inwestycji, jak również utrzymania i eksploatacji istniejących urządzeń. Nakłady ze środków publicznych nie są wystarczające nawet na bieżące remonty i utrzymanie urządzeń podstawowych. Jedynie zdarzające się nadmierne opady powodujące powodzie i lokalne podtopienia przyczyniają się do krótkotrwałego zainteresowania niedrożnymi urządzeniami. Wyraźne jest zmniejszenie wykorzystania istniejących urządzeń nawadniających na użytkach zielonych. Jedną z przyczyn takiej sytuacji jest ekstensyfikacja łakarstwa w skali kraju, spowodowana przede wszystkim koncentracją i specjalizacją gospodarstw w produkcji mleka, w których siano nie jest już podstawową paszą, a jedynie jednym z komponentów. Przyczyniają się do tego także programy rolnośrodowiskowe, mające na celu ochronę przyrody ożywionej na użytkach zielonych i premiujące dopłatami obszarowymi ekstensyfikację produkcji łakarskiej.

3. Efekty inwestycji melioracyjnych

Zakrojone na bardzo dużą skalę inwestycje melioracyjne miały spełnić dwa podstawowe cele: poprawić wydajność produkcji roślinnej oraz zwiększyć powierzchnię produkcyjną.

Potrzeba poprawy wydajności produkcji rolnej wynikała z konieczności likwidacji deficytu żywności. Przy braku nawozów mineralnych i niskiego zmechanizowania wzrost produkcji rolnej najszybciej można było osiągnąć przez poprawę warunków wodnych kształtowanych przez specyficzne uwarunkowania klimatyczne. Charakterystycznymi cechami klimatu w Polsce jest jego przejściowość, zmienność i kontrastowość. Przejściowość klimatu oznacza występowanie zarówno klimatu morskiego i kontynentalnego, co jest skutkiem wpływów Bałtyku i oceanu Atlantyckiego. Zmienność klimatu objawia się dużymi różnicami temperatur i opadów zarówno w ciągu roku, jak i w okresach wieloletnich. Sumy średnich opadów rocznych mogą w poszczególnych latach znacznie się różnić np. w wyjątkowo mokrym 1975 roku średni opad roczny dla całego kraju wynosił 780 mm, a w suchym 1990 roku jedynie 420 mm. Kontrastowość klimatu określa jego zmienność przestrzenną i tym samym oznacza zmienność przestrzenną zasobów wodnych. Średnia suma opadów w ciągu roku wynosi w Polsce niewiele ponad 600 mm, przy czym w centralnej części Polski wynoszą one jedynie 500 mm, a w wysokich górach na południu Polski wzrastają do 1500 mm. Największe niedobory wody występują w centralnej części Polski, jakkolwiek zdarzają się susze także w północnej części kraju i nawet w obszarach górskich. Te cechy klimatu sprawiają, że zasoby wodne w Polsce cechuje zmienność przestrzenna i czasowa.

Uzyskanie stabilnej i wysokiej produkcji rolnej wymaga więc w Polsce regulacji stosunków wodnych. O dużym znaczeniu przypisywanym melioracjom świadczy cytat z artykułu Turczyłowicza z 1926 roku [6]: „Przeto melioracje w kraju rolniczym uznane być muszą za podstawowy czynnik dobrobytu i równowagi ekonomicznej. Budowa systemu gospodarczego, z pominięciem tego czynnika, byłaby grą na loterii. Na tej drodze trwała sanacja warunków ekonomicznych jest nie do osiągnięcia.” W tym samym artykule Turczyłowicz ocenia efekty melioracji: „Jako zwyczaję plonów na gruntach zmeliorowanych przyjąć możemy, opierając się na statystyce zagranicznej i ankiecie Krajowego Towarzystwa Melioracyjnego, w zbożu 40%, w okopowych 80%, w paszy (zwłaszcza w sianie) przeszło 120%, czyli melioracje jakby zwiększają stan posiadania ziemi przeszło o 40%.”

Liczne późniejsze badania także potwierdzały wzrost plonów na obszarach zmeliorowanych. Według badań nad efektywnością systemów drenarskich prowadzonych

przez Instytut Ekonomiki Rolnictwa [7] przyrost plonów czterech zbóż na polach zdrenowanych osiągał wielkość 33%, buraków pastewnych 16%, ziemniaków 23%, a rzepaka ozimego nawet 39%.

Ocena opłacalności nawodnień jest nieco bardziej złożona. W naszych warunkach klimatycznych nawodnienia mają charakter zabiegu uzupełniającego. Najbardziej opłacalne jest nawadnianie warzyw, roślin sadowniczych i okopowych. Wzrost plonów wskutek nawadniania zależy oczywiście od wielu czynników i waha się od kilku do kilkudziesięciu procent. Niezależnie od wzrostu plonu wskutek nawodnień, który zależy od warunków pogodowych, przede wszystkim istotne są straty w plonach ponoszone wskutek braku nawodnień w okresach suszy. Susze w Polsce pojawiają się przeciętnie co 4-5 laty. Z badań Łabędzkiego [8] wynika, że straty wskutek susz atmosferycznych, w zależności od zasięgu obszarowego, okresu trwania, nasilenia i terminu wystąpienia, mogą powodować obniżenie produkcji roślinnej średnio o 25 % w okresach wieloletnich. Odnotowywano także [9] zmniejszenie produkcji traw w granicach 40-100 %, zbóż jarych 20-60 %, zbóż ozimych 15-50%, rzepaka 15-45%, ziemniaków i buraków cukrowych 20-60%, a warzyw 30-60%.

Systemy deszczowniane mogą skutecznie chronić uprawy sadownicze i szkółkarskie przed przymrozkami. Szczególną uwagę zwraca się obecnie także na wykorzystanie nawodnień podsiąkowych, w szczególności oddziaływanie regulowanego, w celu zahamowania procesu murszenia gleb torfowych lub renaturyzacji odwodnionych torfowisk.

Zwiększanie powierzchni uprawnej odbywało się głównie kosztem mokradeł w dolinach rzecznych, które po odwodnieniu przekształcano najczęściej, z uwagi na niskie położenie i warunki wodne, w użytki zielone. Zakres tych inwestycji jest trudny do określenia z powodu braku szczegółowych danych. W okresie 1951-1995 urządzenia melioracyjne wykonano na powierzchni około 1 mln ha użytków zielonych. Można założyć z dużym prawdopodobieństwem, że większą część tej powierzchni stanowiły torfowiska naturalne. Ocena przyrodników tej działalności inwestycyjnej jest zdecydowanie negatywna z uwagi na redukcję biologicznej różnorodności wskutek odwodnienia torfowisk. Jednak w ówczesnych warunkach gospodarczych tego typu inwestycje wpływały nie tylko na ilościowy i jakościowy wzrost plonów oraz ich stabilizację w poszczególnych latach, ale także na lokalny i regionalny rozwój gospodarczy i społeczny przyspieszając rozwój infrastruktury drogowej, socjalnej, tworzenie zakładów przetwórstwa spożywczego itp.

Należy jednak odnotować także negatywne zjawiska powodowane przez melioracje odwadniające. Mają one bowiem wpływ na zasoby wody w zlewni zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym. Skutkiem przyspieszenia odpływu wód roztopowych oraz opadowych może być zwiększenie zagrożenia wystąpienia powodzi oraz zmniejszenie zasobów wodnych w okresach niedoboru opadów. Krytyczne opinie o nadmiernym odprowadzaniu zasobów wodnych ze zlewni, są częściowo słuszne, gdyż systemy odwadniające, w tym drenarskie, są na ogół niesterowalne tzn. nie mają możliwości zahamowania odpływu wody.

Przyspieszenie obiegu wody i transportu materii w zlewni nie tylko powoduje zmianę struktury bilansu wodnego, lecz przyczynia się do zwiększenia ładunków związków biogennych wynoszonych do rzek z obszarów użytkowanych rolniczo. Rowy ułatwiają transfer zanieczyszczeń z powierzchni pól do wód powierzchniowych, a sieć drenarska intensyfikuje proces wymywania związków chemicznych zwłaszcza azotowych z wierzchnich warstw gleby do wód podziemnych lub odbiorników wód powierzchniowych. Odwadnianie torfowisk wywołuje natomiast proces murszenia gleb organicznych i uwolnienie związków azotu w procesie ich mineralizacji.

4. Dostosowanie melioracji do obecnych i przyszłych uwarunkowań

W planach rozwoju obszarów wiejskich gospodarka wodna, w tym melioracje, powinna być powiązana z czynnikami gospodarczymi, przyrodniczymi i społecznymi kształtowanymi m.in. przez samorządy lokalne. Roli urządzeń melioracyjnych nie można rozpatrywać w oderwaniu od planów zarządzania i zagospodarowania obszarów wiejskich. Rolnicza przestrzeń produkcyjna, tereny zabudowane wraz z ich techniczną infrastrukturą, a także obszary podlegające ochronie, w tym biotopy wodne powinny tworzyć

zintegrowany ład przestrzenny i środowiskowy. Jako główne zadania systemów melioracyjnych w obszarach wiejskich można wymienić:

- przystosowanie gruntów rolnych do intensywnej i stabilnej produkcji rolniczej,
- ograniczenie zagrożeń ekstremalnych zjawisk hydrologicznych (susze, powodzie i podtopień) oraz łagodzenie ich skutków,
- zwiększenie zdolności retencyjnych obszarów wiejskich zarówno w gospodarstwie, jak i w zlewni rzecznej,
- ochrona gleb organicznych,
- ochrona obszarów cennych przyrodniczo przed degradacją.

Aktualnie istnieją uwarunkowania zarówno ograniczające poprawę złego stanu technicznego infrastruktury melioracyjnej i jej eksploatacji, jak i uwarunkowania wymuszające pozytywne zmiany w tym zakresie. Do pierwszych z wymienionych należy zaliczyć ogólną słabą kondycję rolnictwa i niską efektywność produkcji rolnej. Podtrzymują one dekapitalizację infrastruktury melioracyjnej i niewielkie zainteresowanie precyzyjną regulacją stosunków wodnych w glebie. Do czynników wymuszających poprawę należy zaliczyć konieczność spełniania wymagań środowiskowych Unii Europejskiej, w tym wdrażania polityki zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich w ramach Wspólnej Polityki Rolnej. Produkcja roślinna i zwierzęca nie powinna zagrażać środowisku pod warunkiem stosowania dobrych praktyk rolniczych. W odniesieniu do gospodarki wodnej niezmiennie istotnym czynnikiem jest konieczność osiągania celów dyrektyw Unii Europejskiej, z których do najważniejszych związanych z wodą należą: Ramowa Dyrektywa Wodna, tzw. Dyrektywa Azotanowa oraz tzw. Dyrektywa Powodziowa.

Ciągle potencjalnym, lecz mogącym spowodować istotne wpłynąć na infrastrukturę melioracyjną i jej eksploatację może być ocieplenie klimatu i związane z tym zmniejszanie się zasobów wodnych oraz częstsze i głębsze susze. Przy trendzie zmniejszania się zasobów wodnych, brak możliwości sterowania odpływem w rowach i systemach drenarskich kształtuje negatywną opinię o skutkach ich funkcjonowania, czyli o ich wpływie na pogłębianie deficytu wody. Dlatego też zasadą powinno być stosowanie takich urządzeń melioracyjnych, które umożliwiają sterowanie odpływem wody odpowiednio do warunków pogodowych. Modernizacja systemów odwadniających na systemy regulowanego odpływu jest jednym z najpilniejszych zadań gospodarki wodnej w rolnictwie w najbliższych latach. Biorąc tylko pod uwagę powierzchnię ponad 4 mln gruntów ornych, na których wykonano odwodnienia, jest to zadanie ogromne, lecz konieczne. Rowy odwadniające wskutek braku systematycznej konserwacji bardzo szybko ulegają zamuleniu i zarośnięciu. Niektóre mogą okazać się niepotrzebne, np. przy renaturyzacji mokradel lub zmiany użytkowania. Rowy, które są sprawne pod względem technicznym i nadal są potrzebne (będąc elementem obiegu wody w zlewni) należy poddać modernizacji. Sposób modernizacji urządzeń odwadniających zależy od funkcji, które mają pełnić. W pierwszej kolejności należy przystosować je do pełnienia funkcji retencyjnych poprzez wyposażenie w urządzenia piętrzące, zamieniając w ten sposób system odwadniający w system regulowanego odpływu. W niektórych sytuacjach celowe jest ułatwienie przepływu wody przez dno i skarpy rowu do warstw głębszych w celu zasilania wód podziemnych. Czasem, gdy rów pełni funkcję doprowadzalnika wody do zbiornika wodnego lub do mokradła, konieczne jest działanie odwrotne (uszczelnienie dna i skarpy).

Modernizacja systemów drenarskich, funkcjonujących w takich zmienionych warunkach, powinna polegać na uzbrojeniu ich w elementy umożliwiające okresowe zahamowanie odprowadzania wody, a także umożliwiające włączenie ich w systemy małej retencji tak, aby wody odpływające z wylotów drenarskich były magazynowane i wykorzystane w okresach posusznych np. do nawodnień.

Niepokojące jest zjawisko systematycznego zmniejszania się arealu użytków zielonych, na których stosuje się nawodnienia podsiąkowe. Są one w istocie systemami odwadniającymi wyposażonymi w urządzenia piętrzące (zastawki, przepusty z piętrzeniem) umożliwiające dwustronne odwadniająco-nawadniające funkcjonowanie tych systemów. Proces ten trwa od dłuższego czasu, pomimo, że nawodnienia podsiąkowe należą do przyjaznych środowisku m.in. ograniczając proces murszenia gleb torfowych. Przyczynę tego stanu upatruje się w ogólnych zmianach zachodzących w polskim rolnictwie.

Podobnie, jak przy nawodnieniach podsiąkowych, obserwuje się systematyczny spadek powierzchni deszczowanej. W tym przypadku przyczyny są łatwiejsze do zdiagnozowania. Są nimi przede wszystkim brak wystarczających i niezawodnych źródeł wody do nawodnień oraz opłacalność stosowania nawodnień, którą obniża koszt energii zużywanej do pompowania wody. Analiza rozwoju nawodnień w świecie wskazuje, że najszerzej stosowane są systemy o małej energochłonności i dużej efektywności wykorzystania wody. Taka jest zapewne perspektywa rozwoju nawodnień w Polsce. Przy ociepleniu klimatu nastąpi przejście od stosowania, jak obecnie, nawodnień uzupełniających, do nawodnień bez których produkcja będzie niemożliwa lub nieopłacalna. W takiej sytuacji nabiorą znaczenia systemy nawadniające, przede wszystkim systemy wodooszczędne. Należy jednak stwierdzić, że prognoza rozwoju nawodnień jest trudna do przewidzenia. Dotychczasowe prognozy w tym zakresie okazywały się nietrafione. Jednakże postępujące ocieplanie klimatu oraz rosnące potrzeby wzrostu produkcji żywności i poprawy jej jakości, mogą wymusić konieczność zwiększenia intensyfikacji produkcji rolniczej, a bez zapewnienia prawidłowej gospodarki wodnej, w tym nawodnień, nie będzie to możliwe.

W aspekcie zmian klimatu coraz większego znaczenia nabiera dla rolnictwa, leśnictwa i śródowniska magazynowanie wody w okresach, gdy stan zasobów wodnych przewyższa aktualne zapotrzebowanie na wodę. Retencjonowanie wody w każdej formie i postaci wpływa na kształtowanie odpływu ze zlewni. Stwarza szansę poprawy reżimu odpływu zmienionego w wyniku antropopresji. Małe obiekty retencyjne, jeśli występują dostatecznie licznie, mogą zmniejszyć także na lokalne zagrożenie powodziowe. Zaliczają się do nich sztuczne zbiorniki wodne, podpiętrzenia naturalnych zbiorników wodnych, a także urządzenia piętrzące w ciekach służące spowolnieniu odpływu ze zlewni wód opadowych, roztopowych lub gruntowych (jazy, zastawki, progi, bystrotoki). Realizacja wojewódzkich programów małej retencji napotyka na poważne opóźnienia, głównie z powodu braku odpowiednich środków finansowych.

Analiza potrzeb i możliwości modernizacyjnych systemów odwadniających i nawadniających wskazuje, że współczesny rozwój technik melioracyjnych jest w stanie sprostać wyzwaniom przyszłych uwarunkowań związanych z koniecznością pełniejszego uwzględniania wymogów ochrony środowiska i kształtowania krajobrazu, a także z koniecznością dostosowania się do zmian klimatu.

5. Rola urządzeń melioracyjnych w ochronie przed powodzią

Powódzie w Polsce są stałym losowo występującym zjawiskiem. Bezpośrednim zalaniem jest zagrożonych ponad 2 mln ha terenów dolinowych i przymorskich. Powierzchnia objęta destrukcją towarzyszącą powodziom może być kilkakrotnie większa. W tradycyjnych rozwiązaniach ochrony przeciwpowodziowej dominują urządzenia techniczne: uregulowane rzeki, wały przeciwpowodziowe, duże zbiorniki retencyjne. Powódzie w ostatnich kilkunastu latach dowiodły, że urządzenia techniczne są zawodne i powodzi katastrofalnych za ich pomocą nie można wyeliminować. Postuluje się więc zintegrowane systemy ochrony przed powodzią obejmujące także środki nietechniczne. Niestety nie docenia się w nich systemów melioracyjnych. Pewna zmiana nastąpiła w 2012 roku w trakcie opracowywania „Programu bezpieczeństwa powodziowego w regionie Wisły Środkowej”. Postanowiono bowiem dokonać analizy roli systemów melioracyjnych w kształtowaniu zagrożenia powodziowego [10]. Uwzględnienie w tym *Programie* roli systemów melioracyjnych w ochronie przed powodzią jest niewątpliwie ważną zmianą w dotychczasowych technicznie ukierunkowanych strategiach bezpieczeństwa powodziowego i rozszerza tradycyjny arsenał środków technicznych stosowanych w tym celu. Nowe podejście jest uzasadnione, gdyż stan wody w korycie rzeki jest skutkiem obiegu wody w zlewni, a systemy melioracyjne na ten obieg istotnie wpływają stanowiąc integralną część gospodarki wodnej. Urządzenia melioracji wodnych kształtują czynniki bilansu wodnego (odpływ, parowanie, retencja) w zlewniach rzecznych, czyli mają wpływ na stan wód w rzekach, w tym wezbrania powodziowe. Rola systemów melioracyjnych w bezpieczeństwie powodziowym może być zróżnicowana. Może być pozytywna, gdy:

- urządzenia zmniejszają zagrożenie powodzią wskutek zwiększenia retencji glebowej poprzez obniżenie zwierciadła wody gruntowej,

- wskutek zwiększenia retencji korytowej za pomocą urządzeń piętrzących (jazy, zastawki, przepusty z piętrzeniem) następuje zwiększenie czasu powstawania fali wezbraniowej i jej spłaszczenie,
- przyspieszony odpływ wody opadowej za pomocą systemów odwadniających utrzymywanych w dobrym stanie wyprzedza falę wezbraniową w cieku wodnym.

W niektórych sytuacjach może wystąpić efekt negatywny, gdy odpływ wody z obiektu melioracyjnego powoduje zwiększenie kulminacji fali powodziowej w cieku wodnym, co zależy w dużej mierze od warunków środowiskowych zlewni, stanu urządzeń oraz właściwej ich eksploatacji. Omawiając rolę systemów melioracyjnych nie można pominąć ich wpływu na czas odprowadzenia za ich pomocą wód z zalanego terenu i tym samym wpływu na wielkość i szkód powodziowych.

Ze względu na stan techniczny oraz koncepcje techniczne sprzed kilkudziesięciu lat, kiedy wykonano większość urządzeń melioracyjnych (pomijanie potrzeb retencionowania wody oraz roli systemów melioracyjnych w ochronie przed powodzią) przeważająca część obecnych urządzeń wymaga zmodernizowania. W celu uzyskania pozytywnych efektów dla bezpieczeństwa powodziowego i jednocześnie łagodzenia skutków suszy należy obecne systemy przystosować do pełnienia tych funkcji m.in. poprzez:

- zamianę systemów niesterowalnych na sterowalne poprzez wyposażenie istniejących systemów odwadniających w urządzenia kontrolne przekształcające odwodnienia na odpływ regulowany,
- zatrzymanie odpływów drenarskich w lokalnych zbiornikach,
- wyposażenie systemów drenarskich w urządzenia umożliwiające okresowe zatrzymanie wody w rurociągach,
- precyzyjne regulowanie poziomu wody gruntowej zwiększając retencję glebową,
- recyrkulację wody na obiekcie zmeliorowanym,
- dostosowanie eksploatacji systemów melioracyjnych do wymagań i ograniczeń na obszarach chronionych.

O przydatności systemów melioracyjnych w ochronie przed powodzią i zmniejszaniu jej skutków, oprócz modernizacji technicznej, decyduje właściwe sterowanie przepływem wody w urządzeniach melioracyjnych.

6. Narodowy Program Odnowy Melioracji i Rozwoju Retencji

Postępująca dekapitalizacja urządzeń i systemów melioracyjnych oraz analiza uwarunkowań rozwoju obszarów wiejskich skłoniły Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi do powołania Zespołu, którego zadaniem jest opracowanie do końca 2013 r. projektu *Narodowego Programu Odnowy Melioracji i Rozwoju Retencji* (Zarządzenie nr 9 MRiRW z dnia 22 marca 2012 r.). Projekt *Programu* powinien zawierać propozycje dotyczące:

- niezbędnych inwestycji w zakresie melioracji i retencji wodnej w perspektywie 5 i 20 lat wraz oszacowaniem ich kosztów,
- potrzeb finansowych niezbędnych do prawidłowego utrzymania urządzeń melioracji wodnych,
- potrzeb w zakresie szkolenia kadr,
- propozycji zmian legislacyjnych.

Członkowie Zespołu otrzymali, jako materiały wyjściowe do analiz, dwie ekspertyzy zlecone przez MRiRW opracowane przez Kowalewskiego i Lipińskiego [4] oraz Ostrowskiego [11]. Ekspertyzy zawierają bogaty materiał stanu istniejącego i prognozy przyszłych potrzeb w zakresie infrastruktury wodnej na wsi i kadry zawodowej w aspekcie prognoz rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich.

Aktualnie ekspertyzy te są analizowane przez członków Zespołu. Dotychczasowe dyskusje dowodzą konieczności nowego podejścia do budowy nowych i modernizacji istniejących urządzeń melioracyjnych. Współczesna wiedza o skutkach funkcjonowania systemów melioracyjnych istotnie różni się od okresu sprzed pół wieku, kiedy zrealizowano większość obecnie istniejących inwestycji melioracyjnych. Systemy melioracyjne muszą być dostosowane do celów ich funkcjonowania, ale i do ograniczeń wynikających z ochrony środowiska. Dlatego w *Programie* powinny być przyjmowane rozwiązania techniczne uwzględniające potrzeby rolnictwa, ale akceptowalne przez przyrodników. Jest to jednak zagadnienie szersze wiążące się z polityką środowiskową,

w tym z utworzeniem systemu rekompensat dla rolników np. wskutek prowadzenia ekstensywnej produkcji lub dostosowania gospodarowania do zadań ochronnych na obszarach Natura 2000.

Istotną trudnością w opracowaniu projektu Programu jest brak jednoznacznych prognoz dotyczących np. przyszłości łąk dolinowych, a zwłaszcza zlokalizowanych na glebach torfowych w aspekcie potrzeb gospodarczych (zmiana intensywnego użytkowania na ekstensywne), ochrony przyrody (zwiększanie biologicznej różnorodności), ograniczenia zmian klimatu (renaturyzacja mokradeł), zakresu i dynamiki rozwoju produkcji rolniczej dla rynku biopaliw itp.

7. Wnioski

1. Funkcje systemów melioracyjnych nie ograniczają się do tylko do prowadzenia odwodnień i nawodnień w celu zwiększania efektywności produkcji rolniczej, ale odpowiednio zaprojektowane i eksploatowane mogą odgrywać istotną rolę w zwiększeniu bezpieczeństwa powodziowego, poprawie jakości wód, ochronie gleb i ekosystemów, a także waloryzacji krajobrazu dla celów turystycznych i rekreacyjnych. Wskazuje to na konieczność dokonania redefinicji melioracji wodnych zawartej w obowiązującym *Prawie wodnym*, która jest merytorycznie zawężona i nie ujmuje wszystkich funkcji, które melioracje wodne mogą i powinny pełnić.
2. Inwestycje melioracyjne odegrały istotną rolę w likwidacji deficytu żywności wpływając na ilościowy i jakościowy wzrost plonów oraz ich stabilizację. Miały także duży wpływ na rozwój gospodarczy i społeczny zarówno w skali lokalnej, jak i regionalnej. Niezależnie od efektów pozytywnych, funkcjonowanie niesterowalnych systemów odwadniających w niektórych warunkach środowiskowych ocenia się negatywnie z powodu umożliwiania nadmiernego odpływu wody ze zlewni, a także ułatwiania transferu zanieczyszczeń do wód powierzchniowych.
3. Istniejące urządzenia melioracyjne ulegają systematycznej dekapitalizacji z powodu braku właściwej konserwacji. Podjęcie prac nad programem zahamowania tego procesu ocenić należy jednoznacznie pozytywnie. Obecne i przyszłe uwarunkowania rozwoju wsi wymagają przystosowania do nich systemów melioracyjnych m.in. poprzez modernizację systemów drenarskich wyposażając je w urządzenia regulacyjne i retencyjne, modernizację systemów melioracyjnych w obszarach dolinowych służącą także przedsięwzięciom renaturyzacyjnym oraz włączenie systemy melioracyjne do arsenału środków ochrony przed powodzią. Niezbędny jest także rozwój retencji umożliwiający zwiększenie powierzchni nawadnianej jako elementu adaptacji do zmian klimatu.
4. Zasoby wodne cechuje zmienność występowania zarówno w czasie, jak i w przestrzeni. Miarodajna ocena tendencji zmian warunków wodnych na obiektach melioracyjnych, stanowiąca podstawę do podejmowania decyzji inwestycyjnych i eksploatacyjnych, wymaga obserwacji w dłuższym okresie czasu. Na obiektach melioracyjnych, oprócz ich eksploatacji, powinien być prowadzony systematyczny monitoring zmian warunków wodnych i stanu infrastruktury technicznej.
5. W celu poprawy aktualnej sytuacji niezbędne są także zmiany legislacyjne. Zmiany powinny dotyczyć organizacji gospodarki wodnej, sprecyzowania kompetencji jej organów, uproszczenia przepisów funkcjonowania oraz jednoznacznego określenia źródeł i poziomu finansowania melioracji, jako integralnej części gospodarki wodnej.

Literatura

- 1 Mioduszewski W. (red). Odbudowa melioracji i rozwój retencji wodnej w świetle potrzeb rolnictwa i środowiska. Wydawnictwo ITP., Falenty 2013 ss.107.
- 2 Główny Urząd Statystyczny. Ochrona Środowiska. GUS Warszawa 2012.
- 3 Wiśniewski S. Dotychczasowe metody regulacji stosunków wodnych w lasach i ich efekty. Sylwan, R.140 nr 11 s.75-83.
- 4 Lipiński J., Kowalewski Z. Ocena zapotrzebowania rolnictwa w zakresie inwestycji, utrzymania i eksploatacji urządzeń melioracyjnych i retencyjnych, z uwzględnieniem uwarunkowań

- produkcyjnych, ekonomicznych, środowiskowych i klimatycznych w perspektywie 5 i 20 lat. SITWM, Warszawa 2012, maszynopis ss. 88.
- 5 Wierzbicki K., Michaluk P. Zarządzanie eksploatacją budowli liniowych na przykładzie spółek wodnych, w: Geryka M. (red.) Organizacja w obliczu współczesnych wyzwań. Wyd. Wyższej Szkoły Zarządzania w Gdańsku 2010, s. 106-118.
 - 6 Turczynowicz Cz. Melioracje ze stanowiska sanacji ekonomicznej. Inżynierja Rolna 1926, nr 1, s. 4-19.
 - 7 Szymański J., Kostrzewa S. Odwodnienie użytków rolnych. w: Prochal P.(red.) Podstawy melioracji rolnych. PWRiL 1986, t.1, s. 321-323.
 - 8 Łabędzki L. Susze rolnicze - zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie 2006, nr 17, 107 ss.
 - 9 Zawadzki W., Mierostawska A. Susze glebowe a produkcja roślinna w Polsce. w: Problemy gospodarowania wodą w rolnictwie w świetle suszy 1992 roku. Wyd. IMUZ, Mat. Sem.1993, nr 33,143-159.
 - 10 Pierzgalski E. i in. Weryfikacja systemów melioracyjnych pod kątem znaczenia dla bezpieczeństwa powodziowego w Regionie Wodnym Wisły Środkowej. SGGW 2012, ss. 66.
 - 11 Ostrowski K. Określenie w perspektywie 5 i 20 lat potrzeb dotyczących szkolenia kadr na potrzeby gospodarowania wodami na obszarach wiejskich wraz z opracowaniem kosztów z tym związanych, w kontekście założeń do projektu Narodowego Programu Odnowy Melioracji i Rozwoju Retencji. Kraków 2013, maszynopis ss. 39.

Land improvement and rural areas development

Edward Pierzgalski

*Katedra Kształtowania Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,
e-mail: Edward_Pierzgalski@sggw.pl*

Abstract: Multifunctional land improvement systems are characterized in the paper. It has been shown that definition of land improvement contained in the Water Act, having a legal and economic implications, is too narrow because the land improvement systems, beside soil moisture regulation, can perform also other functions, such as soil and water conservation, soil fertilizing, protection against frost etc. These systems may be element of flood protection not only for agricultural land, but also forest and urbanized areas. The qualitative status of devices, their technical functionality as well as the effects and risks associated with the operation of land improvement devices were presented. In the article pointed out that water management should meet in increasing crop productivity, protection against floods and flooding as well as in mitigation the effects of climate change including the risks associated with drought periods. The current and future conditions of rural areas development and the specific needs of modernization of land improvement measures were defined. In the paper stressed the important role of land improvement in achieving the objectives of the European Union water policy for the achievement of good water status and protection of ecosystems. The scope of a project of "The National Programme for Renewal of Land Improvement and Water Retention Development" is also characterized.

Keywords: land improvement, irrigation, drainage, rural areas development

Obiekty budowlane służące melioracjom – specyfika konstrukcji i projektowania

Szczepan Ludwik Dąbkowski

*Zakład Inżynierii Wodnej i Melioracji, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach
e-mail: sz.l.dabkowski@itep.edu.pl*

Streszczenie: Omówiono zadania i rodzaje budowli występujących w systemach wodnomelioracyjnych. Dokonano przeglądu różnic w charakterze obciążeń budowli wodnych i lądowych. Zarysowano podstawowe wymagania funkcjonalne wybranych rodzajów budowli, rodzaje sił i układy obciążeń. Scharakteryzowano specyfikę procesu projektowania takich budowli i przebiegu obliczeń ich stateczności. Przytoczono i omówiono rozwiązania konstrukcyjne wybranych rodzajów budowli. Dokonano przeglądu aktualnych problemów utrzymania i modernizacji małych budowli wodnych, oraz kierunków badań naukowych warunkujących postęp w tym zakresie.

Słowa kluczowe: melioracje wodne, budowle hydrotechniczne, specyfika budowli, projektowanie, obciążenia, konstrukcje, problemy badawcze

1. Wprowadzenie

Z gospodarowaniem wodą wiązą się potrzeby jej gromadzenia, ujmowania i doprowadzania, rozrzędu, odprowadzania, podniesienia poziomu wody, czyli spiętrzenia, oczyszczania lub poprawy jakości. Budowle jako narzędzia gospodarki wodnej są bardzo różnicowane. Omawiane dalej, odnoszą się głównie do gospodarowania wodą na obszarach rolniczych. Jednak nie różnią się one od budowli i urządzeń służących innym działom gospodarki narodowej. Dlatego, w obowiązującym obecnie rozporządzeniu [1], jako przepisach szczegółowych do Ustawy Prawo budowlane, nie ma mowy o budowlach i urządzeniach melioracji wodnych, bowiem wszystkie budowle hydrotechniczne podlegają tym samym wymaganiom technicznym i temu samemu nadzorowi budowlanemu, niezależnie od tego czy pełnią swoje zadania w melioracjach rolnych, energetyce, żegludze śródlądowej, kanalizacji lub dowolne inne.

W ustawie [2], w dziale IV Budownictwo wodne, wyróżniono (ze względu na źródła finansowania i obowiązki właścicielskie a nie właściwości techniczne) melioracje wodne i dzieli się je na podstawowe (finansowane i utrzymywane przez państwo, stanowiące majątek skarbu państwa) i szczegółowe (wykonywane i utrzymywane na koszt użytkowników). Zgodnie z art.71 tej ustawy ust.1 do urządzeń melioracji wodnych podstawowych zalicza się budowle: piętrzące, upustowe, ujęcia wody, kanały wraz z budowlami związanymi z nimi funkcjonalnie, rurociągi o średnicy co najmniej 0,6m i stacje pomp z wyjątkiem stosowanych do nawodnień ciśnieniowych, budowle regulacyjne i przeciwpowodziowe, a ust.2 tego artykułu dodaje do nich również budowle: wstrzymujące erozję wodną, drogi dojazdowe niezbędne do właściwego użytkowania obszarów zmeliorowanych i utrzymania urządzeń melioracji wodnych podstawowych. To rozróżnienie nie ma związku z warunkami technicznymi jakie one powinny spełniać, lecz z prawami i obowiązkami właścicielskimi.

Obiekty budowlane melioracji wodnych nie tylko tworzą podstawy techniczne gospodarowania zasobami wody na obszarach wiejskich, lecz służą wielu innym celom. Umożliwiają kształtowanie ilościowe i korzystanie z zasobów wodnych innym użytkownikom, kształtują krajobraz, służą do transportowania wody, ochrony przed powodzią, utrzymania w pożądanym stanie koryt rzek i potoków, ochrony terenów i koryt rzecznych przed erozją, do uprawiania małej żeglugi, rekreacji i sportów wodnych. Pełnią lub wspomagają inne zadania gospodarcze (hodowla ryb, akwakultury), a wiele z budowli piętrzących wykorzystuje się do produkcji energii elektrycznej.

2. Specyfika budownictwa wodnego

Każda budowla wodna to specyficzne urządzenie umożliwiające wypełnianie określonych zadań. Wznoszona jest miejscu wynikającym z potrzeb które mają spełniać, ale przy wybieraniu lokalizacji trzeba brać pod uwagę warunki topograficzne, hydrologiczne, geologiczne, a także skutki jakie budowla wywoła w środowisku przyrodniczym, w infrastrukturze technicznej i społeczno-gospodarcze na otaczających ją terenach. W odróżnieniu od obiektów budownictwa lądowego, poddana jest ciąglemu lecz zmiennemu działaniu wody i sama oddziałuje na wodę zmieniając warunki przepływu (poziomy, prędkości i przepływy) w korycie ciekłu, a także stosunki wodne na obszarze przyległym.

Zmienione warunki przepływu wody w korycie ciekłu są przyczyną zaburzeń w przepływie rumowiska rzeczneego i różnych ciał spływających z wodą. Na odcinkach o zmniejszonej prędkości wody (np. w zbiorniku wodnym) odkłada się rumowisko rzeczne zamulając akwen, zmieniają się warunki tworzenia zjawisk lodowych, a także warunki klimatyczne wokół obiektu. Budowle piętrzące podnoszą poziom wody nie tylko w korycie i dolinie ciekłu ale czasem i na terenach odległych. Poniżej budowli, wskutek zwiększonej energii strumienia wody, może wystąpić erozja koryta ciekłu obejmująca z upływem czasu coraz dłuższy jego odcinek. Następstwa tych procesów są z różnych względów niekorzystne. Budowla powinna być więc projektowana ze świadomością niepożądanych skutków jej utworzenia w środowisku przyrodniczym, a konstrukcja i zasady eksploatacji dobrane tak, by te skutki - w pewnych sytuacjach niemożliwe do całkowitego wyeliminowania - można było ograniczyć do dopuszczalnego minimum. Budowla przegradzająca rzekę jest przeszkodą dla akwafauny wędrującej w górę i dół biegu i prowadzi do przerwania lub znacznych zaburzeń ciągłości ekosystemu rzeczneego. Stanowi też przeszkodę w spływie lodów i zanieczyszczeń pływających. Dlatego potrzebne są specjalne rozwiązania minimalizujące te skutki (np. przepławki). Budowle piętrzące podnoszą poziom wody gruntowej co niekorzystnie wpływa na użytkowanie ziemi, istniejącą infrastrukturę techniczną i budynki. Zbiorniki wodne lub kanały naruszają ukształtowane przez wieki połączenia drogowe na terenach przyległych, ingerują w istniejącą infrastrukturę techniczną obszaru. Ich przebudowa jest kosztowna. Katastrofa budowli skutkująca gwałtownym spływem wód może spowodować straty przekraczające wielokrotnie jej wartość.

Konstrukcje budowli wodnych muszą być dobrane do potrzeb i warunków korzystania z wody. Poddane są ciąglemu działaniu wody o zmieniającym się składzie chemicznym, w różnych warunkach termicznych (rozsadzające działanie lodu we wszelkich szczelinach, wnękach i rysach) i pogodowych, ścieraniu powierzchni (rumowisko rzeczne) i uderzeniom płynących przedmiotów twardych (kra, pnie drzew itp) co prowadzi do korozji chemicznej i mechanicznej oraz uszkodzeń różnych części budowli. Są poddane zmiennym obciążeniom (lód, zmiany poziomu wody powierzchniowej i gruntowej oraz falowanie), a wokół budowli występują różnorodne zjawiska powodowane przepływem w gruncie pod i obok budowli o dużych gradientach hydraulicznych.

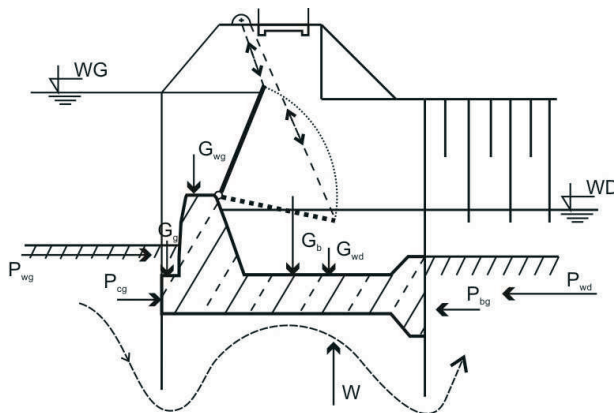
Poza niewielkimi budowlami melioracyjnymi i w gospodarce rybackiej, każda budowla wodna jest rozwiązaniem oryginalnym, unikatowym, a jego twórca tylko w pewnym stopniu, ograniczonym w zasadzie do elementów konstrukcyjnych - ale nie do całego obiektu - mogą korzystać z rozwiązań innych obiektów. Wynika to ze zmienności warunków przyrodniczych: hydrologicznych i hydrogeologicznych, topograficznych, geologicznych, właściwości geotechnicznych gruntów oraz z potrzeb, które budowla ma spełniać. Oglądając budowlę wodną, nawet jeśli wydaje się ona podobna do innych, pamiętajmy o tym, że elementy najważniejsze, decydujące o jej bezpieczeństwie, są zwykle niewidoczne z zewnątrz bo to jej części podwodne i podziemne.

Obciążenia budowli wodnych kształtują się różnie w różnych sytuacjach hydrologicznych, meteorologicznych, eksploatacyjnych, a także w wyniku zniszczenia elementu budowli, budowli drugorzędnej, w nadzwyczajnych warunkach eksploatacji jak przeciążenia, niewydolny drenaż, pęcznienie gruntu, nagły zsuw mas gruntu do zbiornika, awaria lub katastrofa budowli położonej na górnym odcinku ciekłu. Każda budowla wodna działa w innych warunkach środowiskowych i ma inną konstrukcję, a więc każdorazowo trzeba dokonać analizy wielkości, charakteru i czasu działania sił. Teoretycznie

uzasadnione byłoby rozpatrywanie prawdopodobieństwa pojawiania się poszczególnych sił i ich kombinacji oraz jednocześnie występowania, bo od tego powinna być uzależniona pewność. Takie rozpoznania należy prowadzić, bo umożliwiają ocenę ryzyka katastrof i awarii. Są jednak rzadkie i niepełne. W projektowaniu, rozpatruje się więc zwykle, szczególnie w przypadku budowli najczęściej występujących, wybrane układy obciążeń, obliczeniowe schematy hydrauliczne, hydrogeologiczne, i w końcu - schematy statyczne.

Budowla otoczona wodą i wywołująca różnicę poziomów wody podlega różnym jej oddziaływaniom: pionowym skierowanym w górę (wypór) i w dół (ciężar wody), poziomym wzdłuż kierunku przepływu wody i z boków – prostopadle do tego kierunku (rys.1). Siły mają różną naturę, mogą naruszać ale i wspomagać zachowanie stateczności budowli, a ogólnie dzielą się na zewnętrzne i wewnętrzne. Te drugie powstają wskutek naprężeń towarzyszących wiązaniu betonu lub wskutek zmian właściwości gruntów (np. w zaporach ziemnych). Mogą prowadzić do tworzenia się spękań, rys, stref rozluźnienia gruntu. W przypadku masywnych budowli betonowych wymagane są opracowania specjalnych składów betonu, technologii i organizacji wykonywania robót.

Oprócz bezpośrednich obciążeń konstrukcji takich jak: ciężar własny, ciężar wody i gruntu i parcie tych ośrodków, obciążenie środkami transportu i wiele innych, występują też siły wywołane zmianami temperatury, osiadaniem konstrukcji, przemieszczeniem podpór, pęcznieniem gruntu i innymi zjawiskami wywołującymi siły reakcji. Pewne siły zewnętrzne mają wartości stałe, a inne – zmienne. Niektóre działają w istotny sposób tylko na określone elementy budowli (np. wiatr w przypadku niektórych rodzajów zamknięć lub budynków towarzyszących jak hale pompowni). Pokrywa lodowa przywarta do konstrukcji to obciążenie budowli i jej stałych i ruchomych części zmieniające kierunek działania w czasie przyboru i opadania poziomu wody. Parcia hydrostatyczne, hydrodynamiczne i filtracyjne, którym podlega cała budowla i jej części od fundamentu w górę, łącznie z gruntem w podłożu i w brzegach akwenu muszą być uwzględniane w analizie warunków stateczności i pewności działania budowli. Ochrona budowli przed niekorzystnym oddziaływaniem wody wymaga stosowania specjalnych rozwiązań fundamentów, mrozo- i chemoodpornych materiałów, przestrzegania określonych w projekcie zasad eksploatacji i innych zabezpieczeń. Poprawa warunków stateczności budowli na obrót i przesunięcie może odbywać się poprzez zmniejszenie wyporu lub obciążenie gruntem i wodą. Takie możliwości widać na rysunkach budowli w rozdziale 6. Fakt, że materiał konstrukcji poddany jest intensywnemu niszczeniu przez czynniki wodne i atmosferyczne oraz to, że ciężar budowli ma podstawowe znaczenie dla zapewnienia jej stateczności nakazuje stosowanie elementów nie cieńszych od 30cm.



Rys. 1. Schemat obciążenia budowli wodnej (jaz); G- ciężar (wg- wody górnej, wd- wody dolnej, b- budowli, g- gruntu), P – parcie (wg, wd- odpowiednio wody górnej i dolnej, cg, bg – odpowiednio czynne i bierne gruntu), W – wypór

Obciążenia zmienne mogą być długo- bądź krótkotrwałe i wyjątkowe. Występują obciążenia od falowania, lodu i kry, uderzenia statków i twardych przedmiotów płynących z wodą, dodatkowe parcie hydrostatyczne np przy forsowanym poziomie piętrzenia lub

zaburzonej pracy drenażu. Zmieniają się one w czasie zarówno w różnych fazach budowy, eksploatacji jak i remontów. Szczegółowe rozważania ich natury i metod wyznaczania można znaleźć w podręcznikach budownictwa wodnego [4,5] i normach technicznych. Należy jednak pamiętać o różnicach w zasadach ustalania obciążeń budowli wodnych i pozostałych. Trzeba podkreślić, że obciążenia zmienne i użytkowe inaczej są rozumiane i mają inną genezę w budownictwie wodnym i lądowym. Nie można ich prawidłowo określić np. wg PN-EN 1991-1-1. Podobnie wiele innych problemów związanych m.in. z obliczeniami statyki budowli różni się w obu tych działach budownictwa, nie wspominając już o środowisku, w którym te budowle funkcjonują. Z tego powodu były one od lat oddzielnie traktowane w przypadku udzielania uprawnień zawodowych [3]. Tylko niefrasobliwości ustawodawcy i niezajomości specyfiki budownictwa wodnego przez autorów przepisów prawa budowlanego po 1990r. należy przypisać obecny stan prawny w tym zakresie.

Budowa trwałego obiektu hydrotechnicznego, zlokalizowanego w korycie rzeki lub na jej terenie zalewowym, wymaga uprzedniego opracowania projektu organizacji robót, obejmującego harmonogram realizacji i sposób opanowania rzeki podczas budowy, który – szczególnie na większych rzekach – może znacząco wpływać na koszty inwestycji. Bardzo ważne i często bardzo kosztowne jest zabezpieczenie miejsca budowy przed zalewaniem podczas wezbrań, odwodnienie wykopu fundamentowego, zapewnienie możliwości transportu sprzętu i materiałów budowlanych.

Większe obiekty hydrotechniczne są wyposażone w maszyny i urządzenia mechaniczne i energetyczne umożliwiające obsługę i eksploatację: zamknięcia otworów upustowych i ich mechanizmy napędowe, dźwigi do obsługi i przenoszenia zamknięć, urządzenia do transportu w obrębie obiektu podczas demontażu i w trakcie remontów (pomp, turbin), sprzęt pływający i ratowniczy.

W celu kontroli prawidłowości funkcjonowania, w tym bezpieczeństwa, budowle wyposaża się w specjalną sieć urządzeń kontrolno-pomiarowych. Wymagane bywa instalowanie i obserwowanie urządzeń pomiarowych poza samym obiektem. Ich celem jest monitorowanie obiektu i jego wpływu na środowisko. Eksploatacja budowli hydrotechnicznych jest prowadzona według instrukcji gospodarowania wodą, stanowiących załącznik do pozwolenia wodnoprawnego.

Wznoszenie obiektów budownictwa wodnego bywa procesem długotrwałym, rozciągającym się (w przypadku dużych budowli jak np. zbiorniki, zapory, drogi wodne) na kilka lat i wymaga dużych nakładów finansowych. W celu ograniczenia kosztów budowy i niekorzystnego wpływu robót budowlanych na środowisko, zabezpieczenia terenu budowy przed zniszczeniem w czasie wezbrań rzeki zgromadzonego sprzętu, materiałów i już wykonanych części obiektu niezbędne jest opracowanie harmonogramu, projektu organizacji i technologii prac budowlanych. Uwzględnić trzeba przy tym sposoby przepuszczania wody, wymagania transportu wodnego i rekreacyjnego sprzętu wodnego, warunków rekreacji, przepuszczania łodów, odwadnianie wykopu budowlanego, komunikację i transport materiałów budowlanych. Z tych względów roboty budowlane bywają prowadzone etapami. Trudności w realizacji budowy i etapowość robót muszą być uwzględniane już w procesie projektowania obiektu, tak by np. elementy zrealizowane wcześniej służyły w późniejszych etapach budowy do przepuszczania wód, statków. Jak w przypadku każdego innego obiektu budowlanego, w projekcie należy uwzględnić warunki prowadzenia remontów, konserwacji i innych prac, pamiętając o trudnościach związanych ze środowiskiem w jakim budowla działa.

Różnorodność zadań, rodzajów i wielkości budowli wodnych oraz warunków lokalnych sprawia, że różnią się one pod najważniejszymi względami. Duże obiekty wymagają stałego nadzoru, obserwacji i ochrony przed działaniami osób postronnych. Ich niesprawność lub awarie są kosztowne i groźne. Małe obiekty budownictwa wodnego i melioracji są prostsze pod względem konstrukcji i wyposażenia. Powinny działać samoczynnie lub wymagać tylko okresowej ingerencji służb technicznych odpowiedzialnych za eksploatację i utrzymanie. Obiekty najmniejsze, występujące w melioracjach szczegółowych bywają prefabrykowane w całości lub montowane na miejscu z dowożonych elementów typowych. Podział całej takiej budowli na elementy powinien się cechować małą ilością złącz trudnych do uszczelnienia, a montaż powinien być łatwy i pewny.

Rozproszenie obiektów na obszarach niezamieszkałych, dość często występujące w warunkach krajowych wandalizm i kradzież części – szczególnie metalowych – sprawiają, że obiekty powinny być zabezpieczone i „odporne” na tego rodzaju działania. Z konieczności muszą być jak najprostsze i dlatego wśród podstawowych materiałów przeważa beton, żelbet, grunt i kamień, odporne też na oddziaływania środowiska. Podejmowane są więc próby zastępowania stali tworzywami sztucznymi. W celu ograniczenia nakładów na konserwację i poprawy estetyki wskazane byłoby wzorem wielu innych państw stosowanie np. zamknięć ze stali nierdzewnej, ale utrudniając to wyższe koszty i wandalizm.

3. Podział i rodzaje obiektów i budowli wodnych

W literaturze technicznej [4, 5], jak i w potocznym języku specjalistycznym stosowane są różne kryteria podziału budowli wodnych, a mianowicie: według zasadniczego materiału (ziemne, betonowe, żelbetowe, murowane, drewniane itd.), według pełnionych funkcji (piętrzące, ujęciowe, upustowe, rozrządowe, do transportu wody, przeciwpowodziowe itd.). Z uwagi na warunki posadowienia (geologia, warunki filtracji, obciążenia podłoża i zagrożenia występujące przy przelaniu się wody przez koronę budowli) wyróżnia się budowle piętrzące posadowione na podłożu skalnym i nieskalnym oraz budowle piętrzące wodę stale i okresowo [1]. Ze względu na wymagania techniczne budowle dzieli się na tymczasowe i stałe, a te ostatnie dzieli się na główne i drugorzędne.

Według liczby spełnianych funkcji wyróżnia się obiekty jednofunkcyjne, stanowiące pojedynczą budowlę jak: piętrzące (jazzy, zapory wodne, progi, wały przeciwpowodziowe), pompownie, stopnie korekcyjne, przepławki dla ryb, ujęcia wody, syfony, akwedukty i wiele innych), i wielofunkcyjne, pełniące kilka zadań, co zwiększa stopień wykorzystania obiektu wodnego. Dla przykładu, zbiornik wodny może stanowić magazyn wody w pewnym systemie gospodarowania wodą i wyrównujący przepływ poniżej budowli, zbiornik energetyczny, przeciwpowodziowy, hodowlany, obiekt rekreacyjny lub sportowy albo przeciwpowodziowy (suchy zbiornik retencyjny, polder). Do użytkowania gromadzonej w nim wody są wtedy potrzebne ujęcia wody, pompownie, kanały lub rurociągi do transportu wody, a do gospodarczego wykorzystania utworzonego spadku - elektrownia wodna.

Szczególną grupą obiektów hydrotechnicznych są budowle rozrządowe i pomiarowe. Ich rodzaje i konstrukcje wraz z teorią działania i doboru zawierają prace [4 cz.2, 6, 7, 8]. Budowle wodne objęte są przepisami Ustawy Prawo budowlane, ale także zawartymi w prawie wodnym i w ustawach: o ochronie środowiska, o zagospodarowaniu przestrzennym, o budownictwie transportowym, o ochronie przyrody i w innych. Szczegółowe wymagania techniczne, które obiekty hydrotechniczne mają spełniać, określone są w już wspomnianym Rozporządzeniu [1]. Wyróżnia się w nim cztery (I, II, III i IV) klasy ważności stałych budowli hydrotechnicznych (najwyższą jest I) i w zależności od klasy różnicuje: przepływy obliczeniowe, współczynniki w obliczeniach statycznych, bezpieczne wzniesienia koron budowli i brzegów nad obliczeniowymi poziomami wody (statycznym i dynamicznym). Od klasy ważności uzależnia się też wyposażenie budowli w urządzenia upustowe i kontrolno pomiarowe oraz zakres wymaganych studiów przedprojektowych, projektowych i potrzebę badań modelowych.

Ze względu na zadania do spełnienia wyróżnia się budowle lub ich części składowe:

- piętrzące (jazzy i zapory) zwane ogólnie tamami,
- kierujące wodę z koryta rzeki do zbiornika,
- piętrzące i pełniące jednocześnie rolę upustów dla wód i przedmiotów pływających (kra, śmieci, itp.),
- spustowe, do opróżniania zbiornika lub dodatkowo do utrzymania w korycie rzeki poniżej zapory przepływu nienaruszalnego czyli minimalnego, który ze względów biologicznych, hydraulicznych i gospodarczych,
- powinien być w nim utrzymany,
- transportujące wodę (kanały, pompownie, rurociągi),
- do regulacji i utrzymania koryt cieków (stopnie, progi, bystrza).

Na trasach kanałów występują budowle funkcjonalnie z nimi związane (wpusty do kanałów bocznych, przelewy ulgi, bramy bezpieczeństwa, odcinające, rozrządowe,

pomiarowe) oraz budowle na skrzyżowaniach trasy kanału z przeszkodami terenowymi, ciekami wodnymi i ciągami komunikacyjnymi (syfony, akwedukty, przepusty i inne).

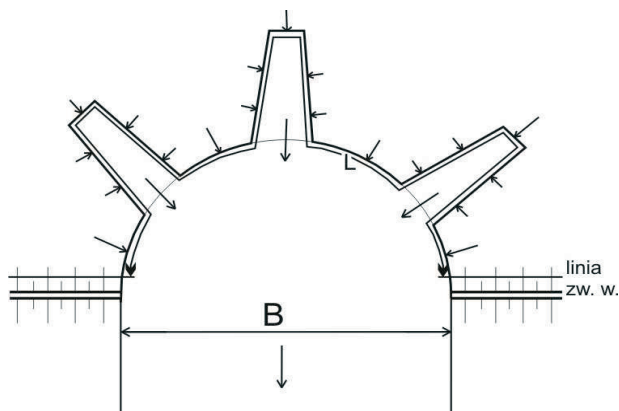
Zapory i budowle upustowe to niezbędne elementy towarzyszące każdemu sztucznemu zbiornikowi wodnemu. Stanowią warunek utworzenia, a ich jakość - bezpiecznego użytkowania - zbiornika.

4. Zasady doboru przepustowości i wielkości otworów upustowych

Przepisy techniczne [1] narzucają określone wymagania odnośnie przepustowości i liczby otworów upustowych budowli, w tym określają proporcje części wód wielkich (miarodajnej i kontrolnej) przepuszczanych przez otwory o charakterze przelewów (z zamknięciami lub bez zamknięć) i przez otwory działające pod ciśnieniem w czasie przepuszczania tych wód. Przepisy precyzują także sposób określania natężenia przepływu wód budowlanych tj. maksymalnego przepływu, na który oblicza się elementy zabezpieczające budowę w okresie jej realizacji (grodzie ochronne, koryta oprowadzające wody, mosty tymczasowe). Zezwalają jednak na pewną elastyczność wyboru wielkości przepływu wód obliczeniowych (miarodajnej, kontrolnej i budowlanej) wiążąc to z potencjalnymi stratami, które mogłyby wystąpić w przypadku katastrofy budowli, a w okresie budowy - w przypadku jej zalania. Charakter rzeki, stopień zaufania do danych i wyników analiz i obliczeń hydrologicznych także mają wpływ na wybór rodzajów upustów i ich rozwiązania konstrukcyjne. Chodzi przy tym nie tylko o światło ale i o liczbę otworów, rodzaj zamknięć i ich napędy.

Oddzielnym zagadnieniem jest taki dobór upustów, w tym głównie przelewów, by można było w maksymalny sposób wykorzystać pojemność czaszy zbiornika. Występuje to wtedy, gdy różnica $MaxPP - NPP$ jest jak najmniejsza. Można to uzyskiwać projektując przelewy o krawędziach rozwiniętych w planie (schemat na rys.2), które w porównaniu z przelewem czołowym o długości B mogą mieć kilkakrotnie większą długość L , a współczynnik rozwinięcia $n = L/B$ w niektórych rozwiązaniach przewyższa 10. Biorąc pod uwagę równanie ogólne na wydatek przelewu $Q = f(LH^{3/2})$ oznacza to, że potrzebny wydatek budowli Q można uzyskać przy mniejszej grubości warstwy przelewowej H , a więc dla zadanego dopuszczalnego $MaxPP$ można podwyższyć NPP uzyskując tym samym większą stałą pojemność zbiornika.

Określając światło budowli upustowych należy też uwzględniać urządzenia do rozpraszania energii i warunki hydrauliczne jakie powstaną w korycie rzeki za wypadem. Chodzi o ograniczenie rozmycia dna i brzegów koryta, co można uzyskać odpowiednio dobierając rozwiązania konstrukcyjne dolnego stanowiska budowli, a więc urządzenia do rozpraszania energii wody i umocnienia koryta ciekłu [9, 10].



Rys. 2. Przelew rozwinięty w planie: B-długość przelewu czołowego, L- długość przelewu rozwiniętego w planie

5. Przebieg projektowania budowli

Podstawowe etapy w procesie projektowania budowli hydrotechnicznej to:

- określenie wymagań wodnogospodarczych i warunków technicznych jakie budowla ma spełniać (klasa ważności); w sensie ogólnym chodzi o: potrzebne pojemności (zbiornik), obliczeniowe prawdopodobieństwa pojawiania się przepływów lub maksymalnych głębokości, poziomy piętrzenia (maksymalny poziom piętrzenia - MaxPP, normalny poziom piętrzenia czyli najwyższy w normalnych warunkach eksploatacji - NPP), a dla budowli upustowych, piętrzących i magazynujących wodę - dodatkowo przepływy nienaruszalny i dozwolony oraz inne dla innych budowli jak np. wydajność pompowni,
- określenie natężeń przepływów obliczeniowych, na które będą wymiarowane budowle (otwory upustów, koryta, kanały, międzywala, pompownie),
- określenie kompozycji obiektu łącznie z częściami składowymi, które go tworzą (tzn. wybór ich rodzajów, lokalizacji, tras odpływu wód od każdego z nich),
- wybór rozwiązań konstrukcyjnych, jak na przykład w przypadku jazów i upustów - rodzajów zamknięć otworów, wysokości i formy progów,
- określenie wymiarów poszczególnych urządzeń tak, by w każdej sytuacji hydrologicznej spełniały warunki gospodarowania wodą gromadzoną w zbiorniku, warunki bezpiecznego przepuszczania wód i ciał pływających, wymagania ochrony środowiska,
- dobór typów i wymiarów urządzeń do rozpraszania energii wody wypływającej z każdego obiektu piętrzącego na część budowli zwaną wypadem, gwarantujących bezpieczeństwo budowli i stabilność koryta rzeki w dolnym stanowisku budowli,
- wstępne rozrysowanie i zwymiarowanie konstrukcji każdej samodzielnie statecznej budowli, w tym podział za pomocą dylatacji na bloki, dla których warunki bezpieczeństwa (stateczność, osiadania, przebiecia hydrauliczne i sufozja gruntu w podłożu i inne w zależności od rodzaju budowli i cech podłoża) określane będą oddzielnie, w zakresie niezbędnym dla oceny stateczności, określonych w dziale III „Rozporządzenia...2007”[1].
- obliczenia warunków filtracji wody pod budowlą i obok niej, i jeśli nie są one spełnione, to
- przeprojektowanie układu konstrukcji i jej fundamentu/części podziemnej, (zaprojektowanie elementów przeciwnafiltracyjnych zmniejszających gradienty hydrauliczne, wypór i parcie wody, straty wody ze zbiornika na filtrację) i ponowne sprawdzenie stateczności poszczególnych bloków konstrukcji w nowych warunkach filtracji.

Ogólnie, dla większych budowli monolitycznych (betonowe i z betonu słabo zbrojonego, żelbetowe, kamienne) sprawdza się (ujęte tu w dużym skrócie) warunki stateczności w wybranych układach obciążeń, określonych przepisami (podstawowy i mniej korzystny -wyjątkowy:

- na obrót/przechylenie,
- na wypłynięcie,
- na poślizg po podłożu lub w podłożu (na przesunięcie).

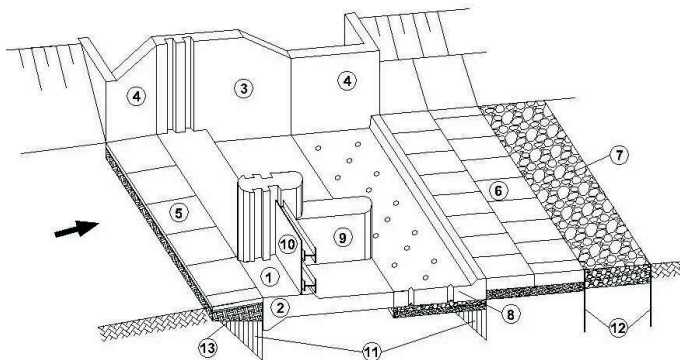
W następnych etapach projektowania wymiaruje się poszczególne elementy konstrukcji, zamknięcia otworów, dobiera i wymiaruje umocnienia. Nie omawiamy tu procedur związanych z doбором i obliczaniem elementów zamknięć szczelin dylatacyjnych, oceną oddziaływania budowli na środowisko, uzyskiwania pozwoleń wodnoprawnego i innych przewidzianych wymaganiami sztuki inżynierskiej i przepisami prawa.

Wybór i zaprojektowanie (minimum dwa rodzaje) konstrukcji zamknięć otworów i ich napędów zamknięć są ściśle związane z wielkością otworów, parciem wody wymaganiami eksploatacyjnymi: prędkość podnoszenia i opuszczania zamknięć w każdych warunkach jakie występują w okresie użytkowania (zima, spływ kry i innych ciał pływających), możliwość ciągłego podtrzymywania przepływu nienaruszalnego, zrzutu zanieczyszczeń pływających gromadzących się przed upustami powierzchniowymi przy małych stratach wody. Warto zwrócić uwagę na fakt, że komponując budowlę upustową

trzeba uwzględnić rodzaj zamknięć, bo z nim wiążą się obciążenia hydrostatyczne i hydrodynamiczne elementów napędu i mocowania oraz sposoby montażu, obsługi (mechanizmy, dostęp), demontażu i konserwacji.

6. Przykłady konstrukcji wybranych rodzajów budowli wodnych

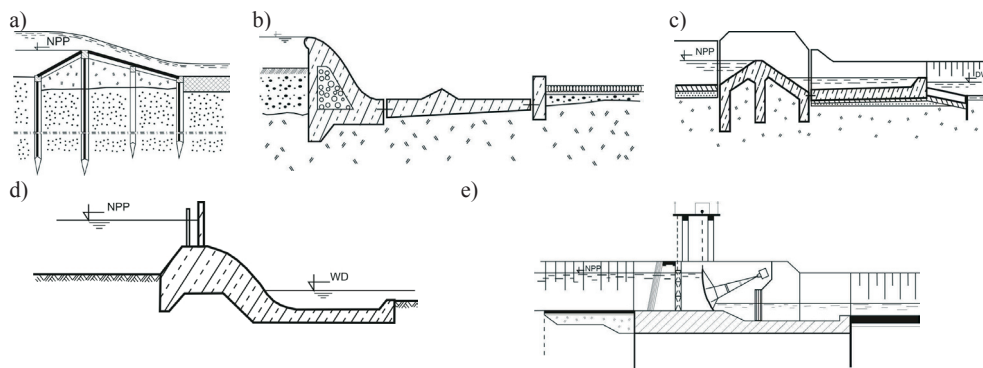
Jazy to budowle od dawna stosowane do piętrzenia wody w korytach rzek i w kanałach, umożliwiające: wykorzystywanie energetyczne (siłownie i elektrownie wodne), ujmowanie wody z cieków płytkich oraz magazynowanie wody w zalewach tworzących się powyżej budowli. Budowane były z różnych materiałów (drewniane, murowane, betonowe, żelbetowe) i charakteryzują się bardzo zróżnicowanymi konstrukcjami w zależności od wysokości piętrzenia, progu, rodzaju zamknięć i ich napędów, urządzeń do rozpraszania energii wody spadającej na płytę fundamentową w dolnym stanowisku jazu i innych czynników. Najczęściej występujący schemat jazów średnich i małych obrazuje rys.3, a na rys.4 podano wybrane inne schematy przekrojów podłużnych jazów: stałych (rys.3a, 3b, 3c, 5), działających automatycznie i ruchomych (rys.1, 3d, 3e) z zamknięciami uruchomianymi za pomocą różnych mechanizmów. Jaz może też pełnić rolę upustu na zbiorniku wodnym. Wymienione zadania i czynniki miejscowe (w tym warunki filtracji w podłożu i obok budowli oraz inwencja projektanta kształtują ostateczne rozwiązanie konstrukcyjne budowli, a szczególnie jej fundamentu. Na rys. 5b przedstawiono sposób zmniejszenia wyporu działającego na jaz o konstrukcji dokowej za pomocą zastosowanego drenażu za jego przyczółkami oraz zmniejszenia obciążen jednostkowych podłoża w wyniku zastosowania odsadzek płyty fundamentowej. Na rys. 3 i rys. 7 – przedstawiono sposób zmniejszenia wyporu działającego na płytę jazu za pomocą wykonanych w niej otworów drenażowych z odpowiednim zabezpieczeniem podłoża filtrem odwrotnym.



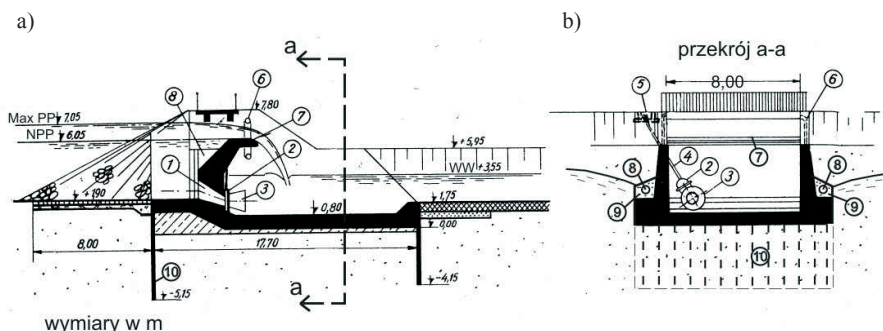
Rys. 3. Schemat konstrukcji jazu ruchomego: 1-próg jazu, 2 - płyta fundamentowa, 3- przyczółek, 4 – skrzydła (górne i dolne), 5, 6 – zabezpieczenia sztywne (górne i dolne), 7 – zabezpieczenie elastyczne, 8 – część płyty wypadu swobodnie leżąca (na filtrze odwrotnym), 9- filar, 10 – zamknięcie (tu płaskie), 11 – ściana szczelna, 12 – palisada, 13 – fartuch szczelny (z gliny)

Sztuczne zbiorniki wodne retencyjne tworzone są zarówno w dolinach cieków górskich, podgórskich jak i nizinnych. Należy rozróżniać zbiorniki retencjonujące i przetrzymujące wodę stale od tzw. zbiorników suchych działających automatycznie dzięki odpowiednio dobranym otworom bez zamknięć. Różnorodność rozwiązań i role w krajobrazie małych zbiorników retencyjnych dobrze prezentuje praca [11].

Czaszę zbiornika może stanowić odcinek doliny rzecznej, przy czym rzeka może przepływać przez zbiornik lub jej koryto może być przełożone na obrzeże zbiornika (rys.6a), naturalne obniżenie terenu, teren doliny po jednej lub obu stronach koryta cieków otoczony zaporą (rys.6b). Mogą być tworzone na naturalnej powierzchni doliny lub przez jej obniżenie (zbiorniki częściowo w wykopie). Zbiorniki mogą wykorzystywać wody własne danej zlewni lub dodatkowo wody doprowadzane ze zlewni sąsiednich. Z lokalizacją zbiornika związana jest specyfika omawianych już warunków przyrodniczych.

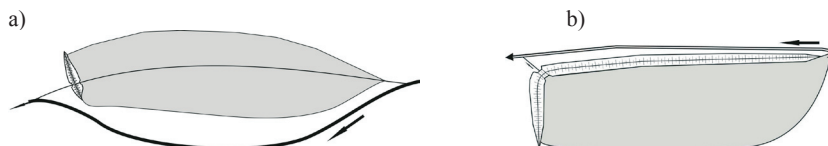


Rys. 4. Schematy jazów (przekroje podłużne) a – jaz stały drewniany, b – jaz stały betonowy, c – jaz stały żelbetowy, d – jaz ruchomy z zamknięciem płaskim, e – jaz ruchomy z zamknięciem segmentowym

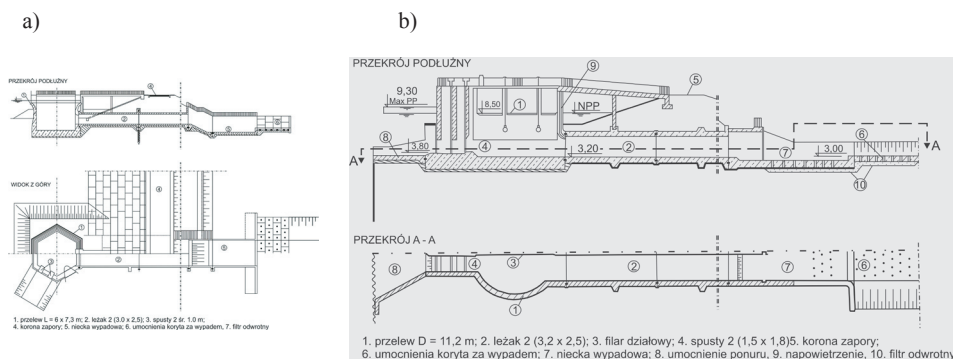


wymiary w m

Rys. 5. Jaz stały ze spustem w ścianie piętrzącej 1 – spust zwężkowy, 2 – zamknięcie spustu (zasuwa wodociągowa), 3 – dyfuzor, 4 – drążek napędowy zsuwy, 5 – skrzynka napędu zasuwy, 6 – doprowadzenie powietrza pod strumień wody, 7 – korona przelewu stałego, 8 – drenaż ceramiczny, 9 – filtr odwrotny, 10 – ściana szczelna



Rys. 6. Przykłady lokalizacji zbiornika a – w dolinie rzeki, koryto przełożone, b – na terenie zalewowym

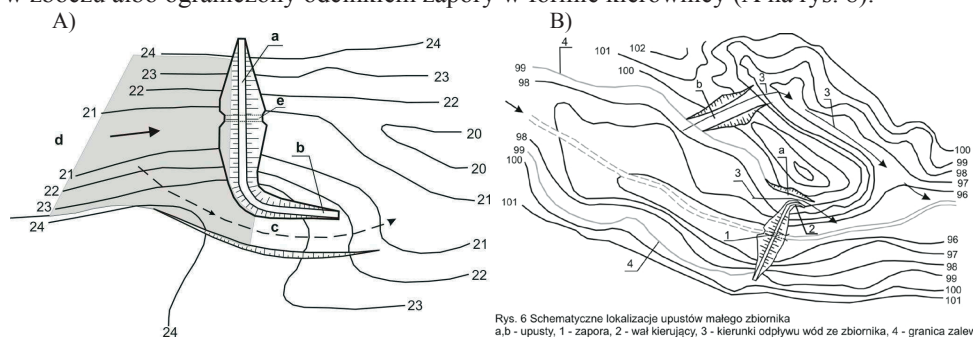


Rys. 7. Przykłady upustów małych zbiorników wodnych: a – o sześciokątnej wieży przelewowej, b – o kołowej wieży przelewowej

Do ważniejszych zadań w projektowaniu zbiornika zaporowego zalicza się wybór lokalizacji, wysokości piętrzenia związanej z potrzebną pojemnością zbiornika, konstrukcji korpusu zapory i budowli upustowych adekwatnych do lokalnych właściwości podłoża, innych cech naturalnych miejsca budowy oraz wymagań eksploatacyjnych.

Związane funkcjonalnie ze zbiornikiem upusty i ujęcia wody, a często pompownie i małe elektrownie wodne występują w różnych postaciach, w tym również jako jazy. Ogólnie, wyróżnia się upusty działające pod ciśnieniem i przelewy. Otwory najniższe położone w przekroju piętrzenia i służące (oprócz innych celów) do opróżniania zbiornika to spusty. Otwory upustów mogą być zamykane lub bez zamknięć, a wtedy działają samoczynnie. Wykonywane są w korpusie zapory lub w stoku naturalnym, po jednej lub obu stronach zapory. Dość popularne są upusty wieżowe, omówione m.in. w [7, 12], niektóre łączące w jednym bloku spusty, przelewy, ujęcia wody z pompownią a nawet elektrownię wodną.

Nazwane zostały z tego względu upustami zespolonymi. Upust może być umieszczony (rys.8): w zaporze, w zaadaptowanym obniżeniu terenu lub w wykopie w zboczu albo ograniczony odcinkiem zapory w formie kierownicy (A na rys. 8).



Rys.8. Schematy małych zbiorników retencyjnych a – zapora, b – wał kierujący wodę od upustu/przelewu, c – upust powierzchniowy/przelew, d – czasza zbiornika, e – spust

Charakter rzeki i miejscowe cechy lokalizacji zbiornika wpływają na rodzaj projektowanych upustów i rodzaj zapory. Tamą tworzącą zbiornik może być zapora ziemna, betonowa, żelbetowa lub o innej konstrukcji albo jedynie jaz połączony odcinkiem zapory z wysokim brzegiem przegradzanej doliny rzecznej.

Ze względu na lokalizację zbiornika (dolinowy, boczny), z czym wiąże się sposób funkcjonowania i przepuszczania wód, stosuje się upusty w formie przelewów (upusty powierzchniowe, bezciśnieniowe), spustów lub innych przewodów działających stale lub okresowo pod ciśnieniem (np. lewary). Mogą one być położone na różnych wysokościach względem dna koryta cieku. W przypadku zbiorników bocznych (rys.6), występuje konieczność budowy ujęcia wody z rzeki i skierowania jej do zbiornika. Potrzebny są wtedy próg w korycie rzeki piętrzący wodę i ułatwiający jej wpuszczanie kanałem do zbiornika.

Ujęcia wód powierzchniowych (z jezior, rzek i potoków górskich) to odrębna grupa budowli wodnych występująca zarówno w melioracjach jak i w zaopatrzeniu wodę dla celów komunalnych i przemysłowych. Nie są one tu omawiane, a jedynie warto zwrócić uwagę na to, że ze względu na charakter rzeki wyróżnia się ujęcia bez piętrzenia, z ostrogą ujęciową lub niskim progiem stałym kierującym wodę ku właściwemu ujęciu i ujęcia z piętrzeniem wody za pomocą jazu stałego lub ruchomego. Budowlom ujęciowym towarzyszą specjalne rozwiązania do walki z rumowiskiem zasypującym ich wloty i zamarzaniem.

7. Podsumowanie

Budowle wodne działające w środowisku naturalnym i w wodzie są poddane wpływom tych środowisk i same na nie oddziałują. Każdy obiekt budownictwa wodnego, od prostego do bardzo złożonego jest unikalny. Różnorodność zadań, warunków miejscowych i długa historia hydrotechniki sprawiły, że powstały i nadal powstają

konstrukcje i rozwiązania bardzo zróżnicowane. Ich tworzenie i wykorzystywanie wymaga stosowania specjalistycznej wiedzy i umiejętności inżynierskich, w tym wiedzy o środowisku, umożliwiającej ograniczanie ujemnych oddziaływań budowli.

Aktualnych problemów melioracji podstawowych jest wiele i mają różną naturę, od inwestycyjnych poprzez organizacyjne, po środowiskowe i naukowe. Jednym z ważniejszych łączących w sobie wszystkie wymienione aspekty jest powiększanie retencji wodnej. Pilność takich działań wiąże się ze wzrostem częstości i wysokości wezbrań jako skutkiem urbanizacji kraju powodującej uszczelnienie powierzchni terenów, przyspieszenie i wzrost spływu powierzchniowego, zmniejszenie retencji powierzchniowej i gruntowej. Coraz większą rolę w tych działaniach powinny odgrywać małe zbiorniki wodne, w tym szczególnie tzw. zbiorniki suche i poldery.

W zakresie budowy zbiorników przeciwpowodziowych rysuje się potrzeba stosowania zapór „przepuszczalnych” działających jak upusty, których przepustowość jest zależna od poziomu wody. Są to konstrukcje z kamienia naturalnego luzem lub gabionowe, łatwe do przebudowy, przyjazne środowisku. Jest potrzeba opracowania metod obliczania ich stateczności *en bloc* jak i pojedynczych kamieni, doboru granulometrii, ochrony przed zamuleniem korpusu lub erozją podłoża takich zapór.

Należy dążyć do automatyzacji działania budowli, zmniejszenia ich kosztów i energochłonność, ale i do ograniczenia ujemnego wpływu tych działań na środowisko. Można to osiągać poprzez wymianę starszych agregatów pompowych na nowoczesne, mniej energochłonne i łatwe do automatyzacji ich działania; bardziej dogłębne niż dotychczas studia przedprojektowe i na etapie projektów modernizacji odnoszące się do elementów środowiska przyrodniczego, które powinny być prowadzone w oparciu o aktualne rozpoznanie hydrologii zlewni.

Zbiorniki były projektowane na inne warunki niż obecne i będzie zachodzić potrzeba poprawy ich bezpieczeństwa poprzez powiększenie zdolności przepustowej. W ostatnich dekadach, wskutek urbanizacji, reżim wielu rzek uległ poważnym zmianom (wzrost wysokości i gwałtowności wezbrań) w wyniku wspomnianych procesów towarzyszących urbanizacji. W kraju, z uwagi na paradoks trudności w korzystaniu z bieżących wyników pomiarów hydrologicznych przez placówki naukowe, prawie nie prowadzi się na bieżąco studiów nad zagrożeniami wywoływanymi zmianą warunków formowania się wezbrań, a wiele zbiorników może dotknąć groźba przepełniania się. Przeczujemy to, ale bez badań trudno o dane liczbowe lub plany przeciwdziałania. Sposób powiększenia przepustowości musi być dobierany do każdego obiektu oddzielnie. Rozwiązania, znane już w krajach gdzie budowa nowych zbiorników z braku miejsca jest niemożliwa, polegające na podwyższeniu zapór istniejących lub lepszym wykorzystaniu przez podniesienie NPP, będą stosowane i u nas. Wymagają one z reguły przeprojektowania i przebudowy konstrukcji, w tym stosowania tzw. zamknięć – bezpieczników, automatycznie usuwanych przez parcie wody po osiągnięciu dozwolonego jej poziomu. Niektóre z tych rozwiązań są opatentowane, ale możliwe są nowe rozwiązania. Byłyby one pożądane szczególnie dla małych zbiorników retencyjnych, coraz częściej niszczone przez gwałtowniejsze wezbrania.

Oddzielny problem to utrzymanie starzejących się obiektów technicznych w stanie zapewniającym bezpieczeństwo i sprawność użytkowania i ich modernizacja. Obniżenie kosztów konserwacji powinno iść w kierunku stosowania w większym zakresie zamknięć ze stali nierdzewnej (jak to jest np. w Holandii i innych krajach).

Potrzeba ograniczania ujemnego wpływu budowli wodnych na środowisko, nowe materiały budowlane, automatyzacja działania budowli to główne; aktualne zadania warunkujące postęp w tej dziedzinie. Wymagania w zakresie ochrony środowiska pociągają za sobą potrzebę rozszerzenia zakresu rozpoznania warunków naturalnych, nie tylko z uwagi na potrzeby projektu samej budowli, ale też jej wpływu na środowisko w całym okresie istnienia z uwzględnieniem towarzyszących procesów i zjawisk, oraz skutków ewentualnej likwidacji.

Literatura

- 1 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie. Dz. Ustaw nr 86, poz.579 s.5320-5339
- 2 Ustawa Prawo wodne – jednolity tekst ustawy z dnia 18 lipca 2001r. Obwieszczenie Marszałka Sejmu R.P. z dnia 10 stycznia 2012 r.
- 3 Kledyński Z. Uprawnienia budowlane w zakresie budownictwa wodnego – wczoraj i dziś.2012: Inżynier Budownictwa Miesięcznik PIB Nr 12(101) s.16-18.
- 4 Żbikowski A. Małe budowle wodne. Cz.I Jazy i zapory, cz.II Kanały i przewody PWN, Warszawa
- 5 Fanti K., Fiedler K., Kowalewski J., Wójcicki S. 1972: Budowle piętrzące. Arkady. Warszawa
- 6 Bos M.G. Discharge measurement structures. ILRI pub. 20. Thirole ed. Wageningen
- 7 Dąbkowski Sz. L., Jędryka E., Kaca E. Kovalenko P.I., Čalyj B.I., Michajlov J.A. 1997: Urządzenia i budowle do pomiaru przepływu wody w systemach wodnomelioracyjnych. Biblioteczka Wiadomości IMUZ nr 91. Wydawnictwo IMUZ. Falenty
- 8 Kraatz D.B., Mahajan I.K.1975: Small hydraulic structures. Irrigation and Drainage Paper 26/2. Food and Agriculture Org. of the U.N. Rome
- 9 Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A. 1982: Hydrauliczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych. P.W.R. i L. Warszawa
- 10 Obliczenia hydrauliczne przelewów budowli wodno-melioracyjnych. Praca zb.1986. Biblioteczka Wiadomości IMUZ nr 67. Wydawnictwo IMUZ. Falenty
- 11 Jurik, Pierzgalski E. Hubačikova V. 2011: Vodné stavby v krajine. Malé vodné nadržé. Vyd. Slovenska Poľnohospodárska Univerzita. Nitra
- 12 Dąbkowski Sz. L., Głórkowski A., Żbikowski A. 1981: Rozwiązania techniczne upustów wieżowych. Melioracje rolne. Biuletyn informacyjny. Nr 2-4 (60-62). PWRiL. Warszawa

Small Hydraulic Structures - selected aspects of construction and designing

Szczepan Ludwik Dąbkowski

*Department of Water Engineering and Land Reclamation, Institut of Technology and Life Sciences,
e-mail: sz.l.dabkowski@itep.edu.pl*

Abstract: An overview of the function of hydraulic structures in water resources management and land reclamation systems are presented in the paper. Different types of structures are described. The differences in the nature of loads in building and hydraulic structures are reviewed. Basic requirements of a functional type of structures, type of forces and systems of loads have been outlined. The unique characters of the designing of hydraulic structures and run of their structural analysis are characterized and discussed. Designing solutions of selected types of structures are presented. Actual priorities in scientific research to progress in this area are briefly overviewed too.

Key words: land reclamation, hydraulic structures, specificity, designing, forces, loads, current research priorities

Małe zbiorniki wodne – konstrukcje, rola w krajobrazie rolniczym

Waldemar Mioduszeński

*Zakład Zasobów Wodnych, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, e-mail:
w.mioduszeński@itep.edu.pl*

Streszczenie: Małe zbiorniki wodne są podstawowym urządzeniem wchodzącym w skład małej retencji wodnej. Posiadają duże znaczenie w środowisku przyrodniczym, urozmaicają krajobraz, zapewniają dużą biologiczną różnorodność. Pełnią również liczne funkcje gospodarcze. Za małe zbiorniki uważa się te, które w razie awarii nie będą stanowiły zagrożenia dla życia ludzi i nie spowodują dużych strat gospodarczych. Tym niemniej małe zbiorniki są konstrukcjami inżynierskimi i powinny być projektowane i budowane zgodnie z zasadami dobrej praktyki inżynierskiej. Dopuszcza się wykonanie mikrozbiorników o piętrzeniu mniejszym od 1,0 m metodami gospodarczymi, ale nawet w tym przypadku ich rozwiązania powinny być konsultowane przez uprawnionego inżyniera. W pracy przedstawiono klasyfikację małych zbiorników wodnych, opisano podstawowe budowle wchodzące w skład zbiornika oraz zaprezentowano przykładowe rozwiązania konstrukcyjne. Zaprezentowano również rolę małych zbiorników w środowisku przyrodniczym oraz ich funkcje gospodarcze.

Słowa kluczowe: zbiorniki wodne, zapory ziemne, budowle upustowe, ekosystemy wodne, mała retencja.

1. Wprowadzenie

Zbiorniki wodne zawsze stanowiły ważny element w otoczeniu człowieka. Ślady zbiorników budowanych dla celów nawodnień 3–5 tysięcy lat przed naszą erą znajdujemy w Indiach, starożytnym Egipcie i Grecji [1]. W Europie w średniowieczu i w czasach nowożytnych powszechne było podpiętrzanie rzek dla celów gospodarczych (folusze, młynówki, tartaki, małe elektrownie wodne, stawy rybne itp.). Wynalazek maszyny parowej ograniczył potrzebę pozyskiwania energii z wody. Ale jeszcze po II wojnie światowej można było naliczyć prawie 8000 małych elektrowni wodnych [2]. Dzisiaj zostało już ich niewiele.

Pod nazwą „małe zbiorniki wodne” rozumie się różnego typu akweny, zazwyczaj wykonane przez człowieka. Są to zarówno stawy kopane, w tym stawy rybne, jak i zbiorniki powstałe przez przegrodzenie koryta rzeki i doliny zaporą, wyposażone w budowlę upustową. W niniejszej pracy omawiane są tylko zbiorniki powstałe w wyniku spiętrzenia wody w cieku. Są to więc zbiorniki zasilane z bieżących przepływów w cieku. Mogą to być również tzw. suche zbiorniki napełniane okresowo, przy wystąpieniu większych przepływów po opadach lub roztopach.

2. Klasyfikacja zbiorników wodnych

Klasyfikacja zbiorników, szczególnie zaporowych, jest bardzo ważna, ponieważ w wielu przypadkach normatywy budowlane i rozwiązania konstrukcyjne zależą od klasy budowli piętrzącej (zbiornika). Podstawowym elementem jest ocena zagrożenia, jakie ma miejsce poniżej takiego zbiornika. W literaturze [3, 4] skalę zagrożenia w przypadku awarii budowli piętrzącej przyjmuje się jak poniżej:

małe zagrożenie – ewentualne przerwanie spowoduje niewielkie straty gospodarcze, ale nie będzie strat w ludziach;

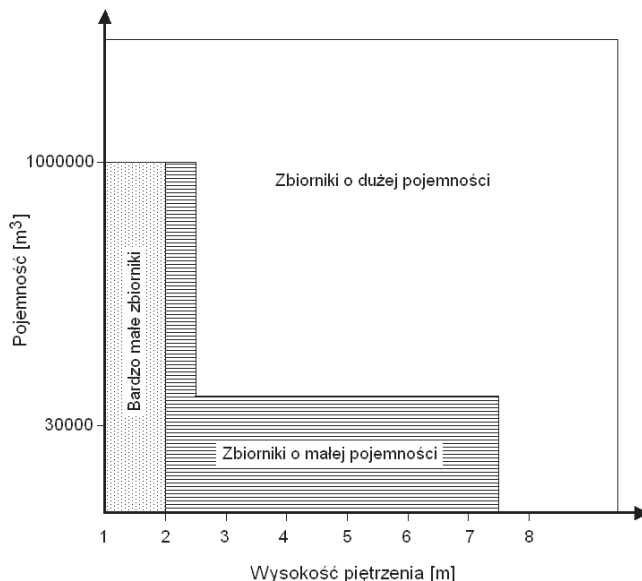
znaczące zagrożenie – ewentualna katastrofa nie stanowi zagrożenia dla ludzi, ale mogą powstać duże straty gospodarcze;

wysokie zagrożenie – spodziewać się można dużych strat gospodarczych i zagrożeń dla życia ludzi.

W niniejszym artykule zajmujemy się głównie pierwszą grupą zbiorników. Zagrożenia, o których była wyżej mowa, wynikają zazwyczaj z wysokości piętrzenia wody i pojemności zbiornika. I te dwa elementy najczęściej brane są pod uwagę w proponowanych klasyfikacjach.

Międzynarodowa Komisja Wielkich Zapór (ICOLD) kilkakrotnie podejmowała próby opracowania klasyfikacji zbiorników. Uważa się, że duże zbiorniki (wysokie zapory) to są wszystkie, których wysokość przekracza 15 m [5]. Do wysokich zapór zalicza się również te o piętrzeniu powyżej 10 m, jeśli ich długość jest większa od 500 m, a pojemność zbiornika większa od 1 mln m³ lub przepływ średni jest większy od 2000 m³/s. W Stanach Zjednoczonych praktycznie w każdym Stanie opracowano własną klasyfikację [5]. W większości Stanów przyjmuje się za ICOLD, że mały zbiornik posiada piętrzenie poniżej 15 m, a pojemność mniejszą od 12 mln m³.

Na rysunku 1 przedstawiono klasyfikację zbiorników stosowaną przez władze wodne w Kanadzie (stan Quebec). Uwzględnia ona zarówno wysokość piętrzenia, jak i pojemność retencyjna zbiornika [4]. Zwraca uwagę, że nie uwzględnia się tu zbiorników, dla których wysokość piętrzenia jest mniejsza od 1,0 m. Natomiast za duże zbiorniki uznaje się już wszystkie o piętrzeniu powyżej 7,5 m lub objętości większej od 1 mln m³. Władze wodne nie są zainteresowane tak małymi zbiornikami.

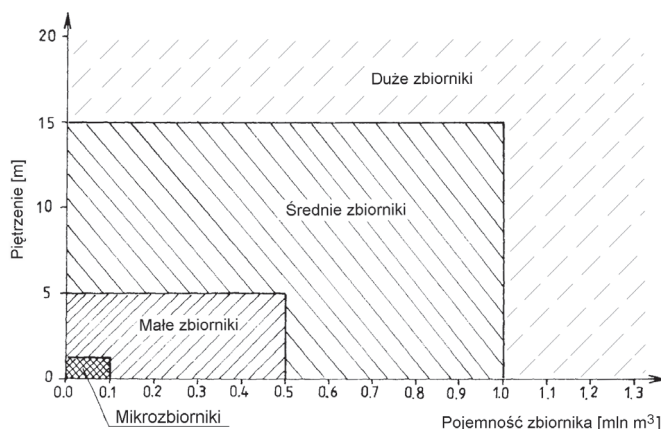


Rys. 1. Przykładowa klasyfikacja zbiorników w Kanadzie [4]

Jeśli chodzi o Polskę, to próby klasyfikacji zbiorników proponował w latach 70. ubiegłego stulecia prof. Dziewoński [6]. Wydzielił on zbiorniki rolnicze (melioracyjne) o piętrzeniu do 10 m, których budowa powinna być realizowana dla potrzeb nawodnień i nadzorowana przez Ministerstwo Rolnictwa. Pewien zamiar klasyfikacji znaleźć można w porozumieniu Ministra Rolnictwa z Ministrem Środowiska w sprawie rozwoju małej retencji. Zalicza się tu do małej retencji zbiorniki o pojemności 5 mln m³. W naszych warunkach mogą to być już stosunkowo duże zbiorniki. W tej grupie może się np. znaleźć zbiornik o powierzchni 100 ha i średniej głębokości 5 m (wysokość piętrzenia około 15 m).

Nieco inną propozycję klasyfikacji zbiorników wodnych przedstawiono na rysunku 2 [7]. Za małe zbiorniki przyjmuje się te, które posiadają piętrzenie poniżej 5 m i pojemność mniejszą od 0,5 mln m³. Są to więc zbiorniki, które ze względu na niskie piętrzenie i małą pojemność nie stanowią dużego zagrożenia dla życia ludzi, a w razie katastrofy straty gospodarcze nie będą duże. W klasyfikacji tej wydziela się mikrozbiorniki o pojemności

mniejszej od 0,1 mln m³ i wysokości piętrzenia mniejszej od 1,0 m. Wydaje się celowym takie wydzielenie z uwagi na uwarunkowania prawne i tryb projektowania. Ponadto tego typu zbiorniki są coraz częściej budowane dla celów przyrodniczych, oczyszczania wody (constructed wetlands), przechwycenia wód opadowych spływających z terenów szczelnych.



Rys. 2. Klasyfikacja zbiorników wodnych [7]

3. Przeznaczenie i rola małych zbiorników wodnych

Zbiorniki wodne pełnią bardzo ważne role w gospodarce człowieka oraz w środowisku przyrodniczym. Biorąc pod uwagę przeznaczenie i wykorzystanie zbiorników, można je podzielić na [7]:

- zbiorniki magazynujące wodę na potrzeby gospodarcze: retencjonowanie wód do nawodnień rolniczych i leśnych, zaopatrzenia ludności i gospodarstw rolnych w wodę, hodowla ryb, przeciwpowodziowe, do pozyskania energii (małe elektrownie wodne);
- zbiorniki wykorzystywane dla celów rekreacyjnych i ozdobne: kąpieliska, ozdobne (parkowe), wędkarskie (nieprzemysłowa hodowla ryb);
- zbiorniki ekologiczne: enklawy flory i fauny wodnej, biofiltry (constructed wetlands) lub filtracyjne do oczyszczania wód;
- zbiorniki służące do poprawy struktury bilansu wodnego: zasilanie zbiorników wód podziemnych, ochrona przed powodzią, ograniczenie erozji, retencjonowanie spływów z powierzchni szczelnych.

Zbiorniki mogą pełnić jedną lub jednocześnie kilka z wyżej wymienionych funkcji. Na przykład zbiorniki tworzone jako ekologiczne mogą być wykorzystywane do amatorskiego połowu ryb lub jako wodopoje. Niektóre funkcje jednak wykluczają się – np. zbiorniki gromadzące wodę do zaopatrzenia ludności nie mogą być wykorzystywane jako wodopoje lub kąpieliska.

Bardzo często trudno jest pogodzić interesy przyrody z funkcjami gospodarczymi, jak np. z produkcją energii elektrycznej. Na małych ciekach praktycznie cały przepływ, za wyjątkiem wysokich stanów, może być przepuszczony przez turbiny. Stąd też zazwyczaj brakuje wody dla prawidłowej pracy przepławki [8].

W Polsce, w latach 1996–2010 budowano zbiorniki w ramach „programu rozwoju małej retencji”. Są to obiekty o piętrzeniu przekraczającym 1,0 m i pojemności ponad 100000 m³ [9]. Są to więc typowe małe zbiorniki piętrzące. W ostatnich latach budowane są bardzo małe zbiorniki (mikrozbiorniki) dla celów przyrodniczych. Bardzo często realizowane są sposobem gospodarczym i bez udziału specjalistów hydrotechników. Wiele z nich ulega zniszczeniu w okresach występowania wód wielkich. Natomiast na świecie, szczególnie w krajach rozwijających się powstają mikrozbiorniki budowane dla przechwycenia wód opadowych (water harvesting). Wody te wykorzystywane są dla

potrzeb rolnictwa lub zaopatrzenia ludności. [7, 8]. Innymi zbiornikami znajdującymi coraz liczniejsze zastosowanie są zbiorniki do podczyszczania np. wód drenarskich lub spływów z terenów zurbanizowanych lub o intensywnym gospodarowaniu rolniczym [10].

4. Projektowanie małych zbiorników wodnych

Duże zbiorniki wodne jako bardzo złożone konstrukcje inżynierskie projektowane są przez fachowe zespoły hydrotechniczne, a następnie eksploatowane są przez przygotowaną fachową obsługę. Ponadto obiekty te wyposażane są w sieć monitoringu stanu obiektu. Nie można tego powiedzieć o małych czy mikrozbiornikach. Niewielkie zbiorniki wodne wykonywane są zazwyczaj metodami gospodarczymi i przez właścicieli gruntów nie będących specjalistami w zakresie hydrotechniki. Stąd też bardzo często ulegają one zniszczeniu podczas przechodzenia wód wielkich. Podstawowym mankamentem przy projektowaniu tego typu budowli są [7, 11]:

- brak rozpoznania podłoża gruntowego – w większości przypadków dla mikrozbiorników nie wykonuje się żadnych badań geotechnicznych;
- brak dostatecznych informacji o warunkach hydrologicznych – na małych ciekach nie prowadzi się obserwacji natężenia przepływów, a wyznaczenie przepływów przy wykorzystaniu modeli numerycznych jest zbyt pracochłonne i kosztowne, jak na projektowaną wielkość budowli; stąd też stosowane są stare, niedokładne wzory empiryczne lub w ogóle nie uwzględnia się dynamiki przepływów;
- skromne obliczenia hydrauliczne lub ich brak – projekt mikrozbiornika, a często też małego, nie uwzględnia sił niszczących powstających podczas przepływu wody zarówno przez budowlę, jak i przez podłoże.

Obserwacje różnego typu awarii i uszkodzeń małych budowli wykazują, że podstawową siłą niszczącą budowlę jest przepływ wody. Nawet dość masywne budowle ulegają zniszczeniu w wyniku erozji dna cieku poniżej budowli lub nadmiernego przepływu filtracyjnego na styku budowla – podłoże. Stosunkowo rzadko następuje zniszczenie samej konstrukcji betonowej lub drewnianej. Częściej jej obmycie lub podmycie. W różnych krajach opracowywane są podręczniki (materiały pomocnicze do projektowania) przeznaczone dla inwestorów podejmujących się budowy zbiornika. Już w 1975 r. Międzynarodowa Komisja Nawodnień i Odwodnień opracowała taki podręcznik [10], który jeszcze dzisiaj wykorzystywany jest w krajach rozwijających się. O podobnym przeznaczeniu opracowany został podręcznik dla leśników podejmujących się budowy małych zbiorników wodnych [8].

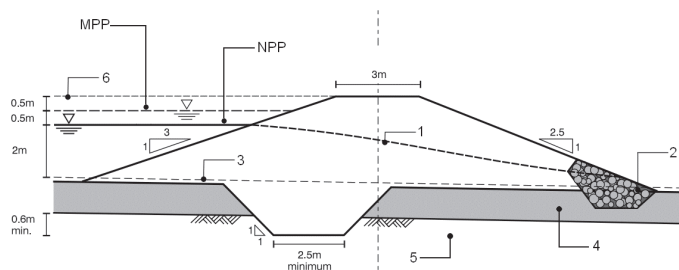
5. Konstrukcje małych zbiorników wodnych

Mówiąc o konstrukcji małych zbiorników wodnych można wydzielić następujące ich elementy:

- zaporę ziemną przegradzającą dolinę rzeczną,
- urządzenia upustowe służące do regulowania poziomu wody w zbiorniku i odprowadzania nadmiaru dopływającej do zbiornika wody,
- przelew pozwalający na odprowadzenie wód wielkich, nie mieszczących się w budowlę upustowej,
- przepławka pozwalająca na pokonanie stopnia rybom,
- czasza zbiornika – przygotowanie czaszy i umocnienia brzegów.

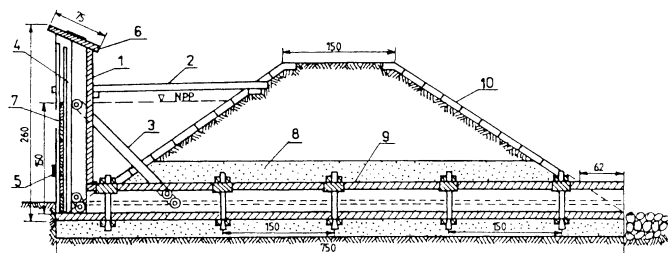
Podstawową budowlą piętrzącą jest zazwyczaj zaporę ziemną, przy niskich piętrzeniach wykonana może być jako jednorodna np. z piasków gliniastych (rys. 3). W większości przypadków zapory wyposażone są w elementy uszczelniające (rdzeń, ekran), które mogą być wykonane z różnych materiałów (głina, bentonit, ścianka szczelna metalowa lub drewniana itp.). Występuje wiele różnych konstrukcji zapór ziemnych [7, 11, 12].

Ważnym elementem zapory jest właściwy dobór gruntu do jej wykonania. Przy zaporach jednorodnych najkorzystniejszym materiałem są piaski gliniaste, gliny piaszczyste. Prawidłowe wykonanie zapory ziemnej jest jednoznaczne z dobrym zagęszczeniem wbudowywanego w nasyp gruntu.

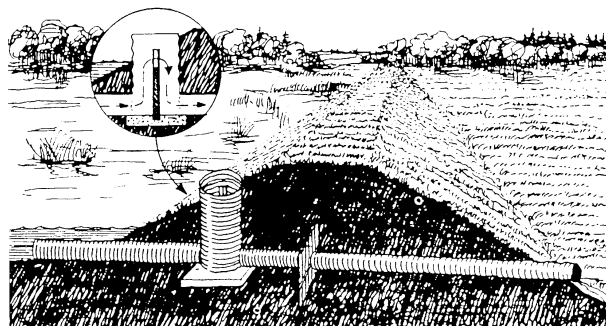


Rys. 3. Schemat zapory ziemnej; NPP – normalny poziom piętrzenia, MPP – maksymalny poziom piętrzenia, 1 – krzywa depresji, 2 – drenaż, 3 – uszczelnienie podłoża, 4 – warstwa przepuszczalna (piaski), 5 – warstwa nieprzepuszczalna (głina)

W zaporę ziemną lub w zbocze wbudowywana jest budowla upustowa. Dla zbiorników o większym piętrzeniu są to złożone betonowe budowle wyposażone w automatyczne urządzenia zamykające. Najprostszym rozwiązaniem dla niskich piętrzeń może być młoch drewniany (rys. 4) lub wykonany z rur plastikowych (rys. 5). Tego typu budowle znajdują szerokie zastosowanie na stawach rybnych. Taką samą konstrukcję można stosować na każdym niewielkim zbiorniku. Najbardziej wrażliwym elementem jest tu połączenie materiału budowli z gruntem. Stąd zazwyczaj urządzenia upustowe zabezpieczane są kołnierzami przeciwfiltracyjnymi. Dla piętrzeń ponad 3 m stosuje się specjalne indywidualne rozwiązania. Często wadą urządzeń upustowych jest zbyt słabe umocnienie wypadu. Przy przepływie większych wód powstaje wybój, który często prowadzi do zniszczenia całej budowli.

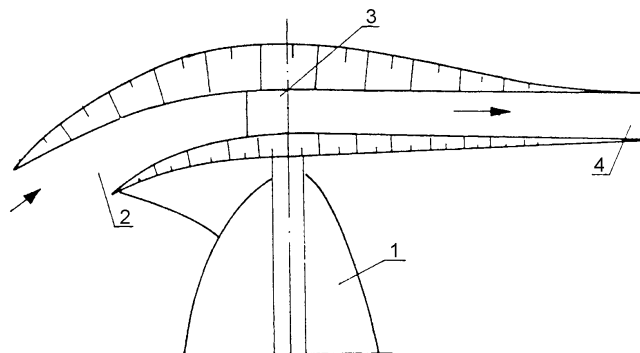


Rys. 4. Młoch drewniany (wysokość piętrzenia 1,5 m, światło 30x60) [1]: 1 – obudowa stojaka, listwy poprzeczne, 6x15 cm, 2 – kładka z desek 8x16 – 8x20 cm, 3 – zastrzał 15x8 cm, 4 – listwy 4x4 cm do przytrzymywania szandorów, 5 – rozpory 6x15 cm, 6 – daszek na stojak z desek o grubości 5-8 cm, 7 – wycięcia w listwach dla wyjmowania szandorów, 8 – warstwa gliny o grubości 30-60 cm, 9 – pokrywa leżaka, listwy 6x8 cm, 10 – umocnienie skarpy



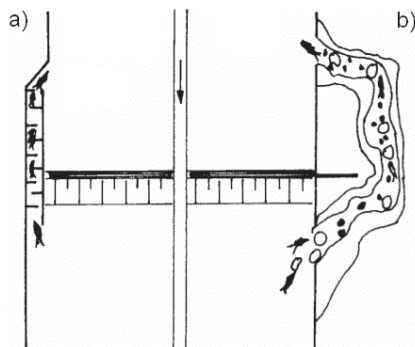
Rys. 5. Młoch z rur metalowych lub tworzywa sztucznego ze stojakiem w korpusie zapory (wg US Soil Conservation Service)

Bardzo ważnym elementem małego zbiornika jest przelew na wody wielkie. Budowany jest jako dodatkowe urządzenie umożliwiające zrzut dużej objętości wody, której nie jest w stanie przepuścić budowla upustowa. Jest to szczególnie ważne w małych zbiornikach projektowanych bez dostatecznie dokładnego rozpoznania hydrologicznego. Przelew może być zlokalizowany w korpusie zapory ziemnej, ale częściej budowany jest na naturalnym zboczu (rys. 6). Szerokość przelewu powinna być taka, aby przy największych możliwych przepływach na progu przelewu głębokość wody nie była większa od 10 cm. Stosowane są różne umocnienia przelewu – od umocnienia jedynie obsiewem traw, poprzez trawy na geowłókninie, płyty ażurowe, a przy spodziewanych dużych prędkościach wody nawet umocnienia betonowe.



Rys. 6. Schemat przelewu stokowego; 1 – zaporę, 2 – kanał wlotowy, 3 – próg, pozioma część kanału, 4 – kanał wylotowy

Szczególną budowlą jest przepławka. Obecnie prawo wymaga budowę przepławki przy każdym zbiorniku. Najefektywniejsze przepławki wykonane są jako naśladowujące koryto rzeki poprowadzone w naturalnym stoku lub kaskada (bystrotok wbudowany w korpus zapory ziemnej (rys. 7). Przy projektowaniu przepławki celowym jest zasięgnięcie opinii ichtiologa.



Rys. 7. Przykładowe przepławki; a) przepławka o technicznej konstrukcji, b) przepławka imitująca naturalne koryto ciekła

Przez wiele lat uważano, że najkorzystniej jest, aby czasza zbiornika była możliwie płaska, a brzoje zbiornika zabezpieczone przed abrazją. Obecnie, szczególnie na małych zbiornikach stosuje się urozmaicone kształty czaszy, o płytszych i głębszych miejscach, często ze sztucznie wybudowaną wysepką. Również brzoje zaleca się chronić metodami biologicznymi lub pozwalać na naturalne ukształtowanie się nowego brzoju.

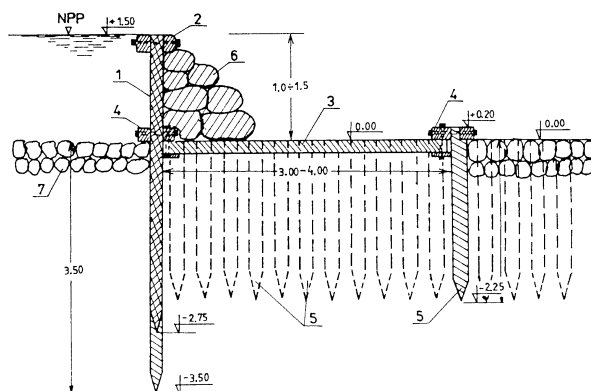
Ukształtowanie i zagospodarowanie czaszy i otoczenia zbiornika zależy od funkcji, jaką ten zbiornik ma pełnić. Wydziela się zazwyczaj strefy o różnym użytkowaniu, nie zapominając o konieczności pozostawienia miejsc płytkich, a również takich o trudnym dostępie. Inaczej mówiąc każdy zbiornik powinien posiadać miejsca przeznaczone dla

naturalnej flory i fauny. Doświadczenia uczą, że nawet intensywnie użytkowane stawy rybne mogą posiadać wysokie walory przyrodnicze. Niekiedy niezbędne jest uszczelnienie czaszy zbiornika, gdy jest on zlokalizowany na przepuszczalnym podłożu. Są to zazwyczaj uszczelnienia wykonane z folii.

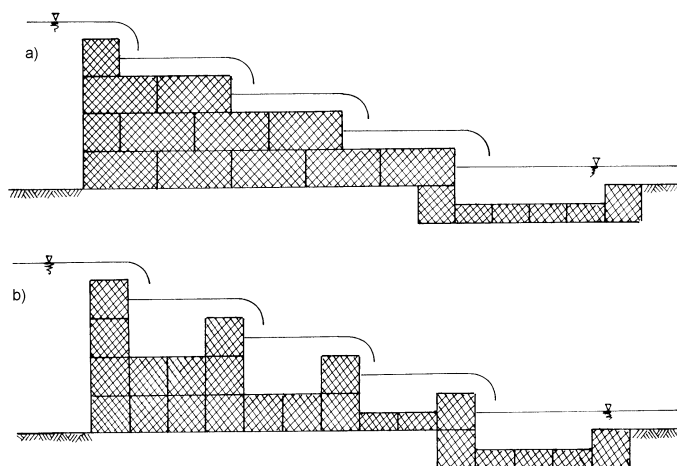
6. Budowle piętrzące ze stałym progiem

Przy budowie mikrozbiorników o piętrzeniu poniżej 1,0 m, ale niekiedy i przy większych, wystarczająca jest typowa zastawka melioracyjna lub przepustozastawka. Duża liczba tych najmniejszych zbiorników nie wymaga regulowania poziomu wody. Wystarczające jest wówczas wykonanie stałego progu. Przykładową konstrukcję drewnianego progu podano na rysunku 8. Bardziej celowym jest w miejsce drewnianego progu wykonanie kaskady z ułożonych kamieni (bystrotok) lub budowli z gabionów (rys. 9). Tego typu piętrzenia nie stanowią przeszkód dla migracji ryb.

W większości przypadków zamiast budować typowy próg (zaporę) piętrzącą i uzupełniać ją o przepławkę, bardziej celowym jest wykonanie części odpowietrznej jako kaskady (bystrotoku) umożliwiającego pokonanie tej przeszkody przez ryby.

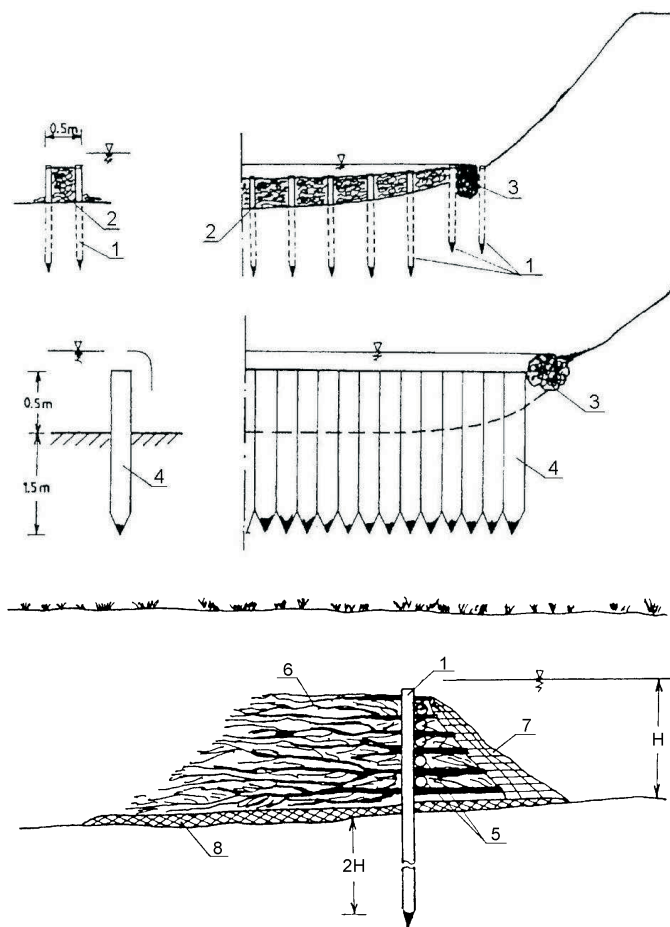


Rys. 8. Przykładowy jaz drewniany bez zamknięć: 1 – drewniana ścianka szczelna, 2 – kleszcze 20 x 25 cm, 3 – podłoga z pali drewnianych o wymiarach 14 x 20 cm (16 x 25 cm), 4 – belki zabezpieczające przed wypłynięciem budowli, 5 – ścianka palisadowa z pali ϕ 16–20 cm, 6 – kamienie lub worki z piaskiem i cementem stanowiące podparcie ścianki od strony wody dolnej, 7 – narzut kamienny lub bruk na zaprawie cementowej; NPP – normalny poziom piętrzenia



Rys. 9. Masywne budowle piętrzące wykonane z gabionów; a) forma bystrotoku, b) forma basenów

Dla budowy zbiorników ekologicznych (poprawa uwilgotnienia), podczyszczania wód zanieczyszczonych, czy przechwycenia odpływów wód opadowych można stosować jeszcze prostsze rozwiązania, jak np. przedstawione przykłady na rysunku 10. Są to bardzo proste konstrukcje wykonane z materiałów miejscowych, w tym z drzewa i odrastającej wikliny. W wielu przypadkach inwestorzy spodziewają się załadowania takiej budowli, a nawet liczą się z koniecznością jej odbudowy po przejściu wód wielkich.



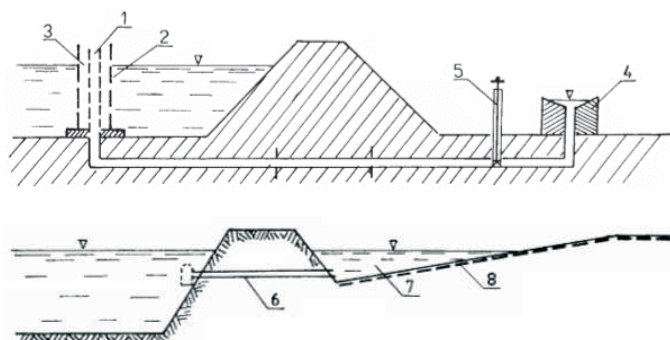
Rys. 10. Przykładowe proste budowle piętrzące; 1 – pale drewniane, 2 – gałęzie, nieporastająca faszyna, kamienie, 3 – kieszka faszynowa, 4 – ścianka szczelna lub palisada, 5 – wzmocnienie poziome (pale drewniane, 6 – wiklina mocowana do pali, 7 – miejscowy materiał ziemny z drobną wikliną lub worki wypełnione gruntem, 8 – drobna wiklina lub geowłóknina

7. Utrzymanie i eksploatacja małych zbiorników wodnych

Zbiorniki wodne, nawet te najmniejsze, jako dzieła techniczne człowieka wymagają utrzymania, kontroli stanu i okresowych remontów. Małe zbiorniki często ulegają zamuleniu i dla utrzymania niezbędnej objętości wody muszą być czyszczone. Wszystkie zaobserwowane uszkodzenia powinny być naprawione przed nadejściem okresu występowania wód wielkich, ponieważ nawet drobne rysy mogą być początkiem destrukcyjnego procesu.

Zabudowa brzegów zależy od przeznaczenia i celów, jakie ma pełnić zbiornik. Zawsze jednak dąży się do formowania skarp o możliwie naturalnym charakterze

i porastających roślinnością. Specjalnego przygotowania (umocnienia) wymagają miejsca poboru wody, tym dla celów nawodnień rolniczych lub przeciwpożarowych. Często zbiorniki wykorzystywane są do pojenia dzikich zwierząt (szczególnie w lasach) lub hodowlanych. W tym przypadku brzegi są specjalnie kształtowane (łagodne pochylenie, niekiedy umocnienia) dla umożliwienia dostępu zwierzętom do wody. Na obszarach o dużej hodowli bydła stosuje się specjalne rozwiązania ujęć dla pojenia (rys. 11), zabezpieczające przed zanieczyszczeniem wody.



Rys. 11. Przykładowe ujęcie wody do pojenia bydła: 1 – perforowana rura o średnicy 10-15 cm, 2 – perforowana rura o średnicy 50-200 mm, 3 – piasek gruby, żwir, 4 – poidło o długości zależnej od obsady zwierząt, 5 – zawór, 6 – rurociąg z koszem metalowym, 7 – wodopój, 8 – umocnienie dna, np. geowłókniną

8. Zbiorniki wodne – podstawowy element małej retencji

Polska posiada małe zasoby wodne w porównaniu do innych krajów europejskich. Zasoby te są nierównomiernie rozłożone w przestrzeni i czasie, a prognozy globalnych zmian klimatu wskazują na możliwość pogorszenia struktury bilansu wodnego (zwiększenie opadów w półroczu zimowym i zmniejszenie w półroczu letnim). Niezbędne są więc działania dla ograniczenia niekorzystnych skutków istniejących i prognozowanych warunków hydrologicznych. Między innymi poprzez retencjonowanie wody w okresie jej występowania. Działania techniczne i nietechniczne, zmierzające do zwiększenia zdolności retencyjnej zlewni i poprawy struktury bilansu wodnego, przyjęło się nazywać małą retencją.

Minister rolnictwa wspólnie z ministrem środowiska przyjęli w 1995 r., w drodze porozumienia, program rozwoju małej retencji. Program ten obejmuje cały kompleks działań, mających na celu zwiększenie zdolności retencyjnych małych zlewni rzecznych. Strony porozumienia uznały m.in., że celowe jest wspieranie finansowe takich działań, jak:

- odbudowa, modernizacja i budowa urządzeń piętrzących na istniejących obiektach odwadniających w celu wykorzystania wody do nawodnień rolniczych, spowolnienia odpływu wód powierzchniowych oraz ochrony gleb torfowych,
- uzupełnienia i modernizacje obiektów odwadniająco-nawadniających na torfowiskach, mające na celu zachowanie równowagi ekologicznej ekosystemów,
- budowa urządzeń piętrzących na ciekach i rowach w celu podniesienia poziomu wody gruntowej na obszarach przyległych,
- budowa małych zbiorników wodnych, piętrzenie jezior w celu retencjonowania wody na potrzeby rolnictwa i inne działania tego typu,
- zatrzymywanie wód wiosennych, roztopowych i opadowych w sadzawkach, potorfach, oczkach wodnych i obniżeniach terenowych.

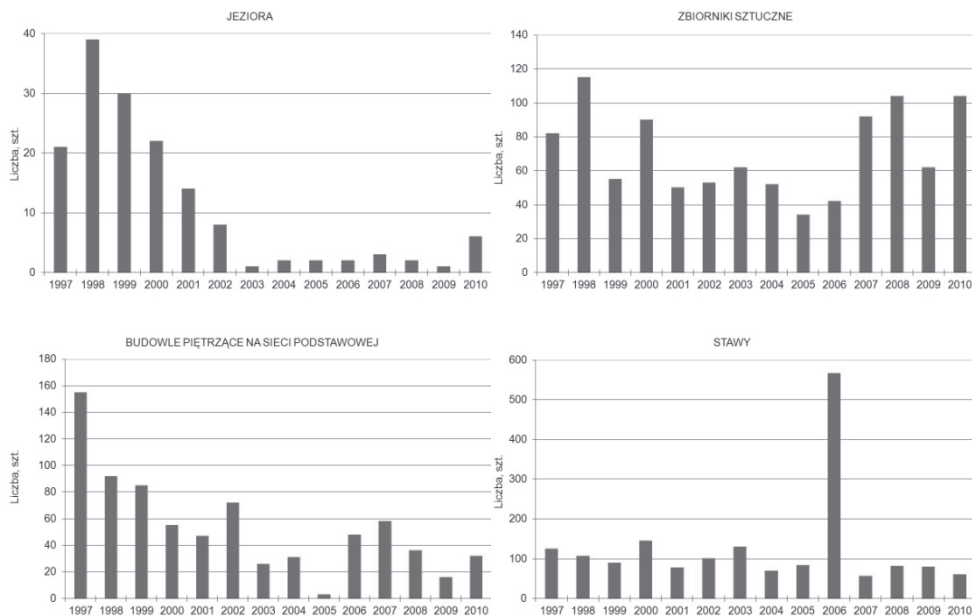
Główną uwagę zwracano na zatrzymanie wód opadowych w miejscu ich występowania, stosując działania techniczne ograniczające odpływ wody po powierzchni terenu. Zamiarem jest więc utworzenie różnego typu niewielkich zbiorników wodnych, od stawów kopanych, poprzez gromadzenie wody w kanałach i rowach, do typowych zbiorników zaporowych lokalizowanych na małych ciekach.

Wojewódzkie programy rozwoju małej retencji opracowane zostały w latach 1995–1997 dla ówczesnych 49 województw, a następnie scalane i modyfikowane dla 16 nowych województw.

Programy są bardzo zróżnicowane z uwagi na ogólną koncepcję działań, rozpatrywane elementy małej retencji, szczegółowość informacji, ocenę wpływu na środowisko, koszty, ocenę efektywności ekonomicznej. Dla niektórych województw prowadzono obliczenia modelowe optymalizacji potrzeb małej retencji, uwzględniając takie elementy jak: opady, zmienność przepływów, zagrożenia powodziowe, użytkowanie rolnicze, zagospodarowanie zlewni itp. Powstały mapy priorytetów małej retencji. Natomiast brak jest analiz liczbowych potrzeb retencionowania – ile wody i dla jakich celów należy zretencionować. Wskazuje się głównie ogólną potrzebę poprawy struktury bilansu wodnego w nawiązaniu do małych zasobów wodnych Polski. Planowane zwiększenie objętości retencionowanych wód oparto głównie na małych zbiornikach wodnych (stawach), w których przewiduje się do 2015 roku uzyskać retencję rzędu 860 mln m³ (4789 zbiorników). Przy podpiętrzeniu jezior (620 szt.) zakłada się zwiększenie retencji o 263 mln m³, a przy piętrzeniu wód na sieci melioracyjnej (podstawowej i szczegółowej) – 18 mln m³. W sumie w skali kraju do 2015 r. przewiduje się w ramach programu małej retencji zmagazynowanie 1141 mln m³ wody.

W latach 1997–2010 (74% planowanego okresu) wykonano 997 (20,8% planowanych) małych zbiorników wodnych, podpiętrżono 153 (24,7%) jeziora, utworzono 1773 stawy oraz wykonano 756 budowli na sieci melioracyjnej podstawowej i 424 na sieci szczegółowej [14]. Zgodnie z uzyskanymi danymi, w latach 1997–2010 powiększono całkowitą retencję prawie o 160 mln m³. Stanowi to niecałe 14% planowanego zwiększenia docelowego do 2015 r. Średni roczny przyrost retencji wynosi 11,4 mln m³. Jest to 5-krotnie mniej od wzrostu zakładanego w programie rozwoju małej retencji (60 mln m³ rocznie). Największa liczba zbiorników wykonana została przez samorządy lokalne (gminy), oraz wojewódzkie zarządy melioracji i urzędów wodnych. Inwestorzy prywatni koncentrowali się głównie na budowie stawów rybnych, których funkcja retencyjna nie jest powszechnie akceptowana.

Rodzaje obiektów realizowanych w poszczególnych latach przedstawiono na rysunku 12. Średni roczny koszt tych inwestycji wynosi jedynie 12 mln złotych.



Rys. 12. Główne obiekty wykonane w latach 1997–2010 w ramach programu małej retencji [14]

Większość budowli piętrzących na kanałach i rzekach oraz na małych ciekach i rowach ma na celu poprawę stosunków wodnych w dolinach rzek. Zbiorniki oprócz swej funkcji hydrologicznej bardzo często pełnią również funkcje rekreacyjne. Przypisywana jest im również funkcja przeciwpowodziowa pomimo, że nie wyznacza się tu pojemności powodziowej. Zwraca uwagę mała liczba budowli piętrzących na rowach melioracji szczegółowej, co świadczy o tym, że nie przywiązuje się większej wagi do poprawy stanu ekologicznego siedlisk hydrogenicznych. Nie doceniono ich roli jako regulatora warunków wodnych.

Trudno jest ocenić, na ile wykonane obiekty są wynikiem realizacji programu rozwoju małej retencji, a na ile stanowią wynik starań wcześniej podejmowanych przez inwestorów. Początkowo program był wspierany finansowo przez NFOSiGW. Obecnie inwestor musi dysponować własnymi lub uzyskanymi z różnych źródeł finansami. Największe środki finansowe są kierowane na budowę zbiorników zaporowych (54,8%) oraz budowle piętrzące na kanałach i rowach melioracji podstawowej (25,4%). Brak jest informacji, czy powstające inwestycje lokalizowane są w punktach przewidzianych w wojewódzkich programach.

Przedstawione wyżej dane dotyczące realizacji programu małej retencji dotyczą jedynie inwestycji podejmowanych w uzgodnieniach z wojewódzkimi zarządami melioracji i urzędów wodnych. Pewne działania prowadzone są przez organizacje ekologiczne w ramach renaturyzacji osuszonych terenów bagiennych. Np. na terenie Puszczy Białowieskiej wykonano kilkadziesiąt niewielkich zbiorniczków zaporowych i oczek wodnych dla zwiększenia uwilgotnienia i poprawy warunków bytowania płazów. Obecny realizowany jest duży projekt poprawy zasobów wodnych na terenach leśnych, finansowany przez Komisję Europejską. W ramach tego projektu zrealizowanych zostanie kilka tysięcy małych zbiorników wodnych.

9. Podsumowanie

Małe zbiorniki są podstawowym urządzeniem małej retencji wodnej pozwalającym na poprawę struktury bilansu wodnego niewielkich zlewni rzecznych. Umożliwiają gromadzenie wody w okresach jej obfitości i wykorzystywania w czasie niedostatku wody. Inaczej mówiąc pozwalają na ograniczanie niekorzystnych skutków powodzi i suszy. Ograniczają transport zanieczyszczeń, szczególnie rolniczych i są cennym elementem w środowisku przyrodniczym, a również spełniają wiele funkcji gospodarczych.

Projektowanie małych i mikrozbiorników jest bardzo utrudnione z uwagi na zazwyczaj brak dostatecznych danych geotechnicznych oraz hydrologicznych. Ponadto po wykonaniu nie są eksploatowane (utrzymywane) lub znajdują się pod opieką niefachowej obsługi. Najtrudniejszym elementem małych zbiorników jest odpowiednie zabezpieczenie przed destrukcyjnym działaniem wody. Dotyczy to zabezpieczenia przed obmywaniem budowli, skoncentrowaną filtracją na granicy budowla – grunt oraz umocnienie dolnego stanowiska i zabezpieczenie przed erozją podłoża.

Większość z tych rozwiązań musi być opracowania bez prowadzenia szczegółowych obliczeń, ponieważ brak jest danych do przeprowadzenia takich obliczeń.

Spodziewać się należy istotnego wzrostu liczby budowanych mikrozbiorników. Wynika to m.in. z konieczności ochrony środowiska przyrodniczego, ale również potrzeby poprawy struktury bilansu wodnego w zlewni poprzez hamowanie szybkiego odpływu wód opadowych.

Niezbędne jest opracowanie podręczników i instrukcji dla inwestorów podejmujących się budowy niewielkiego zbiornika. Ale również warto jest kontynuować badania dla wyjaśnienia roli zbiorników w środowisku przyrodniczym i w gospodarce narodowej. Celowym jest również przeprowadzenie badań i obserwacji dla wskazania najważniejszych, prostych a jednocześnie bezpiecznych konstrukcji małych budowli.

Literatura

- 1 Reservoir. <http://en.wikipedia.org/wiki/Reservoir#History>.
- 2 Łoś M. Historia rozwoju małej retencji w Polsce, w: Mała retencja wodna. Informator Naukowo-Techniczny SITWM nr 1 (1997).

- 3 Stephens T. Manual on small earth dams. A guide sitting, design and construction. FAO Irrigation and Drainage Paper 64 (2010), Rome.
- 4 Small Dams in Canada. www.mecoengineers.com/articles.
- 5 Hazard – potential classification. Guidelines for small dams in Oklahoma. Oklahoma Water Resources Board, 2011.
- 6 Dziewoński Z. Rolnicze zbiorniki retencyjne. PWN, Warszawa, 1973.
- 7 Mioduszewski W. Małe zbiorniki wodne. Wyd. IMUZ, Falenty, 2006.
- 8 Wytyczne do realizacji obiektów małej retencji w nadleśnictwach. Centrum Koordynacji Projektów Środowiskowych, Warszawa, 2008.
- 9 Kowalewski Z. Action for small water retention in Poland. Journal of Water and Land Development 12 (2007) 155–167.
- 10 Constructed wetlands. Virginia DCR Stormwater Design Specification 13 (2011).
- 11 Adamski W., Gortat I., Leśniak E., Żbikowski A. Małe budownictwo dla wsi. Arkady, Warszawa, 1986.
- 12 Kraatz D.B., Mahajan I.K. Small hydraulic structures. Irrigation and Drainage Paper Part 26/1, 26/2 (1975).
- 13 Błachuta j., Kamiński W., Kowalczak P., Rosa J., Zgrabczyński J. Podręcznik dobrych praktyk w gospodarce wodnej na terenach nizinnych – wybrane zagadnienia. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Poznań, 2011.
- 14 Kowalewski Z. Efekty realizacji programu małej retencji w latach 1997–2010. ITP Falenty 2012, maszynopis.

Small water reservoirs – constructions, function in agricultural landscape

Waldemar Mioduszewski

*Water Resources Department, Institute of Technology and Live Sciences, e-mail:
w.mioduszewski@itep.edu.pl*

Abstract: Small water reservoirs play a significant role in the environment as they diversify the landscape and secure the biodiversity. According to the common understanding, small water reservoirs are the ones that in case of emergency or a random accident do not pose a threat for citizens and do not cause any significant economic loss. Nonetheless, small reservoirs are engineering constructions that should be planned and designed in accordance to the code of good engineering practice. It is allowed to construct micro reservoirs with damming capacity up to 1.0 m with use of economy efficient methods only if the plan has been previously consulted with licensed engineer. A classification of small water reservoirs, characteristic of basic construction units included in the reservoir and exemplary construction solutions have been presented in the paper. Role of small water reservoirs in the environment and their economy functions have been also discussed.

Keywords: water reservoirs, earth dams, weirs, water ecosystems, small water retention, water storage.

Budowle wodno – melioracyjne na lubelszczyźnie

Andrzej Pichla

Wojewódzki Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Lublinie,
e-mail: sekretariat@wzmiuw.lublin.pl

Streszczenie: Polskę uważa się za kraj o małych zasobach wodnych i jeden z niewielu krajów europejskich, który zagrożony jest deficytem wody. Zasoby wodne wód powierzchniowych w woj. lubelskim są znacznie niższe niż średnie w kraju i należą do najmniejszych w Polsce. Zobowiązuje to do racjonalnego i oszczędnego gospodarowania zasobami wodnymi, ze szczególną ich ochroną pod względem jakościowym i ilościowym. Najbardziej skutecznym i efektywnym sposobem kształtowania zasobów wodnych jest retencjonowanie wód powierzchniowych dla łagodzenia deficytu wody, w szczególności w okresach suszy. Podstawowym zadaniem rolnictwa w kraju i w woj. lubelskim (dobre gleby) jest zaspokojenie ludności na stale wzrastające zapotrzebowanie na żywność. Głównym czynnikiem służącym do osiągnięcia coraz to wyższych efektów produkcyjnych są melioracje wraz z budowlami wodno – melioracyjnymi. Pozwalają one na racjonalne wykorzystanie obiegu wody w środowisku kształtowanym przez człowieka dla potrzeb rolnictwa. Podano stan, wybrane przykłady i potrzeby stosowania budowli wodno – melioracyjnych w systemach melioracyjnych dla racjonalnej gospodarki wodnej w rolnictwie.

Słowa kluczowe: retencja wodna, melioracje, ekosystem, susza hydrologiczna, zlewnia, zasoby wodne.

1. Wprowadzenie

Zasoby wód śródlądowych to podstawowy czynnik warunkujący rozwój gospodarczy oraz ważny element ochrony środowiska naturalnego. Polska w porównaniu z innymi krajami europejskimi jest krajem o małych zasobach wodnych (średni odpływ roczny z terytorium naszego kraju wynosi ok. 62 km³) i dużych wahaniami rocznego odpływu. Powoduje to występowanie zagrożenia powodziowego oraz pojawienie się okresów suszy hydrologicznej jako wyniku głębokiego niedoboru wody gruntowej. Ocieplanie się klimatu i prawdopodobnie związane z tym zjawiskiem częste występowanie anomalii pogodowych powoduje zwiększenie częstotliwości pojawiania się zjawisk ekstremalnych. Oznacza to, że susze mogą być rozległe i głębsze, a wezbrania rzek coraz gwałtowniejsze i grożące powodziąmi.



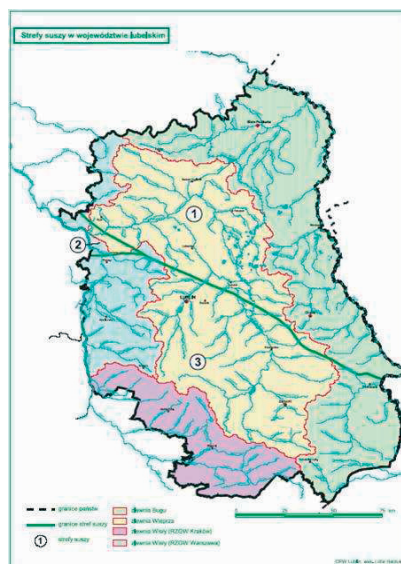
Fot. 1. Zalana Gmina Wilków podczas powodzi w 2010 r.

Zasoby wodne wód powierzchniowych w woj. lubelskim są znacznie niższe niż średnie w kraju i należą do najmniejszych w Polsce (odpływ całkowity z terenu Lubelszczyzny wynosi 2565,0 hm³). Zobowiązuje to do racjonalnego i oszczędnego

gospodarowania zasobami wodnymi, ze szczególną ich ochroną pod względem jakościowym i ilościowym. Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 23 października 2000 r., związane z nią inne dyrektywy oraz Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. wprowadzają jako naczelną zasadę gospodarowanie zasobami wodnymi w naturalnych granicach hydrograficznych. Obszar województwa lubelskiego o pow. 25 122 km² (8% powierzchni kraju) położony jest w środkowo – wschodniej części Polski (granicząc od wschodu z Ukrainą i Białorusią) w dorzeczu Wisły w 2-ch rejonach wodnych: Wisły Środkowej i Wisły Górnej i wydzielonych 4-ch podstawowych zlewniach (Z-I San i Sanna, Z-II Wisła, Z-III Wieprz i Z-IV Bug). Usytuowanie wydzielonych zlewni na tle podziału administracyjnego Lubelszczyzny ilustruje mapa hydrograficzno – administracyjna województwa lubelskiego (Rys. 1).



Rys.1. Mapa hydrograficzno – administracyjna województwa lubelskiego



Rys. 2. Strefy suszy w woj. lubelskim

Województwo lubelskie charakteryzuje się klimatem umiarkowanym kontynentalnym. Roczna suma opadów należy do niskich w skali kraju i wynosi od 500 mm na północy województwa do ponad 600 mm w jego części południowej, co powoduje występowanie deficytów wody w wielu zlewniach rzek. Najbardziej efektywnym sposobem kształtowania zasobów wodnych jest jednak retencjonowanie wód powierzchniowych (Mioduszewski 1996 r.) dla łagodzenia deficytu wody, w szczególności w okresach suszy. W pierwszej strefie największego zagrożenia suszą znajduje się 47,85 % powierzchni województwa, w jego północnej i wschodniej części (w tym całe Polesie Lubelskie), w której występują najpilniejsze potrzeby rozwoju małej retencji wodnej (Rys. 2). Obszar województwa jest atrakcyjny pod względem walorów przyrodniczo - krajobrazowych, na którym utworzono 2 parki narodowe (Roztoczański i Poleski), 17 parków krajobrazowych, 17 obszarów chronionego krajobrazu oraz 83 rezerваты przyrody.

Do najcenniejszych ekosystemów przyrodniczych należy zaliczyć: Pojezierze Łęczyńsko – Włodawskie, Roztocze oraz doliny rzek: Wisły i Bugu. Lubelszczyznę zamieszkuje 2151,9 tys. osób, co stanowi 5,6 % ludności Polski. Województwo lubelskie należy do słabo zurbanizowanych, gdyż 53,4 % ludności zamieszkuje tereny wiejskie. Dobre gleby sprzyjają rozwojowi produkcji rolnej w województwie, której udział jest znaczący w skali kraju. Obszar użytków rolnych wynosi 1 790 777 ha (71,28 % pow.

województwa), w tym grunty orne stanowią 1 344 407 ha (53,51 % pow. województwa) i użytki zielone stanowią 337 276 ha (13,43 % pow. województwa) – Fot. 2.

Podstawowym zadaniem rolnictwa w kraju i w województwie lubelskim jest zaspokojenie ludności na stale wzrastające zapotrzebowanie na żywność. Głównym czynnikiem służącym do osiągnięcia coraz to wyższych efektów produkcyjnych są melioracje. Pozwalają one na optymalne wykorzystanie obiegu wody w środowisku kształtowanym przez człowieka dla potrzeb rolnictwa.



Fot. 2. Użytki rolne w woj. lubelskim

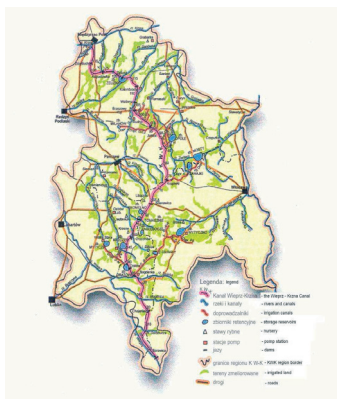
Docelowe potrzeby melioracyjne w woj. lubelskim określono na użytkach rolnych na powierzchni 497 706,0 ha, co stanowi 27,79 % obszaru użytków rolnych Lubelszczyzny. Uwzględniając stan wykonanych melioracji, potrzeby po roku 2012 wynoszą na użytkach rolnych w zakresie ich budowy na pow. 179 754 ha oraz ich modernizacji (odbudowa, rozbudowa) na powierzchni 62 956 ha (Tabela 1).

Tabela 1. Potrzeby budowy i odbudowy systemów wodno - melioracyjnych po roku 2012.

Grunty orne		Użytki zielone		Użytki rolne ogółem		Modernizacja urządzeń melioracyjnych (odbudowa, rozbudowa)		
wymagające melioracji [ha]/zmeliorowane [ha]	% zaspokojenie potrzeb	wymagające melioracji [ha]/zmeliorowane [ha]	% zaspokojenie potrzeb	wymagające melioracji [ha]/zmeliorowane [ha] potrzeby melioracji nowych [ha]	% zaspokojenie potrzeb	grunty orne użytki zielone [ha]	razem	% użytków zmeliorowanych
1	2	3	4	5	6	8	10	11
230 424,0/ 150 833,0	65,5	264 282,0/ 167 119,0	63,2	497 706,0/ 317 952,0 179 754,0	63,9	8 887,0/ 54069,0	62 956	19,8

2. Pojęcie i podział budowli wodno – melioracyjnych.

Budowle wodno – melioracyjne są urządzeniami wodnymi, które mają za zadanie kształtowanie dyspozycyjnych zasobów wodnych dla rozwoju rolnictwa. Urządzenia te stosuje się do regulacji poziomów wody w systemach melioracji wodnych, a w ściślejszym ujęciu w melioracjach rolnych i leśnych. Na podstawie art. 70 ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz. U. z 2012, poz. 145 z późn. zm.) melioracje wodne polegają na regulacji stosunków wodnych w celu polepszenia zdolności produkcyjnej gleby, ułatwienia jej uprawy oraz na ochronie użytków rolnych przed powodzią (Rys. 3, Fot. 3).



Rys. 3. System wodny Kanału Wieprz – Krzna wykonany w latach 1954 – 1975



Fot. 3. Odcinek nawadniający Kanału Wieprz – Krzna w km 65+680 w rejonie rzeki Piwonia

Nie można ustalić wyraźnej granicy pomiędzy budowlami wodno – melioracyjnymi, a budowlami wodnymi stosowanymi w pozostałych gałęziach gospodarki wodnej. Dlatego też najważniejsze będzie zaliczenie do budowli wodno – melioracyjnych wszystkich budowli wodnych wykorzystywanych do potrzeb melioracji wodnych (rolnych), niezależnie od tego, czy dane rodzaje tych urządzeń wodnych są stosowane również i w innych dziedzinach gospodarki wodnej.

2.1. Podział budowli wodno – melioracyjnych.

Budowle wodno – melioracyjne pod względem ich ważności i przeznaczenia można podzielić na dwie podstawowe grupy:

1. budowle rzeczne, służące do ujęcia wody i kierowania jej na obszary meliorowane i takie, które mają zastosowanie do regulacji rzek do celów melioracyjnych i ochrony przeciwpowodziowej,
2. budowle na sieci melioracyjnej, służące do rozrządu i gospodarowania wodą.

Do grupy budowli rzecznych zaliczamy: urządzenia zabezpieczające dno rzeczne przed erozją, zapory, jazy, ujęcia wody, urządzenia do kierowania wody do sieci melioracyjnej i wały przeciwpowodziowe (Fot. 4 i 5).



Fot. 4. Zapora główna na rzece Wieprz na długości 845 m i wys. 6,5 m zbiornika Nielisz o objętości 19,48 mln m³



Fot. 5. Wał przeciwpowodziowy rzeki Wisły na długości 7,1 km w dolinie Janiszowskiej

Do grupy budowli na sieci melioracyjnej zaliczamy: urządzenia do rozprowadzania wody (kanały, przewody, akwedukty, tunele, syfony), urządzenia do korekty spadku na ciekach (progi, stopnie, kaskady, bystrotoki), urządzenia do rozrządu i utrzymania stałego poziomu wody (jazy, zastawki, mnichy, przepusty z zastawkami, zastawki przenośne), urządzenia do zrzutów wody i przepuszczenia wielkiej wody (upusty jałowe, przewały, przelewy, lewary i śluzy wałowe), urządzenia drenarskie (wyloty, studzienki zbiorcze

i rewizyjne), urządzenia zapewniające komunikację na terenach meliorowanych (mosty, przepusty, brody) i urządzenia do zapewnienia powszechnego użytkowania wody (zbiorniki wodne, stawy rybne, przepławki dla ryb, obiekty energetyki wodnej); (Fot. 6 i 7).



Fot. 6. Jaz w zaporze głównej o świetle 5 m, wys. piętrzenia 3,9 m zbiornika wodnego Aleksandrów o obj. 140,5 tys. m³



Fot. 7. Jaz Ortel Królewski o świetle 2 x 4,0 m i wysokości piętrzenia 2,0 m na rzece Zielawie w systemie Kanału Wieprz – Krzna

3. Stan budowli wodno – melioracyjnych na Lubelszczyźnie.

W województwie lubelskim zmeliorowano użytki rolne na powierzchni 317 925 ha, w ramach systemów wodno – melioracyjnych, które obejmują 65 028 szt. budowli. W gospodarce wodnej rolnictwa, na szczególną uwagę zasługuje znaczenie największego w kraju systemu wodnego Kanału Wieprz – Krzna (KWK), którego zasięg pokrywa się w ogólnych zarysach z Polesiem Lubelskim o szczególnych walorach przyrodniczych (Tabela 2).

Tabela 2. Stan melioracji użytków rolnych w woj. Lubelskim na dzień 31.XII.2012 r.

Grunty orne powierzchnia [ha]	Użytki zielone powierzchnia [ha]	Użytki rolne ogółem powierzchnia [ha]	w tym: system wodny Kanału Wieprz – Krzna		
			Grunty orne powierzchnia [ha]	Użytki zielone powierzchnia [ha]	Użytki rolne ogółem powierzchnia [ha]
Budowle [szt.]	Budowle [szt.]	Budowle ogółem [szt.]	Budowle [szt.]	Budowle [szt.]	Budowle ogółem [szt.]
1	2	3	4	5	6
150 833	167 119	317 925	39 300	68 300	107 600
19 126	45 902	65 028	4 983	18 755	23 738

Dotyczy to przede wszystkim jego części środkowej tj. Pojezierza Łęczyńsko - Włodawskiego. Kanał Wieprz – Krzna o długości 139,9 km wraz z budowlami, z ujęciem wodny na rzece Wieprz w Borowicy i uściem do rzeki Krzny w Międzyrzeczu Podlaskim został wykonany w latach 1954 – 1961 (Strycharz, Jargiełło, Pichla 1996 r.). Urządzenia melioracji szczegółowych na użytkach rolnych zostały zrealizowane w ramach tego systemu na pow. 107 600 ha (w tym na użytkach zielonych na pow. 68 350 ha) wraz z wykonaniem 23 728 szt. budowli wodno – melioracyjnych na kanałach, rzekach i doprowadzalnikach wody do nawodnień rolniczych (Tabela 2). Urządzenia te wykonano w latach pięćdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia, a tylko 42,3 tys. ha przystosowano do nawodnień z uwagi na niepełne zrealizowanie programu budowy zbiorników retencyjnych. Na projektowane zmagazynowanie 112,0 mln m³ wody w tych budowlach, wykonano zaledwie 13 (11 eksploatowanych) zbiorników o poj. 47,6 mln m³. W systemie KWK znajdują się stawy rybne o pow. 2549 ha (w tym pobór wody z KWK dotyczy pow. 1 089 ha). Po wykonaniu melioracji zmniejszyła się znacznie powierzchnia mokradeł i torfowisk oraz terenów zabagnionych (Pichla, Jakimiuk 2008 r.). W wyniku

odwodnienia użytków zielonych zapoczątkowany został proces murszenia i zanikania utworów organicznych (Gawlik, Szajda 2003 r.). Na skutek zasilania wodą rzeki Wieprz nastąpiły również zmiany charakteru wód w jeziorach ogroblowanych na zbiorniki retencyjne. Oceniając aktualny stan gospodarki wodnej w systemie wodnym KWK stwierdzić należy, że system jest mało sprawny z uwagi na dekapitalizację urządzeń wodnych i melioracyjnych.



Fot. 8. Jaz Czosnówka o świetle 4 x 4,0 m, wys. piętrzenia 1,75 m na rzece Krzna w systemie Kanału Wieprz – Krzna

Doprowadza on jedynie wody do zbiorników retencyjnych i stawów, a w niewielkim stopniu na użytki zielone w formie nawodnień (Fot. 8). Zachodzi zatem potrzeba odbudowy systemu KWK. Zakłada się (Lubecki, Urbas, Pichla 1994 r.) wyłączenie z intensywnego użytkowania rolniczego zmeliorowanych użytków zielonych o pow. 27,4 tys. ha ograniczając je do terenów o pow. 49 755,0 ha, przekształconych w wyniku działalności człowieka, a położonych w północnej części województwa poza obszarem cennego przyrodniczo Pojezierza Łęczyńsko – Włodawskiego. Zakładane do wyłączenia z intensywnego użytkowania zmeliorowane użytki zielone o pow. 4508,7 ha planuje się poddać zabiegom renaturalizacyjnym, ze szczególnym zwróceniem uwagi na ekosystemy torfowiskowe i wodne o szczególnych walorach przyrodniczych.

W województwie lubelskim na ogólną ilość rzek 4882,3 km uregulowano 3923,7 km (Tabela 3), które posiadają 4249 szt. budowli wodno – melioracyjnych dla prowadzenia regulowanego odpływu wody w ich korytach i nawodnień użytków rolnych.

Tabela 3. Stan regulacji rzek i kanałów w woj. lubelskim na dzień 31.XII.2012 r.

Rzeki i kanały			w tym: System Kanału Wieprz - Krzna				
Ogółem długość [km]	w tym:		Koryto KWK	Zbiorniki wodne	Uregulowa ne koryta rzek	Doprowadzal niki główne	Stacje pomp [szt.]
	Uregulowane	Nieuregulo wane	Długość [km]	Powierzchni a i pojemność [ha/mln m3]	Długość [km]	Długość [km]	
	Długość [km]	Długość [km]					
Budowle [szt.]	Budowle [szt.]	Budowle [szt.]	Budowle główne [szt.]	Budowle wpustowo - upustowe [szt.]	Budowle [szt.]	Budowle [szt.]	
1	2	3	4	5	6	7	8
4882,3	3923,7	958,6	139,9	2 678/ 46 572	581,48	57,314	5
4249	4249	-	13	56	627	10	

W systemie KWK wykonano główne budowle: w korycie KWK: 13 jazów, 65 ujęć wodnych, 35 syfonów żelbetowych rurowych i ramowych, 2 mosty stalowe kolejowe, 66

mostów drogowych (Strycharz, Jargiełło, Pichla 1996 r.), na zbiornikach wodnych: 56 budowli wpustowo – upustowych, na uregulowanych korytach rzek: 627 budowli i na doprowadzalnikach głównych: 10 budowli i 5 stacji pomp (Tabela 3), które wymagają odbudowy (Fot. 9 i 10).



Fot. 9. Odbudowany zbiornik wodny Mosty o objętości 6,8 mln m³ w systemie KWK w ramach I-go etapu



Fot. 10. Odbudowany jaz Sycyna - Puchacze o świetle 3 x 4,0 m, wys. piętrzenia 2,0 i 1,2 m na rzece Krzna w systemie Kanału Wieprz – Krzna

W województwie lubelskim wybudowano w latach 30-tych i 60-tych ubiegłego 100-lecia budowle wałowe na długości 182,4 km wraz z 36 budowlami punktowymi (przepusty wałowe, śluzy wałowe) i 10 pompowni (Tabela 4), które były w złym stanie technicznym, podczas ostatnich katastrofalnych powodzi w 1997 r., 2001 r. i 2010 r. (Fot. 11).

Tabela 4. Stan budowli przeciwpowodziowych w woj. Lubelskim na dzień 31.XII.2012 r.

Wały przeciwpowodziowe									
w tym:									
Długość [km]	Pompo wnie [szt.]	Rzeka Wisła		Rzeka Wieprz		Rzeka Bug		Inne rzeki	
		Długość [km]	Pompo wnie [szt.]	Długość [km]	Pompo wnie [szt.]	Długość [km]	Pompo wnie [szt.]	Długość [km]	Pompo wnie [szt.]
Budowl e punkto we [szt.]		Budowl e punktow e [szt.]		Budowl e punktow e [szt.]		Budowl e punktow e [szt.]		Budowl e punktow e [szt.]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
182,411	10	142,221	9	8,4	-	11,27	1	20,52	-
36		29		2		2		3	



Fot. 11. Zalana dolina Opolska w gminie Wilków podczas powodzi w 2010 r.

Mając na względzie problem deficytu wody i potrzebę zwiększania dyspozycyjnych zasobów wodnych lokalnych w skali całego kraju instytuty: Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz Melioracji i Użytków Zielonych opracowały wspólną „Ocenę hierarchii okresowych potrzeb małej retencji” (Kowalczyk, Kaca 1996 r.) na podstawie której, między innymi w województwie lubelskim określono najpilniejsze potrzeby retencji wodnej. Dla realizacji tych celów (ochrony zasobów wodnych) wynikających ze Strategii Rozwoju Województwa, „Programu Ochrony Środowiska” oraz „Ramowej Dyrektywy Wodnej” (nr 2000/60/WE), Sejmik Województwa Lubelskiego zaakceptował „Program Gospodarki Wodnej Województwa Lubelskiego” (Uchwała nr XXXVI/531/05 z dnia 4 września 2005 r.) i „Aktualizację Programu Małej Retencji dla Województwa Lubelskiego” (Uchwała nr XXXIX/577/05 z dnia 3 października 2005 r.). W tabeli nr 5 podano stan istniejących budowli małej retencji w ilości 1616 obiektów, w których zmagazynowano 196,29 mln m³ wody.

Tabela 5. Stan istniejących budowli małej retencji na dzień 31.XII.2012 r.

Zbiorniki retencyjne		Stawy retencyjne		Urządzenia piętrzące		Nawodnienia rolnicze		Razem	
Obiekty [szt.]	Objętość [mln m ³]/Powierzchnia [ha]	Obiekty [szt.]	Objętość [mln m ³]/Powierzchnia [ha]	Budowle [szt.]	Objętość [mln m ³]/Powierzchnia [ha]	Kompleksy [szt.]/Budowle [szt.]	Objętość [mln m ³]/Powierzchnia [ha]	Obiekty [szt.]	Objętość [mln m ³]/Powierzchnia [ha]
1	3	4	6	7	9	10	12	13	15
171	45,39/ 2 935,75	304	90,9/ 8 513,56	913	4,94/ 251,32	228/ 3 884	55,06/ 37 073,45	1616	196,29/ 48 774,08

Rola obiektów małej retencji wodnej ma szczególne znaczenie dla zwiększenia dyspozycyjnych zasobów wodnych w zlewniach deficytowych rzek i łagodzenia skutków suszy na terenie woj. lubelskiego (Fot. 12 i 13).



Fot. 12. Zbiornik Majdan Sopocki o pojemności 338 tys. m³



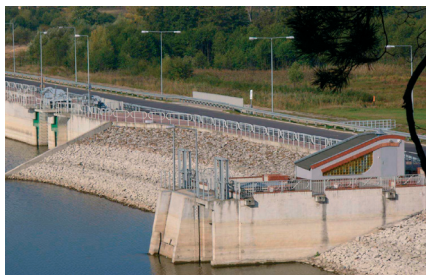
Fot. 13. Jaz zaporowy zbiornika wstępnego Nielisz na rzece Por o pojemności 1,57 mln m³

4. Potrzeby budowy i odbudowy budowli wodno – melioracyjnych.

Od roku 1994 w woj. lubelskim sukcesywnie realizuje się modernizację (odbudowa, rozbudowa) budowli wodno – melioracyjnych z uwagi na zły stan techniczny (ujęto tabelach nr 2, 3, 4 i 5). Przykłady zmodernizowanych w/w urządzeń wodnych podano (Rys. 5, 6, 7, 8, 9, 10); (Fot. 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20).



Fot. 16. Jaz zapory głównej zbiornika Nielisz, przekazanego do użytkowania w 2008 r.



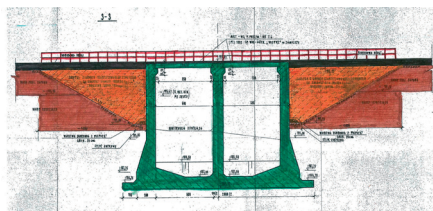
Fot. 17. Elektrownia wodna o mocy 362 kW w zaporze głównej zbiornika Nielisz, przekazana do użytkowania w 2008 r.



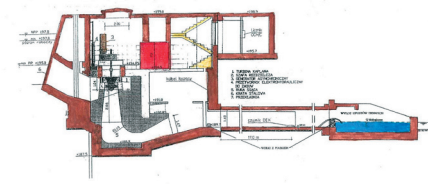
Fot. 18. Parapet stały o długości 3,155 km w koronie wału w Kazimierzu Dolnym, oddany do użytkowania w latach 2001 – 2006



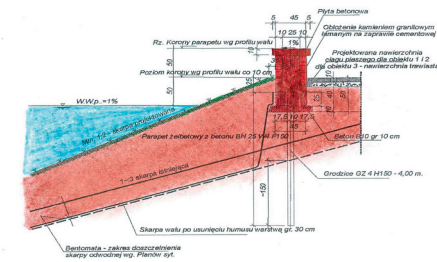
Fot. 19. Parapet rozbiegający na dł. 0,870 km, przekazany do użytkowania w latach 2001 – 2006.



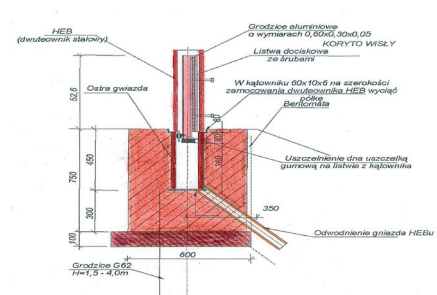
Rys. 6. Przekrój poprzeczny jazu o świetle 2 x 5,5 m i wys. piętrzenia 8,58 m w zaporze głównej zbiornika Nielisz



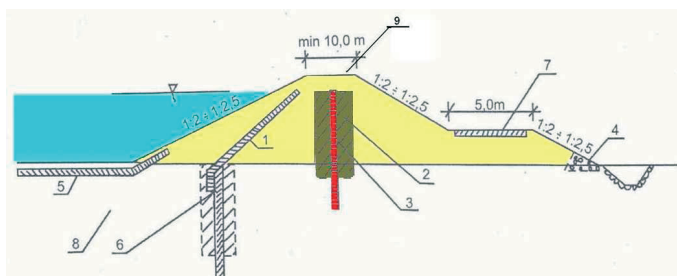
Rys. 7. Przekrój podłużny elektrowni wodnej w zaporze głównej zbiornika Nielisz



Rys. 8. Przekrój poprzeczny parapetu stałego w koronie wału w Kazimierzu Dolnym



Rys. 9. Przekrój poprzeczny parapetu rozbiegającego w koronie wału w Kazimierzu Dolnym



Rys. 10. Schemat rozbudowy wałów rzeki Wisły na dł. 81,4 km (z 29 budowlami punktowymi), oddanych do użytku w latach 1998 – 2012 r. (1 – uszczelnienie od strony odwodnej ekranem, 2 – dogęszczenie korpusu, 3 – uszczelnienie korpusu pionową przegrodą przeciwnieprzepuszczalną, 4 – ubezpieczenie stopy odpowietrznicy połączone z odprowadzeniem wody (drenaż), 5 – poziome uszczelnienie podłoża fartuchem, 6 – pionowe uszczelnienie lub dogęszczenie podłoża od strony skarpy odwodnej, 7 – budowa ławy przywałowej dociażającej podłoże lub wydłużającej drogę filtracji w korpusie wału, 8 – zabudowa starorzecza, 9 – pas drogowy)



Fot. 20. Rozbudowa wału przeciwpowodziowego w dolinie Puławsko – Parchacko – Bochotnickiej na długości 8,992 km, przekazano do użytkowania w latach 1998 – 2012

Uwzględniając realizację modernizacji urządzeń wodnych (odbudowa, rozbudowa) w latach 1994 – 2012 w tabeli nr 6 przedstawiono potrzeby po roku 2012 w zakresie odbudowy budowli wodno – melioracyjnych w ilości 1 283 szt. w korytach rzek i kanałów oraz wykonania budowli przeciwpowodziowych na długości 109,25 km (z 32 budowlami punktowymi) oraz ich modernizacji na długości 89,99 km (z 28 budowlami punktowymi).

Tabela 6. Potrzeby budowy i modernizacji budowli w korytach rzek i kanałów po roku 2012.

Całkowita długość rzek i kanałów [km]	Uregulowane rzeki i kanały		Modernizacja (odbudowa, rozbudowa) rzek i kanałów		Budowa wałów przeciwpowodziowych [km]	Modernizacja (odbudowa i rozbudowa) [km]
budowle [szt.]	długość [km]/ budowle [szt.]	% całkowitej długości	długość [km]/ budowle [szt.]	% całkowitej długości	budowle [szt.]	budowle [szt.]
1	2	3	4	5	6	7
4 882,30	3 525,80/		1 474,50/		109,25	89,99
4 249	4 249	72,22	1 283	30,20	32	28

Potrzeby odbudowy systemu Kanału Wieprz-Krzna i budowli po roku 2012 przedstawiono w tabeli nr 7. Koryto KWK zaplanowano do odbudowy i rozbudowy na

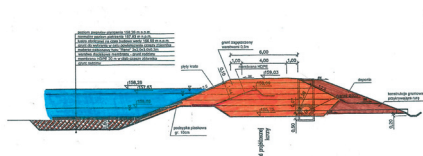
długości 139,9 km (z 162 budowlami). System ten wymaga: budowy i odbudowy 16 zbiorników retencyjnych (z 49 budowlami) o objętości 95,7 mln m³ (w tym budowa zbiornika Oleśniki na rzece Wieprz o objętości 32,0 mln m³), odbudowy stawów rybnych o objętości 28,91 mln m³ (z 109 budowlami), odbudowy melioracji użytków zielonych na pow. 49 785 ha (z 3 877 budowlami) oraz renaturalizację cennych przyrodniczo ekosystemów wodnych i torfowiskowych o pow. 4 598,7 ha.

Tabela 7. Potrzeby odbudowy Systemu Kanału Wieprz – Krzna i budowli w woj. lubelskim po roku 2012.

Koryto KWK [km]	Zbiorniki retencyjne		Stawy rybne		Użytki zielone [ha]	Rzeki w systemie KWK [km]	Doprowadzalniki [km]	Pompywnie [szt.]	Renatura lizacja [ha]
budowle [szt.]	Pow. [ha]/ objętość [mln m ³]	budowle [szt.]	Pow. [ha]/ objętość [mln m ³]	budowle [szt.]	budowle [szt.]	budowle [szt.]	budowle [szt.]	Wyda- jność [m ³ s ⁻¹]	
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11
139,9	4 498,5/	49	2 408,86/	109,	49 755,0	581	138	4 598,7	4 598,7
162	95,7		28,91	0	3 877	274	35	14,3	



Fot. 21. Odbudowa I-go etapu zbiornika wodnego Mosty o objętości 6,8 mln m³ przekazanego do użytkowania w 2011 r.



Rys. 11. Przekrój poprzeczny zmodernizowanej grobli o dł. 3,190 km zbiornika Mosty przekazanego do użytkowania w 2011 r.

Potrzeby budowy i odbudowy budowli małej retencji w woj. lubelskim po roku 2012 obejmują 676 obiektów, w których planuje się zmagazynowanie 118,36 mln m³ wody, po uwzględnieniu modernizacji tych urządzeń w latach 1994 – 2012 (Tabela 8).

Tabela 8. Potrzeby budowy i odbudowy budowli małej retencji w woj., lubelskim po roku 2012 r.

Zbiorniki retencyjne i jeziora	Stawy retencyjne	Urządzenia piętrzące	Nawodnienia rolnicze i renaturalizacja ekosystemów		Udrożnienia koryta rzeki dla nawodnień	Razem
Obiekty [szt.]/ Objętość [mln m ³]/ Powierzchnia [ha]	Obiekty [szt.]/ Objętość [mln m ³]/ Powierzchnia [ha]	Budowle [szt.]/ Objętość [mln m ³]	Obiekty [szt.]/ Budowle punkt. [szt.]	Objętość [mln m ³]/ Powierzchnia [ha]	Obiekty [szt.]/ Objętość [mln m ³]/ Długość [km]	Obiekty [szt.]/ Objętość [mln m ³]
1	2	3	4	5	6	7
287/ 95,30/ 6 143,88	40/ 8,17/ 14 60,71	171/ 1,6	112/ 975	13,29/ 16 650,0	69/ 1,53/ 434,54	679/ 118,36

6. Podsumowanie

1. Negatywnym skutkiem odwadniania użytków rolnych przez wykonane melioracje, a w szczególności w systemie Kanału Wieprz-Krzna, można przeciwdziałać przez:
 - wyłączenie z limitowania wodą z tego systemu ekosystemów torfowiskowych i niektórych ekosystemów wodnych,
 - wykorzystanie zasobów wód własnych do intensywnych nawodnień ekosystemów torfowiskowych, szczególnie w warunkach suszy meteorologicznej,
 - intensywne nawadnianie wodą z rzeki Wieprz zmeliorowanych użytków rolnych na Równinie Parczewskiej i Zakłęsłości Łomaskiej w celu zahamowania mineralizacji gleb organicznych i przepływu związków azotu i żelaza ze strefy powierzchniowej do warstw wodonośnych,
 - przywracanie do użytkowania zdegradowanych łąk (z powodu braku opłacalności hodowli bydła) dla zachowania różnorodności siedlisk na użytkach zielonych przy ich wykorzystaniu dla potrzeb rolnictwa z uwzględnieniem upraw roślin energetycznych,
 - pełna realizacja koncepcji odbudowy systemu Kanału Wieprz-Krzna w celu optymalizacji gospodarki wodnej, stanowiącej zasadniczy czynnik ochrony środowiska naturalnego,
2. Przyspieszenie planowanego programu modernizacji (rozbudowy) budowli przeciwpowodziowych w zlewni rzek Wisły, Bugu i Wieprza, w takim stopniu, ażeby je zakończyć do 2020 r. dla zabezpieczenia ogromnego majątku w dolinach chronionych na pow. 23620 ha, w których znajduje się 18 426 budynków zamieszkałych przez 52 216 ludzi.
3. Odbudowa budowli regulacyjnych w korycie rzeki Wisły dla zachowania jego równowagi hydrodynamicznej oraz stabilizacji podłoża wałów przeciwpowodziowych o długości 142,221 km (Tabela 4)
4. Zabezpieczenie środków na inwestycje dotyczące budowy obiektów małej retencji zgodnie z „Aktualizacją Programu Małej Retencji Województwa Lubelskiego” dla zwiększenia dyspozycyjnych zasobów wód powierzchniowych w woj. lubelskim, które zalicza się do najmniejszych w kraju (Tabela 8).

Literatura.

- 1 Kowalczyk L., Kaca E. Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji w Polsce., Materiały informacyjne nr 37, IMUZ Falenty 1996 r., s. 131-136.
- 2 Mioduszeński W. Mała retencja i polityka melioracyjna. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 289, 1996 r., s. 127-134.
- 3 Pichla A., Jakimiuk S., Strategia rozwoju retencji wodnej województwa lubelskiego na tle Polski, monografia UMCS w Lublinie i PAN, Oddział w Lublinie, 2008, s. 51-60.
- 4 Strycharz Z. Jargiełło J. Pichla A. Opis systemu wodnego Kanału Wieprz-Krzna, Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie nr 2 specjalny, 1996 r., s. 5-8.
- 5 Pichla A., Jakimiuk S. Zbiornik wodny w Nieliszu, Inżynier budownictwa nr 7/8, 2010 r., s. 79-82.
- 6 Jakimiuk S., Pichla A. Infrastruktura przeciwpowodziowa w dolinie rzeki Wisły granicach województwa lubelskiego, Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie nr 4, 2009 r., s. 164-168.
- 7 Pichla A., Jakimiuk S., Niedabyłski A. Zbiornik wodny w Nieliszu w dorzeczu Wieprza, Gospodarka Wodna nr 10, 2011 r., s. 422-428.
- 8 Gawlik I., Szajda J. Zmiany warunków glebowych na torfowiskach w regionie Kanału Wieprz-Krzna wskutek ich odwodnienia. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie nr 3, 2003 r., s. 167-170.

Drainage and hydro-engineering buildings in the Lublin Region

Andrzej Pichla

*Provincial Board of Melioration and Water Facilities in Lublin,
e-mail: sekretariat@wzmiuw.lublin.pl*

Abstract: Poland is considered to have scarce water resources and to be one of the few countries in Europe which are in danger of a water deficit. Surface water resources in the Lubelskie Province are significantly lower than the country's average and are among the lowest in Poland. This calls for sustainable and sparing water-resources management, combined with particularly intensive protection of their quality and quantity. The most successful and effective way of forming water resources is surface-water retention aimed at mitigating the water deficit, especially in periods of drought. Catering for the continuously-growing food demand is a primary objective for agriculture in Poland and in the Lubelskie Province (good types of soil). The drainage infrastructure and hydro-engineering buildings are the key factors in increasing the efficiency of production. It allows the sustainable use of water circulation in an environment shaped by man for agricultural purposes. The article includes the condition, selected examples of, and the requirements for, the hydro-engineering buildings to be used in drainage systems for sustainable water management in agriculture.

Keywords: water retention, drainage infrastructure, ecosystem, hydrological drought, drainage basin, water resources.

Nauka, praktyka i perspektywy budownictwa na obszarach wiejskich – podsumowanie

Anna Halicka

Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i architektury Politechnika Lubelska, e-mail: a.halicka@pollub.pl

1. Przemiany budownictwa na obszarach wiejskich

Obszary wiejskie tradycyjnie postrzegane były jako tereny zamieszkiwane przez ubogą ludność trudniącą się rolnictwem, gdzie rolnictwo było jedynym przejawem działalności gospodarczej. Dziś obszary te traktowane są jako wielofunkcyjne - nie tylko jako tereny działalności rolniczej, a ale również jako miejsce życia, pracy i wypoczynku dużej części społeczeństwa, na obszarach tych znajdują się też najważniejsze strefy chronionej przyrody. Według „Strategii zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa na lata 2012-20” przyjętej Uchwałą Rady Ministrów [1] „...*obszary wiejskie w Polsce powinny być postrzegane poprzez pryzmat znajdujących się tam zasobów, które stanowią cenne, niepowtarzalne uzupełnienie zasobów zgromadzonych na obszarach miejskich...*”, jako obszary mające istotne znaczenie dla zrównoważonego rozwoju kraju. Skala problemów związanych z obszarami wiejskimi jest duża - obszary te stanowią bowiem ponad 90% powierzchni Polski, a mieszka tu prawie 40% ogółu ludności kraju.

Inny profil obecnie przyjmuje także budownictwo na obszarach wiejskich - ulegając przeobrażeniom wraz z zachodzącymi tu zmianami kulturowymi społeczeństwa wiejskiego oraz zmianami technologicznymi w rolnictwie.

Tradycyjna zabudowa wiejska była przede wszystkim zabudową zagrodową, a więc był to budynek mieszkalny w otoczeniu budynków gospodarczych: stodoły, obory, chlewni, kurnika. Charakterystyczne dla tej zabudowy był ścisły związek z regionem. Dotyczyło to zarówno formy, związanej z regionalnymi tradycjami jak i stosowanych miejscowych materiałów. Budynki na wsiach nie były okazałe i bogate. Ich konstrukcja była prosta, a materiały konstrukcyjne to przede wszystkim drewno, miejscowe kamienie i cegła. Wśród zabudowy wiejskiej, wyraźnie wyróżniały się wielkością karczmy, a wielkością i bardziej skomplikowaną konstrukcją – wiatraki, młyny, a także kościoły. Później pojawiły się murowane budynki przemysłu przetwórczego - cukrowni i gorzelni, a w drugiej połowie XX wieku – budynki produkcyjne, głównie inwentarskie, Państwowych Gospodarstw Rolnych.

W wielu regionach opisana wyżej zabudowa to obraz przeszłości, a tradycyjne budownictwo wiejskie oglądamy w skansenach. Jednak relikty takiego budownictwa występują jeszcze w uboższych regionach kraju.

Obecnie na terenach wiejskich dominuje zabudowa mieszkaniowa w postaci pojedynczych budynków lub osiedli wraz z budynkami służącymi usługom. Architektura budynków mieszkalnych jest raczej uniwersalna niż regionalna. Budynki gospodarcze należących niegdyś do PGR-ów próbuje się albo adaptować do wymagań współczesnych, albo wykorzystywać do pozarolniczej działalności gospodarczej. Wyraźna jest tendencja adaptacji istniejących budynków, nie tylko mieszkalnych, na ośrodki agroturystyczne. W związku z funkcją agroturystyczną pojawiają się także stadniny koni wraz z budynkami stajni.

Zabudowę mieszkalną na terenach wiejskich uzupełniają szklarnie, budynki gospodarcze w postaci wiat na sprzęt rolniczy, a w gospodarstwach z produkcją zwierzęcą – wielkopowierzchniowe budynki inwentarskie (obory, chlewnie, kurniki) i żelbetowe silosy na kiszonki. Na obszarach, gdzie dominuje produkcja roślinna charakterystycznymi obiektami budowlanymi są magazyny - stalowe silosy zbożowe, oraz magazyny owoców warzyw (w zależności od panującej w nich temperatury - przechowalnie, chłodnie lub

mroźnie). Ze względu na założenia „Polityki Energetycznej Polski do roku 2030” [2], aby w każdej gminie powstała biogazownia wykorzystująca procesy fermentacyjne tzw. biomasy (gnojowica, kiszonka, słoma) do wytworzenia biogazu i wyprodukowania energii elektrycznej, coraz częściej w krajobrazie wiejskim zobaczyć można żelbetowe cylindryczne zbiorniki biogazowi rolniczych z membranowymi przekryciami.

Dla rozwoju obszarów wiejskich niezwykle istotna jest też infrastruktura drogowa. I choć budowane tu drogi nie mają cech autostrad, gdzie projektowane i realizowane są wspaniałych wiadukty, tunele czy efektowne ślimakowe zjazdy, to znów zwrócić trzeba uwagę skalę - 88,5% wszystkich dróg publicznych w kraju stanowią drogi lokalne, w tym drogi powiatowe – 31% i gminne 57,5%. To drogi są czynnikiem warunkującym realizację jednego z celów szczegółowych postawionych w strategii [1], który brzmi: „*Poprawa warunków życia na obszarach wiejskich oraz poprawa ich dostępności przestrzennej*”.



Rys.1 Zabudowa na obszarach wiejskich: a) okolice Lublina „z lotu ptaka”, b) okolice Czersztyna

Przykładem zmian w odniesieniu do obiektów inżynierskich na obszarach wiejskich jest zmiana roli tzw. melioracji wodnych związanych nierozdzielnie z rolnictwem. Tradycyjnym pojęciem „melioracje wodne” określano działania polegające na regulacji stosunków wodnych na danym obszarze, a ich celem, w tradycyjnym rozumieniu, było ułatwienie uprawy i polepszenie zdolności produkcyjnych gleby, a także ochrona terenów rolniczych przed powodzią. Dziś punkt ciężkości jest przeniesiony na ten drugi cel – melioracje wodne powinny zwiększać bezpieczeństwo powodziowe. Służyć także mogą zadaniom gospodarczym np. budowlę piętrzącą wykorzystuje się do produkcji energii elektrycznej, a zbiorniki wodne do hodowli ryb. Współczesnym zadaniem obiektów gospodarki wodnej jest kształtowanie krajobrazu dla celów turystycznych i rekreacyjnych, oraz ochrona gleb i ekosystemów.

2. Specyfika obiektów budownictwa rolniczego

Ze względu na różnorodność technologii, które lokowane są obiektach budownictwa związanego z rolnictwem i przemysłem rolno-spożywczym, trudno mówić o dominującym rodzaju ich konstrukcji. Konstrukcja dostosowywana jest zarówno do wymagań użytkowych jak i do trudnych warunków korozyjnych panujących w tych obiektach. Obecnie obok tradycyjnych konstrukcji murowanych z różnych cegieł oraz konstrukcji z betonu, wykonuje się budynki o lekkiej konstrukcji szkieletowej (najczęściej stalowej), ze ścianami i przekryciem z płyt warstwowych. Coraz częściej wykorzystuje się także konstrukcje z drewna klejonego, a w szklarniach dominuje aluminium. Dodatkowe zalety takich rozwiązań to szybki i tani montaż oraz niskie koszty eksploatacji przy zachowaniu wymaganych standardów higienicznych.



Rys. 2 Obiekty budownictwa rolniczego; a) silosy zbożowe, b) szklarnia

Charakterystyczne jest, że na rynku związanym z obiektami rolniczymi dominują firmy wyspecjalizowane, które oferują kompleksowo zarówno lekką konstrukcję obiektu budowlanego jak i jego wyposażenie (dotyczy to np. szklarni, chłodni, silosów).

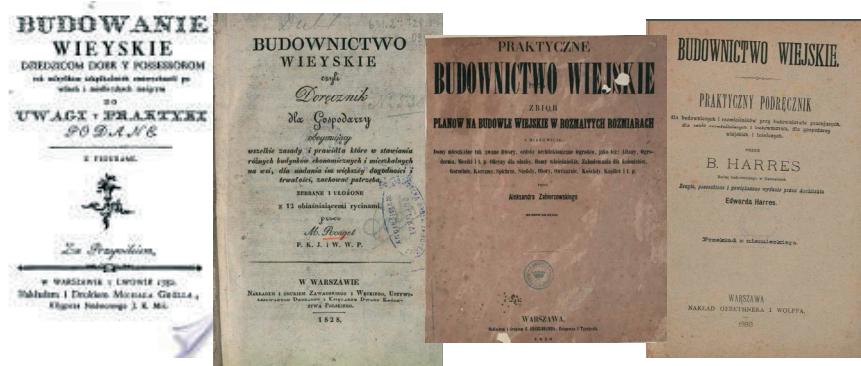
Wspomniane wyżej zagrożenia korozyjne wynikają ze specyfiki procesów technologicznych, które mają w tych obiektach miejsce. Szczególnie intensywne są one w budynkach inwentarskich, gdzie elementy konstrukcyjne narażone są na oddziaływanie odchodów zwierzęcych oraz w przechowaniach owoców z oddziaływaniem o charakterze najczęściej kwasowym.

Z kolei specyfika chłodni i mroźni wymaga zaprojektowania przegród budowlanych zgodnie z zasadami fizyki budowli, aby zapewnić w nich stałą, niską temperaturę. Natomiast szklarniach stosowane jest specjalne szkło szklarniowe zapewniające optymalne warunki dla wzrostu roślin.

Poważnym zagrożeniem w obiektach budownictwa rolniczego jest zagrożenie pożarowe. Jest ono następstwem dużego obciążenia ogniowego, wynikającego z jednej strony z dużej ilości znajdujących się wewnątrz tworzyw sztucznych (izolacja termiczna ścian i stropów, instalacje), ale także ze specyfiki materiałów znajdujących się wewnątrz obiektów (np. ściółka). Pożar jest szczególnie niebezpieczny w budynkach inwentarskich – ewakuacja zwierząt zwykle jest bardzo trudna jest, czasem wręcz niemożliwa (np. w kurnikach).

3. Budownictwo wiejskie i rolnicze – nauka i kształcenie specjalistów

Budownictwo wiejskie było przedmiotem opracowań technicznych i naukowo-technicznych wydawanych w języku polskim już od ponad dwóch wieków (rys.3). Jednym z pierwszych przykładów może być tu praca Piotra Świtkowskiego z roku 1782 pt. *„Budowanie wiejskie dziedzicom dóbr i possessorom toż wszystkim, jakążkolwiek zwierzchność po wsiach i miasteczkach mającym do uwagi i praktyki podane”*. Kolejna publikacja to *„Budownictwo wiejskie czyli Doręcznik dla gospodarzy obeymujący wszelkie zasady i prawidła które w stawianiu różnych budynków ekonomicznych i mieszkalnych na wsi, dla nadania im większy dogodności i trwałości, zachować potrzeba”* autorstwa Nikolasa Rouget’a wydany w roku 1828. Franciszek K.Giżycki był autorem wydanej w roku 1829 pracy *„Budownictwo zastosowane do potrzeb ziemiania polskiego: ze sturycinami, przedstawiającemi wzory różnych budynków, i posady wiosek, folwarków i siedlisk włościańskich”*. W roku 1858 ukazała się praca Aleksandra Zabierzowskiego pt.: *„Praktyczne budownictwo wiejskie: zbiór planów na budowie wiejskie w rozmaitych rozmiarach a mianowicie: domy mieszkalne tak zwane dwory, ozdoby architektoniczne ogrodów, jako też: altany, ogrodzenia, mostki itp. oficyny dla służby, domy włościańskie, zabudowania dla kolonistów, gorzelnie, karczmy, spichrze, stodoły, obory, owczarnie, kościoły, kaplice i t.p.”*. W drugiej połowie XIX wieku ukazały się także dwa wydania tłumaczonej z języka niemieckiego pracy Edwarda Harresa Pt. *„Budownictwo wiejskie. Praktyczny podręcznik dla budowniczych i rzemieślników przy budownictwie pracujących, dla szkół rzemieślniczych i budownictwa, dla gospodarzy wiejskich i leśniczych”*.



Rys. 3. Podręczniki budownictwa wiejskiego wydane w języku polskim w XVIII i XIX wieku

Odbudowa wsi zniszczonych działaniami wojennymi I wojny światowej stała się na tyle problemem społecznym, że do szerzenia wiedzy o budownictwie rolniczym, jeszcze w czasie trwania wojny włączyły się organizacje społeczne i osoby indywidualne (rys.4). Komitet Obywatelski Odbudowy Wsi i Miast w Krakowie opublikował w roku 1915 cykl wzorników architektonicznych: „*Odbudowa polskiej wsi*”, w którym znalazły się projekty ofiarowane nieodpłatnie przez polskich architektów. Do akcji tej włączyli się również naukowcy - w roku 1915 powstała praca: „*O włościańskich budynkach gospodarczych*”, której autorem był Tomasz Rylski – były profesor Wyższej Szkoły Rolniczej w Dublinach (jedyna wyższa uczelnia rolnicza na ziemiach polskich pod zaborem mająca status Akademii Rolniczej, przekształcona po I wojnie światowej w Wydział Rolniczo-Lasowy Politechniki Lwowskiej). Kolejna praca powstała w przededniu odzyskania niepodległości Polski. Karol Iwanicki - uznany i szanowany projektant wielu gmachów urzędowych napisał podręcznik traktujący o budownictwie wiejskim. Książkę opatrzył dedykacją „*Odbudowującej się Ojczyźnie – cegiełka do Jej gmachu.*”. Powstał też opracowany w roku 1919 przez inżyniera architekta Józefa Holeczyńskiego „*Budownictwo wiejskie - Podręcznik praktyczny dla właścicieli ziemskich*” oraz trzytomowe dzieło napisane w 1922 roku przez inżyniera Stanisława Turczynowicza: „*Budownictwo wiejskie: roboty ziemne-materiały budowlane i ich łączenie-budowle wiejskie*”.

Po drugiej wojnie światowej podręczniki traktujące o budownictwie wiejskim i rolniczym wydawane były przez najważniejsze ówczesne oficyny wydawnicze – Arkady i PWN. Największa ich liczba wydana została w latach 70-tych XX wieku (przykłady: *Budownictwo rolnicze* - praca zbiorowa pod kierunkiem doc.dr hab.inż. Zdzisława Witebskiego, XI tom „*Budownictwa betonowego*” – „*Budownictwo wiejskie*” napisany pod kierunkiem profesora Wincentego Michniewicza lub cykl prac Józefa Lenarda ze współautorami, traktujących o różnych obiektach budynków związanych z rolnictwem, w szczególności o budynkach inwentarskich).



Rys. 4 Książki traktujące o budownictwie wiejskim z okresu odbudowy po zniszczeniach I wojny światowej

Po okresie przemian ustrojowych charakter podręczników traktujących o budownictwie wiejskim i rolniczym zmienił się, podobnie jak zmieniło się samo rolnictwo. Od lat 90-tych XX wieku powstawały jedynie skrypty uczelni rolniczych, traktujące raczej o poszczególnych typach budynków rolniczych (oborach, chlewniach, szklarniach, silosach na kiszonki) w nawiązaniu do technologii danego obiektu, która odgrywa rolę dominującą. Podobną tendencję zaobserwować można w badaniach naukowych, które realizowane są głównie w uczelniach rolniczych – najważniejsza jest technologia, dla której jedynie „obudową” są budynki.

Obecnie w strukturze nielicznych polskich uczelni technicznych i rolniczych występują jednostki zajmujące się architekturą czy budownictwem wiejskim. Dominują jednostki związane z architekturą krajobrazu. Wyspecjalizowane jednostki naukowe w dyscyplinie „Architektura” działają na Politechnice Krakowskiej i Wrocławskiej (Zakłady Architektury i Planowania Wsi). Jeśli chodzi o dyscyplinę „Budownictwo”, w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego funkcjonuje Katedra Inżynierii Budowlanej, na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu - Instytut Budownictwa, na Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie - Katedra Budownictwa Wiejskiego, na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu - Katedra Mechaniki Budowli i Budownictwa Rolniczego oraz a na Uniwersytecie Przyrodniczym Lublinie - Katedra Melioracji i Budownictwa Rolniczego. Oprócz tego na większości uczelni rolniczych działają jednostki zajmujące się problemami melioracji.

Badania naukowe z zakresu budownictwa rolniczego prowadzi także Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach. Prowadzi on badania naukowe i prace rozwojowe oraz działalność wdrożeniową, doradczą, szkoleniową i wynalazczą z zakresu m.in. ochrony, użytkowania, kształtowania krajobrazu i infrastruktury obszarów wiejskich oraz innowacyjnych, kompleksowych technologii w infrastrukturze technicznej wsi. Przedmiotem prac są m.in. inżynieria wodno-melioracyjna oraz budownictwo wiejskie i drogi rolnicze. Funkcjonuje tu Zakład Eksploatacji Budownictwa Wiejskiego. Jego kierunki badań to m.in. kształtowanie elementów funkcjonalnych, technologicznych i konstrukcyjnych budynków i budowli rolniczych; modelowanie rozwiązań przykładowych obiektów; kształtowanie elementów infrastruktury obiektów i zagród gospodarstw specjalistycznych.

Kształcenie specjalistów z zakresu budownictwa wiejskiego i rolniczego odbywa się głównie w uczelniach rolniczych. Kierunek studiów „Budownictwo” prowadzony jest w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, a według jego programu „...absolwenci są przygotowani do podejmowania zadań w zakresie problematyki budownictwa ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki budownictwa na terenach wiejskich i osiedlowych...”. Kierunek „Budownictwo” prowadzony jest również na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu, przy czym studenci mogą wybrać tu specjalność „Budownictwo rolnicze”. Na Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie nie ma wyróżnionego kierunku, wykładany jest natomiast przedmiot „Budownictwo wiejskie”, a na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie studiować można kierunek „Infrastruktura techniczna obszarów wiejskich”.

4. Budownictwo na obszarach wiejskich – perspektywy

W strategii [1] postawiono cel główny: „Poprawa jakości życia na obszarach wiejskich oraz efektywne wykorzystanie ich zasobów i potencjałów, w tym rolnictwa i rybactwa, dla zrównoważonego rozwoju kraju”. Dwa cele szczegółowe: drugi - „Poprawa warunków życia na obszarach wiejskich oraz poprawa ich dostępności przestrzennej” oraz czwarty: „Wzrost produktywności i konkurencyjności sektora rolno-spożywczego rolno-spożywczego” są wyraźnie ukierunkowane na intensyfikację inwestycji, szczególnie w zakresie infrastruktury na obszarach wiejskich oraz inwestycji w rolnictwo i przemysł rolno-spożywczy.

Inwestycje na obszarach wiejskich to nie tylko szansa dla tych obszarów. Można postawić tezę odwrotną – inwestycje na terenach wiejskich są szansą dla budownictwa, dla firm projektowych i wykonawczych, producentów materiałów budowlanych.

Co prawda obiekty budowlane na terenach wiejskich nie są spektakularne pod względem architektury, pokonywanych rozpiętości czy rekordowych wysokości, wymagają jednak specyficznych rozwiązań architektonicznych i materiałowych. Nie powinny być więc traktowane jak obiekty budowlane drugiej kategorii – są różnorodne a ich projektowanie wymaga rozwiązania szeregu problemów. Technologia produkcji rolnej i przetwórczej wymusza stosowanie specyficznych rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych, które sprostają trudnym warunkom środowiska wewnętrznego – trudnym zarówno pod względem fizyki budowli, zagrożenia korozyjnego oraz zagrożenia pożarowego.

Budownictwo rolnicze stwarza także szerokie możliwości badawcze zwłaszcza w zakresie materiałów pracujących w specyficznych warunkach (np. szkło do szklarni, płyty warstwowe i kompozytowe do chłodni), a także wykorzystywania materiałów miejscowych i odpadów zmniejszających kosztochłonność inwestycji.

Materialy

- 1 Strategia zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa” na lata 2012–2020, Uchwała RM z dnia 25.04.2012r (MP z dn. 9 XI 2012 r., Poz.839)
- 2 Polityka Energetyczna Polski do roku 2030, Uchwała RM z dnia 10.XI.2009 (MP 2/2009 poz. 11)