



System ochrony i odnowy biologicznie czynnej powierzchni ziemi w Polsce

redakcja
Jan Siuta
Gabriel Borowski



Lublin 2019

System ochrony i odnowy biologicznie
czynnej powierzchni ziemi w Polsce

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Inżynierii Środowiska
ul. Nadbystrzycka 40B
20-618 Lublin

System ochrony i odnowy biologicznie czynnej powierzchni ziemi w Polsce

redakcja

Jan Siuta

Gabriel Borowski



Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
Lublin 2019

Recenzent:

Prof. dr hab. Bogusław Sawicki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wydanie monografii naukowej pt. „System ochrony i odnowy biologicznie czynnej powierzchni ziemi w Polsce” – zadanie finansowane w ramach umowy 698/P-DUN/2019 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



Publikacja powstała przy współpracy z Lubelskim Oddziałem
Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska, 2019

ISBN 978-83-7947-381-6

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej

www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa

ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin

tel. 81 538-46-59

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatom.pl

Spis treści

Nota redakcyjna	9
Wprowadzenie	11
Część I. Polskie dylematy scalania gruntów i urządzania terenów wiejskich	17
<i>Jan Siuta, Bogusław Żukowski</i>	
Scalanie gruntów	19
<i>Jan Siuta, Bogusław Żukowski</i>	
Zalesianie nieużytków i nieefektywnych gruntów rolnych niezbędne w ochronie i odnowie biologicznej czynnej powierzchni ziemi w Polsce ..	41
Część II. Biologiczna rekultywacja gruntów w górnictwie odkrywkowym	57
<i>Jerzy Wójcik, Wojciech Krzaklewski</i>	
Leśna rekultywacja gruntów w górnictwie węgla brunatnego	59
<i>Jan Siuta</i>	
Fenomen degradacji środowiska naturalnego, technicznej i biologicznej rekultywacji gruntów przekształconych oraz wielofunkcyjne ich zagospodarowania w Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”	79
<i>Mirosława Gilewska, Krzysztof Otremba</i>	
Wybrane aspekty rekultywacji rolniczej gruntów pogórnicznych Kopalń Węgla Brunatnego „Konin” i „Adamów”	91
Część III. Rola procesów naturalnych w biologicznej rekultywacji nieużytków przemysłowych	103
<i>Agnieszka Hutniczak, Gabriel Borowski, Gabriela Woźniak</i>	
Pojęcie rekultywacji w naukach biologicznych wobec nowych wyzwań środowiskowych	105
<i>Kazimierz Henryk Dyguś</i>	
Roślinność wieloletniego doświadczenia na modelowym złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej w latach 2005–2017	115

Jadwiga Sienkiewicz, Kazimierz Henryk Dyguś

Rola roślinności spontanicznej i wspomaganej i wspomaganej
w rekultywacji nieużytków przemysłowych – szlasy posodowe 129

Jan Siuta

Chemiczne i fizyczne właściwości złóż wapna posodowego w Janikowie
warunkują wzrost oraz strukturę przestrzenną samosiewnej roślinności 150

Jan Siuta

Transformacja ekosystemu łąkowego (koszonego) do antropogenicznego
użytku ekologicznego przyrody chronionej na zrehabilitowanym gruncie
składowiska odpadów Janikosody 157

*Łukasz Radosz, Karolina Ryś, Damian Chmura, Agnieszka Hutniczak,
Gabriela Woźniak*

Rola fauny glebowej w różnicowaniu roślinności na zwałowisku
karbońskiej skały płonnej 165

*Karolina Ryś, Łukasz Radosz, Agnieszka Kompała-Bąba, Agnieszka Błońska,
Agnieszka Hutniczak, Gabriela Woźniak*

Uziarnienie podłoża, jako czynnik różnicujący zbiorowiska roślinne
występujące na zwałowiskach karbońskiej skały płonnej 175

**Część IV. Techniczne i biologiczne oczyszczanie ziemi i wód
gruntowych 185**

Agnieszka Wolniewicz, Józef Czechowski, Tomasz Kaliszewski, Roman Marecik

Przegląd metod remediacji i praktyczne zastosowanie bioremediacji
w likwidacji zanieczyszczeń węglowodorami 187

Jan Siuta

Przymowy sposób biologicznej sanitacji ziemi zaolejonej 195

Część V. Innowacyjne technologie przetwarzania odpadów na nawozy ... 213

Jan Łabętowicz, Wojciech Stępień, Monika Kobiałak

Technologie przetwarzania odpadów na nawozy agroekologicznej
użyteczności 215

Jan Siuta

Przetwarzanie komunalnych osadów ściekowych oraz roślinnych
i zwierzęcych odpadów na nawozy agroekologicznej użyteczności
jako przyrodniczo-gospodarcza, sanitarna i cywilizacyjna konieczność 230

Janusz Zakrzewski, Tomasz Chabelski

Technologia przetwarzania odpadów organicznych na nawozy
organiczno-wapniowe oraz ich dystrybucja i plonotwórcza efektywność .. 232

*Łukasz Kulikowski, Edward Kulikowski, Karolina Gręda-Stempel,
Jacek Kiepuski*

Wytwarzanie, właściwości i wielofunkcyjne użytkowanie hydrożeli
z uwzględnieniem zwiększonej dostępności wody i składników
pokarmowych dla roślin 254

*Łukasz Kulikowski, Edward Kulikowski, Karolina Gręda-Stempel,
Jacek Kiepuski*

Mobilna technologia przetwarzania komunalnych osadów ściekowych
na nawozy agroekologicznej użyteczności 272

Jan Gładki

Innowacyjna technologia marki FLUID uwęglania biomas i nawozowe
użytkowanie biowęgla 285

Część VI. Agrochemiczne właściwości gleb rolniczych 303

Wojciech Lipiński

Agrochemiczne właściwości gleb użytkowanych rolniczo 305

Zygmunt Adrianek

Badania stanu zakwaszenia gleb w kształtowaniu regionalnych polityk
rolno-środowiskowych 321

Nota redakcyjna

W monografii zamieszczone zostały prace zgłoszone na Krajową Konferencję Naukową „System ochrony i odnowy biologicznie czynnej powierzchni ziemi w Polsce”, która odbyła się w Kazimierzu Dolnym w dniach 17–18 września 2018 r. Dodatkowo, aby uzupełnić prezentowane wyniki badań, dołączono tematycznie powiązane nowe opracowania powstałe w wyniku dyskusji uczestników konferencji, a także wcześniej powstałe prace odpowiednio przeredagowane i zaktualizowane.

Treść monografii przedstawia ocenę stanu krajowych gleb, wraz z nakreśleniem niezbędnych profilaktycznych i naprawczych działań. Pokazano ponadto innowacyjne technologie przetwarzania odpadów organicznych i mineralnych na nawozy przydatne w rolnictwie. Książka składa się z dwudziestu dwóch rozdziałów napisanych przez wybitnych naukowców i doświadczonych praktyków, które pogrupowano w sześciu częściach tematycznych.

W części pierwszej przedstawiono problematykę scaleń gruntów rolnych poczynając od lat przedwojennych (1919–1938), a następnie w latach od 1948 do 2017. Stwierdzono gwałtowny spadek wykonywania prac scaleniovych od roku 1992. Wznowienie prac scaleniovych jest jednym z pilniejszych zadań stojących przed polskim rolnictwem. W pierwszej kolejności tymi pracami powinny być objęte gospodarstwa duże, których grunty często rozrzucone są w promieniu kilkudziesięciu kilometrów od siedziby gospodarstwa. W omawianej części stwierdzono również potrzebę zwiększenia lesistości na podstawie wyników badań procentowego niedoboru lasów w poszczególnych rejonach naszego kraju.

W części drugiej omówiono zagadnienia rekultywacji biologicznej bezglebów terenów pogórnich. Wykonanie odpowiednich zabiegów na tych terenach umożliwia odtworzenie ekosystemu leśnego. Oceniono wpływ składu gatunkowego zalesień rekultywacyjnych na wielkość akumulacji materii organicznej i azotu w inicjalnych glebach powstających na zwałowisku silnie zakwaszonych ciężkich utworów nadkładu kopalni węgla brunatnego. Stwierdzono, że najkorzystniej procesy rekultywacyjne przebiegały w utworach zalesionych olszą czarną.

W części trzeciej przedstawiono relacje pomiędzy bioróżnorodnością biologiczną, a czynnikami środowiskowymi na siedliskach sztucznych, takich jak np. zwałowiska pogórnice. Stwierdzono zaskakującą różnorodność spontanicznie rozwijającej się roślinności na terenach przemysłowych. Poznanie wzajemnych relacji na różnych poziomach różnorodności biologicznej pozwala lepiej zrozumieć mechanizmy funkcjonowania ekosystemów przemysłowych i przyczynia się do bardziej skutecznej rekultywacji tych terenów.

Część czwarta poświęcona jest metodom remediacji i ich zastosowaniu w likwidacji zanieczyszczeń, w szczególności węglowodorami. Ze względu na powszechność i dostępność substancji ropopochodnych, stanowią one najczęstszą przyczynę zanieczyszczeń środowiska gruntowo-wodnego. Stwierdzono, że metody biologiczne są obecnie najczęściej stosowane w likwidacji węglowodorów, zarówno w miejscu występowania zanieczyszczenia, jak również w procesach kompostowania prowadzonych na terenie zakładu utylizacji odpadów. Do biologicznego oczyszczania gleby i ziemi stosowane są biopreparaty na bazie mikroorganizmów autochtonicznych.

W części piątej przedstawiono innowacyjne technologie przetwarzania odpadów na nawozy stosowane w rolnictwie i ogrodnictwie. Spośród wielu kierunków przetwarzania odpadów szczególne miejsce mają technologie ukierunkowane na przyrodnicze ich wykorzystanie, głównie na cele nawozowe i poprawę właściwości gleb użytkowanych rolniczo. Technologie przetwarzania odpadów na nawozy są zasadniczo odmienne dla odpadów organicznych i odpadów nieorganicznych. Przedstawione technologie umożliwiają niskonakładowe i mało inwazyjne przetwarzanie odpadów organicznych bezpośrednio w miejscu ich powstawania.

W części szóstej omówiono rolę współczesnych badań agrochemicznych, która wynika z polityk i strategii regionalnych, krajowych i międzynarodowych. Badania agrochemiczne stanowią podstawę zrównoważonego gospodarowania składnikami mineralnymi. Podejmowane prace mają związek z zadaniami rozwoju zrównoważonego na rzecz działalności rolniczej, w połączeniu z racjonalną gospodarką surowcami w zakresie produkcji żywności o wysokich walorach jakościowych. Przedstawiono, między innymi, wpływ wapnowania i nawożenia mineralnego na zawartość metali w przykładowych uprawach. Stwierdzono zmniejszenie zawartości niektórych metali w bulwach ziemniaka pod wpływem wapnowania.

Podsumowując, podjęte w monografii zagadnienia pokazują, że w naszym kraju znaczne wzrosło zainteresowanie wykorzystaniem odpadów organicznych i przemysłowych na cele rolnicze. Procesy przetwarzania tych odpadów, dzięki wdrożonym innowacyjnym technologiom, przynoszą coraz lepsze efekty. Treść monografii jest zatem w pełni aktualna, o dużym znaczeniu poznawczym, co zapewne zainspiruje naukowców i inżynierów do dalszych poszukiwań sposobów rekultywacji oraz przekształcania odpadów na użyteczne produkty.

Gabriel Borowski

Wprowadzenie

Inżynieria ekologiczna

Inżynieria ekologiczna to wielodyscyplinowa wiedza teoretyczna i stosowana niezbędna w projektowaniu, urządzaniu i użytkowaniu struktur przestrzennych, stanowiąca podstawę racjonalnego użytkowania i ochrony środowiska naturalnego oraz naturalnych i antropogenicznych zasobów.

Zręby inżynierii ekologicznej są najstarszymi dziedzinami nauk technicznych i ekologicznych. Inżynieria ekologiczna nie zastępuje ani nie pokrywa się z żadną inną dyscypliną nauki. Ze względu na wielodyscyplinowość, trudno jest wyznaczyć jej granice, gdyż etnograficzne, prawne, ekonomiczne, społeczne, przyrodnicze dyscypliny nauki mają w niej znaczący udział.

Niewyczerpalnym źródłem historycznych danych w tym zakresie w skali światowej jest publikacja Erika P. Eckholma pt. „Ziemia, którą tracimy. Stres środowiskowy, a perspektywy wyżywienia świata”, wydana przez Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1978.

Warto przytoczyć fragmenty przedmowy Maurice F. Stronga, Dyrektora ONZ-towskiego Programu Ochrony Środowiska: „Podczas przygotowania do ONZ-towskiej Konferencji w Sprawie Środowiska Człowieka, jaka odbyła się w Sztokholmie w czerwcu 1972 r., zwrócono się do rządów poszczególnych krajów i do kół naukowych, aby pomogły ustalić i ocenić ewentualne problemy środowiska, które powinny być przedmiotem zainteresowania i działań podejmowanych przez społeczność międzynarodową. Przegląd raportów krajowych i studiów naukowych przygotowanych w związku z tą konferencją jasno wykazały, że utrata produktywnych gruntów następująca wskutek erozji, zasolenia, pustoszenia i innych konsekwencji ekologicznie niewłaściwego użytkowania ziemi jest uważane za jeden z głównych problemów środowiskowych, wobec którego stoi znaczna liczba krajów, a zwłaszcza krajów rozwijających się. Dla wielu z tych obszarów nie było to problemem nowym (...). Nowymi aspektami problemu, ujawnionymi w świetle dokumentacji zgromadzonej dla Konferencji Sztokholmskiej, okazały się właśnie jego prawdziwa skala i znaczenie oraz stopień intensyfikacji nacisku wywieranego na produktywnie grunty tych obszarów, które najbardziej odczuwają potrzebę szybkiego zwiększania produkcji żywności. Niniejsza publikacja dokonuje systematycznego przeglądu i analizy sytuacji prowadzących do ekologicznego naruszania naszych wrażliwych systemów żywicielskich. Przedstawia konkretne przykłady poważnej ekologicznej degradacji będącej następstwem deforestacji, nadmiernego wypasu, erozji gleb i porzucania gruntów, pustoszenia, zamulania

kanalów i zbiorników nawadniających oraz zmian częstotliwości i zasięgu powodzi. We wszystkich tych przypadkach rosnąca siła presji człowieka na otaczające go ziemie oraz kontynuowanie nierozważnych i krótkowzrocznych sposobów jej użytkowania łączą się ze skutkami takich zjawisk naturalnych, jak susze i powodzie, doprowadzając często do tego, że przejściowe trudności przez te zjawiska spowodowane, zamieniają się w klęskę na wielką skalę (...). Wiele poruszanych zagadnień figuruje na czołowych miejscach w planach działania ONZ-towskiego Programu Ochrony Środowiska [UNEP] (...). Jednym z tych przejawów jest poparcie, jakiego UNEP udzielił przygotowaniu i opublikowaniu niniejszej książki przez Worldwatch Institute”.

Trafna i dobrze umotywowana analiza istoty i rozmiarów zagrożenia przyszłej światowej podaży żywności, przedstawiona przez E.P. Eckholma, dostarcza nieodpartych argumentów przemawiających za pilnością międzynarodowej współpracy w dziedzinie likwidowania tego zagrożenia. Treść książki dotyka sedna problemu ludzkiej egzystencji i daje wyraźnie do zrozumienia, że rozstrzygnięcie tego problemu będzie zależało od tego, co narody i ich rządy uczynią – lub nie uczynią – w obecnym momencie naszych dziejów.

Geneza, cele i zadania Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej (PTIE)

Prekursorem PTIE był Komitet Naukowo-Techniczny Kształtowania i Ochrony Środowiska, powołany w 1972 r. przez Zarząd Główny NOT, któremu przewodniczyli dr inż. Henryk Janczewski w latach 1972–1984, oraz prof. dr hab. Jan Siuta w latach 1984–1999. Rosnące zadania w ochronie i racjonalnym użytkowaniu środowiska naturalnego oraz jego zasobów uświadomiły liderom Komitetu potrzebę i zasadność powołania wyodrębnionej organizacji. Inżynierię ekologiczną uznano za najbardziej adekwatną dla tej organizacji. Założycielami Towarzystwa byli głównie członkowie Komitetu.

Szybki wzrost liczby członków Towarzystwa zawdzięcza się znacznemu poparciu wielu członków SNT NOT różnych zawodów oraz firm i organizacji społecznych. Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej zarejestrowano w dniu 18 maja 1999 r., w Sądzie Wojewódzkim w Warszawie.

Celem i zadaniem Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej są działania na rzecz ekologicznego rozwoju, poprzez ochronę środowiska naturalnego oraz racjonalne użytkowanie zasobów naturalnych i wytworzonych przez człowieka.

Zasadność powołania PTIE została potwierdzona w informatorze „Kto jest kim w inżynierii ekologicznej”, którego pierwsze wydanie ukazało się w roku 1992. Zamieszczono w nim oferty 171 ekspertów oraz 48 proekologicznych firm i organizacji społecznych. W kolejnym wydaniu, w roku 1999 zamieszczono 540 ofert ekspertów oraz 583 firm i organizacji społecznych. W latach 1992–2000 opublikowano łącznie 1703 ofert specjalistów oraz 538 firm i organizacji społecznych.

Wśród ekspertów nauk przyrodniczych, technicznych i innych było 161 profesorów powszechnie znanych i cenionych (jak na przykład prof. dr hab. J.K. Buzek).

W roku 1992 odbyło się w Opolu krajowe sympozjum „Ekologiczne problemy w energetyce węglowej”, którego głównym celem było wyspecyfikowanie i przedyskutowanie ekologiczno-technicznych uwarunkowań projektowania, budowy i eksploatacji elektrowni węglowych. Celem, pierwszoplanowym dla aglomeracji opolskiej było przeanalizowanie wieloczynnikowego wpływu kontynuowania budowy Elektrowni Opole na środowisko przyrodnicze i społeczne. Było to konieczne ze względu na obawy społeczności lokalnej wraz ze zdecydowanym sprzeciwem kontynuacji budowy Elektrowni. Obrady były otwarte dla społeczności opolskiej. Merytoryczna dyskusja przyczyniła się do złagodzenia obaw ludności, umożliwiając kontynuowanie budowy Elektrowni.

Genezę i działalność Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej opublikowano w Przeglądzie Technicznym w roku 2017, nr 14–15 i nr 16–19.

Jak inżynieria ekologiczna przyczyniła się do kontynuowania budowy i rozwoju Elektrowni Opole oraz do gospodarczego rozwoju obszaru

Dynamiczno-emocjonalny proces transformacji społeczno-politycznego i gospodarczego systemu inspirował jej liderów do likwidowania zaawansowanych inwestycji przemysłowych – potencjalnie uciążliwych dla środowiska i społeczności lokalnych. Liderzy takich opcji zyskiwali społeczny aplauz, mimo poniesionych już bardzo dużych nakładów finansowych z jednej strony oraz potencjalnych możliwości modernizacji technologii produkcji oraz instalowania wysokosprawnych instalacji służących ochronie środowiska z drugiej strony.

Zasadność kontynuowania budowy Elektrowni Opole, spełniającej nowoczesne wymogi technologiczne oraz wyposażonej w skuteczne instalacje ochrony środowiska została zakwestionowana przez wysoko postawionych „ideologicznych liderów ekologii”, wspieranych przez zaniepokojonych mieszkańców Opola. W tej sytuacji kierownictwo budowy Elektrowni Opole zleciło w lipcu 1991 r. Instytutowi Ochrony Środowiska w Warszawie opracowanie „Kompleksowej oceny oddziaływania Elektrowni Opole na środowisko”.

Autorzy kompleksowej oceny uznali, że główne jej treści powinny być udostępnione i przedyskutowane nie tylko w wąskim gronie specjalistów i odpowiednich służb ochrony środowiska, lecz także z odpowiednio dużym udziałem stron ekologicznego konfliktu. Kierownictwu Elektrowni Opole zaproponowano więc zorganizowanie publicznej debaty na temat „Ekologiczne problemy w energetyce węglowej w celu omówienia inżynieryjno-ekologicznych aspektów kontynuacji budowy i eksploatacji opolskiej Elektrowni z udziałem społeczności lokalnej”.

Merytoryczno-organizacyjną część sympozjum zorganizował i przeprowadził Zarząd Główny Polskiego Towarzystwa Ekologicznego w dniach 5 i 6 czerwca 1992 r.

w Opolu. Inżynieryjne zagadnienia w energetyce węglowej wzbudziły nieoczekiwanie duże zainteresowanie. Wśród 140 uczestników sympozjum było 26 pracowników Elektrowni Opole. Pozostali reprezentowali głównie Energoprojekt, Energopomiar, elektrownie węglowe, politechniki, WAT w Warszawie, WSP w Opolu, AR we Wrocławiu, KUL w Lublinie, instytuty naukowe, IPIŚ PAN w Zabrze, IOŚ w Warszawie, WIOŚ w Opolu i kilku innych województwach. Obecni byli doradca Ministra Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, członkowie PTE oraz wielu firm proekologicznych.

W pierwszej części sympozjum uczestnicy zwiedzili główne technologiczne obiekty oraz urządzenia ochrony środowiska Elektrowni, w tym składowisko odpadów paleniskowych.

Teoretycznej części poświęcono dwie sesje:

- dnia 5 czerwca przewodniczył prof. dr hab. Jan Siuta, Prezes ZG PTIE,
- dnia 6 czerwca przewodniczył prof. dr hab. Jerzy Pośpiech, Rektor WSP w Opolu.

Wygłoszono i przedyskutowano następujące referaty:

- Problemy ochrony środowiska w energetyce – Damazy Laudyn,
- Bariery ekologiczne w projektowaniu i budowie Elektrowni Opole – Józef Pękała, Stefan Kuśmierczyk,
- Prawno-administracyjne i społeczne aspekty budowy Elektrowni Opole – Zbigniew Figas,
- Prognoza wpływu Elektrowni Opole na jakość powietrza atmosferycznego – Mariusz Miłułka, Jacek Iwanek,
- Wpływ Elektrowni Opole na wody podziemne – Jan Malinowski,
- Stan i perspektywa degradacji środowiska w rejonie Elektrowni Opole – Barbara Łącka-Pilaszek,
- Wpływ popiołów lotnych z węgla kamiennego na środowisko wodne – Bolesław Broś,
- Gospodarka odpadami paleniskowymi Elektrowni Opole – Zbigniew Bałdys, Grzegorz Toma,
- Lokowanie odpadów paleniskowych w górnictwie węgla kamiennego – Roman Król,
- Kierunki zagospodarowania ciepła odpadowego wód zrzutowych z elektrowni – Czesława Rosik-Dulewska,
- Zadania inżynierii ekologicznej w energetyce – Jan Siuta.

Wypowiedzi zgłoszone na piśmie:

- Monitoring wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów – Albin Dendewicz,
- Efekty ekologiczne i ekonomiczne wzbogacania węgla dla energetyki – Władysław Matlak,
- Likwidacja emisji związków siarki do atmosfery w układach parowo-gazowych – Jadwiga Pasynkiewicz,

- Odsiarczanie spalin metodą pól suchą – Stefan Ermich,
- Skutki wprowadzania suchego odpopielania i instalacji odsiarczania spalin na gospodarkę wodno-ściekową – Stefan Majkowski,
- Aspekty deponowania odpadów paleniskowych Elektrowni Opole w wyrobiskach marglowych – Jan Jaremski,
- Bariery ekologiczne dla myśli ekologicznej w nauce – Adam Biela,
- Wypowiedź do protokołu – Jan Malinowski.

Głównym celem „Symposium” było wyspecyfikowanie i wszechstronne przeanalizowanie ekologicznych uwarunkowań projektowania, budowy i eksploataowania elektrowni węglowych. Celem wtórnym, ale pierwszoplanowym dla aglomeracji opolskiej, było przeanalizowanie wieloczynnikowego wpływu budowy i eksploatacji Elektrowni Opole na przyrodnicze i społeczne środowisko. Długotrwała budowa Elektrowni zaprojektowanej i zapoczątkowanej w minionej „epoce społeczno-ekologicznej i prawnej”, której kontynuacja musi spełnić nie tylko aktualne i przyszłe wymogi prawa ekologicznego, ale przede wszystkim przezwyciężyć obawy wyczulonej społeczności z jej nieufnością włącznie.

Przetrawanie budowy Elektrowni akceptowanej na przyszłość przez lokalną społeczność i prawo ekologiczne zawdzięcza się wytrwałości w działaniu czterech grupowych partnerów:

- inwestora i projektantów,
- opolskiej społeczności,
- państwowej administracji ekologicznej,
- naukowo-technicznym ekspertom ekologicznym.

Niezależnie od ostrości konfrontacji poglądów i prawno-administracyjnych kolizji wymienione grupy współdziałały na rzecz osiągniętego i przyszłego ekologicznego postępu w całej opolskiej aglomeracji. Nigdy wcześniej nie było sposobniejszej okoliczności do gremialnego spotkania przedstawicieli odnośnych grup i odbycia merytorycznej i zrównoważonej analizy kompleksu zagadnień. Spełnienie przez inwestora głównych wymogów prawa ekologicznego i społecznych postulatów oraz sporządzenie „Kompleksowej oceny wpływu Elektrowni Opole na środowisko” dało merytoryczną i moralną podstawę do zorganizowania „forum rzeczowej dyskusji dla wszystkich”.

Zamierzonym i jak się wydaje także osiągniętym celem „Symposium” było też wypracowanie platformy dla partnerskiej dyskusji wszystkich zainteresowanych stron w ochronie i racjonalnym użytkowaniu środowiska na określonym terenie.

Budowa bloków energetycznych o łącznej mocy 1800 MW w Elektrowni Opole

W latach 1993–1997 oddano do eksploatacji i zsynchronizowano z Krajowym Systemem Elektroenergetycznym cztery bloki energetyczne o łącznej mocy zainstalowanej 1492 MW (po modernizacjach). W roku 1998 zakończono inwestycję, ale nie zrealizowano zaprojektowanych dwóch ostatnich bloków energetycznych

elektrowni. Różne okoliczności nie pozwalały na „dokończenie” inwestycji. Do końca nie pogodzono się z tą decyzją i ciągle poszukiwano sposobów sfinansowania i realizacji bloków nr 5 i 6.

W dniu 15 lutego 2014 r. ruszyła budowa nowych bloków energetycznych. Prowadziła ją spółka PGE Polska Grupa Energetyczna – największy koncern energetyczny w kraju. Koszt inwestycji wynosił ponad 11 miliardów złotych. Większość tych pieniędzy została w Polsce. Z 1000 zamówień 800 trafiło do krajowych przedsiębiorstw. Na budowie codziennie pracowało ponad 4,5 tysiąca ludzi.

Nowe bloki energetyczne potrzebują do produkcji prądu 4 milionów ton węgla kamiennego rocznie, który przywożony jest ze Śląska. Łączna moc elektrowni wynosi 1800 MW, co równe jest 12,5 TWh energii elektrycznej rocznie. To wystarczy, żeby zaspokoić potrzeby 4 milionów polskich gospodarstw domowych. Elektrownia Opole jest obecnie trzecią największą elektrownią w kraju, a produkcja energii osiąga 8% całego zapotrzebowania.

PGE Polska Grupa Energetyczna postawiła na nowoczesne technologie. Ma to ogromny wpływ na czystość powietrza. Ilość dwutlenku węgla z nowych instalacji zmniejsza się o 20%. Uruchomienie bloku nr 5 nastąpiło w maju 2018 r., natomiast bloku nr 6 we wrześniu 2019 r. Ich żywotność jest szacowana na 200 tysięcy godzin, czyli będą pracowały co najmniej do 2053 roku – przez 35 lat.

Rządowe wcielenie do miasta Opola gospodarczo rozwiniętego obszaru elektrowni, która miała być wieloczynnikowym zagrożeniem dla tego miasta, potwierdza zasadność dalszego jej rozwoju.

Jan Siuta

CZĘŚĆ I

Polskie dylematy scalania gruntów
i urządzania terenów wiejskich

Scalanie gruntów

Jan Siuta¹, Bogusław Żukowski

1. Wprowadzenie

Ustrój agrarny odziedziczony przez państwo polskie po rządach zaborów: pruskiego, austriackiego i rosyjskiego, a także obszaru Królestwa Kongresowego opublikowano w „Geodezyjnych urządzeniach terenów rolnych” pod redakcją K. Dumańskiego [1969]. Zarys tej spuścizny zamieszczono w monografii pt. „Społeczno-gospodarcze i prawne uwarunkowania oraz efekty scalania gruntów w Polsce począwszy od 1918 roku” [Siuta i Żukowski 2015].

Poznanie specyfiki struktury agrarnej, ukształtowanej na obszarach wymienionych zaborów oraz byłego Królestwa Kongresowego jest zasadne, ponieważ negatywne i pozytywne ich następstwa odzwierciedlają się bardzo wyraźnie w aktualnej strukturze agrarnej oraz w rozwoju gospodarki i poziomie życia ludności wiejskiej. Odmienność tej spuścizny powinna być wyeliminowana w nieodległej przyszłości.

2. Scalenia gruntów rolnych w II Rzeczypospolitej Polskiej

Władze państwowe przywiązywały bardzo dużą wagę do likwidowania szachownicy gruntów chłopskich, czynnika warunkującego społeczno-gospodarczy rozwój terenów wiejskich. Kontynuując realizację scalania gruntów rozpoczętą przed rokiem 1918 uchwalono ustawę z dnia 31 lipca 1923 r. o scalaniu gruntów (Dz.U. Nr 92, poz. 718):

Art. 1. Grunty rozdrobnione i rozmieszczone w szachownicy oraz grunty nadmiernie zwężone ulegają scaleniu (komasacji) przez przekształcenie w obszary, odpowiadające wymogom prawidłowego gospodarowania, drogą wymiany gruntów między właścicielami według przepisów niniejszej ustawy. Za grunty rozdrobnione i rozmieszczone w szachownicę uważać należy działki jednego właściciela, oddzielone od siebie działkami innych właścicieli. Za grunty nadmiernie zwężone uważać należy z reguły działki, których długość przewyższa szerokość więcej niż 15 razy.

¹ Honorowy Prezes Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej, Instytut Ochrony Środowiska – PIB, ul. Krucza 5/11, 05-548 Warszawa

Art. 5. Grunty, podpadające pod art. 1 niniejszej ustawy, objęte jednym postępowaniem scaleniowym, tworzą obszar scalenia, który w zasadzie winien się mieścić w obrębie najmniejszej jednostki administracyjnej (wsi, gminy, bądź też jego części). W razie potrzeby wywołanej przez warunki topograficzne i gospodarcze, obszar scalania może obejmować kilka jednostek administracyjnych lub ich części.

Art. 6. Każdy z uczestników scalenia otrzymuje z obszaru scalania w zamian za dotychczas posiadane działki odpowiadającą ich wartości nową działkę gruntu o typie zbliżonym, w miarę możliwości, do typu poprzednio posiadanego kompleksu działek.

Art. 7. Przy scalaniu gruntów należy jednocześnie przeprowadzić z urzędu:

- a) likwidację wszelkich służebności;
- b) podział wspólnot gruntowych lub, o ile ze względów gospodarczych lub topograficznych podział ich pomiędzy współwłaścicieli jest niepożądanym, uregulowanie ich użytkowania;
- c) wyprostowanie granic poszczególnych jednostek administracyjnych lub ich części;
- d) wydzielenie gruntów na cele miejscowej użyteczności publicznej;
- e) melioracje skalanych gruntów niezbędne do ich racjonalnego zagospodarowania;
- f) regulację dróg, dojazdów przez doprowadzenie ich do stanu zwykłej użyteczności;
- g) parcelację prywatnych majątków w granicach ustawy o reformie rolnej, jeżeli tego wymagają potrzeby gospodarcze skalanych gruntów;
- h) ustalenie ogólnego planu rozbudowania tworzącej się na podstawie scalania jednostki administracyjnej.

Art. 9. Wdrożenie i przeprowadzenie scalenia gruntów oraz wydanie orzeczenia, zatwierdzającego scalenie, należy do urzędów ziemskich. Prawomocne orzeczenia urzędów ziemskich w postępowaniu scaleniowym, jak też zatwierdzone przez te urzędy ugody, mają moc prawną orzeczeń i ugód sądowych, względnie administracyjnych, o ile chodzi o sprawy administracyjne.

Wykonanie tych orzeczeń, względnie ugód, należy do właściwych władz. Uzgodnienie dokumentów katastralnych z wynikami scalenia należy do władz katastralnych.

Art. 11. Czynności nadzorcze przy scalaniu gruntów wykonują urzędy ziemskie bezpłatnie; natomiast za techniczne wykonanie scalenia oraz czynności, przewidziane w art. 7 ustawy niniejszej, urzędy ziemskie pobierać będą opłaty, których wysokość i sposób pobierania określi rozporządzenie wykonawcze.

Art. 12. Wymienione w art. 10 i 11 koszty przeprowadzenia scalenia gruntów ponoszą wszyscy uczestnicy scalenia w stosunku do obszaru ich gruntów, podlegających scaleniu.

Art. 27. Na podstawie stwierdzonego rzeczywistego stanu posiadania, klasyfikacji i oszacowania gruntów oraz regulacji praw, przynależnych gruntom skalanym, następuje opracowanie projektu scalenia. Projekt scalenia winien obejmować:

- a) sporządzone w formie wykazów ustalenie dotychczasowego stanu posiadania z wymienieniem gruntu i służebności gruntowych i wyszczególnienie wydzielonych w zamian gruntów oraz podlegających likwidacji służebności;

- b) wyszczególnienie warunków objęcia w posiadanie scalonych gruntów, jako to: dopłat pieniężnych (art. 6), przeniesienia zabudowań, utrzymania urządzeń melioracyjnych itp.;
- c) sporządzone według przepisów obowiązujących dowody pomiarowe dawnego i nowego stanu posiadania.

Art. 43. Z chwilą wejścia w życie niniejszej ustawy tracą moc prawną przepisy wszystkich ustaw w przedmiotach, uregulowanych niniejszą ustawą.

Art. 44. Postanowienia niniejszej ustawy mają zastosowanie do postępowań scaleniowych, wszczętych i nieukończonych przed wejściem w życie niniejszej ustawy, z tych postępowań w b. Królestwie Polskim, w których zapadły już decyzje przedstanowe okręgowych komisji ziemskich oraz wszystkich postępowań, wszczętych w b. dzielnicy pruskiej, które mają być ukończone według przepisów obowiązujących dotychczas.

Art. 46. Ustawa niniejsza zyskuje moc obowiązującą od dnia ogłoszenia na całym obszarze Rzeczypospolitej Polskiej, z wyjątkiem województwa śląskiego.

W roku 1925 wydano rozporządzenie Ministra Reform Rolnych z dnia 13 lutego 1925 r. o stosowaniu instrukcji technicznej do wykonywania prac pomiarowych, związanych z przebudową ustroju rolnego (Dz.U. Nr 29, poz. 205). W latach 1919–1939 scalono 5 422 329 ha gruntów (tab. 1). Najwięcej gruntów scalono w województwach: (rys. 1) białostockim 1 144 482 ha, wołyńskim 809 151 ha, nowogródzkim 703 548 ha, wileńskim 615 506 ha, poleskim 609 800 ha, lubelskim 585 234 ha. Najmniej gruntów scalono w województwach: pomorskim 753 ha, poznańskim 3165 ha, tarnopolskim 5281 ha, stanisławowskim 6550 ha, lwowskim 22 732 ha, krakowskim 49 992 ha.

Po wyzwoleniu Polski kontynuowano scalanie gruntów zapoczątkowane wcześniej na podstawie przepisów ustawy z dnia 31 lipca 1923 r. o scalaniu gruntów (dekret z dnia 14 kwietnia 1948 r. w sprawie dostosowania do warunków powstałych w związku z wojną zasad postępowania scaleniowego przewidzianego w ustawie z dnia 31 lipca 1923 r. o scalaniu gruntów). Do 1 stycznia 1948 r. scalono grunty w 299 obiektach o łącznej powierzchni 327,8 tys. ha obejmujących 72199 gospodarstw rolnych (tab. 2).

Najwięcej gospodarstw rolnych scaleniem gruntów objęto w województwach: kieleckim (21681), lubelskim (10650), łódzkim (9267), rzeszowskim (7303), krakowskim (6772), a najmniejsze w śląskim (149) i pomorskim (325).

3. Scalenia gruntów rolnych po 1944 r.

Pod rządami dekretu Polskiego Komitetu Wyzwolenia Narodowego z dnia 6 września 1944 r. o przeprowadzeniu reformy rolnej (Dz.U. Nr 4, poz. 17) nie scalano gruntów indywidualnych gospodarstw rolnych:

Art. 1.1. Ustrój rolny w Polsce oparty będzie na silnych, zdrowych i zdolnych do wydatnej produkcji w gospodarstwach, stanowiących prywatną własność ich posiadaczy.



Rys. 1. Polska 1919–1939 – podział na grupy województw

Tabela 1. Scalenia gruntów w latach 1919–1938

Województwo	Obszar scaleń (ha)
Pomorskie	753
Poznańskie	3 165
Warszawskie	387 797
Łódzkie	165 350
Kieleckie	312 988
Śląskie	0
Krakowskie	49 992
Lwowskie	22 732
Lubelskie	585 234
Białostockie	1 144 482
Poleskie	609 800
Wołyńskie	809 151
Tarnopolskie	5 281
Wileńskie	615 506
Nowogródzkie	703 548
Stanisławowskie	6 550
Razem	5 422 329
Średnio rocznie	271 116

Tabela 2. Scalenia gruntów na podstawie ustawy z 1923 r. (do dnia 1 stycznia 1948 r.)

Województwo	Liczba obiektów	Liczba gospodarstw	Obszar w tys. ha
POLSKA	299	72199	327,8
Warszawskie	42	7206	38,7
Łódzkie	46	9267	36,8
Kieleckie	65	21681	70,4
Lubelskie	37	10650	46,0
Białostockie	42	6856	45,4
Pomorskie	6	325	3,1
Poznańskie	17	1985	16,6
Śląskie	1	149	0,6
Krakowskie	17	6777	30,3
Rzeszowskie	26	7303	30,9

Art. 13.1. Obszar nowo utworzonych gospodarstw, jak również obszar, do którego mają być powiększone gospodarstwa karłowate, winien być uzależniony od jakości gleby.

2. Obszar ten dla gospodarstw rolnych nie może być większy od 5 ha ziemi średniej jakości.

Art. 14.1. Gospodarstwa utworzone na podstawie niniejszego dekretu nie mogą być w całości lub w części dzielone, sprzedawane, wydzierżawiane. Wystąpiły sprzeczności pomiędzy przepisem art. 1.1 oraz art. 13.1 i art. 14.1, co świadczy o zupełnej nieznajomości uwarunkowań „silnych, zdrowych i zdolnych do wydajnej produkcji gospodarstw rolnych”.

Autentyczny zamysł dekretu ujawnia się w przepisach dekretu z dnia 16 sierpnia 1949 roku o wymianie gruntów (Dz.U. Nr 48, poz. 167) oraz w obwieszczeniu Ministra Rolnictwa z dnia 31 lipca 1962 r. (Dz.U. Nr 46, poz. 26):

Art. 1.1. Grunty mogą być poddane wymianie w trybie niniejszego dekretu, gdy wymagają tego względy racjonalnej gospodarki rolnej lub leśnej, jak również w celu zapewnienia prawidłowej zabudowy.

Art. 4.1. Na żądanie grupy uczestników wymiany wydziela się jej grunty jako jedną nieruchomość.

Najwięcej gospodarstw rolnych scaleniem gruntów objęto w województwach: kieleckim (21681), lubelskim (10650), łódzkim (9267), rzeszowskim (7303), krakowskim (6772), a najmniejsze w śląskim (149) i pomorskim (325).

Art. 14.1. Wymianę gruntów przeprowadza się na koszt Państwa.

Według K. Dumańskiego [1969]: „Geodezyjne urządzenie terenów rolnych nie dotyczyły urządzania (modernizacji) indywidualnych gospodarstw rolnych, lecz koncentrowały się na zakresie geodezyjnych usług na potrzeby państwowych

i spółdzielczych form gospodarki rolnej (...). W wyniku reformy rolnej zlikwidowana została w kraju wielka prywatna własność ziemską (...). Ukształtował się natomiast w rolnictwie nowy, uspołeczniony sektor wielkotowarowej gospodarki rolnej w postaci licznych państwowych i spółdzielczych gospodarstw (...). Istnieje obecnie w kraju około 3,6 mln indywidualnych gospodarstw chłopskich, władających w sumie około 16 mln ha użytków rolnych (78% całego areалу tych użytków)(...). W województwach rzeszowskim, krakowskim, katowickim gospodarstwa o powierzchni poniżej 2 ha stanowią od 40% do 65% (...). Należy mieć na uwadze istnienie w wielu jeszcze województwach uciążliwej, pogarszającej się z każdym rokiem szachownicy gruntów, która wciąż jeszcze występuje u nas na kilku milionach hektarów chłopskiej ziemi (...), co dowodzi dużej wadliwości obecnej naszej struktury agrarnej”.

4. Wykonanie scalenia i wymiany gruntów w latach 1968–1982

Na podstawie ustawy z dnia 24 stycznia 1968 r. o scalaniu i wymianie gruntów (Dz.U. Nr 3, poz. 13) rocznie scalono i wymieniono od 99,5 tys. ha (rok 1968) do 429,5 tys. ha w 1975 r. [Siuta, Żukowski 2016]. Scalono natomiast od 82,6 tys. ha w roku 1968 do 335,6 tys. ha w 1969 r. Wielkości te są nieprawdopodobnie bardzo duże. W owych latach realizowano tak zwane „Geodezyjne urządzenie terenów rolnych”, które koncentrowały się w zakresie geodezyjnych usług na potrzeby państwowych i spółdzielczych form gospodarstw rolnych. Sprawowanie administracji geodezyjnej na terenie wsi przez organy służby geodezyjnej resortu rolnictwa jest dla tych organów dodatkowym poważnym zadaniem, które musi być wykonane obok normalnej, polegającej na zapewnieniu potrzeb rolnictwa. Organy terenowej resortowej służby geodezyjnej zostały zobowiązane do prowadzenia ewidencji wszystkich prac geodezyjnych, wykonywanych na terenie wsi i małych miasteczek przez różne instytucje i urzędy do gromadzenia w swych składowiskach materiałów geodezyjnych (mapy, obliczeń, rejestrów i innej dokumentacji).

Opisane wyżej zadania [Dumański 1969] geodezyjnych urzędów rolnych dowodzą, że większość pomiarów gruntów wiejskich rejestrowano jako scalenia i wymiany gruntów. W tym głównie państwowych gruntów scalonych i wymienionych latach 1968–1981 z jednej strony oraz wielokrotne zmniejszenia (do 40 620 ha) w roku 1983, na podstawie ustawy z dnia 26 marca 1982 r. o scalaniu i wymianie gruntów (Dz.U. Nr 58, poz. 349) z drugiej.

5. Grunty scalone w latach 1983–2017

W latach 1983–1991 scalono 24,5–55,7 tys. ha gruntów rocznie oraz scalono i wymieniono 24,5–66,1 tys. ha rocznie (tab. 3). W latach 1992–1999 scalono 2,7–19,7 tys. ha gruntów rocznie oraz scalono i wymieniono 4,0–27,6 tys. ha rocznie. W latach 2000–2005 scalono 5,5 tys. ha gruntów rocznie oraz scalono

i wymieniono 6,3–27,6 tys. ha rocznie. W latach 2006–2017 scalonych i wymienionych gruntów było 11,6 tys. ha gruntów rocznie oraz 0,73 tys. ha gruntów agencji Nieruchomości Rolnych. Począwszy od 1992 r. nastąpił gwałtowny spadek scalania gruntów z 32,6 tys. ha w 1991 r. do 6,4 tys. ha, trwał do 2010 r.

Przepisy ustawy z dnia 28 marca 1982 r. o scalaniu i wymianie indywidualnych gospodarstw rolnych czyniły pewien postęp, ale ze względu na ogólnikowość

Tabela 3. Scalenia i wymiany gruntów w latach 1983–2017

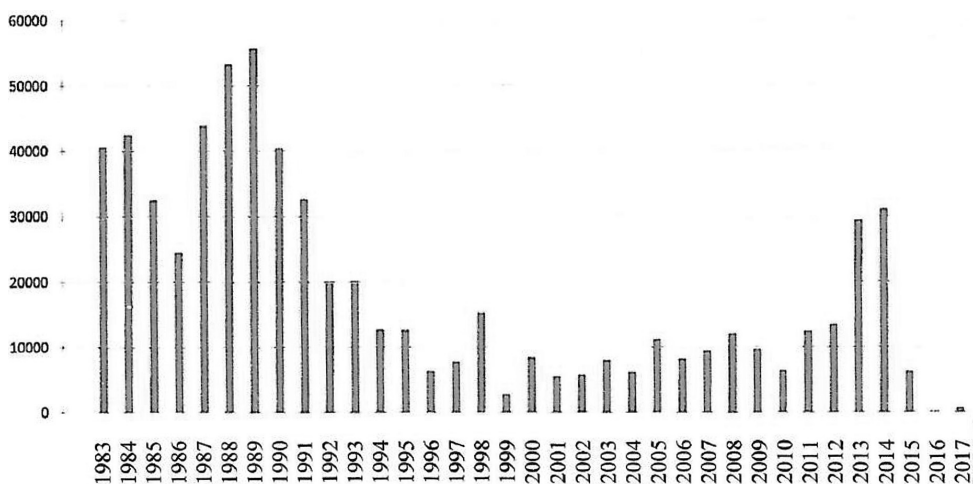
Rok	Scalenia i wymiany gruntów		Scalenia gruntów		Średnia powierzchnia scaleń (ha) na 1 uczestnika
	ha	Liczba uczestników	ha	Liczba uczestników	
1983	40 620	14 722	40 620	14 722	2,8
1984	42 529	15 491	42 529	15 491	2,7
1985	32 433	9 887	32 433	9 887	3,3
1986	24 464	8 801	24 464	8 801	2,8
1987	43 847	10 244	43 847	10 244	4,3
1988	66 107	16 796	53 266	12 841	4,1
1989	55 750	17 396	55 750	17 396	3,2
1990	49 476	15 224	40 449	17 797	3,4
1991	40 757	17 331	32 615	14 344	2,3
1992	27 603	10 997	19 759	8 475	2,3
1993	24 463	9 308	19 765	7 492	2,6
1994	16 644	6 315	12 664	4 635	2,7
1995	18 464	7 306	12 574	5 713	2,2
1996	10 333	3 306	6 291	2 164	2,9
1997	10 562	4 976	7 671	4 167	1,8
1998	17 784	8 887	15 205	7 720	2,0
1999	4 045	2 104	2 719	1650	1,6
2000	9 518	9 518	8 415	5 073	1,7
2001	6 752	3 559	5 477	3 291	1,7
2002	6 349	3 339	5 729	2 899	2,0
2003	8 800	3 572	7 937	3 359	2,4
2004	6 865	3 489	6 161	3 142	2,0
2005	11 741	6 961	11 174	6 726	1,7
2006	8 650	5 493	8 175	5 243	1,6
2007	9 845	5 471	9 337	5 197	1,8
2008	12 279	6 368	12 046	6 241	1,9
2009	9 947	6 197	9 648	5 975	1,6
2010	6 951	2 524	6 448	2 249	2,9
2011	12 748	4 634	12 422	4 464	2,8
2012	13 700	9 408	13 403	9 282	1,4
2013	29 931	15 690	29 400	15 492	1,9
2014	31 230	15 258	31 033	15 094	2,1
2015	5 975	6 357	6 193	5 741	1,1
2016	932	1 721	1 530	427	3,6
2017	781	753	645	628	1,0
Razem	818 875	289 403	647 774	258 092	2,6

i politykę agrarną nie służyły modernizacji indywidualnych gospodarstw rolnych. Wiadomo, że w powojennym czasie zatracono prawny, administracyjny i wykonawczy dorobek okresu międzywojennego, o czym świadczy dowolność (wielorakość) nazewnictwa i pojęć dotyczących scalania gruntów urządzania terenów wiejskich:

- „Kompleksowe scalanie gruntów rolnych i leśnych oraz jego wpływ na środowisko”, to tytuł materiałów szkoleniowych Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa [2006].
- „Kompleksowe scalanie gruntów jest rozszerzeniem tradycyjnych scaleń o zagadnienia utwardzenia niektórych dróg, transformację użytków” – głównie korektę granicy rolno-leśnej korektę terenów pod budownictwo itp. Taki zakres prac w procesie scaleniowym odpowiada zapotrzebowaniu społecznemu, stąd stosuje się coraz powszechniej [Woch 2005].

Urządzenia rolne są pojęciem znacznie szerszym. Oprócz prac scaleniowych obejmuje takie zabiegi jak: utwardzenie dróg, melioracje wodne, korektę granicy rolno-leśnej, wodociągowanie, kanalizację, telefonizację. W krajach Europy Zachodniej (głównie Austrii, Niemiec, Szwecji) są prowadzone od kilkudziesięciu lat w oparciu o ustanowione unormowania prawne.

Z badań sondażowych wynika, że w obecnych warunkach społeczno-gospodarczych same scalenia gruntów nie spełniają potrzeb rolników, którzy oczekują, aby podczas scaleń były realizowane również inne prace, tj. w zakresie utrwalania dróg, melioracji wodnych i przeciwoerozyjnych, regulacji granicy rolno-łąkowo-leśnej, rozmieszczenia terenów budowlanych i inne przedsięwzięcia wynikające z lokalnych potrzeb. Zaprezentowano sposób postępowania przy ustalaniu zakresu kompleksowego (rozszerzonego) scalania gruntów, zakres prac niezbędnych do zrealizowania w tym procesie, a także porównano efekty gospodarcze i przyrodniczo-ekolo-



Rys. 2. Powierzchnia (w ha) gruntów rolnych scalonych w latach 1983–2017

giczne uzyskiwane przy scaleniach klasycznych i kompleksowych [Woch 2006]. Szkoła krakowska, współdziałająca ze szkołą szwajcarską, posługuje się pojęciem „kompleksowe melioracje obszarów wiejskich”:

- „Kompleksowe kształtowanie obszarów wiejskich – melioracje kompleksowe” [Rajda 1995].
- „Prace naukowo-badawcze i projektowe w ramach planowanych melioracji kompleksowych na obiekcie Trybsz” [Pijanowski 1990].
- „Prace wdrożeniowe w zakresie melioracji kompleksowych na Spiszu Polskim” [Pijanowski 1993].
- „Melioracje kompleksowe Doliny Reuss w Szwajcarii” [Rajda i Pijanowski 1993].
- „Melioracje kompleksowe podstawą społeczno-gospodarczego rozwoju terenów” [Rajda 1994].
- „Współczesne scalenia gruntów w kształtowaniu granic rolniczej przestrzeni produkcyjnej” [Sobolewska-Mikulska 2015].

Czyżby pracownicy Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej nie wiedzieli, że rolnicza przestrzeń produkcyjna jest od dawien dawna wyznaczona i ewidencjonowana na podstawie prawa geodezyjnego i kartograficznego? Czy nie znają lub nie respektują przepisów obowiązującej ustawy o scalaniu i wymianie gruntów, w której nie ma nawet wzmianki o współczesnym scalaniu gruntów.

Nadmienia się, że melioracje kompleksowe terenów wiejskich stanowią realizację przepisów ustawy o scalaniu i wymianie gruntów obowiązującej w Polsce od roku 2014, bo takie melioracje to nic innego jak ulepszanie środowiska lub całej jego struktury [Kaca 2011]. Wymienione i niewymienione wyżej nazwy i treści powinny być zgodne z przepisami ustawy o scalaniu i wymianie gruntów. Dotyczy to publikacji naukowo-badawczych, edukacyjnych i szkolenia specjalistycznej kadry.

Dopiero w zmienionych przepisach ustawy o scalaniu i wymianie gruntów, ogłoszonych w obwieszczeniu Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej z dnia 12 marca 2014 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o scalaniu i wymianie gruntów (Dz.U. z 28 maja 2014 r. poz. 700), określono prawidłowo cel scalania gruntów: tworzenie korzystnych warunków gospodarowania rolnictwie i leśnictwie poprzez poprawę struktury obszarowej gospodarstw rolnych, lasów i gruntów leśnych; racjonalne ukształtowanie rozłogów; dostosowanie nieruchomości do systemu urządzeń melioracji wodnych, dróg oraz rzeźby terenu i zdefiniowano pojęcia: 1) grunty, 2) grunty zabudowane, 3) rozłóg, 4) właściciel, 5) uczestnik scalenia, 6) wieś, 7) agencja, 8) prace scaleniowe, 9) zagospodarowanie poscaleniowe, 10) inwestor.

Merytoryczną wartość aktualnie obowiązujących przepisów ustawy o scalaniu i wymianie gruntów można przyrównać do ustawy z 1923 r. o scalaniu gruntów, ale czy przepisy obowiązującej ustawy mogą być realizowane w pełniejszym zakresie, zwłaszcza w nieodległym czasie?

Tabela 4. Scalenia i wymiany gruntów w latach 2000–2005 według województw

Województwo	Scalenia i wymiana gruntów			Scalenia gruntów		
	liczba			liczba		
	obszarów	uczestników	ha	obszarów	uczestników	ha
Dolnośląskie	8	303	980	2	291	905
Kujawsko-pomorskie	45	105	620	2	17	208
Lubelskie	410	7474	14410	43	6666	13247
Lubuskie	27	38	236	2	4	7
Łódzkie	122	2094	3013	25	1881	2791
Małopolskie	2	47	38	2	47	38
Mazowieckie	48	1251	2319	8	1156	2184
Opolskie	61	294	1682	6	144	897
Podkarpackie	81	9290	12656	41	9155	12115
Podlaskie	115	2037	8222	34	1853	7515
Pomorskie	3	6	83	2	2	49
Śląskie	14	24777	3160	10	2703	3143
Świętokrzyskie	11	389	754	7	377	719
Warmińsko-mazurskie	36	83	533	1	5	154
Wielkopolskie	38	200	1574	7	110	758
Zachodniopomorskie	3	21	135	1	16	129
POLSKA	1024	264098	50025	193	24490	44891

W latach 2000–2005 scalono i wymieniono 50 025 ha gruntów w kraju oraz w województwach od 38 ha w małopolskim do 12 656 ha w podkarpackim. Więcej niż 1000 ha scalono i wymieniono gruntów w województwach: lubelskim (14 410 ha), podkarpackim (12 656 ha), podlaskim (8222 ha), śląskim (3160 ha) i wielkopolskim (1574 ha). Scalono natomiast 44891 ha gruntów w kraju oraz w województwach od 7 ha w lubuskim, 38 ha w małopolskim, 49 ha w pomorskim do 13 247 ha w lubelskim i 12 115 ha w podkarpackim.

W latach 2006–2017 ze środków Unii Europejskiej scalono 113 208 ha gruntów w kraju oraz w województwach od 1033 ha w wielkopolskim do 36 995 ha w lubelskim. Bardzo dużym wykonaniem prac scaleniowych wyróżniły się województwa: dolnośląskie (11 909 ha), lubelskie (30 995 ha), podkarpackie (14 722 ha), podlaskie (14 012 ha) i śląskie (15 167 ha). Z budżetowych i innych źródeł finansowych scalono 25 637 ha gruntów w kraju oraz w województwach od 21 ha w zachodniopomorskim, 26 ha w wielkopolskim, 35 ha w kujawsko-pomorskim do 17 178 ha w małopolskim. Wyróżniły się też województwa: mazowieckie (2185 ha), podkarpackie (3059 ha) i podlaskie (2124 ha). Na uwagę zasługuje brak scalenia w województwach kujawsko-pomorskim i warmińsko-mazurskim.

Środki finansowe to jeden z głównych czynników ograniczających realizację prac scaleniowych, warunkujących społeczno-gospodarczy rozwój obszarów

wiejskich. Możliwość pozyskiwania unijnych środków finansowych na scalanie gruntów tworzy przesłanki do modernizacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej i rozwoju obszarów wiejskich. Warunki i sposoby pozyskiwania środków na dofinansowanie prac scaleniowych zostały usankcjonowane prawnie:

- rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 3 września 2004 r. (Dz.U. Nr 207, poz. 2117).
- rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 28 lipca 2008 r., zmieniającym rozporządzenie w sprawie podziału środków Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013 (Dz.U. poz. 1780). W tym 152 000 000 euro na scalanie gruntów i 221 092 500 euro na odnowienie i rozwój wsi (tab. 5).

Do województw uprzywilejowanych w scalaniu gruntów zaliczają się: lubelskie, podkarpackie, podlaskie, śląskie i świętokrzyskie. Najmniejsze kwoty euro przydzielono województwom: kujawsko-pomorskiemu, lubuskiemu, opolskiemu, pomorskiemu, warmińsko-mazurskiemu i zachodniopomorskiemu. Nadmienia się, że kwota 152 000 000 euro była skromna w stosunku do rzeczywistych potrzeb. Mimo to, dzięki niej scalono 113 208 ha gruntów, a z budżetu państwa i innych źródeł scalono 25 637 hektarów gruntów (tab. 6). Znamienne jest, że w roku 2016 nie scalono ani jednego ha ze środków UE.

Tabela 5. Pomoc finansowa w euro przyznana w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013

L.p.	Województwo	Scalanie gruntów	Odnowa i rozwój wsi
		Limit środków w euro	
1	Dolnośląskie	13 193 600	13 575 079
2	Kujawsko-pomorskie	1 824 000	12 624 382
3	Lubelskie	33 972 000	18 129 585
4	Lubuskie	3 040 000	7 826 675
5	Łódzkie	6 824 800	14 105 702
6	Małopolskie	8 496 800	17 178 887
7	Mazowieckie	8 390 400	26 818 520
8	Opolskie	2 219 200	6 964 414
9	Podkarpackie	16 233 600	15 078 508
10	Podlaskie	10 640 000	10 811 423
11	Pomorskie	1 520 000	11 386 264
12	Śląskie	25 520 800	11 784 230
13	Świętokrzyskie	14 166 400	9 484 868
14	Warmińsko-mazurskie	2 052 000	12 027 432
15	Wielkopolskie	1 976 000	21 578 628
16	Zachodniopomorskie	1 930 400	11 717 903
POLSKA		152 000 000	221 092 500

Tabela 6. Scalenia gruntów w latach 2006–2017 według województw

Województwo	Finansowane ze środków						Grunty Agencji Nieruchomości Rolnych objęte scaleniami (w ha)
	Unii Europejskiej			budżetu państwa i innych źródeł			
	Liczba			liczba			
	obiektów	uczestników	ha	obiektów	uczestników	ha	
Dolnośląskie	12	2376	11909	0	0	0	3251
Kujawsko-pomorskie	0	0	0	2	8	35	0
Lubelskie	48	13010	30995	0	0	0	882
Lubuskie	7	632	4875	2	9	83	1040
Łódzkie	5	1180	2332	8	212	161	2
Małopolskie	12	6090	6700	50	12442	17178	275
Mazowieckie	6	893	2229	18	1533	2185	16
Opolskie	2	448	1412	2	33	159	114
Podkarpackie	18	13180	14722	65	7189	3059	306
Podlaskie	8	3243	14012	22	586	2124	829
Pomorskie	7	631	3933	4	82	333	150
Śląskie	17	9751	15167	3	56	76	1729
Świętokrzyskie	5	2519	3889	15	91	92	142
Warmińsko- mazurskie	0	0	0	6	12	105	0
Wielkopolskie	3	651	1033	1,2	16	26	4
Zachodniopomorskie	0	0	0	3	4	21	0
POLSKA	150	54604	113208	201	22273	25637	8740

Źródło: dane Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

6. Szachownica gruntów w roku 2000

Struktura obszarowa gospodarstw rolnych, ilość kształt działek, najdalej położona działka od siedziby gospodarstwa oraz jakość gleby, rzeźba terenu, infrastruktura techniczna i poziom kultury rolnej stanowią o walorach rolniczej przestrzeni produkcyjnej (tab. 7). Szachownica indywidualnych gruntów rolnych w 2000 r.:

- Gospodarstwa jednodziałkowe stanowiły 16,0% w kraju. Znacznie większym udziałem od średniej krajowej wyróżniły się województwa: kujawsko-pomorskie (34,5%), pomorskie 26,5%), warmińsko-mazurskie (25,1%), wielkopolskie (21,4%) i zachodniopomorskie (22,3%). W województwie opolskim jednodziałkowych gospodarstw było 7,8%.
- Gospodarstw dwu- i trzydziałkowych było 38,8%, w kraju, a w województwach 32,6–49,9%. Mniejszy procent od średniej krajowej był w województwach: kujawsko-pomorskim, łódzkim, małopolskim, podkarpackim i śląskim.
- Gospodarstwa cztero- i pięciodziałowe stanowiły 22,8% w skali kraju, a w województwach od 14,5% w kujawsko-pomorskim do 28,5% w podkarpackim.

Tabela 7. Procentowa liczba działek w indywidualnych gospodarstwach rolnych według województw w 2000 r.

Województwo	Ogółem	Liczba działek w gospodarstwie				
		1	2-3	4-5	6-9	10 i więcej
Polska	100,0	16,0	38,8	22,8	15,3	7,1
Dolnośląskie	100,0	17,8	45,4	21,9	11,4	3,6
Kujawsko-pomorskie	100,0	34,5	43,2	14,5	6,3	1,6
Lubelskie	100,0	10,5	33,8	25,1	21,2	9,3
Lubuskie	100,0	13,5	49,9	18,1	14,5	4,0
Łódzkie	100,0	14,3	38,6	24,4	16,4	6,4
Małopolskie	100,0	16,5	36,9	20,7	13,5	12,4
Mazowieckie	100,0	16,5	39,9	21,8	14,7	7,1
Opolskie	100,0	7,8	32,6	25,6	18,9	15,0
Podkarpackie	100,0	10,3	36,1	28,5	18,5	6,6
Podlaskie	100,0	9,9	39,5	26,5	18,6	5,5
Pomorskie	100,0	26,5	46,0	17,5	8,1	2,0
Śląskie	100,0	19,0	36,5	19,4	13,5	11,6
Świętokrzyskie	100,0	13,4	40,2	25,7	15,7	4,9
Warmińsko-mazurskie	100,0	25,1	43,7	19,1	9,5	2,6
Wielkopolskie	100,0	21,4	41,3	20,6	12,2	4,5
Zachodniopomorskie	100,0	22,3	39,4	20,2	14,4	3,7

Źródło: opracowano na podstawie Powszechnego Spisu Rolnictwa 2000 GUS.

- Gospodarstwa 6–9 działkowe miały 15,3% udział w kraju, a w województwach od 6,3% w kujawsko-pomorskim do 21,2% w lubelskim. Większy od średniej krajowej stwierdzono w województwach: lubelskim (21,2%), łódzkim (16,4%), opolskim (18,9%), podkarpackim (18,5%), podlaskim (18,6%) i świętokrzyskim (15,7%).
- Gospodarstw 10 i więcej działkowych było 7,1% w kraju, a w województwach od 1,6% w kujawsko-pomorskim do 15,0% w opolskim. Łączny udział gospodarstw 2–3 i 4–5 działkowych w kraju wynosił 61,6%, a w województwach od 58,2% w opolskim, do 68,4% w lubuskim.

Z danych w tabeli 8 wynika, że:

- 1 działka występowała we wszystkich grupach obszarowy użytków rolnych. Ich udział dominował (9,7–29,9%) w gospodarstwach 1–10 ha. Na uwagę zasługuje 5,5% udział w gospodarstwach o powierzchni >100 ha.
- 2–3 działki wystąpiły najliczniej (21,7–44,8%) w gospodarstwach 1–30 ha.
- 4–5 działek miało 19,2–28,3% udział w gospodarstwach 2–100 hektarowych oraz 14,2–16,1% odpowiednio w gospodarstwach 1–2 i >100 ha.

Tabela 8. Procenty indywidualnych gospodarstw w grupach obszarowych użytków rolnych według liczby działek oraz odległości najdalej położonej działki od siedziby gospodarstwa w km, rok 2000

Wyszczególnienie	Gospodarstwa o powierzchni użytków rolnych, w ha									
	1-2	2-3	3-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-50	50-100	100 i więcej
Procent działek w gospodarstwach o powierzchni użytków rolnych w ha										
1 działka	29,9	18,9	14,0	9,7	7,8	7,2	4,8	3,8	3,1	5,5
2-3 działki	47,7	44,8	40,4	35,2	30,3	28,8	21,7	16,5	13,6	11,7
4-5 działek	14,2	20,1	25,2	28,2	28,3	25,5	24,6	25,4	19,2	16,1
6-9 działek	5,7	11,1	13,5	19,8	23,8	24,5	30,4	29,4	30,3	22,6
10 i więcej działek	2,5	5,1	6,9	7,1	9,7	14,1	18,5	24,9	33,8	44,0
Procent gospodarstw, w których odległość siedziby od najdalej położonej działki wynosi, w km:										
do 2 km	76,2	66,6	61,2	52,6	44,6	40,8	33,9	27,0	19,6	13,1
2-5 km	17,6	26,5	31,0	36,5	41,3	41,4	46,4	45,4	46,2	38,3
5-10km	3,3	5,1	5,7	8,0	10,4	12,5	13,1	16,0	22,4	26,6
10 i więcej km	2,8	1,8	2,2	2,9	3,7	5,1	6,6	11,5	11,8	22,0

Źródło: Opracowano na podstawie Powszechnego Spisu Rolnictwa 2000 GUS.

- 6–9 działek – ich udział zwiększył się z 5,7% w gospodarstwach 1–2 ha do 30,4% w gospodarstwach 20–30 ha.
- 10 i więcej działek zarejestrowano we wszystkich grupach obszarowych użytków rolnych z 2,5% w gospodarstwach 1–2 ha do 44,0% w gospodarstwach >100 ha.

Odległość najdalej położonej działki od siedziby gospodarstwa:

- do 2 km odległość działki zmalała proporcjonalnie do wzrostu powierzchni z 76,2% gospodarstw 1–2 ha do 13,1% w gospodarstwach >100 ha.
- 2–5 km odległość zwiększyła się z 17,6% w gospodarstwach 1–2 ha do 46,2% w gospodarstwach 50–100 ha.
- 5–10 km odległość wzrosła proporcjonalnie do wzrostu powierzchni z 3,3% gospodarstw 1–2 ha do 26,6% gospodarstw > 100 ha.
- 10 i więcej km odległości działki zarejestrowano 1,8% w gospodarstwach 2–3 ha do 22,0% w gospodarstwach > 100 ha.

7. Szachownica gruntów w latach 2002–2010

Strukturę gospodarstw rolnych w poszczególnych grupach obszarowych użytków rolnych według liczby działek oraz odległości najdalej położonej działki od siedziby gospodarstwa w roku 2010 przedstawia tabela 9 (Powszechny Spis Rolny, GUS, Warszawa 2012):

Tabela 9. Struktura (w %) gospodarstw rolnych w grupach obszarowych użytków rolnych według liczby działek oraz odległości najdalej położonej działki od siedziby gospodarstwa

Wyszczególnienie	Ogółem	Grupy obszarowe użytków rolnych w ha										
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-50	50-100	100 i więcej
Procentowy udział działek w gospodarstwach rolnych wg w/w grup obszarowych												
1 działka	100,0	60,2	18,0	7,1	6,3	5,3	1,7	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1
2 – 3	100,0	20,4	23,1	12,9	15,6	16,8	6,2	2,5	1,6	0,6	0,2	0,1
4 – 5	100,0	4,4	12,8	11,1	18,6	28,3	12,4	5,6	4,1	1,8	0,6	0,3
6 – 9	100,0	1,9	8,3	7,9	15,1	28,9	16,5	8,6	7,2	3,6	1,4	0,6
10 działek i więcej	100,0	1,0	7,9	9,2	14,5	21,9	13,7	8,9	9,7	6,9	3,5	2,8
Odległość od siedziby gospodarstwa w km												
do 2 km	100,0	17,3	20,8	12,7	16,4	19,0	7,5	3,1	2,1	0,8	0,2	0,1
2 – 5	100,0	44,4	16,7	8,1	9,5	11,4	4,8	2,2	1,7	0,8	0,3	0,1
5 – 10	100,0	6,7	12,7	9,0	14,1	24,1	13,2	7,1	6,5	3,8	1,7	1,1
10 – 15	100,0	8,0	14,0	9,0	13,1	21,0	12,7	7,5	6,9	4,0	2,1	1,7
15 i więcej	100,0	11,7	18,2	10,5	13,1	17,3	9,1	5,4	5,6	3,8	2,2	100,0

Źródło: Opracowano na podstawie danych GUS, Warszawa 2012.

- 1 działka występowała we wszystkich grupach obszarowych gospodarstw. Największy jej udział (60,2%) był w gospodarstwach 0–1 ha oraz malał sukcesywnie z 18,0% w gospodarstwach 1–2 ha do 0,1% w gospodarstwach 50 ha.
- 2–3 działki miały największy udział (12,9–23,1%) w grupach obszarowych 0–10 ha oraz malejący sukcesywnie z 6,3% do 0,1% w gospodarstwach większych od 10 ha. Udział ten malał proporcjonalnie do wzrostu grupy obszarowej (z 20,4% do 0,1%).
- 4–5 działek stwierdzono we wszystkich grupach obszarowych użytków rolnych. Największy procentowy ich udział (28,3%) miały gospodarstwa 5–10 ha, a najmniejszy (0,9%) gospodarstwa >50 ha.
- 6–9 działek było najwięcej (28%) w gospodarstwach 5–10 ha, a najmniejszy (2,0%) w gospodarstwach >50 ha.
- 10 i więcej działek (21,9%) miały gospodarstwa 5–10 ha, a najmniej (6,3%) gospodarstwa >50 ha.

Najdalej położone działki od siedziby gospodarstwa: 2–5 km stwierdzono w grupie 0–1 ha (44,4%), a w gospodarstwach >50 ha tylko 0,4%. Odległość 5–10 km stwierdzono w 24,1% gospodarstw 5–10 ha; 14,1% i 13,2% w gospodarstwach 3–5 i 10–15 hektarowych; 10–15 km od siedziby gospodarstwa stwierdzono w 21,0% gospodarstw 5–10 ha, gospodarstwa 3–5 i 10–15 ha miały odpowiednio 13,1% i 12,7%. Dużą odległością wyróżniło się 14,0% gospodarstw 1–2 ha, odległością 15 i więcej km od siedziby gospodarstwa wyróżniły się gospodar-

stwa: 1–2 ha (18,2%), 5–10 ha (17,3%) i 0–1 ha (11,7%); gospodarstwa >50 ha miały tylko 5,1% tak odległych działek.

Tak duże odległości najdalej położonej działki od siedziby gospodarstw 0–1; 1–2; 2–3 i 3–5 ha wydają się być nieprawdopodobnymi, a przecież udokumentowano to zjawisko bardzo wnikliwie w szachownicy gruntów, stan w latach 2002–2010 w Powszechnym Spisie Rolnym, GUS Warszawa 2012. Poniżej przedstawiono najważniejsze treści tej szachownicy.

Pozytywnym przemianom struktury własnościowej i obszarowej towarzyszą niestety także negatywne zjawiska, do których należy zaliczyć pogarszanie się organizacji przestrzennej gospodarstw. Prywatyzacji własności rolnej Skarbu Państwa, której towarzyszy transfer gruntów do innych użytkowników, jak i inne przepływy związane najczęściej z transakcjami kupna-sprzedaży obok wzrostu areалу gospodarstw, towarzyszy zazwyczaj pogorszenie rozkładu przestrzennego i ich rozłogu. W efekcie powstaje swego rodzaju współczesna szachownica gruntów nie ma ona nic wspólnego z tradycyjną szachownicą ukształtowaną przez działki rodzinne. Pierwsza z nich rozwinęła się na przewadze gospodarstw dużych, powiększających swój areal dzięki zasobom Skarbu Państwa, jak i innych transferów gruntów. Z tego względu rośnie liczba gospodarstw mających swe grunty w kilku a nawet kilkudziesięciu oddzielnie położonych kawałkach, często w znacznej odległości od siedziby gospodarstwa.

Drugi rodzaj szachownicy gruntów występuje na terenach o dominacji gospodarstw małych i wielopokoleniowych tradycjach działów rodzinnych.

Jeszcze gorzej relacje te kształtowały się w odniesieniu do areалу użytków rolnych. W 2010 r. ponad 60% powierzchni użytków rolnych należało do gospodarstw posiadających je w sześciu i więcej oddzielnych działkach. Szczególnie wysoki był przyrost powierzchni użytków rolnych w gospodarstwach mających je w 10 i więcej oddzielnych działkach. W 2010 r. należało do nich 39,2% użytków rolnych, podczas gdy w 2002 r. – 20,6%. Należy zwrócić uwagę, że w 2010 r. ponad 20% użytków rolnych było położonych przeciętnie w odległości ponad 10 km od siedziby gospodarstwa. Należy też zwrócić uwagę, że szachownica gruntów poszczególnych gospodarstw nie ogranicza się do jednej wsi, ale często wychodzi poza jej granice, a w skrajnych przypadkach przekracza nawet granice państwa.

Po 1950 r. szachownica gruntów była likwidowana administracyjnie tam, gdzie powstawały rolnicze spółdzielnie produkcyjne.

Po zmianach polityki rolnej w 1956 r. i rozwiązaniu większości spółdzielni produkcyjnych nastąpiło ponowne zainteresowanie pracami scaleniowymi. Nasilenie tych prac było nadal zróżnicowane, gdyż często nie istniała odpowiednia dokumentacja.

Kryzys gospodarczy lat 80. i związany z nim brak środków finansowych, nie sprzyjał prowadzeniu prac scaleniowych, jednak zmiany w polityce rolnej sprawiły, że w dniu 26 marca 1982 r. Sejm uchwalił Ustawę o scalaniu i wymianie gruntów. Ustawa ta była nowelizowana w 2003 i w 2011 r. Po zmianach ustrojowych 1989 r. i towarzyszących im przemianach struktury agrarnej nie podjęto równie intensywn-

nych prac scaleniowych. Poza brakiem odpowiednich środków finansowych, główną barierą jest brak ustawy, dotyczącej prywatyzacji gruntów. Prace scaleniowe są też często zarzewiem różnych konfliktów społecznych. Scaleniom nie sprzyjały też działy rodzinne i komercyjne, które często niweczyły efekty dotychczasowych prac w tym zakresie. Pewną nadzieję na zmniejszenie wadliwego rozłogu gruntów w wielu regionach Polski można wiązać z ostatnią nowelizacją ustawy z 1982 r., dokonaną przez Sejm w dniu 29 lipca 2011 r. Głównym celem tej nowelizacji było ułatwienie prac związanych z realizacją – działania „Scalania gruntów” w ramach programu „Rozwój Obszarów Wiejskich w latach 2007–2013”. W programie tym przewidziane był częściowe sfinansowanie prac scaleniowych gruntów z przyznanych na ten cel środków unijnych.

Natężenie szachownicy użytków rolnych określono udziałem ich powierzchni należącej do gospodarstw posiadających je w sześciu i więcej częściach odniesionej do ogólnej powierzchni użytków rolnych poszczególnych gmin. Przestrzenny rozkład tego zjawiska ilustruje rysunek 3.

W analizowanym okresie nastąpiło gwałtowne pogorszenie rozłogu gruntów stanowiących własność gospodarstw rolnych. O ile w 2002 r. w 595 jednostkach terytorialnych ponad połowa powierzchni użytków rolnych należała do gospodarstw posiadających je w sześciu więcej oddzielnie położonych działkach, to w 2010 r. było ich już 1919. Jest to zjawisko niezwykle negatywne, gdyż w największym stopniu dotknęło średnie i duże gospodarstwa rolne. W wyniku pogarszania się rozłogu gruntów, wzrastają koszty produkcji, zwiększa się czas pracy nieproduktywnej, a tym samym obniża się opłacalność i konkurencyjność wytwarzanych przez te gospodarstwa produktów.

Największą dynamiką wzrostu natężenia szachownicy w analizowanym okresie charakteryzowały się tereny o dużych zasobach gruntów rolnych stanowiących własność Skarbu Państwa, spółdzielni produkcji rolniczej i innych podmiotów uczestniczących na rynku nieruchomości. Jednocześnie były to tereny, na których gospodarstwa rolne były nastawione na produkcję towarową i z tego względu dążyły m.in. do zwiększenia swej powierzchni.

Na szczególną uwagę zasługują tereny tradycyjnego występowania szachownicy gruntów i jednocześnie dominacji gospodarstw małych w woj. małopolskim i śląskim, gdzie bardzo duże jej natężenie ogranicza się do stosunkowo niewielkiego obszaru obejmującego gminy położone w Beskidach Zachodnich i Pogórzu Zachodniobeskidzkim, a zwłaszcza w Beskidzie Żywieckim i na Podhalu. Głównymi przyczynami zachodzących przemian była nieopłacalność produkcji rolniczej na małą skalę w warunkach gospodarki rynkowej oraz wzrost popytu na atrakcyjnie położone nieruchomości. Wraz z przenoszeniem prawa własności następowała zmiana dotychczasowego o dominacji zmniejszenie udziału gruntów objętych szachownicą, Stopniowo zaczynają zanikać skrajnie własnościowo zawikłane rozkłady gruntów. Proces ten obserwuje się wszędzie tam, gdzie dzielenie małych gospodarstw rolnych na cele komercyjne rozpoczęło ubiegłego wieku.

Dynamiczny wzrost natężenia szachownicy gruntów sprawił, że rozległe jeszcze w 2002 r. obszary, o niskim – poniżej 20% udziale użytków rolnych mających je w ponad sześciu oddzielnych częściach wyraźnie się skurczyły. W 2010 r. tworzyły już tylko enklawy o niewielkim często zasięgu przestrzennym. Największa z nich obejmuje gminy wschodniej części woj. małopolskiego. Są to gminy rolnicze o dominacji gospodarstw małych, specjalizujących się w produkcji warzyw i sadownictwie. Ten rodzaj działalności, jak i brak większych zasobów gruntów dostępnych na rynku nieruchomości hamuje rozwój szachownicy. Podobny charakter ma skupisko gmin położonych w północnej części woj. świętokrzyskiego o dominacji gospodarstw małych, których powstanie było związane z rozwojem Staropolskiego Okręgu Przemysłowego.

Niewielkim natężeniem szachownicy gruntów cechuje się skupisko gmin sadowniczych w rejonie Grójca i Nowego Sącza, co ma związek ze specyfiką tej dziedziny produkcji rolniczej. Sadownicy chcąc usprawnić prace pielęgnacyjne rozdrobnionych sadów podejmowali samorzutne ich blokowanie.

Choć szachownica gruntów dotyczy wszystkich grup obszarowych, to szczególnie dotkliwe jej skutki, o których już wspomniano odczuwają gospodarstwa duże. Charakterystyczna jest zbieżność przestrzennego występowania dużych gospodarstw rolnych, często stanowiących własność spółek prawa handlowego i wysokiego natężenia szachownicy gruntów.

Ta zbieżność wskazuje, że **jednym z priorytetowych zadań polityki rolnej powinno być nasilenie prac scaleniowych**. W pierwszej kolejności tymi pracami powinny być objęte gospodarstwa duże, których grunty często rozrzucone są w promieniu kilkudziesięciu kilometrów od ich siedziby. Nie jest to postulat zaniechania scaleń na terenach o dominacji gospodarstw małych i średnich, gdzie skala natężenia szachownicy gruntów jest równie wysoka. Scalanie gruntów jest problemem trudnym do realizacji ze względu na jego złożoność i lokalną różnorodność. Ponadto są to prace kosztowne, które obok scalenia gruntów wymagają wytyczenia i urządzenia sieci dróg dojazdowych do nowego układu pól. Komentarzem do powyższych stwierdzeń może być przykład wsi Brudzewek, położonej w gminie Chocz w powiecie pleszewskim (woj. wielkopolskie). W tej wsi scaleniem gruntów objęto 37 gospodarstw o łącznym areale 280 ha, który jest podzielony na ok. 900 działek ewidencyjnych. Przeciętnie na jedno gospodarstwo o średniej wielkości ok. 6 ha przypada 20 działek. Zaś największe z nich o powierzchni 37,41 ha składa się aż ze 124 działek.

Podany przykład w powiązaniu z rozmiarem zjawiska w skali kraju wskazuje, że problem scalania gruntów jest niezwykle trudny do zrealizowania, gdyż wymaga działań kompleksowych, często wychodzących poza granice jednej wsi, a nawet jednostek wyższego rzędu. Wymienione czynniki sprawiają, że scalenia gruntów przekraczają możliwości władz lokalnych i muszą być wsparte pomocą państwa. Dużą pomocą finansowa w tym zakresie są dotacje Unii Europejskiej przeznaczone na rozwój terenów wiejskich. O skali tych kosztów może świadczyć przykład gminy Chocz, która na prace scaleniowe we wsi Brudzewek ze środków Europejskiego

Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich otrzymała 1115,2 tys. zł oraz 384,1 tys. zł z krajowego Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich.

W wielu regionach kraju poważnymi barierami dla prac scaleniowych są uwarunkowania przyrodnicze, a zwłaszcza urozmaicone ukształtowanie powierzchni, wadliwa struktura obszarowa gospodarstw i nieuregulowane stosunki własnościowe.

„Chłopi na dopalaczach” według Joanny Solskiej [2015], która opisała wieloczynnikowy spłot uwarunkowań dotychczasowego kształtowania rolniczej przestrzeni produkcyjnej i rozwoju terenów wiejskich. Oto najważniejsze dylematy polskiego rolnictwa według J. Solskiej:

- „Wiadomo, że pieniądze w ramach Wspólnej Polityki Rolnej trafiają do ponad 1,3 mln gospodarstw. Tylu nie ma żaden kraj unijny. Polskie gospodarstwa są w większości za małe, aby mogły być opłacalne”.
- „Kiedy chcemy się przyjrzeć ludziom, których nazywamy rolnikami, też mamy kłopoty ...czy można rolnikiem nazwać kogoś, kto niczego na rynek nie sprzedaje ? Kto nawet swojej ziemi nie uprawia, a często nawet nie ma go w kraju? (...) Nie zadając publicznie tych pytań, politycy odpowiedzieli tak. Chodzi bowiem nie o to, żeby wspierać rolnictwo, ale kupować na wsi głosy. Za unijne i nasze pieniądze. Samo rolnictwo jako istotna gałąź gospodarki wychodzi na tym fatalnie”.
- „Najpewniejszym źródłem dochodu na wsi jest sama ziemia, nawet nieuprawiana, więc ziemi się nie sprzedaje. Z badań Fundacji Rozwoju Wsi Polskiej wynika, że jeśli rolnik na Podlasiu uprawia więcej niż 20 ha, to w połowie ziemia nie należy do niego – mówi Marek Zagórski, prezes Fundacji (...). To znaczy, że dopłaty bierze jej właściciel, który ziemi nie uprawia. Dodatkowo nieformalny dzierżawca musi mu zapłacić ok. 100 zł za ha. Formalny właściciel roli może pracować na saksach za granicą albo na czarno w budownictwie. Jest dobrze widziany przez pracodawców, bo nie trzeba go ubezpieczać w ZUS. Dzięki ziemi jest bowiem w KRUS. Gdyby rolnicy, którzy nieformalnie uprawiają ziemię swoich sąsiadów, mogli ją od nich kupić, sami korzystaliby z dopłat, rosłaby liczba gospodarstw większych, silnych ekonomicznie. Mogłyby się rozwijać. Pozostają słabe, ponieważ wielką unijną pomoc przechwytują formalni właściciele ziemi. Politycy udają, że tego nie widzą”.
- „Najmniejszą liczebnie grupę rolników stanowią właściciele gospodarstw dużych, produkcyjnych. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej szacuje, że 100 tys. polskich gospodarstw zarabia na nich tyle co farmerzy unijni. Są wobec nich konkurencyjni. To one stanowią o sile naszego rolnictwa, napędzają eksport”.
- „Gospodarstwa większe, które umiałyby spore pieniądze przeznaczyć na rzeczywistą modernizację, nie bardzo mogą na nie liczyć. Latyfundystów PSL nie lubi. Obcina im więc dopłaty, odbiera dzierżawioną od Agencji Nieruchomości Rolnych ziemię”.
- „Premia dla młodych rolników (do 35 lat) także nie powiększa karłowatych gospodarstw. Zwłaszcza gdy rodzice z tego powodu (premii) przepisują gospodar-

stwo na syna, niekoniecznie rezygnując z jego prowadzenia. Przed kilkoma laty uprawiali podobną fikcję, żeby otrzymać renty strukturalne. Miały powiększyć wielkość gospodarstw, co jednak nie bardzo się udało. Poszło na to 5 mld euro”.

- „Sukces? Wręcz odwrotnie, porażka. Ten wiejski dobrobyt nie jest przez rolników wypracowany i wkrótce może się skończyć. Opiera się tylko na unijnych pieniądzach i państwowych dopłatach. W Biuletynie Informacyjnym (wydawany przez ARiMR za środki unijne) czytamy, że w pierwszym roku akcesji wszelkiego rodzaju dopłaty unijne stanowiły 13% dochodów rolników. W latach 2005–2008 wskaźnik ten podskoczył do 52%, a w roku 2009 przekroczył 80%. To znaczy, że wraz z zapowiadaną zmianą Wspólnej Polityki Rolnej polskim chłopom mogą skończyć się pieniądze, do których już zdążyli się przyzwyczaić. Mimo otrzymania kilku miliardów złotych nie nauczyli się ich sami zarabiać”.
- „Nie zmienia się albo zmienia bardzo powoli struktura gospodarstw. Są zbyt małe, żeby mogły być opłacalne. To kolejna porażka. Skutek przywiązywania przez polityków chłopów do ziemi. Suma porażek zawiera się w konkluzji publikacji IERiGŻ poświęconej konkurencyjności polskiego rolnictwa. Wynika z niej, że tuż po akcesji liczba gospodarstw konkurencyjnych wobec farmerów unijnych wynosiła około 91 tys., a 84 tys. miało na to szanse. Po dziesięciu latach obie liczby są takie same”.
- „Unijne pieniądze nie stały się inwestycją, dzięki której rolnicy stanęliby na własnych nogach. Poprawiły tylko ich komfort życia. A przecież ceny skupu płodów rolnych są dziś w Polsce podobne jak na świecie, są warunki, żeby rolnicy mogli żyć dobrze dzięki własnej pracy. Nie to jednak było celem polityków PSL udających, że prowadzą politykę rolną. Kupowali głosy, rozdając pieniądze bezwarunkowo, żeby utrzymać się przy władzy. Ci, którzy chcą ich zastąpić (PIS) mają podobne cele”.

8. Podsumowanie

Ustawa z dnia 31 lipca 1923 r. o scalaniu gruntów (Dz.U. Nr 22, poz. 718) oraz realizacja jej postanowień były wzorem niedoścignionym dla ustawy z dnia 26 marca 1982 r. o scalaniu i wymianie gruntów (Dz.U. Nr 11, poz. 80) wraz z kolejnymi jej nowelizacjami, włącznie z obwieszczeniem Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej z dnia 12 marca 2014 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o scalaniu i wymianie gruntów.

Pod rządami dekretu PKWN z dnia 6 czerwca 1944 r. o przeprowadzeniu reformy rolnej (Dz.U. Nr 4, poz. 17) nie scalano gruntów. Ustawa z dnia 24 stycznia 1968 r. o scalaniu i wymianie gruntów (Dz.U. Nr 3, poz. 13) zawierała duży ładunek treści dekretu z dnia 16 sierpnia 1949 r. o wymianie gruntów (Dz.U. Nr 48, poz. 367). Pomiary geodezyjne gruntów stanowiły usługi dla państwowych gospodarstw rolnych i rolniczych spółdzielni produkcyjnych, a także różnym innym celom. Nie służyły więc scalaniu gruntów rolnych w rozumieniu ustawy

z okresu międzywojennego, a także ustawy z 1982 r. o scalaniu i wymianie gruntów, która począwszy od 1983 r. zaowocowała scaleniem 364 973 ha gruntów do roku 1991. W roku 1992 nastąpiło gwałtowne zmniejszenie powierzchni gruntów scalonych z 19 759 ha w roku 1992 do 2719 ha w roku 1999. Wyjątkiem był rok 1998, w którym scalono 15 205 ha. W latach 1992–1999 scalono łącznie 96 648 ha. Od roku 2000 do 2010 scalono 90 557 ha gruntów, rocznie od 5477 ha (w roku 2001) do 12 046 (w roku 2008). W latach 2011–2014 scalono 86 258 ha – rocznie od 12422 ha w roku 2011 do 31033 ha w roku 2014. Dramatycznie zmniejszyła się powierzchnia gruntów scalonych w latach 2015–2017 do 6796 ha (2015 – 5741 ha, 2016 – 427 ha, 2017 – 628 ha). W latach 1983–2017 scalono 647 774 ha gruntów, a w latach 1919–1938 scalono 5 422 329 ha, średnio w roku 271 116 ha. W województwie białostockim scalono 1 144 482 ha, czyli znacznie więcej niż w latach 1983–2017. Malejąco sukcesywnie wykonanie prac scaleniowych (tab. 3, rys. 2), nasilająca się szachownica gruntów, upoważnia do stwierdzenia, że władze państwa i obywatele III Rzeczypospolitej przyczynili się do daleko idącej degradacji struktury agrarnej w Polsce. A przecież mamy Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, któremu nie podlegają lasy, stanowiące 30% terenów wiejskich w kraju. W nieodległej przeszłości było Ministerstwo Rolnictwa i Leśnictwa, któremu polegały wszystkie tereny wiejskie.

Bibliografia

- Dumański K. (red.). 1969. Geodezyjne urządzenie terenów rolnych. Cz. 1. PWN, Warszawa, ss. 365.
- IUNG 2006. Kompleksowe scalenie gruntów rolnych i leśnych oraz jego wpływ na ochronę środowiska, materiały szkoleniowe nr 93. IUNG Puławy, 33–55.
- Kaca E. 2011. Melioracje wodne – funkcjonowanie, odpowiedzialność, słabości. Materiał powielony z konferencji „Gospodarka Wodna – stan aktualny i zadania na przyszłość”. Kancelaria Senatu, Warszawa.
- Pijanowski Z. 1990. Prace naukowo-badawcze i projektowe w ramach planowanych melioracji kompleksowych na obiekcie Trybsz. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie 238, Sesja Nauk. (25), 175–191.
- Pijanowski Z. 1993. Prace wdrożeniowe w zakresie melioracji kompleksowych na Spiszu Polskim. Konferencja „Melioracje kompleksowe podstawą społeczno-gospodarczego rozwoju terenów wiejskich w Polsce”, Katedra Melioracji Rolnych i Leśnych ATR w Krakowie (maszynopis).
- Rajda W., Pijanowski Z. 1993. Melioracje kompleksowe Doliny Reuss w Szwajcarii. Melioracje Rolne, Biul. Inf. (1/2), 22–34.
- Rajda W. 1994. Melioracje kompleksowe podstawą społeczno-gospodarczego rozwoju terenów. Sprawozdanie i wnioski z międzynarodowej konferencji. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie 2, 101–102.
- Rajda W. 1995. Kompleksowe kształtowanie obszarów wiejskich – melioracje kompleksowe. Postępy Nauk Rolniczych 3/95, 97–110.

- Siuta J., Żukowski B. 2015. Społeczno-gospodarcze i prawne uwarunkowania oraz efekty scalania gruntów w Polsce począwszy od 1918 roku. IOŚ–PIB, Warszawa, ss. 210.
- Sobolewska-Mikulska K. (red.) 2015. Współczesne scalenia gruntów w kształtowaniu granic rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, ss. 117.
- Solska J. 2015. Chłopi na dopalaczach. *Polityka* 41(3030), 25–27.
- Woch F. 2005. Kształtowanie środowiska rolniczego obszarów urzeźbionych w Polsce, na tle wzorców unijnych. *Acta Agrophysica* 5 (2), 471–480.
- Woch F. 2006. Koncepcja kompleksowego scalania gruntów. Kompleksowe scalenie gruntów rolnych i leśnych oraz jego wpływ na środowisko. Materiały szkoleniowe nr 93. IUNG, Puławy, 23–32.

Zalesianie nieużytków i nieefektywnych gruntów rolnych niezbędne w ochronie i odnowie biologicznie czynnej powierzchni ziemi w Polsce

Jan Siuta¹, Bogusław Żukowski

1. Wprowadzenie

Zarys glebowo-rolniczych, ekologicznych oraz skali potrzeby zmiany rolniczego użytkowania części gruntów rolnych na użytkowanie leśne został przedstawiony w opracowaniu J. Siuty [1974]. Obecnie stwierdza się, że struktura użytkowania terenu na tle warunków przyrodniczych w różnych częściach kraju jest wadliwa. Wadliwość ta przejawia się w sposób najbardziej widoczny w porównaniu do struktury przestrzennej pokrywy glebowej. Nawet najslabszej jakości gleby piaskowe tworzą całkiem dobre siedliska leśne, podczas gdy w polowym i pastwiskowym użytkowaniu przeobrażają się łatwo w ruchome piaski. Wynika to w większym stopniu z niedoboru wody dla roślin rolniczych, niż z braku składników pokarmowych, gdyż te ostatnie dają się łatwo uzupełniać. Bardzo niski pułap aktywności biologicznej najslabszych gleb piaskowych sprawia, że produkcja rolnicza znajduje się już obecnie poniżej granicy efektywności ekonomicznej. W miarę modernizacji technologii i pomniejszania kosztów produkcji roślinnej, uprawa najslabszych gleb piaskowych stanie się zupełnie nieopłacalna.

Przesłanki ekonomiczne są jedną z wielu przeszkód na drodze rolniczego użytkowania części gleb piaskowych. Dochodzą tu jeszcze nie mniej ważne względy ochrony środowiska w skali wykraczającej daleko poza obręb występowania gleb piaskowych. Bardzo duża przepuszczalność gleb piaskowych, przy niezwykle małej pojemności sorpcyjnej, jest powodem przemieszczania się do wody gruntowej znacznych ilości składników pokarmowych, wprowadzonych w postaci łatwo rozpuszczalnych nawozów mineralnych. Największe zagrożenia eutrofizacją, głównie ze względu na nadmiar fosforanów, występują na obszarach centralnej i południowo-zachodniej Polski, a z powodu azotu azotanowego w południowo-zachodniej i centralnej części dorzecza Wisły [Irgas 2004]. Nawet krótkotrwała susza odbija się bardzo silnie na roślinach porastających mocno przepuszczalne gleby piaskowe.

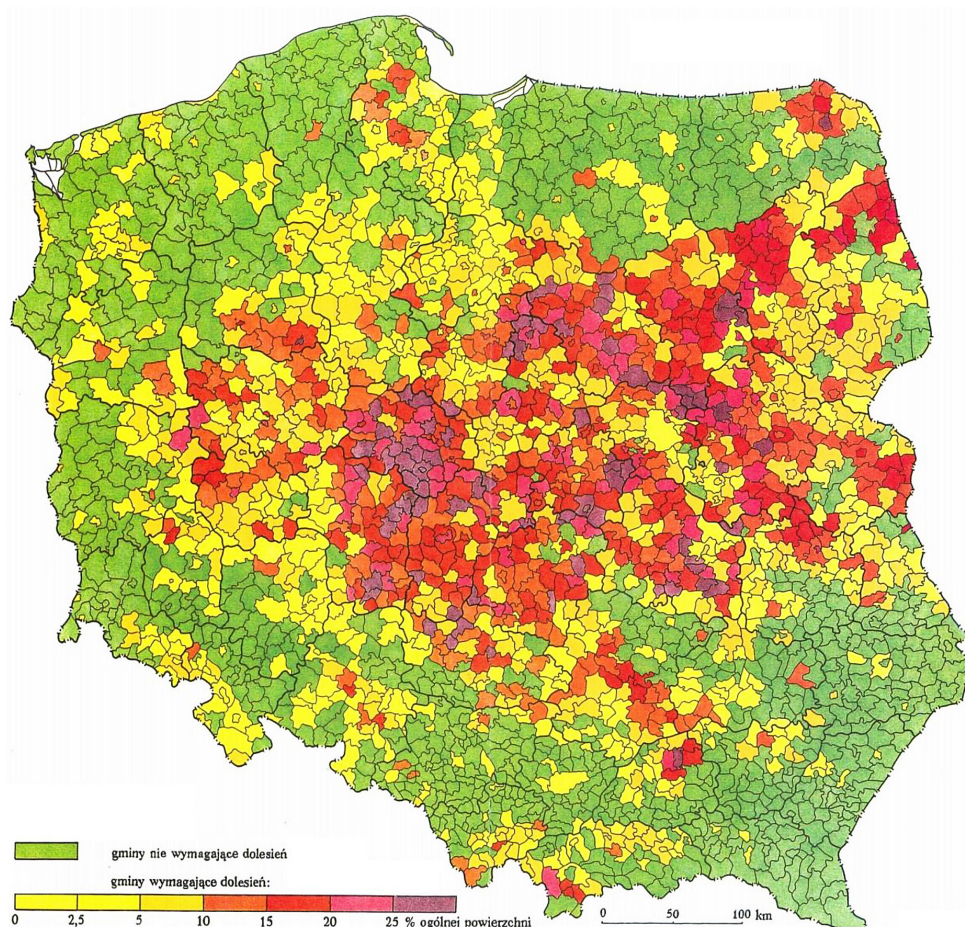
¹ Honorowy Prezes Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej, Instytut Ochrony Środowiska – PIB, ul. Krucza 5/11, 05-548 Warszawa

Względy środowiskowe i ekonomiczne nie wyczerpują zagadnienia, ale stanowią wystarczające (jak się wydaje) przesłanki, aby proponować daleko idącą korektę w aktualnej strukturze użytkowania terenu. Chodzi przede wszystkim o dostosowanie lesistości do zmiennej struktury przestrzennej.

Wyróżnia się następujące kryteria oceny potrzeb zwiększania lesistości terenu: glebowe, klimatyczne, ekonomiczne, rekreacyjne, itp. Zadaniem naukowców jest ocena oparta głównie na przesłankach przyrodniczo-rolniczych i ochronno-środowiskowych. Każda metoda, zastosowana w sposób jednolity dla całego kraju, daje orientacyjny rząd wielkości, ale takie właśnie wielkości są pożądane. Dobrym wskaźnikiem potrzeb zalesienia jest powierzchnia gruntów ornych wykształconych z piasków luźnych. Szacuje się, że w Polsce wynosi ona ponad 1,6 mln ha. Jest to wielkość minimalna. Wiadomo, że znakomita większość gleb piaszkowych słabo gliniastych nie odbiega swymi właściwościami od gleb piaszkowych luźnych, a powierzchnia ich wynosi ponad 2,4 mln hektarów. Dodać należy, że granica między glebami piaskowymi luźnymi i słabo gliniastymi nie jest łatwa do ustalenia. Wynika to stąd, że co najmniej 1/2 gleb piaszkowych słabo gliniastych wykształciła się z piasku luźnego. Warstwa piasku słabo gliniastego waha się w granicach 25–60 centymetrów. Głębiej zalega natomiast piasek luźny. Celowe byłoby przeznaczyć pod zalesienie 1/3 gleb piaszkowych słabo gliniastych. Wyeliminowano by w ten sposób prawie wszystkie gleby trwale suche. Przyjęcie takiego rachunku oznaczałoby potrzebę zalesienia blisko 2,5 mln ha gruntów rolnych. Można oprzeć się też na wynikach klasyfikacji gruntów, wychodząc z założenia, że klasa VI powinna być wyłączona z produkcji rolnej. Jest to założenie robocze ponieważ pewien (niewielki) odsetek gruntów ornych i pastwisk wykazuje okresową i trwałą podmokłość. Z drugiej zaś strony nie mały areał gruntów ornych klasy V jest trwale suchy. Nie wdając się w szczegółowe rozważanie można przyjąć, że powierzchnia równa co najmniej areałowi gruntów rolnych klasy VI wymaga docelowego zalesienia. Gleby klasy VI stanowią ponad 1,9 mln ha gruntów ornych i około 0,3 mln ha pastwisk suchych gruntowych. Daje to łącznie ponad 2,2 mln hektarów.

Gdyby oprzeć się na kompleksach przydatności gleb wychodząc z założenia, że gleby kompleksu żytniego bardzo słabego nie uzasadniają produkcji rolniczej, to otrzymalibyśmy wartości bardzo zbliżone do liczb przedstawionych wyżej.

Areał gleb żytnich bardzo słabych szacuje się na 1,78 mln hektarów. Dodając 0,3 mln ha suchych gruntowych pastwisk klasy VI otrzymamy blisko 2,1 milionów. Zalesienia wymaga też około 0,3 mln ha nieużytków, co łącznie stanowi 2,4–2,5 mln hektarów. Optymalne ukształtowanie warunków agroekologicznych i ekonomiczno-produkcyjnych wymagałoby zalesienia dużo większego areału gruntów rolnych. Mianowicie, powiększonego o 1/2–2/3 gleb kompleksu żytniego słabego (o około 1,5–2,0 mln ha) oraz niewielkie powierzchnie gleb żytnich dobrych i pszennych wadliwych, występujących na stokach niszczonej przez erozję wodną.



Rys. 1. Potrzeby dolesień w gminach stan 1980 r.
[Siuta i in. 1980]

Łączna powierzchnia gruntów rolnych kwalifikowana do leśnego zagospodarowania w naszym kraju wynosi więc 4,0–4,5 mln hektarów. Przedstawione liczby są zbliżone do prognozy podanej przez Partykę [1973], chociaż obie analizy zostały przeprowadzone na innych zasadach.

2. Potrzeby i sposoby zalesiania nieużytków

Nadmierne wylesienie, postępująca degradacja środowiska naturalnego, potrzeby i sposoby zalesiania nieużytków i nieefektywnych gruntów rolnych były i są przedmiotem badań wielu autorów, m.in. Dembińska [1974], Fonder [2002], Grzelak [1999], Grzywacz [2002], Łonkiewicz [1996], Łonkiewicz i Mikulski [2002], Maruszczak [1950], Ostrowski [1971], Partyka [1973], Pruchniarski

[2000], Siuta [1974, 1996], Ślaski [1966], Smykała [1998], Strzelecki i Sobczak [1972], Strzemiński [1961], Zając i Kwiecień [2002], Żabko-Potapowicz [1968]. Większość autorów skupiała się głównie na gruntowych i uprawowych uwarunkowaniach odnowy lasu, bez możliwości projektowania i odtwarzania lasu na nieużytkach i gruntach rolnych kwalifikujących się do zalesienia. Brakowało bowiem przestrzennej dokumentacji gruntów kwalifikujących się do zalesienia. Dopiero po wykonaniu klasyfikacji gruntów rolnych na podstawie Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 4 czerwca 1956 r. w sprawie klasyfikacji gruntów (Dz.U. Nr 19, poz. 97), jako wymogu dekretu z dnia 2 lutego 1955 r. o ewidencji gruntów i budynków (Dz.U. Nr 6, poz. 32) oraz po opracowaniu mapy kompleksów glebowo-rolniczych w skali 1:5000 – na podstawie Zarządzenia nr 115 Ministra Rolnictwa z dnia 28.07.1964 r. w sprawie organizacji prac gleboznawczych i rolniczo-kartograficznych (Dz.U. Ministra Rolnictwa Nr 19, poz. 121) sporządzono mapy przydatności rolniczej (kompleksów glebowo-rolniczych) w skali 1:5000, wg Instrukcji w sprawie wykonania map glebowo-rolniczych w skali 1:5000 i 1:25000 oraz map glebowo-przyrodniczych w skali 1:25000 Ministerstwa Rolnictwa oraz IUNG. Wyniki klasyfikacji gruntów oraz kompleksów rolniczej przydatności gleb stanowiły podstawę do opracowania waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej wg gmin w kraju [IUNG 1981], którą wraz z lesistością gmin w 1980 r. wykorzystano do opracowania potrzeby dolesienia oraz wskaźników lesistości optymalnej na mapie Polski w skali 1:1000000 (rys. 1) [Siuta i in. 1980].

Zalesienie wymienionych gruntów realizowano na podstawie:

- Ustawy z dnia 5 lipca 1936 r. o zalesianiu niektórych nieużytków (Dz.U. R.P. Nr 56, poz. 506),
- Ustawy z dnia 14 czerwca 1960 r. o zagospodarowaniu lasów i nieużytków niestanowiących własności Państwa oraz niektórych lasów i nieużytków państwowych (Dz.U. Nr 29, poz. 166) z dalszymi zmianami,

Tabela 1. Zalesienia gruntów w latach 1947–2000

Lata	Zalesiono, tys. ha				Procentowy udział gruntów Lasów Państwowych
	Gruntów rolnych i nieużytków	Gruntów poza skarbem państwa	Zalesiono		
			ogółem	w tym rocznie	
1947-1960	291,9	213,2	505,10	38,8	57,79
1961-1970	250,1	196,2	446,30	44,6	56,04
1971-1980	92,8	69,6	162,40	16,2	57,14
1981-1990	35, 1	27,8	62,90	6,3	55,8
1991-1995	33,8	17,2	51,03	10,2	66,20
1996-2000	57,5	37,3	94,74	18,8	60,64
1947-2000	761,1	501,32	1322,5	24,9	57,55

Opracowano na podstawie danych Fondera [2002].

- Zarządzenia Ministra rolnictwa z dnia 6 lutego 1961 r. w sprawie zasad i trybu sporządzania wykazów gruntów przewidzianych do zalesienia (M.P. Nr 18, poz. 89), uchylone w roku 1974,
- Ustawy z dnia 24 stycznia 1968 r. o rentach i innych świadczeniach dla rolników przekazujących nieruchomości na własność Państwa (Dz.U. Nr 3, poz. 15),
- Zarządzenia Ministra Leśnictwa i Przemysłu drzewnego z dnia 7 sierpnia 1961 r. w sprawie określenia przypadków, w których grunty nieleśne przeznaczone do zalesiania oraz grunty leśne mogą być zalesione na koszt Państwa (M.P. Nr 66, poz. 288), uchylone w roku 1974,
- Ustawy z dnia 8 czerwca 2001 r. o przeznaczeniu gruntów rolnych do zalesienia (Dz.U. Nr 73, poz. 764),
- Ustawy z dnia 28 listopada 2003 r. o wspieraniu rozwoju obszarów wiejskich ze środków pochodzących z Sekcji Gwarancji Europejskiego Funduszu Organizacji i Gwarancji Rolnej (Dz.U. Nr 229, poz. 2273),
- Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków i trybu przyznawania pomocy finansowej w ramach działania „Zalesianie gruntów rolnych oraz zalesianie gruntów innych niż rolne”, objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007–2013 (Dz.U. Nr 114, poz. 786).

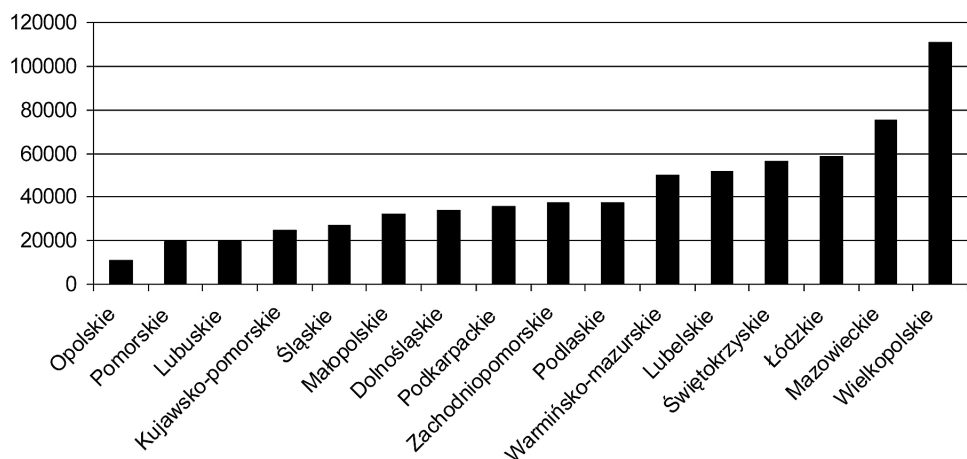
Wykonanie prac zalesieniowych w latach 1947–2000 gruntów rolnych i nieużytków oraz gruntów poza skarbem państwa pokazano w tabeli 1. Rocznie zalesiono łącznie gruntów rolnych i nieużytków oraz gruntów poza skarbem państwa:

- najwięcej (rocznie 44,6 tys. ha) w latach 1961–1970,
- mniej (rocznie 38,8 tys. ha) w latach 1947–1960,
- najmniej (rocznie 6,3 tys. ha) w latach 1981–1990,
- 10,2 tys. ha rocznie w latach 1991–1995,
- 18,8 tys. ha rocznie w latach 1996–2000,
- 24,9 tys. ha rocznie w latach 1947–2000.

Grunty Lasów Państwowych miały 55,8–66,2% udział w ogólnej puli gruntów zalesionych w latach 1947–2000. Fenomen bardzo dużego zalesienia gruntów w latach 1947–1960 i 1961–1970 zawdzięcza się nie tylko racjonalnym przepisom prawa zalesieniowego, lecz także przepisom prawa nie mających żadnego bezpośredniego związku z zalesianiem gruntów, a mianowicie:

- Ustawa z dnia 10 lipca 1952 r. o obowiązkowych dostawach zbóż (Dz.U. Nr 35, poz. 1982),
- Dekret z dnia 28 sierpnia 1952 r. o obowiązkowych dostawach ziemniaków (Dz.U. Nr 35, poz. 183),
- Dekret z dnia 19 grudnia 1953 r. o obowiązkowych dostawach zwierząt rzeźnych (Dz.U. Nr 62, poz. 357).

Wymienione powinności wobec państwa zostały uchylone ustawą z dnia 20 października 1971 r. o zniesieniu obowiązkowych dostaw zbóż, ziemniaków



Rys. 2. Powierzchnia (w ha) gruntów do zalesienia w latach 2001–2020 według województw. Opracowanie własne na podstawie danych w tabeli 1 [Zajac i Kwiecień 2002]

i zwierząt rzeźnych (Dz.U. Nr 27, poz. 253). Zalesienie gleb znikomej urodzajności było więc skutecznym sposobem łagodzenia presji państwa. Stąd też w latach 1961–1970 zalesiono 446 tys. ha rocznie, w latach 1971–1980 zalesiono 16,2 tys. ha rocznie, a w następnym dziesięcioleciu tylko 6,3 tys. ha rocznie (tab. 1).

3. Główne kierunki modyfikacji krajowego programu zwiększania lesistości

Główne kierunki modyfikacji Krajowego Programu Zwiększania Lesistości w latach 2001–2020 przedstawili Zajac i Kwiecień [2002]. W celu ustalenia podaży gruntów do zalesienia w Zakładzie Ekologii i Polityki Leśnej IBL (ZEiPL) opracowano ankietę służącą do określenia powierzchni gruntów przewidzianych do zalesienia oraz warunków realizacji programu zwiększania lesistości kraju. Ankieta zawiera pytania dotyczące m. in.: 1) powierzchni gruntów zalesionych w latach 1996–2000; 2) powierzchni gruntów przewidzianych do zalesienia w latach: 2001–2005, 2006–2010, 2011–2020; 3) powierzchni gruntów odłogujących, które mogą być przeznaczone do zalesienia; 4) powierzchni nieprzeklasyfikowanych w ewidencji gruntów, a faktycznie pokrytych lasem.

W ankietach zawarto również pytania dotyczące: 1) wyznaczenia granicy rolno-leśnej w planach zagospodarowania przestrzennego gmin; 2) skłonności rolników do zalesiania swoich gruntów; 3) liczby rolników uczestniczących w szkoleniu na temat zalesień; 4) wykonawców zalesień na gruntach prywatnych.

W tabeli „Kategoryzacja gmin pod względem potrzeby zalesieniowej” wymieniono 25 cech (kryteriów). Wśród nich: 1) niską lesistość do 15% na nizinach, do 30% w górach; 2) deficyt wody dla aglomeracji i dla rolnictwa;

Tabela 2. Powierzchnie gruntów rolnych kwalifikujących się do zalesienia na podstawie przepisów ustawy z dnia 8 czerwca 2001 r. o przeznaczeniu gruntów rolnych do zalesienia (Dz.U. Nr 73, poz. 764)

Województwo	Powierzchnia w tys. ha				
	Ogólna	Gruntów rolnych	Klas bonitacyjnych		
			VI+VIZ	VI+VIZ+½V	VI+VIZ+V
Dolnośląskie	1994,8	877,4	40,3	104,0	167,7
Kujawsko-pomorskie	1797,0	1010,8	86,9	155,0	223,1
Lubelskie	2511,4	1384,2	80,9	176,8	272,7
Lubuskie	1398,4	412,3	70,3	126,5	182,7
Łódzkie	1821,9	1062,3	181,9	329,1	476,3
Małopolskie	1514,4	690,9	56,2	119,8	183,3
Mazowieckie	3557,9	1866,1	334,4	569,9	805,5
Opolskie	941,2	482,9	33,3	70,4	167,4
Podkarpackie	1792,6	665,8	42,9	97,8	152,8
Podlaskie	2018,0	805,1	142,2	243,2	356,3
Pomorskie	1829,4	711,5	98,5	167,9	237,4
Śląskie	1229,4	486,1	47,5	110,8	174,2
Świętokrzyskie	1169,1	595,8	79,0	135,6	192,3
Warmińsko-mazurskie	2420,3	896,6	61,0	136,5	212,0
Wielkopolskie	2982,6	1586,8	269,1	445,2	621,2
Zachodniopomorskie	2290,2	880,7	57,8	221,2	221,2
POLSKA	31268,5	14415,3	1682,2	3134,0	4586,2

3) występowanie stepowienia; 4) ochrona wód podziemnych i inne. Wszystkie cechy powinny być wyrażone liczbowo, aby w obliczeniach zastosować dokładniejsze metody.

Wątpliwość budzi pracochłonny (kosztowny) ankietowo-deklaratywny sposób szacowania tak zwanej podaży gruntów do zalesienia. Jak też sama „podaż” – pojęcie rynkowe, które dotyczy kontrahentów. Leśnej Polityki Państwa nie można planować, a tym bardziej realizować na podstawie deklaratywnej podaży. Tym bardziej, że już od 1981 r. dysponujemy szczegółową dokumentacją „Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej” [IUNG 1981], która posłużyła m.in. do opracowania mapy polski w skali 1:1000000 niedoboru lesistości i potrzeby dolesienia według gmin (rys. 2).

Ustawa z dnia 8 czerwca 2001 r. o przeznaczeniu gruntów rolnych do zalesienia (Dz.U. Nr 73, poz. 764) stanowiła:

Art. 3.1. Grunt rolny będący częścią gospodarstwa rolnego lub stanowiący jego część może być przeznaczony do zalesienia, jeżeli spełnia co najmniej jeden z niżej wymienionych warunków:

- a) jest gruntem klasy VI lub V,
- b) jest gruntem położonym na stoku o średnim nachyleniu powyżej 15%,

- c) jest gruntem okresowo zalewanym,
- d) jest gruntem zdegradowanym w rozumieniu ustawy z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych.

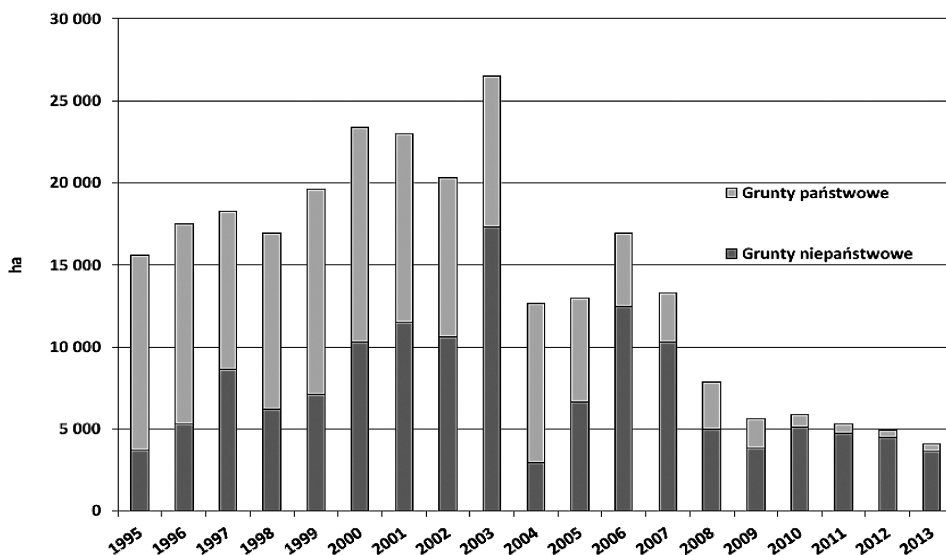
2. Roczna powierzchnia gruntu przeznaczonego do zalesienia nie może być mniejsza niż 0,4 ha i nie może przekraczać 30 ha, przy czym minimalna powierzchnia wydzielona musi wynosić co najmniej 0,1 ha.

Art. 4.1. Zalesienie gruntu rolnego jest dokonywane na podstawie planu zalesienia, a uprawa leśna jest prowadzona przez właściciela gruntu zgodnie z uproszczonym planem urządzenia lasu lub decyzją starosty określającą zadania w zakresie gospodarki leśnej.

Art. 7.1. Właściciel gruntu, który otrzymał decyzję administracyjną o prowadzeniu uprawy leśnej ... nabywa prawo do miesięcznego ekwiwalentu za wyłączenie gruntu z upraw rolnych i prowadzenie uprawy leśnej.

6. Właściciel gruntu otrzymuje ekwiwalent do czasu nabycia prawa do emerytury lub renty, nie dłużej jednak niż przez okres 20 lat.

Ustawa z dnia 8 czerwca 2001 r. o przeznaczeniu gruntów rolnych do zalesienia (Dz.U. Nr 73, poz. 764) oraz wyniki klasyfikacji gruntów rolnych, a także kompleksów rolniczej przydatności gleb [IUNG 1981, 1993] stanowią najbardziej zasadne podstawy wyliczenia (szacowania) niedoboru lesistości oraz potrzeby zwiększenia lesistości w gminie, powiecie, jak też w każdym innym obszarze (tab. 2). Nadmienia się, że wyniki tabeli 2 są zbieżne z szacunkiem



Rys. 3. Realizacja zalesień na gruntach państwowych i niepaństwowych w latach 1995–2013 [KPZL] Źródło: Aktualizacja krajowego programu zwiększania lesistości 2014 IBL, Sekocin Stary, październik 2014

potrzeb zalesienia nieefektywnych gruntów rolnych [Siuta 1974] oraz z danymi opublikowanymi w 1996 r. [Siuta 1996].

Zalesienie gruntów klas VI + VIZ o powierzchni 1682,2 tys. ha w kraju jest niezbędne (minimalne). W województwach wynosi od 33,3 tys. ha w opolskim do 334,4 tys. ha w mazowieckim.

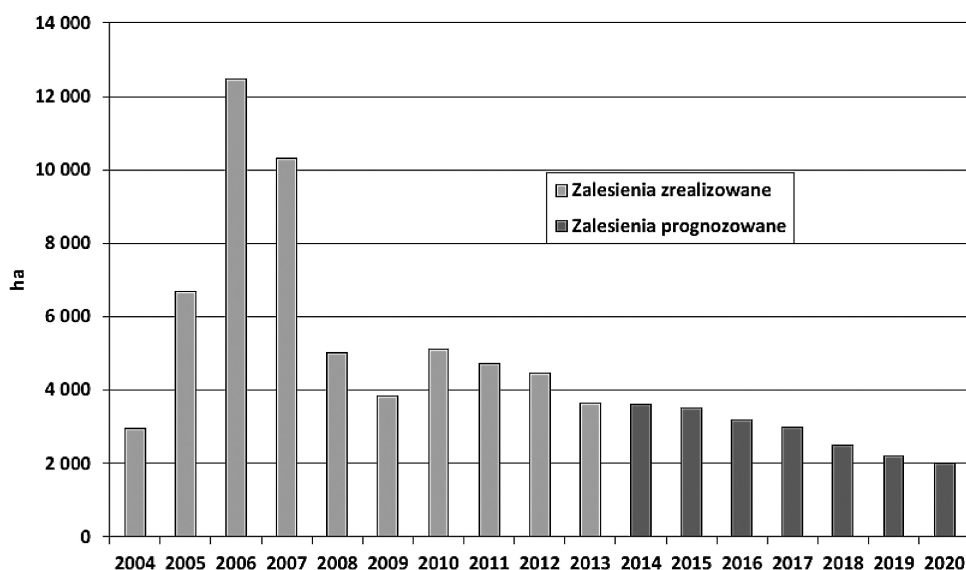
Zalesienie gruntów klas VI + VIZ + 1/2V o powierzchni 3134,0 tys. ha w kraju należałoby zrealizować w nieodległej przyszłości. Najmniejszy areal gruntów do zalesienia ma województwo opolskie (33,3 tys. ha), a najwięcej mazowieckie (569,9 tys. ha), łódzkie (329,1 tys. ha), podlaskie (249,2 tys. ha) i wielkopolskie (455,2 tys. ha). Zalesienie gruntów klas VI + VIZ + 1/2V jest wielkością optymalną na terenach rolno-leśnych, bez dodatkowych funkcji ekologicznych, w tym ochrony powierzchni ziemi w terenach urzeźbionych.

Ustawa z dnia 14 lutego 2003 r. o zmianie ustawy o przeznaczeniu gruntów rolnych do zalesienia oraz ustawy – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 46, poz. 392).

Art. 2. Starosta po zasięgnięciu opinii właściwego nadleśniczego oraz w uzgodnieniu z wójtami (burmistrzami, prezydentami miast), WFOŚiGW oraz Agencją Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, w terminie do 31 marca każdego roku, określa ogólną powierzchnię gruntów rolnych – zwaną dalej „rocznym limitem zalesienia” – które w następnym roku mogą być przeznaczone do zalesienia na obszarze powiatu.

Przepis tego paragrafu z rocznymi limitami gruntów do zalesienia wystarczająco zniechęcił właścicieli gruntów do ubiegania się o fragment owego limitu, a ponadto wyraźnie ograniczoną możliwością realizacji zalesień niezbędnych na dużych obszarach kraju. Racjonalne przepisy ustawy z 2001 r. przyczyniły się do wydatnego wzrostu powierzchni zalesionych gruntów niepaństwowych w roku 2003, a znowelizowane przepisy ustawy z 2003 r. sprawiły wielokrotne pomniejszenie powierzchni gruntów zalesionych w 2004 r. oraz trzykrotne pomniejszenie w 2005 r. (rys. 3).

W latach 2004 i 2005 zalesiono odpowiednio 12,7 i 12,9 tys. ha, ale tylko 3,0 i 6,7 tys. ha na gruntach niepaństwowych. W roku 2005 złożono około 45 000 wniosków o zalesienie w roku 2006 gruntów niepaństwowych o powierzchni 17 tys. ha. Na tej podstawie oczekiwano znacznego wzrostu zalesień wg nowych uregulowań prawnych. Oczekiwanie to spełniło się w około 50%. W Polityce ekologicznej państwa w latach 2009–2012 z perspektywą roku 2016 (M.P. z 2009 r. Nr 34, poz. 501) nadmienia się, że niska podaż gruntów do zalesienia nie wynikała z braku rzeczywistej potrzeby zalesiania gruntów rolnych, lecz z niefunkcjonalności obowiązujących uregulowań prawnych i administracyjnych, w tym z braku miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego gmin, jak też z nierozpoznania potrzeby zalesiania w studiach uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin. Nie bez istotnego znaczenia były też bardzo skromne środki finansowe na realizację planowanych zalesień. Dowodzi tego 50% realizacja zgłoszonych potrzeb.



Rys. 4. Powierzchnia zalesień na gruntach niestanowiących własności Skarbu Państwa w latach 2004–2013 oraz prognozowania powierzchni zalesień w latach 2014–2020 [Aktualizacja krajowego programu zwiększania lesistości, IBL, Sekocin Stary, październik 2014]

4. Realizacja krajowego programu zwiększenia lesistości

Realizacja Krajowego Programu Zwiększenia Lesistości (KPZL) w latach 2001–2020 (rys. 3) podważa merytoryczną zasadność modyfikacji tego planu. Zgodnie z informacją o stanie lasów oraz o realizacji Krajowego Programu Zwiększania Lesistości w 2014 r., uzyskano wymienione poniżej rezultaty.

Założenia programu dla lat 2001–2003 zostały zrealizowane ogółem w 40%. Stopień realizacji KPZL na gruntach własności Skarbu państwa wyniósł 59%, a na gruntach niepaństwowych 38%. W ujęciu regionalnym realizacja programu jest bardzo zróżnicowana. Jedynie w dwóch województwach zalesienia wprowadzono na ponad 100% założonego w modyfikacji KPZL z 2003 r. areалу (kujawsko-pomorskie 109%, warmińsko-mazurskie 101%). W pomorskim, zachodniopomorskim, lubuskim i dolnośląskim wykonanie programu wyniosło 63–78%, a w pozostałych województwach poniżej 50%. Szczególnie niepomyślnie wygląda sytuacja w województwach: śląskim, wielkopolskim, małopolskim świętokrzyskim, łódzkim oraz lubelskim, gdzie założenia KPZL wykonano w mniej niż 25%. Do grupy województw o bardzo niskiej realizacji należą te o największych preferencjach zalesieniowych (z wyłączeniem woj. śląskiego).

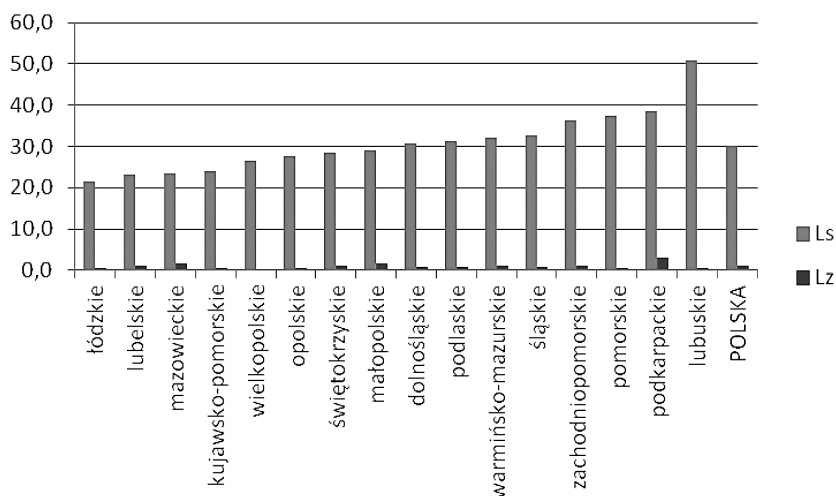
Pełna realizacja KPZL w latach 2014–2020 wymagałaby 520,7 tys. ha, w tym 69,3 tys. ha gruntów Skarbu Państwa oraz 451,4 tys. ha gruntów niepaństwowych. Aby ten cel mógł być osiągnięty średnioroczny rozmiar zalesień na grun-

tach państwowych musiałyby wynosić 9,9 tys. ha, a na gruntach niepaństwowych 64,5 tys. ha.

Przewidywany na lata 2001–2020 stopień realizacji KPZL (według celów określonych w modyfikacji z 2003 r.) dla gruntów niepaństwowych wyniesie 22% (rys. 4). W największym stopniu założenia programu zostaną zrealizowane w woj. warmińsko-mazurskim (87%), kujawsko-pomorskim (59%) i lubuskim (40%), a w najmniejszym stopniu w: śląskim (8%), wielkopolskim (9%), małopolskim (11%), świętokrzyskim (13%) oraz łódzkim (14%). Wymienione wyżej dane (rys. 4) kolidują bardzo wyraźnie z powierzchniami gruntów rolnych przewidzianych do zalesienia w latach 2001–2020 – zawartych w „Głównych kierunkach modyfikacji Krajowego programu zwiększania lesistości” [Zajac i Kwiecień 2002].

5. Porównanie struktury przestrzennej lesistości w gminach z roku 1980 ze strukturą lesistości w gminach 2016 r.

Porównanie struktury przestrzennej lesistości w gminach z roku 1980 ze strukturą lesistości w gminach 2016 r. przedstawili Siuta i Żukowski [2017]. Zestawienie zbioru ewidencji gruntów dla gmin w 2016 r. dowodzi, że mimo realizacji kolejnych KPZL obszary bardzo dużego niedoboru lasu tylko w nieznacznym stopniu pomniejszyły jego niedobór. Natomiast obszary o lesistości optymalnej wydatnie przekroczyły wskaźniki lesistości optymalnej. Największa rozbieżność pomiędzy bardzo wygórowaną podażą (rys. 2) a jej realizacją (rys. 5) stwierdzono w województwie wielkopolskim. Nadmienia się, że zalesieniowa realizacja ankietowej podaży sprawdziła się najbardziej w województwach o małej podaży, a w najmniej-



Rys. 5. Procentowy udział lasu Ls oraz zadrzewienia Lz powierzchni województw oraz kraju w roku 2016. Opracowanie własne na podstawie danych statystycznych

szym stopniu w województwach o podaży bardzo dużej – na obszarach o dużym niedoborze lasów.

W świetle powyższych danych zilustrowanych graficznie (rys. 4) stopień realizacji planowych zalesień gruntów w latach 1995–2016 świadczy o bardzo małej skuteczności polityki zalesieniowej państwa. Wśród wielu powodów tego stanu, głównym był i nadal jest brak merytorycznego opisanie wielorakich następstw nadmiernego wylesienia: wietrzna erozja powierzchni ziemi, intensyfikacja parowania wody, nadmierna przesiąkliwość wody i gwałtowność opadów atmosferycznych, powodzie itp. Nie tylko historycznie opisane przez Dunin-Wąsowicz [1974], ale także znane nam dobrze ekstremalnie (klęskowe) zjawiska w latach ostatnich.

Według Dunin-Wąsowicz [1974] szata leśna i jej dewastacja na obszarach nizinnych w Europie Środkowej jest sprawą podstawowej wagi dla interesujących nas zagadnień, to znaczy przemian środowiska naturalnego. W świetle badań geograficznych coraz wyraźniej poznajemy związek zmniejszenia się obszarów leśnych i ich wpływu na hydrografię związanych z nimi terenów. Postęp osadnictwa w rejonach górskich w Polsce południowej, i z tym związany masowy wyręb lasów u źródeł rzek górskich wywołały zmiany w ilości i jakości opadów, zwiększały ich gwałtowność, a również wpływały na rozregulowanie topnienia śniegów i lodów, tym samym sprzyjając gwałtownym powodziom, których nasilenie, jak wiemy ze źródeł pisanych, wzrastało się w XIII w. Nic jednak wyrębu lasów nie mogło zatrzymać: drzewo było podstawowym budulcem dla plemion i państw położonych na obszarach Niżu Europejskiego, a potrzeba na ten surowiec wzrastała się nieustannie, zarówno ze wzrostem osadnictwa jak i rozprzestrzeniania się systemu obronnego związanego z formacjami państwowymi. Interesujące jest spojrzenie w tym względzie na mapę kwatermistrzostwa obejmującą obszary międzyrzecza Wisły i Pilicy. Widzimy białe plamy wokół grodów wczesnośredniowiecznych, a już rejon Radomia, Skrzynna i Sieciechowa jest wzorcowy w tej mierze. Przechodząc do konkluzji należy sadzić, że wyżej wymienione elementy środowiska naturalnego, jak drzewo, gleba, sól i ruda darniowa, pociągały człowieka do ich eksploatacji i tym samym ich dewastacji, ponieważ były niezbędnymi czynnikami do egzystencji i rozwoju osadnictwa wczesnośredniowiecznego. Wszystkie te bogactwa znajdowano w pasie wielkich dolin. Stąd też koncentracja na tych obszarach, a za tym idące zniszczenie krajobrazu naturalnego, które osiąga jakiś swój „próg” w połowie XIII w., by w następnych okresach przenieść punkt ciężkości dewastacji i użytkowania na dalsze wyżynne obszary.

Według Erika P. Eckholsa [1978] ekologiczna rola lasów jest jeszcze mniej oczywista niż ich funkcje społeczne i ekonomiczne. Lasy uczestniczą w przywracaniu wody, tlenu, węgla i azotu dla podstawowego globalnego obiegu bez żadnego uszczuplania nieodnawialnych paliw kopalnych. Wszystko to oczywiście nie jest opisane. Pełna historia lasów na kuli ziemskiej od czasu pojawienia się człowieka byłaby fascynującym odpowiednikiem historii ludzkiej cywilizacji. Sposób traktowania lasów przez człowieka jest głęboko spleciony z historią techniki, imperiów i idei, jak tego uczy los jednego dobrze znanego i dobrze zbadanego drzewostanu

– cedrów libańskich. Góry Libanu stanowiące kręgosłup kraju o tej samej nazwie były ongiś pokryte okazałymi cedrami, których przydatność dla człowieka stała się legendarna w całym starym Świecie. Wyręb cedrów rozpoczęto około 3000 lat p.n.e. Ostatnie wielkie zagrożenie lasów Libanu wystąpiło podczas II wojny światowej, gdy wojska brytyjskie wycinały jodły i dęby na podkłady dla budowanej przez siebie linii kolejowej z Trypolisu do Hajfy.

Poznanie przyrodniczo-gospodarczych i społecznych uwarunkowań następstw historycznych niszczenia lasów w skali lokalnej i obszarowej jest niezbędne do opracowania i zrealizowania krajowego programu leśnej fitomelioracji krajobrazu i fitomelioracyjnej odnowy środowiska przyrodniczego.

W celu przeciwdziałania postępującej wieloczynnikowej degradacji środowiska naturalnego i sukcesywnego naprawiania szkód przeszłości należy opracować i realizować systematycznie „Zalesieniowy program melioracji środowiska w Polsce”, który powinien uwzględnić wyżej opisane następstwa niedoboru lasu oraz ekologiczno-gospodarcze i społeczne korzyści zlikwidowania niedoboru lasów w Polsce. Wiadomo że żaden wieloletni kosztowny KPZL nie zyska zrozumienia, a tym bardziej akceptacji z odpowiednimi środkami finansowymi włącznie, bez wiarygodnej kompleksowej dokumentacji.

6. Podsumowanie i wnioski

1. Porównanie lesistości oraz jej niedoboru w roku 1980 z lesistością w 2016 r. dowodzi jednoznacznie, że lesistość wzrosła bardziej na obszarach o dużej i bardzo dużej lesistości, a w najmniejszym stopniu na obszarach o dużym i bardzo dużym niedoborze lasu – w środkowo-wschodniej części Polski. Jest to obszar najmniejszych opadów atmosferycznych, malej wodnej retencji gleb piaskowych, nasilonych wiatrów i wahań temperatury dobowej. Powyższych czynników degradacji środowiska nie uwzględniono w planowaniu i wykonaniu niezbędnych zalesień.
2. Polska dysponuje wynikami klasyfikacji gruntów rolnych wraz z oceną ich agroekologicznej przydatności (kompleksów glebowo-rolniczych) w każdej gminie na terenie całego kraju, które posłużyły (miedzy innymi) do opracowania: 1) wskaźników waloryzacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej [IUNG 1981], 2) mapy Polski „potrzeby dolesień oraz wskaźników niedoboru lasów w gminach, 3) podręczników „Przydatność rolnicza gleb” [1973] oraz „Kształtowanie przyrodniczych warunków rolnictwa w Polsce” [1974]. Wymienionych dokumentacji nie uwzględniono w opracowywaniu kolejnych KPZL.
3. Postępująca degradacja najsłabszych gruntów rolnych w minionym czasie sprawiła, że oprócz nieużytków zinwentaryzowanych w latach klasyfikowania gruntów na terenie całego kraju powstały kolejne powierzchnie nieużytków i odłogów oraz rolniczo nieefektywnych gruntów, których nie przeklasyfikowano, pozostawiając je bez zmiany w ewidencji gruntów.

4. Ustawa z dnia 6 czerwca 2001 r. o przeznaczeniu gruntów rolnych do zalesienia (Dz.U. Nr 73, poz. 764) oraz realizacja jej przepisów stanowią wzorcowy przykład możliwości pozyskiwania gruntów oraz finansowania prac zalesieniowych i pielęgnacyjnych, ale zniweczono to pod rządami Ustawy z dnia 14 lutego 2003 r. o zmianie ustawy przeznaczeniu gruntów rolnych do zalesienia (Dz.U. Nr 46, poz. 392) mimo, że kryteria kwalifikowania gruntów do zalesień nie zostały zmienione.
5. Daleko idące dysproporcje w zalesieniu poszczególnych województw (rys. 5), zwłaszcza pomiędzy województwami: łódzkim, lubelskim i mazowieckim, a zachodniopomorskim, pomorskim, podkarpackim i lubuskim. Polityka zalesieniowa państwa powinna więc zmierzać do pomniejszania (nawet likwidowania) niedoboru lesistości w środkowo-wschodniej części kraju (granica byłego Królestwa Polskiego).
6. Ustanowienie i zrealizowanie programu leśnej fitomelioracji środowiska na obszarach wiejskich wydatnie zwiększy efektywność produkcji rolniczej oraz ulepszy ekologiczną egzystencję ludności. Nadmieniam, że pojęcie melioracji (ulepszania) nie sprowadza się do odwodnienia gruntów i nawodnienia upraw oraz, że fitomelioracja środowiska jest pożądaną na całej biologicznie czynnej powierzchni ziemi.
7. Znajomość uwarunkowań oraz przyrodniczo-gospodarczych następstw niszczenia lasów w przeszłości [Dunin-Wąsowicz 1974, Eckholm 1978, Strzemski 1961] powinna służyć realizacji ekologicznej odnowy biologicznie czynnej powierzchni ziemi: „Przeszłość – Przyszłość”.

Bibliografia

- Dembińska M. 1970. Las średniowieczny – eksploatacja rabunkowa czy gospodarka? Kwart. HKM, t. 15, nr 1, 3–14.
- Dunin-Wąsowicz T. 1974. Zmiany w topografii osadnictwa wielkich dolin na niżu środkowo-polskim w XIII wieku. Wyd. Ossolineum, ss. 175.
- Eckholm E.P. 1978. Ziemia którą tracimy Stres środowiskowy a perspektywy wyżywienia świata. PWE. Warszawa, ss. 332.
- Fonder W. 2002. Organizacyjne i ekonomiczne aspekty zwiększania lesistości w Polsce. Post. Nauk Roln. nr 3, 41–50.
- Gorzela A. (red.) 1999. Zalesienie terenów porolnych. IBL. Warszawa, ss. 172.
- Grzywacz A. 2002. Problemy zalesień w wielofunkcyjnym rozwoju obszarów wiejskich. Post. Nauk Roln. nr 3, 5–18.
- Krajowy Program Zwiększania Lesistości (KPZL) 2003, 2005, 2009. Warszawa.
- IUNG 1981. Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski według gmin, Puławy, ss. 248.
- IUNG 1993. Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski według gmin (suplement), Puławy, ss. 175.

- Irga J. 2004. Zawartość składników mineralnych w wodach drenażowych z użytków rolnych w Polsce. Monografie i Rozprawy Naukowe 13, IUNG w Puławach, ss. 123.
- Łonkiewicz B. 1996. Problemy lesistości w planowaniu regionalnym. Prace IBL, ser. B, 27, 5–33.
- Łukaszewicz J., Mikułowski M. 2002. Problemy zalesiania nieefektywnych gruntów rolnych. Inżynieria Ekologiczna nr 6, 31–37.
- Maruszczak H. 1950. Stan i zmiany lesistości województwa lubelskiego w latach 1830–1930. Annales UMCS w Lublinie, vol. V, ser. B, nr 5.
- Ostrowski J. 1971. Ewolucja struktury użytkowania gruntów na tle wylesienia terenu i aktualny stan gleb ornych powiatu Piaseczno (praca doktorska). IUNG Puławy.
- Partyka T. 1973. Wstępna prognoza użytkowania ziemi z punktu widzenia leśnictwa i ochrony środowiska naturalnego. Sylwan nr 3.
- Pruchniarski T.H. 2000. Krajowy program zwiększania lesistości. Poradnik od A do Z. PWRiL. Warszawa, ss. 223.
- Siuta J. 1974. Kształtowanie przyrodniczych warunków rolnictwa w Polsce. PWN Warszawa, ss. 357.
- Siuta J. 1996. Ekologiczno-produkcyjne wymogi zalesienia nieefektywnych gruntów rolnych. Prace IBL ser. B, nr 27, 5–19.
- Siuta J., Zielińska A., Makowiecki K., Sroka L. 1987. Potrzeby doleśień, mapa Polski, w skali 1:1000000. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Siuta J., Żukowski B. 2017. Porównanie struktury przestrzennej potrzeby doleśnienia gmin w roku 1980 w Polsce z lesistością w roku 2016. Inżynieria Ekologiczna, 18(5), 40–57.
- Smykała J. 1998. Historia, rozmiar i rozmieszczenia porolnych w okresie powojennym (1045–1987). Leśne zagospodarowanie gruntów porolnych. PTL Warszawa, 5–15.
- Strzelecki W., Sobczak R. 1972. Zalesianie nieużytków i gruntów trudnych do odnawiania. PWRiL. Warszawa, ss. 352.
- Strzemiński M. 1961. Przemiany środowiska geograficznego Polski jako tła przyrodniczego rozwoju rolnictwa na ziemiach polskich od początków trzeciego tysiąclecia p.n.e. do naszych czasów.. Kwart. HKM t. 9, nr 3, 334–349.
- Śląski K. 1966. Eksploatacja lasów w Polsce od X do XV wieku. Studia z dziejów Gospodarstwa Wiejskiego, t. 7, 8.
- Zajac S., Kwiecień R. 2002. Główne kierunki modyfikacji Krajowego programu zwiększania leskości. Post. Nauk Roln. 3, 51–61.
- Żabko-Potopowicz A. 1968. Zarys historii wylesień w Polsce do 1 wojny światowej w powiązaniu ze stosunkami rolniczymi. Studia z dziejów Gospodarstwa Wiejskiego, t. 8.

CZĘŚĆ II

Biologiczna rekultywacja gruntów
w górnictwie odkrywkowym

Leśna rekultywacja gruntów w górnictwie węgla brunatnego

Jerzy Wójcik¹, Wojciech Krzaklewski²

1. Wprowadzenie

Eksploatacja odkrywkowa węgla brunatnego powoduje daleko idące zmiany w krajobrazie, jego pierwotne funkcje zostają zakłócone. Zadaniem rekultywacji jest, po zakończonej eksploatacji, naprawa tych zakłóceń. Leśna rekultywacja gruntów pogórnich, jest procesem inicjowanym i stymulowanym przez zespół zabiegów, mających na celu wprowadzenie i zapewnienie dobrego wzrostu zalesień, w których wymiana między szatą roślinną a glebą prowadzi do intensywnego rozwoju procesów glebotwórczych, a w konsekwencji do powstania leśnego ekosystemu.

Podstawowym zadaniem zalesień jest działanie glebotwórcze i przeciwoerozyjne, a główny efekt, w postaci inicjalnej gleby, uzyskuje się dzięki dostawie znacznej ilości biomasy próchnicznej oraz azotu i innych niezbędnych biogenów. Bez tych czynników nie może być mowy o racjonalnej rekultywacji [Skawina 1958].

Szacuje się, że przemysł wydobywczy górnictwa węgla brunatnego w Polsce zajął po 1945 r. około 37 500 ha powierzchni (gruntów rolnych – ok. 60%, leśnych – ok. 30% oraz innych – 10%). Dotychczasowe polskie i europejskie rozwiązania przy tworzeniu na obszarach pogórnich nowych krajobrazów pierwszeństwo dawały nowym lasom. Z ogólnego areалу terenu zajętego przez to górnictwo około 13 000 ha zrehabilitowano, w tym dla kierunku leśnego ok. 5800 ha, dla rolnego ok. 5200 ha, dla wodnego ok. 1400 ha, specjalnego ok. 700 ha, rekreacyjnego ok. 200 ha. Około 5000 ha gruntów nieprzekształconych oddano do zagospodarowania bez rekultywacji. Aktualnie około 19000 ha znajduje się nadal pod działalnością górnictwem. Leśny kierunek rekultywacji dominuje w kopalniach Turów, Bełchatów, Babina (Przyjaźń Narodów) koło Łęknicy. Natomiast w okręgu Konin-Turek zdecydowanie dominuje kierunek rolny (około 5200 ha) a zalesieniami objęto około 3000 ha [Kasztelewicz 2018].

Pionierskie zalesienia oparte na podstawach naukowych, podjęto w Polsce w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku [Skawina i Greszta 1959]. Wprawdzie

¹ Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

² Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków

znacznie wcześniej wykonywano już pierwsze próby wprowadzenia roślinności na powierzchnie nieużytków przemysłowych, jednak nie miały one charakteru zorganizowanych badań. Intensywny rozwój przemysłu wydobywczego i związana z tym uciążliwość dla otoczenia, niekiedy rozległych obszarów spowodowały podjęcie prac rekultywacyjnych jeszcze przed wejściem w życie pierwszych aktów prawnych w tym zakresie. Ich celem była likwidacja bądź ograniczenie uciążliwości i poprawa estetyki krajobrazu. Wiodącą rolę w organizacji i prowadzeniu badań w tym zakresie odegrała krakowska szkoła rekultywacji prof. T. Skawiny przy współpracy różnych jednostek naukowych (m.in. IPIŚ PAN w Zabrzu, Politechniki Wrocławskiej) i branżowych (m.in. Poltegor Wrocław, IUNG Puławy, IBL, IKŚ). Uzyskane wyniki dały podstawę do opracowania założeń naukowych i wytycznych dla praktycznej działalności w odniesieniu do rekultywacji w większości gałęzi przemysłu wydobywczego w Polsce oraz stanowiły fundament dla sformułowania pierwszych aktów prawnych. W dalszym okresie nastąpiła specjalizacja ośrodków badawczych wynikająca z obejmowania rekultywacją terenów bezglebowych o bardzo zróżnicowanych właściwościach [Żuławski 1988]. Ośrodki badawcze, jak również jednostki wykonujące rekultywację oraz przejmujące tereny do zagospodarowania, prezentują często odmienne podejście do metod uproduktywnienia surowych gruntów przemysłowych, niekiedy bardzo różnorodnych pod względem aktywności glebotwórczej. Stąd rezultaty osiągnięte w wyniku długoletnich badań odnoszą się z reguły tylko do konkretnej grupy terenów i określonej metody rekultywacji. Pomimo kilkudziesięcioletniej historii rekultywacji leśnej terenów bezglebowych w górnictwie odkrywkowym w Polsce oraz dużego arealu gruntów przekazanych do zagospodarowania, w dostępnej literaturze przedmiotu nadal występuje niedobór opracowań dotyczących kompleksowej oceny wpływu stosowanych metod rekultywacji na stopień rozwoju głównych komponentów ekosystemów leśnych powstających na terenach pogórnicznych.

2. Cel i metodyka

Celem niniejszego opracowania jest omówienie najczęściej stosowanych w praktyce rekultywacyjnej w Polsce metod zalesiania oraz próba wstępnej oceny ich efektywności. Powierzchnie doświadczone, założone przed laty przez różne ośrodki badawcze na licznych zwałowiskach górnictwa odkrywkowego, pozwalają obecnie, po odpowiednio długim okresie wzrostu wprowadzonych zalesień, na wstępną ocenę efektów zastosowanych metod.

Prezentowaną w pracy ocenę efektywności metod rekultywacji leśnej oparto na wynikach ilościowych oznaczeń węgla organicznego i azotu ogólnego w warstwie 0–10 cm poziomów próchnicznych inicjalnych gleb tworzących się na wybranych zwałowiskach kopalń węgla brunatnego. Każdy z tych składników był analizowany na poziomie zawartości ogólnej metodami powszechnie stosowanymi w gleboznawczych analizach laboratoryjnych [Lityński i in. 1976]. Na podstawie

zawartości C_{org} i N_{og} oraz gęstości objętościowej utworów glebowych wyliczono zapas tych pierwiastków w ocenianej warstwie.

Uzyskane wyniki odniesiono do powszechnie stosowanych w publikacjach naukowych z zakresu rekultywacji wskaźników, w przypadku próchnicy do klasyfikacji Siuty [1982], a w przypadku N do klasyfikacji Gołdy [Gołda 2007]. Do oceny wzrostu drzew stosowano ogólnie przyjęte w Polsce metody pomiaru pierśnicy i wysokości oraz wyliczania zapasu i zadrzewienia [Grochowski 1973]. Natomiast do oceny różnorodności dendrologicznej w zalesieniach na zwałowisku i w lasach gospodarczych wykorzystano stosowany w badaniach ekologicznych wzór Shannona [Krebs 1996].

3. Diagnoza stanu siedliska

Utwory nadkładu z których powstają zwałowiska w górnictwie węgla brunatnego są bardzo zróżnicowane. Nadkład każdej kopalni prezentuje inne właściwości, co przenosi się na właściwości utworów deponowanych w wierzchnich warstwach zwałowisk (tab. 1). W związku z tym rekultywacja leśna terenów bezglebowych w górnictwie odkrywkowym węgla brunatnego w Polsce realizowana była i jest na utworach reprezentujących szerokie spektrum właściwości fizycznych i chemicznych [Skawina 1970, Bender 1995, Gilewska 1991, Krzaklewski 2001, Węgorek 2003, Kowalik i Wójcik 2004]. Wpływa to na warunki siedliskowe, w których realizowane jest zalesienie. Trafne rozpoznanie tych warunków decyduje o efektach rekultywacji. Chodzi zwłaszcza o ocenę aktualnego stanu siedliska, a w dalszej perspektywie również potencjalnego.

Każdy obiekt pogórnictwa, a nawet jego części, różnią się istotnie między sobą i wymagają odrębnej oceny warunków siedliskowych jako podstawy do rekultywacji biologicznej i zalesienia (tab. 1). Prace nad metodami diagnozowania siedliska na takich terenach pierwsi w Polsce podjęli: Skawina [1958, 1969], Greszta i Skawina [1965], Skawina i Trafas [1971], Strzyszczyński i Harabin [1978] oraz Krzaklewski [1979]. W celu klasyfikacji utworów nadkładu dla potrzeb rekultywacji, w górnictwie węgla brunatnego opracowano już na początku lat siedemdziesiątych punktową klasyfikację przydatności rekultywacyjnej gruntów (Skawina, Trafas 1971). Przydatność tę wyraża liczba bonitacyjna gruntu LB, której wartość określa suma punktów czterech wskaźników: litologicznego (ustalonego na podstawie składu ziarnowego), wapniowego (zawartości węglanów), sorpcji BM (błękitu metylenowego) i spoistości gruntów. Na podstawie sumy punktów grunt zalicza się do odpowiedniej klasy przydatności do rekultywacji [Skawina i Trafas 1971].

Krzaklewski [1988] zaproponował prostą i tanią metodę informującą o stopniu trudności rekultywacji biologicznej. Jest to metoda wykorzystująca podatność utworów na zarastanie (szybkość zarastania) przez roślinność z sukcesji. Zarastanie to pokrycie terenu roślinnością z sukcesji >50%. Na tej podstawie wydzielono trzy grupy terenów:

Tabela 1. Wybrane właściwości utworów budujących tereny do rekultywacji w kopalniach węgla brunatnego w Polsce i prognozowany potencjalny typ siedliskowy lasu [Krzaklewski 2017]

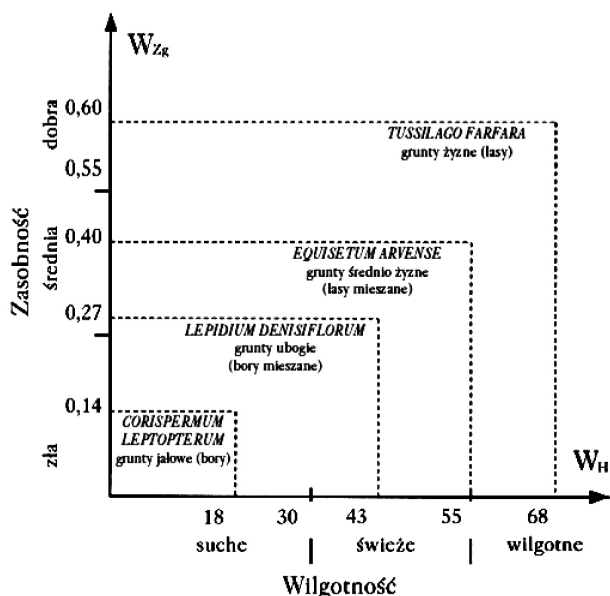
Nazwa kopalni	Przeważające utwory nadkładu	Wybrane właściwości utworów						Potencjalny typ siedliskowy lasu
		Przeważający gatunek gleby* na zwałowisku	Wartości pH w KCl	Składniki przyswajalne dla roślin [mg/100g]			Zawartość [%]	
				K ₂ O	Mg	P ₂ O ₅		
Turów	trzeciorzędowe iły kaolinowe z domieszką piasków i żwirów	głina ciężka (rzadziej głina średnia)	4,0–6,5	8–40	10–50	0,1–2,0	0	Lwyz. św. LMwyz. św BMwyz. św
	przerosty węgla	j.w.	2,5–3,5	5–15	5–15	0,1–0,8	0	po neutralizacji BMwyz. św; LMwyz. św. rzadziej Lśw
Konin	czwartorzędowe gliny zwałowe i piaski; trzeciorzędowe iły poznańskie i piaski	głina średnia piasek gliniasty	7,0–7,8	12–20	5–15	0,5–5,0	0–15	Lśw rzadziej LMśw - BMśw
Adamów	czwartorzędowe piaski oraz gliny zwałowe i trzeciorzędowe iły poznańskie	piasek gliniasty głina lekka lub średnia	6,7–7,8	10–15	5–17	2–5	0–8	LMśw - BMśw rzadziej Lśw.
	trzeciorzędowe piaski rzadziej iły poznańskie	piasek luźny głina średnia lub ciężka	3,0–3,5	3–8	4–12	0,5–1,5	0 - 15	po neutralizacji Bśw. lub BMśw rzadziej LMśw
Łęknica	dominacja trzeciorzędowych piasków zasiarczonych i zawęglonych fitotoksycznych	j.w.	2,4–3,2	1,5–4,5	2,5–4,0	0,2–0,7	0	po neutralizacji Bśw-BMśw rzadziej LMśw
Bełchatów	dominacja czwartorzędowych i trzeciorzędowych piasków rzadziej czwartorzędowych glin i mułków oraz trzeciorzędowych iłów	piaski słabo gliniaste i gliniaste gliny rzadziej mułki i iły	6,5–8,2	2–17	2,5–9,0	0,1 –4,0	0–4	BMśw – LMśw rzadziej Lśw
	trzeciorzędowe piaski rzadziej iły poznańskie nadmiernie zasiarczone	przewaga piasków gliniastych rzadziej glin ciężkich lub średnich	3,0–3,5	3–6	1,5–2,5	0,1–2,0	0	po neutralizacji Bśw - BMśw rzadziej LMśw

* według BN-78/9180-11.

- I – zarastające bardzo wolno lub nie zarastające, brak na tych terenach roślinności samosiewnej przez co najmniej 10 lat, biologiczna rekultywacja jest bardzo trudna;
- II – zarastające wolno, samosiewne zarastanie nie występuje przez 5 lat, biologiczna rekultywacja jest trudna;
- III – zarastające szybko, samosiewne zarastanie występuje nie później niż po dwóch latach od ukształtowania obiektu do rekultywacji, biologiczna rekultywacja jest łatwa.

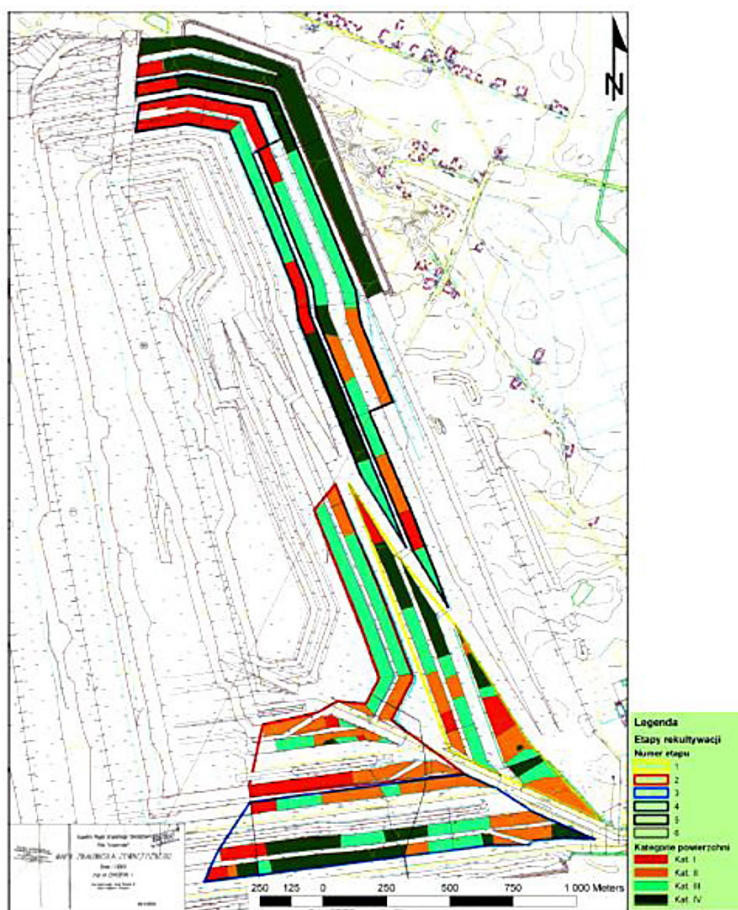
Rozwijając ten podział można dla konkretnych grup powierzchni dobierać szczegółowe metody oceny aktualnych warunków rekultywacji biologicznej. W grupie I i II stosować można metody wyłącznie gleboznawcze (metoda kartograficzno-glebową [Skawina i Trafas 1971, Gołda 2007], a w grupie III metody fitosocjologiczno-glebowe [Krzaklewski 1977, 1988]. Metoda fitosocjologiczno-glebową polega na opracowaniu mapy roślinności z sukcesji według kryteriów: stopnia pokrycia powierzchni przez roślinność i gatunków panujących. Następnie do oceny stopnia żyzności gruntów pod gatunkami panującymi stosuje się uproszczony wskaźnik żyzności $W_z = W_{zg} \cdot W_H$, gdzie: W_H – umowny wskaźnik efektywnej wilgotności gruntów, jako ilość wody dostępnej dla roślin, W_{zg} – uproszczony wskaźnik zasobności gruntu określony na podstawie laboratoryjnych analiz gruntów i wyliczany ze wzoru [według Puchalski, Prusinkiewicz 1975]. Według wartości uproszczonego wskaźnika żyzności W_z szereguje się gatunki panujące i na podstawie wskaźnika zasobności W_{zg} i efektywnej wilgotności W_H opracowuje się siatkę żyzności gruntów przypisując panującym gatunkom roślin odpowiednie siedliska (rys. 1).

Metodą tą oceniono stan siedliska na południowo-wschodnich zboczach zwałowiska zewnętrznego Kopalni „Adamów” [Krzaklewski 1979]. Inną metodą w grupie wykorzystującej sukcesję jest metoda inicjalnych stadiów zarastania [Krzaklewski 1988]. Wyróżnione na mapie obiektu zasięgi stadiów zarastania w połączeniu z charakterystyką właściwości inicjalnych gleb stanowią dobrą podstawę do oceny stopnia trudności rekultywacji biologicznej i doboru zabiegów.



Rys. 1. Siatka żyzności gruntów wraz z siedliskowymi typami lasu wyróżnionymi na podstawie występowania panujących gatunków roślin. Zwałowisko zewnętrzne KWB „Adamów” [Krzaklewski 1979]

Celem prezentowanych metod jest możliwość przeprowadzenia, na podstawie uzyskanych wyników na konkretnym obiekcie, przewidywanej rekonstrukcji przebiegu sukcesji i prognozowania przypuszczalnych przemian zbiorowisk roślinnych (sukcesji), a na tej podstawie przewidywanie potencjalnych siedlisk, co dla gospodarki leśnej ma pierwszorzędne znaczenie. Metody te po raz pierwszy zastosowano w Polsce i według dostępnej literatury nie były stosowane za granicą. Obecnie w Niemczech podejmowane są próby opracowania programów komputerowych analizujących i prognozujących przemiany zbiorowisk roślinnych na terenach pogórnicych na podstawie inicjalnych stadiów sukcesji (tzw. ciągi sukcesyjne) w konkretnych warunkach siedliskowych (informacja ustna).



Rys. 2. Kategorie powierzchni wyróżnione, dla potrzeb rektifikacji biologicznej realizowanej dla kierunku leśnego, na podstawie właściwości gruntów oraz stanu roślinności. Kategoria I – pokrycie roślinnością < 25% lub brak roślinności, utwory nadmiernie zakwaszone; Kat. II – pokrycie roślinnością 25–50% – utwory jałowe; Kat. III – pokrycie roślinnością 50–75% utwory średnio żyzne, przewaga piasków gliniastych; Kat. IV – pokrycie roślinnością >75% utwory żyzne, gliny lekkie do glin ciężkich.

Najogólniej biorąc w górnictwie węgla brunatnego w Polsce o warunkach zalesienia decyduje przyjęta gospodarka nadkładem. W zależności od tego powstają różne warunki siedliskowe. Determinuje to stosowanie trzech strategii postępowania na terenach przeznaczonych dla leśnego kierunku rekultywacji: gospodarczo-produkcyjnej, różnorodności przyrodniczej i mieszanej (połączenie dwóch poprzednich) [Pietrzykowski i Krzaklewski 2014]:

1. **Strategia różnorodności przyrodniczej** – warstwa glebotwórcza zwałowisk jest budowana z rozmaitych utworów nadkładu (z wyłączeniem utworów fitotoksycznych) metodą nieselektywnego zwałowania. Zalesienie realizować można w części standardowo (nasadzenia sztuczne), w części przez sukcesję i standardowo lub wyjątkowo wyłącznie przez sukcesję (wolną lub kierowaną).
2. **Strategia gospodarcza i plantacyjna** – warstwa glebotwórcza zwałowisk jest homogeniczna, budowana z najżyźniejszych utworów nadkładu metodą selektywnego lub kierowanego zwałowania.
3. **Strategia mieszana** – połączenie wariantów I i II.

W Polsce dotychczas z dobrym efektem realizowana była i nadal jest, na przeważającej powierzchni zwałowisk górnictwa węgla brunatnego, strategia bioróżnorodności przyrodniczej (zwłaszcza bioróżnorodności dendrologicznej i siedliskowej). Fakt ten ma ogromne znaczenie dla stabilności zalesień na zwałowiskach.

4. Metody zalesienia

Metody zalesiania terenów pogórnicznych ulegały w ostatnich kilkudziesięciu latach szybkiej ewolucji. Było to wynikiem dynamicznego rozwoju badań naukowych nad tym problemem, w tym licznych doświadczeń terenowych, do czego składał szybki ubytek rolnej i leśnej przestrzeni produkcyjnej [Skawina i Greszta 1959, Skawina 1968, Krzaklewski 1988]. Jak już wspomniano najczęściej w polskiej praktyce rekultywacyjnej stosowano i obecnie stosuje się trzy metody zalesienia: „gatunków pionierskich” „biodynamiczną” i „gatunków głównych”.

4.1. Metoda gatunków pionierskich (z przedplonem gatunków pionierskich)

Koncepcja gatunków pionierskich uwzględnia zapoczątkowaną jeszcze w latach 30. XX wieku przez Heusona [Heuson 1928] metodę rekultywacji leśnej, zgodnie z którą jako przedplon stosuje się fitomelioracyjną roślinność zielną i drzewiastą, zakładając jej wymianę w późniejszym okresie na docelową. Ta metoda zalesienia określana jest jako metoda gatunków „pionierskich”, z różnymi modyfikacjami, zależnymi od specyfiki powierzchni na różnych obiektach. W Polsce w latach 60. i 70. ubiegłego stulecia była ona główną metodą rekultywacji leśnej większości zwałowisk przemysłu wydobywczego [Skawina i Greszta 1959, Skawina 1969, Greszta i Morawski 1972, Krzaklewski 1988]. Z uwagi na brak wypracowanych metod technicznego formowania zwałowisk, rola biologicznej rekultywacji spro-

wadzała się do celowego wykorzystania funkcji, jaką mogą pełnić poszczególne zbiorowiska roślinne w poprawie stateczności obiektu, procesie odtworzenia gleby i eliminacji innych szkodliwych zjawisk, a w następnej kolejności dopiero funkcji produkcyjnej [Skawina 1969].

Metoda gatunków pionierskich uwzględnia fazę przedplonu, odtwarzającą niejako naturalne inicjalne stadium sukcesji. Metoda ta okazała się z różnych względów w wielu przypadkach w pełni skuteczna, zwłaszcza na gruntach jałowych. Wydaje się coraz pewniejsze, że udatność zalesień docelowych na utworach ubogich jest osiągana wtedy, kiedy są one poprzedzone fazą przedplonu [Krzaklewski 2017]. Jest to mocny argument przemawiający za uwzględnianiem w zalesieniach rekultywacyjnych gatunków pionierskich.

Omawiana metoda polega na wprowadzaniu wyłącznie gatunków uznawanych za pionierskie – fitomelioracyjne. Do tej grupy należą m.in.: olsza szara, olsza czarna i wierzby. Celem ich jest poprawa niekorzystnych warunków siedliskowych oraz spełnienie szeroko rozumianej funkcji glebochronnej. Nasadzenia te mają charakter przedplonu i po odegraniu swojej roli powinny zostać przebudowane w kierunku składów gatunkowych zgodnych z potencjalnym siedliskiem. W zależności od ich kondycji przebudowa może mieć charakter totalny lub też postępujący stopniowo za rozpadającymi się pionierskimi zalesieniami. Czas rozpoczęcia przebudowy zależy od kilku czynników, głównie właściwości biologicznych gatunków fitomelioracyjnych oraz substratu glebowego w jakim przyszło im wzrastać. Najczęściej proces ten powinien rozpocząć się już w wieku około 20–25 lat. Wszystkie gatunki stosowane w tej metodzie zalesień mają dobre i bardzo dobre właściwości odroślowe. Z jednej strony jest to wadą, gdyż usunięte stwarzają w początkowym okresie konkurencję dla gatunków głównych wprowadzanych w ramach przebudowy, z drugiej jednak zaletą, ponieważ przez długi jeszcze czas spełniają swoją fitomelioracyjną funkcję, rosnąc w formie krzewiastej na międzyrzędach gatunków głównych.

4.2. Metoda biodynamiczna

Ten sposób postępowania wywodzi się ze „szkoły krakowskiej” prof. T. Skawiny [Skawina 1969]. Stanowi on model pośredni pomiędzy metodą „gatunków pionierskich”, a metodą „gatunków docelowych”. Odpowiednio dobrane zabiegi agrotechniczne (obróbka mechaniczna i poprawa właściwości chemicznych gruntu) przygotowują utwór do pełnienia funkcji skały macierzystej odtwarzanych w procesie rekultywacji gleb. Natomiast rolę głównego czynnika w tym procesie powierza się wielogatunkowemu zestawowi roślinności drzewiastej i zielnej, uwzględniającemu obok gatunków głównych (docelowych) także gatunki fitomelioracyjne, biocenotyczne i pomocnicze. Jednym z podstawowych założeń tej metody jest jak najszybsze uzyskanie pełnego zwarcia koron drzew, co silnie stymuluje rozwój wewnętrznego środowiska, a tym samym intensyfikuje procesy glebotwórcze. W metodzie tej podstawową rolę odgrywają fitomelioracyjne gatunki drzew należące przede wszystkim do rodzaju olsza (*Alnus sp.*), a z roślin

zielnych łubin trwały (*Lupinus polyphyllus*). Ich zdolność do wiązania poprzez bakterie symbiotyczne wolnego azotu stanowi istotny czynnik dynamizujący wzrost drzew i rozwój gleby. Natomiast duże wymagania olszy w stosunku do wilgotności gleby sprawiają, że po okresie kilkunastu lub kilkudziesięciu lat w warunkach opadowo-retencyjnej gospodarki wodnej samoistnie ustępuje ona ze składu zalesień, co stwarza warunki dla swobodnego rozwoju gatunków docelowych. Aktualnie przyjmuje się, że udział gatunków docelowych w tej metodzie zależy głównie od jakości siedlisk i stopnia zagrożenia erozją. W korzystnych warunkach może on osiągać nawet 60%. Liczne doświadczenia praktyczne wskazują, że przy dużych powierzchniach zwałowisk oraz ograniczonych możliwościach pielęgnacji (zabezpieczenie przed zwierziną, konkurencja ze strony roślinności zielnej) metoda biodynamiczna daje dobre efekty. Potwierdzają to rezultaty dotychczas prowadzonych 40-letnich badań nad tą metodą na zboczach zwałowisk kopalni węgla brunatnego [Krzaklewski 1996, Wójcik 2007, 2009]. Również w innych krajach liczni naukowcy podkreślają korzystny wpływ olszy na procesy rozwoju ekosystemów leśnych, zwłaszcza w trudnych warunkach siedliskowych [Dimitrowsky 1976].

4.3. Metoda „gatunków głównych”

Preferowana przez tzw. „szkołę poznańską” prof. J. Bendera [Bender 1995, Gilewska 1991] i nazywana modelem PAN, kładzie główny nacisk na wprowadzanie już na początku gatunków docelowych. Poprzedza je obróbka mechaniczna gruntu służąca poprawie jego właściwości fizycznych oraz modyfikacja jego chemizmu na drodze wysokiego nawożenia mineralnego. Według założeń, metoda ta ma dać szybkie efekty w postaci drzewostanów zbudowanych z wartościowych gatunków gospodarczych. Niewątpliwym wpływ na wybór tej metody rekultywacji leśnej mają korzystne warunki siedliskowe wynikające bądź z tworzenia wierzchniej warstwy zwałowisk z utworów potencjalnie żyznych lub rekultywacji płaskich powierzchni zwałowisk wewnętrznych. Nie bez znaczenia jest również uwzględnianie postulatów leśnictwa, preferującego wprowadzanie dużych biogrup gatunków produkcyjnych, co ułatwia pielęgnację upraw. Koncepcja „gatunków docelowych”, opracowana została głównie z myślą o rekultywacji rolniczej. Natomiast jej pełne zasady w rekultywacji leśnej, zwłaszcza na skarpach zwałowisk, możliwe są do wykonania tylko w ograniczonym zakresie. Trudno jest również jednoznacznie przewidzieć reakcję roślin drzewiastych na wysokie nawożenie, zwłaszcza azotowe. Założeniem metody jest dążenie do szybkiego uzyskania drzewostanów docelowych już na początku procesu rekultywacji. Czy jest to słuszne, w chwili kiedy procesy siedliskowe są jeszcze słabo rozwinięte i istnieje duża niepewność co do ich przebiegu, pozostaje nadal otwartym pytaniem. Dorobek naukowy w zakresie efektów zastosowania tej metody w Polsce jest bowiem dotychczas słabo udokumentowany.

Z uwagi na brak zobjektywizowanych, przeprowadzonych według jednolitej metodyki badań, trudno jest jednoznacznie stwierdzić, realizacja której metody rekultywacji leśnej jest bardziej właściwa. Brak takiej oceny sprawia, że planowanie

zabiegów rekultywacyjnych oparte jest przede wszystkim na doświadczeniu zawodowym projektantów i intuicyjnym prognozowaniu przebiegu procesów siedliskotwórczych [Wójcik i Krzaklewski 1999].

5. Przyjęte kryteria oceny efektywności metod rekultywacji leśnej

Jak wcześniej wspomniano rekultywacja leśna terenów bezglebowych w górnictwie odkrywkowym węgla brunatnego w Polsce realizowana była i jest na utworach reprezentujących szerokie spektrum właściwości fizycznych i chemicznych [Skawina 1970, Gilewska 1991, Krzaklewski 1988, 2017, Kowalik i Wójcik 2004, Wójcik 2007, Pietrzykowski 2010]. Badania prowadzone dotychczas na tych terenach obejmują między innymi studia gleboznawcze, fitosocjologiczne, w tym problematykę diagnozy siedlisk leśnych, ocenę dynamiki wzrostu i zapasu drewna wprowadzonych gatunków drzew [Krzaklewski 1996, 2017]. Problematyka zmian zachodzących w glebach i drzewostanach na terenach rekultywowanych jest szeroko dokumentowana również w literaturze zagranicznej [Katzur i in. 1999].

Badania dotyczące rozwoju procesów glebotwórczych ogniskują się przede wszystkim na aspekcie ilościowej oceny procesu próchnicotwórczego w inicjalnych glebach [Gilewska 1991, Kowalik i Wójcik 2004, Wójcik i Krzaklewski 2007, 2009]. Jednocześnie liczni badacze sygnalizują, że zasięg po kilkudziesięciu latach wzrostu zalesień, dotyczy najczęściej warstwy 0–20 cm, a więc głównie strefy akumulacji materii organicznej [Wysocki 1988, Katzur i in. 1999, Wójcik 2009].

Uwzględniając istniejący w dostępnej literaturze dorobek naukowy w tym zakresie można stwierdzić, że do najbardziej miarodajnych wskaźników oceny procesów zachodzących na terenach rekultywowanych w kierunku leśnym należy dynamika kształtowania się w glebie zawartości C_{org} i N_{og} . Są to najbardziej wyraziste wykładniki procesu próchnicotwórczego prowadzącego do dynamicznego przekształcania „surowych”, bezpróchnicznych utworów w glebę. Azot glebowy (w formach dostępnych dla roślin) jest pochodzenia głównie organicznego, stąd ilość i jakość materii organicznej w glebie jest także wyznacznikiem ilości i dostępności azotu, należącego do grupy najważniejszych składników biogennych. W inicjalnej fazie rekultywacji surowy grunt zawiera zaledwie śladowe ilości tego składnika i to w formach na ogół silnie związanych, niedostępnych dla roślin [Wójcik 2009].

6. Ocena akumulacji węgla organicznego i azotu ogólnego na wybranych obiektach górnictwa węgla brunatnego w Polsce

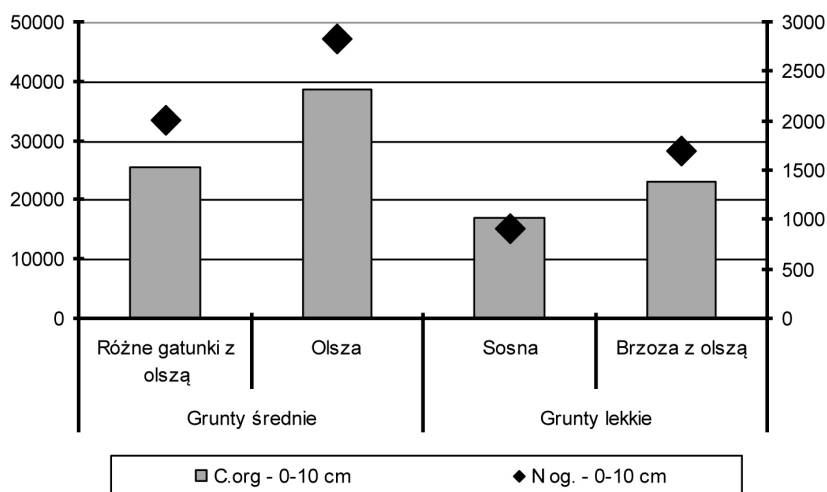
Wyniki badań akumulacji węgla organicznego i azotu ogólnego w warstwie 0–10 cm poziomów próchnicznych inicjalnych gleb przedstawiono na przykładzie wybranych obiektów pogórnich reprezentujących różne właściwości depono-

wanych w wierzchnich warstwach zwałowisk utworów, jak również różny okres, jaki upłynął od zakończenia prac rekultywacyjnych. Do badań porównawczych wybrano fragmenty powierzchni zalesianych metodą biodynamiczną oraz fragmenty jednogatunkowych nasadzeń gatunków głównych (docelowych). Prezentowane na wykresach wartości są średnią arytmetyczną wyliczoną z wyników uzyskanych dla trzech powtórzeń w obrębie każdego rozpatrywanego wariantu.

6.1. Zwałowisko zewnętrzne Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”

Zwałowisko zewnętrzne KWB „Adamów” tworzą utwory nadkładu, które zdejmowane były w trakcie budowy odkrywki złoża węgla brunatnego. Wśród nich przeważały: czwartorzędowe piaski luźne, (około 45% udziału), czwartorzędowe gliny zwałowe (około 35%) oraz trzeciorzędowe iły poznańskie (około 20%). Utwory te były deponowane nieselektywnie, w efekcie czego na powierzchni zwałowiska występuje mieszanina utworów o przeważającym składzie ziarnowym piasków gliniastych i glin, wykazujących na ogół lekko alkaliczny odczyn. Objęty badaniami fragment zwałowiska zalesiono metodą biodynamiczną, tj. gatunkami fitomelioracyjnymi (79% olsza czarna i szara) oraz gatunkami głównymi (20% modrzew europejski, jawor, dąb czerwony) i biocenotycznymi (1% jarząb pospolity) [Krzaklewski 1979].

Przeprowadzone po 25 latach wzrostu zalesień badania wykazały największą akumulację materii organicznej i azotu w poziomie próchnicznym (0–10 cm) na powierzchniach zalesionych wyłącznie olszą [Wójcik i Krzaklewski 1999, 2007]. Na utworach o składzie granulomet Rysznym utworów średnich (udział cząstek <0,02 mm 21–35%) zgromadzona materia organiczna zawierała średnio 38 740 kg



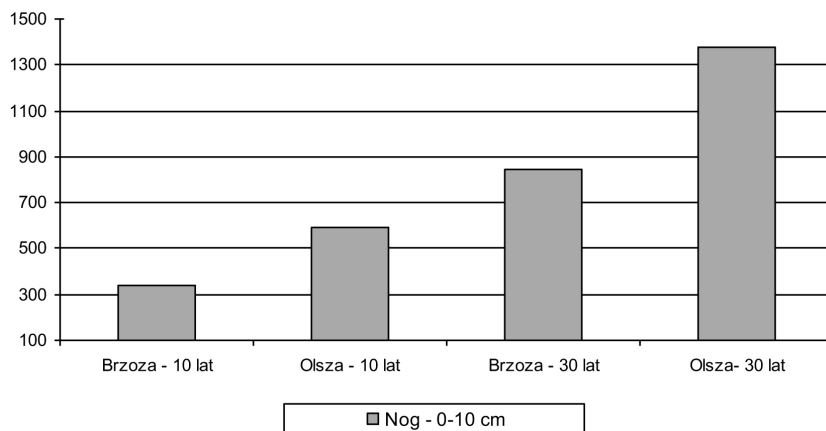
Rys. 3. Zapas węgla organicznego i azotu ogólnego w kg/ha w warstwie 0–10 cm inicjalnych gleb powierzchni badawczych na zwałowisku zewnętrznym kopalni węgla brunatnego Adamów

C_{org} na 1 ha i 2834 kg N_{og} na 1 ha. W tej samej kategorii utworów na powierzchniach, gdzie rosły w osłonie olszy gatunki główne (klon jawor, dąb czerwony, modrzew europejski) zapas tych pierwiastków był niższy i kształtował się na poziomie odpowiednio: 25 567 kg C_{org} i 2015 kg N_{og} . Z kolei w kategorii utworów lekkich akumulacja węgla i azotu w zalesieniach brzozy z olszą wyniosła 23300 kg C_{org} i 1500 kg N_{og} i była wyższa niż w jednogatunkowych zalesieniach sosny zwyczajnej (o około 36% C_{org} i około 85% N_{og}) (rys. 3).

5.2. Zwałowisko zewnętrzne PGE Kopalni Węgla Brunatnego „Turów”

W przypowierzchniowych warstwach tego obiektu zdecydowanie dominują trzeciorzędowe iły kaolinitowe (około 90% udziału). Według nomenklatury gleboznawczej (BN-78/9180-11) w większości można je zakwalifikować do podgrupy granulomet Rysznej – gliny ciężkiej (51–80% frakcji <0,02 mm). Z uwagi na skład granulomet Ryszny oraz brak strukturalności utwory te można uznać za nadmiernie zagęszczone. Większość z nich wykazuje również stosunkowo duże zakwaszenie, będące skutkiem domieszki zawartego w lignitach zsiarczonego węgla organicznego oraz pirytów i markazytów. Zawartość siarki waha się w nich od 0,07% do 0,6%, osiągając wartości maksymalne około 1%. Powstające w wyniku procesu jej utleniania produkty, tj. kwas siarkowy oraz siarczany glinu i żelaza działają destrukcyjnie na właściwości gruntu sprawiając, że z czasem wykazują one duże, często fitotoksyczne (pH w KCl < 3,0) zakwaszenie [Wójcik i Krzaklewski 2009]. Nadmierna związłość oraz silnie zakwaszenie powodują, że uproduktywnienie tych utworów wymaga zastosowania zabiegu neutralizacji oraz intensywnych zabiegów agrotechnicznych i fitomelioracyjnych. W ramach zalesień zwałowiska zewnętrznego stosowana była metoda biodynamiczna.

Z uwagi na domieszkę węgla lignitowego, w prowadzonej na tym obiekcie ocenie oparto się jedynie na zawartości azotu ogólnego. Porównanie akumulacji



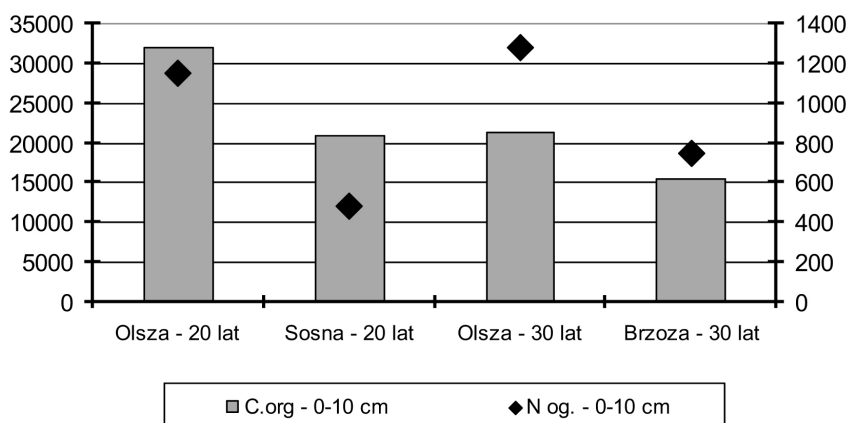
Rys. 4. Zapas azotu ogólnego w warstwie 0–10 cm gleb powierzchni badawczych na zwałowisku zewnętrznym PGE kopalni węgla brunatnego „Turów”, kg/ha

tego pierwiastka w poziomach próchnicznych gleb (0–10 cm) pod jednogatunkowymi zalesieniami złożonymi z brzozy brodawkowatej i olszy czarnej wskazuje na wyższe tempo przebiegu tego procesu pod olszą. Wyraźnie zauważalne jest to już w zalesieniach 10-letnich, gdzie zasoby azotu wyniosły 589 kg/ha i były o około 75% większe niż w glebie pod brzozą. Natomiast w glebie kształtującej się pod 30-letnimi zalesieniami olszy zasoby tego pierwiastka wyniosły 1379 kg/ha i były o około 64% większe niż pod brzozą. Jednocześnie w porównaniu do omówionych powyżej obiektów z kopalni „Adamów”, obserwowane jest generalnie niższe tempo akumulacji tego pierwiastka. Jest to niewątpliwie efektem skrajnie niekorzystnych właściwości gruntu, jakie występują na zwałowisku kopalni „Turów”, a które ograniczają tempo procesów glebotwórczych (rys. 4).

5.3. Zwałowisko zewnętrzne kopalni Bełchatów (Góra Kamieński)

Zwałowisko zewnętrzne nadkładu odkrywkowej kopalni węgla brunatnego KWB Bełchatów, zwane Górą Kamieński, zbudowane jest głównie z przemieszanych ze sobą utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych. Czwartorzęd reprezentują piaski i piaski ze żwirami, wśród których występują mułki, gliny zwałowe i ily. Utwory trzeciorzędowe to głównie piaski przemieszane z mułkami i iłami. Na około 10% powierzchni zwałowiska występowały zawęglone i zasiarzone piaski trzeciorzędowe, wykazujące nadmierne zakwaszenie [Krzaklewski i in. 1997]. Prace rekultywacyjne na zwałowisku obejmowały zabiegi agrotechniczne w tym: neutralizację utworów nadmiernie zakwaszonych, wysiew nasion mieszanki traw oraz roślin motylkowatych (metodą awio- i hydroobsiewu), nawożenie mineralne NPK oraz zalesienie metodą biodynamiczną i częściowo gatunków pionierskich.

Przeprowadzone na przedmiotowym obiekcie badania po 20 i 30 latach wzrostu zalesień rekultywacyjnych złożonych z olszy czarnej oraz gatunków docelowych: brzozy brodawkowatej i sosny zwyczajnej, wykazały większą akumulację materii organicznej i azotu w poziomie próchnicznym (0–10 cm) inicjalnych gleb na powierzchniach zalesionych olszą. Wyraźnie zauważalne jest to już w zalesieniach 20-letnich, gdzie zasoby węgla organicznego pod olszą kształtowały się na poziomie 32 t/ha (ok. 55 t/ha materii organicznej), a azotu wyniosły 1147 kg/ha. Na powierzchni z sosną zapas węgla organicznego był o około 35%, a azotu o ok. 58% niższy niż w glebie pod olszą. Natomiast w glebie kształtującej się pod 30-letnimi zalesieniami olszy zasoby węgla organicznego wyniosły ok. 21,3 t/ha (ok. 36 t/ha materii organicznej) i były o około 28% wyższe niż pod brzozą. Podobnie sytuacja kształtowała się w przypadku azotu, gdzie w glebie pod olszą stwierdzono zapas tego pierwiastka na poziomie 1279 kg/ha, natomiast pod brzozą był on o ok. 41% niższy. (rys. 5). Wraz ze wzrostem wieku zalesień obserwowany jest ubytek zawartości węgla organicznego oraz wzrost zawartości azotu w poziomie próchnicznym gleb. Związane jest to najprawdopodobniej z większym zaawansowaniem na powierzchniach starszych procesu humifikacji materii organicznej.



Rys. 5. Zapas materii organicznej i azotu ogólnego w warstwie 0–10 cm gleb powierzchniowych na zwałowisku zewnętrznym kopalni Bełchatów (Górze Kamiński), kg/ha

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości charakteryzujące przebieg procesu próchnicotwórczego w inicjalnych glebach powstających na zwałowiskach kopalń węgla brunatnego w Polsce [Wójcik i Krzaklewski 1999]. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że proces próchnicotwórczy zdecydowanie bardziej dynamicznie przebiega w zalesieniach złożonych w przewadze, bądź z dużym udziałem olszy. Pozwala to w krótszym okresie, niż w zalesieniach złożonych wyłącznie z gatunków docelowych, osiągnąć poziom zawartości materii organicznej w glebie, który uznawany jest za kryterium udanej rekultywacji [Siuta 1982].

Tabela 2. Roczny przyrost C_{org} i N_{og} na ha na podstawie wyników badań gleb w 25-letnich rekultywacyjnych zalesieniach na zwałowisku górnictwa odkrywkowego węgla brunatnego [Wójcik i Krzaklewski 1999]

Akumulacja [t/ha]	Metody zalesień		
	pionierska z olszą	biodynamiczna z olszą	gatunków głównych
Węgla organicznego	> 2 t	1,5 - 2,5 t	0,5 - 1,0 t
Azotu	80 - 130 kg	40 - 80	25 - 40 kg
Stosunek węgla do azotu	20 - 30	15 - 25	25 - 30

7. Zdolności przyrostowe wybranych gatunków drzew i różnorodność dendrologiczna na zwałowisku zewnętrznym PGE kopalni Bełchatów (Górze Kamiński)

Wypadkową działania kompleksu czynników siedliskowych występujących na zwałowiskach, jak również trafności doboru metod rekultywacji jest produktywność drzewostanów, czyli całkowita ilość biomasy wyprodukowana na określo-

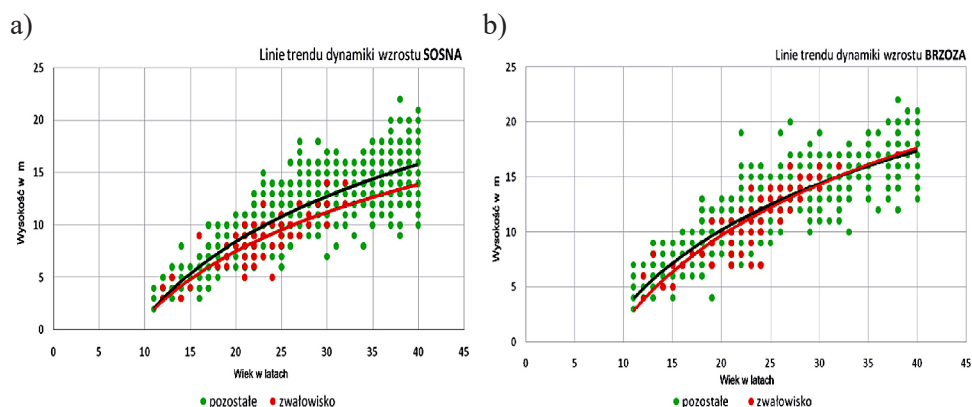
nej powierzchni. Pośrednim elementem tej oceny mogą być cechy biomet Ryszne drzew, lub miąższość wyprodukowanego drewna [Pietrzykowski 2010]. Wzrost drzew w określonym wieku zależy bowiem od jakości siedliska i wymagań względem niego poszczególnych gatunków. Analiza wzrostu drzew może być również dobrym kryterium oceny przyjętych metod rekultywacji.

W tabeli 3 zamieszczono średnie wartości wybranych cech drzewostanów na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Bełchatów zwanym Góra Kamięńsk, w porównaniu do cech drzewostanów w lasach gospodarczych, wyliczone na podstawie planu urządzenia lasu dla Nadleśnictwa Bełchatów na lata 2007–2016. Na podstawie tych danych można stwierdzić zdecydowanie wyższy udział siedlisk żyznych oraz gatunków liściastych w składzie zalesień na zwałowisku. Jeśli chodzi o zdolności wzrostowe drzewostanów zaznaczają się porównywalne wartości przeciętne go przyrostu rocznego i tylko nieznacznie wyższa wartość przeciętnej zasobności drzewostanów w lasach nadleśnictwa [Pieniak i in. 2018].

Tabela 3. Porównanie wybranych cech drzewostanów na zwałowisku KWB Bełchatów oraz w drzewostanach gospodarczych nadleśnictwa Bełchatów

Wyszczególnienie	Udział % siedlisk borowych	Udział % gatunków iglastych	Średni wiek [lat]	Przeciętna zasobność [m ³ /ha]	Przeciętny przyrost roczny [m ³ /ha]	Przeciętna powierzchnia wydzielenia [ha]
Zwałowisko	25,0	32,9	25	94,8	6,7	14,18
Lasy Nadleśnictwa	73,0	67,4	21	105,2	6,6	1,97

Dynamika wzrostu dwóch głównych gatunków drzew (sosny i brzozy) na zwałowisku jest nieco słabsza niż w pozostałych lasach nadleśnictwa Bełchatów (rys. 6). Wykazana tendencja wzrostowa nie powinna zaskakiwać, na zwałowisku powstaje bowiem pierwsze, pionierskie stadium lasu, rozwijającego się w specy-



Rys. 6. Dynamika wzrostu sosny zwyczajnej i brzozy na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Bełchatów [Pieniak i in. 2018]

ficznych warunkach. W miarę postępu rozwoju procesów siedliskotwórczych może to ulec zmianie.

Prowadzone sukcesywnie na zwałowisku badania wskazują na dobrą dynamikę wzrostu zalesień. Świadczą o tym m.in. badania przeprowadzone na powierzchni doświadczalnej w 30-letnim drzewostanie, gdzie dominowała olsza czarna (*Alnus glutinosa*), miejscami sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*) oraz wierzba biała (*Salix alba*) i topola osika (*Populus tremula*). Zasobność drzewostanów olszowych na przedmiotowej powierzchni wynosiła średnio 169 (maksymalnie 299 m³/ha, minimalnie 23 m³/ha), a z sosną zwyczajną średnio 155 m³/ha. Dla olszy czarnej *Alnus glutinosa* bonitacja wzrostowa wyniosła III, natomiast dla sosny i topoli osiki była wyższa i wynosiła II. Wskaźnik zadrzewienia na badanych powierzchniach był bardzo zróżnicowany. Najwyższą jego wartość odnotowano na powierzchni z dominacją olszy – 2,17, natomiast najniższą ($Wz = 0,23$) na powierzchni gdzie dominowała topola osika [Sobota 2016].

Dla drzewostanów na zrehabilitowanym dla leśnego zagospodarowania zwałowisku zewnętrznym kopalni Bełchatów (Górze Kamięńsk) i poza nim w lasach gospodarczych nadleśnictwa Bełchatów wykonano ocenę różnorodności dendrologicznej (rys. 7). Drzewostany na zwałowisku zewnętrznym charakteryzują się ponad dwukrotnie większym, w porównaniu do lasów gospodarczych nadleśnictwa Bełchatów zróżnicowaniem gatunkowym, co jednoznacznie wyraża wartość wskaźnika Shannona-Wienera [Pieniak i in. 2018]. Wskazuje to na fakt, że metody zastosowane w ramach rekultywacji biologicznej realizowanej dla leśnego kierunku pozwoliły na uzyskanie drzewostanów o silnie rozbudowanej strukturze. Duża różnorodność dendrologiczna drzewostanów na zwałowisku powoduje, że są one bardziej stabilne a więc bardziej odporne na zagrożenia zarówno biotyczne jak i abiotyczne, co ma duże znaczenie dla powstającego ekosystemu leśnego.

8. Podsumowanie

W wyniku działalności górniczej, przy wydobyciu węgla brunatnego powstają wielkoobszarowe odsłonięcia (wyrębiska) i zwałowiska, na których istnieją całkowicie nowe warunki do powstawania gleb i sukcesji roślin. Rekultywacja leśna terenów bezglebowych górnictwa węgla brunatnego w Polsce realizowana była i jest na utworach reprezentujących bardzo dużą zmienność właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych. Rekultywacja ta była i jest prowadzona głównie w warunkach mozaiki siedliskowej przy dużym zróżnicowaniu gatunkowym wprowadzanych drzew, co zapewnia warunki stabilności zalesień. Kierunek rozwoju zbiorowisk roślinnych oraz przemian gleb na tych terenach jest ciągle badany i nie jest do końca przewidywalny. Diagnoza warunków siedliskowych stanowi podstawę projektowania rekultywacji leśnej i oceny jej efektów. Musi ona uwzględniać lokalne uwarunkowania w tym przede wszystkim jakość warstwy glebotwórczej. Stan siedliska najlepiej oceniać metodą podatności na zarastanie,

a w przypadku świeżo powstałego obiektu metodą glebową, natomiast potencjalny stan siedliska najpewniej prognozować przy pomocy klasy przydatności gruntów do rekultywacji wyznaczanej metodą T. Skawiny [Skawina i Trafas 1971].

Pomimo kilkudziesięcioletniej historii rekultywacji leśnej terenów bezglebowych w górnictwie odkrywkowym w Polsce oraz dużego arealu gruntów przekazywanych do rekultywacji i zagospodarowania, w dostępnej literaturze przedmiotu nadal występuje niedobór opracowań dotyczących kompleksowej oceny wpływu dotychczas stosowanych metod rekultywacji na stopień rozwoju głównych komponentów ekosystemów leśnych powstających na terenach pogórnich. W polskiej praktyce rekultywacyjnej na terenach pogórnich górnictwa węgla brunatnego stosowano i obecnie stosuje się najczęściej strategię bioróżnorodności gatunkowej, tzw. metodę „biodynamiczną”. Rzadziej aktualnie wykorzystywana jest metoda „gatunków pionierskich”, stosowana w niekorzystnych warunkach siedliskowych oraz metoda „gatunków głównych”, stosowana zwykle w przypadku bardzo korzystnych warunków siedliskowych. Wymienione metody różni brak, bądź udział w składzie gatunkowym zalesień gatunków fitomelioracyjnych i głównych (klimaksowych). Z uwagi na brak dostatecznej ilości badań przeprowadzonych według jednolitej metodyki, dających możliwość porównań uzyskanych wyników, trudno jest jednoznacznie stwierdzić, realizacja której metody rekultywacji leśnej jest bardziej właściwa. Brak takiej oceny sprawia, że planowanie zabiegów rekultywacyjnych oparte jest przede wszystkim na doświadczeniu zawodowym projektantów i lokalnych uwarunkowaniach.

Uwzględniając istniejący w dostępnej literaturze dorobek naukowy w zakresie kryteriów oceny rekultywacji leśnej można stwierdzić, że do najbardziej miarodajnych wskaźników oceny procesów zachodzących na terenach rekultywowanych należy dynamika kształtowania się w glebie zawartości C_{org} i N_{og} . Są to najbardziej wyraziste wykładniki procesu próchnicotwórczego prowadzącego do dynamicznego przekształcania „surowych”, bezpróchnicznych utworów w glebę. Prezentowane w niniejszej pracy wyniki wykazują akumulację próchnicy na badanych obiektach reprezentujących pionierską i biodynamiczną metodę zalesień rekultywacyjnych, była wysoka i sięgała nierzadko ponad 50 t/ha/20 cm, a roczny przyrost azotu ogólnego mieścił się w zakresie wysokiej i średniej aktywności glebotwórczej [Gołda 2007]. Parametry te, przy uwzględnieniu stałości innych czynników siedliskotwórczych, zależą głównie od składu zalesień rekultywacyjnych. Uzyskane wyniki badań akumulacji węgla organicznego i azotu w poziomach próchnicznych powstających gleb na wybranych obiektach pogórnich górnictwa węgla brunatnego wskazują, że najkorzystniejsze tempo przebiegu tego procesu ma miejsce w glebach kształtujących się pod samą olszą i w zalesieniach wprowadzanych metodą biodynamiczną. Uzyskane wyniki potwierdzają więc znane już wyjątkowe walory fitomelioracyjne olszy, która powinna być uwzględniana w odpowiednim udziale (20–40%) w składzie zalesień rekultywacyjnych. Pozwoli to uzyskać po 20–25 latach ilość próchnicy na 1 ha w warstwie 20 cm wymaganą dla gruntów dobrze zrehabilitowanych. Prezentowane w niniejszej pracy wyniki wykazują również,

że drzewostany na zwałowiskach charakteryzują prawidłowym wzrostem oraz większą, w porównaniu do lasów gospodarczych, różnorodnością dendrologiczną. Różnorodność ta stanowi fundament stabilności wprowadzonych zalesień.

Bibliografia

- Bender J. 1995. Rekultywacja terenów pogórnich w Polsce. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych i Leśnych, z. 418.
- Dimitrowsky K. 1976. Znaczenie upraw zakładanych na glebach zdewastowanych i ich przebudowa leśna o wielocelowych funkcjach. Lesnictvi, nr 7. Praga.
- Gilewska M. 1991. Rekultywacja biologiczna gruntów pogórnich na przykładzie KWB „Konin”. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, z. 211. Poznań.
- Gołda T. 2007. Inicjalne procesy glebotwórcze zachodzące w szlamach poflotacyjnych w wyniku upraw rekultywacyjnych i wieloletniego użytkowania rolnego, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Greszta J., Morawski S. 1972. Rekultywacja nieużytków przemysłowych. PWRiL Warszawa.
- Grochowski J. 1973. Dendrometria. PWRiL Warszawa.
- Heusohn R. 1928. Aufforstung von Halden im Industriegebiet. Der deutsche Forstwirt 10(5), 26–27.
- Kasztelewicz Z. 2018. Raport o stanie branży węgla brunatnego w Polsce i w Niemczech wraz z diagnozą działań dla rozwoju tej branży w I połowie XXI wieku.
- Katzur J., Böcker L., Stähr F. 1999. Humus und Bodenentwicklung in Kippen-Förstökosystemen. Der Wald, nr 25. Finsterwalde.
- Kowalik S., Wójcik J. 2004. Właściwości chemiczne gleb industrioziemnych użytkowanych rolniczo i leśnie na zrehabilitowanym zwałowisku Kopalni Siarki „Machów”. Rocz. Glebozn. t. LV, nr 2, 239–249.
- Krebs Ch. J. 1996. Ekologia. Eksperymentalna analiza rozmieszczenia i liczebności. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Krzaklewski W. 1979. Fitosocjologiczna metoda oceny warunków rekultywacji i zagospodarowania leśnego nieużytków, na przykładzie skarp zwałowiska Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”. Archiwum Ochrony Środowiska nr 3–4.
- Krzaklewski W. 1988. Wybrane metodyczne aspekty planowania i realizacji leśnej rekultywacji na przykładzie górnictwa odkrywkowego. Zeszyty naukowe AGH w Krakowie. Sozologia i Sozotechnika, z. 26.
- Krzaklewski W., Miłkaszewski A. 1996. Rekultywacja zwałów nadkładu w górnictwie węgla brunatnego w Polsce. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 79. Wrocław.
- Krzaklewski W., Kowalik S., Wójcik J. 1997. Rekultywacja utworów toksycznie kwaśnych w górnictwie węgla brunatnego. Wydawnictwo MONOS, Kraków.
- Krzaklewski W. 2001. Rekultywacja obszarów pogórnich i przemysłowych. W: Przemiany środowiska naturalnego a ekorozwój. GEOSFERA. Kraków, 2001, 85–104.

- Krzaklewski W., Pietrzykowski M. 2007. Diagnoza siedlisk na terenach po-górnicznych rekultywowanych dla leśnictwa, ze szczególnym uwzględnieniem metody fitosocjologiczno-glebowej. Sylwan CLI 151 (1).
- Krzaklewski W. 2017. Podstawy rekultywacji leśnej. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.
- Lityński T., Jurkowska H., Gorlach E. 1976. Analiza chemiczno-rolnicza. Przewodnik metodyczny do analizy gleby i nawozów. PWN. Warszawa.
- Pieniak D., Krzaklewski W., Wójcik J. 2018. Próba oceny efektywności rekultywacji leśnej zwałowiska zewnętrznego kopalni Bełchatów (Góry Kamieńskie). Węgiel Brunatny – dziś i w przyszłości. Monografia AGH w Krakowie, WGiG, ss. 298.
- Pietrzykowski M. 2010. Analiza i optymalizacja metod klasyfikacji siedlisk i kryteriów oceny rekultywacji leśnej na wybranych terenach pogórnicznych w Polsce. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1975. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL Warszawa.
- Siuta J. 1982. Ochrona ziemi. Ludowa Spółdzielnia Wydawnicza. Warszawa.
- Skawina T. 1958. Przebieg rozwoju procesów glebotwórczych na zwałowiskach kopalnictwa węglowego. Roczniki Gleboznawcze, dodatek do tomu 7.
- Skawina T., Greszta J. 1959. Wyniki doświadczeń nad przydatnością niektórych drzew i krzewów dla biologicznego zagospodarowania zwałów kopalnianych – część I. Komitet ds. Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego przy Prezydium PAN, Komisja Gleboznawczo-Górnicza, Biuletyn 22. Warszawa.
- Skawina T., Bojarski Z. 1968. Rekultywacja w działalności górniczej. Ochrona Terenów Górniczych nr 3.
- Skawina T. 1969. Rezultaty badań nad modelem rekultywacji terenów pogórnicznych w Polsce. Zeszyty Naukowe AGH nr 212. Geodezja, zeszyt 12. Kraków.
- Skawina T. 1970. Możliwości wykorzystania selektywnego zwałowania dla celów rekultywacji. Górnictwo Odkrywkowe, nr 4.
- Skawina T., Trafas M. 1971. Zakres wykorzystania i sposób interpretacji wyników badań geologicznych dla potrzeb rekultywacji. Ochrona Terenów Górniczych, nr 16.
- Sobota D. 2016. Dynamika zmian wybranych charakterystyk roślinnych i glebowych w zalesieniach rekultywacyjnych na wschodnim fragmencie Góry Kamieńsk. Praca mgr, Wydział Leśny UR Kraków.
- Strzyszczyński Z. 1982. Oddziaływanie przemysłu na środowisko i możliwości jego rekultywacji. Ossolineum, Wrocław.
- Węgorek T. 2003. Zmiany niektórych właściwości materiału ziemnego i rozwój fitocenoz na zwałowisku zewnętrznym Kopalni Siarki w wyniku leśnej rekultywacji docelowej. Rozprawy Naukowe AR w Lublinie. Wydawnictwo AR w Lublinie.
- Wójcik J., Krzaklewski W. 1999. Kształtowanie się cech inicjalnej gleby w toku leśnej rekultywacji zwałowiska zewnętrznego KWB „Adamów”. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie.
- Wójcik J., Krzaklewski W. 2007. Akumulacja materii organicznej w inicjalnych glebach na zwałowisku zewnętrznym kopalni węgla brunatnego „Adamów”. Roczniki Gleboznawcze, t. LVIII, nr 3/4, 151–159.

- Wójcik J., Krzaklewski W. 2009. Forestation as the Method of the Remediation of Soiless Areas of the Lignite Mine Turów. *Mineral Resources Management*, t. 25, z. 3.
- Wysocki W. 1988. Metody rekultywacji dla intensywnego zagospodarowania terenów pogórnich. *Dziś i jutro rekultywacji i zagospodarowania terenów pogórnich*. Zeszyty naukowe AGH w Krakowie. *Sozologia i Sozotechnika* z. 26.
- Żuławski C. 1988. Postulaty dla biologicznej rekultywacji na tle dotychczasowych osiągnięć w zagospodarowaniu terenów pogórnich. *Zeszyty naukowe AGH w Krakowie. Sozologia i Sozotechnika* z. 26.

Fenomen degradacji środowiska naturalnego, technicznej i biologicznej rekultywacji gruntów przekształconych oraz wielofunkcyjne ich zagospodarowania w Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”

Jan Siuta¹

1. Wprowadzenie

PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. – Oddział Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów” położony w województwie łódzkim, jest niekwestionowanym liderem wśród polskich kopalń węgla brunatnego. Wielkość złóż i osiągnięte wydobycie stawiają Kopalnię „Bełchatów” wśród największych europejskich dostawców tego surowca energetycznego. Podstawowym zadaniem Kopalni jest wydobycie i zapewnienie dostaw węgla brunatnego dla Elektrowni „Bełchatów”. Ilość zatrudnionych pracowników oraz wielkość firmy stawiają Kopalnię na czele listy największych pracodawców regionu łódzkiego. Kopalnia „Bełchatów” funkcjonuje od 17 stycznia 1975 r. Wydobycie pierwszych ton węgla brunatnego nastąpiło 19 listopada 1980 r. Od tej pory wydobycie sukcesywnie rosło aż do 1989 roku, kiedy osiągnięto docelową zdolność wydobywczą 38,5 mln ton rocznie. Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów” jest największą kopalnią odkrywkową w Polsce i jedną z największych w Europie. Powierzchnia zwałowiska wewnętrznego i wyrobiska eksploatacyjnego Pola „Bełchatów” wynosi aktualnie około 3.200 ha. Średnie roczne wydobycie węgla brunatnego w ostatnich latach wyniosło w Kopalni „Bełchatów” około 40–42 mln ton co stanowi ponad 60% wydobycia w Polsce. Dla osiągnięcia takich wyników trzeba zdejmować rocznie średnio ponad 120 milionów m³ nadkładu i wypompować ok. 270 milionów m³ wody. 21 października 2002 r. rozpoczęto górnicze roboty udostępniające złożę węgla brunatnego w Polu „Szczerców”, a pierwszy węgiel z tego Pola został wydobyty 17 sierpnia 2009 roku. Zgodnie z planem zagospodarowania, zasoby tego Pola zostaną wykorzystane do 2038 r. Równolegle do działalności wydobywczej Kopalnia „Bełchatów” zajmuje się

¹ Honorowy Prezes Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej, Instytut Ochrony Środowiska – PIB, ul. Krucza 5/11, 05-548 Warszawa

zagospodarowaniem kopalin, które towarzyszą złożu węgla. Od kilku lat systematycznie rośnie wydobywanie i sprzedaż piasków, żwirów, kruszyw i iłów. Część kopalin jest selektywnie eksploatowana i składowana na złożach wtórnych. Służą one jako baza surowcowa dla przedsięwzięć inwestycyjnych kopalni oraz dla zewnętrznych odbiorców surowców mineralnych. Poza tym na bazie kredy jeziornej i węgla brunatnego z Pola „Bełchatów” wytwarzane są nawozy mineralne niezbędne do produkcji żywności. Kopalnia „Bełchatów” jest firmą nowoczesną i przyjazną środowisku.

2. Studium bełchatowskie

Postanowieniem Wicepremiera, Ministra Górnictwa i Energetyki Jana Mitregi za pośrednictwem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi zobowiązano Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) w Puławach do opracowania „Studium ochrony, rekultywacji i zagospodarowania użytków rolnych w strefie oddziaływania projektowanego Kombinatu Paliwowo-Energetycznego Bełchatów”.

Studium opracował zespół pod redakcją Jana Siuty w 1972 r. (172 str. + 71 tab.) z wykorzystaniem dokumentacji wielu autorów:

- **Projektowanie budowy Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”** – poprzedzono licznymi badaniami, zawartymi między innymi w Studium ochrony, rekultywacji i zagospodarowania użytków rolnych w strefie oddziaływania projektowanego kombinatu paliwowo-energetycznego „Bełchatów” [IUNG 1972], które zawiera:
 - charakterystykę środowiska przyrodniczego,
 - stan rolnictwa,
 - zmiany w rolniczej przestrzeni produkcyjnej ubytek powierzchni gruntów rolnych, przeznaczonych pod inwestycje przemysłowe i towarzyszące wyniesie ponad 8 tys. ha, w tym około 3782 ha gruntów ornych, 1785 ha łąk i pastwisk oraz 2140 ha lasów. Zwałowisko zewnętrzne nadkładu kopalnianego, które z otoczeniem zajmie około 1860 ha.
- **Zmiany wilgotności gleby w strefie oddziaływania leja depresyjnego** – nadmiernie przepuszczalne utwory czwartorzędowe stanowiące 70–80% powierzchni rejonu bełchatowskiego, będą podlegać przesuszającemu działaniu leja depresyjnego w czasie eksploatacji złoża węgla brunatnego. Z badań Instytutu Geologicznego wynika, że na ponad 50% obszaru zwierciadło wody gruntowej waha się w granicach 0–2 m. Dla gruntów ornych stanowi to około 70% powierzchni. Niemalże udział mają też obszary, na których zwierciadło wody gruntowej waha się od 2 do 5 m od powierzchni ziemi. Szczegółową charakterystykę hydrologiczną obszaru zawiera opracowanie „Poltegoru” [1972]. Użytki zielone ucierpią w stopniu największym, ponieważ mają one wyłącznie gospodarkę wodno-gruntową, a największa redukcja zdolności produkcyjnej rolnictwa wynikać będzie (oprócz gruntów przejętych na cele nierolnicze) z przesuszającego działania leja depresyjnego.

- **Ochrona, użyźnianie i rekultywacja gleb** – przeciwdziałanie degradacji rolniczej przestrzeni produkcyjnej w rejonie jest możliwe z punktu widzenia techniczno-ekonomicznego oraz konieczne ze względów przyrodniczo-gospodarczych. Szukać trzeba więc sposobów ograniczenia degradującego działania odwodnienia gruntów. Osiągnąć to można w drodze zwiększenia zdolności rencyjnej gleb wrażliwych na odwodnienia. W tym celu należy wykorzystać następujące substancje:
 - torf i gytie pozyskiwane w procesie budowy zbiorników wodnych, a także zalegające na obszarze leja depresyjnego,
 - zasoby wartościowej ziemi próchnicznej z gruntów przeznaczonych na cele nierolnicze,
 - osady ściekowe z Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej oraz inne masy użyźniające i odkwaszające gleby.

Zasoby torfu w rejonie bełchatowskim (na obszarze leja depresyjnego) są bardzo duże. Usunięcie przesuszonych mas torfowych jest konieczne nie tylko ze względu na ich wartości ekologiczne i gospodarcze, ale także ze względu na poważne zagrożenie pożarowe.

W „Studium bełchatowskim” przedstawiono (między innymi) melioracyjne torfowanie i próchnicowanie gleb, przekształcanie gleb bagiennych i podmokłych w strefie leja depresyjnego, rekultywację i zagospodarowanie zwałowiska zewnętrznego oraz fitomeliorację terenów rolnych. Studium zawiera także:

- prognozę rolnictwa,
- streszczenie i wnioski,
- materiały źródłowe.

Wykorzystano w nim następującą dokumentację:

- Ekspertyzę dotyczącą wpływu na środowisko leśne projektowanych elektrowni „Bełchatów”, IBL 1972.
- Inwentaryzację stanu urządzeń wodno-melioracyjnych, ocenę użytków zielonych oraz określenie potrzeb melioracyjnych na terenach objętych oddziaływaniem KWB „Bełchatów”, wykonana przez WZWM w Łodzi, pod kierunkiem inż. M. Kędziory.
- Roczniki opadowe 1954–1964. PIHM, Warszawa.
- Studium założeń projektowych w zakresie użytkowania zasobów torfowych B.O.G.E. (prof. H. Okruszko). BSiPWM, IMUZ 1963.
- Studium wpływu odwodnienia KW Bełchatów na stosunki wodne i biologiczne rejonu; Studium hydrologiczne + rekultywacja. 1972. COBRGO „Poltegor” Wrocław.
- Studium w zakresie użytkowania torfu w rejonie KPE Bełchatów. CBSiPWM Warszawa 1972.
- Wskaźniki reakcji gleb ornych na drenowanie oraz zmiany klas bonitacyjnych pod jego wpływem. IUNG Puławy 1971.
- Założenie zagospodarowania przestrzennego Okręgu Bełchatowskiego. WPPR Łódź 1972.

Szczegółowa inwentaryzacja zasobów torfowych zalegających na terenach infrastruktury kombinatu górnico-energetycznego oraz na prognozowanym obszarze działania leja depresyjnego stanowiła podstawę do opracowania programu pozyskania i zagospodarowania zasobu (tej kopaliny) na cele przewidziane w „Studium bełchatowskim”.

Odpłatność za składowanie mas ziemnych (na składowisku zewnętrznym) z udostępniania złoża węgla KWB „Bełchatów” była przedmiotem sporu pomiędzy Wojewodą Piotrkowskim i Ministrem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej z jednej strony, a KWB „Bełchatów” z drugiej. Spór ten został rozstrzygnięty przez Naczelny Sąd Administracyjny na korzyść KWB „Bełchatów” (sygn. Akt III SA 324/84 z dnia 16 lipca 1985 r.)

3. Stanowisko KWB „Bełchatów” do pisma NSA z dnia 10.08.1984, sygn. akt III SA 324/84 w sprawie Opini

Stosownie do pisma Sądu – z dnia 10.08.1984 sygn. Akt III SA 324/84 – przedstawiono opinię Instytutu Kształtowania Środowiska na okoliczność, czy składowane przez skarżącą Kopalnię Węgla Brunatnego „Bełchatów” w Rogowcu masy ziemne (tzw. nakład) w 1982 r. stanowiły odpady węgla brunatnego.

Najbardziej kompetentnym ekspertem Instytutu w sprawach gospodarki odpadami w środowisku i rekultywacji terenów górniczych jest prof. dr hab. Jan Siuta. Pod jego kierunkiem zostało opracowane w 1972 r. „Studium ochrony, rekultywacji i zagospodarowania użytków rolnych w strefie oddziaływania projektowanego Kombinatu Paliwowo-Energetycznego Bełchatów”. Studium to stanowiło podstawę do programowania i projektowania działań inżynieryjno-ekologicznych na terenach górniczych oraz w strefie ujemnego wpływu leja depresyjnego.

Prof. Jan Siuta przedstawił swą opinię w spornej sprawie na prośbę KWB Bełchatów. Opinia ta znajduje się w dokumentach akt przesłanych do Instytutu przez Naczelny Sąd Administracyjny. Instytut Kształtowania Środowiska podziela opinię prof. Jana Siuty, że „w świetle obowiązujących przepisów prawnych, normatywów branżowych i literatury fachowej nie ma formalnych podstaw do uznania mas ziemnych nakładu – Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” składowanych na zwałowisku zewnętrznym – jako odpadu. Tym samym nie ma podstawy do obciążania kopalni opłatą za składowanie odpadów w rozumieniu ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska”.

O braku takich podstaw świadczy też treść opinii prof. dr. Jana Bendera. Na stronie 2 napisał on „jak winno się ten produkt rzeczywiście określić i ocenić nie jestem w stanie dać jednoznacznej odpowiedzi”. Na podstawie opisowej analizy zagadnienia prof. Jan Bender dochodzi do wniosku, że odnośnie zwałowisko „można nazwać odpadem dlatego, że zwałowisko jako całość stanowić będzie utajony nieużytek, na którym są bezładnie lokowane obok cennych surowców wtórnych (mało kaloryczny węgiel brunatny, kreda jeziorna) skały płonne o różnej wartości

glebotwórczej. Ten sposób nieprawidłowych poczynań – błędne koncepcje i poczynania rekultywacyjne, przyczyniają się do tworzenia nieużytków, a więc odpadów. W świetle powyższych faktów zwałowisko zewnętrzne KWB Bełchatów jest obecnie odpadem”. Stwierdzenie prof. Jana Bendera, że zwałowisko zewnętrzne KWB Bełchatów jest obecnie odpadem rodzi pytanie, czy zwałowisko to będzie odpadem także po zakończeniu jego budowy, zrehabilitowaniu i zagospodarowaniu.

Według opinii prof. Jana Siuty „tworząc tak potężne zwałowisko, wyniesione 160 m nad rozległą równiną, należy wykorzystać jego unikalne walory krajo-
brazowe i mikroklimatyczne do różnych form rekreacji i ogrodów działkowych dla ludności aglomeracji łódzkiej i częstochowskiej oraz Piotrkowa i Bełchatowa (...). Dotychczasowy przebieg prac rekultywacyjnych jest bardzo pomyślny. Wskazuje on na dużo większe możliwości niż zakładano. W związku z tym można proponować bardziej użytkowe kierunki zagospodarowania niektórych elementów zwałowiska zewnętrznego. Dotyczy to głównie tarasów na zboczach południowo-wschodnich i południowo-zachodnich oraz wierzchowiny. Tarasy wymienionych zboczy należy przeznaczyć pod pracownicze ogrody działkowe, gdzie mogą być uprawiane z dużym powodzeniem drzewa i krzewy owocowe, w tym brzoskwinie i winorośl. Ogrody działkowe na dobrze nasłonecznionych tarasach stanowiłyby też cenne miejsca do wypoczynku codziennego i cotygodniowego. Wierzchowina, podobnie jak nasłonecznione tarasy, powinna być przeznaczona na cele wypoczynkowe i pracownicze ogrody działkowe (...). Nacisk argumentacji naukowej okazał się skuteczny, skoro kierownictwo Kopalni Bełchatów zdecydowało się, wbrew wcześniejszym ustaleniom, na intensywną rekultywację wierzchowiny zwałowiska zewnętrznego. Zleciło ono w 1983 r. Poltegorowi opracowanie projektu zagospodarowania rolniczego wierzchowiny zwałowiska zewnętrznego”. Wynika z powyższego, że argumentacja prof. Jana Bendera dotyczy głównie tego co było i nie uwzględnia zaistniałej ewolucji, o której mówi prof. Jan Siuta. w artykule opracowanym (lipiec 1978) dla miesięcznika „Aura” pt. „Kształtowanie zasobów glebowych w Bełchatowskim Okręgu Przemysłowym” prof. Jan Siuta napisał „O ewolucji poglądów i realności powyższej nadziei zaświadczają działania kopalni, która zweryfikowała założenia projektowe rekultywacji i zagospodarowania wierzchowiny zwałowiska zewnętrznego z kierunku leśnego na rolny. Sądzę, że czas już najwyższy, żeby przystąpić do wariantowego opracowania koncepcji a następnie projektu docelowego, rekreacyjnego zagospodarowania całego zwałowiska zewnętrznego. Zadanie to wykracza niewątpliwie poza obowiązki i gestię górnictwa. Można mieć nadzieję, że zgodnie z rozszerzonymi uprawnieniami rad narodowych zrodzą się nowe, tym bardziej perspektywiczne inicjatywy gospodarki w środowisku przyrodniczym”.

Zdaniem Instytutu Kształtowania Środowiska zwałowisko zewnętrzne KWB „Bełchatów” nie może być oceniane jako odpad, a w przyszłości (po zagospodarowaniu) jako cenny teren rekreacji. Obecnie zwałowisko jest użytkiem górniczym, w przyszłości powinno być obiektem rekreacji i produkcji roślinnej. Należy czynić wysiłki, aby wykorzystać w całości możliwości techniki do ukształtowania nowych

wartości ekologiczno-produkcyjnych i krajobrazowych. Uznanie konieczności budowy zwałowiska jako nieużytku, w dodatku usankcjonowane finansowo, miało by negatywne skutki ekologiczno-gospodarcze w rejonie Bełchatowa, a pośrednio także w całym górnictwie odkrywkowym.

W oparciu o dotychczasowe normy branżowe, rozpoznanie stanu budowy i rekultywacji zwałowiska zewnętrznego, możliwości docelowego zagospodarowania zwałowiska oraz w świetle opinii rzeczoznawców (zawartych w aktach) Instytut Kształtowania Środowiska nie widzi podstawy do uznania nadkładu Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” (składowanego na zwałowisku zewnętrznym) za odpad. Za konieczne uznaje się natomiast maksymalne wykorzystanie techniki i wartościowych mas gruntu nadkładowego do ukształtowania rekreacyjnych i ekologiczno-przyrodniczych walorów zwałowiska.

Najskuteczniejszym sposobem ochrony zboczy (skarpi) przed erozją wodną i wietrzną jest szybkie wprowadzenie roślinności trawiastej (darniowej).

Siew roślin w celu utrwalenia powierzchni stromych skarpi wykopów i nasypów ziemnych wymaga przytwierdzania ich nasion do powierzchni z jednoczesnym nawożeniem organicznym i mineralnym. Mieszanke nasion i składników nawozowych wraz z odpowiednim preparatem do szybkiego utrwalenia powierzchni oraz przytwierdzenia do niej nasion wprowadza się w postaci ciekłej. Wysokiej jakości preparat do roślinnego utrwalania skarpi „Bodenfestiger Hüls 801” produkowała niemiecka firma Chemische Werke Hüls A.G. Marl, która zaofერowała Instytutowi Kształtowania Środowiska naukowo-techniczną współpracę. Wizyta polskich specjalistów w Zakładzie Hüls zaowocowała pilotowym doświadczeniem roślinnego utrwalania skarpy wkopu KWB Bełchatów, z zastosowaniem preparatu Bodenfestiger Hüls 801.



Fot. 1. Erozja wodna na skarpie zwałowiska



Fot. 2. Erozyjne przemieszczenie masy ziemnej na przedpolu



Fot. 3. Brak zwartej (trawiastej) szaty roślinnej nie chroni przed erozją zbocza zwałowiska i zadrzewienia

4. Hydrosiewne utrwalanie powierzchni narażonych na działania opadów atmosferycznych i wiatru

Wiadomo, że odkrywkowa eksploatacja bardzo dużych zasobów węgla brunatnego wymaga roślinnego utrwalenia powierzchni narażonych na erozyjne działanie opadów atmosferycznych i wiatru. W tym celu przeprowadzono hydrosiewne doświadczenie z komunalnym osadem ściekowym i porównano z Badenfestiger Huls 801 firmy Chemische Werke Huls A.G. substancji klejącej nasiona roślin z ziemią na skarpie wkopu kopalni (fot. 4).



Fot. 4. Hydrobsiew na skarpie w czasie udostępniania złoża węgla brunatnego



Fot. 5. Profesor Szczepan Pieniążek (w kapeluszu) i dyrektor naczelny KWB Bełchatów zapoznali się z nowatorskim eksperymentem



Fot. 6. Kontrast między obsianą i nieobsianą powierzchnią skarpy

Eksperyment ten wzbudził zainteresowanie prof. Szczepana Pieniżka, Sekretarza V Wydziału PAN, który w towarzystwie zainteresowanych osób przybył do miejsca eksperymentu dnia następnego (fot. 5), po ulewnym deszczu w nocy, który nie zmył nasion przyklejonych do ziemi przez osad ściekowy, o czym świadczy dobrze wyrosnięta szata roślinna, kontrastująca z nagą powierzchnią skarpy (fot. 6).

Fenomenalna przewaga osadowo-ściekowego hydrosiewu nad Badenfestiger polega na tym, że osad ściekowy zawiera wszystkie składniki pokarmowe dla roślin, a Badenfestiger tylko przykleja nasiona roślin do ziemi.

Rezultat hydrosiewnego eksperymentu przyczynił się do zorganizowania Przedsiębiorstwa Lotniczego PCS „AVIAECO”. Zbudowano specjalne lotnisko wyposażone w samoloty przystosowane do roślinnego utrwalania



Fot. 7. Samolot przedsiębiorstwa lotniczego przystosowany do osadowego hydrosiewu roślin, widziany z utrwalonej roślinnością powierzchni zwałowiska



Fot. 8. Zwałowisko zewnętrzne (zwane bełchatowską górą) imponuje swym ogromem i szatą roślinną

powierzchni zwałowiska nadkładu KWB Bełchatów. Dzięki temu zminimalizowano erozyjne oddziaływanie opadów atmosferycznych i wiatru na zazielenianym zwałowisku.

W wyniku roślinnej rekultywacji zwałowiska zewnętrznego powstało najwyższe wzniesienie w środkowej Polsce – Góra Kamieńsk, która jest atrakcyjnym miejscem dla letniej turystyki, a od 2004 roku również sportów zimowych. Zlokalizowana na północnym stoku trasa narciarska z wyciągiem krzesełkowym to najdłuższa i najlepiej przygotowana trasa w promieniu ponad 100 km od Bełchatowa. Cieszy się ogromną popularnością wśród miłośników zimowego szaleństwa z centralnej Polski. Oddane w 2006 roku do użytku trasy rowerowe na Górze Kamieńsk są dużą atrakcją dla pasjonatów „dwóch kółek”. W czerwcu 2008 r. ośrodek wzbogacił się o kolejną atrakcję – 630-metrowy tor saneczkowy, wyposażony w 35 dwuosobowych sań, które zjeżdżają z maksymalną prędkością 40 km/h.

Trasa narciarska uatrakcyjniła zarówno samo zwałowisko, jak i region. Powierzchnia trasy narciarskiej wraz z jej nowoczesną infrastrukturą w postaci wyciągów narciarskich i zapleczem gastronomiczno-hotelarskim wynosi ok. 14 ha. Na zwałowisku zewnętrznym wytyczone zostały także bardzo atrakcyjne ścieżki rowerowe.

Pozostałe po wypłyceniu wyrobiska końcowe będą mieć około 100 m głębokości, a ich ostateczne zagospodarowanie zrealizowane zostanie poprzez rekultywację wodną. Zakończenie przygotowania wyrobisk poeksploatacyjnych do napełniania wodą, przewiduje się około 2049 roku, po wykonaniu wszystkich prac związanych z ich wypłyceniem, tak aby dna przyszłych „jezior” znalazły się powyżej zalegania stropu wysadu solnego rozdzielającego oba wyrobiska. Powstaną w ten sposób dwa duże zbiorniki wodne o objętości: około 1,5 mld m³ w wyrobisku Pola Bełchatów, około 1,25 mld m³ w wyrobisku Pola Szczerców. Łączna powierzchnia obu powstałych w ten sposób zbiorników, wyniesie około 32,5 km².

Drugim pod względem powierzchni kierunkiem będzie kierunek wodny, pod który planuje się obszar wyrobisk końcowych obu pól o powierzchni sumarycznej około 4300 ha (2100 ha Kopalnia „Bełchatów”, około 2190 ha Kopalnia „Szczerców”).

Jednak już w nieodległej perspektywie głównym zadaniem rekultywacyjnym Kopalni „Bełchatów” będzie rekultywacja obu wyrobisk końcowych w kierunku wodnym i utworzenie krajobrazu z dużym kompleksem wypoczynkowym. Przedsięwzięcie to sięgnie skali trudności nie mającej odpowiednika w naszym kraju, nawiązującej jedynie do niektórych odkrywek w Nadreńskim Zagłębiu węgla brunatnego Koln. Tak więc docelowa działalność rekultywacyjną kopalni będzie determinować potrzeba rekultywacji wodnej wyrobisk. W związku z tym prace badawcze, projektowe i wykonawcze w tym kierunku prowadzone są z dużym wyprzedzeniem w stosunku do terminu zakończenia eksploatacji, a w pierwszej kolejności dotyczą już nieodległego w czasie

wyrobiska poeksploatacyjnego Pola Bełchatów, chociaż rekultywacja wodna będzie możliwa jedynie dla obu wyrobisk końcowych jednocześnie.

5. Wnioski

Studium ochrony, rekultywacji i zagospodarowania użytków rolnych w strefie oddziaływania Kombinatu Paliwowo-Energetycznego „Bełchatów” spełniło zadania:

1. Zdjęto i odpowiednio zagospodarowano zasoby torfu zalegające w miejscach przeznaczonych pod inwestycje oraz podatnych na przesuszenie w zasięgu leja depresyjnego było konieczne ze względu na jego użyteczność oraz zagrożenie pożarowe,
2. Innowacyjne zastosowanie komunalnego osadu ściekowego w lotniczym hydrosiewie trawy było skutecznym sposobem ochrony powierzchni zagrożonych erozją wodną, zwłaszcza na zwałowisku zewnętrznym „Góra Kamieński”,
3. Zwałowisko zewnętrzne „Góra Kamieński”, które miało być składowiskiem odpadów, a stało się prawdziwym fenomenem Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” oraz w centralnej części Polski.

Bibliografia

- Górnictwo odkrywkowe – Środowisko – Rekultywacja ze szczególnym uwzględnieniem KWB „Bełchatów”. Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Część I. 50 lat studiów leśnych w Krakowie 1999 r., ss. 198.
- Jończyk J. Stachowicz J. 2005. Dynamika rozwoju leja depresyjnego BOT KWB „Bełchatów” str. 17 w następstwie eksploatacji systemu odwadniania węglanego. IV Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego Bełchatów 2005 r.
- Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów” w obiektywie, wydanie VIII – 2016 r. str. 795.
- Kozłowski Z. 1982. Wariantowe plany zagospodarowania złoża. Ochrona Środowiska w KWB „Bełchatów”. SITG Bełchatów – Wrocław, 3–20.
- Kozłowski Z., Seweryn L., Wojtkowiak B. 1999 Problemy techniczne zagospodarowania wyrobisk końcowych odkrywek Bełchatów i Szczerców. Międzynarodowa Konferencja Nauk „Górnictwo odkrywkowe – środowisko – rekultywacja. Kraków, 65–72.
- Krzaklewski W. 2000. Wybrane problemy i rezultaty rekultywacji zwałowiska zewnętrznego kopalni „Bełchatów”. Materiały z Sympozjum Naukowego: 25 lat doświadczenia KWB „Bełchatów”.
- Krzaklewski W. 2005. Rekultywacja w KWB „Bełchatów” – zamierzenia, stan i perspektywy. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Konferencja nr 112, seria 44, Wrocław.
- Limanowska J. 2006. Rekultywacja terenów pogórnicznych w BOT KWB „Bełchatów” S.A. Węgiel Brunatny nr 1/52.

- POLTEGOR 1982. Ocena stanu i przebieg prac górniczych oraz działań podjętych dla zabezpieczenia środowiska w Bełchatowskim Okręgu Przemysłowym. Wrocław, ss. 41.
- Siuta J. 1978. Ochrona i rekultywacja gleby w rejonie Bełchatowa. *Aura* nr 6.
- Siuta J. 1981. Ochrona i rekultywacja gleby w rejonie Bełchatowskim Okręgu Przemysłowym. *Kosmos* nr 2.
- Siuta J. 1989. Widzę szansę. Rozmowa z Ireneuszem Kaczmarkiem. Bełchatów (miesięcznik) styczeń.
- Tołoczko W. Niewiadomski A. 2009. Ocena stanu rekultywacji zwałowiska zewnętrznego KWB „Bełchatów” Kształtowanie i Ochrona Środowiska. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie: 223.
- Siuta J. (red.) 1978. Ochrona i rekultywacja gruntów. PWRiL. Warszawa, ss. 288.
- Siuta J., Zukowski B. 2008. Degradacja i rekultywacja powierzchni ziemi w Polsce (monografia). Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, ss. 149.
- Siuta J., Dulewski J., Zukowski B. 2012. Rekultywacja i zagospodarowanie gruntów pogórniczych w Polsce (monografia). Instytut Ochrony Środowiska – PIB, Warszawa, ss. 149.
- Siuta J. 2002. Inżynieria ekologiczna w mojej działalności. Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski, Lublin, str. 320 + 6 map i 160 fot.
- Studium ochrony, rekultywacji i zagospodarowania użytków rolnych w strefie oddziaływania projektowanego Kombinatu Paliwowo-Energetycznego Bełchatów (red. Jan Siuta) IUNG. Puławy, ss. 171 + 71 tab.
- Szczepański J., Seweryn L., Cicheń T. 2005. Zagospodarowanie końcowe wyrobisk poeksploatacyjnych KWB „Bełchatów”. *Prace naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, seria 150, Konferencja nr 44, Wrocław.

Wybrane aspekty rekultywacji rolniczej gruntów pogórnich Kopalń Węgla Brunatnego „Konin” i „Adamów”

Mirosława Gilewska¹, Krzysztof Otremba¹

1. Wprowadzenie

W działaniach związanych z ochroną powierzchni ziemi ważną rolę odgrywa rekultywacja [Siuta 2000]. Rekultywacja jako dziedzina naukowa i działalność gospodarcza narodziła się w Polsce w połowie lat 50. ubiegłego wieku. Pierwsze badania związane były z litologią i właściwościami skał nadkładowych towarzyszących złożom eksploatowanych kopalni, technologią deponowania tych skał i metodami odtwarzania gleb na zwałowiskach [Skawina 1969]. W ciągu ponad sześćdziesięciu lat te badania ewoluowały i rozszerzone zostały nie tylko o właściwości gruntów pogórnich, lecz również o właściwości gleb rozwijających się z materiału macierzystego – ilość i jakość wyprodukowanej biomasy [Bender Gilewska 1988, 2004, Gilewska 1991, Gilewska Otremba 2004, 2007, 2013, Krzaklewski 2017]. Poprzemysłowe nieużytki przestały być kojarzone z krajobrazem zdewastowanym i uznawane za martwą oraz bezproduktywną skałę.

Obok tradycyjnych kierunków rekultywacji – leśnego i rolniczego, zrodziły się nowe kierunki – wodna, rekreacyjna czy gospodarcza, utożsamiane często z rewitalizacją. Duży wkład w rozwój tych badań wniosła Konińska Szkoła Rekultywacji, której inicjatorem był Bender [1979, 1995]

2. Koncepcja gatunków docelowych Bendera (model PAN)

Badania nad właściwościami skał nadkładowych oraz gruntów pogórnich prowadzone w latach 60. i 70., były bardzo szczegółowe [Skawina 1969]. Dostremano przede wszystkim wady tych gruntów i ich ograniczoną przydatność nie tylko do rekultywacji rolniczej, lecz również leśnej. Możliwość ich włączenia do produkcji leśnej upatrywano głównie poprzez pokrycie warstwą gleby (odtworzenie gleb).

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Gleboznawstwa i Rekultywacji, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań

Do utworów wadliwych, zaliczone zostały również, występujące w nadkładzie Konińsko-Tureckich złóż węgla brunatnego, gliny zwałowe. Te skały Bender zaliczył do potencjalnie produktywnych. Wady, które posiadają można ograniczyć, a nawet wyeliminować, zaś zalety wykorzystać [Bender 1979].

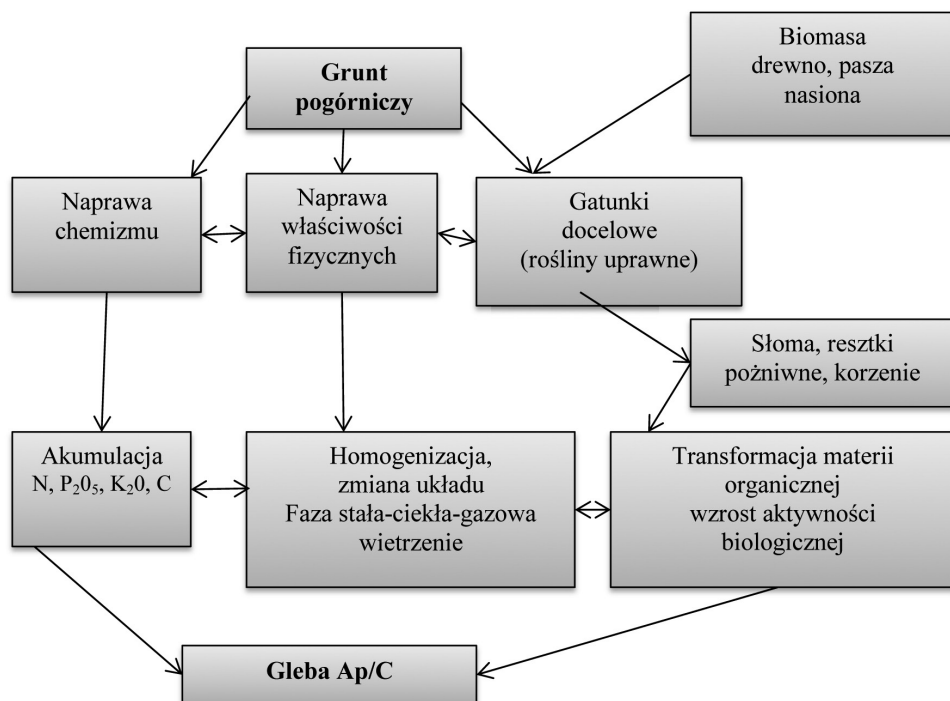
W połowie lat 70. XX wieku powstała koncepcja rekultywacji rolniczej i leśnej określana jako koncepcja gatunków docelowych Bendera lub model PAN. Technologia rekultywacji biologicznej oparta na tej koncepcji zakłada wprowadzenie na grunty pogórnice, bezpośrednio po wyrównaniu powierzchni (rekultywacji technicznej), roślin uprawnych lub gatunków lasotwórczych. Warunkiem ich prawidłowego rozwoju i wzrostu jest naprawa wadliwego chemizmu gruntu-skały. Jest ona możliwa poprzez nawożenie mineralne. Wielkość tego nawożenia jest uzależniona od właściwości fizykochemicznych, zdolności retencyjnej rekultywowanego gruntu, a przede wszystkim od wymagań pokarmowych roślin.

Drugim ważnym zabiegiem rekultywacyjnym jest naprawa właściwości fizycznych, która jest osiągana poprzez system uprawy mechanicznej stymulującej procesy wietrzenia i homogenizującej masy ziemnej będące konglomeratem glin zwałowych złodowacenia Warty i Wisły, piasków czwartorzędowych, ilów poznańskich i sporadycznie piasków mioceńskich. Skały te występują w nadkładzie eksploatowanych w Zagłębiu Konińsko-Tureckim złóż węgla brunatnego.

Spełnienie tych dwóch warunków stwarza możliwość skutecznego włączenia roślin uprawnych lub gatunków lasotwórczych w stymulację procesu glebotwórczego i kształtowanie produktywności tworzonych na gruntach pogórnich ekosystemów. Koncepcja zakłada, że rośliną pionierską może być prawie każda roślina: zboża, rzepak, lucerna, bądź gatunki lasotwórcze: dęby, jesion, modrzew, sosna. Określenie „prawie każda” użyto ponieważ nie wszystkie gatunki gwarantują stabilne plony oraz pożądany wzrost drzewostanów.

W tej koncepcji skała macierzysta – grunt pogórnicy – bezpośrednio po wykonaniu rekultywacji technicznej, wchodzi w uprawną fazę rozwoju. Poprzez system odpowiednio dobranych i zastosowanych zabiegów rekultywacyjnych, czynnik antropogeniczny – wiodący czynnik glebotwórczy w tej koncepcji – przystosowuje substrat glebowy do wymagań roślin uprawnych. Realizowane są dwa ważne cele gospodarcze jednocześnie – przekształcenie gruntu-skały w produktywną glebę oraz produkcji gospodarczo użytecznej biomasy. Już w pierwszych latach rolniczej rekultywacji plony roślin uprawnych są porównywalne z plonami uzyskanymi na glebach uprawnych trzecich klas bonitacyjnych [Bende i Gilewska 1988].

W krótkim czasie (10 lat) powstaje gleba o właściwościach korzystniejszych od tej z przed eksploatacji. Istotę koncepcji gatunków docelowych oddaje definicja: „Rekultywacja jest zespołem czynności inżynierskich i agrotechnicznych oraz procesach biogeochemicznych kształtujących nowy i jednocześnie pożądaną strukturę biocenotyczną industrioziemnej gleby. Jest to zorganizowane współdziałanie czynników abiotycznych i biotycznych umożliwiających w możliwie krótkim czasie i przy zaangażowaniu możliwie najmniejszych środków, wytworzenie z gruntu-skały produktywnej gleby” [Gilewska 1991]. Graficzne przedstawienie koncepcji roślin docelowych Bendera ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Schemat koncepcji roślin docelowych Bendersa

Praca badawcza nad uproduktynieniem gruntów pogórniczych prowadzona była i jest nadal przez Konińską Szkołę Rekultywacji w pełnym cyklu – od założeń teoretycznych, poprzez doświadczenia polowe, analizy gruntów i roślin, opracowanie rozwiązań praktycznych i ich zastosowanie w praktyce rekultywacyjnej. Podstawą badań to założone 1978 roku na zwałowisku „Pątnów” pole doświadczalne obejmujące statyczne doświadczenia polowe w następujących układach:

1. **Zróżnicowany system uprawy** – stosowane są dwa warianty: orka płytka na głębokość do 15 cm i orka głęboka do 25 cm. Na tych wariantach występują trzy kombinacje nawożenia mineralnego – 0 NPK, 1 NPK i 2 NPK. Uprawiane są przemiennie trzy gatunki roślin – rzepak ozimy, pszenica ozima i żyto ozime. Słoma i resztki roślinne są przyorywane.
2. **System paszowo-zbożowy**, polegający na uprawie przez 4 kolejne lata lucerny z trawami, a następnie 2 lata pszenicy ozimej. Czynnikiem różnicującym jest nawożenie mineralne – 0 NPK, 1 NPK, 2 NPK.
3. **System zbożowy**, w tym systemie stosowane jest zróżnicowane nawożenie azotowe – 100, 200 i 300 kg/ha. Nawożenie potasowo – fosforowe jest jednakowe dla wszystkich kombinacji i jest zgodne z prawem zwrotu. Słoma i resztki roślinne są corocznie przyorywane.
4. **System rzepakowo-zbożowy**, w którym przemiennie uprawiane są: rzepak ozimy i zboża (pszenica ozima). Zróżnicowane nawożenie mineralne obejmuje

trzy kombinacje nawozowe – 0 NPK, 1 NPK i 2 NPK. Słoma i resztki roślinne są corocznie przyorywane.

5. **Wpływ poszczególnych makroelementów i ich połączeń na plonowanie roślin i System tempo procesu glebotwórczego.** Badany jest on w układzie: 0, NPK, N, P, K, NK, NP, PK
6. Ważnym, głównie z gleboznawczego punktu widzenia, jest następujący układ: **ugór czarny, ugór zielony, monokultura żyta, monokultura lucerny z trawami, sukcesja naturalna (spontaniczna).** W tym układzie stosowane trzy kombinacje nawożenia mineralnego – 0 NPK, 1 NPK, 2 NPK.

To jedyny w Europie tak zorganizowany obiekt badawczy. Jest on szczególnie cenny dla nauki, praktyki i celów dydaktycznych. Od blisko 40 lat śledzone są procesy glebotwórcze, plonowanie roślin w różnych warunkach agrotechnicznych. Badaniami ścisłymi objętych jest 30 kombinacji uprawowych i nawozowych. Część uzyskanych wyników badań przedstawiono w niniejszej pracy.

3. Wybrane właściwości fizyczne i chemiczne wierzchniej warstwy gruntów pogórniczych

Z repozytorium Zakładu Rekultywacji wynika, że wierzchnia, jednometrowa warstwa gruntów pogórniczych, na której zlokalizowane jest pole doświadczalne, zbudowana była ze skał, znajdujących się w nadkładzie odkrywki „Pątnów”: glin zwałowych szarych i żółtych, iłów poznańskich oraz piasków czwartorzędowych. Rozmieszczenie oraz zmieszanie skał nadkładu, w masie ziemnej zwałowiska, było losowe. Dominowały, podobnie jak w nadkładzie, utwory spoiste – gliny zwałowe. Znacznie mniejszy udział w budowie wierzchniej warstwy zwałowiska miały iły poznańskie. W profilach widoczne były konkracje węgla brunatnego i okruchy kalcytu. Ich rozmieszczenie w masie ziemnej było również losowe.

Były to grunty zaliczone do glin lekkich bądź glin piaszczystych zawierające około 13% iłu koloidalnego. Ich gęstość objętościowa kształtowała się w przedziale 1,56–2,04 Mg·m⁻³. Pomimo szerokiego przedziału pomiędzy wartością maksymalną, a minimalną, wartości średnie w poszczególnych poziomach nie były zróżnicowane i kształtowały się w granicach od 1,87 Mg·m⁻³ do 1,92 Mg·m⁻³. Gęstość ta jest większa od wartości uznanej za graniczną dla roślin uprawnych. Wysoka gęstość objętościowa a tym samym niska porowatość uznane zostały za wady tych gruntów.

Odczyn gruntów był zasadowy i wynosił od 7,2 do 8,0 w H₂O i od 6,8 do 7,6 w 1 M KCL. Zawartość węglanów wapnia kształtowała się w granicach 0,0–14,33%, a współczynnik zmienności od 11,69% do 31,34%. Szeroki przedział wartości, dotyczących zawartości CaCO₃, spowodowany był zmieszaniem skał zasobnych w ten związek: glin zwałowych szarych i żółtych, ze skałami ubogimi w ten składnik, głównie iłami poznańskimi. Średnie zawartości węglanów wapnia

w analizowanych poziomach kształtowały się jednak w bardzo wąskim zakresie (9,86–10,86%).

W szerokich granicach wartości liczbowych (0,12–1,09%) mieściła się zawartość węgla utlenialnego. Był on obecny w przekroju całego profilu glebowego, a jego średnia ilość dla poziomu wierzchniego wynosiła 0,37% a poziomów głębszych 0,42–0,44%. Był to efekt obecności wkładek węgla brunatnego w masie ziemnej. W glinie zwałowej szarej występuje domieszka węgla brunatnego, a spągowe partie iłów poznańskich są zawęglone. Obecnie ten węgiel jest określany jako węgiel geogeniczny. Z badań, prowadzonych na powierzchni pola doświadczalnego wynika, że zawartość azotu w gruntach wynosiła od 0,023% do 0,051%. Średnia zawartość azotu utrzymywała się na poziomie 0,028%, a stosunek C:N w przedziale od 17:1 do 33:1.

Grunty pogórnice były także ubogie w przyswajalne formy fosforu i ich zawartość wynosiła w zakresie 0,0–6,6 mg·100 g⁻¹. Średnia zawartość fosforu kształtowała się w granicach 0,73–1,89 mg·100 g⁻¹. Grunty te zasobne były w przyswajalne formy potasu. Średnia zawartość tego makroelementu w analizowanych próbkach kształtowała się od 8,37 mg·100 g⁻¹ do 9,73 mg·100 g⁻¹.

Pojemność sorpcyjna gruntów pogórnich wahała się od 4,51 me·100 g⁻¹ do 23,73 me·100 g⁻¹, a wartość średnia wynosiła 13 me·100 g⁻¹. Stopień wysycenia zasadami był wysoki i mieścił się w przedziale od 93,5 do 97,2.

4. Właściwości gleb rozwijających się z gruntów pogórnich

Dopływ energii w formie nawozów mineralnych, słomy i innych resztek roślinnych oraz uprawa mechaniczna wielokrotnie przyspieszają tempo procesów glebotwórczych i w ciągu 10 lat następuje przemiana gruntu-skały w ożywiony twór jakim jest gleba [Gilewska 1991, 2001, Gilewska i Otremba 2004].

Geneza skały macierzystej, stosowane zabiegi rekultywacyjne i zachodzące pod ich wpływem procesy glebotwórcze, wywarły piętno na budowie morfologicznej gleb rozwijających się w procesie rekultywacji. Na obecnym etapie procesu glebotwórczego mają one uproszczoną budowę profilową Ap/C_{an}. W nieciągłym litologicznie profilu glebowym, w którym przeważa glina zwałowa zlodowacenia Warty, wyróżnia się poziom próchniczny Ap o miąższości 20–28 cm. Z upływem lat poziom orny Ap tej gleby upodobia się pod względem morfologicznym, fizycznym i chemicznym do poziomu ornego gleb płowych opadowo-glejowych wytworzonych z gliny zwałowej. Z badań Gilewskiej [1991, 1998] nad jakością próchnicy powstającej *in situ* w procesie rekultywacji, wynika że skład frakcyjny związków próchnicznych jest zbliżony do składu frakcyjnego próchnicy gleby płowej wytworzonej z glin zwałowych. Sposób spolimeryzowania drobin kwasów huminowych, jak i ich spektrogramy, były również podobne. Świadczy to o obecności identycznych grup funkcyjnych i podobny przebieg procesów humifikacji w glebach powstających, współcześnie i glebach płowych. Skład elementarny kwa-

sów huminowych „młodej gleby” i gleby uprawnej wyraźnie różnicuje zawartość azotu. Jest ona o połowę niższa, waha się od 2,6% do 2,9%. Stosunek C/N został zawężony do 11.

Z danych zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że od kombinacji nawozowej oraz systemu użytkowania uzależniona jest akumulacja materii organicznej oraz zasobność w związku fosforu i potasu. Znaczący wzrost zawartości węgla organicznego odnotowano dla płodozmianu paszowego.

Kombinacja nawożenia mineralnego i system użytkowania wpływają także na wyraźny, statystycznie istotny, w poziomie Ap, wzrost stężenia rozpuszczalnych w wodzie takich składników jak K^+ , PO_4^{3-} , NH_4^+ i Cl^- (tab. 2). Największą ich koncentrację stwierdzono w glebie spod płodozmianu rzepakowo-zbożowego i kombinacji nawozowej 2 NPK. Stężenie kationów rozpuszczalnych w wodzie, niezależnie od płodozmianu, tworzyło szereg malejący $Ca^{+2} > K^+ > NH_4^+ > Na^+ > Mg^{2+}$, anionów $Cl^- > NO_3^- > PO_4^{3-}$. Podobne wyniki uzyskali Spsychalski i Gilewska [2008].

Całkowita zawartość fosforu (fosfor ogólny), a także rozkład w oznaczonych frakcjach przedstawiony w tabeli 3, zależne były od kombinacji nawozowych [Spsychalski i in. 2005a]. Dominowały (80%) mineralne połączenia fosforu, a wśród

Tabela 1. Wybrane właściwości gleb rozwijających się z gruntów pogórnich

Zawartość	Kombinacja nawozowa	System	
		rzepakowo-zbożowy	paszowo-zbożowy
C_{org} [g·kg ⁻¹]	0 NPK	5,15	6,35
	1 NPK	7,01	8,00
	2 NPK	8,00	9,20
	Średnia	6,72	7,83
	NIR _{0,05} dla:	S – 0,33; N – 0,26; S x N – 0,75;	
N ogółem [g·kg ⁻¹]	0 NPK	0,92	0,66
	1 NPK	0,59	0,77
	2 NPK	0,72	0,85
	Średnia	0,58	0,76
	NIR _{0,05} dla:	S – 0,33; N – 0,26; S x N – 0,06;	
P [mg·kg ⁻¹]	0 NPK	28,60	27,15
	1 NPK	118,40	64,12
	2 NPK	140,10	78,65
	Średnia	95,4	56,64
	NIR _{0,05} dla:	S – 5,53; N – 4,32; S x N – 12,48	
K [mg·kg ⁻¹]	0 NPK	73,05	66,80
	1 NPK	122,85	90,00
	2 NPK	190,93	108,30
	Średnia	128,94	88,36
	NIR _{0,05} dla:	S – 3,014; N – 2,46; S x N – 7,10	

Tabela 2. Zawartość wybranych składników chemicznych rozpuszczalnych w wodzie

Płodozmian	Nawożenie	pH	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ³⁻	Cl ⁻
		mg · dm ⁻³								
Rzepakowo-zbożowy	2 NPK	8,28	25,20	3,29	5,7	57,68	23,78	16,36	2,28	60,28
	1 NPK	8,26	20,55	2,97	8,5	57,30	18,35	11,62	1,89	55,85
	0 NPK	8,23	13,72	2,94	1,3	40,20	12,04	5,85	1,25	39,89
Paszowy	2 NPK	8,14	21,77	3,53	5,56	57,56	20,66	8,85	1,92	65,50
	1 NPK	8,20	18,75	4,21	5,95	55,15	18,53	10,34	1,43	68,56
	0 NPK	8,18	15,92	3,97	5,42	50,20	18,77	6,53	0,84	45,65
NIR _{a = 0,05}			4,2	0,8	r.n.	11,1	4,1	6,8	0,43	13,6

r.n., – różnica nie istotna.

Tabela 3. Średnia zawartość poszczególnych form fosforu w glebie [mg Pkg⁻¹ s.m. gleby]

Płodozmian	Nawożenie	P-lab.	P-Al	P-Fe	P-Ca	P-okl.	P-og.	P-org
Zawartość średnia								
Rzepakowo-zbożowy	2 NPK	41,65	127,01	29,74	544,47	18,80	915,60	153,93
	1 NPK	30,50	90,05	16,75	406,74	16,12	701,06	140,90
	0 NPK	7,47	18,54	8,56	218,11	13,85	324,04	57,51
Paszowy	2 NPK	32,17	85,91	31,62	485,73	26,73	860,91	198,75
	1 NPK	14,16	38,18	13,11	264,78	15,50	454,80	109,09
	0 NPK	9,08	11,97	9,17	182,79	12,42	334,19	108,76

nich przeważały (60%) połączenia fosforu z wapniem. Na kombinacji nawozowej 0 NPK około 7% stanowiły trudno rozpuszczalne oraz mało dostępne dla roślin związki fosforu z glinem i żelazem. Ich udział na kombinacjach 1 NPK oraz 2 NPK był wyższy i wynosił od 15–17%. Ilość form labilnych fosforu wzrastała wraz z kombinacją nawożenia mineralnego. Obecność fosforanów glinu i żelaza w glebach o odczynie zasadowym wskazuje, aczkolwiek pośrednio, na zachodzące w obrębie glinokrzemianów procesy wietrzenia. Jest to ważny proces z glebotwórczego punktu widzenia.

Ilość potasu [Spychalski i in. 2005b] również zwiększała się wraz ze wzrostem poziomu nawożenia, a udział poszczególnych jego form przedstawiał się następująco: K-H₂O < K-Egner < K-wymienny < K-uwsteczny < K-zapasowy < K-rezerwow < K-całkowity. Nawożenie mineralne spowodowało wzrost zawartości oznaczanych form potasu, a zwłaszcza występującego w roztworze glebowym.

W wyniku rekultywacji rolniczej obok zmian właściwości chemicznych następują zmiany właściwości fizycznych (tab. 4). Maleje gęstość objętościowa, wzrasta porowatość. Znacznie korzystniejszymi właściwościami charakteryzuje się gleba na kombinacjach z nawożeniem mineralnym (1 NPK i 2 NPK) [Gilewska i Otremba 2004, 2008]. Udział brył i bryłek, charakterystyczny dla gruntów pogórnich wyraźnie maleje [Gilewska 1995]. Zmniejsza również ich wielkość (tab. 8). Wartości liczbowe PRU i ERU, jak wynika z badań [Gilewska i Otremba

Tabela 4. Wybrane właściwości fizyczne gruntów pogórnich i rozwijających się z nich gleb

Kombinacja	Poziom [cm]	Gęstość objętościowa [Mg·m ⁻³]	Porowatość ogólna [%]	Porowatość kapilarna [%]	Porowatość niekapilarna [%]	Średnia ważona średnica agregatu (MWDa) [mm]
Grunt pogórnich	0–25	1,87–1,92	32,19–33,74	26,91–29,72	3,74–4,98	–
Gleba 0 NPK	0–25 Ap	1,68–1,77	32,39–36,62	29,38–32,22	3,01–4,40	62,34
Gleba 1 NPK	0–25 Ap	1,63–1,72	34,92–38,09	31,54–34,29	3,38–3,81	44,64
Gleba 2 NPK	0–25 Ap	1,54–1,61	43,50–45,35	38,80–42,50	2,55–4,70	36,00

2004, Otremba i in. 2015], są jednak niższe od wartości charakterystycznych dla gleb uprawnych o tym samym uziarnieniu.

Badania nad składem chemicznym gleb powstających w procesie rekultywacji [Spychalski i in. 2008] dowiodły, że jest on wypadkową litologii skał nakładu i technologii robót górniczych decydujących o wymieszaniu i rozmieszczeniu w masie ziemnej utworów towarzyszących złożom węgla brunatnego. Dominuje w nich tlenek krzemu i tlenek glinu, podobnie jak w glebach mineralnych wytworzonych z glin zwałowych oraz samych glinach. Zawierają znacznie więcej, w stosunku do gleb, a mniej w porównaniu z glinami, tlenków wapnia, fosforu i magnezu.

Całkowita zawartość metali (Cu, Zn, Mn, Cd, Pb, Ni, Co) była niska i nie odbiegała od tła geochemicznego (tab. 5). Ilość glinu była silnie skorelowana z zawartością żelaza, niklu i chromu. Wysoką zawartość glinu można wiązać ze składem mineralogicznym. Analiza składu mineralogicznego wykazała, że głównym minerałem ilastym w analizowanych glebach jest smektyt i illit. Obecne są także minerały mieszano-pakietowe; illit-smektyt, a także kaolinit, chloryt, kalcyt, kwarc i skalenie [Otremba i Gilewska 2013].

Przedstawione powyżej właściwości wskazują, że gleby powstające w procesie rekultywacji gruntów pogórnich KWB „Konin” i KWB „Adamów” są lepsze od gleb występujących na tych obszarach przed eksploatacją węgla.

Tabela 5. Całkowita zawartość metali w badanych glebach

Wartości	Cu	Zn	Mn	Cr	Cd	Pb	Ni	Co	Fe	Al
	mg · kg ⁻¹								%	
Min.	7,95	29,23	216,28	23,45	0,05	10,50	12,45	3,73	1,208	2,51
Max	12,95	55,50	257,50	31,43	0,55	14,00	16,50	6,65	1,537	3,57
Średnia	9,22	40,66	232,73	27,0	0,31	12,57	14,65	4,68	1,397	3,08
Tło	7,1	30,0	289,0	27,0	0,18	9,8	10,2	4,0	–	–

5. Plonowanie roślin

Dowodem potwierdzającym słuszość koncepcji gatunków docelowych, obok przedstawionych wyżej właściwości gleb powstających w procesie rekultywacji, jest ich produktywność mierzona wielkością plonów. Przedstawione w tabeli 6, dane dotyczą plonów roślin uzyskiwanych w warunkach pola doświadczalnego na przestrzeni 36 lat. Już w pierwszych latach, plony zbóż na kombinacjach nawozowych 1 NPK i 2 NPK wynosiły średnio 28 dt·ha⁻¹, rzepaku były nieco niższe. Na kombinacji nawozowej 0 NPK (na której nie wykonano naprawy chemizmu) plony rzepaku w pierwszych i dalszych latach były zerowe. Plony zbóż natomiast powoli wzrastały. W bardzo szerokim przedziale wartości liczbowych (13–47 dt·ha⁻¹) mieściły się plony rzepaku i pszenicy na kombinacjach 1 NPK i 2 NPK.

Na szczególną uwagę zasługuje plonowanie lucerny. Na kombinacji bez nawożenia średni plon lucerny wynosił 65 dt·ha⁻¹. Na kombinacjach z nawożeniem mineralnym był o 40% wyższy. Te plony są wyższe od uzyskiwanych na glebach uprawnych. Z wielkością plonów wiąże się ilość substancji organicznej wprowadzanej do gruntu a następnie gleby w formie słomy resztek poźniwnych i korzeniowych. Jest to jedyne źródło dla powstawania związków próchnicznych [Bender i Gilewska 2004, Gilewska i Otremba 2007b]

Lucerna jest rośliną wieloletnią i wielokołąną wyróżniającą się głębokim i silnym systemem korzeniowym oraz symbiozą z bakteriami brodawkowymi. Jest podstawą najczęściej stosowane w rolniczej praktyce rekultywacyjnej systemu paszowego nazywanego również płodozmianem paszowym. O jego wykorzystaniu zadecydowały cechy biologiczne lucerny, jej wartość paszowa, a także właściwości gruntów pogórnich. Jej uprawa umożliwia naprawę chemizmu i właściwości fizycznych gruntu na drodze biologicznej.

Tabela 6. Plonowanie roślin w procesie rolniczej rekultywacji gruntów pogórnich (dt·ha⁻¹)

Roślina	Kombinacja nawozowa	Rok rekultywacji				Średnie	Nir _{Fa=0.05}
		1	10	20	36		
Rzepak ozimy	0NPK	0,0	0,0	0,4	0,2	1,3	0,48
	1 NPK	21,0	13,0	16,5	15,5	12,7	
	2 NPK	27,8	17,0	21,5	16,2	14,9	
Pszenica ozima	0NPK	0,0	3,6	6,5	4,1	8,1	0,49
	1 NPK	27,0	23,0	47,0	33,5	34,2	
	2 NPK	31,2	23,5	37,3	39,0	38,3	
Żyto ozime	0NPK	0,0	3,0	4,1	10,2	7,7	0,41
	1 NPK	22,0	24,0	28,3	12,9	22,0	
	2 NPK	22,1	28,0	24,0	29,0	27,0	
Lucerna z trawami	0NPK	26,0	44,0	88,0	80,0	65,2	1,20
	1 NPK	52,0	72,0	124,0	120,0	87,4	
	2 NPK	58,0	79,0	131,0	130,0	94,0	

W siewie czystym lub w mieszance z trawami lucerna jest na ogół pierwszą rośliną wprowadzana na grunty pogórnice. W rolniczej praktyce rekultywacyjnej, obok płodozmianu paszowego stosowane są płodozmiany zbożowy – oparty na uprawie czterech zbóż ozimych, płodozmian rzepakowo-zbożowy i konserwacja – polegająca na ekstensywnej i wieloletniej uprawie lucerny.

Ważnym dla plonowania roślin, obok poziomu nawożenia mineralnego, jest ilość i rozkład opadów, a także przebieg temperatury w okresie wiosenno-letniej wegetacji [Gilewska i Otremba 2008].

6. Podsumowanie

Rekultywacja rolnicza w Konińsko-Tureckim Zagłębiu Węgla Brunatnego, jest kierunkiem dominującym i obejmuje obszar 6500 ha gruntów pogórnich. Jest ona realizowana według technologii opracowanej przez Bendera. Jej efektywność uzależniona jest od czynnika antropogenicznego decydującego o doborze i stosowaniu zabiegów rekultywacyjnych. Wydobyte i deponowane na zwałowiskach zewnętrznych i wewnętrznych, pochodzące z różnych epok geologicznych skały nadkładu są przekształcane w ciągu około 10 lat w nowe gleby. Gleby te okazują się lepsze niż występujące na omawianych terenach przed eksploatacją, których materiałem macierzystym były głównie utwory piaszczyste. Obszary górnicze kopalni „Konin” i „Adamów” są jedynymi w Polsce, na których przestrzennie dominuje krajobraz rolniczy, a w strukturze zasiewów przeważa lucerna.

Bibliografia

- Bender J. 1979. Rekultywacja obszarów pogórnich na modelu Kopalni Konińskiego Zagłębia Węglowego. Komitet PAN „Człowiek i Środowisko”, Warszawa, 156–184.
- Bender J. 1995. Rekultywacja terenów pogórnich w Polsce. ZPPNR, z. 418, 76–85.
- Bender J., Gilewska M. 1988. Rekultywacja w ujęciu aktów prawnych badań naukowych i gospodarczej praktyki. Zeszyty Naukowe AGH Sozologia i Sozotechnika, z. 26, Kraków, 53–68.
- Bender J., Gilewska M. 2004. Rekultywacja w świetle badań i wdrożeń. Roczniki Gleboznawcze, t. LV, nr 2, 29–46.
- Gilewska M. 1991. Rekultywacja gruntów pogórnich na przykładzie KWB „Konin”. Roczn. AR w Poznaniu, z. 211, s. 59.
- Gilewska M. 1995. Wpływ zabiegów rekultywacyjnych na kształtowanie agregatowej struktury gruntów pogórnich. Zesz. Prob. Nauk Roln., z. 418, 703–707.
- Gilewska M. 1998. Właściwości próchnicy wytworzonej w procesie rekultywacji gruntów pogórnich. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., z. 460, 153–166.
- Gilewska M. 2001. Zasady rolniczej rekultywacji gruntów pogórnich. Zeszyty Naukowe Politechniki Zielonogórskiej – Inżynieria Środowiska, Ochrona i rekultywacja terenów Dorzecza Odry, nr 125, 11, 85–90.

- Gilewska M., Otremba K. 2004. Właściwości gleb formowanych z gruntu pogórniczego. *Roczniki Gleboznawcze*, t. LV, nr 2, 11–121.
- Gilewska M., Otremba K. 2007a. Jakość biomasy uzyskanej na glebie rozwijającej się z gruntów pogórnicznych. *Zeszyty Naukowe Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska* Nr 135. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 29–36.
- Gilewska M., Otremba K. 2007b. Organizacja przestrzeni produkcyjnej na gruntach pogórnicznych na przykładzie Kopalni Węgla Brunatnego „Konin”. *Górnictwo Odkrywkowe*, 5–6, 232–235.
- Gilewska M., Otremba K. 2008. Wpływ paszowego systemu użytkowania na właściwości fizyczne gleb rozwijających się z gruntów pogórnicznych. *Zesz. Prob. Post. Nauk. Roln.*, z. 526, 163–170.
- Gilewska M., Otremba K. 2008. Wpływ warunków meteorologicznych na plonowanie zbóż ozimych uprawianych na glebach rozwijających się z gruntów pogórnicznych. *Roczniki Gleboznawcze*, t. LIX, nr 2, 56–61.
- Gilewska M., Otremba K. 2013. Seed quality of rapeseed plants obtained from cultivation on post mining areas in the region of Konin. *Annual Set the Environment Protection*, 15, 505–514.
- Krzaklewski W. 2017. Podstawy rekultywacji leśnej. Wydawnictwo UR Kraków, ss. 213.
- Otremba K., Gilewska M. 2013. Skład mineralogiczny gruntów pogórnicznych i gleb rozwijających się z tego materiału macierzystego. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego*, nr 150, 34–42.
- Otremba K., Gilewska M., Mocek A., Owczarzak W., Gajewski P., Kaczmarek Z. 2015. Physical and water properties of soils developing from post-mining materials of Konin brown coal mine. *FRESENIUS Environmental Bulletin*, 24(4), 1227–1231.
- Siuta J. 2000. Ochrona powierzchni ziemi – stan i niezbędne działania. *Inżynieria Ekologiczna*, nr 1, 158–183.
- Skawina T. 1969. Rezultaty badań nad modelem rekultywacji terenów pogórnicznych w Polsce. *Zesz. Nauk. AGH*, nr 212.
- Spychalski W., Mocek A., Gilewska M. 2005a. Zawartość form fosforu w glebach wytworzonych z gruntów pogórnicznych. Monografia, Tom III pod redakcją Barbary Gworek. *Obieg pierwiastków w przyrodzie*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 120–126.
- Spychalski W., Mocek A., Gilewska M. 2005b. Potassium forms in soils formed from post-mining lands. *Nawozy i Nawożenie*, 3(24), rok VII, JUNG, Puławy, 231–241.
- Spychalski W., Gilewska M. 2007. Pierwiastki śladowe w glebach wytworzonych z gruntów pogórnicznych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, nr 33, 108–113.
- Spychalski W., Gilewska M., Otremba K. 2008. Uziarnienie i skład chemiczny gleby wytworzonej z osadów pogórnicznych KWB Konin. *Roczniki Gleboznawcze*, t. LIX, nr 2, 20–206.

CZĘŚĆ III

Rola procesów naturalnych w biologicznej
rekultywacji nieużytków przemysłowych

Pojęcie rekultywacji w naukach biologicznych wobec nowych wyzwań środowiskowych

Agnieszka Hutniczak¹, Gabriel Borowski², Gabriela Woźniak¹

1. Wprowadzenie

Rekultywacja to złożony i niezwykle ważny element funkcjonowania środowiska przyrodniczego. Z języka łacińskiego rekultywacja to *recultivare*, *recultum*, co oznacza „uprawiać na nowo” (*re* – na nowo, *cultum* – uprawiać rolę) [Gocek i Twardoch-Bonczar 2013].

W literaturze znaleźć można różne sformułowania pojęcia rekultywacji. Bender i Gilewska [2004] sugerują, że „rekultywacja to nowa dziedzina poznania i zastosowań w przyrodznawstwie”. Autorzy ci wskazują początki tej dziedziny na drugą połowę XX wieku, co ma związek z rozwojem przemysłu wydobywczego, oraz wzrostem popytu na surowce mineralne i energetyczne.

Według Greszty i Morawskiego [1972] rekultywacja w szerszym ujęciu „obejmuje nie tylko samo naprawienie zniszczeń wywołanych działalnością przemysłu, lecz również czynności łączące się ze wstępnym zagospodarowaniem danego nieużytku”. W nieco węższym zakresie rekultywacja „to zespół zabiegów, polegających na usuwaniu zniszczeń i przekształceń poprzemysłowych, jednak bez czynności zagospodarowania, które stanowią osobny etap prac”.

Chwastek [1988] definiuje pojęcie rekultywacji, jako „zespół czynności technicznych, agrotechnicznych, przyrodniczych, biologicznych i innych, mających na celu przywrócenie gruntom zdewastowanym zdolności produkcyjnej, bądź użytkowej”.

Siuta i in. [2012] podaje następującą definicję: „rekultywacja gruntów polega na przywracaniu ekologicznych i użytkowych (w tym kulturowych) wartości środowisku przyrodniczemu gruntom zdegradowanym przez działalność przemysłową (w tym górniczą), rolniczą, komunalną i bytową oraz przez żywioły natury”.

¹ Katedra Botaniki i Ochrony Przyrody, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Jagiellońska 28, 40-032 Katowice

² Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin

Pietrzyk-Sokulska [2016], stosując encyklopedyczne słownictwo z 1993 roku podaje, że rekultywacja to „zespół zabiegów (technicznych i biologicznych), mający na celu przywrócenie terenom zdegradowanym zdolności produkcyjnych lub użytkowych umożliwiających późniejsze ich zagospodarowanie; polega na właściwym ukształtowaniu terenu, uregulowaniu stosunków hydrogeologicznych, zachowaniu biologicznie wartościowych warstw gruntu, odtworzeniu gleb lub ich neutralizacji czy użyznieniu, wprowadzeniu roślinności tzw. pionierskiej oraz budowie niezbędnej sieci dróg dojazdowych”.

Z kolei w słowniku ekologicznym [2007] rekultywację rozumie się, jako „proces przywracania pierwotnego stanu danego ekosystemu zniszczonego w wyniku działalności człowieka lub, w przypadku silnej degradacji środowiska, jeśli odtworzenie stanu wyjściowego ekosystemu nie jest możliwe, jego racjonalne zagospodarowanie i zapewnienie maksymalnej w danych warunkach aktywności biologicznej” [Ekologia – Słownik encyklopedyczny 2007].

Uważa się, że w Polsce prekursorem działań o charakterze rekultywacyjnym był prof. S. Leszczycki. Podjął je z chwilą objęcia stanowiska Przewodniczącego Komitetu do spraw Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. W 1954 roku z jego inicjatywy utworzono Komisję Biologicznego Zagospodarowania Nieużytków Przemysłowych, którą kierował Władysław Szafer, profesor Uniwersytetu Jagiellońskiego. Od 1956 roku komisja pracowała pod kierunkiem profesora Waleriana Goetela, zmieniając nazwę na Komisję Gleboznawczo-Górnictwa. Warto zaznaczyć tu także udział profesora Lucjana Królikowskiego – leśnika, gleboznawcy. W tym okresie prace dotyczyły głównie rekultywacji terenów wyrobisk odkrywkowych kopalń piasku podsadzkowego. Badania dotyczące rekultywacji terenów powstałych w związku z odkrywkową eksploatacją węgla brunatnego miały miejsce w zasadzie pod koniec lat 50., pod kierunkiem prof. Tadeusza Skawiny (Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie). Pracami eksperymentalnymi zajmował się również Zakład Badań Naukowych Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego PAN w Zabrze [Dulewski i Wtorek 2000, Bender i Gilewska 2004].

W literaturze polskiej prof. Skawina sformułował pierwszą definicję rekultywacji jako: „działalności mającej na celu przywrócenie w zakresie technicznie możliwym i ekonomicznie uzasadnionym terenów zdewastowanych do gospodarczego użytkowania” [Nietrzeba-Marcinonsis 2007].

Z pojęciem rekultywacji powiązane są również takie procesy jak: degradacja gleby i środowiska, dewastacja gleby i środowiska, nieużytki, rewitalizacja, powierzchnia biologicznie czynna, aktywność biologiczna gleby, zaburzenia (wg Grime’a, teoria zaburzeń Grime’a), grunty zdegradowane, grunty zdewastowane oraz zagospodarowanie gruntów.

- Degradacja gleby – „modyfikacje jej fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości, pogarszające biologiczną aktywność środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem produkcji środków żywności, warunków ekologiczno-sanitarnych populacji ludzkich i estetycznych walorów krajobrazu” [Maciak 1999].

- Degradacja środowiska – „(...) pogorszenie się stanu środowiska wskutek niekorzystnych zmian fizycznych, chemicznych i biologicznych wywołanych działalnością człowieka; objawia się zaburzeniami w obiegu pierwiastków związanymi z wprowadzeniem do cykli biogeochemicznych dodatkowych ilości siarki, fosforu, azotu, metali ciężkich, kumulacją trudno rozkładalnych ksenobiotyków, utratą zdolności samoregulujących oraz utrudnieniami w przepływie energii w ekosystemach (...)” [Ekologia – Słownik encyklopedyczny 2007].
- Dewastacja gleby – „(...) całkowite i nieodwracalne zniszczenie gleby na określonym obszarze (...)” [Ekologia – Słownik encyklopedyczny 2007].
- Dewastacja środowiska – „(...) całkowite zniszczenie środowiska przyrodniczego na określonym obszarze powodujące nieodwracalne zmiany w strukturze i funkcjonowaniu mechanizmów przyrodniczych (...)” [Ekologia – Słownik encyklopedyczny 2007].
- Nieużytki – „Do nieużytków zalicza się:
 - 1) niezakwalifikowane do użytków ekologicznych:
 - a) bagna (błota, topieliska, trzęsawiska, moczary, rojsty),
 - b) piaski (piaski ruchome, plaże nieurządzone, piaski nadbrzeżne, wydmy),
 - c) naturalne utwory fizjograficzne, takie jak: urwiska, strome stoki, uskoki, skały, rumowiska,
 - 2) nieprzeznaczone do rekultywacji wyrobiska po wydobywaniu kopalin” [Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków – zał. nr 6 – Dz. U. 2001 nr 38 poz. 454].
- Rewitalizacja – „(...) proces wyprowadzania ze stanu kryzysowego obszarów zdegradowanych, prowadzony w sposób kompleksowy, poprzez zintegrowane działania narzeczl lokalnej społeczności, przestrzeni i gospodarki, skoncentrowane terytorialnie, prowadzone przez interesariuszy rewitalizacji na podstawie gminnego programu rewitalizacji” [Ustawa z dnia 9 października 2015 r. o rewitalizacji – Dz.U. 2015 poz. 1777].
- Powierzchnia biologicznie czynna – powierzchnia terenu biologicznie czynna – „(...) grunt rodzimy pokryty roślinnością oraz wodę powierzchniową na działce budowlanej, a także 50% sumy nawierzchni tarasów i stropodachów, urządzonych, jako stałe trawniki lub kwietniki na podłożu zapewniającym ich naturalną vegetację, o powierzchni nie mniejszej niż 10 m²” [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.].
- Aktywność biologiczna gleby – „(...) działalność metaboliczna mikroorganizmów glebowych warunkująca żyzność gleby (...)” [Ekologia – Słownik encyklopedyczny 2007].
- Zaburzenia wg Grime’a – „czynniki niszczące cały organizm roślinny lub jego część, np. powodzie, pożary, koszenie, wydeptywanie, ruchy gleby” [Falińska 2004].

- Teoria zaburzeń Grime’a (ang. Intermediate disturbance hypothesis) – lokalna różnorodność gatunkowa jest w stanie maksymalnym, gdy zaburzenia ekologiczne nie są zbyt rzadkie ani częste [Grime 1973].
- Grunty zdegradowane – „(...) grunty, których rolnicza lub leśna wartość użytkowa zmalała, w szczególności w wyniku pogorszenia się warunków przyrodniczych albo wskutek zmian środowiska oraz działalności przemysłowej, a także wadliwej działalności rolniczej” [Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych – Dz.U. 1995 r. nr 16 poz. 78 z późn. zm.].
- Grunty zdewastowane – „(...) grunty, które utraciły całkowicie wartość użytkową w wyniku przyczyn, o których mowa w pkt 16” [Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych – Dz.U. 1995 r. nr 16 poz. 78 z późn. zm.].
- Zagospodarowanie gruntów – „(...) rolnicze, leśne lub inne użytkowanie gruntów zrehabilitowanych” [Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych – Dz.U. 1995 r. nr 16 poz. 78 z późn. zm.].

Powyższe definicje skupiają się na użyteczności terenu dla człowieka z punktu widzenia rolnika, leśnika i inżyniera, nie uwzględniają biologicznych aspektów funkcjonowania rozwijających się spontanicznie na terenach przemysłowych. Nazywanie ich działaniami na rzecz poprawy stanu środowiska przyrodniczego jest nieprecyzyjne.

W wypadku terenów powstałych w związku z eksploatacją surowców mineralnych znaczenie mają skutki zmian globalnych (Global Change), a w szczególności spadek różnorodności biologicznej (biodiversity loss) oraz retencja wody (mała retencja). Wykorzystanie potencjału terenów powstałych w związku z eksploatacją surowców mineralnych wymaga jednak bardzo dokładnego wieloaspektowego i wielokierunkowego zrozumienia funkcjonowania ekosystemów powstałych *de novo* na niezbadanych siedliskach.

2. Prawne uregulowania rekultywacji

Pierwszym aktem prawnym w Polsce dotyczącym obowiązku rekultywacji i ponownego zagospodarowania gruntów była uchwała nr 256 Komitetu Ekonomicznego Rady Ministrów z dnia 12 lipca 1961 roku w sprawie rekultywacji terenów przeznaczonych pod eksploatację piasków podsadzkowych [Dz.U. MLiPD Nr 15, poz. 226].

Kolejnym aktem prawnym dotyczącym rekultywacji była Uchwała Nr 198 Rady Ministrów z dnia 12 lipca 1966 r. w sprawie ochrony użytków rolnych [M.P. 1966 nr 40 poz. 200].

W rozumieniu Uchwały nr 301 Rady Ministrów z dnia 6 września 1966 r. w sprawie rekultywacji i zagospodarowania gruntów przekształconych w związku z poszukiwaniem i eksploatacją kopalin [M.P. 1966 nr 50 poz. 247] „rekultywacja oznacza przywrócenie gruntem określonym w §1 zdolności produkcyjnych lub użytkowej przez wykonanie właściwych zabiegów technicznych i biologicznych”.

W Ustawie z dnia 26 października 1971 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych oraz rekultywacji gruntów [Dz.U. 1971 nr 27 poz. 249], „rekultywacja polega na przywróceniu gruntom określonym w ust. 1 wartości użytkowej przez wykonanie właściwych zabiegów technicznych, agrotechnicznych i biologicznych”.

Według Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 20 października 1972 r. w sprawie szczegółowych zasad rekultywacji i zagospodarowania gruntów [Dz.U. 1972 nr 48 poz. 303] „rekultywacja gruntów polega na właściwym ukształtowaniu rzeźby terenu, uregulowaniu warunków hydrologicznych, zachowaniu biologicznie wartościowych warstw gruntów, odtworzeniu gleb lub ich zneutralizowaniu czy użytkowaniu, wprowadzeniu roślinności o charakterze pionierskim, obudowie skarp oraz odbudowie lub budowie niezbędnej sieci dróg dojazdowych”.

W Ustawie z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych [Dz.U. 1995 r. nr 16 poz. 78 z późn. zm.] rekultywacja gruntów oznacza „nadanie lub przywrócenie gruntom zdegradowanym albo zdewastowanym wartości użytkowych lub przyrodniczych przez właściwe ukształtowanie rzeźby terenu, poprawienie właściwości fizycznych i chemicznych, uregulowanie stosunków wodnych, odtworzenie gleb, umocnienie skarp oraz odbudowanie lub zbudowanie niezbędnych dróg”.

Jak pisze Pałasz [2012] podstawowymi dokumentami prawnymi regulującymi zakres rekultywacji terenów zdegradowanych są: Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska [Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627 ze zm.], Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie [Dz.U. 2007 nr 75 poz. 493 ze zm.], Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych [tekst jednolity Dz.U. z 2004 r. nr 121, poz. 1266], Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze [Dz.U. 2010 r. nr 163 poz. 981 tekst jednolity z 7 czerwca 2010 r.]. Zgodnie z art. 86 Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej na każdym z nas spoczywa obowiązek odpowiedzialności za dbałość o stan środowiska [Ptak i Kasztelewicz 2014].

Ważnymi dokumentami w odniesieniu do działalności górniczej są ustawy [Ptak i Kasztelewicz 2014]: z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych, 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze, czy 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych. Zgodnie z Ustawą z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych [Dz.U. 2008 nr 138 poz. 865] „rekultywacja terenu to zagospodarowanie terenu, na który miał wpływ obiekt unieszkodliwiania odpadów wydobywczych, zgodnie z funkcją wynikającą z planu zagospodarowania przestrzennego lub w przypadku braku tego planu – zgodnie z zamierzonym sposobem użytkowania terenów przyległych, w tym przywrócenie stanu jakościowego gleby i ziemi do poziomu wymaganego standardami, jakości gleby i ziemi”.

Szczegółowo prawne aspekty rekultywacji omawiają m.in.: Dulewski i Wtorek [2000]; Siuta i Żukowski [2012] czy Pietrzyk-Sokulska [2016]. Mimo istnienia wielu ustaw i rozporządzeń, brak jednolitego aktu prawnego wypracowanego przez prawo wspólnotowe, które kompleksowo regulowałoby ochronę powierzchni ziemi w związku z działalnością górniczą [Ptak i Kasztelewicz 2014].

3. Cele rekultywacji

W przypadku terenów zdegradowanych przez przemysł, zwłaszcza górniczy, rekultywacja powinna być priorytetem. Takie tereny są często miejscem występowania rzadkich, niekiedy unikatowych biocenoz [Rostański 2000].

Rekultywacja powinna odbywać się na poszczególnych etapach działalności przemysłowej. Proces rekultywacji jest długotrwały, gdyż obejmuje kilka a nawet kilkanaście lat i jest związany z dużymi nakładami finansowymi [Dulewski i Wtorek 2000]. Ważne jest więc określenie, kto ponosi koszty związane z zagospodarowaniem zdegradowanego terenu [Rostański 2000].

Najważniejszym celem rekultywacji i zagospodarowania terenów zdegradowanych jest dbałość o środowisko oraz, aby nie czynić dalszych szkód w środowisku [Woźniak i Kompała 2000]. Po przeprowadzonej rekultywacji przystępuje się do odpowiedniego zagospodarowania gruntów.

Na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego stwierdzono, że w województwie wielkopolskim występuje najwięcej terenów zrehabilitowanych w ciągu roku na przestrzeni lat 2003–2018 (tab. 1). Na drugim miejscu plasuje się województwo podkarpackie, zaś na trzecim – dolnośląskie.

Czynnikiem decydującym o wyborze kierunku rekultywacji jest sposób zagospodarowania i użytkowania terenu [Gocek i Twardoch-Bonczar 2013]. Najczęściej stosowane są kierunki rekultywacji rolnej i leśnej. Znane są też kierunki: wodny, dydaktyczny, przyrodniczy, rekreacyjny, kulturowy czy też mieszkaniowy i gospodarczy [Ostręga i Uberman 2010].

Wyróżnia się metody rekultywacji:

- techniczne (przykrycie zwałowisk żyznymi glebami),
- techniczno-biologiczne (połączenie elementów technicznych i biologicznych),
- biologiczne (odtworzenie gleby stosując różne zabiegi oraz rozwój i utrzymanie odpowiednich gatunków flory i fauny) [Nietrzeba-Marcinonsis 2007, Gocek i Twardoch-Bonczar 2013].

Pojęcie rekultywacji było rozwijane w ostatnich latach, lecz nadal jest niewystarczająca wiedza dotycząca sposobu prowadzenia prac na rzecz poprawy funkcjonowania zaburzonych ekosystemów w środowisku [Gwiżdż i Kabała 2011].

Z raportu Najwyższej Izby Kontroli [2018] wynika, że określone działania w zakresie rekultywacji gruntów po zakończonej eksploatacji kopalni są prowadzone, ale nie zawsze przynoszą oczekiwane rezultaty. Często brakuje dokumentacji i systematycznego nadzoru, co mogłoby przyczynić się do poprawy skuteczności przeprowadzonych działań oraz kontroli wydatkowanych środków [Najwyższa Izba Kontroli, 2018].

Tabela 1. Tereny zrekultywowane w ciągu roku [ha] w poszczególnych województwach Polski (na podstawie danych GUS)

Województwo	Lata															
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Dolnośląskie	450	337	125	102	185	26	57	10	128	173	153	237	69	85	90	147
Kujawsko-pomorskie	12	9	12	18	7	9	4	10	8	144	42	79	84	53	16	32
Lubelskie	20	41	48	136	22	54	57	102	24	29	33	47	64	55	30	61
Lubuskie	119	76	71	13	0	38	15	32	73	57	115	151	44	39	23	58
Łódzkie	6	38	20	59	30	82	45	78	58	85	86	124	68	154	88	113
Małopolskie	66	106	160	126	93	190	45	93	76	123	100	167	176	118	131	150
Mazowieckie	61	25	32	33	39	56	61	56	29	122	116	100	159	77	190	231
Opolskie	63	47	80	29	64	55	36	39	271	92	317	60	11	19	41	23
Podkarpackie	167	629	171	105	684	82	61	61	251	300	140	245	297	105	79	136
Podlaskie	27	30	58	32	53	20	41	31	63	33	52	159	89	35	51	45
Pomorskie	61	37	34	36	61	52	58	43	86	74	111	79	143	81	42	73
Śląskie	126	294	114	128	66	28	75	89	275	288	58	119	108	43	42	39
Świętokrzyskie	33	75	34	15	89	51	1	29	1	25	42	30	28	24	54	34
Warmińsko-mazurskie	123	51	33	87	67	165	169	179	90	156	84	129	112	155	98	101
Wielkopolskie	296	407	779	428	165	383	651	288	221	795	297	268	247	311	302	177
Zachodnio-pomorskie	165	140	90	41	53	28	41	82	148	224	195	177	108	95	36	111

4. Podsumowanie i wnioski

W naukach przyrodniczych pojęcie rekultywacji jest dość często nadużywane. Nadal brakuje jednolitej definicji tego procesu, a istniejąca wiedza nie jest wykorzystywana w podejmowanych przedsięwzięciach, a czasami jest wręcz ignorowana. W wyniku zagospodarowania miejsc przekształconych przez działalność przemysłową uzyskuje się przewrócenie użyteczności terenu dla korzyści człowieka, ale nie podejmuje się problemu przekształcenia środowiska z uwzględnieniem procesów biologicznych i biochemicznych.

Konieczna jest także modyfikacja podejścia i podstaw merytoryczno-teoretycznych sposobu oceny roli terenów poprzemysłowych (w tym poeksploatacyjnych) w aspekcie nowych wyzwań środowiskowych. Stan zapisów administracyjno-prawnych nie nadąża za rozwojem wiedzy. Z kolei nie wykorzystanie najnowszych osiągnięć wiedzy skutkuje (i skutkować będzie) zmianami w ekosystemach. Niedoceniany jest potencjał siedlisk rzadkich (m.in. oligotroficznych i solniskowych oraz siedlisk o wysokim pH) wszędzie tam, gdzie się pojawiają w mozaice eutroficznych i ruderalnych, gęsto zaludnionych siedlisk miejsko-przemysłowych. Niezwykle rzadkie ubogie siedliska oligotroficzne i siedliska skrajne

są fundamentalne dla zwiększenia różnorodności biologicznej terenów miejsko-przemysłowych. Odnaleźć je można jedynie w niektórych miejscach powstałych w związku z eksploatacją surowców mineralnych. Należy unikać wprowadzania na te tereny nawozów i wszelkich substancji, które zwiększają ich żyzność.

Ważne jest podejmowanie działań lokalnych i tworzenie programów edukacyjnych. Prawidłowo prowadzona edukacja (już od najmłodszych lat) może przyczynić się do poprawy świadomości ekologicznej. Ciekawą propozycją jest także wyjście do społeczeństwa (w tym słuchaczy Uniwersytetu Trzeciego Wieku) z wykładami prowadzonymi przez specjalistów na temat stanu środowiska. Rozważyć również należy wymianę doświadczeń z osobami decyzyjnymi w przedsiębiorstwach górniczych zajmujących się eksploatacją surowców mineralnych.

Podjęmowane są działania na rzecz upowszechnienia wiedzy dotyczącej rekultywacji, jak np. zorganizowanie Krajowej Konferencji Naukowej *System ochrony i odnowy biologicznie czynnej powierzchni ziemi w Polsce*, czy też International Mining Forum 2019, gdzie oddzielną sesję poświęcono tematyce *Zielone scenariusze – odpowiedzialni w działaniu* [<https://www.imf2019.pl/sesje-tematyczne/>].

Bibliografia

- Bender J., Gilewska M. 2004. Rekultywacja w świetle badań i wdrożeń. *Roczniki Gleboznawcze*, t. LV, nr 2, 29–46.
- Chwastek J. 1988. Wprowadzenie. W: *Sozologia i sozotechnika 26. Dziś i jutro rekultywacji i zagospodarowania terenów pogórnich*. Zeszyty Naukowe, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica. Kraków, 13–15.
- Crutzen P.J., Stoermer E.F. 2000. The ‘Anthropocene’. *IGBP Newsletter* 41, 17–18.
- Dettmar B. 2013. Industrial Landscapes – Approaches to a Definition and a Typology. W: Albrecht H., Hansell F. (Ed.). *Industrial and Mining Landscapes within World Heritage Context*. International Workshop TU Bergakademie Freiberg. Germany, 38–47.
- Dulewski J., Wtorek L. 2000. Problemy przywracania wartości użytkowych gruntem zdegradowanym działalnością górniczą. *Inżynieria Ekologiczna*, nr 1, 14–22.
- Ekologia – Słownik encyklopedyczny, 2007. Wydawnictwo Europa. Wrocław, s. 12, 59, 63, 312.
- Falińska K. 2004. *Ekologia roślin*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 72–75.
- Fischer-Kowalski M., Haberl H. 2007. *Socioecological Transitions and Global Change*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Główny Urząd Statystyczny (GUS): <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/dane/podgrup/tablica> (dostęp: 21.08.2019).
- Gocek M., Twardoch-Bonczar E. 2013. Studium o tematyce środowiskowej związanej z procesami rewitalizacji: <https://docplayer.pl/6836348-Studium-o-tematyce-srodowiskowej-zwiazanej-z-procesami-rewitalizacji.html> (dostęp: 20.08.2019).
- Greszta J., Morawski S. 1972. *Zasady rekultywacji i zagospodarowania nieużytków*. W: *Rekultywacja nieużytków poprzemysłowych*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa, 24–30.

- Grime J.P. 1973. Competitive Exclusion in Herbaceous Vegetation. *Nature*, 242(5396), 344–347.
- Gwiżdż M., Kabała C. 2011. Skuteczność rekultywacji biologicznej składowisk odpadów z górnictwa węgla kamiennego. *Przegląd Górniczy*, 67(6), 103–106.
- International Mining Forum (IMF) 2019: <https://www.imf2019.pl/sesje-tematyczne/> (dostęp: 23.08.2019).
- Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Dz.U. 1997 nr 78 poz. 483).
- Maciak F. 1999. Degradacja gleb. W: *Ochrona i rekultywacja środowiska*. Wydawnictwo SGGW. Warszawa, 105–131.
- Najwyższa Izba Kontroli, 2018. Informacja o wynikach kontroli – rekultywacja terenów po eksploatacji kopalni objętych prawem własności nieruchomości gruntowej. Warszawa, 1–52.
- Nietrzeba–Marcinonsis J. 2007. Wpływ rekultywacji leśnej terenów pokopalnianych na wybrane właściwości gleb inicjalnych na przykładzie zwałowiska nadkładu Kopalni Węgla Brunatnego Turów S.A. Uniwersytet Zielonogórski. Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska. Praca doktorska – wersja elektroniczna.
- Ostręga A., Uberman R. 2010. Kierunki rekultywacji i zagospodarowania – sposób wyboru, klasyfikacja i przykłady. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 34(4), 445–461.
- Pałasz J. 2012. Uwarunkowania organizacyjno-prawne procesów rekultywacji i rewitalizacji terenów przemysłowych w Polsce. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Organizacja i Zarządzanie*, z. 62, nr 1875, 5–23.
- Pietrzyk-Sokulska E. 2016. Akty prawne dotyczące rekultywacji terenów pogórnich. W: *Rekultywacja i adaptacja terenów pogórnich – aspekty prawne, techniczne i ekonomiczne. Wybrane przykłady realizacji w Europie i Polsce*. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, 19–30.
- Ptak M., Kasztelewicz Z. 2014. Rekultywacja w prawie geologicznym i górnictwie jako element planowania działalności. *Mining Science – Mineral Aggregates*, 21(1), 171–179.
- Rostański A. 2000. Rekultywacja i zagospodarowanie nieużytków przemysłowych – rozwiązania alternatywne. *Inżynieria Ekologiczna*, nr 1, 81–86.
- 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.).
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków – zał. nr 6 – Dz. U. 2001 nr 38 poz. 454).
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20 października 1972 r. w sprawie szczegółowych zasad rekultywacji i zagospodarowania gruntów (Dz.U. 1972 nr 48 poz. 303).
- Simpson N.P., Shearing C.D., Dupont B. 2019. Climate Gating: A Case Study of Emerging Responses to Secure Resilience, *Climate Risk Management*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2019.100196>.
- Siuta J., Dulewski J., Żukowski B. 2012. Wprowadzenie. W: *Rekultywacja i zagospodarowanie gruntów pogórnich w Polsce*. Monografia. Warszawa, 5–9.
- Siuta J., Żukowski B. 2012. Wykonanie rekultywacji gruntów w latach 1975–2009. W: Łachacz A. (red.). *Współczesne Problemy Kształtowania i Ochrony Środowiska*.

- Monografia, Wybrane problemy ochrony mokradeł. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, 132–147.
- Steffen W., Crutzen P.J., McNeill J.R. 2007. The Anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature? *AMBIO* 36(8), 614–621.
- Uchwała Nr 198 Rady Ministrów z dnia 12 lipca 1966 r. w sprawie ochrony użytków rolnych (M.P. 1966 nr 40 poz. 200).
- Uchwała nr 256 Komitetu Ekonomicznego Rady Ministrów z dnia 12 lipca 1961 roku w sprawie rekultywacji terenów przeznaczonych pod eksploatację piasków podsadzkowych (Dz.U. MLiPD Nr 15, poz. 226).
- Uchwała nr 301 Rady Ministrów z dnia 6 września 1966 r. w sprawie rekultywacji i zagospodarowania gruntów przekształconych w związku z poszukiwaniem i eksploatacją kopalin (M.P. 1966 nr 50 poz. 247).
- Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2010 r. nr 163 poz. 981 tekst jednolity z 7 czerwca 2010 r.).
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz.U. 1995 r. nr 16 poz. 78 z późn. zm.).
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627 ze zm.).
- Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie (Dz.U. 2007 nr 75 poz. 493 ze zm.).
- Ustawa z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych (Dz.U. 2008 nr 138 poz. 865).
- Ustawa z dnia 26 października 1971 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych oraz rekultywacji gruntów (Dz.U. 1971 nr 27 poz. 249).
- Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2011 nr 163 poz. 981).
- Ustawa z dnia 9 października 2015 r. o rewitalizacji (Dz.U. 2015 poz. 1777).
- Woźniak G., Kompała A. 2000. Rola procesów naturalnych w rekultywacji nieużytków poprzemysłowych. *Inżynieria Ekologiczna*, nr 1, 87–93.

Roślinność wieloletniego doświadczenia na modelowym złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej w latach 2005–2017

Kazimierz Henryk Dyguś¹

1. Wprowadzenie

Składowiska odpadów energetyki węglowej, ze względu na ich drobnoziarnistą strukturę, wykazują dużą podatność na erozję wietrzną i wodną. Techniczne sposoby utrwalania tego typu składowisk nie eliminują uciążliwości pyłowej. Odpowiednio dobrane i wysiane gatunki roślin mogą utworzyć na powierzchni składowisk trwałą pokrywę roślinną, i w ten sposób ochronić składowiska przed erozyjnym działaniem wiatru i wody, migracją metali ciężkich do wód gruntowych oraz poprawić estetykę krajobrazu [Siuta 2005, Antonkiewicz i Radkowski 2006].

Metody biologicznej rekultywacji wymagają dużych zasobów ziemi próchnicznej i nakładów finansowych. Tańszym rozwiązaniem jest zainicjowanie procesu glebotwórczego w celu uzyskania odpowiednich warunków siedliskowych do wzrostu i ukształtowania się pokrywy roślinnej. W tym celu stosuje się nawozy organiczne ze względu na duże zawartości składników pokarmowych i substancji próchnicotwórczych. Są to głównie osady ściekowe, komposty, odpady komunalne, torf itp. Wprowadzenie tych substancji na wierzchnią warstwę popiołów paleniskowych inicjuje życie biologiczne a następnie proces glebotwórczy, stwarzając warunki do rozwoju roślin. Materia organiczna tworzy kompleks sorpcyjny chłonący składniki pokarmowe i wodę [Gilewska 1999, Gilewska i Przybyła 2011, Polkowski i Sułek 1999, Siuta 2005, Siuta 2007, Siuta i in 2008, Klimont 2011].

Celem badań była ocena efektywności rekultywacyjnej na doświadczalnym złożu odpadów paleniskowych zasilanych kilkoma rodzajami substancji użyźniających. Ocenę tę uzyskano na podstawie procentowego oszacowania pokrycia gatunków i plonów roślin oraz właściwości ekologicznych gatunków roślin.

¹ Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Wydział Inżynierii i Zarządzania, ul. Olszewska 12, 00-792 Warszawa

2. Metodyka

Bogactwo gatunkowe i plonowanie roślin badano na modelowym złożu popiołu z Elektrociepłowni Kawęczyn. Złoża te ukształtowano w pojemnikach cylindrycznych o średnicy 80 cm (0,5 m² powierzchni) i wysokości 100 cm [Dyguś i in. 2014, Siuta i Dyguś 2013].

Modelowe złoża miały następujący skład chemiczny [Siuta i in. 2008]:

- składniki główne: SiO₂ – 48,5%; Al₂O₃ – 4,8%; Fe₂O₃ – 2,8%; CaO – 2,8%; MgO – 2,7%; K₂O – 2,1%; TiO₂ – 1,1%; Na₂O – 0,8%; MnO₂ – 0,5%;
- metale ciężkie w mg/100 g: Zn – 90; Cu – 59; Pb – 50; Ni – 42; Co – 17; Cd – 15; Cr – 46.

Pojemniki ze złożem odpadów paleniskowych zostały użyźnione następującymi substancjami:

- kompost roślinny wyprodukowany doświadczalnie z odpadów zieleni miejskiej (kr) [Madej 2007, Madej i in. 2010];
- kompost „Radiowo” z nieselektywnie gromadzonych odpadów komunalnych (kRa);
- kompost Zakładu Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych – „ZUSOK” (kZ);
- kompost firmy AG – COMPLEX produkowany z odpadów zieleni miejskiej Warszawy (kC) [Opaliński 2007];
- osad komunalnej oczyszczalni ścieków w Radzyminie (O);
- nawóz mineralny N, P₂O₅, K₂O (NPK).

Schemat doświadczenia i rekultywacyjne dawki nawozów przedstawia tabela 1, a ich charakterystykę tabela 2 [Siuta i in. 2008].

Pierwszy etap doświadczenia zrealizowano w latach 2005 i 2006 [Siuta i in. 2008]. W latach 2007–2010 wegetacja roślin i formowanie się gleby postępowało bez żadnej ingerencji.

Tabela 1. Rekultywacyjne dawki nawozów

Wprowadzane substancje	Dawki					
	dm ³ /0,5 m ²			m ³ /ha		
Osad ściekowy (O)	5,0	10,0	15,0	100	200	300
Kompost roślinny (kr)	5,0	7,5	10,0	100	150	200
Kompost Radiowo (kRa)	5,0	7,5	10,0	100	150	200
Kompost z ZUSOK (kZ)	5,0	7,5	10,0	100	150	200
Kompost Complex (kC)	5,0	7,5	10,0	100	150	200
NPK	g/0,5 m ²			kg/ha		
Azot (N)	7,5	10,0	12,5	150	200	250
Fosfor (P ₂ O ₅)	3,5	4,5	6,0	70	90	120
Potas (K ₂ O)	5,0	7,5	10,0	100	150	200
Razem NPK	16,0	22,0	28,5	320	440	570

Tabela 2. Właściwości nawozów organicznych zastosowanych w doświadczeniu

Zawartość	Rodzaj nawozu				
	kompost Radiowo (kRa)	kompost roślinny (kr)	kompost ZUSOK (kZ)	kompost Complex (kC)	osad ściekowy (O)
Substancja org. s.m. %	25,8	42,8	24,0	74,4	37,7
Węgiel organiczny s.m. %	12,8	19,3	11,9	39,2	21,2
Azot s.m. %	1,1	2,1	1,0	5,8	1,4
Fosfor s.m. %	0,6	0,8	0,5	1,5	0,6
Zawartość potasu s.m. %	0,5	1,0	0,8	0,3	1,3
C : N	10,8	9,2	11,9	6,1	15,1
pH	7,8	7,2	7,9	7,1	7,9
Masa świeża g/dm ³	807	330	790	950	490
Masa sucha g/dm ³	472	219	504	185	350
Woda %	40,1	31,7	36,9	80,9	40
Azot gN/ dm ³	5,2	4,6	5,0	11,0	n.o.

n.o. – nie oznaczono.

Podjmując drugi etap doświadczenia (lata 2011–2017) usunięto nadziemną biomasę roślin, pozostawiając biomasę podziemną. Wiosną 2011 r. wysiano mieszanek czterech gatunków traw: życię trwałą Stadion, wiechlinę łąkową Evon, kostrzewę trzcinową Starlett, kostrzewę czerwoną Maxima, oraz jeden gatunek rośliny dwuliściennej – gorczycę jasną. Po wysiewie roślin modelowe złoża zasilono kompleksowym nawozem mineralnym (azofoską) o zawartości 13,6% azotu, 6,4%, 19,1%, 4,5% i 23,0% z udziałem Cu, Fe, Mn, Mo i Zn.

W sezonach wegetacyjnych II etapu doświadczenia prowadzono szczegółowe obserwacje florystyczne. Notowane gatunki roślin poddano analizie florystyczno-fitosocjologicznej i taksonomicznej. Natomiast analizę ekologiczną gatunków przedstawiono w innej publikacji [Dyguś 2015]. Dynamikę zmian roślin w pojemnikach wielowariantowego doświadczenia wyrażono procentowym udziałem pokrycia roślin w poszczególnych modelach doświadczalnych. Na podstawie składu gatunkowego roślin wyodrębniono ich grupy systematyczne, syntaksonomiczne, ekologiczne, geograficzno-historyczne i formy życiowe według Raunkiaera. W poszczególnych latach eksperymentu inwentaryzowano gatunki roślin i szacowano ich procentowe pokrycie.

Trzy razy w roku, podczas wegetacji roślin, zbierano plony roślin (rys. 1). Zebraną biomasę roślinną suszono w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 75 °C, aż do uzyskania suchej masy, a następnie ważono z dokładnością do 0,0001 g.

Stwierdzoną florę poddano analizie ekologicznej. Dane taksonomiczne opracowano według „Klucza do oznaczania roślin naczyniowych Polski niżowej” [Rutkowski 1998]. Nomenklaturę jednostek grup syntaksonomicznych zastosowano według Matuszkiewicza [2001]. Klasyfikację i udział form życiowych flory opracowano według Raunkiaera [Zarzycki i in. 2002]. Analizę geograficzno-historyczną roślin przeprowadzono na podstawie opracowań Rutkowskiego [1998] oraz



Rys. 1. Szpaler pojemników z udziałem traw i gorczycy jasnej (*Sinapis alba*) (po prawej stronie); po lewej pojemniki po zebranych plonie roślin

Mirka i in. [2002]. Średnie pokrycie roślin w poszczególnych modelach nawożenia wyrażono skalą Braun-Blanqueta [1964] z uwzględnieniem modyfikacji Westhoffa i van der Maarela [1978]. Nazewnictwo łacińskie roślin naczyniowych przyjęto według Mirka i in. [2002].

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Bogactwo florystyczne na nawożonym złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej

W pojemnikach stwierdzono 105 gatunków roślin, spośród nich 100, to gatunki zasiedlone spontanicznie. W tabeli 3 przedstawiono stan bogactwa florystycznego wraz z oceną pokrycia gatunków stwierdzonych w latach 2011–2017.

Skład florystyczny wraz z pokryciem roślin okazał się przydatny do oceny efektywności rekultywacyjnej w doświadczalnym złożu. W wielu badaniach dowiedziono, że liczba gatunków i ich pokrycie są ważnymi wskaźnikami możliwości rekultywacyjnych aplikowanej na złożu substancji nawozowej [Gutkowska i Pawluśkiewicz 2006]. Warto przy tym wspomnieć, że w procesie rekultywacji biologicznej ważnym jest odpowiedni dobór roślin [Majtkowski i in. 1999, Nowak 2006]. Zinwentaryzowana w latach 2011–2017 flora należała do 19 taksonów w randze rodzin, wśród których w pierwszych latach obserwacji dominowały gatunki z rodziny traw (*Poaceae*), złożonych (*Asteraceae*), rodziny komosowatych (*Chenopodiaceae*) i rodziny krzyżowych (*Brassicaceae*). W ostatnich latach badań struktura dominacji rodzin uległa częściowo zmianie. Nadal dominowały gatunki

Tabela 3. Bogactwo florystyczne i pokrycie roślin w doświadczeniu modelowym notowane w latach 2011–2017

Lp.	Gatunek	NPK	kRa	kC	kr	kZ	O
1	<i>Acer negundo</i> - s	+	+	+			
2	<i>Achillea millefolium</i>				+	+	1
3	<i>Agrostis stolonifera</i>	+		+	+	+	+
4	<i>Anthriscus sylvestris</i>				+		+
5	<i>Arabidopsis thaliana</i>	+		1	+		
6	<i>Artemisia vulgaris</i>	+	+	1	1	+	+
7	<i>Atriplex patula</i>				+		
8	<i>Atriplex prostrata</i>				+		
9	<i>Atriplex tatarica</i>				+	+	
10	<i>Betula pendula</i> - s				+		+
11	<i>Bidens frondosa</i>	+	1	+		1	+
12	<i>Bidens tripartita</i>	+	1	+	+	+	+
13	<i>Bromus tectorum</i>		1		1	+	
14	<i>Calamagrostis epigejos</i>	+		+			
15	<i>Capsella bursa-pastoris</i>		+	1	+	+	1
16	<i>Cardaminopsis arenosa</i>	+	+		r	1	
17	<i>Chamomilla recutita</i>					+	
18	<i>Chelidonium majus</i>				+	r	
19	<i>Chenopodium album</i>	2a	2a	2a	2a	2a	2a
20	<i>Chenopodium glaucum</i>			+		+	
21	<i>Chenopodium hybridum</i>			+	+	+	
22	<i>Chenopodium murale</i>		1	1		+	+
23	<i>Chenopodium polyspermum</i>		+	+			
24	<i>Chenopodium urbicum</i>			+			
25	<i>Cirsium arvense</i>		+	+	+	+	1
26	<i>Cirsium oleraceum</i>	+		+	+		
27	<i>Crisium vulgare</i>	+	+	2m		+	+
28	<i>Convolvulus arvensis</i>			2a	+		+
29	<i>Conyza canadensis</i>	1	2m	2a	2m	1	1
30	<i>Dactylis glomerata</i>		+	+	+	+	+
31	<i>Daucus carota</i>				+		+
32	<i>Descurainia sophia</i>	+	+	+	+	+	1
33	<i>Elymus repens</i>	+	+	+	+	+	+
34	<i>Epilobium montanum</i>						+
35	<i>Erigeron annuus</i>	+				+	
36	<i>Erigeron ramosus</i>	+		+		+	
37	<i>Erysimum cheiranthoides</i>		+		+	+	1
38	<i>Fallopia convolvulus</i>				+		
39	<i>Festuca arundinacea</i> var. Starlett	2a	2a	2a	2a	2a	2b
40	<i>Festuca rubra</i> var. Maxima	2a	2m	2a	2a	2a	2a
41	<i>Galinsoga parviflora</i>	+	+	+	1	+	1
42	<i>Geranium pyrenaicum</i>				+		+
43	<i>Geranium pusillum</i>			+	1	+	
44	<i>Hypochoeris radicata</i>		r				
45	<i>Impatiens parviflora</i>	2a		2a	+	2a	2m
46	<i>Lactuca serriola</i>	+					+

c.d. Tabeli 3.

47	<i>Lamium maculatum</i>	+		+			+
48	<i>Lamium purpureum</i>			+			r
49	<i>Leonurus cardiaca</i>					r	
50	<i>Lolium perenne</i> var. Stadion	2a	2a	2a	2a	2a	2b
51	<i>Lotus corniculatus</i>					+	
52	<i>Lycopus europaeus</i>			+			
53	<i>Matricaria maritima</i> ssp. <i>inodora</i>	+	+	1	2a	+	
54	<i>Medicago falcata</i>	1	2m	1	+		1
55	<i>Medicago lupulina</i>	2a	2a	2m	2a	2m	2m
56	<i>Melilotus officinalis</i>					r	
57	<i>Oxalis fontana</i>					1	2a
58	<i>Parthenocissus inserta</i>					1	2a
59	<i>Pastinaca sativa</i>	+		r			
60	<i>Phleum pratense</i>	+	+	+	+	+	+
61	<i>Plantago intermedia</i>	1		+	+	+	+
62	<i>Plantago lanceolata</i>			+		+	+
63	<i>Plantago major</i>				+	1	
64	<i>Poa angustifolia</i>	+	+	+	+		+
65	<i>Poa annua</i>	+	+	+	+	1	+
66	<i>Poa compressa</i>	+	+			+	
67	<i>Poa pratensis</i> var. <i>Evona</i>	2a	2a	2b	2a	2b	2b
68	<i>Polygonum aviculare</i>	+	2a	+	1	1	1
69	<i>Polygonum lapathifolium</i>				+	+	+
70	<i>Polygonum persicaria</i>					+	
71	<i>Quercus robur</i> - s						+
72	<i>Raphanus raphanistrum</i>		1	+		+	+
73	<i>Rumex acetosa</i>	1			+	+	
74	<i>Rumex acetosella</i>		+		+		
75	<i>Rumex crispus</i>			+	+		
76	<i>Senecio vulgaris</i>		+	1	+		2a
77	<i>Silene vulgaris</i>						+
78	<i>Sinapis alba</i>	r				r	
79	<i>Sinapis arvensis</i>		+			+	+
80	<i>Sisymbrium altissimum</i>	+					
81	<i>Sisymbrium loeselii</i>	1	1	1	+	1	
82	<i>Sisymbrium officinale</i>	+	+	+		+	+
83	<i>Solidago canadensis</i>	2a	2a	+	2a	1	1
84	<i>Solidago gigantea</i>	1		+		+	1
85	<i>Sonchus arvensis</i>	2a	2a	1	2a	2a	2a
86	<i>Sonchus asper</i>		+	+			
87	<i>Sonchus oleraceus</i>	+	1	+	+	+	1
88	<i>Stellaria media</i>	2m	1	2m	2a	2m	2a
89	<i>Tanacetum vulgare</i>			r			
90	<i>Taraxacum officinale</i>	1	2a	1	1	2a	1
91	<i>Trifolium arvense</i>	2m		2a		1	1
92	<i>Trifolium dubium</i>				+		
93	<i>Trifolium hybridum</i>				1	1	+
94	<i>Trifolium pratense</i>			+		+	+

c.d. Tabeli 3.

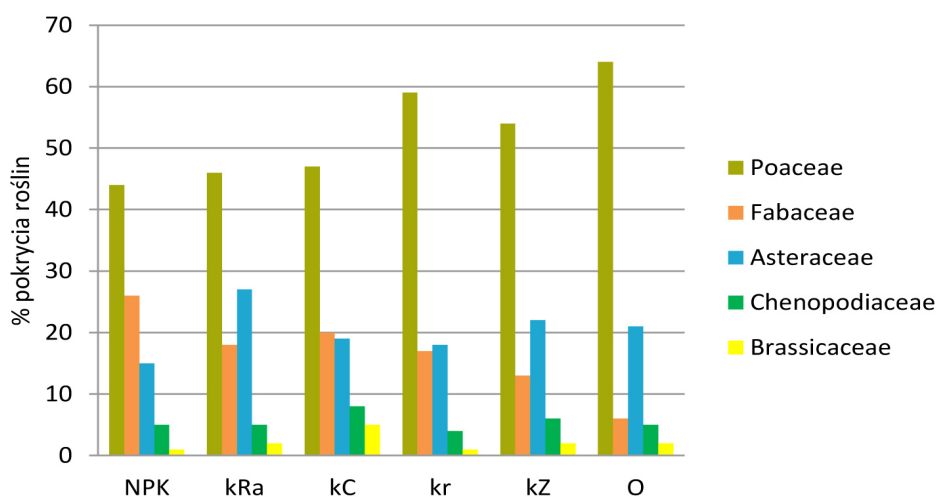
95	<i>Trifolium repens</i>	2m	2a	2a	2a	1	1
96	<i>Tussilago farfara</i>		2m		2m		
97	<i>Urtica dioica</i>	+					
98	<i>Valeriana officinalis</i>						+
99	<i>Veronica arvensis</i>		+	+	1		1
100	<i>Veronica persica</i>				+		+
101	<i>Vicia cracca</i>	+		+			+
102	<i>Vicia dumetorum</i>			+		+	
103	<i>Vicia hirsuta</i>			+			
104	<i>Vicia sativa</i>					+	
105	<i>Viola arvensis</i>			+			

Objaśnienia skrótów:

- Średnie pokrycie roślin w poszczególnych modelach nawożenia wyrażone skalą Braun-Blanqueta [1964] z uwzględnieniem modyfikacji Westhoffa i van der Maarela [1978].
- NPK – nawóz N, P₂O₅, K₂O bez nawożenia organicznego, kRa – kompost z odpadów komunalnych Radiowo, kC – kompost Complex, kr – kompost roślinny wyprodukowany z trawy, kZ – kompost z odpadów komunalnych i roślinnych (ZUSOK), O – osad z oczyszczania ścieków komunalnych.
- Pozostałe skróty: s – siewka.

z rodziny traw (*Poaceae*), lecz subdominantami okazały się gatunki z rodziny motylkowatych (*Fabaceae*) i rodziny złożonych (*Asteraceae*) (rys. 2). Wiąże się to z przewagą anemochorów w tych rodzinach, które produkują duże ilości lekkich, lotnych nasion, co umożliwia ich rozsiew na znaczne odległości.

Do najliczniej reprezentowanych rodzajów botanicznych należą: komosa (*Chenopodium*), rdest (*Polygonum*), mlecz (*Sonchus*), wiechlina (*Poa*), łoboda



Rys. 2. Procentowy udział dominujących rodzin tworzących pokrywę roślinną w doświadczeniu

(*Atriplex*), koniczyna (*Trifolium*), babka (*Plantago*). Jest to typowy udział taksonów botanicznych w procesie spontanicznego kształtowania się pokrywy roślinnej w początkowych etapach rekultywacji składowisk przemysłowych i komunalnych [Gutkowska i Pawluśkiewicz 2006, Rostański 2006, Dyguś i in. 2012, Dyguś i Madej 2012].

Analiza fitosocjologiczna i syntaksonomiczna flory z lat 2011–2017 wykazała udział 11 grup syntaksonomicznych w randze klas. Wśród wyróżnionych grup badanej flory 39% gatunków należała do nitrofilnych zbiorowisk pól uprawnych (klasa *Stellarietea mediae*). Dwie następne grupy gatunków związane były z antropogenicznymi siedliskami ruderalnymi (klasa *Artemisietea vulgaris*) oraz mezo- i eutroficznymi zbiorowiskami łąkowymi (klasa *Molinio-Arrhenatheretea*). Pozostałe grupy syntaksonomiczne reprezentowane były przez znikome liczby gatunków (tab. 4).

Wśród zidentyfikowanych gatunków w latach 2011–2017 wykazano wyraźną dominację roślin jednorocznych (terofitów), które stanowiły niemal połowę składu gatunkowego badanej flory. W pierwszych latach eksperymentu stosunkowo wysoki udział we florze miały rośliny wieloletnie – hemikryptofity. Natomiast od roku 2013 już wyraźnie dominowały hemikryptofity, z jednoczesną tendencją zmniejszania się udziału terofitów. Przez cały okres obserwacji znaczący udział miały geofity, czyli rośliny skrywające pąki w glebie (tab. 5).

Tabela 4. Udział grup syntaksonomicznych w randze klasy

Grupa syntaksonomiczna (klasa)	Liczba gatunków	%
<i>Stellarietea mediae</i>	41	39,0
<i>Artemisietea vulgaris</i>	26	24,8
<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>	22	20,9
<i>Bidentetea tripartiti</i>	5	4,8
<i>Festuco-Brometea</i>	3	2,9
<i>Koelerio-Corynepherea</i>	2	1,9
<i>Quercu-Fagetea</i>	2	1,9
Pozostałe grupy	4	3,8
Razem	105	100,0

Tabela 5. Spektrum form życiowych roślin według Raunkiaera

Forma życiowa	Liczba gatunków	%
Hemikryptofity (H)	44	41,9
Terofity (T)	39	37,1
Geofity (G)	17	16,2
Pozostałe formy	5	4,8
Razem	105	100,0

3.2. Ocena efektywności rekultywacyjnej złoża odpadów paleniskowych energetyki węglowej na podstawie pokrycia roślin

Przeprowadzone doświadczenie na złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej wykazało, że we wszystkich modelach nawożenia, pod względem pokrycia, duży udział mają wysiane i spontanicznie zasiedlone trawy. Natomiast spośród samosiewnych roślin dwuliściennych ich pokrycie różni się w poszczególnych modelach, np. w modelu NPK dominują rośliny motylkowate, a w modelach z kompostem Radiowo, ZUSOK i z osadem ściekowym największe pokrycie miały rośliny z rodziny złożonych. Warto zwrócić także uwagę na rolę tzw. roślin rekultywacyjnych. Mają one dużą biomasę i są w większości roślinami jednorocznymi (terofitami). Ich podwyższony udział w pokryciu może być wskaźnikiem właściwego zapoczątkowania przebiegu rekultywacji biologicznej składowisk. Dość wyraźnie zaobserwowano to w modelu z kompostem Complex. Nie mniej ważną rolę w procesie rekultywacji spełniają rośliny motylkowate i złożone. Ich duży udział usprawnia tworzenie pokrywy roślinnej w większości modeli, a zatem przebieg rekultywacji, bowiem wiele gatunków z tych grup to rośliny wieloletnie.

W doświadczalnym modelu z NPK bez nawożenia organicznego wykazano umiarkowaną efektywność rekultywacyjną zaaplikowanego nawozu NPK. Świadczy o tym chociażby stosunkowo niższe pokrycia złoża hemikryptofitami – roślinami darniowymi i kępkowymi, głównie trawami. Natomiast na modelowym złożu z kompostem Radiowo (kRa) duży udział miały rośliny z rodziny komosowatych, krzyżowych i motylkowatych, co świadczy o dobrej efektywności rekultywacyjnej na tym złożu. Na duże znaczenie w procesie rekultywacji biologicznej roślin z rodzin motylkowatych i krzyżowych zwrócił uwagę w swoich badaniach także Góral [2001]. Z kolei na złożu z kompostem Complex (kC) dominowały terofity. Duży udział roślin jednorocznych, na tym etapie rekultywacji, nie jest zadowalający. Ale jednocześnie znaczny udział traw i roślin komosowatych rokuje dla tego modelu nasilenie się procesu glebotwórczego w latach następnych, a w konsekwencji większy wzrost sprawności rekultywacyjnej tego złoża. Efektywność rekultywacji w doświadczalnym modelu z kompostem roślinnym (kr) częściowo usprawniało osiedlanie się wieloletnich roślin dwuliściennych (hemikryptofitów, geofitów i chamefitów zielnych). Jednak stosunkowo niskie pokrycie traw na tym etapie rekultywacji świadczy o jej powolnym tempie. Stwierdzony skład florystyczny w pojemnikach z kompostem ZUSOK (kZ) wskazuje, że nawóz ten wpłynął w zaledwie zadawalającym stopniu na przebieg rekultywacji biologicznej. W pojemnikach doświadczalnych nawożonych osadem ściekowym (O) wykazano dość dobry rozwój pokrywy roślinnej. Można przypuszczać, że dalsze etapy rekultywacji powinny przebiegać w tym modelu sprawniej za przyczyną występowania (jeszcze z niewielkim pokryciem), aż kilkunastu gatunków z rodziny motylkowatych i krzyżowych, spełniających wraz z trawami główną rolę w procesie rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych.

3.3. Ocena efektywności rekultywacyjnej w modelowym doświadczeniu na podstawie plonowania roślin

Na podstawie uzyskanych wyników plonowania roślin podjęto próbę oceny rekultywacyjnej efektywności stosowanych modeli nawożenia. Założono, że im większe plonowanie roślin, tym proces glebotwórczy, a zarazem i rekultywacja, zachodzą efektywniej. Każdy model przeanalizowano pod względem średnich sumy plonów ze wszystkich wariantów nawożenia podczas wieloletniego eksperymentu (tab. 6).

W roku 2011 w większości wariantów nawożenia uzyskano stosunkowo wysokie plony roślin. Tyko w wariancie ZUSOK (kZ) plon był dużo niższy [Siuta i Dyguś 2013]. Natomiast w 2014 roku plony we wszystkich wariantach nawożenia zmniejszyły się [Dyguś 2015]. Jeszcze niższe plonowanie roślin, w porównaniu z latami ubiegłymi, wystąpiło w 2016 roku [Dyguś 2016]. Dynamikę zmian plonowania roślin częściowo odzwierciedlają także fotografie (rys. 3–6).

Tabela 6. Plony suchej masy roślin (w g/m²) w latach 2005–2017

Dawka nawozu	Lata									Σ
	2005	2006	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
N, P ₂ O ₅ , K ₂ O (NPK)										
32 g	172	73	860	432	299	265	208	145	415	2869
44 g	136	214	784	522	317	314	263	211	402	3163
57 g	161	311	427	504	298	214	177	248	238	2578
Kompost Radiowo (kR)										
10 dm ³	114	230	911	687	544	530	324	220	389	3949
15 dm ³	185	216	905	611	466	504	480	396	465	4228
20 dm ³	184	214	835	751	656	478	412	267	577	4374
Kompost Complex (kC)										
10 dm ³	0*	256	1024	985	1021	659	519	267	1334	6065
15 dm ³	0*	406	1077	826	674	807	696	554	916	5956
20 dm ³	0*	582	1735	1077	960	1044	808	314	604	7124
Kompost roślinny (kr)										
10 dm ³	313	296	682	625	481	257	209	156	305	3324
15 dm ³	436	326	887	442	323	345	311	260	416	3746
20 dm ³	548	366	901	427	384	287	216	154	446	3729
Kompost ZUSOK (kZ)										
10 dm ³	323	257	318	575	337	246	179	145	248	2628
15 dm ³	413	317	389	539	334	367	301	226	286	3172
20 dm ³	573	347	572	607	337	412	333	176	237	3594
Osad ściekowy (O)										
10 dm ³	346	355	416	578	415	328	265	148	380	3231
15 dm ³	380	374	1103	721	545	587	410	227	251	4598
20 dm ³	412	694	1285	652	544	443	345	206	233	4814

* Doświadczenie zapoczątkowano w 2006 r.



Rys. 3. Widok ogólny pojemników z roślinami – 31 maj 2011 r.



Rys. 4. Widok ogólny pojemników z roślinami – 30 maj 2013 r.

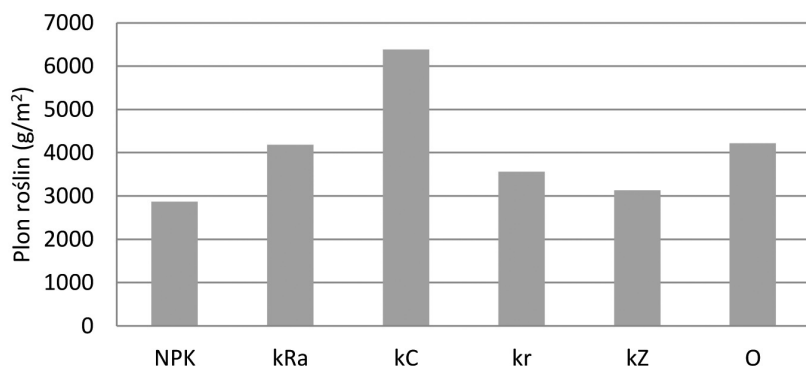


Rys. 5. Widok ogólny pojemników z roślinami – 27 maj 2015 r.



Rys. 6. Widok ogólny pojemników z roślinami – 26 maj 2017 r.

Na podstawie plonowania roślin za lata 2005–2017, najwyższą sumaryczną efektywność rekultywacyjną oszacowano na złożu nawożonym kompostem „Complex” (kC). Kompost ten cechuje m. in. wysoka zawartość substancji organicznej, węgla organicznego, azotu i fosforu, przy jednocześnie obojętnym pH (7,1). Stosunkowo dużą sprawność rekultywacyjną na podstawie plonowania wykazano na złożu nawożonym kompostem „Radiowo” (kRa) i osad ściekowy (O). Warto zwrócić uwagę na niską sprawność rekultywacyjną nawożenia mineralnego z zawartością N, P₂O₅, K₂O (NPK), a także kompostu „ZUSOK”, który cechuje najniższa zawartość substancji organicznej, węgla organicznego, azotu i fosforu i przy tym ma stosunkowo wysokie pH (7,9) (rys. 7).



Rys. 7. Szacunkowa efektywność rekultywacyjna na podstawie plonowania roślin podczas wieloletniego doświadczenia (objaśnienia patrz. tab. 3)

4. Wnioski

1. Eksperyment na modelowym złożu odpadów paleniskowych wykazał, że istotną rolę w przebiegu rekultywacji składowisk ma sekwencja występowania odpowiednich form życiowych roślin. W początkowym stadium rekultywacji ważną rolę spełniały rośliny jednoroczne (terofity), które pobudzały do kreowania procesu glebotwórczego. W dalszych fazach najwyższą efektywność rekultywacyjną zapewniały trawy oraz rośliny dwuliścienne, zwłaszcza dwuletnie i wieloletnie (hemikryptofity, geofity, chamefity zielne), które utrzymywały podłoże.
2. Podczas prowadzonego eksperymentu zasadniczą rolę w usprawnianiu rekultywacji na doświadczalnych złożach pełniły (oprócz traw) rośliny z rodzin: złożonych, komosowatych, motylkowatych, które gromadziły znaczną biomasę, istotną w procesie rekultywacji składowisk.
3. Na podstawie oszacowanego w badanych modelach stopnia pokrycia gatunków i plonowania roślin najwyższą efektywność rekultywacyjną wykazano w pojemnikach z kompostem „Complex”, osadem ściekowym i kompostem „Radiowo”.
4. Duży wpływ na przebieg doświadczenia i sprawność rekultywacji na złożu odpadów paleniskowych miały warunki atmosferyczne (szczególnie wysokie

- temperatury, susza) i ubożenie związków pokarmowych w podłożu. Ilustruje to dynamika spadku plonowania w niektórych latach doświadczenia.
5. Zaimprovizowany model doświadczalny (*ex situ*) przebiegu rekultywacji biologicznej odpadów paleniskowych nie może odnosić się do układów rzeczywistych (*in situ* – hałd, składowisk itp.). Jego funkcjonalność jest fragmentaryczna i niekiedy ograniczająca trafne wnioskowanie. Wymaga zatem wielokrotnych powtórzeń i wieloaspektowego testowania.
 5. Biologiczna (roślinna) rekultywacja składowisk odpadów przemysłowych i komunalnych może przyczynić się do zwiększenia biologicznie czynnej powierzchni ziemi i poprawy stanu środowiska naturalnego. Rekultywacja składowisk odpadów, z udziałem odpowiednio dobranych i spontanicznych roślin, może przyczynić się do zwiększenia bioróżnorodności gatunkowej a nawet krajobrazowej.

Bibliografia

- Antonkiewicz J, Radkowski A. 2006. Przydatność wybranych gatunków traw i roślin motylkowych do biologicznej rekultywacji składowisk popiołów paleniskowych. *Annales UMCS, Sec. E*, 61, 413–421.
- Braun–Blanquet J. 1964. *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde* 3. Aufl. Springer, Vienna–New York, 865.
- Dyguś K.H. 2015. The role of plants in experimental biological reclamation in a bed of furnace waste from coal-based energy. *Journal of Ecological Engineering*, 16(1), 8–22. DOI: 10.12911/22998993/581.
- Dyguś K.H. 2016. Roślinność wieloletniego doświadczenia na modelowym złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej. Część III. *Polish Journal for Sustainable Development*, 20, 45–58.
- Dyguś K.H., Madej M. 2012. Roślinność wielowariantowego doświadczenia modelowego na złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej. *Inżynieria Ekologiczna*, 30, 227–240.
- Dyguś K.H., Siuta J., Wasiak G., Madej M. 2012. Roślinność składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Wyd. Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania, Warszawa, ss. 134.
- Dyguś K.H., Wasiak G., Madej M. 2014. Dynamika zmian roślinności w doświadczeniu modelowym ze złożem odpadów paleniskowych energetyki węglowej. *Inżynieria Ekologiczna*, 40, 100–121.
- Gilewska M. 1999. Utilization of sewage sludge in the reclamation of post-mining soil and ash disposal sites. *Roczniki AR Poznań*, 310. Melioracje i Inżynieria Środowiska, 20/II, 273–281.
- Gilewska M., Przybyła Cz. 2011. Wykorzystanie osadów ściekowych w rekultywacji składowisk popiołowych. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. PAN*, 477, 217–222.
- Góral S. 2001. Roślinność zielna w ochronie i rekultywacji gruntów. *Inżynieria Ekologiczna*, 3, 161–178.
- Gutkowska A., Pawluśkiewicz B. 2006. Kształtowanie zadarnienia i składu florystycznego zbiorowisk trawiastych pod wpływem zabiegów pratotechnicznych na składowisku popiołu EC Siekierki. *Annales UMCS, Sec. E*, 61, 249–255.

- Klimont K. 2011. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na bezglebowym podłożu wapna poflotacyjnego i popiołów paleniskowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2, 165–176.
- Madej M. 2007. Zieleń miejska źródłem surowca do produkcji kompostu. Praca doktorska, WSEiZ, Warszawa, ss. 140.
- Madej M., Siuta J., Wasiak G. 2010. Zieleń Warszawy źródłem surowca do produkcji kompostu. Cz. II. Skład chemiczny masy roślinnej z różnych powierzchni zieleni warszawskiej. *Inżynieria Ekologiczna*, 23, 22–36.
- Majtkowski W., Głazewski M., Schmidt J. 1999. Roślinność trawiasta składowiska fosfogipsów w Wiślinie koło Gdańska. *Fol. Univ. Agric. Stein.* 197, *Agricultura*, 75, 207–210.
- Matuszkiewicz W. 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M., 2002. Flowering Plants and pteridophytes of Poland a checklist. Krytyczna lista roślin naczyniowych Polski. Wyd. W. Szafer Institute of Botany, PAS, Kraków.
- Nowak W. 2006. Rekultywacja biologiczna hałdy fosfogipsu w zakładach chemicznych „Wizów” S. A. Zesz. Nauk. Univ. Przyr. we Wrocławiu. Ser. Rolnictwo, nr 88, 545, 195–203.
- Opaliński R. 2007. Rekultywacyjna efektywność kompostu Complex na odpadach paleniskowych w doświadczeniu lizymetrycznym. Praca magisterska. WSEiZ, Warszawa.
- Polkowski M., Sułek S. 1999. Kompostowanie masy roślinnej ze strefy bezleśnej przy Zakładach Azotowych Puławy. Kompostowanie i użytkowanie kompostu. IOŚ, IUNG, PTIEkol. Warszawa, 71–74.
- Rostański A. 2006. Spontaniczne kształtowanie się pokrywy roślinnej na zwałowiskach po górnictwie węgla kamiennego na Górnym Śląsku. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Rutkowski L. 1998. Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski niżowej. Wyd. Naukowe PWN. Warszawa.
- Siuta J. 2005. Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowiskach odpadów przemysłowych. *Acta Agrophysica*, 5(2), 417–425.
- Siuta J. 2007. System uprawy i kompostowania roślin na składowisku odpadów posodowych w Janikowie z zastosowaniem osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna*, 19, 38–58 + 6 fot.
- Siuta J., Dyguś K. H. 2013. Plony i chemizm roślin wielowariantowego doświadczenia na modelowym złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej. *Inżynieria Ekologiczna*, 35, 7–31.
- Siuta J., Wasiak G., Madej M. 2008. Rekultywacja efektywności kompostów i osadów ściekowych na złożu odpadów paleniskowych w doświadczeniu modelowym. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 34, 145–172 + 26 fot.
- Westhoff V., van der Maarel E. 1978. The Braun-Blanquet approach. In: *Classification of plant communities* (ed. R.H. Whittaker), Junk, The Hague, 287–297.
- Zarzycki K., Trzcńska-Tacik H., Różański W., Szeląg Z., Wołek J., Korzeniak U. 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. W. Szafer Institute of Botany, PAS, Kraków.

Rola roślinności spontanicznej i wspomaganej w rekultywacji nieużytków przemysłowych – szlamy posodowe

Jadwiga Sienkiewicz¹, Hendryk Dyguś²

1. Wprowadzenie

W literaturze spotyka się nieliczne prace oparte o doświadczenia z rekultywacji tak dużych obiektów, jak składowiska Janikowskich Zakładów Sodowych. Składowiska (stawy) szlamów posodowych należą do najbardziej uciążliwych dla środowiska oraz bardzo trudnych do roślinnego zagospodarowania ze względu na dużą alkaliczność i koncentrację soli, przede wszystkim chlorków wapniowych („białe morze”). Przedrekultywacyjny stan roślinności spontanicznej oraz rezultaty pilotowo-wdrożeniowej osadowej rekultywacji gruntu składowiska opisano i zilustrowano w 2001 r. [Siuta i Sienkiewicz 2001, Siuta 2007, Dyguś i in. 2012]. Szatę roślinną na zrehabilitowanym terenie składowiska zbadano i scharakteryzowano po 13 i 17 latach od rozpoczęcia rekultywacji złóż osadowych wapna posodowego przy Zakładach Janikosoda S.A. Inwentaryzacje fitosocjologiczne przeprowadzono w sezonie wegetacyjnym. Przeanalizowano układy roślinne, które powstały w wyniku sukcesji spontanicznej, częściowo zmodyfikowanej w procesie rekultywacji. Układy te odzwierciedlają różny stopień zaawansowania rozwoju zbiorowisk roślinnych (od kilkugatunkowych agregacji do trwałych zbiorowisk murawowych). Utworzona głównie z gatunków rodzimych roślinność zajmuje i przekształca nowo powstające siedliska, tak, więc stanowi typową antropogeniczną roślinność synantropijną [Faliński 1969]. Siedliska tworzyły się początkowo (przed rekultywacją) w drodze spontanicznej sukcesji pierwotnej na szlamach wapna posodowego. Wskutek zabiegów rekultywacyjnych, procesy sukcesji pierwotnej zostały zmodyfikowane, i ukierunkowane w zależności od właściwości podłoża powstałych w wyniku zróżnicowanej techniki rekultywacji. Trwała pokrywa roślinna zmniejszała pylenie i poprawiała walory krajobrazowe w okolicy Zakładów [Siuta 2007, Siuta i Jońca 1997, Siuta 1997, Siuta i Dyguś 2013].

¹ Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Krucza 5/11, 00-548 Warszawa

² Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Olszewska 12, 00-792 Warszawa

Celem pracy było określenie skuteczności sukcesji spontanicznej w zasiedlaniu rekultywowanych podłoży przez roślinność, a także określenie sposobu skupiania się gatunków w zbiorowiska i ich segregacja w czasie i przestrzeni. Ponadto, istotną była ocena roli grup funkcjonalnych gatunków (np. grupy gatunków inicjalnych) w rozwoju lokalnej szaty roślinnej, a także znaczenie gatunków inwazyjnych w sukcesji.

2. Obiekt badań i rekultywacja

Fabrykę sody kalcynowanej w Janikowie uruchomiono w październiku 1957 r., jako największą fabrykę tej sody w Polsce. Obok sody, produkuje się tam takie wyroby, jak: sól spożywcza, sól warzona, sól medyczna, peklosól, wapno nawozowe, dwutlenek węgla, woda ciężka i kreda kosmetyczna. Toksyczne dla roślin, alkaliczne i zasolone odpady (szlamy) poprodukcyjne składowane są hydraulicznie na przyległych do Zakładów terenach, w stawach osadowych wznoszących się do wysokości około 16 m nad powierzchnią terenu. Szlamy, głównie chlorki wapnia, te mają silnie alkaliczny odczyn, w latach 1995/96, przed rozpoczęciem rekultywacji pH w H₂O kształtowało się w zakresie 8–10,5. Przed rekultywacją, szlamy osadowe stanowiły zagrożenie dla środowiska z uwagi na infiltrację składników do wód gruntowych oraz silne zapylenie wskutek erozji wietrznej powierzchni złoża. Rekultywacja techniczna terenu składowiska polegała na wyrównaniu jego powierzchni poprzez zlikwidowanie grobli dzielących stawy i zapełnienie lokalnych zapadlisk w złożu. Prace te rozpoczęto pod koniec lat 90. XX wieku. Rekultywację biologiczną przeprowadzono w oparciu o zabiegi agrotechniczne, w tym zastosowano osady ściekowe oraz popioły z elektrowni. Na alkaliczne i słone podłoża wapna osadowego naniesiono kilkucentymetrową warstwę osadów z miejskich oczyszczalni ścieków. Na części rekultywowanych powierzchni stawów osadowych wprowadzono też popiół z lokalnej elektrowni [Siuta 2007, Siuta i Dyguś 2013]. Powierzchnie rekultywowane zostały obsiane mieszkanką nasion traw o następującym składzie: życica trwała *Lolium perenne* – 25%, kostrzewa trzcinowata *Festuca arundinacea* – 20%, kupkówka pospolita *Dactylis glomerata* – 20%, kostrzyca Brauna *Festulolium braunii* – 20% oraz życica wielokwiatowa *Lolium multiflorum* – 15%. Dosiewano też lucernę siewną *Medicago sativa* w celu poprawienia struktury i bilansu azotowego podłoża. W kolejnych latach, na zredukowanym składowisku dosiewano trawy, koszone roślinność dwa razy w roku i kompostowano biomase, którą następnie wprowadzano na powierzchnie składowiska.

3. Metody badań florystycznych i fitosocjologicznych

Inwentaryzacje fitosocjologiczne przeprowadzono na stawach ze złożem wapna posodowego (stawy 1–10 i 12) oraz na stawach dopełnionych popiołem (stawy 11, 13–17). Zdjęcia fitosocjologiczne (42) wykonywano na losowo wybranych po-

letkach o powierzchni 25 m², według metody Braun-Blanqueta [Braun-Blanquet 1964, Fukarek 1967]. Do oceny powierzchniowego udziału (pokrywania) gatunków w zdjęciach zastosowano skalę Braun-Blanqueta.

Strukturę florystyczno-fitosocjologiczną pokrywy roślinnej składowiska przedstawiono odpowiednio dla zbiorowisk powstałych na stawach z gruntem popiołowym i na gruncie wapiennym. Obliczono przeciętną liczbę, frekwencję, stopień stałości i średnie pokrycie gatunków w obu wyróżnionych zbiorowiskach. Natomiast tabelaryczne zestawienie zdjęć fitosocjologicznych zaprezentowano w innej publikacji [Dyguś i Sienkiewicz 2014]. Tabele fitosocjologiczne przeanalizowano w ujęciu: bogactwa gatunkowego i częstości występowania gatunków, udziału grup syntaksonomicznych w randze klasy (odpowiadających ogólnie tzw. grupom socjologiczno-ekologicznym) w budowie badanych zbiorowisk, udziału poszczególnych rodzin w badanej florze oraz udziału gatunków według przynależności geograficzno-historycznej gatunków.

Analizę geograficzno-historyczną flory przeprowadzono na podstawie prac Sudnik-Wójcikowskiej i Koźniewskiej [1988], Mirka i in. [2002] oraz Krawiecowej i Rostańskiego [1972].

Analiza fitosocjologiczna nie pozwala na zidentyfikowanie badanych zbiorowisk roślinnych w randze opisanych już zespołów, oparto się więc na podziale na wyższe jednostki syntaksonomiczne (związki, rzędy i klasy). Nomenklaturę fitosocjologiczną oraz podział syntaksonomiczny roślinności przyjęto za Matuszkiewiczem [2001], natomiast nazewnictwo roślin naczyniowych przyjęto według Mirka i in. [2002], a mchów za Ochyrą i in. [2003].

4. Wyniki badań

4.1. Struktura florystyczno-fitosocjologiczna roślinności

Po 17 latach od zapoczątkowania rekultywacji, składowisko pokrywa zwarta roślinność, na którą składają się przede wszystkim zbiorowiska murawowe i murawowo-ruderalne, a tylko na niewielkich fragmentach badanego obszaru, w miejscach składowania osadów ściekowych i kompostu, występują zgrupowania jednoročných roślin ruderalnych. Bogactwo gatunkowe szaty roślinnej można ocenić, jako znaczne, gdyż podczas inwentaryzacji stwierdzono tu ponad 100 gatunków roślin (104 gatunki roślin naczyniowych i 4 gatunki mchów), co wobec kilku gatunków pionierskich wkraczających spontanicznie na osady wapna posodowego przed 17 laty oznacza ponad 10-krotne zwiększenie bogactwa gatunkowego – bioróżnorodności mierzonej liczbą gatunków.

Na przeważającej części zrehabilitowanego składowiska obserwuje się mozaikowate układy zbiorowisk murawowych o fizjonomii łąki świeżej. Optycznie, są one lepiej wykształcone na złożu wapna posodowego niż na złożu popiołowym (fot. 1–3). Fitocenozy murawowe, wykazują miejscami charakter przejściowy do zbiorowisk zaroślowych, reprezentujących kolejne fazy sukcesji leśnej na ba-



Fot. 1. Roślinność zielna i drzewiasta na podłożu wapniowym



Fot. 2. Łany stulisza Loesela *Sisymbrium loeselii* na podłożu popiołowym
Na drugim planie kompostowanie biomasy



Fot. 3. Zbiorowisko murawowe o fizjonomii łąki świeżej

danym terenie. Wkraczanie roślinności drzewiastej obserwuje się głównie w lokalnych obniżeniach terenu; występują tam różnej wielkości skupienia krzewów i pionierskich gatunków drzew, takich jak: brzoza brodawkowata *Betula pendula*, topola biała *Populus alba*, osika *Populus tremula*, a ponadto krzewy: bez czarny *Sambucus nigra*, berberys zwyczajny *Berberis vulgaris* i, rzadziej, wierzba uszata *Salix aurita*. W takich zadrzewieniach, w stawie nr 2, zaobserwowano też rozwój roślinności nitrofilnej z rzędu *Convolvuletalia sepium*, z klasy *Artemisietea vulgaris*, tj. ze zbiorowisk na siedliskach przywodnych i ruderalnych. W tych płatach roślinności dominujący udział ma pokrzywa zwyczajna *Urtica dioica*, trzcinnik piaszkowy *Calamagrostis epigeios* i przytulia czepna *Galium aparine*, występuje tam także wyżpin jagodowy *Cucubalus baccifer*, sadziec konopiasty *Eupatorium cannabinum* i kozłek lekarski *Valeriana officinalis*. Występowanie tych gatunków wskazuje na zwiększoną lokalnie wilgotność siedliska w kępach zadrzewień.

W wyniku analizy florystyczno-fitosocjologicznej inwentaryzowanych płatów roślinności zidentyfikowano dwie główne funkcjonalne (socjologiczno-ekologiczne) grupy roślin, które reprezentują jednocześnie dwie syntaksonomiczne grupy gatunków: (1) gatunki rzędu *Sisymbrietalia* klasy *Stellarietea mediae* (gatunki zbiorowisk roślin jednorocznych i dwuletnich zasiedlające tereny ruderalne) oraz (2) gatunki rzędu *Arrhenatheretalia* klasy *Molinio-Arrhenathereteae* (gatunki zbiorowisk łąkowych) (tab. 1 i 2). Przyjęto, że podstawowym wyróżnikiem w identyfikacji zbiorowisk roślinnych są dominacja i proporcje udziałów gatunków należących do powyższych grup, przy czym wzięto pod uwagę głównie udziały gatunków spontanicznych. Przy identyfikacji zbiorowisk uwzględniono także zróżnicowane właściwości gruntów, gdyż wprowadzenie popiołu na podłoże wapniowe radykalnie zmieniło przebieg sukcesji spontanicznej, pojawiły się liczne gatunki ruderalne i powstały mozaikowate układy roślinne z agregacjami gatunków nitrofilnych. Na podłożu wapniowym natomiast, sukcesja prowadziła do rozwoju zadarnienia i powstania zbiorowiska o charakterze łąkowym. Dlatego też w wyniku inwentaryzacji florystyczno-fitosocjologicznej wyróżniono dwa zbiorowiska: (1) ruderalno-murawowe stulisza Loesela i bylicy pospolitej: *Sisymbrium loeselii* – *Artemisia vulgaris* na złożu z nadkładem popiołu (tab. 1) oraz (2) zbiorowisko darniowo-łąkowe wiechliny łąkowej i krwawnika pospolitego: *Poa pratensis* – *Achillea millefolium* na złożu wapniowym (tab. 2).

4.2. Roślinność ruderalno-murawowa na stawach z popiołem, zbiorowisko stulisza Loesela i bylicy pospolitej *Sisymbrium loeselii* – *Artemisia vulgaris*

Fizjonomię mozaikowatych płatów tego zbiorowiska determinują gatunki jednoroczne związane z siedliskami ruderalnymi z klas: *Stellarietea mediae* i *Artemisietea vulgaris* oraz gatunki traw, choć te ostatnie mają względnie mniejszy udział w budowie płatów roślinnych (tab. 1). Fizjonomicznie, udział gatunków łąkowych z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* oraz gatunków traworoślowych z trzcinnikiem piaszkowym jest tu mało widoczny w porównaniu ze zbiorowiskiem

łąkowym wiechliny łąkowej i krwawnika *Poa pratensis* – *Achillea millefolium* (tab. 3). Udział gatunków należących do pozostałych wyróżnionych grup syntaksonomicznych w budowie płatów zbiorowiska jest niewielki. Na stawach osadowych dopełnianych popiołem stwierdzono łącznie 65 gatunków roślin naczyniowych (tab. 1). Notowano od 9 do 28 gatunków, przy przeciętnej liczbie 18 gatunków w zdjęciu. W części badanych płatów stwierdzono rozluźnione zwarcie darni i pozbawione roślin podłoże, w części płatów występują agregacje roślin nitrofilnych, głównie komosy białej *Chenopodium album* i bylicy pospolitej *Artemisia vulgaris* (fot. 4) z tego względu przyjęto, że w procesie utrwalania pokrywy roślinnej, omawiane zbiorowisko reprezentuje wcześniejszą fazę sukcesji, niż zbiorowiska murawowe o charakterze łąki świeżej, które powstały na podłożu bez popiołu. Pod względem bogactwa gatunkowego, zagęszczenia i frekwencji, największy udział w tych zbiorowiskach mają gatunki typowe dla antropogenicznych nitrofilnych zbiorowisk segetalnych z klasy *Stellarietea mediae*. W ramach tej klasy notowano 24 gatunki z dominującym udziałem roślin jedno- i dwuletnich (rząd *Sisymbrietalia*, związek *Sisymbrium officinalis*), jako forpocztę dla dalszych stadiów sukcesji nitrofilnych roślin wieloletnich (bylin), głównie ruderalnych (klasa *Artemisietea vulgaris*). Na uwagę zasługuje miejscami łąkowe występowanie, z dość dużym pokrywaniem i stałością (V^{+3}) stulisza Loesela (fot. 2). Jest to gatunek typowy dla suchych wysypisk żwiru i gruzu, a także kolejowych nasypów i torowisk. W badanych płatach gatunek ten występuje z ilościowością w stopniu: 2–4 w skali Braun-Blanqueta, tj. do 75% w pokrywie roślinnej (tab. 1). Duży udział mają także gatunki wchodzące w skład zbiorowisk chwastów upraw okopowych i ogrodowych (rząd *Polygono-Chenopodietalia*). Panującą formą życiową w tym zbiorowisku są letnio-jesienne terofity, w tym: komosa biała *Chenopodium album*, bylica pospolita *Artemisia vulgaris* (fot. 4), konyza kanadyjska *Conyza canadensis*, stokłosa płonna *Bromus sterilis*, szarłat szorstki *Amaranthus retroflexus*, życica wielokwiatowa *Lolium multiflorum* i maruna nadmorska bezwonna *Matricaria maritima* ssp. *inodora* (tab. 1). Spośród gatunków rzadkich należy wymienić wrzosowca cienkoskrzydłowego *Corispermum leptopterum* wyróżniającego się miotlasto rozgałęzionym i czerwono zabarwionym pędem. Jest to gatunek charakterystyczny dla zespołu roślinności ruderalnej *Corispermum-Brometum tectorum* z rzędu *Sisymbrietalia* zasiedlającego niestabilne podłoże w pierwszych fazach kolonizowania terenów (Matuszkiewicz 2001, Rekowska i Nowakowski 2011).

Występuje tu 19 gatunków z klasy *Molinio-Arrhenatheretea*, w tym 13 gatunków traw, przy czym największe udziały mają trzy gatunki: życica trwała *Lolium perenne*, kupkówka pospolita *Dactylis glomerata* i kostrzyca *Festulolium braunii*. Są to gatunki dosiewane, stąd mające przewagę konkurencyjną, jako rośliny protegowane gospodarczo, stąd osiągają one większe stopnie pokrycia powierzchni (do 50%) i występują z najwyższą stałością (V^{+1-2-3}). Spośród nielicznych roślin dwuliściennych, z niewielkim pokryciem, ale z wysoką stałością występują: krwawnik pospolity *Achillea millefolium* i marchew zwyczajna *Daucus carota* (fot. 5).

Tabela 1. Zbiorowisko stulisza Loesela i bylicy pospolitej *Sisymbrium loeselii*-*Artemisia vulgaris* na złożu popiołowym

Średnie pokrycie warstwy drzew w %	<i>a</i>	-
Średnie pokrycie warstwy krzewów w %	<i>b</i>	-
Średnie pokrycie warstwy zielnej w %	<i>c</i>	95
Średnie pokrycie warstwy mchów w %	<i>d</i>	-
Liczba zdjęć		17
Średnia liczba gatunków w zdjęciu		18,8
Grupy syntaksonomiczne z gatunkami	F	S ^P
Cl.: <i>Stellarietea mediae</i> , O.: <i>Sisymbrietalia</i> , <i>Polygono-Chenopodietalia</i>		
<i>Sisymbrium loeselii</i>	17	V ⁺⁴
<i>Chenopodium album</i>	15	V ⁺⁴
<i>Amaranthus retroflexus</i>	13	IV ⁺²
<i>Conyza canadensis</i>	7	III ⁺²
<i>Matricaria maritima</i> ssp. <i>inodora</i>	7	III ⁺²
<i>Lactuca serriola</i>	5	II ⁺
<i>Polygonum aviculare</i> var. <i>heterophyllum</i>	5	II ⁺
<i>Stellaria media</i>	5	II ⁺
<i>Bromus sterilis</i>	4	II ¹⁻²
<i>Lolium multiflorum</i>	4	II ⁺²
<i>Aethusa cynapium</i>	3	I ⁺
<i>Chenopodium polyspermum</i>	2	I ⁺
<i>Myosotis arvensis</i>	2	I ⁺
<i>Corispermum leptopterum</i>	2	I ⁺
<i>Diploaxis muralis</i>	2	I ⁺
<i>Veronica hederifolia</i>	2	I ⁺
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	2	I ⁺
Cl.: <i>Molinio-Arrhenatheretea</i> , O.: <i>Arrhenatheretalia</i> , <i>Molinietalia</i> , <i>Plantaginietalia majoris</i>		
<i>Dactylis glomerata</i>	16	V ⁺²
<i>Taraxacum officinale</i>	14	V ⁺¹
<i>Poa pratensis</i>	14	V ⁺³
<i>Lolium perenne</i>	12	IV ⁺³
<i>Festulolium braunii</i>	10	III ⁺²
<i>Achillea millefolium</i>	10	III ⁺²
<i>Daucus carota</i>	6	II ⁺
<i>Poa trivialis</i>	6	II ⁺
<i>Festuca pratensis</i>	4	II ⁺²
<i>Festuca arundinacea</i>	3	I ¹
<i>Arrhenatherum elatius</i>	2	I ⁺
<i>Poa palustris</i> var. <i>xerotica</i>	2	I ⁺
Cl.: <i>Artemisietea vulgaris</i> , Sub. Cl.: <i>Artemisienea vulgaris</i> , O.: <i>Onopordetalia acanthi</i> , All.: <i>Onopordion acanthii</i>		
<i>Artemisia vulgaris</i>	17	V ⁺³
<i>Medicago sativa</i>	9	III ⁺¹
<i>Melandrium album</i>	9	III ⁺
<i>Carduus nutans</i>	9	III ⁺¹
<i>Linaria vulgaris</i>	6	II ⁺
<i>Cirsium arvense</i>	6	II ⁺
<i>Urtica dioica</i>	5	II ⁺¹
<i>Oenothera biennis</i>	4	II ⁺

c.d. Tabeli 1.

Cl.: <i>Epilobietea angustifolii</i> , O.: <i>Atropetalia</i> , All.: <i>Epilobion angustifolii</i> , Ass.: <i>Calamagrostietum epigeji</i>		
<i>Calamagrostis epigejos</i>	4	II ⁺²
<i>Verbascum nigrum</i>	1	I ¹
Cl.: <i>Festuco-Brometea</i>		
<i>Bromus erectus</i>	7	III ⁺²
<i>Bromus inermis</i>	3	I ⁺²
<i>Lavatera thuringiaca</i>	2	I ⁺
Cl.: <i>Agropyretea intermedio-repentis</i>		
<i>Poa angustifolia</i>	6	II ⁺²
<i>Elymus repens</i>	6	II ⁺²
<i>Poa compressa</i>	6	II ⁺
<i>Cerastium arvense</i>	2	I ⁺

Objaśnienia: F – frekwencja, S^p – stopień stałości i średnie pokrycie gatunku.
Pominięto 20 gatunków z najniższą frekwencją, stopniem stałości i pokryciem.



Fot. 4. Agregacje roślin nitrofilnych, głównie komosy białej *Chenopodium album* i bylicy pospolitej *Artemisia vulgaris*



Fot. 5. Zbiorowisko łąkowe – aspekt z marchwią *Daucus carota*

Zanotowano 13 gatunków nitrofilnych bylin siedlisk ruderalnych z klasy *Artemisietea vulgaris*. Dominuje tu bylica pospolita *Artemisia vulgaris*, występująca zazwyczaj w agregacjach, dochodzących miejscami do 50% pokrywania powierzchni zdjęcia i ze stałością V^{+3} . Pozostałe gatunki, np. bniec biały *Melandrium album*, łoboda błyszcząca *Atriplex nitens*, pokrzywa zwyczajna *Urtica dioica*, wiesiołek dwuletni *Oenothera biennis*, ostrożeń lancetowaty *Cirsium vulgare* i wrotycz pospolity *Tanacetum vulgare* występują sporadycznie.

4.3. Roślinność murawowa na podłożu wapniowym, zbiorowisko wiechliny łąkowej i krwawnika pospolitego *Poa pratensis* – *Achillea millefolium*

Roślinność na podłożu wapniowym ma charakter typowo łąkowy i jest bardziej urozmaicona niż zbiorowiska na gruncie popiołowym, zarówno pod względem bogactwa gatunkowego, jak i zróżnicowania aspektów roślinności w zależności od warunków troficzno-wilgotnościowych związanych z ukształtowaniem podłoża. Odnotowano tu 91 gatunków roślin naczyniowych i 4 gatunki mchów, a przeciętna liczba gatunków w zdjęciu wynosi 24, przy rozpiętości od 19 do 34 gatunków w zdjęciach. Na roślinność omawianego zbiorowiska składają się gatunki z sześciu grup syntaksonomicznych w randze klas (tab. 2). Dominującą rolę w budowie płatów łąkowych odgrywają gatunki z klasy *Molinio-Arrhenatheretea*. Na złożach wapniowych gatunki te dominują w tworzeniu pokrywy roślinnej, tak liczbowo (31 gatunków), jak i pod względem udziału powierzchniowego. Znaczny udział w budowie tego zbiorowiska ma trzcinnik piaszkowy, zajmując czasem ponad 50% powierzchni płatu. Trzcinnik piaszkowy występuje w płatach omawianego zbiorowiska z dużą stałością i ilościowością (IV^{+3}). Jako ekspansywny gatunek pionierski, który rozprzestrzenia się za pomocą rozłogów podziemnych i nadziemnych, tworzy on łany zwartej darni z domieszką innych gatunków traw oraz roślin dwuliściennych.

Stosunkowo mniejszy udział w budowie płatów tego zbiorowiska mają gatunki siedlisk ruderalnych (klas: *Artemisietea vulgaris*, *Artemisienea vulgaris*, *Onopordetalia acanthi*, *Onopordion acanthii*, *Artemisietalia*, *Glechometalia hederaceae*, *Convolvuletalia sepium*, *Galio-Urticenea*) i segetalnych (*Stellarietalia mediae*, *Sisymbrietalia*, *Polygono-Chenopodietalia*). Ponadto, niewielki udział mają gatunki zbiorowisk kserotermicznych z klasy *Festuco-Brometea* oraz kserotermiczno-ruderalnych (*Agropyretea intermedio-repentis*). Roślinność łąkową tworzą gatunki charakterystyczne dla: antropogenicznych darniowych zbiorowisk łąkowych i pastwiskowych (*Molinio-Arrhenatheretea*), użytków zielonych na świeżych glebach mineralnych (*Arrhenatheretalia elatioris*), użytków zielonych mezo- i eutroficznych (*Molinietalia caeruleae*), zbiorowisk dywanowych i wydepczykowych (*Plantaginietalia majoris*).

Najwyższą stałość i pokrywanie w tym zbiorowisku osiągają gatunki wieloletnie – trawy: wiechlina łąkowa *Poa pratensis* – V^{+4} , kupkówka pospolita *Dactylis glomerata* – V^{+3} , kostrzewa łąkowa *Festuca pratensis* – III^{+3} , kostrzewa trzcino-

Tabela 2. Zbiorowisko wiechliny łąkowej i krwawnika *Poa pratensis*-*Achillea millefolium* na złożu wapniowym

Średnie pokrycie warstwy drzew w %	<i>a</i>	-
Średnie pokrycie warstwy krzewów w %	<i>b</i>	5
Średnie pokrycie warstwy zielnej w %	<i>c</i>	95
Średnie pokrycie warstwy mchów w %	<i>d</i>	5
Liczba zdjęć		25
Średnia liczba gatunków w zdjęciu		22,6
Grupy syntaksonomiczne z gatunkami	F	S ^P
Cl.: <i>Molinio-Arrhenatheretea</i> , O.: <i>Arrhenatheretalia elatioris</i> , <i>Molinietalia</i> , <i>Plantaginietalia majoris</i>		
<i>Dactylis glomerata</i>	24	V ⁺³
<i>Poa pratensis</i>	23	V ⁺⁴
<i>Achillea millefolium</i>	19	IV ⁺²
<i>Taraxacum officinale</i>	19	IV ⁺²
<i>Daucus carota</i>	18	IV ⁺³
<i>Festulolium braunii</i>	18	IV ⁺²
<i>Festuca pratensis</i>	16	IV ⁺³
<i>Festuca arundinacea</i>	12	III ⁺³
<i>Poa trivialis</i>	11	III ⁺²
<i>Lolium perenne</i>	10	II ⁺¹
<i>Rumex crispus</i>	6	II ⁺
<i>Arrhenatherum elatius</i>	5	II ⁺
<i>Agrostis stolonifera</i>	4	I ⁺
<i>Trifolium repens</i>	4	I ⁺¹
<i>Trifolium pratense</i>	4	I ⁺
<i>Valeriana officinalis</i>	4	I ⁺
<i>Pastinaca sativa</i>	3	I ⁺¹
<i>Leontodon autumnalis</i>	3	I ⁺
<i>Galium mollugo</i>	2	I ⁺
<i>Avenula pubescens</i>	2	I ⁺
<i>Vicia cracca</i>	2	I ¹
<i>Inula britannica</i>	1	I ¹
Cl.: <i>Stellarietea mediae</i> , O.: <i>Sisymbrietalia</i> , <i>Polygono-Chenopodietalia</i>		
<i>Sisymbrium loeselii</i>	21	V ⁺¹
<i>Matricaria maritima</i> ssp. <i>inodora</i>	16	IV ⁺¹
<i>Lactuca serriola</i>	13	III ⁺¹
<i>Sonchus arvensis</i>	12	III ⁺¹
<i>Chenopodium album</i>	11	III ⁺²
<i>Polygonum aviculare</i> var. <i>heterophyllum</i>	10	II ⁺
<i>Amaranthus retroflexus</i>	8	II ⁺¹
<i>Conyza canadensis</i>	8	II ⁺
<i>Sonchus asper</i>	5	II ⁺
<i>Lolium multiflorum</i>	4	I ⁺³
<i>Arabidopsis thaliana</i>	4	I ⁺
<i>Solanum nigrum</i>	2	I ⁺
<i>Bromus sterilis</i>	2	I ¹⁻²
<i>Spergula arvensis</i>	2	I ⁺

c.d. Tabeli 2.

<i>Vicia tetrasperma</i>		2	I*
Cl.: <i>Artemisietea vulgaris</i> , Sub. Cl.: <i>Artemisienea vulgaris</i> , O.: <i>Onopordetalia acanthi</i> , All.: <i>Onopordion acanthii</i> , O.: <i>Artemisietalia</i> , <i>Glechometalia hederaceae</i> , <i>Convolvuletalia sepium</i> , Sub. Cl.: <i>Galio-Urticenea</i>			
<i>Cirsium arvense</i>		19	IV ⁺²
<i>Artemisia vulgaris</i>		18	IV ⁺²
<i>Medicago sativa</i>		15	III ⁺¹
<i>Carduus nutans</i>		14	III ⁺²
<i>Melandrium album</i>		13	III*
<i>Cirsium vulgare</i>		8	II ⁺¹
<i>Urtica dioica</i>		7	II ⁺²
<i>Galium aparine</i>		7	II ⁺¹
<i>Tanacetum vulgare</i>		3	I*
<i>Solidago gigantea</i>		3	I*
<i>Linaria vulgaris</i>		2	I*
<i>Oenothera biennis</i>		2	I*
<i>Echium vulgare</i>		2	I*
<i>Picris hieracioides</i>		2	I*
<i>Epilobium hirsutum</i>		2	I*
<i>Eupatorium cannabinum</i>		2	I*
Cl.: <i>Festuco-Brometea</i>			
<i>Achillea pannonica</i>		12	III ⁺¹
<i>Bromus erectus</i>		7	II*
<i>Galium verum</i>		4	I ⁺¹
<i>Euphorbia cyparissias</i>		4	I*
<i>Lavatera thuringiaca</i>		3	I*
Cl.: <i>Agropyretea intermedio-repentis</i>			
<i>Poa compressa</i>		11	III ⁺¹
<i>Poa angustifolia</i>		10	II ⁺²
<i>Elymus repens</i>		9	II ⁺²
<i>Cerastium arvense</i>		2	I*
<i>Convolvulus arvensis</i>		2	I*
Cl.: <i>Epilobietea angustifolii</i> , O.: <i>Atropetalia</i> , All.: <i>Sambuco-Salicion</i> , <i>Epilobion angustifolii</i> , Ass.: <i>Calamagrostietum epigeji</i>			
<i>Calamagrostis epigejos</i>		20	IV ⁺³
<i>Verbascum nigrum</i>		4	I*
<i>Populus tremula</i>	b/c	3	I ⁺³
<i>Betula pendula</i>	b/c	1	I ¹
<i>Sambucus nigra</i>	b/c	1	I ¹
Pozostałe gatunki:			
<i>Bryum caespitium</i>	d	3	I*
<i>Bryum argenteum</i>	d	2	I ⁺¹
<i>Festuca ovina</i>		2	I*
<i>Minuartia viscosa</i>		2	I*
<i>Populus alba</i>	b/c	1	I ²

Objaśnienia: F – frekwencja, S^p – stopień stałości i średnie pokrycie gatunku.

Pominięto 25 gatunków z najniższą frekwencją, stopniem stałości i pokryciem.

wata *Festuca arundinacea* – II⁺³ i kostrzyca Brauna *Festulolium braunii*, której stałość i pokrywanie oceniono na III⁺². Spośród pozostałych traw odnotowano jeszcze wiechlinę zwyczajną *Poa trivialis* i życicę trwałą *Lolium perenne*, ale z nieco mniejszym udziałem (II⁺¹⁻²). Należy podkreślić, że duży wpływ na fizjonomię zbiorowisk łąkowych wywierają gatunki roślin dwuliściennych dwu- i wieloletnich bylin (spontanicznego pochodzenia), m. in. marchew zwyczajna *Daucus carota* (fot. 6) i krwawnik pospolity *Achillea millefolium*.



Fot. 6. Skupienie omanu łąkowego *Inula britannica* wśród roślinności łąkowej



Fot. 7. Przytulia pospolita *Galium mollugo* wśród roślinności łąkowej składowiska

W aspekcie letnim, białe kwiatostany tych roślin, występujących w płatach ze stosunkowo dużym pokrywaniem, składają się na specyficzną barwną mozaikę tego zbiorowiska. Ponadto, mozaikę tę ożywiają różnobarwne skupienia gatunków bylin, np. omanu łąkowego *Inula britannica* (fot. 6) przytulii pospolitej *Galium mollugo* (fot. 7) i wyki ptasiej *Vicia cracca* (fot. 8). Należy podkreślić występowanie z wysoką stałością, aczkolwiek z niewielkim pokrywaniem (IV^{+2}), mniszka pospolitego *Taraxacum officinale*. Gatunek ten jest typowy dla siedlisk łąkowych żyznych, na mineralnej i świeżej glebie. Obecność powyżej wymienionych gatunków świadczy o znacznym stopniu zaawansowania procesów tworzenia się darni łąkowej na tych podłożach. Omawiane zbiorowisko wyraźnie nawiązuje składem gatunkowym do zbiorowisk użytkowanych intensywnie łąk świeżych ze związku *Arrhenatherion elatioris*. Na badanym obszarze, zbiorowisko wiechliny łąkowej i krwawnika pospolitego *Poa pratensis* – *Achillea millefolium* reprezentuje etap roślinnej sukcesji bardziej zaawansowanej niż zbiorowisko ruderalno-murawowe na podłożach z dodatkiem popiołów paleniskowych.

Jak wspomniano powyżej, wśród roślinności łąkowej obserwowano kępy i remizy drzew i krzewów, a także skupienia podrostów i siewek drzew z udziałem topoli osiki *Populus tremula*, topoli białej *Populus alba* (fot. 9, 10), brzozy brodawkowatej *Betula pendula*, bzu czarnego *Sambucus nigra*, berberysu pospolitego *Berberis vulgaris* i wierzby szarej *Salix cinerea*, a miejscami klonu jesionolistnego *Acer negundo*. Obecność gatunków drzewiastych świadczy o postępach sukcesji w tych lokalizacjach, w których warunki mikroreliefu na składowisku oraz właściwości fizyko-chemiczne podłoża pozwalają na utrzymywanie się roślin wieloletnich, o rozległych systemach korzeniowych.

W omawianych płatach fitocenozy łąkowych obecna była także grupa gatunków jednorocznych związanych z siedliskami ruderalnymi z klasy *Stellarietea mediae*. Zanotowano tam 18 gatunków jednorocznych i dwuletnich chwastów upraw okopowych (*Polygono-Chenopodietalia*, *Sisymbrietalia*). Na badanych powierzchniach z najwyższą stałością i znacznym pokrywaniem ($III-V^{+4}$) występowały: stulisz Loesela *Sisymbrium loeselii*, komosa biała *Chenopodium album*, maruna nadmorska bezwonna *Matricaria maritima* subsp. *inodora*, szarłat szorstki *Amaranthus retroflexus* i sałata kompasowa *Lactuca serriola*. Udział pozostałych gatunków w tym zbiorowisku był sporadyczny (tab. 2). z reguły rośliny te w dalszych stadiach sukcesji opuszczają swoje tereny ustępując miejsca roślinności bylin siedlisk ruderalnych (*Artemisietea vulgaris*). Na złożu wapniowym stwierdzono 20 gatunków roślin z tej grupy, w tym głównie wysokie, światłożądne byliny ruderalne odporne na suszę (rząd *Onopordetalia*), np. oset zwisty *Carduus nutans*, bylica piołun *Artemisia absinthium*, nostrzyk biały *Melilotus alba*, wiesiołek dwuletni *Oenothera biennis*, a ponadto, wybitnie nitrofilne, umiarkowanie światłożądne rośliny ruderalne, występujące na świeżych i zasobniejszych w próchnicę glebach (*Artemisietalia*), m.in.: przytulia czepna *Galium aparine*, pokrzywa zwyczajna *Urtica dioica* i łopian większy *Arctium lappa*. Wśród roślin tej grupy cztery gatunki odnotowano z dość wysoką stałością występowania, chociaż z umiarkowa-



Fot. 8. Łan wyki ptasiej *Vicia cracca* w zbiorowisku łąkowym



Fot. 9. Kępy drzew i krzewów z podrostem osiki *Populus tremula* i topoli białej *Populus alba*



Fot. 10. Siewki i podrost topoli osiki *Populus tremula* wśród muraw

nym pokrywaniem w zakresie III–IV⁺¹⁻². Są to: bylica pospolita *Artemisia vulgaris*, bniec biały *Melandrium album*, lucerna siewna *Medicago sativa*, ostrożeń polny *Cirsium arvense* i oset zwisły *Carduus nutans*. Udział większości gatunków tej grupy był niewielki, występowały one rzadko i z niską frekwencją (tab. 2).

W mozaikowaty układ roślinności na składowisku wkomponowana była miejscami także roślinność kserotermiczna – ciepłolubnych i wapieniolubnych muraw *Festuco-Brometea*. Spośród stwierdzonych ośmiu gatunków, dwa występowały dość często: stokłosa prosta *Bromus erectus* i krwawnik pannoński *Achillea pannonica*. Znalezione tam też pięć gatunków roślin z grupy semiruderalnej roślinności kserotermicznej (*Agropyreteae intermedio-repentis*). Są to rośliny kłączowe i rozłogowe z dominującym udziałem traw: perzu właściwego *Elymus repens*, wiechliny wąskolistnej *Poa angustifolia* i wiechliny spłaszczonej *Poa compressa* (tab. 2). Rośliny te zajmują na ogół siedliska suche i w danych warunkach najcieplejsze na podłożu zasobnym w związki mineralne, o odczynie obojętnym lub lekko zasadowym. Zawartość azotu ma w tym przypadku mniejsze znaczenie niż w typowych zbiorowiskach ruderalnych.

4.4. Bioróżnorodność szaty roślinnej – udział grup systematycznych, grup syntaksonomicznych i form życiowych roślin, pochodzenie geograficzne gatunków

Na zrekwitywowanym terenie składowiska stwierdzono gatunki należące do 13 syntaksonomicznych grup roślinności w randze klasy z tym, że dominującą rolę odgrywały gatunki z trzech grup syntaksonomicznych (83% gatunków): *Stellarietea mediae* (zbiorowiska chwastów pól uprawnych i terenów ruderalnych), *Molinio-Arrhenatheretea* (zbiorowiska łąkowe) oraz *Artemisietea vulgaris* (nitrofilne zbiorowiska bylin na siedliskach ruderalnych) (tab. 3). Pozostałe gatunki (27%) przypadały na 10 pozostałych klas. Na powierzchniach na złożu popiołowym dominowały gatunki z klasy *Stellarietea mediae*, a na złożu wapniowym – gatunki z klasy *Molinio-Arrhenatheretea*. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z dominacją roślin jednorocznych i dwuletnich, które stanowią początkową fazę zasiedlenia terenów ruderalnych; przypadek drugi świadczy o procesie utrwalania i zadarniania pokrywy roślinnej (tab. 3).

Florę zrekwitywowanego terenu reprezentowało 31 taksonów w randze rodzin (tab. 4), przy czym dwie rodziny, tj. *Poaceae* (trawy) i *Asteraceae* (złożone) skupiają prawie 50% całej flory. Największą liczbą gatunków odznaczały się trawy *Poaceae* – 23,1% i złożone *Asteraceae* – 20,4%, a mniej liczne były motylkowe *Fabaceae*, goździkowate *Caryophyllaceae*, krzyżowe *Brassicaceae*, komosowate *Chenopodiaceae*, baldaszkowate *Apiaceae* i szorstkolistne *Boraginaceae*. Pozostałe 23 rodziny reprezentowane były tylko przez pojedyncze gatunki. We florze zidentyfikowano także 4 gatunki mchów należących do dwóch rodzin (*Bryaceae* i *Brachytheciaceae*), których przedstawiciele należą do grupy roślin pionierskich.

Tabela 3. Udział grup syntaksonomicznych w randze klasy

Grupa syntaksonomiczna (klasa)	Całkowita flora		Złoża dopełniane popiołem		Złoża bez popiołu	
	liczba	%	liczba	%	liczba	%
<i>Stellarietea mediae</i>	32	31,1	31	40,8	23	25,0
<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>	29	28,2	18	23,7	28	30,4
<i>Artemisietea vulgaris</i>	24	23,3	16	21,0	23	25,0
<i>Festuco-Brometea</i>	9	8,7	6	7,9	9	9,8
Pozostałe grupy (klasy)	9	8,7	5	6,6	9	9,8

Tabela 4. Udział rodzin we florze na składowisku odpadów posodowych

Rodziny		Całkowita flora na składowisku		Złoża dopełniane popiołem		Złoża bez popiołu	
		liczba	%	liczba	%	liczba	%
<i>Poaceae</i> – trawy		25	23,1	22	35,5	23	23,7
<i>Asteraceae</i> – złożone		22	20,4	11	17,7	22	22,7
<i>Fabaceae</i> – motylkowate		7	6,5	2	3,2	7	7,2
<i>Caryophyllaceae</i> – goździkowate		5	4,6	3	4,8	5	5,1
<i>Brassicaceae</i> – krzyżowe		4	3,7	4	6,5	3	3,1
<i>Chenopodiaceae</i> – komosowate		4	3,7	4	6,5	2	2,1
<i>Apiaceae</i> – baldaszkowate		4	3,7	2	3,2	3	3,1
<i>Boraginaceae</i> – szorstkoliste		4	3,7	3	4,8	3	3,1
<i>Polygonaceae</i> – rdestowate		3	2,8	3	4,8	3	3,1
<i>Scrophulariaceae</i> – trędownikowate		3	2,8	3	4,8	3	3,1
<i>Rubiaceae</i> – marzanowate		3	2,8	3	4,8	3	3,1
Pozostałe 20 rodzin z udziałem 1–2 gatunków	rośliny naczyniowe	20	18,5	2	3,2	16	16,5
	mchy	4	3,7	–	–	4	4,1
Razem		108	100,0	62	100,0	97	100,0

Jak wynika z analizy geograficzno-historycznej badanej flory, w jej składzie dominują apofity, czyli gatunki synantropijne rodzimego pochodzenia (74,8%), trwale zadomowione na siedliskach antropogenicznych (tab. 5). Do tej grupy należą m.in. perz właściwy *Elymus repens*, komosa biała (lebioda) *Chenopodium album*, łopian większy *Arctium lappa*, gwiazdnica pospolita *Stellaria media*, trzcinik piaszkowy *Calamagrostis epigejos*, przytulia czepna *Galium aparine* i podbiał pospolity *Tussilago farfara*, który nie występował w badanych płatach muraw, lecz był często spotykany przy lokalnych drogach na składowisku. Pozostałe 25% przypadają na gatunki obcego pochodzenia (antropofity). Spośród nich większy udział miały archeofity (15,5%) aniżeli kenofity (9,7%). Przewagę apofitów na całej powierzchni zreultywowanej można przypisać dużemu udziałowi gatunków traw (w zdecydowanej większości rodzimych) i ich strategii hamowania rozwoju roślin dwuliściennych, spośród których wywodzi się najwięcej gatunków obcych.

Tabela 5. Analiza geograficzno-historyczna roślin

Grupy geograficzno-historyczne		Całkowita flora na składowisku		Złoże dopełniane popiołem		Złoże bez popiołu	
		liczba	%	liczba	%	liczba	%
Apofity		77	74,8	51	71,8	74	78,7
Antropofity	Archeofity	16	15,5	14	19,7	11	11,7
	Kenofity	10	9,7	6	8,5	9	9,6
Razem		103	100,0	71	100,0	94	100,0

5. Dyskusja wyników i podsumowanie

Wyniki badań fitosocjologicznych pozwalają na ocenę stanu zaawansowania lokalnej sukcesji zbiorowisk roślinnych oraz roli funkcjonalnych grup gatunków w rozwoju szaty roślinnej, a także na ocenę zmian lokalnej bioróżnorodności.

Jak wynika z wcześniejszych danych, przed rozpoczęciem rekultywacji na składowisku wapna posodowego obserwowano wkraczanie nielicznych gatunków pionier-skich, w tym halofilnych: solidród zielny *Salicornia europaea* i mannica odstająca *Puccinellia distans*, a także goryczel jastrzębcowaty *Picris hieracioides*, trzcinnik piaskowy *Calamagrostis epigeios*, podbiał pospolity *Tussilago farfara* i rezeda żółta *Reseda lutea* [Siuta 2007, Dyguś i in. 2012]. Na silnie zasolonym i alkalicznym podłożu gatunki te wykorzystywały różne nisze (spękania, szczeliny), w których gromadziła się woda umożliwiając roślinom wegetację [Siuta 2007, Dyguś i in. 2012]. Po 17 latach od rozpoczęcia prac rekultywacyjnych, lokalna flora znacznie zyskała na różnorodności, ponieważ podczas inwentaryzacji na składowisku znaleziono 108 gatunków roślin należących do 31 rodzin, przy czym 50% całej flory przypada na dwie rodziny *Poaceae* (trawy) i *Asteraceae* (złożone). Największą liczbą gatunków odznaczają się trawy *Poaceae* – 23,1%, a następnie złożone *Asteraceae* – 20,4%, podczas gdy pozostałe 29 rodzin ma tylko kilkuprocentowe udziały. Bogactwo flory traw jest zjawiskiem typowym dla pierwszych faz tworzenia się zbiorowisk roślinnych opanowujących nowe podłoża. Trawy jako grupa wykazują duże zdolności przystosowawcze do różnych warunków życia i mogą się osiedlać na wszystkich możliwych siedliskach [Linder 1987], a ponadto rozprzestrzeniają się wegetatywnie, co daje im przewagę w warunkach konkurencji międzygatunkowej, w kolejnych fazach sukcesji [Falińska 1997]. Przedstawiciele rodziny *Asteraceae* z kolei, stanowią jedną z najliczniejszych grup roślin na kuli ziemskiej i również wykazują szerokie przystosowania do warunków środowiska. Na swoistą nadreprezentację flory *Asteraceae* w roślinności składowiska odpadów po produkcji sody, w porównaniu z jej udziałem w ogólnej florze kraju, zwróciła wcześniej uwagę badając sukcesję na osadnikach Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay” [Trzcińska-Tacik 1966]. Tę nadreprezentację gatunków z rodziny złożonych wiąże autorka przede wszystkim z anemochorycznością powszechną wśród gatunków tej rodziny, co sprzyja szerokiemu rozprzestrzenianiu się diaspor.

Takie właściwości biologiczne roślin należących do *Poaceae* i *Asteraceae*, jak ich długowieczność, wiatrosiewność i zdolność do wegetatywnego rozmnażania się sprzyjają opanowywaniu nowych siedlisk. Trawy to w większości byliny, natomiast wśród złożonych są zrówno byliny, jak i gatunki dwuletnie, które mają konkurencyjną przewagę nad gatunkami jednorocznymi [Falińska 1997]. Obecność licznych wieloletnich gatunków jedno- i dwuliściennych świadczy o tym, że powstała na składowisku w Janikowie szata roślinna charakteryzuje się już znacznym stopniem trwałości.

Spontaniczne zazielenienie składowisk wapna posodowego w drodze sukcesji pierwotnej trwa wiele dziesięcioleci, o czym świadczą przykłady z Niemiec i Czech opisywane m.in. przez Urbańską i Urbańskiego [2012]. Na osadnikach (stawach) płynnych odpadów posodowych w byłych Zakładach „Solvay“, skąpa roślinność halofilna zaczęła wkraczać dopiero po 3–4 latach po odwodnieniu podłoża [Boroń i in. 2001, Krzak 2005]. Wkraczanie roślinności halofilnej uważane jest za pierwszy etap kolonizacji silnie zasolonych wapniowych podłoży. Rekultywacja składowiska po Zakładach „Solvay“ polegała na wprowadzeniu gleby na powierzchnię osadnika oraz nawożeniu i wysianiu traw, bez stosowania dalszych zabiegów gospodarczych. Inwentaryzacja fitosocjologiczna wykonana na tym terenie po 15 latach od zainicjowania rekultywacji wykazała, że pokrywa roślinna podłoża była nadal niepełna, a 70% zbadanych powierzchni obserwacyjnych nie miało pełnego pokrywania roślinności [Zajac i Zarzycki 2012]. Składowisko to porastała mozaikowata roślinność spontanicznego pochodzenia, przy czym wśród 133 znalezionych gatunków, 47 to rośliny łąkowe, z klasy *Molinio-Arrhenatheretea*, a 40 – ruderalne, z klas *Artemisietea*, *Stellarietea* i *Agropyretea*. Podobnie, na powierzchniach zrehabilitowanych w Janikowie, wśród 108 stwierdzonych gatunków, dominowały (83%) gatunki z trzech grup syntaksonomicznych: *Stellarietea mediae* (zbiorowiska chwastów pól uprawnych i terenów ruderalnych), *Molinio-Arrhenatheretea* (zbiorowiska łąkowe) oraz *Artemisietea vulgaris* (nitrofilne zbiorowiska bylin na siedliskach ruderalnych). Obecność zwiększonej reprezentacji powyższych grup gatunków w lokalnej florze jest więc zjawiskiem typowym dla sukcesji na podłożach antropogenicznych.

Wyniki badań Zajac i Zarzyckiego [2012] dostarczają informacji na temat skuteczności spontanicznego zarastania podłoża antropogenicznych i formowania się układów roślinności (fitocenoz). Stwierdzają oni m.in., że flora łąkowa na składowisku Zakładów „Solvay“ nie wykazuje tendencji do tworzenia się zbiorowisk, a raczej występuje w agregacjach z gatunkami ruderalnymi. Tymczasem, z naszych badań wynika, że na poddawanych zabiegom powierzchniach stawów osadowych w Janikowie utworzyły się zbiorowiska nawiązujące do fitocenoz łąk świeżych z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* oraz zbiorowiska murawowo-ruderalne. Jest to w dużej mierze związane z zastosowaną na tych powierzchniach agrotechniką. Coroczne koszenie runi i wprowadzanie kompostowanej biomasy, sprzyjało tworzeniu się zwartej darni łąkowej, a jednocześnie ułatwiało wkraczanie gatunków spontanicznych. W zbiorowisku wiechliny łąkowej i krwawnika pospolitego *Poa pratensis*-*Achillea millefolium* kombinacja gatunków reprezentatywnych lokal-

nie dla tego zbiorowiska składa się 9 spontanicznych gatunków łąkowych i murawowych, tj. *Poa pratensis*, *Achillea millefolium*, *Taraxacum officinale*, *Daucus carota*, *Festuca pratensis*, *Poa trivialis*, *Achillea pannonica*, *Poa compressa* i *Calamagrostis epigeios*, które występują z III stopniem stałości i wyższym. Płaty roślinności na zrehabilitowanym złożu popiołowym janikowskiego składowiska tworzą mniej stabilne zbiorowisko murawowo-ruderalne (zbiorowisko stulisza Loesela i bylicy pospolitej *Sisymbrium loeselii*-*Artemisia vulgaris*) z niewielkimi fragmentami typowo ruderalnych agregacji nitrofilnych roślin jednorocznych. Obecność licznej grupy gatunków ruderalnych, które wykazują duże zdolności przystosowawcze do różnych warunków wzrostu, wskazuje, że zbiorowisko powstające na podłożu popiołowym nawiązuje do asocjacji spotykanych w początkowych etapach kolonizacji terenów zaburzonych w efekcie działań gospodarczych [Matuszkiewicz 2001]. Rozrzut liczby gatunków w płatach tej roślinności świadczy o jej heterogeniczności i niestabilnym składzie gatunkowym.

Z powyższego wynika, że zbiorowisko łąkowe wiechliny i krwawnika *Poa pratensis*-*Achillea millefolium* na podłożu wapiennym przedstawia sobą bardziej zaawansowany etap roślinnej sukcesji niż zbiorowisko murawowo-ruderalne. Wśród muraw spotyka się kępy krzewów i drzew w płatach wykazujących charakter przejściowy do zbiorowisk zaroślowych, reprezentujących kolejne fazy sukcesji leśnej na badanym terenie. Skład gatunkowy zbiorowiska łąkowego niewiele odbiega od składu antropogenicznych darniowych zbiorowisk łąkowych z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* występujących na mezo- i eutroficznym siedliskach, opisywanych przez różnych autorów [Kucharski 1999, Kutyna i Nieczkowska 2009, Kutyna i in. 2010, Młynkowiak i Kutyna 2011]. Na przykład, płaty fitocenozy wiechliny łąkowej i krwawnika pospolitego z trzcinnikiem piaszkowym w Janikowie wykazują znaczne podobieństwo do płatów zespołu *Arrhenatheretum elatioris* facji z wiechliną łąkową *Poa pratensis* i kostrzewą łąkową *Festuca pratensis* opisywanych przez Kutynę i Nieczkowską [2009] z terenów miejskich w Szczecinie.

Doświadczenia zebrane w badaniach skuteczności sukcesji na rekultywowanych obszarach składowisk osadów po produkcji sody są bardzo istotne dla podejmowania i prowadzenia prac rekultywacyjnych na różnych podłożach, w tym skrajnie niekorzystnych dla rozwoju roślinności. Doświadczenia wynikające z takich badań mają też teoretyczny walor poznawczy – przyczyniają się do lepszego poznania przebiegu sukcesji na podłożach trudnych do kolonizacji roślinnej, szczególnie zaś do poznania sposobu skupiania się gatunków w zbiorowiska i roli poszczególnych grup funkcjonalnych gatunków w tym procesie.

Bibliografia

- Boroń K., Zając E., Klatka S. 2000. Rekultywacja terenu składowania odpadów KZS „Solvay” w Krakowie. Inżynieria Ekologiczna nr 1, 58–64.
- Braun-Blanquet J. 1964. Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde 3. Aufl. Springer, Vienna – New York, ss. 865.

- Dyguś K.H., Sienkiewicz J. 2014. Roślinność na składowisku odpadów posodowych w Janikowie po 13 latach rekultywacji. *Inżynieria Ekologiczna*, 36, 65–97.
- Dyguś K.H., Siuta J., Wasiak G., Madej M. 2012. Roślinność składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Monografia. Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Warszawa.
- Falińska K. 1997. Ekologia roślin. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa, 368–370.
- Faliński J.B. 1969. Neofity i neofityzm. Dyskusje fitosocjologiczne, *Ekol. Pol.* 15(4), 337–355.
- Fukarek F. 1967. Fitosocjologia. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- IUNG 1973. Projekt rekultywacji gruntu oraz urządzenia zieleni w Porcie Północnym.
- Krawiecowa A., Rostański K. 1972. Projekt usprawnienia klasyfikacji roślin synantropijnych. *Phytocoenosis*, 1(3), 217–222.
- Krzak I. 2005. Zagospodarowanie terenów poprzemysłowych Krakowskich Zakładów Sodowych „Solvay”. W: Szponar A., Horska–Schwarz S. (red.), *Problemy Ekologii Krajobrazu*, tom 17, Struktura przestrzenno–funkcjonalna krajobrazu, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, 283–287.
- Kucharski L., 1999. Szata roślinna łąk Polski Środkowej i jej zmiany w XX stuleciu. Wydaw. Uniw. Łódź., Łódź, ss. 165.
- Kutyna I., Nieczkowska M. 2009. Zbiorowiska seminaturalne z rzędu Arrhenatheretalia klasy Molinio-Arrhenatheretea występujące na terenie byłej Akademii Rolniczej w Szczecinie przy ulicach J. Słowackiego i Papieża Pawła VI. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin.* 2009, Agric., Aliment. Pisc., Zootech. 271(10), 87–96.
- Kutyna I., Czerwiński Z., Młynkowiak E. 2010. Zbiorowiska roślinne na obszarze zrehabilitowanego wyrobiska Szczecin-Żydowce. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech.* 281(16), 31–62.
- Linder H.P. 1987. The evolutionary history of the *Poales/Restionales* a hypothesis. *Kew Bulletin*, 42, 297–318.
- Matuszkiewicz W. 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wyd. 2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ss. 537.
- Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M., 2002. Flowering Plants and pteridophytes of Poland a checklist. Krytyczna lista roślin naczyniowych Polski. Wydawnictwo W. Szafer Institute of Botany, PAS, Kraków.
- Młynkowiak E., Kutyna I. 2011. Zróżnicowanie zbiorowisk łąkowych klasy *Molinio-Arrhenatheretea* w krajobrazie rolniczym zachodniej części Pojezierza Drawskiego. *Łąkarstwo w Polsce (Grassland Science in Poland)*, Poznań, 14, 85–103.
- Ochyra R., Żarnowiec J., Bednarek-Ochyra H. 2003. Censur catalogue of Polish mosses. Instytut Botaniki im. W. Szafera, PAN, Kraków.
- Rekowska M., Nowakowski S. 2011. *Corispermum leptopterum* (Asch.) Iljin (Chenopodiaceae) w Schodnie (Bory Tucholskie). *Acta Bot. Cassub.* 10, 147–151.
- Siuta J. 1997. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. II Konf. Naukowo-techniczna „Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych”. Puławy–Lublin–Jeziórko, s. 7.
- Siuta J. 2007. System uprawy i kompostowania roślin na składowisku odpadów posodowych w Janikowie z zastosowaniem osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna* 19, 38–58.

- Siuta J, Dyguś K.H. 2013. Plony i chemizm roślin wielowariantowego doświadczenia na modelowym złożu odpadów paleniskowych energetyki węglowej. *Inżynieria Ekologiczna*, 35, 7–31.
- Siuta J., Jońca M. 1997. Rekultywacyjne działanie osadu ściekowego na wapnie poflotacyjnym w Kopalni Siarki „Jeziórko”. *Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Puławy–Lublin–Jeziórko*, 38–45.
- Siuta J., Sienkiewicz R. 2001. Rekultywacja terenu składowania odpadów posodowych w Janikowie. *Inżynieria Ekologiczna*, 3, 43–59.
- Sudnik-Wójcikowska B., Koźniewska B. 1988. *Słownik z zakresu synantropizacji szaty roślinnej*. Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Trzcińska-Tacik H. 1966. Flora i roślinność zwałów Krakowskich Zakładów Sodowych. *Fragm. Flor. Geobot.* 12(3), 243–319.
- Urbańska J., Urbański K. 2012. Selected aspects of reclamation of soda waste landfill sites. *Geomatics and Environmental Engineering*, 6(4), 83–90.
- Zajac E., Zarzycki J. 2012. Revegetation of reclaimed soda waste dumps: effects of topsoil parameters. *J. Elem.* 17(3), 525–536.

Chemiczne i fizyczne właściwości złóż wapna posodowego w Janikowie warunkują wzrost oraz strukturę przestrzenną samosiewnej (spontanicznej) roślinności

Jan Siuta¹

W roku 2000 oznaczono zawartości głównych składników mineralnych i odczynu pH w 0–10 cm warstwie wszystkich stawów osadowych. Na szczególną uwagę zasługuje alkaliczny odczyn (powyżej pH 10) w stawach osadowych 4 i 10 (tab. 1). Zawartości wapnia mieściły się w przedziale 26,55% do 30,52% suchej masy. Znacznie większe rozpiętości stwierdzono w zawartości krzemionki (SiO_2) 0,02–9,01%, żelaza 1,13–5,4% oraz magnezu 1,4–6,8%. Znikome ilości stwierdzono sodu i potasu.

Odczyn we wszystkich stawach osadowych był alkaliczny i wynosił pH 7,89–10,6. Nie wyklucza to możliwości wkraczania, a nawet bujnego wzrostu roślin słonolubnych i alkalicznoodpornych, jeżeli rośliny miały dostęp znacznej ilości wody. Procentową zawartość chloru w suchej masie stawów osadowych 1–8 oznaczono w 1994 r. w próbkach pobranych z głębokości: 0–0,3 m, 0,9–1,2 m, 1,9–2,2 m, 2,9–3,3 m oraz 3,9–4,3 m (tab. 2). Ekstremalne zawartości chloru w warstwie 0–0,3 m (1,8–7,4%) zwiększają się do 6,9–13,4% w warstwie na głębokości 3,9–4,2 m. Średnie arytmetyczne zawartości chloru zwiększają się w miarę wzrostu głębokości złoża: 2,47–4,98% w warstwie 0–0,3 m; 4,9–7,38% w warstwie 0,9–1,2 m; 5,85–7,41% w warstwie 1,9–2,2 m; 5,4–10% w warstwie 2,9–3,2 m; 6,25–11,3% w warstwie 3,9–4,2 m.

Oczywiste jest, że proporcjonalnie do wzrostu głębokości złoża zwiększa się zasolenie i alkaliczność środowiska. Szczelinowość wapiennego złoża oraz lokalne obniżenia jego powierzchni tworzą warunki do odsalania i pomniejszania alkaliczności, a także dostarczania wody dla roślin (fot. 2–8, 12–14). Trzcinnik piaskowy (fot. 9) penetruje podpowierzchniowo do przyległej strefy bezroślinnej, jak na fot. 15 i 16.

¹ Honorowy Prezes Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej, Instytut Ochrony Środowiska – PIB, ul. Krucza 5/11, 05-548 Warszawa

Tabela 1. Zawartości głównych składników mineralnych oraz pH w wierzchniej warstwie (0–10 cm) depozytu w stawach osadowych w roku 2000

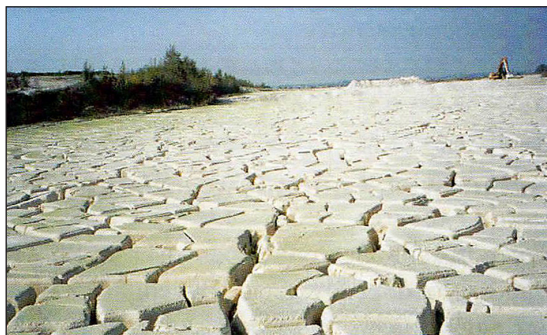
Staw osadowy	pH H ₂ O	Składniki w % s.m.						
		P	K	Ca	Mg	Na	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
1	9,27	0,016	0,009	29,81	5,13	0,28	2,71	2,03
2	9,70	0,016	0,004	30,52	5,69	0,29	1,28	0,76
3	8,46	0,043	0,050	30,21	2,08	0,13	5,40	8,66
4	10,46	0,041	0,005	28,80	2,57	0,23	4,86	4,91
5	8,36	0,048	0,007	27,49	2,75	0,09	5,67	3,84
6	8,35	0,046	0,034	30,11	2,26	0,26	4,13	6,94
7	8,20	0,048	0,011	28,00	2,57	0,64	4,82	6,10
8	8,63	0,043	0,025	26,58	1,83	0,99	4,18	6,81
9	8,26	0,043	0,002	30,52	2,01	0,10	4,93	7,29
10	10,60	0,040	0,011	28,50	1,40	0,31	4,98	9,01
11	7,84	0,042	0,069	29,40	1,71	0,62	5,00	6,97
12	8,08	0,033	0,013	27,90	1,64	0,78	3,78	4,68
13	9,79	0,013	0,004	30,41	6,84	0,31	1,13	0,02
14	8,55	0,038	0,024	26,58	1,65	1,08	3,68	0,91
15	8,32	0,047	0,014	29,85	2,66	0,08	5,26	8,30

Tabela 2. Procentowe zawartości chloru (Cl) w suchej masie wapna posodowego zdeponowanego w stawach osadowych, rok 1994*

Numer stawu	Głębokość pobranych próbek depozytu				
	0–0,3 m	0,9–1,2 m	1,9–2,2m	2,9–3,2 m	3,9–4,2 m
Ekstremalne zawartości Cl w suchej masie depozytu (%)					
1	1,90-3,69	2,93-5,27	3,39-5,38	3,88-6,41	3,69-5,81
2	0,39-3,00	0,98-3,00	1,19-4,83	2,59-5,10	2,84-5,70
3	0,74-3,16	2,01-4,19	2,87-4,50	3,80-5,03	3,66-6,07
4	1,26-2,51	2,54-4,83	1,14-4,51	1,27-4,23	1,54-4,46
5	0,63-2,63	1,03-3,21	1,15-3,93	1,08-4,07	2,94-5,85
6	0,38-2,39	0,59-2,88	0,66-4,01	1,04-4,86	1,39-4,86
7	0,50-4,00	3,50-8,00	3,30-13,00	7,10-12,70	1,20-18,40
8	0,40-2,20	1,90-7,30	5,10-12,90	8,50-18,00	4,40-18,20
Niecka 1	0,70-6,10	1,20-10,80	2,80-12,00	5,70-12,60	6,90-15,00
Średnie arytmetyczne zawartości Cl w suchej masie depozytu (%)					
1	2,74	3,96	4,75	5,01	4,85
2	1,49	2,30	2,78	4,25	3,85
3	2,01	2,96	3,85	4,58	3,85
4	2,06	3,40	3,20	3,35	3,06
5	1,29	1,92	2,63	2,67	3,54
6	1,30	1,82	2,55	3,27	3,21
7	1,47	5,45	7,15	9,62	11,08
8	0,93	3,97	9,61	13,46	15,10
Niecka 1	1,94	5,68	8,64	9,50	9,78

* Opracowano na podstawie badań laboratoryjnych zasolenia szlamów wapiennych Janikowskich Zakładów Sodowych w latach 1994 (stawy 1–8, niecka 1).

Gruntowe (złożowe) uwarunkowania występowania i struktury przestrzennej samosiewnej roślinności na składowisku odpadów posodowych [Siuta i in. 2013]



Fot. 1. Poligonalna struktura złoża odpadów w niecce nr 2B, wyłączonej z eksploatacji w 1995 roku



Fot. 2. Samosiewne rośliny w szczelinowych zagłębieniach złoża wapna w niecce nr 2B (jak fot. 1)



Fot. 3. Samosiewna roślinność w szczelinowym zagłębieniu bezroślinnego złoża



Fot. 4. Lokalne obniżenie powierzchni zasiedlone przez goryczki jastrzębcowate (*Pieris hieracioides*)



Fot. 5. Zaawansowana sukcesja samosiewnej roślinności niskiej



Fot. 6. Zaawansowana sukcesja samosiewnej roślinności niskiej i drzewiastej



Fot. 7. Płaty roślinności niskiej oraz dobrze wegetujące drzewa i krzewy



Fot. 8. Zwarta szata trzcinnika piaskowego (plan dalszy) oraz jej „ostrogi” wzdłuż szczelinowych zagłębień bezroślinnej powierzchni



Fot. 9. Strefowa struktura: drzew i krzewów, trzcinnika piaskowego i bezroślinnej powierzchni w stawie nr 8



Fot. 10. Ostańce drzew w stawie nr 8 dopelnionym płynnym wapnem posodowym



Fot. 11. Rośliny pionierskie w poszczelinowych obniżeniach bezroślinnej powierzchni stawu osadowego nr 8



Fot. 12. Roślinne zasiedlanie szczelinowego zagłębienia bezroślinnej powierzchni



Fot. 14. Ostrożeń lancetowaty (*Cirsium yulgare*) w przyskarpowym obniżeniu powierzchni niecki nr 1



Fot. 13. Podbiał pospolity (*Tussilago farfan*) w szczelinowym rozwarciu bezroślinnego gruntu



Fot. 15. Penetracja trzcinnika piaskowego do bezroślinnej powierzchni



Fot. 16. System korzeniowy trzcinnika piaskowego penetrujący do bezroślinnej powierzchni (jak na fot. 15)

Transformacja ekosystemu łąkowego (koszonego) do antropogenicznego użytku ekologicznego przyrody chronionej na zrekultywowanym gruncie składowiska odpadów Janikosody

Jan Siuta¹

Transformacja jest niezbędna ponieważ dotychczasowy sposób postępowania z obfitymi zbiorami masy roślinnej był sprzeczny z wymogami ekologicznymi i gospodarczymi.

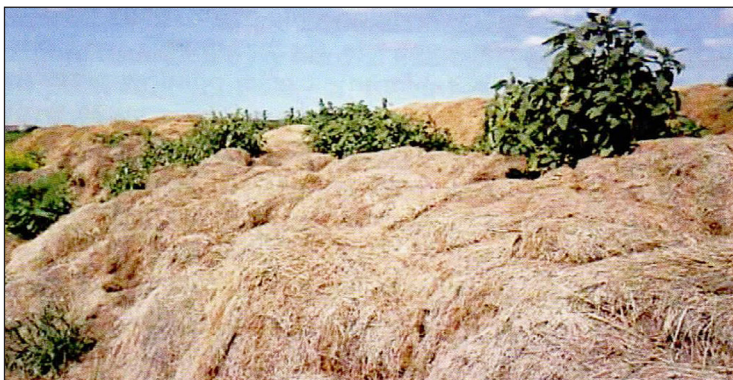


Fot. 1. Pryzma świeżoskoshzonej masy roślinnej



Fot. 2. Pryzma masy roślinnej ze zbioru w roku 2012 porośnięta samosiemnie

¹ Honorowy Prezes Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej, Instytut Ochrony Środowiska – PIB, ul. Krucza 5/11, 05-548 Warszawa



Fot. 3. Pryzma masy roślinnej ze zbioru w roku 2012 z gigantycznym szarłatem szorstkim

W biologicznej rekultywacji składowiskowego gruntu stosowano komunalny osad ściekowy, zagęszczony mechanicznie do mazistej konsystencji



Fot. 4. Niemal zupełnie bezroślinna powierzchnia (bez osadu ściekowego) kontrastuje z bujną roślinnością na terenie użyzniejszym osadem



Fot. 5. Panorama roślinności niskiej i drzewiastej na tle Janikosody



Fig. 6. Bezkraina przestrzeń bujnej roślinności łąkowej z udziałem drzew



Fot. 7. Bujna roślinność niska nie pomniejsza kondycji drzew



Fot. 8. Roślinność łąkowa (koszona) oraz drzewa samosiewne w oddali

Koszenie i kompostowanie roślin z wapnem posodowym na składowisku w Janikowie



Fot. 9. Koszenie i rozdrabnianie roślin



Fot. 10. Pryzmowanie skoszonej masy roślinnej



Fot. 11. Pryzmy dojrzałego kompostu (wapno-humu)

Naturalna sukcesja roślin



Fot. 12. Szarląt szorstki



Fot. 13. Wrzosowiec cienkoskrzydłowy



Fot. 14. Życica trwała



Fot. 15. Przytulia pospolita wśród muraw na podłożu wapniowym



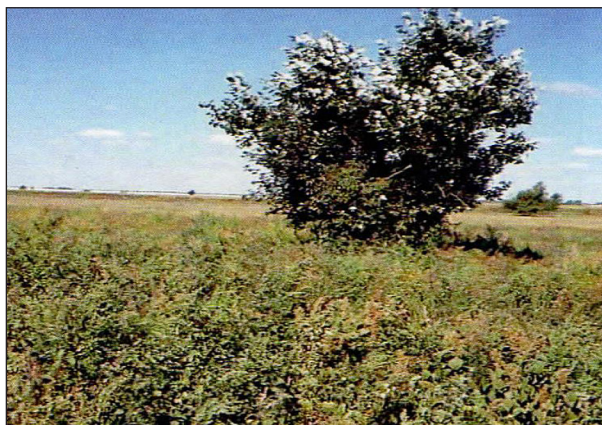
Fot. 16. Płat wyki ptasiej na tle brzóz



Fot. 17. Zbliżenie płata wyki ptasiej



Fot. 18. Siewki topoli



Fot. 19. Topola biała w płacie roślinności zdominowanej przez szarłat szorstki



Fot. 20. Kwitnący krzew bzu czarnego



Fot. 21. Owocujący krzew bzu czarnego



Fot. 22. Owocujący krzew berberysu pospolitego

Korzyści z transformacji ekosystemu łąkowego do antropogenicznego użytku ekologicznego przyrody chronionej są następujące:

- samoistne funkcjonowanie ekosystemu,
- zmniejszenie nakładów finansowych,
- uzyskanie nowych wartości ekologicznych i krajobrazowych,
- ilościowe i jakościowe wzbogacenie fauny naziemnej i awifauny.

Bibliografia

- Siuta J. 1996. Synteza wyników programu badawczego finansowanego przez KBN, kierowanego przez Jana Siutę. Instytut Ochrony Środowiska. Warszawa, ss. 40.
- Siuta J. 2018. Sprawozdanie z nadzoru oraz wykonanie sprawozdania końcowego z realizacji prac porekultywacyjnych na stawach odpadowych 1–17 w CIECH Soda Polska S.A. Zakład Produkcyjny w Janikowie.
- Siuta J. 2019. Sprawozdanie z nadzoru autorskiego nad pracami porekultywacyjnymi na stawach odpadowych w CIECH Soda Polska S.A. Zakład Produkcyjny w Janikowie.
- Siuta J., Sienkiewicz R. 2001. Rekultywacja terenu składowiska odpadów posodowych w Janikowie. Inżynieria Ekologiczna nr 3, 43–59.
- Siuta J., Wasiak G. 2000. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Ochrona i rekultywacja gleb. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, ss. 60.
- Siuta J., Sienkiewicz J., Dyguś K. 2013. Rozwój szaty roślinnej i gleby na składowisku odpadów posodowych w Janikowie w latach 2000–2013. Monografia, Instytut Ochrony Środowiska – PIB, Warszawa, ss. 127.

Rola fauny glebowej w zróżnicowaniu roślinności na zwałowisku karbońskiej skały płonnej

Łukasz Radosz¹, Karolina Ryś¹, Damian Chmura²,
Agnieszka Hutniczak¹, Gabriela Woźniak¹

1. Wprowadzenie

Hałdy pogórnice, czyli zwały karbońskiej skały płonnej, są terenami o odmiennych niż naturalne warunkach środowiskowych. Zostały utworzone przez człowieka w wyniku eksploatacji paliw kopalnych, a usypywany materiał pochodzi z głębokości od 0,5 do 1 km. Nowe formy antropogeniczne są wyjątkowymi siedliskami, ponieważ stanowią oligotroficzne (bardzo ubogie w substancje odżywcze, takie jak m.in.: azot, węgiel, siarka, fosfor) mineralne podłoże, pozbawione początkowo materii organicznej [Bradshaw 1997]. Podłoże to nie ma wykształconego profilu glebowego, a właściwości fizyczne i chemiczne są znacząco odmienne od otoczenia [Bradshaw 1997, Kompała i in. 2004, Woźniak 2010]. Ze względu na trudne warunki zwałowiska takie nazywano pustyniami biologicznymi, na których nie mogą rozwijać się organizmy żywe [Greszta i Morawski 1972, Bradshaw 1997, Rostański 2006]. Na przestrzeni wieloletnich badań wykazano, że pomimo niesprzyjających warunków są kolonizowane przez rośliny i zwierzęta [Woźniak 2010].

Dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin w stresowych warunkach konieczne jest rozpoznanie biotycznych warunków podłoża glebowego. Jednym z czynników warunkujących parametry biotyczne podłoża terenów poeksploatacyjnych, wzrost roślin oraz ich odporność na stres abiotyczny i biotyczny, jest liczebność oraz aktywność mezofauny glebowej [Hanus-Fajerska i in. 2015]. Kluczowe zadanie mezofauny polega na rozdrabnianiu, humifikowaniu i mineralizacji martwej materii organicznej. Wpływa ona na przestrzenne rozmieszczenie substancji glebowej, zarówno mineralnej, jak i organicznej, tym samym przyczyniając się do rozprzestrzeniania się mikroorganizmów, bakterii i grzybów [Kasprzak 1971]. Jedną z koncepcji wyjaśniającą rozwój roślinności

¹ Katedra Botaniki i Ochrony Przyrody, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Jagiellońska 28, 40-032 Katowice

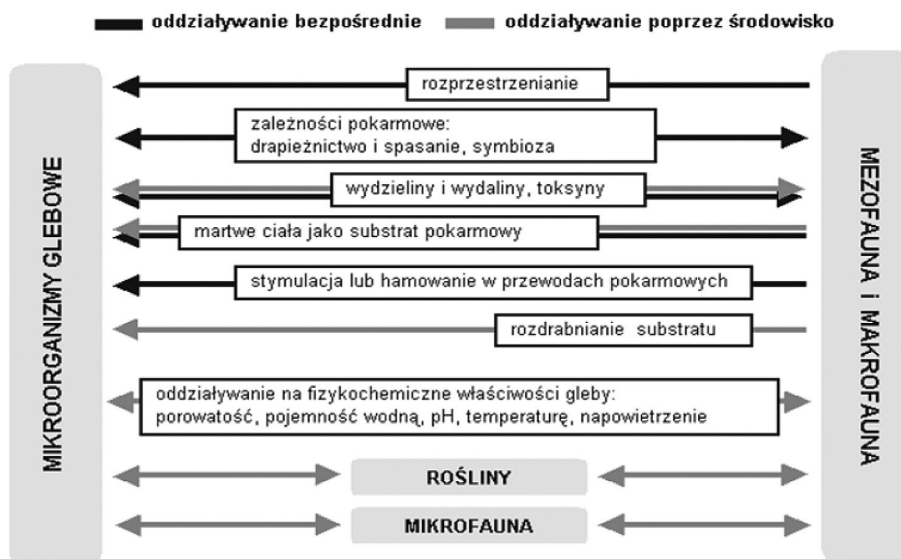
² Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała

zakłada, że sukcesja roślinna jest determinowana głównie przez czynniki abiotyczne i konkurencję gatunkową [Glenn-Levin i in. 1992]. Jednak inne poziomy troficzne mogą również wpływać na sukcesję roślinną [Bach 1994, Brown i Gange 1989, Brown i Gange 1989, Fagan i Bishop 2000, Gange i in. 1991]. Do tej pory mniej uwagi poświęcano wpływowi mezofauny glebowej na kształtowanie się zbiorowisk roślinnych [De Deyn i in. 2003]. Fauna i flora glebowa może mieć znaczący udział w zmianach sukcesyjnych roślinności, m.in. poprzez wpływ na dostępność, obieg składników pokarmowych (rys. 1) [Alphei i in. 1996, Harinikumar i Bagyaraj 1994, Lopez i in. 2003].

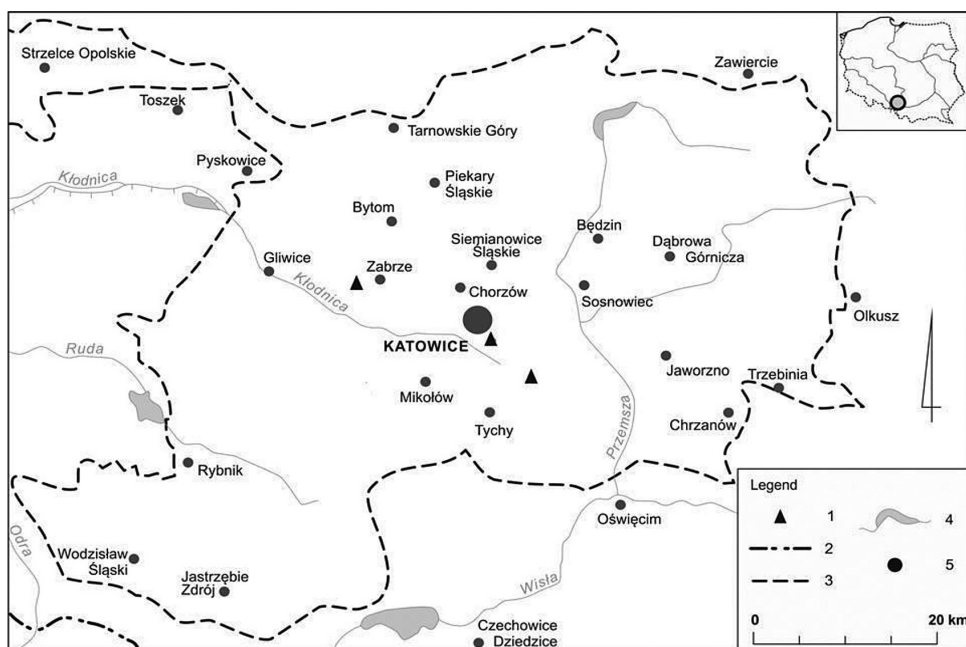
Badania prezentowane w niniejszej pracy miały na celu określenie relacji pomiędzy bezkręgowcami glebowymi (mezofauną glebową) obecnymi w podłożu płatów roślinności, a charakterystyką i różnorodnością roślinności spontanicznie rozwijającej się na zwałach skały płonnej oraz określenie ich związków funkcjonalnych. W przyszłości wyniki prezentowanych badań mogłyby przyczynić się do bardziej efektywnego planowania procesu zarządzania terenów przemysłowych.

2. Materiały i metody

Pierwszy etap obejmował prace terenowe prowadzone w jednym sezonie wegetacyjnym (4–16 lipiec, 2016 r.). Terenem badań były 3 zwałowiska karbońskiej skały płonnej. Zwały objęte badaniami znajdowały się na obszarze Wyżyny Śląskiej (KWK „Gliwice”, KWK „Wesoła”, KWK „Kostuchna”) – mapa (rys. 2). Podczas



Rys. 1. Interakcje między makro- i mezofauną glebową i epigeiczną, a mikroorganizmami glebowymi [Wojewoda i in. 2002]



Rys. 2. Lokalizacja badanych obiektów: 1 – badane hałdy, 2 – granice państwa, 3 – granice Wyżyny Śląskiej 4 – granice mniejszych jednostek geograficznych, 5 – rzeki jeziora, 6 – miasta [Woźniak 2010, zmienione]

prac terenowych wyznaczono poletka badawcze o promieniu 3 metrów, zdominowane przez dany gatunek dominanta. Poletka wyznaczano na hałdach i w warunkach jednorodnych, co było konieczne w związku z różnym wiekiem zwałów, wielkością, sposobem zwałowania, charakterem otoczenia i dużą zmiennością czynników abiotycznych. Dla przedstawienia możliwie pełnego zakresu zróżnicowania, posłużono się siecią systematycznie wyznaczanych poletek badawczych [Woźniak 2010]. Na poligonie badawczym pobrano po trzy próby gleby (około 1,5 kg). Pobierając glebę z różnych miejsc uzyskano właściwy obraz liczebności gatunków fauny glebowej, czyli np. średnią ilość występujących wazonkowców na badanym poligonie. Materiał przechowywano w workach strunowych w niskiej temperaturze (6 °C).

Procedurę wypłaszania nicieni i wazonkowców przeprowadzono przy użyciu Aparatu Tullgrena¹ (rys. 3). Analizę ilościową otrzymanego materiału biologicznego prowadzono z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego Delta Optical SZH-650T. Materiał wylewano na szalkę Petriego i dodatkowo przepłukiwano falkonem z wodą.

¹ Działanie urządzenia jest oparte na skłonności badanych organizmów glebowych do miejsc o większej wilgotności i zacienieniu. Zwierzęta unikając wysokiej temperatury przemieszczają się w dół i wpadają przedostając się przez gazę do wody. Zgromadzone przy wylocie gumowego wężyka okazy dostają się do probówek (rys. 3). Surowe próby, tzn. bezpośrednio po wypłaszaniu, przechowywano w otwartych probówkach z wodą w chłodni w temperaturze 6°C (maksymalny czas przechowywania w takiej formie 7 dni).



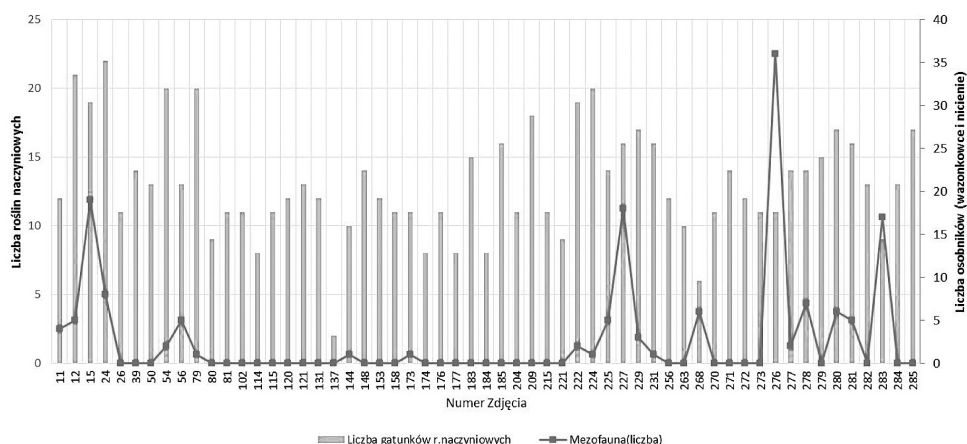
Rys. 3. Aparat Tullgrena użyty do badań (A – metalowy stelaż; B – źródło ciepła (żarówka grzejna o mocy 60W); C – próba gleby; D – gaza jałowa 17 nitkowa; E – lejek; F – gumowy przewód; G – falkon z wodą o pojemności 15 ml) (fot. Ł. Radosz)

3. Wyniki i dyskusja

W przeszłości różnorodność biologiczna bezkręgowców oraz drobnoustrojów gleb była słabo znana, głównie z powodu jej złożoności, a narzędzia badawcze do poszukiwania różnorodności i funkcji gatunkowych były niedostępne. Dzisiaj widzimy znaczne postępy w badaniach, które powinny wspierać zarządzanie środowiskiem terenów przekształconych przez człowieka i ochronę bioróżnorodności zwierząt i innych organizmów glebowych skupiając się na zagadnieniach takich jak: (1) różnorodność i obfitość gatunków w glebach i ich oddziaływania; (2) wzorce biogeograficzne dla zwierząt i drobnoustrojów w glebach; (3) określenie, jak wiele gatunków zwierząt glebowych jest zaangażowanych w procesy biogeochemiczne i ekologiczne funkcjonowanie ekosystemów lądowych.

Jak przedstawiono na wykresie (rys. 1) nie ma prostej zależności między liczbą gatunków roślin naczyniowych, a liczbą osobników wazonkowców i nicieni stwierdzonych w badanych płatach roślinności. Stwierdzono pojedyncze poletka, w których liczba gatunków oraz liczba osobników wazonkowców i nicieni była prawie jednakowa (poletko 15, 227).

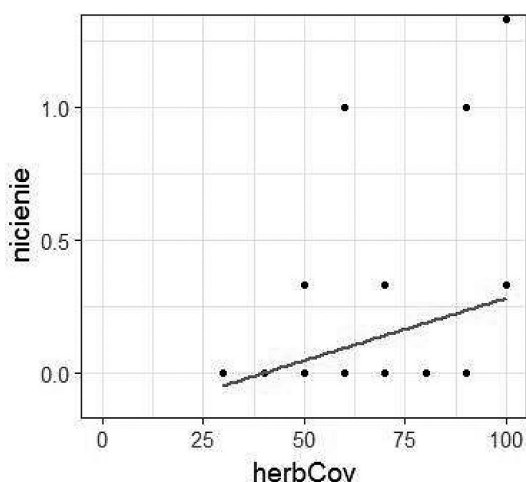
Przeprowadzone porównanie różnorodności gatunkowej badanych płatów roślinności (mierzonej wartością wskaźnika równomierności Eveness (E) i liczby osobników mezofauny), nie wykazało istotnych różnic statystycznych. Podobne porównanie przeprowadzone dla różnorodności gatunkowej obliczonej na pod-



Rys. 4. Liczba roślin naczyniowych oraz liczba osobników mezofauny (wazonkowców i nicieni) w badanych poletkach; na wykresie przedstawiono wyniki z 57 poletek badawczych

stawie wartości wskaźnika dominacji, również nie wykazało różnic statystycznych. Stwierdzono jedynie niewielki wpływ wartości wskaźnika różnorodności Shannona-Wienera na liczbę osobników wazonkowców.

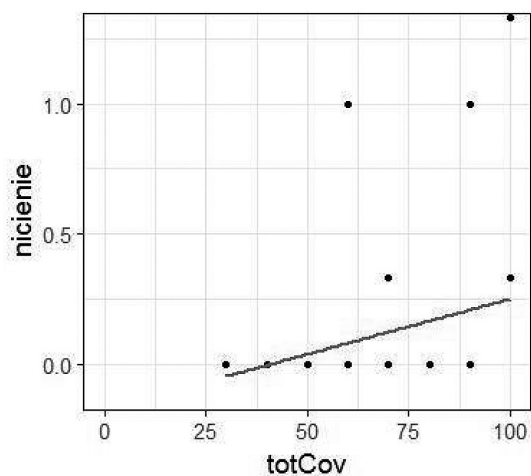
Na rysunku 5 przedstawiono wyniki z 57 poletek badawczych. Na badanych powierzchniach dominowały następujące gatunki roślin: podbiał pospolity (*Tussilago farfara*); wierzbowka nadrzeczna (*Chamaenerion palustre*); marchew zwyczajna (*Daucus carota*); wiechliną spłaszczoną (*Poa compressa*); trzcinnik piaskowy (*Calamagrostis epigejos*). W wyniku analizy stwierdzono pozytywną korelację między liczebnością nicieni na badanych powierzchniach, a obecnością roślin zielnych ($r_s = 0.49$, $p < 0.05$).



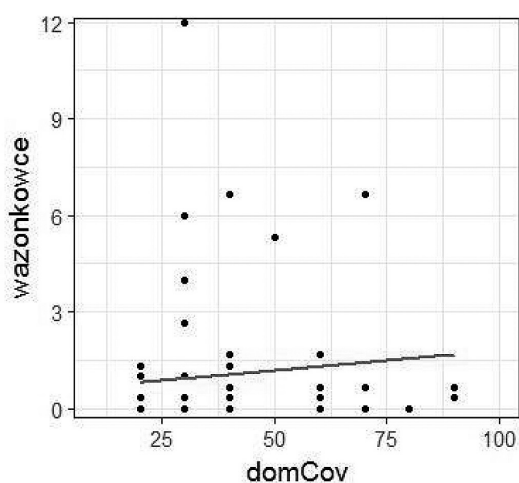
Rys. 5. Pozytywna korelacja między liczbą nicieni a pokryciem roślin zielnych

Wyniki badań pokrycia roślinności (rys. 5) wykazały pozytywną korelację między liczbą osobników nicieni, a całkowitym pokryciem roślin zielnych (herb Cov) ($r_s = 0.49$, $p < 0.05$), a także między łącznym pokryciem roślin i mchów ($r_s = 0.55$, $p < 0.05$) (rys. 6).

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki z 57 poletek badawczych. Na badanych powierzchniach dominowały następujące gatunki roślin: podbiał pospolity (*Tussilago farfara*); wierzbówka nadrzeczna (*Chamaenerion palustre*); marchew zwyczajna (*Daucus carota*); wiechlina spłaszczona (*Poa compressa*); trzcinnik piaszkowy (*Calamagrostis epigejos*). Stwierdzono, że pokrycie gatunku dominującego



Rys. 6. Pozytywna, istotna statystycznie korelacja między łącznym pokryciem roślin i mchów, a liczbą nicieni

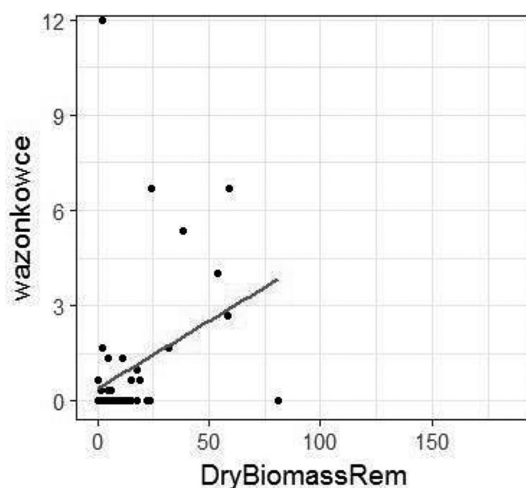


Rys. 7. Pozytywna, istotna statystycznie korelacja między pokryciem gatunków dominujących, a liczebnością wazonkowców

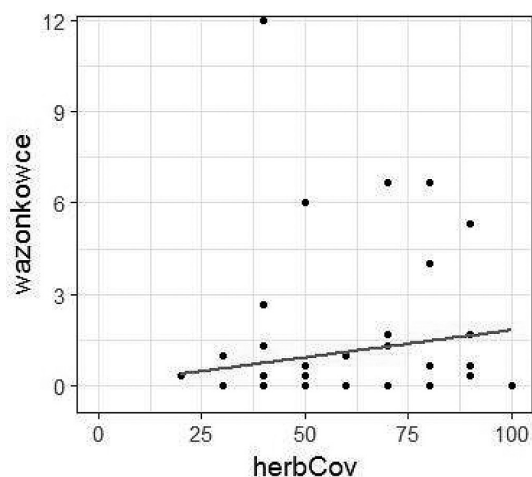
ma korzystny pozytywny wpływ na liczebność wazonkowców na badanych powierzchniach ($r_s = 0.54$, $p < 0.01$).

Stwierdzono ponadto pozytywną korelację między suchą masą pozostałych roślin zebranych na poletku badawczym, a liczebnością wazonkowców ($r_s = 0.45$, $p < 0.05$) (rys. 8). Na rysunku 9 przedstawiono natomiast pozytywną korelację między pokryciem roślin zielnych, a liczebnością wazonkowców ($r_s = 0.59$, $p < 0.01$).

Zebrane dane dotyczące składu gatunkowego, liczebności mezofauny, biomasy pozwoliły na poszukiwanie relacji między biotycznymi elementami tworzącymi się ekosystemów. Stosunkowo silne interakcje wykryto między biomasą, a liczebnością ba-



Rys. 8. Pozytywna, istotna statystycznie korelacja między suchą masą pozostałych roślin, a liczebnością wazonkowców



Rys. 9. Pozytywna korelacja między pokryciem roślin zielnych, a liczebnością wazonkowców

danych organizmów glebowych. Liczebność wazonkowców i nicieni na stanowiskach porośniętych roślinnością jest stosunkowo niewielka w porównaniu z ekosystemami naturalnymi. Kształtowanie się pierwszych ogniw sukcesji na podłożu niemal zupełnie pozbawionym życia lub na takim, gdzie kształtuje się ono od niedawna, należy do najciekawszych zagadnień biologicznych aspektów funkcjonowania środowiska.

Procesy sukcesyjne można zaobserwować m.in. na różnego typu terenach przemysłowych. Badania nad sukcesją prowadzone są od wielu dziesięcioleci. Prace te dotyczą jednak głównie roślin. Studia nad zgrupowaniami zwierząt glebowych w różnych stadiach sukcesji są rzadkie [Skubała 2002, Porazińska i in. 2003]. Jak wskazuje Skubała [2002] w początkowym etapie sukcesji, hałdy w pierwszej kolejności zasiedlane są przez roztocza. Autor ten w swoich badaniach analizuje m.in. zagęszczenie mechowców. Stwierdza on, że zagęszczenie osobników gatunków z grupy mechowców *Oribatida* na stanowiskach z roślinnością inicjalną jest bardzo niskie, ale już po kilku latach spotyka się tutaj zwykle kilka tysięcy osobników na pow. 1 m². Badania na podobnych terenach prowadził Frouz i in. [2008]. Brał on pod uwagę 50 parametrów flory i fauny glebowej na 27 terenach przemysłowych związanych z wydobywaniem węgla o różnym wieku (1–41 lat), położonych w pobliżu miasta Sokolov (Republika Czeska). Badane podłoże zostało usypane w tzw. hałdy i miało charakter alkaliczny (pH 8,5). Całkowita zawartość węgla i azotu, jak również dostępnego fosforu i potasu, wzrosły z wiekiem zwałów. Analiza struktury mikroskopowej podłoża starszych hałd (wiek od 24 lata) wykazała znaczną aktywność dżdżownic, która przejawiała się często odnotowywanym w badanym podłożu, zmieszaniem warstwy organicznej i mineralnej. Fakt ten, skutkował pozytywnym zjawiskiem polegającym na formowaniu się warstwy humusu. Autorzy ci stwierdzili również, że żadna z odnotowanych w badanym podłożu grup fauny glebowej nie preferowała w istotny sposób wczesnych etapów sukcesyjnych. Makrosaprofagiczne cechy fauny glebowej, najważniejsze dla rozkładu ściółki i mieszania gleby, wynikające z liczebności tych organizmów w badanym podłożu, osiągnęły najwyższą gęstość w najstarszych hałdach. Wyróżniono wyraźnie klastry miejsc w oparciu o klasyfikację TWINSPAN roślinności. Wszystkie rozważane elementy ekosystemu: parametry gleby, fauna glebowa i roślinność, przechodziły znaczne zmiany po 25 latach od usypania.

Prawidłowe funkcjonowanie ekosystemów naturalnych, jak i silnie przekształconych, zależy od udziału organizmów glebowych. Wiedza dotycząca usług ekosystemowych jest ciągle rozwijana. Obecnie przyjmuje się, że usługi ekosystemowe powinny być uporządkowane i podzielone na grupy związane z: 1) dostarczaniem towarów; 2) regulacją procesów ekosystemowych oraz 3) utrzymywaniem kluczowych dla życia na ziemi procesów (essential to life on earth). Im lepiej poznawane są mechanizmy dostarczania i świadczenia usług ekosystemowych, tym pilniejsza istnieje potrzeba dalszej ich identyfikacji [Barrios 2007].

Szczególnie istotne są badania nad różnorodnością jakościową i ilościową organizmów glebowych, w tym fauny glebowej. Pojawianie się nowych ujęć metodologicznych i narzędzi badawczych tylko potwierdza tę potrzebę [Barrios 2007].

Prace koncepcyjne i eksperymentalne bardzo często skupiają się wokół aktywności biologicznej podłoża/gleby ekosystemu. Podejście to wydaje się być bardzo słuszne, jeśli celem jest znalezienie centralnego punktu w hierarchicznym układzie ekosystemu, pozwalające na skuteczne zarządzanie i wspieranie funkcjonowania tworzącego się ekosystemu. Znajomość powiązań hierarchicznych jest również użyteczna w celu wskazania potencjalnych działań w zakresie zarządzania ekosystemami, mających na celu ochronę lub poprawę świadczenia usług ekosystemowych [Barrios 2007].

4. Wnioski

1. Na podstawie miary różnorodności jaką jest liczba gatunków roślin naczyniowych stwierdzono, że nie ma prostej zależności między liczbą osobników wazonkowców i nicieni, a liczbą gatunków roślin naczyniowych.
2. Porównanie różnorodności gatunkowej badanych powierzchni mierzonej wartością wskaźnika równomierności, różnorodności oraz dominacji i liczby osobników mezofauny (wazonkowce i nicienie) nie wykazało istotnych różnic statystycznych. Stwierdzono jedynie niewielki wpływ wartości wskaźnika Shannona-Wienera na liczebność wazonkowców.
3. Sumaryczne pokrycie terenu przez mchy i rośliny jest pozytywnie skorelowane z liczebnością nicieni.
4. Procentowe pokrycie gatunku dominującego na danej powierzchni ma pozytywny wpływ na liczebność osobników wazonkowców.
5. Pokrycie roślin zielnych pozytywnie wpływa na liczebność osobników wazonkowców oraz nicieni.

Analiza wyników uzyskanych w prezentowanej pracy wskazuje, że na badanych terenach przemysłowych, podobnie jak w ekosystemach naturalnych i półnaturalnych, niezwykle ważna jest rola organizmów glebowych występujących w substracie glebowym terenów przemysłowych (mimo, że gleba na tych obszarach jest jeszcze nie wykształcona).

Bibliografia

- Alphei J., Bonkowski M., Scheu S. 1996. Protozoa, Nematoda and Lumbricidae in the rhizosphere of *Hordelymuseuropaeus* (Poaceae): faunal interactions, response of microorganisms and effects on plant growth, *Oecologia* 106, 111–126.
- Bach C.E. 1994. Effects of a specialist herbivore (*Altica suplicata*) on *Salix cordata* and sand dune succession, *Ecol. Monog.* 64, 423–445.
- Barrios E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. SinceDirect, Tropical Soil Biology and Fertility Institute of Centro Internacional de Agricultura Tropical (TSBF–CIAT), Cali, Colombia.

- Brown V.K., Gange A.C. 1989. Differential effects of above and below ground herbivory during early plant succession, *Oikos* 54, 67–76.
- De Deyn G.B., Raaijmakers C.E., Zoomer H.R. 2003. Soil invertebrate fauna enhance grassland succession and diversity, *Nature* 422, 711–713.
- Fagan W.F., Bishop J.G. 2000. Trophic interactions during primary succession: herbivores slow a plant reinvasion at Mount St. Helens, *Am. Nat.* 155, 238–251.
- Frouza J., Prach K., Pižla V., Háněla L., Starý J., Tajovský K., Materná J., Balík J., Kalčíka J., Řehounek K. 2008. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European Journal of Soil Biology* 44, 109–121.
- Gange A.C., Brown V.K., Farmer L.M. 1991. Mechanisms of seedling mortality by subterranean insect herbivores, *Oecologia* 88, 228–232.
- Glenn-Lewin D.C., Peet R.K., Veblen T.T. 1992. *Plant Succession, Theory and Prediction*, Chapman & Hall, London.
- Greszta J., Morawski S. 1972. *Rekultywacja nieużytków poprzemysłowych*. PWRiL, Warszawa.
- Hanus-Fajerska E., Muszyńska E., Giemzik A. 2015. Przegląd literatury – charakterystyka mikrobioty hałd odpadów cynkowo-ołowiowych. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 17(2), 59–68.
- Harinikumar K.M., Bagyaraj D.J. 1994. Potential of earthworms, ants, millipedes and termites for dissemination of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Biol. Fertil. Soils* 18, 115–118.
- Kasprzak K. 1971. *Wazonkowce (Oligochaeta, Enchytraeidae)*, Warszawa.
- Kompała A., Błońska A., Woźniak G. 2004. Vegetation of the „Żabie Doły” area (Bytom) covering the wastelands of zinc-lead industry. *Archiwum Ochrony Środowiska* 30(3), 59–76.
- Lavergne S., Mouquet N., Thuiller W., Ronce O. 2010. Evolutionary and Ecological Responses of Species and Communities. *Annual Review of Ecology and Evolution*.
- Lopez M.G., Matesanz M.R., Lidon J.B.J., Cosin D.J.D. 2003. The effect of Hormogastridae (Hormogastridae) on the abundance of soil Collembola and Acari in laboratory cultures, *Biol. Fertil. Soils* 37, 231–236.
- Porazinska D.L., Bardgett R.D., Blaauw M.B., Hunt H.W., Parsons A.N., Seastedt T.R., Wall D.H. 2003. Relationships at the aboveground–belowground interface: Plants, soil biota, and soil processes. *Ecological Monographs* 73, 377–395.
- Rostański A. 2006. Spontaniczne kształtowanie się pokrywy roślinnej na zwalówiskach po górnictwie węgla kamiennego na Górnym Śląsku. Wydawn. Uniwersytetu Śląskiego.
- Skubała P. 2002. Rozwój fauny roztoczy na hałdach, czyli jak przyroda walczy z przemysłem. *Kosmos*, 2(51), 195–204.
- Uggla H. *Gleboznawstwo rolnicze* PWN. Warszawa 1981.
- Wikipedia, Wolna encyklopedia: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Gleba> (dostęp: 20.06.2019)
- Wojewoda D., Kajak A., Szanser M. 2002. Rola mezo- i makrofauny w funkcjonowaniu gleby. *Instytut Ekologii PAN*, 105–114.
- Woźniak G. 2010. Diversity of vegetation on coal–mine heaps of the Upper Silesia (Poland), Kraków.

Uziarnienie podłoża, jako czynnik różnicujący zbiorowiska roślinne występujące na zwałowiskach karbońskiej skały płonnej

Karolina Ryś¹, Łukasz Radosz¹, Agnieszka Kompała-Bąba¹,
Agnieszka Błońska¹, Agnieszka Hutniczak¹, Gabriela Woźniak¹

1. Wprowadzenie

Uważa się, że tereny powstałe na skutek wieloletniej działalności wydobywczej i przemysłowej odznaczają się skrajnymi warunkami, takimi jak: wysoka temperatura; mineralne podłoże; brak pokrywy glebowej i roślin, brak banku nasion oraz brak składników odżywczych w podłożu. Odnotowywane są również duże dzienne wahania temperatury i wilgotności; podatność na erozję; niestabilność podłoża; znaczne rozluźnienie materiału nasypowego; pylenie oraz wysoka temperatura powierzchni i wnętrza zwału [Rostański i Woźniak 2007, Rahmonov 2007, Woźniak i in. 2015]. W związku z tak niesprzyjającymi warunkami siedliskowymi – zwały często nazywane są „biologicznymi pustyniami”. Mimo to tereny te, są efektywnie kolonizowane przez rośliny. Grupą roślin, która najczęściej samoistnie wkracza i tworzy dominujące i trwałe zbiorowiska na tego typu terenach jest roślinność trawiasta. Rośliny, które wkraczają na tego typu siedliska odznaczają się dużymi zdolnościami adaptacyjnymi do różnych warunków środowiska [Mizianty 1995, Frey 2000, Kozłowski i in. 2000], w których niejednokrotnie pełnią one rolę siedliskotwórczą. Zarówno trawy, jak i rośliny zielne charakteryzuje szereg cech biologicznych i fizjologicznych pozwalających im przystosować się do różnych siedlisk tj.: silny system korzeniowy; polimorfizm nasion, wykształcanie mikoryzy u wielu gatunków [Czarnecka 1997, Metcalife 1960, Malinowski 1996, Frey 2000, Turnau i in. 2002a, 2002b]. Wiele gatunków traw wraz z roślinami motylkowymi samoistnie wkracza na tereny poprzemysłowe oraz jest powszechnie stosowana w procesach biologicznej rekultywacji [Maciak 2003, Patrzałek 2007, Pierzchała, Sierka 2009]. Zbiorowiska roślinne na terenach poprzemysłowych wpływają na mikroklimat w najbliższej przestrzeni człowieka jak i na klimat w charakterze

¹ Katedra Botaniki i Ochrony Przyrody, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Jagiellońska 28, 40-032 Katowice

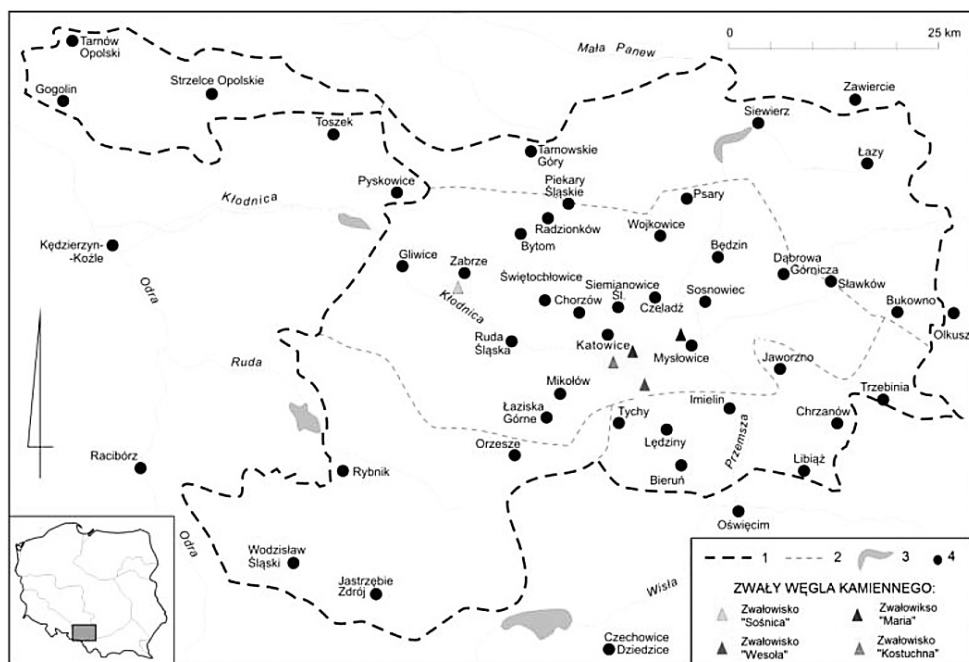
globalnym. Można powiedzieć, że w większości stanowią „zielone płuca” miejsko-przemysłowych konglomeracji.

Istotnym czynnikiem wpływającym na rozwój i kształtowanie się roślinności na terenach wydobywczych jest uziarnienie podłoża. Skład granulometryczny ma wpływ na właściwości fizyko-chemiczne, takie jak: odczyn (wartość pH), gęstość, porowatość, pojemność wodna gleby (WHC%), sorpcja (sorpcja wymienna) i właściwości oksydo-redukcyjne [Bednarek i Skiba 2015, Kabała 2015]. Istotnym parametrem wskazującym na kondycję osobników i populacji występujących w płatach roślinności zdominowanych przez gatunki jest również biomasa. Wiele czynników wpływa na produkcję biomasy tj. faza rozwojowa rośliny, właściwości gleby oraz odporność na szkodniki. Zależność pomiędzy masą, a różnorodnością biologiczną stanowi często dyskutowane zagadnienie w literaturze fachowej. W ekosystemach zmienionych i przekształconych przez człowieka wiedza na temat kształtowania się zależności między składem granulometrycznym podłoża, a jego właściwościami oraz roślinnością rozwijającą się spontanicznie jest niewielka. Poznanie tych zależności może mieć duże znaczenie praktyczne w planowaniu i realizowaniu prac prowadzonych w ramach zagospodarowania terenu przekształconego w wyniku działalności człowieka [Frouz i in. 2008].

Celem pracy jest przedstawienie zróżnicowania roślinności spontanicznej zwałowisk karbońskiej skały płonnej z dominującym udziałem roślin zielnych i traw, jak również wskazanie preferencji siedliskowych budujących je gatunków w aspekcie zagospodarowania terenów poprzemysłowych oraz wskazanie relacji między strukturą granulometryczną podłoża zwałów skały płonnej a parametrami spontanicznie rozwijającej się na nich roślinności takimi jak: gatunek dominanta, biomasa dominanta i pokrycie roślinności.

2. Metodyka

Badania prowadzono na obszarze Wyżyny Katowickiej [Kondracki 2000], która jest częścią makroregionu Wyżyny Śląskiej [Dulias 2004]. Badaniami objęto 4 hałdy odpadowe tj.: zwałowisko Sośnica, zwałowisko Wesoła, zwałowisko Kostuchna oraz zwałowisko przy szybach Maria (rys. 1, tabela 1). Powstały one w latach 1900–1906 w wyniku intensywnej eksploatacji węgla kamiennego przez KWK Sośnica-Makoszowy; KWK Wesoła; KWK Murcki-Staszic [Pełka-Gościński 2015]. Na hałdach składowany jest materiał, który powstaje w wyniku działalności górnictwa i przeróbki węgla kamiennego. Materiał ten stanowi swoisty produkt uboczny eksploatacji tych kopalin. W skład tego materiału wchodzi m.in. karbońska skała płonna lub kamień dołowy z domieszką węgla. Stanowi on zwykle ponad 90% łącznej ilości materiałów gromadzonych na zwałach skały płonnej [Galos i Szlugaj 2014, Woźniak 2010]. Zwałowiska mają kształt wypukły nadpoziomowy, często kopulasty, zbocza strome, często nieregularne oraz płaską wierzchowinę. Zbudowane są ze skały płonnej z niewielkimi ilościami węgla; większość



Rys. 1. Lokalizacja zwałowisk odpadów pogórnich na Wyżynie Katowickiej (na podstawie [Woźniak 2010])

Tabela 1. Charakterystyka badanych zwałów na Wyżynie Katowickiej

Nazwa zwałowiska	Miasto (dzielnica)	Stan zwałowiska	Powierzchnia, ha	Średnia wysokość, m	Początek – koniec zwałowania, rok
Sośnica	Zabrze–Sośnica	–	170	>30	1906 – nadal
Wesoła	Mysłowice–Wesoła	NZP	34,8	80	xxxx – 1994
Kostuchna	Katowice–Kostuchna	NZP	25	62,5	1900 – 1995
Przy szybach Maria	Katowice–Murcki	NZP	23,2	>30	xxxx – 1995

Powierzchnia: według [Probiez i in. 2017].

Stan zwałowiska: NZP – nie zagrożone pożarami.

zwałowanego materiału (70%) to: iłowce i mułowce (determinują one właściwości fizyczne, chemiczne jak i rozwój procesów erozyjnych zwałów); pozostały skład (30%): łupki węglowe, piaskowce, żwirowce [Strzyszc 1983, Skarżyńska 1997, Maciak 2003, Woźniak 2010]. Po zakończeniu zwałowania, zwały rekultywowano głównie w kierunku leśnym.

W okresie wegetacyjnym 2016 założono na ich powierzchni 70 (poligonów) powierzchni badawczych w jednorodnych płatach roślinnych, zdominowanych przez badane gatunki dominanta w kształcie koła o promieniu 3 m. Dla każdej badanej powierzchni odnotowane zostały współrzędne geograficzne jej punktu cen-

tralnego za pomocą odbiornika GPS. Na każdym poletku spisano skład gatunkowy oraz wyceniono pokrycie poszczególnych gatunków roślin naczyniowych według skali 10 stopniowej (<1%, 1–5%, 5–10%, 10–20%, 20–30%, 30–40%, 40–50%, itd. co 10%). Za gatunek dominujący przyjęto gatunek, który w obrębie założonego poletka zajmował największą powierzchnię w porównaniu do reszty roślinności. Z wyznaczonego poletka zostały zebrane również informacje, pokrycia warstwy zielnej, nekromasa, pomiar pH oraz wilgotności gleby. W terenie dokonano również pomiaru świeżej biomasy dominantów. Po zebraniu próbki były od razu ważone przy użyciu wagi polowej, dzięki czemu otrzymywano masę świeżej biomasy dominanta oraz innych roślin. Po przewiezieniu roślin do laboratorium, zostały one rozłożone do papierowych kuwet i pozostawione na kilka dni do wyschnięcia na powietrzu. Wysuszone w ten sposób rośliny zostały zważone za pomocą wagi elektronicznej z dokładnością do 0,01 (Radwag PS 200/2000C/1). Biomasa ważona była na kuwetach papierowych. Po zważeniu została umieszczona w papierowych torebkach z zachowaniem oznaczeń używanych do kodowania prób w terenie. Dzięki temu otrzymano wagę suchej biomasy (suszonej na powietrzu) każdej próby. Następnie każdą próbę umieszczono w cieplarni (KBC G-65/250) o temperaturze 105°C na okres 24 h. Po tym czasie, próbki były ponownie ważone w wyniku czego otrzymano wagę suchej biomasy (suszonej w temp. 105°C). Analizę składu granulometrycznego wykonano przy pomocy sit laboratoryjnych z podziałem na trzy frakcje: piaszkowa, żwirowa oraz kamienista.

3. Wyniki i dyskusja

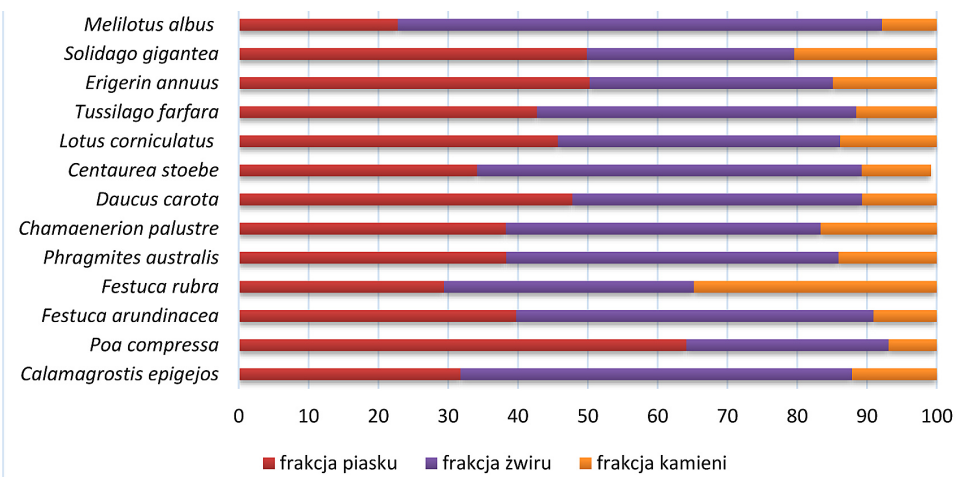
W trakcie badań florystycznych na obszarze 4 zwałowisk karbońskiej skały płonnej w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym stwierdzono występowanie 193 gatunków roślin naczyniowych. Klasyfikacja danych florystycznych z 214 poletek badawczych pozwoliła na wyróżnienie 13 grup zbiorowisk z dominacją różnych gatunków traw tj.: trzcinnik piaskowy (*Calamagrostis epigejos*); wiechlina spłaszczona (*Poa compressa*); kostrzewa czerwona (*Festuca rubra*); kostrzewa trzcinowata (*Festuca arundinacea*); trzcina pospolita (*Phragmites australis*) jak i roślin zielnych tj.: wierzbówka nadrzeczna (*Chamaenerion palustre*), marchew zwyczajna (*Daucus carota*), chaber nadreński (*Centaurea stoebe*), komonica zwyczajna (*Lotus corniculatus*), podbiał pospolity (*Tussilago farfara*), nostrzyk biały (*Melilotus albus*), przymiotno białe (*Erigeron annuus*), nawłóć późna (*Solidago gigantea*). Poszczególne typy zbiorowisk różniły się udziałem ilościowym i jakościowym gatunków reprezentujących różne grupy siedliskowe oraz pod względem preferencji siedliskowych budujących je gatunków.

Analiza DCA z pasywnie nałożonymi wskaźnikami Ellenberga wykazała zróżnicowanie roślinności związane z światłem, składem granulometrycznym oraz żyznością podłoża (wzdłuż I osi DCA) oraz wilgotnością i odczynem podłoża (wzdłuż II osi DCA). Istotnie od pozostałych zbiorowisk (różnią się pod

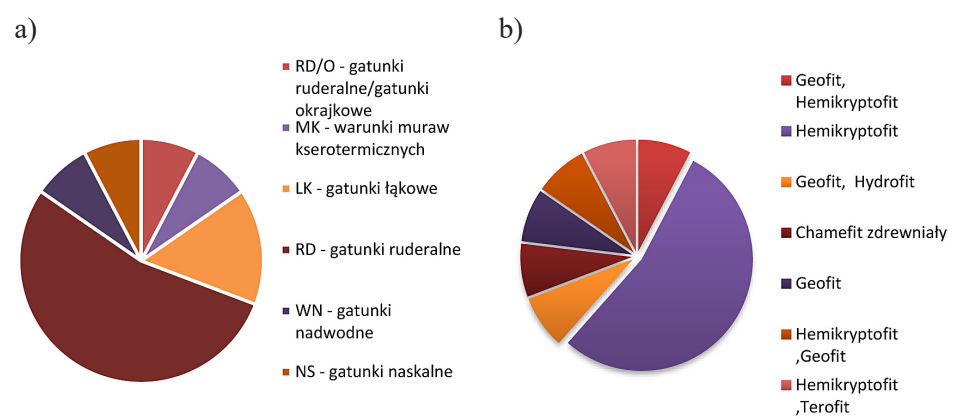
względem wilgotności, zasobności w składniki pokarmowe i przywiązanie gatunków do miejsc o cienionych) zbiorowiska z dominacją *Phragmites australis*. Kompozycję zbiorowiska z trziną pospolitą tworzą gatunki preferujące miejsca wilgotne, bardziej oświetlone, zasobniejsze w azot. Istotne różnice pod względem wartości wskaźnika wilgotności (F) stwierdzono pomiędzy zb. *Solidago gigantea* a zb. *Tussilago farfara*. W zbiorowiskach z dominacją *Solidago gigantea* zauważalne jest wyższe przywiązanie do podłoża bardziej wilgotnych, natomiast w przypadku zbiorowisk z dominacją *Tussilago farfara* przeważają gatunki preferujące miejsca suche. Pod względem wartości wskaźnika żyzności, największe różnice wykazuje zb. *Erigeron annuus* gdzie dominują gatunki preferujące miejsca bardziej żyzne w porównaniu ze zb. *Chamaenerion palustre*. Istotnie od zbiorowisk z *Centaurea stoebe*, *Melilotus alba* oraz *Chamaenerion palustre* pod względem zasobności w materię organiczną różnice odnotowano między zb., w których dominantami były *Erigeron annuus* i *Lotus corniculatus* (przeważają w nich gatunki preferujące przywiązanie do podłoża bardziej zasobnych w materię organiczną). W zbiorowiskach z dominacją wiechliny spłaszczonej oraz kostrzewy czerwonej przeważały gatunki preferujące pełne światło i suchsze podłoża. Zbiorowiska z dominantami: *Poa compressa*, *Festuca rubra*, *F. arundinacea* preferowały miejsca mniej zasobne w azot. Pod względem wskaźnika odczynu podłoża w płatach zbiorowiska z *Poa compressa* oraz zb. *Chamaenerion palustre* wyższy udział mają gatunki preferujące podłoża zasadowe w porównaniu z fitocenozą, którym fizjonomię nadają *Lotus corniculatus*, *Festuca rubra*, *Festuca arundinacea* czy *Phragmites australis*. Istotne różnice pod względem wskaźnika granulometrycznego wykazano pomiędzy zb. *Poa compressa* a zb. *Centaurea stoebe*, w których współtworzące zbiorowisko związane są z bardziej gruboziarnistym podłożem.

Zawartość procentowa wybranych frakcji (piasek/żwir/kamienie) w podłożu zwałowisk poprzemysłowych pod określonym dominantem kształtuje się następująco (rys. 2): przeważającą frakcją w wytypowanych zbiorowiskach jest frakcja piasku i żwiru, która stanowi około 80% składu granulometrycznego podłoża, największą frakcję piasku odnotowano dla zbiorowiska *Poa compressa*, następnie kolejno *Solidago gigantea*, *Erigeron annuus* oraz *Daucus carota*, natomiast najmniejszą wartość frakcji piasku odnotowano dla *Melilotus alba*. Frakcja żwiru przeważała na stanowiskach z dominacją *Melilotus alba*, *Centaurea stoebe* oraz *Calamagrostis epigejos*, najmniej w zb. *Poa compressa*. Frakcja kamieni jest frakcją, która w zbiorowiskach występuje w najmniejszym stopniu, w większości poniżej 20% jedynie *Festuca rubra* osiąga największą wartość – 35%.

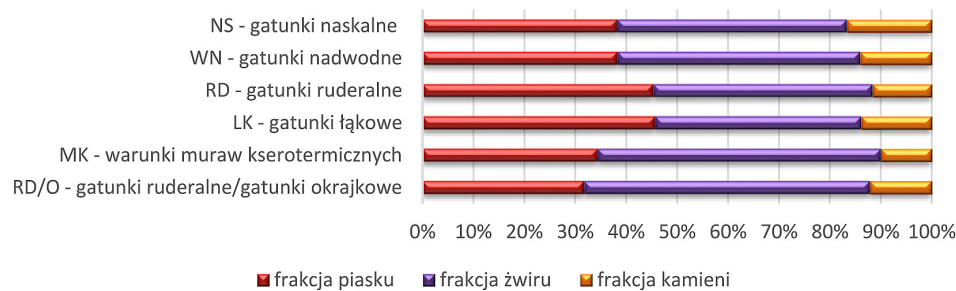
Dominującą grupą ekologiczną (rys. 3a) w rozpoznanych zbiorowiskach są gatunki ruderalne (zb. *Poa compressa*, zb. *Festuca arundinacea*, zb. *Daucus carota*, zb. *Tussilago farfara*, zb. *Erigeron annuus*) oraz w znacznej mniejszości gatunki łąkowe (reprezentowane przez zbiorowiska z dominacją *Festuca rubra* i *Lotus corniculatus*). Frakcja kamieni występuje w najmniejszym stopniu pod każdą



Rys. 2. Zawartość procentowa wybranych frakcji (piasek/żwir/kamienie) w podłożu zwałowisk przemysłowych pod określonym dominantem



Rys. 3. Podłoże zwałowisk przemysłowych: a) dominujące grupy ekologiczne (Oberdorfer i in. 1990); b) dominujące formy życiowe Raunkiera [Zarzycki i in. 2002]



Rys. 4. Zawartość procentowa wybranych frakcji (piasek/żwir/kamienie) w podłożu zwałowisk przemysłowych pod względem dominujących grup ekologicznych [Oberdorfer i in. 1990]

grupą ekologiczną (rys. 4). W zbiorowiskach z dominacją gatunków ruderalnych i łąkowych ilość frakcji piasku i żwiru jest taka sama. Dominującą formą życiową w zbiorowiskach są hemikryptofity (rys. 3b).

Wartości wskaźnika granulometrycznego różnią się ze względu na gatunki dominujące, największe stwierdzono w płatach zdominowanych przez *Lotus corniculatus*, a najmniejszą w płatach zdominowanych przez *Centaurea stoebe*, natomiast średnia wartość wskaźnika zawartości materii organicznej w glebie H' była największa w płatach zdominowanych przez *Lotus corniculatus* i *Erigeron annuus*, a najmniejsza w płatach zdominowanych przez *Centaurea stoebe*, *Chamerion palustre* i *Melilotus albus*. W przypadku wskaźnika granulometrycznego gleby nie odnotowano pozytywnej korelacji między pokryciem dominanta jak i pokryciem innych roślin towarzyszących dominantowi. Jak wskazuje Woźniak [2010] skład granulometryczny materiału gromadzonego zależy od pochodzenia i nie jest jednorodny na całej powierzchni zwału. Na zwałach nowych przeważa szkielet natomiast w starszych rośnie ilość części ziemistych, ich skład zmienia się wraz z wiekiem, wspomniany proces jest silnie uzależniony od procesu wietrzenia i erozji, skały ilaste wietrzejąc tworzą płytki i cienkie blaszki, wietrzejące mułowce tworzą ostro kształtne bryłki i haczykowate płytki. Świeżo usypywany materiał to głównie drobna skała płonna, bez warstwy próchnicznej i materii organicznej. Szybkość rozkładu skał gromadzonych na zwałach zależy od intensywności procesu wietrzenia.

Na obiektach świeżo usypywanych przeważa udział frakcji powyżej 20 mm, już na tym etapie dochodzi do miejscowej segregacji materiału, materiał ciężki stacza się w dół zwałów co w efekcie powoduje duże przestrzenie powietrzne, natomiast w górnych partiach dominuje materiał drobnodziarnisty. Badania prowadzone przez Berendse i in. [2015] opisują iż odporność gleby na erozję jest ważną cechą nienawożonych ekosystemów. Wyższa biomasa ma istotny wpływ na redukując podatności na erozję. Zróżnicowane gatunkowo płaty roślinności osiągają zazwyczaj mniejszą ilość biomasy, niż ich najbardziej produktywne gatunki dominujące. Badania wskazują, że zarówno liczba gatunków, jak i cechy gatunków w ekosystemie mają znaczący wpływ na produkcję biomasy, dlatego potrzeba więcej czasu aby najbardziej różnorodny ekosystem, mógł wytwarzać więcej biomasy, niż silnie produktywna monokultura. W eksperymencie prowadzonym przez Pruchniewicz i Żolnierz [2016] wykazano wpływ jaki wywiera gatunek ekspansywny *Calamagrostis epigejos* na produkcję biomasy roślinnej. W badanych zbiorowiskach wzrosła biomasa tego gatunku, natomiast nastąpił znaczny spadek biomasy roślin towarzyszących. Biomasa świeża jak i sucha różni się między analizowanymi gatunkami dominującymi. Największą biomasa świeżą stwierdzono w płatach zdominowanych przez *Phragmites australis*, a najmniejszą w płatach z dominacją *Poa compressa*, w odniesieniu do suchej biomasy uzyskano podobne wyniki.

Wykonane analizy statystyczne wskazują ujemnie skorelowaną suchą biomasę gatunków dominujących z wartościami wilgotności gleby oraz wskaźnikami

różnorodności. Na badanych płatach najwyższą wartość wskaźnika jednorodności gatunkowej zaobserwowano na poletkach z dominacją *Daucus carota* i *Poa compressa* ($H' - 0,74$ i $H' - 0,73$), a najmniejszą w płatach zdominowanych przez *Calamagrostis epigejos* i *Tussilago farfara* (0,60 i 0,64). Najwyższą wartość wskaźnika Shannona-Wienera (H) odnotowano w płatach *Poa compressa* ($H' - 1,98$) i *Daucus carota* ($H' - 1,82$), istotnie mniejszą u *Festua arundinacea* ($H' - 1,45$) oraz *Calamagrostis epigejos* (1,43), *Tussilago farfara* (1,33), a najmniejszą w płatach *Phragmites australis* ($H' - 0,91$).

Obecnie nie prowadzono badań nad wpływem składu granulometrycznego materiału składowanego na hałdach powęglowych na spontaniczną roślinność. Badania nad wpływem uziarnienia na bonitacje drzewostanów sosnowych prowadzone w Instytucie Geografii UMK w Toruniu (2008) pokazują iż bonitacja drzewostanów sosnowych na glebach nieoglejonych wykazała silną, istotną statystycznie ($p < 0,01$) korelację dodatnią z zawartością części spławialnych ($p < 0,02$ mm) w zakresie gleb o grubszym uziarnieniu. Zawartość frakcji ilastych większa od 10–15% nie wiązała się w glebach nieoglejonych z wyższymi bonitacjami. Zależność między bonitacją sosny a zawartością części spławialnych w glebach oglejonych również wykazała korelację dodatnią. Korelacja ta widoczna jest jednak wyłącznie w przedziale zawartości części spławialnych odpowiadającym piaskom luźnym i charakteryzuje się mniejszą istotnością statystyczną ($0,01 < p < 0,05$) niż dla piaszczystych gleb nieoglejonych. Zestawienie bonitacji drzewostanów sosnowych dla tych samych przedziałów zawartości części spławialnych w glebach oglejonych oraz nieoglejonych umożliwiło oszacowanie znaczenia frakcji ilastych dla wzrostu badanego gatunku. Drobne frakcje uziarnienia gleby są istotne dla wzrostu roślin głównie jako źródło składników pokarmowych. Ponadto w glebach, w których niedobór wody może być dla roślin czynnikiem stresowym, wpływają one na poprawę warunków wilgotnościowych.

4. Wnioski

W oparciu o kryterium florystyczne wyróżniono 13 zbiorowisk roślinnych zdominowanych przez gatunki roślin zielnych rodzimych i obcych jak i traw. Poszczególne zbiorowiska budowane są przez gatunki o zróżnicowanych preferencjach względem nasłonecznienia, wilgotności oraz żyzności podłoża oraz produktywności. Dzięki uzyskanej w trakcie badań wiedzy tereny przemysłowe, charakteryzujące się często niską wartością przyrodniczą i produkcyjną, mogą nabrać różnorodnych walorów przyrodniczych, czy też np. estetycznych. Znajomość powiązań biologii i ekologii gatunków w zbiorowiskach roślinnych i ich podłoża może być wykorzystana w rekultywacji terenów przemysłowych.

Na podstawie uzyskanych danych stwierdzono zależność między gatunkiem dominanta, a składem granulometrycznym oraz zawartością materii organicznej w podłożu zwałów skały płonnej. Wykazano również korelacje między zawarto-

ścią materii organicznej w podłożu a biomasą gatunku dominującego oraz innych gatunków towarzyszących dominantowi. Na obecnym etapie rozważań można wnioskować, że na siedliskach przekształconych i/lub stworzonych przez człowieka, takich jak zwałowiska odpadów pogórnich, ma zastosowanie reguła mówiąca o tym, że produkcja biomasy gatunku dominującego jest tym większa im mniejsza jest różnorodność biologiczna. Uzyskane wyniki wskazują również, że biomasa jest wyższa, gdy siedlisko jest suchsze.

Bibliografia

- Bednarek R., Skiba S. 2015. Czynniki i procesy glebotwórcze. W: A. Mocek (red.) *Gleboznawstwo*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 68–98.
- Bradley J., Cardinale P., Wright J.P., Cadotte M. W., Carroll I.T., Hector A., Srivastava D.S., ... Weis J.J. 2007. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity.
- Czarnecka B. 1997. Strategie adaptacyjne roślin a skład gatunkowy fitocenoz. *Wiadomości Botaniczne* 41, 33–42.
- Dulias R. 2004. *Województwo Śląskie*, Wyd. Kubajak, Katowice.
- Frey L. 2000. Trawy niezwykłe (wybrane zagadnienia z historii, taksonomii i biologii Poaceae). *Łąkarstwo w Polsce* 3, 9–20.
- Frouza J., Prach K., Pižla V., Háněla L., Starý J., Tajovský K., Maternad J., Balík J., Kalčíka J., Řehounková K., 2010, Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European Journal of Soil Biology* 44(1), 109–121.
- Galos, K., Szlugaj, J. 2014. Management of hard coal mining and processing wastes in Poland. *Gospodarka surowcami mineralnymi*, 30(4), 51–63.
- Kabała C. 2015. Morfologia gleb. W: A. Mocek (red.): *Gleboznawstwo*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 99–130.
- Kondracki J. 2000. *Geografia regionalna Polski*. Wydawn. Naukowe PWN, Warszawa.
- Kozłowski S., Goliński P., Golińska B. 2000. Pozapaszowa funkcja traw. *Łąkarstwo w Polsce* 3, 79–94.
- Maciak F. 2003. *Ochrona i rekultywacja środowiska*. Wyd. III. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Malinowski T., Kaminska M., Komorowska B., Rudzinska-Langwald A. 1996. Etiology of yellows and witches' broom symptoms in some ornamental plants. In: IX International Symposium on Virus Diseases of Ornamental Plants 432, 96–107.
- Metcalfe C.R. 1960. *Anatomy of the Monocotyledons*. 1. Gramineae. London: Oxford University Press, pp. 389.
- Miziany M. 1995. Trawy – grupa roślin, która odniosła ewolucyjny sukces. *Wiad. Bot.* 39(1–2), 59–70.
- Oberdorfer E., Muller T., Korneck D., Lippert W., Markgarf-Dannenberg I., Patzke E., Weber H.E. 1990. *Pflanzensoziologische Exursionsflora*. 6 Auflage. Ulmer, Stuttgart.

- Patrzałek A. 2007. Trawy do celów specjalnych. W: L. Frey (red.) Wielka Księga Polskich Traw. Instytut Botaniki im. W. Szafera, PAN, Kraków, 343–359.
- Pełka-Gościński J. 2015. Plany zagospodarowania zwałowisk odpadów powęglowych KWK Murcki w Katowicach. Acta Geographica Silesiana, WNoZ UŚ, Sosnowiec, 18, 59–67.
- Pierzchała Ł., Sierka E. 2009. Influence of reclamation type of subsidence reservoirs on vegetation differentiation in surrounding area. In: 13th International Conference Environment and Mineral Processing & Exhibition, VŠB – Technical University of Ostrava, Czech Republic 3, 239–245.
- Pruchniewicz D., Żołnierczak L. 2017. The influence of *Calamagrostis epigejos* expansion on the species composition and soil properties of mountain mesic meadows. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 86(1).
- Rahmonov O. 2007. Relacje między roślinnością i glebą w inicjalnej fazie sukcesji na obszarach piaszczystych. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, 9–11.
- Rostański A., Woźniak G. 2007. Trawy (Poaceae) występujące spontanicznie na terenie nieużytków przemysłowych. W: L. Frey (red.) Biologia traw. Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica. Supplementum 9. PAN, Kraków, 31–42.
- Skarżyńska K.M. 1997. Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Kraków.
- Strzyszczyński Z. 1983. Rekultywacja terenów górnictwa podziemnego. Mat. symp. Ochrona i rekultywacja zasobów glebowych, Komitet Naukowo-Techniczny Federacji NOT do Spraw Kształtowania i Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Turnau K., Haselwandter K. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi, an essential component of soil microflora in ecosystem restoration. In: Mycorrhizal technology in agriculture. Birkhäuser, Basel, 137–149.
- Turnau K., Mleczko P., Blaudez D., Chalot M., Botton B. 2002. Heavy metal binding properties of *Pinus sylvestris* mycorrhizas from industrial wastes. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 71(3), 253–261.
- Woźniak G. 2010. Zróżnicowanie roślinności na zwałach pogórnich Górnego Śląska. Instytut Botaniki im. W. Szafera, PAN, Kraków.
- Woźniak G., Markowicz A., Borymski S., Piotrowska-Seget Z., Chmura D., Besenyei L. 2015. The relationship between successional vascular plant assemblages and associated microbial communities on coal mine spoil heaps. Community Ecology 16(1), 23–32.
- Zarzycki K., Trzcińska-Tacik H., Różański W., Szeląg Z., Wołek J., Korzeniak U. 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.

CZĘŚĆ IV

Techniczne i biologiczne oczyszczanie ziemi
i wód gruntowych

Przegląd metod remediacji i praktyczne zastosowanie bioremediacji w likwidacji zanieczyszczeń węglowodorami

Agnieszka Wolniewicz^{1,2}, Józef Czechowski¹,
Tomasz Kaliszewski¹, Roman Marecik²

1. Wprowadzenie

Substancje ropopochodne stanowią obecnie jedno z najczęstszych źródeł zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego. Do zanieczyszczenia gruntu i wód dochodzi m.in. w wyniku prowadzonej działalności gospodarczej, awarii w trakcie dystrybucji i transportu paliw, zarówno z wykorzystaniem rurociągów przemysłowych, transportu kolejowego czy drogowego [Chemlal et al. 2013, Guarino et al. 2017, Manli et al. 2017].

W przypadku zanieczyszczenia gruntu konieczność jego usunięcia reguluje Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska (POŚ) oraz Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie (ustawa szkodowa).

Dla historycznego zanieczyszczenia powierzchni ziemi, przez które rozumie się zanieczyszczenie powierzchni ziemi, które zaistniało przed dniem 30 kwietnia 2007 r. lub wynika z działalności, która została zakończona przed dniem 30 kwietnia 2007 r. jak również – szkodę w środowisku w powierzchni ziemi w rozumieniu art.6 pkt 11 lit. c ustawy z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie, która została spowodowana przez emisję lub zdarzenie, od którego upłynęło więcej niż 30 lat opieramy się na zapisach ustawy Prawo Ochrony Środowiska. W przypadku, kiedy do zanieczyszczenia w powierzchni ziemi doszło po 30 kwietnia 2017 r. proces remediacji jest przeprowadzany zgodnie z regulacjami zawartymi w ustawie szkodowej, tj. ustawie z dnia 13 kwietnia 2017 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie.

¹ PROTE Technologie dla Środowiska, ul. Dziadoszańska 10, 61-248 Poznań

² Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań

Obecnie proces usuwania zanieczyszczenia zarówno w przypadku historycznych zanieczyszczeń powierzchni ziemi jak i szkód w powierzchni ziemi określany jest jako remediacja, przez którą rozumiemy zgodnie z art. 101q. ustawy POŚ usunięcie zanieczyszczenia, przynajmniej do dopuszczalnej zawartości w glebie i w ziemi substancji powodujących ryzyko lub inne, prowadzące do usunięcia znaczącego zagrożenia dla zdrowia ludzi i stanu środowiska, z uwzględnieniem obecnego i, o ile jest to możliwe, planowanego sposobu użytkowania terenu, takie jak zmniejszenie ilości zanieczyszczeń, lub ograniczenie możliwości rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń i kontrolowanie zanieczyszczenia poprzez okresowe prowadzenie badań zanieczyszczenia gleby i ziemi w określonym czasie, lub przeprowadzenie samooczyszczania powierzchni ziemi.

Ze szczegółowymi wymaganiami w zakresie remediacji można zapoznać się analizując bezpośrednio zapisy ustawy i stosownych do nich delegacji lub też korzystając z różnych serwisów z zakresu ochrony środowiska czy dostępnej literatury i publikacji, jak np. w publikacji [Wiśniewska i Pusz 2017].

Istnieje wiele metod prowadzenia remediacji środowiska zanieczyszczonego zarówno związkami organicznymi jak i nieorganicznymi. Wśród metod remediacji gruntów można wyróżnić następujące metody: fizyczno-chemiczne, biologiczne i termiczne, zestalania i stabilizacji [Adamski 1993].

Dodatkowo metody te można podzielić na metody *ex-situ* i *in-situ*. Metoda *in-situ* – oznacza prowadzenie procesu remediacji w miejscu występowania zanieczyszczenia, bez konieczności przemieszczania gruntu. Metoda *ex-situ* – oznacza wymianę skażonego gruntu i dalsze zagospodarowanie powstałego odpadu poza terenem jego wytworzenia [Chowdhury et al. 2012].

W takim przypadku postępowanie z wytworzonymi w trakcie remediacji *ex-situ* opadami i spoczywające na wytwórcy odpadów obowiązki zostały zawarte w Ustawie z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach i stosownych rozporządzeniach do przedmiotowej ustawy. Należy również dodać, iż w przypadku gruntu zanieczyszczonego substancjami ropopochodnymi ustawodawca dopuścił możliwość prowadzenia procesu odzysku poza instalacjami i urządzeniami, a warunki jego prowadzenia czyli odzysk odpadu o kodzie ex 17 05 03* – gleba i ziemia zawierająca substancje ropopochodne w procesie R5 jako odzysk wydobytej gleby i ziemi polegający na usunięciu z niej substancji ropopochodnych zostały zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. 2015 poz. 796).

Dla wyżej wskazanych metod remediacji *in-situ* i *ex-situ* można zastosować dalszy podział jak poniżej:

1. Metoda *in-situ*:

- metody biologiczne (bioremediacja, fitoremediacja),
- metody fizyczne (ekstrakcja parowa/napowietrzanie, wspomagana termicznie ekstrakcja parowa z gleby, stosowanie barier, elektroremediacja),
- metody chemiczne (przemywanie gleby, stabilizacja/immobilizacja).

2. Metoda *ex-situ*:

- metody biologiczne (bioremediacja, kompostowanie, bioreaktory/landfarming).
- metody fizyczne (spalanie, desorpcja termiczna, ekstrakcja parowa z gleby, zautomatyzowana segregacja gleby),
- metody chemiczne (dehalogenacja, stabilizacja/zestalenie, ekstrakcja rozpuszczalnikowa, chemiczne i fotochemiczne utlenianie/redukcja) [Chowdhury et al. 2012].

Powyższe metody mogą być wobec siebie komplementarne i stosowane łącznie lub wybiórczo, w zależności od zanieczyszczenia, indywidualnych możliwości technicznych jakie mogą być zastosowane na danym obszarze, preferencji podmiotu zobowiązanego do przeprowadzenia remediacji i innych czynników mających bezpośredni lub pośredni wpływ na wybór metody remediacji [Szczepaniak et al. 2016].

Przy wyborze sposobu prowadzenia remediacji zanieczyszczonego gruntu najczęściej uwagę poświęca się metodom biologicznym, gdyż są one przyjazne naturze, skuteczne i tanie [Nano et al. 2013, Cappello et al. 2015, Haghollahi 2016, Szulc et al. 2014, Marecik et al. 2015]. Metody te polegają na przyspieszeniu i optymalizacji naturalnych procesów rozkładu mikrobiologicznego zachodzących w środowisku. Podstawową rolę w procesach bioremediacji odgrywają mikroorganizmy zdolne do wykorzystywania zanieczyszczeń w charakterze źródła węgla i energii. W procesie bioremediacji wykorzystuje się mikroorganizmy mające zdolność metabolicznego rozkładu niebezpiecznych substancji w mniej toksyczne lub nietoksyczne związki [Chowdhury et al. 2012].

Bioremediacja zanieczyszczonego środowiska gruntowego zanieczyszczonego związkami organicznymi i nieorganicznymi może być prowadzona przy pomocy metod *ex-situ* i *in-situ*. W praktyce często zdarza się że metody te są ze sobą łączone i komplementarne. Sporządzając projekt planu remediacji czy projekt działań naprawczych przy wyborze metody lub metod przeprowadzenia prac remediacyjnych należy brać pod uwagę m.in. aspekty ekonomiczne, środowiskowe i czasowe. W tabeli 1 zestawiono porównanie metod remediacji *in-situ* i *ex-situ*.

Tak więc, wybór metody i sposobu remediacji zależy od wielu czynników i jest on każdorazowo dobierany dla danego terenu poddawanego remediacji. Istotnym jest też dla każdej realizacji procesu remediacji posiadanie wykwalifikowanej i doświadczonej kadry, która dokonuje stosownej analizy w tym zakresie.

2. Sposób i przebieg procesu remediacji

Obecnie w Polsce odpowiednim doświadczeniem w zakresie prowadzenia procesu remediacji może pochwalić się zaledwie kilka firm. Do jednej z nich niewątpliwie należy PROTE Technologie dla Środowiska z Poznania. PROTE od ponad 20 lat specjalizuje się m.in. w likwidacji zanieczyszczeń naftowych w środowisku

Tabela 1. Wady i zalety metod remediacji

<i>IN-SITU</i>	
Zalety	Wady
✓ prowadzenie prac na funkcjonujących obiektach, ✓ niezależność technologii od stopnia skomplikowania zabudowy terenu, ✓ rozłożenie proporcjonalnie do przyjętego kalendarza prac obciążenia finansowego, ✓ minimalizacja ilości powstających odpadów lub też ich całkowity brak, ✓ brak kosztów związanych z wydobyciem, transportem i zagospodarowaniem odpadów.	✓ wydłużony czas prowadzenia prac i tym samym uzyskania zakładanego efektu ekologicznego.
<i>EX-SITU</i>	
Zalety	Wady
✓ czas prowadzonych prac – zanieczyszczenie jest usuwane w krótkim czasie, ✓ intensywność prowadzonych prac.	✓ czasowe wyłączenie terenu z eksploatacji, ✓ nakłady finansowe związane z wydobyciem, transportem oraz zagospodarowaniem odpadów ✓ ograniczone zastosowanie w pewnych warunkach zagospodarowania terenu np. obecności infrastruktury podziemnej, bliskość budynków itp.

gruntowo-wodnym. Na przestrzeni swojej działalności przeprowadziła z powodzeniem kilkaset projektów poczynawszy od oceny stanu zanieczyszczenia środowiska, likwidacji katastrof ekologicznych, po rekultywację terenów małych stacji benzynowych czy transformatorowych oraz kompleksowe przygotowanie terenów pod planowane inwestycje. Realizowane przez firmę projekty w zakresie usuwania różnego rodzaju zanieczyszczeń węglowodorami prowadzone są przede wszystkim z wykorzystaniem metod biologicznych i to zarówno w procesie *in-situ* jak i *ex-situ*.

Spśród zrealizowanych projektów kompleksowej rekultywacji/remediacji terenów poprzemysłowych na szczególną uwagę zasługuje zrealizowany przez PROTE projekt rekultywacji terenu byłej nasycalni podkładów kolejowych. Teren zanieczyszczony olejem krezotowym został poddany rekultywacji z wykorzystaniem kilku metod i sposobów m.in. metody fizycznej i biologicznej, jak również metod *in-situ* oraz *ex-situ*. W trakcie badań stanu zanieczyszczenia powyższego terenu mając na uwadze rodzaj substancji zanieczyszczającej stwierdzono zanieczyszczenie w głównej mierze wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA), węglowodorami aromatycznymi (BTEX) oraz fenolami i krezolami. Przedmiotowy teren poprzemysłowy byłej nasycalni podkładów o łącznej powierzchni ok. 16 ha stanowił obszar silnie zdegradowany, o zaburzonej powierzchni przez liczne ślady różnych prac rozbiórkowych i ziemnych w postaci hałd ziemno-gruzowych oraz bruzd i wykopów po zlikwidowanych instalacjach podziemnych. Rozpoznanie budowy geologicznej przedmiotowego terenu sięgało do maksymal-

nej głębokości 12 m p.p.t. i obejmowało głównie osady czwartorzędowe, które reprezentowane były przede wszystkim przez piaski kwarcowe drobne, średnie i gruboziarniste, tudzież żwirki. Powierzchnia terenu ze względu na silną presję antropogeniczną ulegała nieustannym przekształceniom, stąd w wielu miejscach udokumentowano również nasypy niekontrolowane o miąższości dochodzącej nawet do 3 m p.p.t., zbudowane z mieszaniny piasku, gleby, gruzu ceglanego i betonowego oraz szlaki. Zwierciadło wód podziemnych, o charakterze swobodnym, zalegało na głębokości 3–6 m p.p.t. Zgodnie z założeniami projektowymi mając na uwadze rodzaj, poziom i powierzchnię zanieczyszczenia, rekultywacja przedmiotowego terenu polegała na zastosowaniu bioremediacji metodą *in-situ* w miejscach o niskim stopniu zanieczyszczenia – w obrębie poletek remediacyjnych, natomiast grunty silnie zanieczyszczone miały zostać w pierwszej kolejności wydobyte, a następnie poddane procesowi płukania, celem dalszego biologicznego oczyszczania na pryzmie technologicznej zlokalizowanej w obrębie prowadzonych prac. I tak, w pierwszej kolejności z terenu objętego rekultywacją usunięto zalegające na powierzchni odpady hałd ziemno-gruzowych. Przeprowadzono także rozbiórkę fundamentów, posadzek i piwnic budynków, hal produkcyjnych i pomieszczeń technologicznych, zwracając przy tym szczególną uwagę na prawidłową selekcję powstających odpadów. Teren, na którym stworzono pryzmę bioremediacyjną przygotowano w taki sposób, aby otrzymać płaską powierzchnię, pozbawioną jakichkolwiek elementów, które mogłyby uszkodzić polietylenową geomembranę o dużej gęstości (PEHD), która cechuje się wyższą wytrzymałością mechaniczną oraz posiada wyższą temperaturę topnienia. Odporna jest również na działanie węglowodorów i ich chloropochodnych, roztworów kwasów, zasad i soli oraz niską temperaturę. Pryzma ta stopniowo była nadbudowywana podczyszczanymi w procesie płukania gruntami zyskując po drodze strefę rdzeniową z przekruszem zanieczyszczonym i rurami napowietrzającymi wewnątrz pryzmy.

Istotnym elementem prowadzonej rekultywacji było płukanie gruntu (*soil-washing*), określone również jako pranie gruntu, gdyż zastosowano m.in. środki powierzchniowo czynne. Istotnym elementem procesu płukania gruntu było użycie specjalistycznych łyżek przesiewających, które mogły także pracować w zanurzeniu. Dzięki specjalnym tarczom trących zanieczyszczona olejem ziemia była przecierana i to głównie powodowało odrywanie się cząstek organicznych, hydrofobowych od powierzchni ziaren mineralnych. Te powierzchnie po zwilżeniu wodą stawały się już nieprzyczepne dla większości niepolarnych z natury związków organicznych.

Płukanie gruntu dla każdej partii gruntu prowadzono trzykrotnie w jednym cyklu. W zbiorniku podzielonym na trzy części w pierwszej płukano grunty w obecności naturalnych biosurfaktantów, w drugiej traktowano wstępnie podczyszczony grunt biodegradowalnym detergentem, zaś w trzeciej komorze wyłącznie przepłukiwano „wyprane” w poprzednich zbiornikach partie gruntu. Po zakończeniu cyklu technologicznego poddany procesowi płukania/prania grunt był deponowany na izolowanej 2 milimetrową folią PEHD płycie odciekowej, a następnie w zależności

od stopnia „wyprania” był on deponowany na pryzmie bioremediacyjnej lub trafiał do wykopów powstałych w wyniku usuwania zanieczyszczonego gruntu. Woda odciekowa, systemem drenaży trafiała zwrótnie do zbiorników płuczących tym samym zapewniało zamknięty obieg wód technologicznych wykluczając ich emisję do środowiska bez oczyszczenia.

W trakcie procesu płukania prowadzone były badania jego skuteczności, które potwierdziły, iż przyjęta technologia trzykrotnego płukania zanieczyszczonych gruntów z wykorzystaniem łyżki przesiewającej dawała pozytywne efekty w postaci ujednoliconego i homogenicznego materiału, przy znaczącym obniżeniu ilości substancji organicznych w gruntach, dodatkowo zapewniając równomierne spulchnianie i napowietrzanie gruntu, co sprzyjało dalszym zabiegom związanym z bioremediacją. Proces płukania z wykorzystaniem łyżki powodował spadek zanieczyszczeń do 95%, w zależności od rodzaju gruntu poddawanego procesowi płukania oraz bazowego poziomu zanieczyszczenia. Wyniki analiz laboratoryjnych próbek gruntów poddanych procesowi płukania/prania wykazywały ilości zanieczyszczeń poniżej lub oscylujących na granicy normy dopuszczalnej dla gruntów przemysłowych.

Dalej, zgodnie z założeniami projektu rekultywacji, grunty wykazujące niewielką koncentrację zanieczyszczeń oraz grunty po procesie płukania/prania poddane zostały bioremediacji z zastosowaniem preparatu wyprodukowanego na bazie glebowych mikroorganizmów autochtonicznych, starannie wyselekcjonowanych z próbek gruntów pozyskanych z terenu objętego rekultywacją. Inokulum mikrobiologiczne opracowano i przygotowano w ilościach półtechnicznych w warunkach laboratoryjnych, następnie prowadzono pod nadzorem biotechnologicznym w warunkach polowych produkcję w zakresie wymaganym dla prowadzonej remediacji.

Równolegle też do prowadzonej bioremediacji kontrolowano skuteczność produkowanego preparatu poprzez prowadzenie doświadczenia polegającego na badaniu zmian stężenia WWA w gruntach przed płukaniem oraz poddanych płukaniu w funkcji czasu i potraktowanych wyprodukowanym biopreparatem, inicjując tym samym proces bioremediacji. Bioremediację prowadzono przez 50 tygodni. Na podstawie wyników analiz w obu przypadkach uzyskano spadek wartości badanych zanieczyszczeń w czasie, co jest o tyle istotne, że przygotowany na bazie mikroorganizmów autochtonicznych biopreparat, pozostawał równie skuteczny redukując zanieczyszczenia w próbce poddanej płukaniu czyli o zmniejszonej ekotoksyczności, jak i w próbce surowej, gdzie oprócz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych o wysokim stężeniu znajdowały się z pewnością inne węglowodory.

Bezpośrednio bioremediacji poddawane były grunty o niskim stopniu zanieczyszczenia na poletkach rekultywacyjnych oraz grunty deponowane na pryzmie technologicznej. Monitoring procesu rekultywacji prowadzony był w obrębie obszarów, które były w pierwszej kolejności pochodną rozpoznanych procesów technologicznych i przypadków rozpoznanego zanieczyszczenia, następnie zaś związane były z utworzonymi ostatecznie poletkami remediacyjnymi i powstałą pryzmą bioremediacyjną.

W wyniku przeprowadzonego procesu rekultywacji gleb i gruntów na terenie poletek uzyskano wymagane wartości stężeń dla terenów przemysłowych dla badanych substancji chemicznych, które przed rozpoczęciem rekultywacji kilkukrotnie przekraczały najwyższe dopuszczalne stężenia. Grunty zgromadzone na kwaterze bioremediacyjnej po zakończeniu prac charakteryzowały się jeszcze stosunkowo dużą koncentracją zanieczyszczeń, w szczególności w zakresie sumy WWA oraz zawartości antracenu i fluorantenu. Stan ten nie był zaskoczeniem, gdyż takie były również założenia przyjęte już na etapie projektowania procesu rekultywacji, gdzie zakładano, że dla słabiej upranego lub zdeponowanego na przymie technologicznej, tuż przed zakończeniem robót, gruntu proces bioremediacji będzie przebiegał wolniej.

Niemniej jednak w trakcie procesu biologicznej dekompozycji zanieczyszczeń gruntów zdeponowanych na przymie w prowadzonych punktach pomiarowych odnotowano spadki zanieczyszczenia sumy WWA w zakresie 47–92%. Efekty przeprowadzonej rekultywacji terenu były nasycalni podkładów kolejowych spotkały się z pozytywną opinią zlecniodawcy, jak również organu nadzorującego proces rekultywacji.

3. Podsumowanie

Bioremediacja jest najczęściej stosowaną metodą likwidacji zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi. Znajduje ona zastosowanie zarówno dla remediacji prowadzonej w miejscu występowania zanieczyszczenia, jak również dla oczyszczania gruntu na przymach remediacyjnych. W przypadku bioremediacji trudniej biodegradowalnych związków jakimi niewątpliwie są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne o wysokich stężeniach, w zależności jednak od rodzaju gruntu zastosowanie może znaleźć metoda fizycznego płukania/prania gruntów. Zastosowanie metody płukania/prania gruntów pozwala na znaczne obniżenie pierwotnego stężenia węglowodorów, które w skrajnych wypadkach mogłyby oddziaływać toksycznie na mikroorganizmy i tym samym hamować proces bioremediacji.

Przeprowadzony proces rekultywacji terenu poprzemysłowego z zastosowaniem łączonych metod i sposobów rekultywacji pozwolił na uzyskanie oczekiwanego efektu ekologicznego, a tym samym na dalsze zagospodarowanie zdegradowanego i zanieczyszczonego wcześniej terenu.

Bibliografia

- Adamski W. 1993. Nowoczesne technologie rekultywacji skażonych gleb. *Ochrona Środowiska* 1–2/1993, 7–17.
- Cappello S., Calogero R., Santisi S., Genovese M., Denaro R., Genovese L., Giuliano L., Mancini G., Yakimov MM. 2015 Bioremediation of oil polluted marine sediments: A bio-engineering treatment. *Int Microbiol.* 18(2), 27–34.

- Chemlal R., Abdi N., Lounici H., Drouiche N., Pauss A., Mameri N. 2013. Modeling and qualitative study of diesel biodegradation using biopile process in sandy soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 78, 43–48.
- Chowdhury S., Bala NN., Dhauria P. 2012. Bioremediation – a natural way for cleaner environment. *International Journal of Pharmaceutical. Chemical and Biological Sciences*, 2(4), 600–611.
- Czechowski J. 2016. Dokumentacja powykonawcza. PROTE Technologie dla Środowiska, Poznań.
- Guarino C., Spada V., Sciarrillo R. 2017. Assessment of three approaches of bioremediation (Natural Attenuation, Landfarming and Bioaugmentation – Assisted Landfarming) for a petroleum hydrocarbons contaminated soil. *Chemosphere* 170, 10–16.
- Hagholahi A., Fazaelipour M.H., Schaffie M. 2016. The effect of soil type on the bioremediation of petroleum contaminated soils. *Journal of Environmental Management* 180, 197–201.
- Manli W., Wei L., Warren A. D., Xiqiong Y., Kaili C., David K., Liming C. 2017. Bioremediation of hydrocarbon degradation in a petroleum contaminated soil and microbial population and activity determination. *Chemosphere* 169, 124–130.
- Marecik R., Chrzanowski T., Piotrowska-Cyplik A., Juzwa W., Biegańska-Marecik R. 2015. Rhizosphere as a tool to introduce a soil-isolated hydrocarbon-degrading bacterial consortium into a wetland environment. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 97, 135–142.
- Nano G., Borroni A., Rota R. 2003. Combined slurry and solid phase bioremediation of diesel contaminated soils. *Journal of Hazardous Material* 100, 79–94.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. 2015 poz. 796).
- Szczepaniak Z., Czarny J., Staninska-Pięta J., Lisiecki P., Zgoła-Grześkowiak A., Cyplik P., Chrzanowski Ł., Wolko Ł., Marecik R., Juzwa W., Glazar K., Piotrowska-Cyplik A. 2016. Influence of soil contamination with PAH on microbial community dynamics and expression level of genes responsible for biodegradation of PAH and production of rhamnolipids. *Environmental Science and Pollution Research*. 23(22), 23043–23056.
- Szulc A., Ambrożewicz D., Sydow M., Ławniczak Ł., Piotrowska-Cyplik A., Marecik R., Chrzanowski Ł. 2014. The influence of bioaugmentation and biosurfactant addition on bioremediation efficiency of diesel-oil contaminated soil: Feasibility during field studies. *Journal of Environmental Management* 132, 121–128.
- Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska (Dz.U. 2018 poz. 799).
- Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie (Dz.U. 2018 poz. 954).
- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2018 poz. 992).
- Wiśniewska M., Pusz A. 2017. Postępowanie z zanieczyszczonymi terenami przemysłowymi w aspekcie nowych przepisów prawnych – część I. Historyczne zanieczyszczenie powierzchni ziemi. *Inżynieria Ekologiczna*, 18(1), 227–223.

Pryzmowy sposób biologicznej sanitacji ziemi zaolejonej

Jan Siuta¹

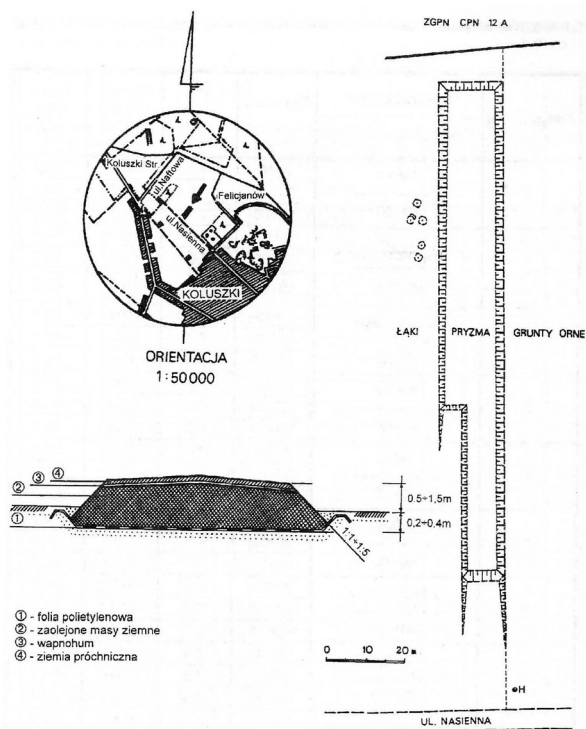
1. Wprowadzenie

Biodegradacyjną pryzmę ukształtowano wiosną 1993 r. z ziemi zanieczyszczonej wyciekami oleju napędowego z rurociągu Przedsiębiorstwa Eksploatacji Rurociągów Naftowych w Płocku. Wycieki oleju ujawniono w drugiej połowie lata 1992 w sąsiedztwie bazy CPN Koluszki. Obszar i stan zaolejenia gruntu określono na podstawie 13 odwiertów (do głębokości 4,0–9,0 m) wykonywanych przez „EKO-PRODUKT” w Łodzi. Przedsiębiorstwo Geologiczne, Zakład w Łodzi stwierdziło w pobranych próbkach ziemi następujące ilości produktów naftowych:

- 0,43–3,25% w odwiercie 1,
- 0,21–0,53% w odwiercie 2,
- 0,58–3,64% w odwiercie 3,
- 0,32–1,67% w odwiercie 4,
- 0,74–2,26% w odwiercie 5,
- 0,06–0,76% w odwiercie 6,
- 0,12–2,17% w odwiercie 6a,
- 0,08–2,40% w odwiercie 7,
- 0,14–0,70% w odwiercie 8,
- do 2,32% w odwiercie 9,
- do 0,36% w odwiercie 10,
- 0,03–4,45% w odwiercie 11,
- 0,08–3,43% w odwiercie 12.

Konieczność pilnego usunięcia zaolejonej ziemi wynikająca głównie z potrzeby natychmiastowej naprawy uszkodzonego rurociągu wymusiła szybkie działanie, realne w powstałej sytuacji. Zaproponowano więc przemieszczenie zaolejonej ziemi na uszczelnioną (folią) powierzchnię pobliskiego gruntu oraz ukształtowanie z niej pryzmy pokrytej około 20 cm (rys. 1). Warstwą ziemi próchniczej z do-

¹ Honorowy Prezes Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej, Instytut Ochrony Środowiska – PIB, ul. Krucza 5/11, 05-548 Warszawa



Rys. 1. Lokalizacja i struktura biodegradacyjnej pryzmy w Koluszkach

datkiem wapnohumu tworząc niezbędne warunki do życia roślin i biologicznego rozkładu ropopochodnych składników.

Całość prac ziemnych została wykonana według zasad podanych przez Instytut Ochrony Środowiska, ale bez autorskiego nadzoru. Ze względu na prototypowy charakter pryzmy i wczesnowiosenną, deszczową porę roku, wykonanie pryzmy odbiegało od założeń (tab. 1). Dotyczy to głównie ukształtowania powierzchni i warstwy próchniczej.

2. Zmiany zawartości produktów naftowych w pryzmie

Maksymalne stwierdzone zawartości produktów naftowych w próbkach pobranych z odwiertów zaolejonego gruntu wynosiły od 0,36% do 4,45% suchej masy. Minimalne zawartości tych składników w odwiertach wynosiły od śladowych ilości do 0,74%. W próbkach pobranych losowo z pryzmy trzykrotnie w 1993 r. stwierdzono od 0,05% do 3,25% produktów naftowych. Największą ich koncentrację stwierdzono w silnie zaolejonych fragmentach skarp w części przyległej do bazy CPN oraz w przyskarpowym napływie ziemi z rozmywanej pryzmy (3,63%). Minimalne stwierdzone zawartości produktów naftowych w próbkach pobranych z czterech głębokości (0–100 cm) wynosiły 0,05% do 0,37%, a maksymalne 0,96% do 3,25%.

Tabela 1. Parametry biodegradacyjnej pryzmy zaolejonej ziemi w Koluszkach

Powierzchnia pryzmy w zasięgu ukształtowania		0,18 ha
Powierzchnia wierzchowin		0,14 ha
Powierzchnia skarp	w rzucie	0,04 ha
	rzeczywista przy średnim nachyleniu stoku 1 : 1,25	0,05 ha
Powierzchnia rzeczywista pryzmy (wierzchowiny i skarpy)		0,19 ha
Udział w powierzchni pryzmy	wierzchowina	< 3
	skarpy	> 1
Wyniesienie wierzchowiny	zakres	0,5–1,5 m
	średnio	1,0 m
Zagłębienie spągu pryzmy w uszczelnionej niecce	zakres	0,2–0,4 m
	średnio	0,3 m
Grubość warstwy ziemi w przyźmie	zakres	0,7–1,9 m
	średnio	1,3 m
Objętość ziemi zdeponowanej w przyźmie		ok. 2,2 tys. m ³
Rezerwa przygotowanego terenu w sąsiedztwie pryzmy (niecka od strony drogi)		0,07 ha

W roku 1994 minimalne stwierdzone zawartości produktów naftowych wynosiły 0,01–0,02%, a maksymalne 0,51–1,81% (3,65% w silnie zaolejonym miejscu skarpy).

W 1995 r. minimalne stwierdzone zawartości produktów naftowych wynosiły 0,02% do 0,16%, a maksymalne 0,26% do 1,40% (tab. 2, 3, 4). Na polu uprawnym i na trwale zadarnionym odługu stwierdzono 0,05% do 0,11% wyciągu eterowego. W próchniczej warstwie gleby na wierzchowinie pryzmy maksymalne zawartości ropopochodnych składników wynosiły:

- 0,42% w maju,
- 0,30% we wrześniu,
- 0,22% w listopadzie.

Na głębokości 20–30 cm maksymalne pozostałości ropopochodnych składników wynosiły:

- 1,16% w maju,
- 1,07% we wrześniu,
- 0,72% w listopadzie.

Na głębokości 50–60 cm maksymalne zawartości wynosiły:

- 0,96% w maju,
- 1,40% we wrześniu,
- 1,32% w listopadzie.

W listopadzie zawartości ekstraktu na głębokości 80–100 cm wynosiła od 0,08% do 0,76%, a na głębokości 110–120 cm od 0,10% do 0,43%. Zmienność zawartości

Tabela 2. Stan roślinności i zawartość ekstraktu eterowego na wybranych powierzchniach przyzmy 11.05.1995 r.

Powierzchnia	Stan roślinności % plonu maksymalnego	Głębokość	PH wH ₂ O	Ekstrakt eterowy	Sucha masa
		cm ppt		% s.m.	%
1	średni 40–60	0-10	7,1	0,03	93,2
		20-30	7,0	0,40	90,8
		50-60	7,1	0,53	90,1
2	bardzo dobry 80–100	0-10	7,0	0,20	90,4
		20-30	7,0	0,34	90,2
		50-60	7,1	0,43	89,5
3	bardzo słaby 0–20	0-10	7,2	0,07	92,8
		20-30	7,2	0,45	91,5
		50-60	7,3	1,32	88,1
4	średni 40–60	0-10	7,3	0,068	90,3
		20-30	7,0	0,23	90,8
		50-60	7,2	0,48	89,4
5	dobry 60–80	0-10	7,1	0,04	93,0
		20-30	7,0	0,26	91,0
		50-60	7,0	0,76	88,6
6	dobry 60–80	0-10	7,3	0,025	90,8
		20-30	7,2	0,31	89,4
		50-60	7,3	0,50	86,6
7	bardzo dobry 80–100	0-10	7,2	0,023	90,8
		20-30	7,2	0,245	90,0
		50-60	7,2	0,482	89,6
8	słaby 20–40	0-10	7,3	0,425	92,8
		20-30	7,3	0,978	91,2
		50-60	7,3	0,379	87,4
9	bardzo debry 80–100	0-10	7,3	0,16	94,3
		20-30	7,2	0,39	90,4
		50-60	7,2	0,72	89,4
10	bardzo dobry 80–100	0-10	7 4	0,095	90,3
		20-30	7,3	0,22	90,0
		50-60	7,3	0,51	89,8

Tabela 3. Zawartość ekstraktu eterowego i składników pokarmowych na wybranych powierzchniach przyzmy 21.09.1995 r.

Pow.	% plonu max.	Głębokość	pH		Zawartość						C:N
			H ₂ O	KCl	Ekstrakt eterowy	Próchnica	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	
		cm ppt			%s.m.			mg/100g s.m.			
1	44,7	0–10	7,0	5,7	0,16	1,82	0,040	16,5	31,5	5,4	26,4
		20–30	7,1	6,4	1,01	3,98	0,087	14,8	13,0	6,5	26,5
		50–60	7,0	-	0,52	-	-	-	-	-	-
2	78,2	0–10	7,0	7,3	0,20	2,16	0,14	39,0	31,5	11,3	9,0
		20–30	7,0	5,9	0,71	1,24	0,042	10,0	11,5	11,2	17,1
		50–60	7,0	-	0,42	-	-	-	-	-	-
3	34,2	0–10	7,3	7,3	0,12	2,45	0,034	34,0	28,0	11,7	41,8
		20–30	7,2	5,2	1,20	1,04	0,040	6,2	6,0	10,4	15,1
		50–60	7,1	-	1,40	-	-	-	-	-	-
4	100,0	0–10	7,0	7,4	0,08	2,62	0,039	40,0	67,0	10,9	39,0
		20–30	7,0	5,1	0,09	0,97	0,040	5,4	8,0	16,8	14,1
		50v60	7,0	-	0,07	-	-	-	-	-	-
5	83,8	0–10	7,2	5,8	0,083	2,55	0,152	32,0	59,0	10,2	9,7
		20–30	7,2	6,4	0,032	3,06	0,044	17,0	11,0	8,2	40,3
		50–60	7,2	-	0,053	-	-	-	-	-	-
6	62,2	0–10	7,1	7,7	0,07	3,67	0,209	3,5	28,0	30,5	10,2
		20–30	7,1	6,9	0,12	1,43	0,082	16,0	7,5	10,6	10,1
		50–60	7,1	-	0,12	-	-	-	-	-	-
7	93,2	0–10	7,0	7,8	0,015	4,26	0,272	3,3	49,0	30,6	9,1
		20–30	7,0	7,3	0,05	3,05	0,134	12,5	18,5	36,3	13,2
		50–60	7,2	-	0,01	-	-	-	-	-	-
8	65,9	0*10	7,3	7,4	0,017	2,58	0,136	49,0	29,5	11,8	11,0
		20*30	7,2	6,7	0,02	1,84	0,065	14,8	6,5	11,0	16,4
		50*60	7,2		0,24	-	-	-	-	-	-
9	23,6	0–10	7,1	7,2	0,30	3,05	0,162	21,6	34,0	7,9	10,9
		20–30	7,1	7,0	0,37	1,99	0,040	9,5	11,0	23,5	28,9
		50–60	7,1	-	0,28	-	-	-	-	-	-
10	25,5	0–10	7,0	-	0,10	-	-	-	-	-	-
11	82,9	0–10	7,1	-	0,09	-	-	-	-	-	-
12	72,4	0–10	7,1	-	0,10	-	-	-	-	-	-

Tabela 4. Stan roślinności i zawartość ekstraktu eterowego na wybranych powierzchniach przyzmy 27.11.1995 r.

Powierzchnia	Stan roślinności % plonu maksymalnego	Głębokość	pH w H ₂ O	Ekstrakt eterowy	Sucha masa
		cm ppt		% s.m.	
1	dobry 60–80	0-10	7,2	0,065	92,2
		20-30	7,1	0,192	90,0
		50-60	7,1	0,93	89,4
		80-100	7,1	0,60	88,1
2	bardzo dobry 80–100	0-10	7,2	0,18	91,0
		20-30	7,1	0,22	88,6
		50-60	7,0	0,50	88,4
		80-100	7,1	0,077	88,2
3	średni 40–60	0-10	7,1	0,132	90,1
		20-30	7,1	0,69	90,5
		50-60	7,0	1,317	88,6
		80-100	7,0	0,768	85,8
4	bardzo dobry 80–100	0-10	7,0	0,11	78,9
		20-30	7,1	0,16	87,2
		50-60	7,1	0,573	90,4
		80-100	7,1	0,425	88,5
5	dobry 60–80	0-10	7,2	0,22	73,1
		20-30	7,1	0,21	87,2
		50-60	7,1	0,79	88,8
		80-100	7,1	0,53	90,8
Profil 2	bardzo dobry 80–100	0-10	7,0	0,100	90,4
		20-25	7,1	0,002	89,5
		40-50	7,0	0,001	90,2
		52-450	7,0	0,0025	88,4
		95-100	7,2	0,003	85,2
		110-120	7,2	0,096	89,8
Profil 1	dobry 60–80	0-8	7,1	0,133	91,2
		20-25	7,5	0,025	92,3
		45-50	7,0	0,050	90,4
		75-80	7,2	1,187	91,4
		115-120	7,5	0,437	90,8
Powierzchnie porównawcze	użytek zielony w zaniechanym użytkowaniu	0-10	7,3	0,075	91,8
		50-450	7,3	0,047	92,3
	pole uprawne pod oziminą	0-10	7,3	0,075	91,6

ekstraktu eterowego w pionowym układzie pryzmy ilustrują wyniki badań profili (odkrywek) glebowych, zilustrowanych fotograficznie.

W profilu 1 gleba była całkowicie wolna od pozostałości ropopochodnych składników do głębokości 50 cm. Na głębokości 75–80 cm zawierała ich 1,18%, a na głębokości 115–120 cm tylko 0,43%. W profilu 2 ziemia wykazała zaledwie śladowe ilości wyciągu eterowego.

O tak dużej zmienności procentowego udziału ropopochodnych substancji w ziemi decyduje wiele czynników, ale do najważniejszych zalicza się:

- wyjściowy stan zaolejenia ziemi.
- zwiążłość zaolejonej ziemi,
- zmienność przestrzenna składu i zaolejenia ziemi w pryzmie,
- dostępność tlenu i składników pokarmowych dla bakterii rozkładających węglowodory.

Soczewy (wkładki) silnie zaolejonej ziemi o dużej zwiążłości (gлина, іл) znajdujące się w otoczeniu przepuszczalnych dla wody i powietrza utworach piaszczysto-gliniastych są bardzo odporne na biodegradację. Olej pochłonięty przez zwiążłe gliny (iły) jest bardzo mało ruchliwy. Jednocześnie uniemożliwia dostęp wody, tlenu i składników pokarmowych, a nawet penetrację mikroorganizmów rozkładających węglowodory. Pozostałości ropopochodnych składników w soczewach i warstwach zwiążłych i próchnicznych masach nie mają obecnie istotnego wpływu na vegetację roślin oraz na jakość gruntowego podłoża i zewnętrznego otoczenia, ani też na rolniczą użyteczność przy zmożonego gruntu.

Agrotechniczne właściwości analizowano w glebie na głębokościach: 0–10 cm i 20–30 cm. Odczyn powierzchniowej i podpowierzchniowej warstwy był obojętny (pH w H_2O 7,0–7,3). Zawartość przyswajalnego fosforu (P_2O_5) we wrześniu 1995 r. wynosiła 3,5–49 mg/100 g gleby na głębokości 0–10 cm oraz 5,4–17,0 mg/100 g na głębokości 20–30 cm.

Bardzo duża zmienność zawartości fosforu w powierzchniowej warstwie świadczy o nierównomiernym wysiewie nawozu mineralnego. Zapotrzebowanie roślin w fosfor było dobre, ponieważ w tych miejscach gdzie stwierdzono 3,3 i 3,5 mg P_2O_5 /100 g gleby na głębokości 20–30 cm, gleba zawierała 12,5 i 16,0 mg P_2O_5 (tab. 3). Zawartość przyswajalnego potasu (K_2O) była od dużej do bardzo dużej (28,0–67,0 mg) na głębokości 0–10 cm oraz średnia na głębokości 20–30 cm. Zaopatrzenie roślin w potas było więc bardzo dobre. Zawartość przyswajalnego magnezu wahała się od 5,4 mg/100 g do 30,6 mg/100 g gleby na głębokości 0–10 cm oraz 6,5 mg/100 g do 36,6 mg/100 g gleby na głębokości 20–30 cm. Zaopatrzenie roślin w ten składnik jest optymalne.

Zawartość składników mineralnych w roślinach analizowano oddzielnie dla bardzo dobrego, dobrego i słabego stanu vegetacji. Zbieżność bardzo dobrej vegetacji roślin z zawartością w nich azotu, fosforu i potasu jest ewidentna. Widać to najwyraźniej na przykładzie azotu. Rośliny bardzo dobrego stanu zawierały 3,90% N, dobrego stanu 2,24% N, a słabego stanu 1,85% N (tab. 5).

Przymowa biodegradacja ziemi zaolejonej w Koluszkach



Fot. 1-2. Skarpa przyzmy przed wysianiem roślin i w pierwszym sezonie wegetacyjnym



Fot. 3-4. Przyzma jesienią w trzecim sezonie wegetacyjnym



Fot. 5-6. Gleba, szata roślinna oraz system korzeniowy roślin w glebie pod koniec trzeciego sezonu wegetacyjnego

Tabela 5. Zawartość składników w roślinach 27.06.1995 r.

Powierzchnie	Stan roślinności	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
		% s.m. s.m.				
4, 5, 7	bardzo dobry	3,90	1,20	4,76	0,29	0,23
2, 6, 8	dobry	2,24	0,78	3,36	0,35	0,22
1, 3, 9	średni i słaby	1,85	0,77	3,08	0,34	0,23

Interesująco przedstawiają się wyniki pomiaru temperatury na różnych głębokościach pryzmy w dniu 27.11.1995 r. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki pomiaru temperatury i zawartości ekstraktu eterowego w warstwach 0–10 cm, 20–30 cm, 50–60 cm i 80–100 cm. Ilustruje on bardzo dużą zbieżność temperatury ziemi i zawartości w niej ekstraktu eterowego. Najwyższe temperatury i największe zawartości ekstraktu stwierdzono na głębokości 50–60 cm. Zależność temperatury od zawartości ekstraktu jest powodowane przez ciepło wydzielane w procesie biodegradacji ropopochodnych składników. Na szczególną uwagę zasługują mniejsze zawartości ekstraktu eterowego w warstwie na głębokości 80–100 cm, niż na głębokości 50–60 cm. Prawidłowość ta znajduje morfologiczny (barwny) wyraz w przekrojach glebowych (fot. 5–6).

Z morfologicznego obrazu przekroju gleby i zawartości wyciągu eterowego wnosi się, że dolna część pryzmowej ziemi osiągnęła wyższy stopień sanitacji niż środkowa, że do niej dociera tlen atmosferyczny, mimo to może występować czasowy nadmiar wody (ze względu na uszczelnienie podłoża).

Reasumując, po trzy letnim okresie (3 sezony wegetacyjne) biodegradacji zaolejonej ziemi, przebiegu wegetacji oraz stanie szaty roślinnej w 1995 r. stwierdza się, że pryzmowy grunt może być użytkowany rolniczo bez żadnych ograniczeń, oraz, że nie ma potrzeby usuwania zdeponowanej ziemi z miejsca jej obecnego zalegania. W następnych latach będzie postępowała sanitacja zaolejonej ziemi. Wykształcone biologicznie złoża (mikroorganizmy i system korzeniowy roślin) przemieszczają się systematycznie do środkowej i dolnej części pryzmy. W ślad za postępem biodegradacji ropopochodnych składników, ziemię opanowuje system korzeniowy roślin.

3. Zasady formowania złoża zaolejonej ziemi i prowadzenia w nim biodegradacji ropopochodnych składników

Teoretyczne podstawy biologicznego rozkładu ropopochodnych składników w glebach i technicznie ukształtowanych złożach omówiono w publikacji prof. J. Siuty [1997]. Liczne zagraniczne firmy (przy współudziale firm krajowych) oferują swe usługi i preparaty do biodegradacyjnej sanitacji ziemi (gruntu) i wód gruntowych. Biodegradacyjne sposoby sanitacji zaolejonych gruntów są preferowane ze względów ekonomicznych, technicznych i ekologicznych.

Biodegradacyjna sanitacja zaolejonej ziemi może być prowadzona na miejscu bez konieczności przemieszczania ziemi lub w bezpośrednim sąsiedztwie zaolejonego gruntu. Drugi wariant może być wymuszony przez konieczność szybkiego usunięcia ziemi z miejsca jej zanieczyszczenia w celu ochrony wód podziemnych lub naprawy instalacji podziemnych.

Sanitacja przemieszczonej ziemi może być realizowana różnymi sposobami, poczynając od pól naturalnych i najtańszych metod do wysoko wydajnych, ale też kosztownych technologii. Stosowanie tego rodzaju technologii jest możliwe i zasadne, wtedy gdy odległości od miejsc występowania zaolejonych gruntów do sanitacyjnych urządzeń są niewielkie, a drogi dojazdowe odpowiadają. Zupełnie odmienne warunki występują w miejscach awarii rurociągów naftowych poza miejsko-przemysłowymi strukturami. Przykładem tego jest awaryjny wyciek oleju w Koluszkach, który zanieczyścił bardzo dużą objętość gruntu.

Zaistniała konieczność szybkiego usunięcia zaolejonego gruntu, głównie z powodu:

- naprawy uszkodzonego rurociągu,
- ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem.

Zaprojektowanie i zbudowanie odpowiednio urządzonego basenu do biodegradacji zaolejonej masy ziemnej wymagałoby długiego czasu i dużych nakładów finansowych. Ponadto basen ten byłby (przypuszczalnie) nieużyteczny po zakończeniu sanitacji zaolejonej ziemi.

Projektując i realizując biodegradacyjną sanitację dużych mas zaolejonej ziemi należy mieć na względzie nie tylko robociznę i koszty uformowania złoża i prowadzenia biodegradacji, lecz także koszty wynikające ze sposobu postępowania z oczyszczonymi masami ziemi i miejscowym gruntem. Konieczność ponownego przemieszczania oczyszczonej ziemi i rekultywowania gruntu byłaby bardzo kosztowna, zwłaszcza w warunkach niskiej ceny gruntów wiejskich oraz podmiejskich. Na terenach wiejskich najbardziej zasadne jest uformowanie biodegradacyjnego użytku, bez konieczności dodatkowych prac ziemnych i finansowania nakładów.

Biodegradacyjna przyzma w Koluszkach spełnia w dużym stopniu ten warunek. Mogłaby spełnić go w całości, gdyby założenia projektowe zostały wykonane z odpowiednią dokładnością. Mimo niedociągnięć w wykonawstwie robót ziemnych nie ma potrzeby modyfikowania istniejącej bryły przyzmy. Do wiosny 1994 r. jest już ona użytkowana rolniczo, jak każdy inny grunt. Tylko intensywne nawożenie mineralne, niezbędne do intensywnego życia mikroorganizmów i roślin, zwiększa koszty roślinnej produkcji (są one zresztą pokrywane dzięki biologicznej sanitacji ziemi w przyzmie).

Nie negując użyteczności innych sposobów biodegradacyjnej sanitacji zanieczyszczonej ziemi, w dalszej części przedstawiono sposób formowania złoża oraz biodegradacji zaolejonej ziemi, stanowiącej następnie grunt do rolniczego wykorzystania.

4. Parametry i sposób formowania biodegradacyjnego złoża zaolejonej ziemi, stanowiącego grunt glebotwórczy

Złoże zaolejonej ziemi powinno być odizolowane od pokrywanego gruntu, w sposób zabezpieczający przed infiltracją wody i ropopochodnych składników do podłoża. W tym celu powierzchnię podłoża (czaszę dla zaolejonej ziemi) należy wyłożyć geomembraną o trwałości co najmniej 10 lat. Powierzchnia deponowania zaolejonej ziemi powinna być obniżona o co najmniej 30 cm w stosunku do rzędnej przyległego terenu. Zagłębienie to nie może być większe, ani równe grubości złoża zaolejonej ziemi. Zależnie od docelowego przeznaczenia gruntu wyniesienie złoża względem przyległego terenu wynosi 30–120 cm.

Grubość złoża zaolejonej ziemi wraz z pokrywającą warstwą ziemi próchniczej powinna tworzyć niezbędne warunki do optymalnego wzrostu i plonowania roślin, mimo izolacji tego złoża od gruntowego podłoża. Dla utworów zwięzłych (gлина, pył ilasty, il) optymalna grubość warstwy wynosi 100–120 cm, a dla piasków gliniastych 120–150 cm. Uszczelniającą wykładziną pokrywa się całą czaszę (wraz ze skarpami) wkopu oraz około 30 cm szerokości pas przyległego gruntu.

W przypadku gdy grunt przeznaczony do nałożenia biodegradacyjnego złoża zaolejonej ziemi ma glebę, zdejmuje się z niego próchniczą warstwę, której grubość wynosi zwykle 20–30 cm. Zdjętą ziemię przeznacza się do ukształtowania próchniczej warstwy na powierzchni biodegradacyjnego złoża. Układając biodegradacyjną warstwę ziemi należy dążyć do spełnienia następujących wymogów:

- nie różnicowanie, a uśrednianie składu mechanicznego (zwięzłości) ziemi w kształtowaniu złoża;
- z najmniej zaolejonych mas ziemi należy formować dolną część złoża, a z najbardziej zaolejonych mas – górną część złoża;
- ziemię poziomu próchniczego niezależnie od stopnia jej zaolejenia należy układać w górnej części złoża, ponieważ zawarta w niej masa organiczna tworzy beztlenowe warunki przy niedostatecznym dostępie powietrza;
- nie pomniejszanie naturalnej porowatości deponowanej ziemi warunkuje korzystny przebieg biodegradacji, a jej pomniejszenie poważnie spowalnia tempo biodegradacyjnych procesów, biodegradacyjne złoża należy formować usypowo bez kołowego transportu;
- biodegradacyjnego złoża nie należy formować z ziemi mokrej o konsystencji mazistej, dotyczy to zwłaszcza wyrównywania powierzchni złoża przy pomocy kołowego sprzętu.

Na wyrównaną powierzchnię biodegradacyjnego złoża nakłada się około 20 cm warstwę ziemi próchniczej, zdjętej uprzednio z gruntu przeznaczonego pod to złożo lub pozyskanej w inny sposób. Do ziemi próchniczej należy wprowadzić szczepionkę mikroorganizmów rozkładających ropopochodne składniki. Może to być wapnohum z Petrochemii w Płocku we lub jedna z jej handlowych szczepionek do biodegradacji ropopochodnych składników w masach ziemnych.

W przypadku gdy zaolejona ziemia ma kwaśny odczyn (pH w wodzie mniejsze od 6,0) wtedy niezbędne jest jej wapnowanie. Płocki wapnohum oprócz mikroorganizmów rozkładających ropopochodne składniki zawiera węglan wapnia, w ilości niezbędnej do odkwaszania ziemi.

Powierzchnia biodegradacyjnego złoża wraz z około 20 cm warstwą ziemi próchniczej powinna być dobrze wyrównana i mieć jednokierunkowy spadek, zapewniający swobodny spływ nadmiaru wody podczas obfitych i długotrwałych opadów atmosferycznych. Nachylenie skarp biodegradacyjnego złoża dostosowuje się do potrzeby docelowego użytkowania gruntu. Zwykle kształtuje się skarpy z nachyleniem 1:1,5–2,5.

Na powierzchnię uformowanego biodegradacyjnego złoża wprowadza się rośliny trawiaste, które tworząc zwartą, stale zieloną szatę chroniącą ziemię przed erozyjnym działaniem wody i wiatru, a jednocześnie zużywając duże ilości wody ograniczają wymywanie ropopochodnych substancji ze złoża zaolejonej ziemi. Odpowiednio duże nawożenie (głównie mineralne) zapewnia roślinom składniki niezbędne do intensywnego wzrostu i parowania wody oraz mikroorganizmom do rozwoju i mineralizacji (biodegradacji) ropopochodnych składników.

Zadaniem nawożenia jest zaspokojenie równocześnie życiowych potrzeb roślin i mikroorganizmów rozkładających ropopochodne składniki. Wynika stąd potrzeba stosowania co najmniej podwójnych dawek nawozów mineralnych według agrotechnicznych norm dla roślin trawiastych. Dotyczy to głównie azotu i fosforu. Zaleca się stosowanie corocznie (w ciągu trzech pierwszych lat uprawy) następujące ilości nawozów mineralnych:

- 500 kg N na hektar, dwukrotnie po 250 kg;
- 3 00 kg K₂O na hektar, dwukrotnie po 150 kg;
- 120 kg P₂O₅ na hektar jednorazowo.

Mieszanek traw łąkowych wysokich wysiewa się bezpośrednio po ukształtowaniu biodegradacyjnego złoża (wraz z warstwą ziemi próchniczej) w dowolnej porze wegetacyjnego sezonu. Należy wysiać 2–3 krotną agrotechniczną normę nasion. Trawy należy kosić i masę usuwać z powierzchni biodegradacyjnego złoża. Zależnie od przebiegu pogody trawę wykasza się dwa lub trzy razy w roku. Nie należy wypasać trawy, ponieważ bydło ugniata i zniekształca powierzchniową warstwę ziemi, co wydatnie utrudnia dostęp powietrza niezbędnego do biodegradacji ropopochodnych składników. Wypasanie jest szczególnie szkodliwe podczas opadów atmosferycznych ze względu na grząskość ziemi.

Po trzyletnim okresie górna część biodegradacyjnej warstwy zostanie przeobrażona w stopniu umożliwiającym prawidłowy wzrost nie tylko traw lecz wszystkim pozostałym roślinom uprawnym. Można więc włączyć grunt do normalnego rolniczego użytkowania lub posadzić na nim krzewy. Nie zaleca się sadzenia drzew ze względu na uszczelnienie podłoża.

5. Zabiegi nasilające biodegradację ropopochodnych składników

Przedstawione wyżej zasady formowania złoża opisują najprostszy sposób biologicznej sanitacji zaolejonej ziemi w warunkach przyrodniczych z zabezpieczeniem podziemnego i naziemnego otoczenia przed zanieczyszczeniem. Wydajność biodegradacyjnych procesów jest znacznie mniejsza niż w urządzeniach technicznych lub przy rolniczo-technicznych. Intensywność procesów biodegradacji złoża zaolejonej ziemi można znacznie zwiększyć stosując przedstawione poniżej zabiegi.

- 1) Wprowadzać do zaolejonej ziemi odpowiednie ilości mineralnych związków azotu i fosforu, mieszając nawozy z ziemią w czasie formowania biodegradacyjnego złoża. Składniki są niezbędne do życia mikroorganizmów rozkładających ropopochodne składniki. Azot jest tu najważniejszy, ponieważ w przeciwieństwie do wszystkich pozostałych składników pokarmowych nie ma go w bezpróchniczej masie ziemi. Ropopochodne składniki (węglowodory) powodują bardzo dużą zawartość węgla organicznego, które stanowią o absolutnym niedostatkowi azotu dla mikroorganizmów. Wprowadzenie związków azotu do zaolejonej ziemi stwarza więc warunki do życia mikroorganizmów żywiących się ropopochodnymi składnikami, powodując ich biodegradację.
- 2) W celu wprowadzenia do zaolejonej ziemi niezbędnej ilości związku azotu należy określić zawartość w niej węgla organicznego. Wtedy na każde 10 kg węgla organicznego (w danym przypadku węglowodorowego) wprowadza się do ziemi 1 kg azotu (odpowiednio większą dawkę nawozu – będącego określonym związkiem azotu). Optymalny wagowy stosunek węgla do azotu (C:N) wynosi około 10.
- 3) Dodatek fosforu nie jest tak konieczny jak azotu, ponieważ mineralne utwory geologiczne zawierają określone ilości tego składnika, ale mała rozpuszczalność jego związków (zwłaszcza w warunkach zaolejenia) jest powodem fosforowego niedostatkowi (a nawet ostrego głodu). Optymalna dawka fosforu jest dziesięciokrotnie mniejsza od optymalnej dawki azotu. Każdemu kilogramowi azotu odpowiada więc 0,1 kg fosforu. Należy jednak mieć na uwadze, że dla nawozów podaje się nie procentową zawartość fosforu, lecz P_2O_5 (w tym około 43% P). Spośród nawozów azotowych można stosować wodę amoniakalną, siarczan wapnia, saletrę amonową lub mocznik, a z nawozów fosforowych superfosfaty. Można stosować też wieloskładnikowe nawozy, zawierające oprócz azotu i fosforu, także potas, magnez i mikroelementy. Wieloskładnikowe nawozy przyczyniają się do poprawy warunków wzrostu roślin i ograniczają nakłady na aplikację. Dokładne wymieszanie nawozów z zaolejoną ziemią jest niemożliwe i niekonieczne. Nawozy wprowadza się do zaolejonej ziemi w trakcie formowania złoża, w tym na powierzchnię tego złoża przed pokryciem go warstwą ziemi próchniczej.

5.1. Zwiększenie przepuszczalności złoŜa dla wody i powietrza

Wodna przesiąkliwość oraz wymiana powietrza pomiędzy złoŜem i atmosferą, to bardzo waŜne czynniki biodegradacji ropopochodnych składników i rozwoju systemu korzeniowego i złoŜa zaolejonej ziemi. W zwięzłych i zaolejonych utworach ruch wody (w tym głoŖnie wsiąkanie) i powietrza sà bardzo utrudnione. Uszczelnienie podłoŜa jest dodatkowym czynnikiem pomniejszajàcym ruchliwość wody i powietrza. Zainstalowanie drenàžu w złoŜu zaolejonej ziemi nasila procesy biodegradacji ropopochodnych składników, poniewàŜ zwiększa przenikanie wody i powietrza atmosferycznego do srodkowej i dolnej częsci złoŜa. Sprzyja takŜe rozwojowi szaty roslinnej, gdyŜ zapewnia tlenowe warunki dla systemu korzeniowego oraz fauny glebowej. DrenaŜ moŜe byc instalowany na uszczelnionej powierzchni czaszy przed nałoŜeniem zaolejonej ziemi lub po ukształtowaniu biodegradacyjnego złoŜa.

Pierwszy przypadek stwarza techniczne trudnoŖci, poniewàŜ ułoŜony drenaŜ moŜe byc łatwo uszkodzony w toku formowania złoŜa (nakładanie ziemi). Zaleca się drugi sposób, czyli instalowanie drenàžu w dolnej częsci złoŜa juŜ ukształtowanego. Dreny umieszcza się około 20 cm powyŜej uszczelnionej powierzchni tale, aby nie uszkodziç wykładziny uszczelniajàcej. Technika instalowania drenàžu jest taka sama jak w melioracjach rolnych. NaleŜy jednak zmniejszyc odstępy miêdzy drenami, stosownie od zwięzłości gruntu i stopnia jego zaolejenia. Wykonanie melioracyjnych rowów i ponowne zapełnienie ich ziemià z jednoczesnym zastosowaniem gruboziarnistego materiału do pokrycia drenów tworzy drogi wzmoŜonej migracji wody i powietrza. Dreny naleŜy wykonaç przed nałoŜeniem próchniczej warstwy ziemi. Struktura drenàžu w podłoŜu przyzmy wynika z jego wielostronnej funkcji w kształtowaniu powietrzno-wodnych warunków w masach ziemnych. Odprowadzenie wód drenàŜowych zawierajàcych ropopochodne zanieczyszczenia i składniki mineralne wymaga kaŜdorazowa rozwiàzania dostosowanego do wàŖciwoŖci wód oraz występowania odbiorników i ich wyposaŜenia w separatory ropopochodnych zanieczyszczeñ. Na podstawie stosownych uzgodnieñ, separatory fazy ropopochodnych zanieczyszczeñ mogà byc instalowane na wylotach rurociàgów drenàŜowych. Woda drenàŜowa po separatorach ropopochodnych (po rozpoznaniu wàŖciwoŖci w kwalifikacji przydatnoŖci), moŜe byc uŜytkowana do nawodnieñ roslinnoŖci na powierzchni przyzmy w okresie wegetacji lub poza wegetacyjnych nawodnieñ przemijajàcych.

5.2. Nawadnianie biodegradacyjnego złoŜa

Optymalne uwilgotnienie i napowietrzenie (natlenienie) złoŜa warunkuje intensywnoŖc postępu biodegradacyjnych procesów i prawidłowego rozwoju szaty roslinnej. Intensywny wzrost roslin powoduje jednak nadmierne zuŜycie wody i wynikajàce stàd przesuszenie biodegradacyjnego złoŜa, co bardzo spowalnia mikrobiologiczny rozkład ropopochodnych składników. Wysoka temperatura tworzy bardzo korzystne warunki do biodegradacji ropopochodnych składników, ale znaczny niedobór wody niweczy tà moŜliwość.

W chłodniejszych porach roku opady atmosferyczne likwidują niedostatek wody dostępnej, ale pogarszają się termiczne warunki biodegradacji, zwłaszcza, że w początkowym okresie nastania opadów atmosferycznych (kiedy temperatura jest jeszcze korzystna) nawodniona jest powierzchniowa warstwa ziemi, w której skupiona jest główna masa systemu korzeniów roślin.

Nawodnienie (najodpowiedniejsze przez deszczowanie) tworzy korzystne warunki biodegradacji ropopochodnych składników proporcjonalnej do temperatur w sezonie wegetacyjnym. Przy odpowiednim nawilgoceniu złoża efektywność biodegradacji w lipcu i sierpniu może przewyższyć efektyw ność występującą we w szystkich pozostałych miesiącach okresu wegetacyjnego. Atmosferyczna i fizjologiczna susza (intensywne zużycie wody przez rośliny) może być powodem znikomej biodegradacji ropopochodnych składników w lipcu i sierpniu. Dobrym wskaźnikiem potrzeby nawadniania jest zaspokojenie wodnych potrzeb roślin. Objawy spowolnienia wzrostu zwłaszcza więdnienia roślin sygnalizują potrzebę nawadniania biodegradacyjnego złoża. Nawodnienie może być skojarzone z nawożeniem. Niedobór wodny może doprowadzić do zahamowania wzrostu roślin, a długotrwałe niedobory do ich zamierania.

Wyposażenie przyzmy w drenaż napowietrzająco-odwadniający oraz realizowanie nawodnień wegetacyjnych dynamizuje układ i ma znaczący wpływ na tempo i czas biodegradacji ropopochodnych składników. Wielkości dawek polewowych i częstość ich aplikacji powinny być dostosowane do zapotrzebowania roślin na wodę dostępną oraz odniesienie do rodzaju i struktury mas ziemnych skupionych w przyzmy, tak aby zachowane były optymalne warunki do biodegradacji ropopochodnych składników. Dawki polewowe wody określa na podstawie bilansu wodnego przyzmy, wynikającego z przebiegu warunków meteorologicznych oraz intensywności wzrostu roślin.

6. Awaryjny wyciek oleju napędowego z uszkodzonego rurociągu PERN w Płocku w 1992 r., prowadzącego do bazy CPN w Koluszkach

Podziemny, długotrwały wyciek oleju napędowego w roku 1972 silnie zanieczyścił wodę gruntową oraz nasycił ziemię olejem napędowym do głębokości od 4,0 do 9,0 m. Próbkę ziemi pobrane z 13 odwiertów zawierały do 4,45% produktów naftowych. Oczyszczanie gleby i wody gruntowej trwało wiele lat, ze względu na oddolne głębokie zaolejenie gruntu i wody podziemnej. Realizowano je bez naruszania naturalnej budowy gruntu, na terenie nie wymagającym dostępu do uszkodzonej (perforowanej przez rdzę) części rurociągu oraz w przyzmy ziemi z udostępnienia uszkodzonego rurociągu. Pilna potrzeba naprawy rurociągu powodowała konieczność przemieszczenia około 2200 m³ zaolejonej ziemi. Uformowano z niej na przyległym terenie przyzmy, w płytkim (0,2–0,4 m) wykopie z wykładziną foliową. Przyzmy pokryto płytką warstwą ziemi próch-

nicznej i zasilono kompostem wyprodukowanym z osadu ściekowego z Płockiej Petrochemii [Siuta i Sienkiewicz 1997].

Wycieków ropy i ropopochodnych produktów z rurociągów PERN w Płocku jest dużo. Są one powodowane przeważnie przez kradzieże, rzadziej zaś w trybie awarii systemów rurociągowych. Ostatnie z nich mają przeważnie duże rozmiary (fot. 7 i 8). Niezależnie od przyczyny wycieku ropy naftowej i jej produktów zawsze jest niezbędne niezwłoczne działanie służb eksploatacyjnych i kontrolnych (nadzorczych) oraz firm specjalizujących się w działaniach naprawczych (rekultywacyjnych). Dotyczy to także wszelkich innych poważnych wycieków produktów do środowiska gruntowego i wodnego. Wieloaspektowy charakter zagrożeń i sposobów



Fot. 7. Skutki wycieku oleju napędowego z rurociągu PERN



Fot. 8. Usuwanie oleju napędowego z wycieku z rurociągu

(technik) przeciwdziałania zagrożeniom oraz likwidowanie szkód ekologicznych i gospodarczych wymaga wysokich merytorycznych i organizacyjnych kwalifikacji firm świadczących usługi w tym zakresie.

Większość awaryjnych ropopochodnych zagrożeń środowiska w Polsce jest już obsługiwana w trybie pilnym przez firmę PROTE Technologie dla środowiska, Sp. z o.o. Nie dotyczy to jednak (w całej rozciągłości) górniczej eksploatacji ropy naftowej, zwłaszcza w zakresie naprawy szkód powodowanych w latach minionych, jak też licznych gruntów zanieczyszczonych w wielu miejscach przetwarzania i użytkowania produktów ropopochodnych.

Problemy określenia poziomu czyszczenia środowiska gruntowo-wodnego zanieczyszczonego produktami naftowymi na przykładzie zakładu głównego PKN ORLEN S.A. autorstwa Leszka Harabasz, Leszka Paprota zasługują tu na szczególną uwagę, ponieważ jako środek remediacji stosowano wapnohum (ten sam co w Koluszkach) wyprodukowany z osadu ściekowego i wapna z demineralizacji wody technologicznej Płockiej Petrochemii [Siuta i in. 1997].

Bibliografia

- Harabasz L., Paprot L. 2000. Problemy określenia poziomu czyszczenia środowiska gruntowo-wodnego zanieczyszczonego produktami naftowymi na przykładzie Zakładu Głównego PKN ORLEN S.A. *Inżynieria Ekologiczna* nr 2, 7–13.
- Siuta J. 1997. Podstawy biodegradacji ropopochodnych składników w glebie i odpadach. *Technologia odolejania gruntów, odpadów, ścieków. I Konferencja Naukowo-Techniczna Gorlice – Wysowa Zdrój*, 119–130.
- Steliga T., Jakubowicz P. 2018. Bioremediacja „in-situ” zastarzałego odpadu wiertniczego zanieczyszczonego substancjami ropopochodnymi. *Przegląd Techniczny* nr 25–26, 23–26.
- Siuta J., Łacka-Pilaszek B., Królikowski K., Turowski P. 1997. Wapnohum produktem osadu ściekowego Petrochemii Płock S.A.. *Technologie odolejania gruntów, odpadów, ścieków. I Konferencja Naukowo-Techniczna Gorlice – Wysowa Zdrój*, 151–162.
- Ślusarczyk J. 2000. Bioremediacja gruntów i wód zanieczyszczonych w systemie PROTE. *Inżynieria Ekologiczna* nr 2, 35–39.
- Kaszycki P., Solecki T., Krawczyk A., Kołoczek H. 2000. Optymalizacja metod biologicznego oczyszczania zaolejonych gruntów. *Inżynieria Ekologiczna* nr 2, 40–47.
- Łebkowska M., Muszyński A., Sztompka E. 1997. Mikrobiologiczne oczyszczanie gruntów ze składników ropopochodnych. *Technologie odolejania gruntów, odpadów, ścieków. I Konferencja Naukowo-Techniczna Gorlice – Wysowa Zdrój*, 115–118.
- Siuta J., Dulewski J., Żukowski B. 2012. Rekultywacja i zagospodarowanie gruntów górniczych w Polsce. Monografia. Instytut Ochrony Środowiska – PIB, Warszawa.

CZĘŚĆ V

Innowacyjne technologie
przetwarzania odpadów na nawozy
agroekologicznej użyteczności

Technologie przetwarzania odpadów na nawozy agroekologicznej użyteczności

Jan Łabętowicz¹, Wojciech Stępień¹, Monika Kobiąłak¹

1. Wprowadzenie

Odpady są postrzegane jako atrybut współczesnej cywilizacji. Szacuje się, że w krajach wysoko rozwiniętych przy wzroście liczby ludności rocznie 1–2%, produkcja przemysłowa rośnie o 4–6% i w podobnym tempie zwiększa się ilość wytwarzanych w ciągu roku odpadów. Z historycznego punktu widzenia na każdym etapie rozwoju cywilizacji poszukiwano nowych sposobów aby powtórnie wykorzystać odpady. Współcześnie opracowano wiele nowych technologii i sposobów uzdatniania odpadów, umożliwiając w coraz doskonalszy sposób ich powtórne wykorzystanie jako surowca nadającego się do przetworzenia na produkt użyteczny. Sprzyja temu obecne ustawodawstwo, w świetle którego termin odpad, ma w dużym stopniu charakter względny. Jeśli dla określonego odpadu opracuje się technologię lub sposób jego przetworzenia na produkty lub surowce użyteczne, wówczas przestaje on być odpadem. Spośród wielu kierunków przetwarzania odpadów szczególne miejsce mają technologie ukierunkowane na przyrodnicze ich wykorzystanie, głównie na cele nawozowe i poprawę właściwości gleb użytkowanych rolniczo. Przyrodnicze wykorzystanie odpadów jest ważnym elementem gospodarki obiegu zamkniętego.

2. Technologie przetwarzania odpadów organicznych na produkty nawozowe

2.1. Charakterystyka odpadów organicznych możliwych do wykorzystania w rolnictwie

W wyniku działalności człowieka, zarówno tych związanych z jego bytowaniem, jak i tych związanych z działalnością przemysłową i rolniczą powstaje wiele różnorodnych materiałów odpadowych.

¹ Zakład Chemii Rolnej, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159. 02-776 Warszawa

Odpady dzielimy ze względu na możliwości ich wykorzystania na odpady przejściowe-pozostałości poprodukcyjne, które mogą być ponownie użyte w danym lub innym obiegu produkcyjnym po nieznacznych procesach przetwórczych i odpady końcowe tzn. nadające się tylko do unieszkodliwiania. Ze względu na pochodzenie odpady dzielimy na:

- odpady komunalne, tzn. pochodzące z gospodarstw domowych ulic, placów, zakładów usługowych, rzemieślniczych;
- odpady przemysłowe, tzn. pochodzące z technologicznych procesów produkcyjnych wraz z odpadami bytowo gospodarczymi z terenu zakładów przemysłowych;
- rolnicze, tzn. pochodzące z zakładów rolniczych, a w szczególności z dużych ferm hodowlanych.

Odpady przemysłowe związane są z działalnością różnych gałęzi przemysłu (górnictwo, hutnictwo, przemysł energetyczny, przemysł chemiczny, przemysł drzewny itp.). Do tej grupy odpadów zaliczyć można popioły ze spalania węgla, odpadowe frakcje węgla brunatnego, różne odpady o właściwościach odkwaszających. Odpady te ze względu na swoje właściwości mają zastosowanie głównie do poprawy właściwości fizycznych gleb uprawnych, a także do ich odkwaszania. Wśród odpadów przemysłowych do przyrodniczego wykorzystania nadają się głównie odpady przemysłu energetycznego, a w szczególności popioły głównie ze spalania węgla brunatnego, a także odpadowy miął z węgla brunatnego. Mają one znaczenie dla poprawy właściwości fizycznych gleb piaszczystych. Ważną grupę wśród odpadów przemysłowych stanowią odpady, które ze względu na obecność związków zasadowych (CaCO_3 , MgCO_3 , CaO , MgO itp.) wykorzystywane są do odkwaszania gleb nadmiernie zakwaszonych.

Odpady komunalne powstają na obszarach miast i wsi. Występują w postaci ciekłej i stałej, związane są z bytowaniem ludzi, handlem, usługami itp. Przykładowo do grupy tej można zaliczyć takie odpady jak: osady ściekowe z oczyszczalni ścieków, śmieci z miast i obszarów wiejskich, biomasa odpadowa z terenów zielonych i inne. Do grupy tej można także zaliczyć ścieki bytowo-gospodarcze. Odpady komunalne z uwagi na wysoką zawartość substancji organicznej (30–50%) i obecność składników nawozowych wykorzystywane są do wytwarzania kompostów, które po spełnieniu odpowiednich norm jakościowych mogą być wykorzystywane do celów rekultywacji gruntów zdegradowanych przez przemysł (gorszej jakości) oraz nawożenia użytków rolnych (lepszego jakości).

Odpady rolnicze nie były dotychczas wyodrębniane jako odrębna grupa. Wzrost intensywności gospodarowania, nasilająca się specjalizacja produkcji rolniczej, powstanie przemysłowych ferm produkcji zwierzęcej, kombinatów szklarniowych, pieczarkarni, czy biogazowni, uzasadniają potrzebę wyodrębnienia odpadów rolniczych jako oddzielnej grupy wymagającej odpowiedniego uzdatnienia przed wykorzystaniem do celów nawozowych na użytkach rolnych.

Do celów nawozowych najlepiej nadają się **odpady biodegradowalne**. Pod pojęciem odpady biodegradowalne rozumie się wszystkie odpady ulegające tlenowemu lub beztlenowemu rozkładowi. Do odpadów ulegających biodegradacji zalicza się głównie odpady komunalne i rolnicze oraz niektóre odpady przemysłowe. Z odpadów biodegradowalnych obecnie największa ilość do zagospodarowania to osady ściekowe, odpady z przemysłu rolno-spożywczego oraz odpady rolnicze z dużych ferm oraz produkcji pieczarek.

Osady ściekowe są produktem oczyszczania ścieków i powstają na skutek szeregu procesów fizycznych, fizyczno-chemicznych i biologicznych zachodzących w oczyszczalniach ścieków. Według definicji zaproponowanej przez Europejski Komitet Normalizacyjny – CEN osadem ściekowym nazywamy mieszaninę wody i ciał stałych oddzielonych z różnych typów wody w rezultacie procesów naturalnych lub sztucznych. Na przestrzeni ostatnich lat nastąpił wzrost ilości osadów ściekowych pochodzących z oczyszczalni komunalnych. Związane to jest z systematyczną budową nowych miejskich i gminnych oczyszczalni ścieków. Ponadto ilość powstających osadów ściekowych zwiększa się ponieważ postępuje proces kanalizacji wsi. Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi istnieje obowiązek zagospodarowywania wszystkich odpadów organicznych zawierających więcej niż 5% ogólnego węgla organicznego. Dotychczas odpady te składowane były na wysypiskach. Obecnie odpady te muszą zostać poddane procesowi uzdatniania, który pozwoli na ich powtórne wykorzystanie (np. kompostowanie, produkcja biogazu, produkcja nawozów organiczno-mineralnych) oraz stosowanie w rolnictwie. Przydatność osadów ściekowych do przyrodniczego, a w tym i rolniczego zagospodarowania przyczyniła się do wydania przez Radę EWG Dyrektywy 86/278/EWG z późniejszymi zmianami. W ustawodawstwie UE oraz krajowym preferowanym sposobem zagospodarowania osadów jest ich rolnicze wykorzystanie. Głównym składnikiem osadu ściekowego warunkujących jego przyrodnicze oraz rolnicze wykorzystywanie jest substancja organiczna. W osadzie ściekowym znajduje się 35–80% s.m. substancji organicznej, a jej średnia zawartość wynosi 60% s.m. Odpady komunalne, które można użyć do nawożenia po przeekompostowaniu zawierają w porównaniu do obornika, dwukrotnie więcej azotu i fosforu, ale mniej potasu. Substancje te charakteryzuje wąski stosunek węgla do azotu, charakterystyczny dla materiałów, w których proces kompostowania jest już praktycznie zakończony. Ważną rzeczą jest zatem przy procesie kompostowania odpadów komunalnych tak zróżnicować materiał organiczny, aby rozszerzyć stosunek węgla do azotu. Osady ściekowe mogą być wykorzystywane w celach nieprzemysłowych, jeżeli:

- powstają podczas oczyszczania ścieków pochodzących z gospodarstw domowych, komunalnych lub innych i jeżeli ich skład jest zbliżony do ścieków bytowo-gospodarczych;
- są ustabilizowane poprzez poddanie ich procesom biologicznym, chemicznym, termicznym i innym, mającym na celu eliminację zagrożenia ich dla zdrowia zwierząt i ludzi;
- zawartość metali ciężkich w nich nie przekracza dopuszczalnych norm;

- sposób ich wykorzystania nie spowoduje uciążliwości dla ludzi, zwierząt i środowiska, a szczególnie pogorszenia, jakości wód powierzchniowych i podziemnych;
- zawartość metali ciężkich w wierzchniej (0–25 cm) warstwie gruntu, na którym osady ściekowe mają być stosowane, nie przekracza dopuszczalnych norm;
- odczyn pH gleby na terenach użytkowanych rolniczo jest nie mniejszy niż 5,6;
- podlegają systematycznie badaniom chemicznym i mikrobiologicznym.

Podłoże po produkcji pieczarek to mieszanina kompostowanego obornika końskiego, kurzego, słomy oraz torfu, będąca skondensowanym nawozem bogatym w składniki mineralne i mikroelementy. Do podłoża do produkcji pieczarek w celu stabilizacji odczynu w dużych ilościach dodaje się gipsu (CaSO_4). W ostatnich latach Polska stała się czołowym producentem pieczarek w świecie. W ślad za zwiększeniem produkcji pieczarek, zwiększyła się również ilość podłoża popieczarkowych, które trzeba zagospodarować. Podłoże po produkcji pieczarek jest bardzo cennym źródłem składników pokarmowych. Przyjmując średnią zawartość suchej masy na poziomie 35% w rocznej produkcji tego odpadu znajduje się około 400 tys. ton suchej masy w której wnosimy olbrzymie ilości makroelementów.

Wywary gorzelniane to uboczny produkt gorzelni powstający przy przetwarzaniu surowców skrobiowych takich jak kukurydza, zboża, ziemniaki i inne na spirytus. Wywary gorzelniane jako materiały nawozowe są zmienne w składzie w zależności od użytego surowca i technologii produkcji spirytusu. Cechą wspólną wszystkich badanych wywarów jest zbyt niska zawartość fosforu w stosunku do azotu i potasu. Stosowanie wywaru w postaci płynnej jest kłopotliwe z uwagi, iż kampania gorzelniana odbywa się najczęściej jesienią i zimą a więc w okresach pozawegetacyjnych, zachodzi więc potrzeba przechowywania wywaru. W tej sytuacji możliwe jest jego kompostowanie z odpowiednimi materiałami organicznymi takich jak słoma, trociny, węgiel brunatny itp.

Zasoby roślinne z pielęgnacji zieleni miejskiej. W strukturze zieleni miejskiej znajdują się m.in. powierzchnie trawiaste, parki, lasy komunalne, obszary zajęte pod uprawę roślin i in. Ze wszystkich obszarów zieleni miejskiej, w trakcie ich pielęgnacji, usuwane są znaczne ilości masy roślinnej, które stanowić mogą surowiec do kompostowania. W wielu miastach prowadzone lub planowane jest przetwarzanie odpadów roślinnych pochodzących z pielęgnacji zieleni miejskiej na drodze kompostowania na nawozy. Jak podaje GUS zieleń miejska i osiedlowa stanowi w Polsce około 72 000 ha. Przy średniej produkcji 5 t s.m. z 1 ha otrzymuje się każdego roku około 360 000 t s.m. surowca do kompostowania.

Geologiczne zasoby surowców organicznych. Geologicznymi surowcami do produkcji kompostów są: torfy, muły organiczne i organiczno-mineralne oraz węgiel brunatny. Torfy zarówno niskie jak i wysokie stanowią doskonały surowiec do kompostowania z uwagi na ich dużą chłonność. Szczególnie dobrze ulegają kompostowaniu wraz z komponentami łatwo ulegającymi rozkładowi. Równie dobrym surowcem do kompostowania są muły. Mogą one jednak być wykorzystywane w tym celu, podobnie jak torfy, tylko w razie konieczności usunięcia ich z miejsca

naturalnego zalegania. Pył z węgla brunatnego kompostowany jest zazwyczaj z odpadami zasobnymi w łatwo rozkładalne części organiczne i rozpuszczalne składniki nawozowe.

Odpady z gospodarstw domowych obejmują odpady organiczne pochodzenia roślinnego (trawy, liście, popielegnacyjne i poużytkowe części roślin z polowej i szklarniowej uprawy warzyw, rozdrobnione gałęzie drzew i krzewów itp) oraz części odpadów pochodzenia zwierzęcego. Odpady te są dobrym surowcem do produkcji kompostu i powinny być segregowane u źródła powstawania i zagospodarowane użytecznie.

Organiczne odpady przemysłowe to głównie dostarczane są przez przemysł: celulozowo-papierniczy, rolno-spożywczy, tytoniowy, zielarski, drzewny i paszowy oraz energetyczny. Odpady te powstają w stosunkowo dużych ilościach i lokalnie dla danej okolicy mogą stanowić bardzo dobry surowiec do produkcji kompostów. Z uwagi na skład chemiczny, najcenniejszymi surowcami do kompostowania są:

- trociny, kora, wióry drzewne;
- odpady z przemysłu zielarskiego,
- odpady z przemysłu celulozowo-papierniczego,
- odpady z przetwórstwa warzyw.
- odpady z produkcji biogazu.

Odpady te powstają w stosunkowo dużych ilościach i lokalnie dla danej okolicy mogą stanowić bardzo dobry surowiec do produkcji kompostów.

Odpady przemysłu drzewnego ze względu na skład chemiczny nie nadają się do bezpośredniego stosowania do nawożenia w rolnictwie. Mogą być wykorzystywane w produkcji sadowniczej do mulczowania (ściółkowania) gleby w sadach w celu poprawy gospodarki wodnej roślin a przede wszystkim mogą też stanowić cenny komponent w procesie produkcji kompostów. Materiały te charakteryzują się bardzo szerokim stosunkiem węgla do azotu w związku z czym trudno ulegają rozkładowi. Proces kompostowania takich odpadów należy intensyfikować przez wprowadzanie szczepów bakterii wyspecjalizowanych w rozkładzie celulozy bądź/ oraz wspólne kompostowanie trocin z innymi odpadami łatwo ulegającymi rozkładowi – o stosunkowo wąskim stosunku C:N. Ważną rzeczą jest to, że nawet skład chemiczny w obrębie jednego odpadu organicznego (kora drzew) może być bardzo zróżnicowany. Kora bukowa zawiera 2 razy więcej azotu, 12 razy więcej fosforu i dwukrotnie większą zawartość magnezu w porównaniu do kory sosnowej. Najuboższe w składniki pokarmowe są trociny.

Poferment. W ostatnich latach w wyniku rozwoju produkcji biogazu, który jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej powstaje odpad po fermentacji metanowej tzw. masa pofermentacyjna zwana potocznie pofermentem. Teoretycznie jedna biogazownia o mocy 1 MW produkuje rocznie nawet do 60 000 t masy pofermentacyjnej. Ilość pozostającej masy jest uzależniona od rodzaju wsadu, a także od przyjętej technologii produkcji biogazu. Dokładny skład chemiczny

masy pofermentacyjnej jest ściśle uzależniony od materiału wsadowego używanego w biogazowni. Z tego względu każda biogazownia produkuje zróżnicowaną jakościowo masę pofermentacyjną. Podczas fermentacji metanowej następuje degradacja materii organicznej, co prowadzi do zawężenia stosunku C:N w masie pofermentacyjnej. Z punktu widzenia żywienia roślin jest to bardzo korzystne, ponieważ w takich warunkach ograniczony jest proces immobilizacji azotu w glebie i zwiększa się dostępność azotu dla roślin. Zachodząca podczas fermentacji amonifikacja powoduje, że masa pofermentacyjna zawiera większe ilości azotu w formie amonowej (N-NH_4) w stosunku do materiału wyjściowego. Jest to forma dostępna dla roślin i co jest bardzo istotne z punktu widzenia ochrony środowiska, ulega sorpcji wymiennej w glebie. Przy wysokiej zawartości N-NH_4 i odczynie zasadowym masy pofermentacyjnej może dochodzić do strat azotu w postaci amoniaku. Ulatnianie amoniaku może mieć miejsce podczas składowania, jak i stosowania na pola, czy użytki zielone. Z uwagi na właściwości chemiczne podstawową metodą zagospodarowania masy pofermentacyjnej powinno być jej rolnicze wykorzystanie. Masa pofermentacyjna może być bezpośrednio stosowana na pola uprawne lub użytki zielone. Problemem jednak jest niska zawartość suchej masy (ok. 5–9%), co wymaga użycia specjalnego sprzętu rolniczego, w który zazwyczaj wyposażone są tylko gospodarstwa utrzymujące zwierzęta. Ogranicza to ilość odbiorców masy pofermentacyjnej z biogazowni. Ponadto należy pamiętać, że masa pofermentacyjna może być stosowana w określonych terminach, analogicznie do nawozów naturalnych, tj. od 1 marca do 30 listopada. W pozostałym okresie musi być ona magazynowana, co wymaga budowy lagun o dużej pojemności. W związku z powyższym biogazownie powinny wdrażać różne technologie zmniejszające objętość masy pofermentacyjnej. Jednym ze sposobów jest technologia suchej fermentacji.

2.2. Kierunki przetwarzania (uzdatniania) odpadów biodegradowalnych na produkty nawozowe

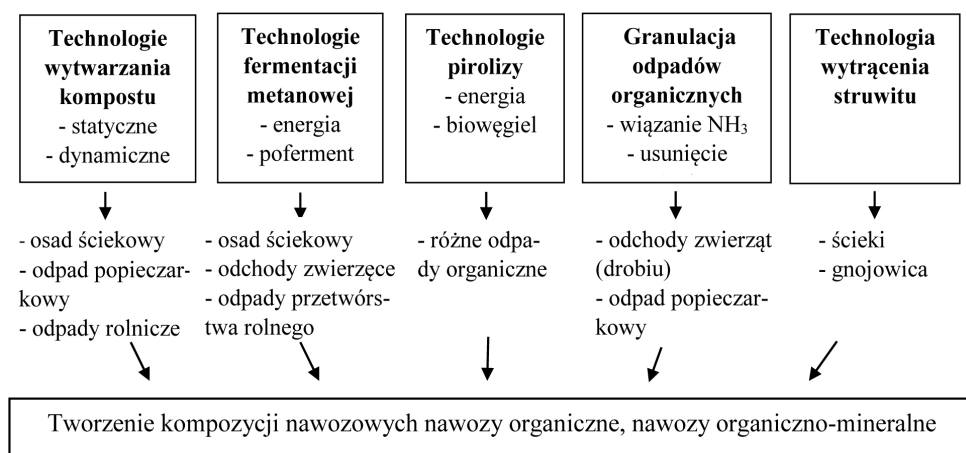
Odpady mogą być stosowane w rolnictwie bez wstępnego przygotowania jeżeli spełniają wymogi jakościowe podawane w rozporządzeniach Ministra Środowiska, Rolnictwa i Gospodarki. Jeżeli podawane w rozporządzeniach normy nie są spełnione, powinny być one poddane procesowi uzdatniania z wykorzystaniem różnych technologii mniej lub bardziej skomplikowanych.

Współcześnie opracowano wiele nowych innowacyjnych technologii i sposobów uzdatniania odpadów, umożliwiając w coraz doskonalszy sposób ich powtórne wykorzystanie jako surowca nadającego się do przetworzenia na produkt użyteczny. Sprzyja temu obecne ustawodawstwo, w świetle którego odpad, ma w dużym stopniu charakter względny. Jeśli dla określonego odpadu opracuje się technologię lub sposób jego przetworzenia na produkty lub surowce użyteczne, wówczas przestaje on być odpadem. Spośród wielu kierunków przetwarzania odpadów szczególnie miejsce mają technologie ukierunkowane na przyrodnicze ich wykorzystanie, głównie na cele nawozowe i poprawę właściwości gleb użytkowa-

nych rolniczo. Głównym celem uzdatnienia(przetworzenia) odpadów w celu ich przyrodniczego zagospodarowania jest:

- poprawa właściwości fizycznych,
- zmniejszenie uciążliwości odorowej
- eliminacja zagrożeń higieniczno-sanitarnych.

Kierunki przetwarzania odpadów na materiały nawozowe. Biorąc pod uwagę pochodzenie odpadów oraz ich przyrodnicze wykorzystanie można je podzielić na trzy grupy: odpady komunalne, przemysłowe i odpady rolnicze. Technologie przetwarzania odpadów na nawozy są zasadniczo odmienne dla odpadów organicznych i odpadów nieorganicznych.



Rys. 1. Kierunki i technologie przetwarzania odpadów organicznych na nawozy

Kompostowanie. Najczęściej obecnie stosowaną technologią przetwarzania i uzdatniania odpadów do celów nawozowych jest kompostowanie. Proces ten można przeprowadzić tradycyjnymi metodami w każdym gospodarstwie. Jednak coraz częściej jest on prowadzony z wykorzystaniem nowoczesnych technologii w specjalnie zbudowanych w tym celu zakładach przetwórczych. W zakładach tych z materiałów odpadowych po procesie kompostowania produkuje się nawozy organiczne lub organiczno-mineralne, które po uzyskaniu zgody Ministerstwa Rolnictwa są wprowadzane do obrotu handlowego.

Zalety kompostowania:

- jednoczesną utylizację kilku odpadów organicznych
- kompostowanie zapewnia higienizację odpadów pod względem sanitarno-epidemiologicznym;
- szacuje się, że w procesie kompostowania ilość odpadów może zmniejszyć o 30–50%,
- technologie kompostowania są sprawdzone w skali technicznej, dostępne i stosunkowo łatwe oraz ekonomicznie uzasadnione w eksploatacji;

- pozyskiwanie pełnowartościowego nawozu o wartości nawozowej zbliżonej do obornika,

Przebieg procesu kompostowania w znacznym stopniu uzależniony jest od stosunku C:N w kompostowanych materiałach. Stosunek węgla do azotu powinien kształtować się na poziomie 25–40:1. Optymalny do kompostowania stosunek C:N w odpadach organicznych wynosić powinien 20–30:1. Gdy stosunek C:N w kompostowanych materiałach przekracza wartość 30:1 następuje opóźnienie procesów rozkładu. Przy stosunku C:N w odpadach mniejszym niż 20:1 obserwowane są starty azotu. Stosunek węgla do azotu w masie przeznaczanej do kompostowania uregulować można mieszając ze sobą materiały o szerokim stosunku C:N (słoma, trociny, kora drzew itp.) z materiałami o wąskim stosunku C:N (fekalia, odchody zwierząt, pomiot ptasi, odpady z rzeźni itp.). Struktura surowca przeznaczonego do kompostowania powinna zapewniać optymalne warunki do rozwoju mikroorganizmów tlenowych w całej kompostowanej masie. Składniki masy kompostowej powinny być rozdrobnione i dokładnie ze sobą wymieszane. Dokładne rozdrobnienie surowców przeznaczonych do kompostowania, głównie drewna i zdrewniałych części roślin, zapewnia zwiększenie podatności masy roślinnej na rozkład mikrobiologiczny, dokładne wymieszanie wszystkich kompostowanych składników, zwiększenie dostępności powietrza atmosferycznego do całej kompostowanej masy. Optymalna zawartość wody w kompostowanej masie (50–60%) powinna być utrzymywana podczas całego procesu kompostowania, co zapewnia odpowiednie napowietrzenie i wilgotność niezbędną do rozwoju mikroorganizmów tlenowych oraz prawidłowy wzrost i przebieg temperatury podczas kompostowania. Utrzymywanie optymalnej wilgotności masy kompostowej uzyskuje się dzięki uzupełnianiu niedoborów wody oraz mieszanie masy kompostowej. Przesuszenie masy kompostowej spowalnia procesy biochemiczne oraz rozkład i humifikację związków organicznych. Nadmiar wody natomiast ogranicza dostęp tlenu do masy kompostowej i stwarza warunki do beztlenowego rozkładu substancji organicznych oraz utrudnia utrzymanie optymalnej temperatury. Napowietrzanie masy kompostowej jest niezbędne w procesie kompostowania niezależnie od zastosowanej technologii. Stosowane są różne sposoby mechanicznego napowietrzania masy kompostowej w bioreaktorach oraz różne technologie przekładana masy kompostowej w pryzmach. Temperatura w masie kompostowanej jest wynikiem przemian biochemicznych jakim podlegają substancje organiczne. Przy zapewnieniu optymalnych do kompostowania warunków (rozdrobnienie, wilgotność, napowietrzenie masy kompostowej) temperatura bardzo szybko osiąga wartość optymalną dla procesu kompostowania tj. 60–75 °C, która zapewnia zniszczenie bakterii chorobotwórczych i jaj pasożytów jelitowych.

W zależności od przyjętych kryteriów można przyjąć wiele różnych sposobów kompostowania. Najczęściej wyróżniamy kompostowanie w systemie otwarte (kompostowanie w pryzmach lub brykietach) lub w systemie zamkniętym (bioreaktory) z przemieszczaniem kompostowanej biomasy (kompostowanie tunelowe, kontenerowe, bębnowe).

Piroliza jest procesem niepełnego spalania związków organicznych zawartych w odpadach. Produktami pirolizy są: gaz zawierający wodór, tlenek węgla (II i IV) oraz metan. Gaz ten posiada wysoką wartość ciepła spalania i jest wykorzystywany gospodarczo, ciecz zawierająca smołę, oleje, aceton itd. Oraz tzw. biowęgiel składający się z węgla oraz substancji nieorganicznych zawartych w odpadach. Metoda ta jest szczególnie zalecana do uzdatniania odpadów zanieczyszczonych mikrobiologicznie. W tym procesie następuje pełna higienizacja. Uzyskany w tym procesie biowęgiel jest cennym dodatkiem do innych odpadów o zbyt dużej wilgotności.

3. Technologie przetwarzania odpadów nieorganicznych na produkty nawozowe

Wśród nieorganicznych odpadów przemysłowych do przyrodniczego wykorzystania nadają się głównie odpady przemysłu energetycznego, a w szczególności popioły głównie ze spalania węgla brunatnego a także odpadowy miął z węgla brunatnego. Mają one znaczenie dla poprawy właściwości fizycznych gleb piaszczystych. Ważną grupę wśród odpadów przemysłowych stanowią odpady, które ze względu na obecność związków zasadowych (CaCO_3 , MgCO_3 , CaO , MgO itp.) wykorzystywane są do odkwaszania gleb nadmiernie zakwaszonych.

Z odpadów nieorganicznych zawierających związki wapnia i magnezu produkowane są nawozy stosowane w rolnictwie do odkwaszania gleb. Nawozy te stanowią około 1/3 wszystkich surowców do produkcji nawozów wapniowych. Pochodzą one z wielu przemysłów, w tym z przemysłu cukrowniczego, papierniczego, hutniczego i chemicznego. Tak w rozporządzeniu Ministra Gospodarki jak w rozporządzeniu Ministra Rolnictwa podane są klasyfikacje odpadów w tym odpadów wapiennych. Wśród 16 kategorii odpadów wymienionych w załączniku do ustawy o odpadach, odpady zawierające związki wapnia występują w sześciu kategoriach i pochodzą z różnych źródeł. Największe praktyczne znaczenie w przyrodniczym wykorzystaniu mają odpady z przemysłu: hutniczego, chemicznego, budowlanego, energetycznego i spożywczego.

Odpady przemysłu hutniczego. W tej grupie odpadów wapiennych dominują odpady w formie tlenkowej łatwo rozpuszczalne w wodzie o dużej aktywności chemicznej i wysokiej sile zobojętniania. Wadą odpadów powstających przy produkcji materiałów ogniotrwałych jest duża pylistość co utrudnia ich wysiew. Odpad ten może być wykorzystywany do uzdatniania odpadów mokrych, takich jak osady ściekowe. Po wymieszaniu z osadem zmniejsza on zawartość wody a poza tym tlenek wapnia ma właściwości dezynfekujące. Wapna pohutniczne głównie z hut metali kolorowych najczęściej zawierają zbyt wysoką zawartość metali ciężkich co ogranicza ich rolnicze wykorzystanie. W odpadach z hut żelaza jest przeważnie zbyt wysoka zawartość krzemionki.

Wapno posodowe zawiera głównie węglan wapnia, siarczan wapnia i wodorotlenek magnezu, krzemionkę i związki siarki. Wadą tego odpadu jest wysoka

zawartość wody co utrudnia jego stosowanie. Najczęściej jest dosuszane na otwartym terenie. Zawiera w swoim składzie równie dość dużo chlorków oraz sodu. Zawartość tych pierwiastków może niekorzystnie wpływać na właściwości gleb lekkich. Jony chloru powodują zasolenie gleb natomiast jony sodu powodują peptyzacje koloidów glebowych co może przyczynić się to niszczenia struktury gleb. Aby zmniejszyć ujemne skutki zawartości tych pierwiastków najlepiej je stosować na jesieni pod rośliny jare. Przez okres jesienno-zimowy tak chlorki jak i sól w większości zostaną wymyte poza strefę korzeniową.

Wapno pokarbidowe. Zawartość wapnia w odpadach z sześciu największych zakładów wytwarzających wapno pokarbidowe wg danych Okręgowych Stacji Chemiczno-Rolniczych) wynosił od 69,5% do 72,2% CaO. Wapno to ma podobne ograniczenia jak wapno posodowe opisane powyżej.

Wapno pocelulozowe. W skład odpadów z produkcji oraz przetwórstwa masy celulozowej, papieru i tektury, wchodzi szlamy defekosaturacyjne. Stanowiły one niewielki procent odpadów wytwarzanych w przemyśle celulozowo-papierniczym. Wadą tego odpadu jest zbyt duża wilgotność i dość wysoka zawartość chlorków.

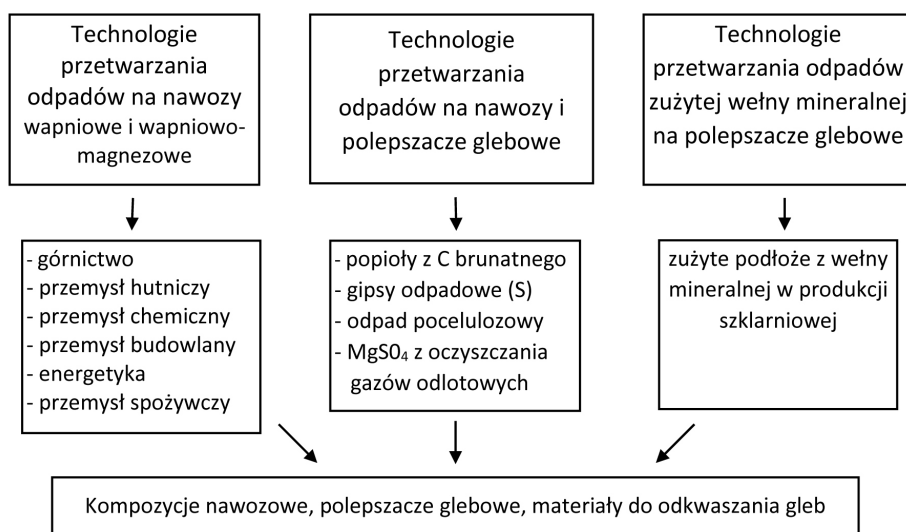
Odpady przemysłu energetycznego. Odpady te powstają w procesie spalania surowców energetycznych (węgiel kamienny i brunatny), w wyniku stosowania metod oczyszczania gazów odlotowych. Głównymi rodzajami wytwarzanych odpadów są: mieszanki popiołowo-żuźłowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych, popioły lotne z węgla, mieszaniny popiołów lotnych i odpadów stałych z wapniowych metod odsiarczania gazów odlotowych, żuźle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów. Do przyrodniczego wykorzystania bardziej przydatne są popioły z węgla brunatnego i ze spalania biomasy. Popioły z węgla kamiennego zawierają mało wapnia i magnezu a dużo krzemu i glinu i nie nadają się do nawozowego wykorzystania,. Natomiast popioły z węgla brunatnego, szczególnie z elektrowni zbierających je metodą suchą są cennym surowcem bogatym w wapń, magnez oraz niektóre mikroelementy. Wadą tych popiołów jest zbyt duża pylistość. Najczęściej w Polsce są one wykorzystywane do uzdatniania osadów ściekowych stosowanych w rolnictwie.

Opadem, które pojawił się w ostatnich latach w wyniku odsiarczania spalin jako odpad przemysłu energetyczne jest **gips**. Gips w rolnictwie można wykorzystywać do nawożenia siarką i poprawy właściwości fizyko-chemicznych gleb. Jak pokazują wyniki badań, produkt otrzymany po oczyszczeniu radiacyjnym gazów spalinowych z tlenków siarki wykazywał takie samo działanie nawozowe jak siarczan amonu czy siarczan potasu.

Wapno defekacyjne. Odpad powstający w przemyśle celulozowo-papierniczym jest produktem wysokiej wartości nawozowej obok soli wapnia zawiera również materię organiczną oraz podstawowe składniki pokarmowe. Podstawowym problemem w zwiększeniu stopnia odzysku tych odpadów jest ich duże uwodnienie. Z tego powodu są one najczęściej deponowane na zakładowych składowiskach odpadów, pełniących rolę stawów osadowych lub lagun. Gospodarka tymi odpadami wymaga odwodnienia do poziomu umożliwiającego racjonalne zastosowanie tych odpadów.

Wełna mineralna jest obecnie najbardziej znanym i rozpowszechnionym na świecie podłożem w produkcji ogrodniczej. Zawiera głównie krzem (SiO_2) – 47%, a następnie wapń (CaO) – 16%, glin (Al_2O_3) – 14%, magnez (MgO) – 10%, żelazo (Fe_2O_3) – 8%, sód (Na_2O) – 2%, potas (K_2O) – 1%, mangan (MnO) 1%, tytan (TiO_2) – 1%.

Poprodukcyjna wełna mineralna jest odpadem o wysokiej pojemności wodnej i bardzo dobrych właściwościach kapilarnych. Charakteryzuje się wysoką zawartością magnezu i wapnia oraz zawiera pewne ilości makro i mikroelementów. Nie jest przyjmowana na wysypiskach odpadów ze względu na dużą objętość i trudności w jej zagęszczaniu. Sposobem, który daje szansę zagospodarowania tego odpadu jest wykorzystanie jej do kształtowania właściwości produkcyjnych gleb, szczególnie słabej jakości. Wełna mineralna jest odpadem o wysokiej pojemności wodnej i bardzo dobrych właściwościach kapilarnych. Sposobem, który daje szansę zagospodarowania tego odpadu jest wykorzystanie go do poprawy właściwości fizycznych gleb poprzez poprawę stosunków powietrzno-wodnych. Ze względu na wysoka pojemność wodną odpadowa wełna mineralna może być dobrym komponentem do kompostowania z odpadami o zbyt dużej wilgotności jakim jest np. osad ściekowy czy poferment.



Rys. 2. Kierunki i technologie przetwarzania odpadów przemysłowych (nieorganicznych) na nawozy

4. Wykorzystanie odpadów do produkcji nawozów i polepszaczy glebowych do nawożenia gleb i roślin

Przedstawiona wyżej charakterystyka różnych odpadów organicznych i nieorganicznych wskazuje, że ich bezpośrednie stosowanie do nawożenia może być kłopotliwe ze względu na ich właściwości fizyczne i chemiczne. Część odpadów jest zbyt mokra, inne są zbyt suche i pyliste. Zawartość materii organicznej oraz

podstawowych składników pokarmowych jest zróżnicowana. Poza tym nawozy wytworzone z odpadów powinny mieć taką formę fizyczną aby można je było równomiernie wysiać na glebę nowoczesnymi maszynami używanymi w rolnictwie. Dlatego jako podano w schematach 1 i 2 aby spełnić te wymogi najczęściej tworzy się kompozycje nawozowe z wykorzystaniem kilku różnych odpadów o zróżnicowanych właściwościach fizyko-chemicznych. Przy ustalaniu składu nawozów bierze się pod uwagę wymagania różnych gatunków roślin pod które te nawozy mają być stosowane oraz właściwości gleb. Inne nawozy proponuje się na gleby lekkie słabo próchniczne a inne na gleby ciężkie. Inne pod rośliny sadownicze, pod zboża a jeszcze inne pod rośliny okopowe. Oddzielną grupę stanowią nawozy do odkwaszania gleb.

Końcowym etapem produkcji nawozów z odpadów jest przetworzenie ich w formie granul (o jak najbardziej wyrównanej granulacji) lub w postaci peletu, jeżeli nie ma możliwości granulacji. Taka postać nawozów umożliwia ich łatwe magazynowanie oraz stosowanie przy użyciu dostępnych w rolnictwie maszyn.

Stosowanie odpadów na użytkach rolnych obok korzyści jakie z tego osiągamy, związane jest z ryzykiem zanieczyszczenia nie tylko wód podziemnych i gleb, ale może także stanowić czynnik ryzyka dla jakości wytworzonych płodów rolnych. Stosowanie odpadów jako materiałów nawozowych na użytkach rolnych musi więc uwzględniać nie tylko korzyści społeczne (pozbycie się odpadów) i gospodarcze (walory nawozowe odpadów), ale także, co jest nie mniej ważne, zapewnić bezpieczeństwo środowiska i płodów rolnych. Aby materiały odpadowe można było bezpiecznie wykorzystać w rolnictwie muszą być odpowiednio stosowane w ustalonych dawkach i terminach agrotechnicznych. Należy podkreślić, że postęp badań w zakresie przyrodniczego wykorzystania odpadów tworzy z jednej strony nowe

Tabela 1. System zapewnienia bezpieczeństwa przy nawozowym stosowaniu odpadów na użytkach rolnych [na podstawie Rozporządzenia]

Kolejność postępowania	Forma zapewnienia bezpieczeństwa, określona w ustawach i rozporządzeniach	Sposób realizacji
1.	Normy określające maksymalne, dopuszczalne zawartości składników niepożądanych w odpadach przeznaczonych do celów nawozowych	Procedura dopuszczania do stosowania na użytkach rolnych przez upoważnioną jednostkę naukową
2	Normy określające dopuszczalne ilości składników niepożądanych, jakie można jednorazowo wnieść na 1 ha użytków rolnych w dawce odpadów	Ustalenie dopuszczalnych dawek odpadów w t·ha ⁻¹ i terminów agrotechnicznych ich stosowania przez rolnika lub rolnicze służby doradcze
3.	Normy określające dopuszczalne zawartości składników niepożądanych w glebie, na której stosowano odpady	Analiza chemiczna gleb przez Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą w cyklach co 3-4 lata
4.	Normy określające zawartość składników niepożądanych w płodach rolnych	Kontrola zawartości składników niepożądanych w płodach rolnych przez państwowe organy kontrolne

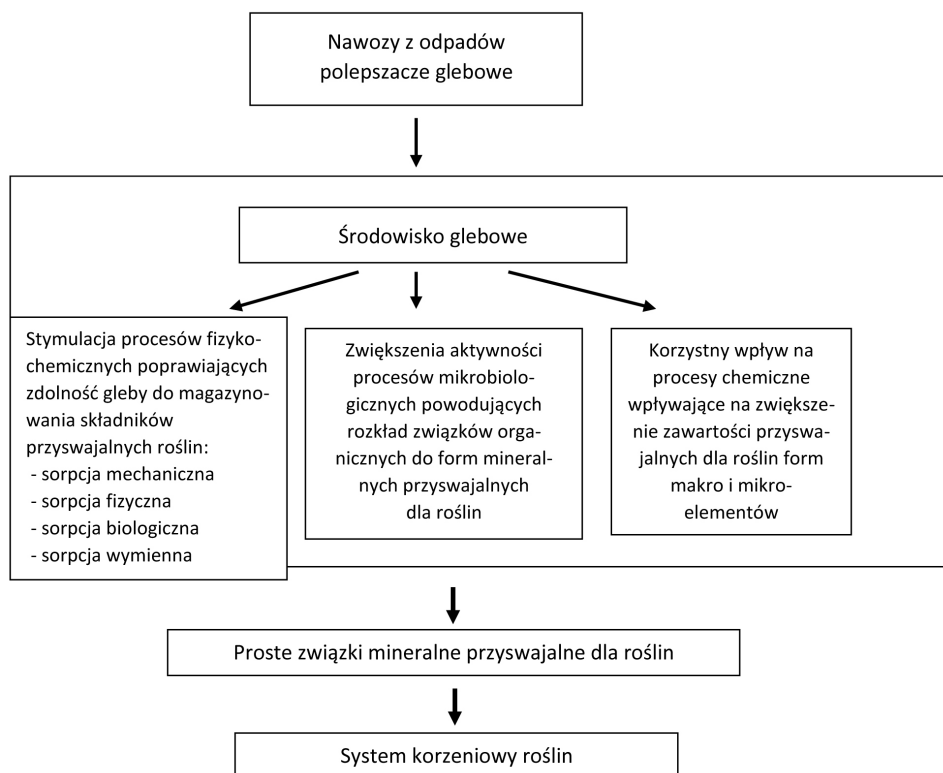
możliwości ich wykorzystania, ale z drugiej rozpoznawane są coraz lepiej złożone, długofalowe interakcje, jakim odpady podlegają w środowisku glebowym, co skutkuje odpowiednimi zmianami w systemach prawnych, normach i technologiach ich stosowania, zapewniając coraz lepsze bezpieczeństwo ich nawozowego stosowania na użytkach rolnych

Dany odpad w zależności od tego jaki rodzaj nawozu chcemy produkować musi spełnić określone wymogi prawne. W tabeli 1 podano jak należy zapewnić bezpieczeństwo przy przyrodniczym wykorzystaniu odpadów w produkcji roślinnej.

4.1. Gleba jako układ umożliwiający wykorzystanie odpadów

Środowisko glebowe pola uprawnego jest sprawnym układem przyrodniczym, stanowiący swego rodzaju „oczyszczalnię”, w której wszelkie materiały nawozowe dostarczone z zewnątrz w formie materiałów odpadowych zarówno organicznych jak i mineralnych mogą zostać, odpowiednio wykorzystane, jako czynniki plonotwórcze. W ekosystemach naturalnych, zarówno wodnych, jak i glebowych odbywa się obieg pierwiastków tworzących materię organiczną i nieorganiczną. Jednym z głównych ogniw tego obiegu jest biologiczny rozkład substancji organicznych do prostych związków mineralnych, dwutlenku węgla i wody, który najintensywniej zachodzi w warunkach tlenowych. Dzięki temu procesowi każdy ekosystem posiada swoistą zdolność do „samooczyszczania” z odpadowych produktów przemiany materii i obumarłej substancji organicznej, zależną od specyficznych warunków środowiskowych określających aktywność mikroflory i mikrofauny wodnej, czy glebowej. Dzięki tej właściwości ekosystemy mają także zdolność do odnowy, w warunkach presji środowiskowych, jakie tworzy człowiek podczas ich eksploatacji.

Odpady organiczne zastosowane w formie nawozów naturalnych lub organicznych, w wyniku działalności mikroflory i mikrofauny glebowej zostają przetworzone na składniki mineralne i glebową substancję organiczną. Składniki mineralne, w tym także składniki biogenne, jako składniki pokarmowe roślin są pobierane i przetwarzane na biomasę roślinną, co w efekcie eliminuje lub silnie ogranicza ryzyko zanieczyszczenia wód gruntowych. Glebowa substancja organiczna stanowi nie tylko substrat energetyczny dla mikroorganizmów glebowych, co istotnie przyczynia się do wzrostu ich aktywności i tym samym sprawności procesów „samooczyszczania”, ale co jest nie mniej ważne, zwiększa pojemność układu koloidalnego gleby. Powoduje to zwiększenie zdolności gleby do zatrzymywania jonów, co ma istotne znaczenie dla poprawy jej funkcji „filtracyjnej” chroniącej wody gruntowe przed zanieczyszczeniem oraz jej funkcji „magazynującej” wobec składników pokarmowych roślin. Kwestia ta jest szczególnie istotna dla gleb lekkich o małej pojemności sorpcyjnej. Również stosowanie odpadów przemysłowych na użytki rolne poprzez zwiększenie zawartości frakcji silnie rozdrobnionych (pył, il koloidalny) poprawia zdolności sorpcyjne gleby oraz poprzez wnoszenie związków alkalizujących przyczynia się do odkwaszenia gleb nadmiernie zakwaszonych.



Rys. 3. Schemat obrazujący wpływ produktów nawozowych wytworzonych z odpadów na aktywność naturalnych procesów zachodzących w środowisku glebowym

W wyniku nawożenia gleb nawozami wytworzonymi z odpadów można nie tylko pozbyć się uciążliwego odpadu, ale uzyskać znaczącą poprawę właściwości fizycznych i chemicznych gleb uprawnych przejawiającą się wzrostem odczynu gleb kwaśnych, wzrostem zawartości substancji organicznej, czy zwiększeniem zawartości frakcji ilastych w glebie, a także wzrostem przyswajalnych dla roślin form makro i mikroelementów.

5. Wnioski

1. Wybór technologii uzdatniania oraz dobór poszczególnych odpadów do produkcji nawozów musi spełnić wymogi ochrony środowiska oraz zapewnić produkcję bezpiecznej żywności paszy.
2. Preferowane technologie uzdatniania odpadów biodegradowalnych do celów przyrodniczego wykorzystania to kompostowanie, piroliza i produkcja biogazu.
3. Nawozy z odpadów nieorganiczne należy poddać procesowi granulacji lub wykorzystać je do produkcji nawozów z odpadami biodegradowanymi.

4. Wszystkie współczesne technologie wykorzystywane do uzdatniania odpadów w celu ich nawozowego wykorzystania muszą zapewnić możliwość nadania wytworzonym produktom nawozowym, odpowiedniej formy fizycznej tak aby mogły być bezpieczne magazynowane, transportowane (odory i inne) i wprowadzane do gleby przez nowoczesne siewniki nawozowe i wieloczynnościowe agregaty uprawowe.
5. Dobór składników i sposób przetwarzania powinien dążyć do tego aby powstające produkty (nawozy) były odpowiednio dedykowane z uwzględnieniem właściwości gleb i potrzeb pokarmowych roślin.

Bibliografia

- Bień J., Neczaj E., Worwag M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M. 2011. Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 14(4), 375–384.
- Bolan N., Kunhikrishnan A., Thangarajan R., Kumpiene J., Park J., Makino T., Kirkham M.B., Scheckel K. 2014. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils – To mobilize or to immobilize? *J. Hazard Mater.*, 266, 141–166.
- Fytili D., Zabaniotou A. 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 116–140.
- Krzywy E., Wołoszczyk C., Moździerz E. 2015. Possibility of producing granulated organic-mineral fertilizers from some municipal and industrial wastes. *Chemik*, 69(10), 684–697.
- Neczaj E., Bień J.B., Grosser A., Worwag M., Kacprzak M. 2011. Anaerobic treatment of sewage sludge and grease trap sludge in continuous co-digestion. *Global Nest Journal*, 14(2), 141–148.
- Nowak M., Kacprzak M., Grobelak A. 2010. Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 13(2), 121–131.
- Obbard J. 2001. Ecotoxicological assessment of heavy metals in sewage sludge amended soils. *Applied Geochemistry*, 16(11), 1405–1411.
- Rosik-Dulewska C. 2008. Podstawy gospodarki odpadami. PWN, Warszawa.
- Wiater J., Łukowski A., Fitko H., Stelmach S., Sobolewski A., Figa J. 2003. Wstępne badania aplikacyjne granulowanych nawozów organiczno-mineralnych na bazie osadów ściekowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Inżynieria Środowiska*. 16(2), 233–237.
- Wuana R.A., Okieimen F.E. 2011. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology, Applied Geochemistry*, 16, 1405–1411.

Przetwarzanie komunalnych osadów ściekowych oraz roślinnych i zwierzęcych odpadów na nawozy agroekologicznej użyteczności jako przyrodniczo-gospodarcza, sanitarna i cywilizacyjna konieczność

Jan Siuta¹

Komunalny osad ściekowy (osad ściekowy) to najbardziej specyficzny odpad organiczny. Różni się on od pozostałych odpadów biomasy: liczebnością i ciągłością wytwarzania koloidalnej masy z chorobotwórczymi mikroorganizmami, pasożytami jelitowymi, z dużą odorowością, zawartością substancji organicznej i składników mineralnych, łatwością przetwarzania na nawozy agroekologicznej użyteczności. W postaci nie przetworzonej stanowią wielorakie uciążliwości (w tym zagrożenia) dla ludzi, zwierząt i środowiska przyrodniczego. Wszelkiego rodzaju odpady biomasy powinny wracać do ziemi – tak jak w warunkach naturalnych. Ale nieprzetworzone (płynne) komunalne osady ściekowe stosowano z dużym powodzeniem w roślinnym utrwalaniu powierzchni zagrożonych erozją wodną i wietrzną w Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”.

Wiodącą rolę w tym dziele pełnią innowacyjne technologie (systemy) przetwarzania bioodpadów wraz z odpowiednimi systemami promocji oraz dystrybucji technologicznych instalacji i nawozowych produktów. Małoinnowacyjne oraz pozostałe technologie i sposoby przetwarzania bioodpadów mają także znaczącą rolę do spełnienia w zintegrowanym systemie agroekologicznego użytkowania bioodpadów. Małe, licznie występujące sposoby kompostowania bioodpadów, na przykład kompostery przydomowe sanitują środowisko własne oraz edukują społeczność lokalną.

Do innowacyjnych technologii przetwarzania bioodpadów kwalifikują się głównie:

- technologia przetwarzania odpadów organicznych na nawozy wapniowo-organiczne, ze względu na bardzo dużą skalę wdrożenia instalacji technologicznych oraz plonotwórczą efektywność nawozowych produktów;
- innowacyjna technologia marki FLUID uwęglania biomasy i nawozowego użytkowania biowęgla, który jest użytkowany nie tylko jako wysokoefektywny nawóz, lecz ma bardzo duże zastosowanie w lecznictwie.

¹ Honorowy Prezes Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej, Instytut Ochrony Środowiska – PIB, ul. Krucza 5/11, 05-548 Warszawa

Nadmieniamy się, że innowacyjna technologia marki FLUID opracowano dzięki Europejskiemu Funduszowi na Rzecz Rozwoju Innowacyjnej Gospodarki. Realizacja wymienionych treści zmierza do stworzenia krajowego systemu technologii przetwarzania komunalnych osadów ściekowych oraz odpadów roślinnych i zwierzęcych na nawozy agroekologicznej użyteczności wraz z dystrybucją technologicznych instalacji, agroekologicznego użytkowania nawozowych produktów, jest naszą powinnością.

Stworzenie krajowego systemu technologii przetwarzania komunalnych osadów ściekowych oraz odpadów roślinnych i zwierzęcych na nawozy agroekologicznej użyteczności wraz z dystrybucją technologicznych instalacji, agroekologicznego użytkowania nawozowych produktów, jest naszą powinnością. Taki system będzie matrycą naturalnego przepływu materii i energii w biologicznie czynnej powierzchni ziemi.

Bibliografia

- Jędrzak A., Janka W. 1999. Kompostowanie odpadów komunalnych metodą komorową w Zielonej Górze. Kompostowanie i użytkowanie kompostu. I Konferencja Naukowo-Techniczna. Puławy – Warszawa.
- Sebastian M., Szpadt R. 1999. Indywidualne kompostowanie biofrakcji i odpadów organicznych. Kompostowanie i użytkowanie kompostu. I Konferencja Naukowo-Techniczna. Puławy – Warszawa.
- Siuta J. 1996. Synteza wyników programu badawczego finansowanego przez KBN, kierowanego przez Jana Siutę. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, ss. 40.
- Siuta J., Wasiak G. 2000. Kompostowanie odpadów i użytkowanie kompostu. Monografia. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, ss. 59.

Technologia przetwarzania odpadów organicznych na nawozy organiczno-wapniowe oraz ich dystrybucja i plonotwórcza efektywność

Janusz Zakrzewski¹, Tomasz Chabelski¹

1. Wprowadzenie

Sztandarowym produktem firmy Evergreen Solutions jest technologia przetwarzania komunalnych osadów ściekowych na nawóz OrCal® i OrCal® pHregulator®. Technologia FuelCal® pozwala na samodzielne rozwiązywanie problemu w sposób najbardziej korzystny z możliwych – jako surowiec w produkcji pełnowartościowych nawozów. FuelCal® to opatentowana polska technologia. Firma Evergreen Solutions Sp. z o.o., która jest oficjalnym producentem i dystrybutorem technologii, oferuje urządzenia RCal120 i RCal250, które dostosowane są do ilości powstających w zakładzie odpadów. Technologia ma bardzo wiele zalet. Odpady są przetwarzane w miejscu wytworzenia lub w specjalnie dla tego celu przygotowanym zakładzie przetwórczym. W procesie technologicznym wykorzystywane jest jedynie temperatura reakcji chemicznej. Proces technologiczny jest prowadzony w temperaturze od 60 °C do 145 °C, a rozwiązania technologiczne zastosowane w instalacji FuelCal® zapewniają w szczególnych przypadkach hermetyczność i bezemisyjność szkodliwych gazów (tlenków siarki, tlenków azotu i innych złownnych substancji) typowych dla wysokotemperaturowych technologii” [Strona internetowa Evergreen Solutions].

Know-how oraz rozwiązania technologiczne którymi dysponuje Evergreen Solutions Sp. z o.o. z Pyrzyc są chronione przed nieautoryzowanym wykorzystaniem przez konkurencję. Evergreen jest dysponentem innowacyjnego rozwiązania technologicznego FuelCal®, objętego patentem P. 229206 udzielonym przez Urząd Patentowy RP na podstawie zgłoszenia patentowego nr P.400268, opisującego wytwarzanie nawozu zgodnie z którym powstają produkty z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®, tj. spowolnione działanie w glebie oraz prawa ochronnego do znaku towarowego OrCal® jak również znaku towarowego FuelCal®. Uprawnionym z patentu, jak również z prawa ochronnego do znaków towarowych, jest Janusz Zakrzewski.

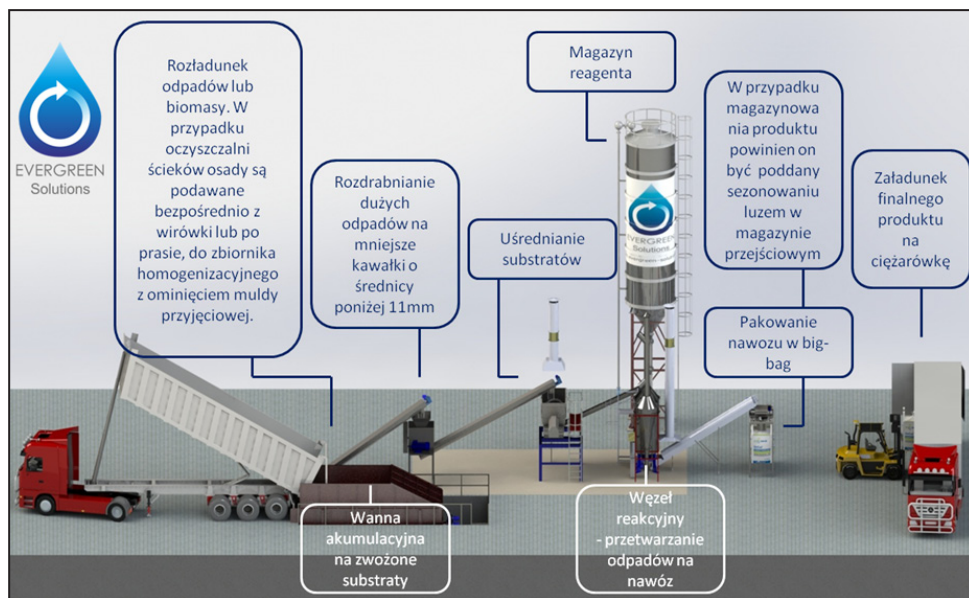
¹ Evergreen Solutions Sp. z o.o., ul Stargardzka 8, 74-200 Pyrzyce

Co istotne, produkty wynikowe z serii OrCal® i OrCal® pHregulator® spełniają wszelkie wymagania określone prawem i wysokimi kryteriami jakościowymi – co stanowi potwierdzenie, że są to bezpieczne i powtarzalne produkty. Znaki towarowe FuelCal®, OrCal®, pHregulator® i WapCal® są zastrzeżone w Urzędzie Patentowym RP i podlegają ochronie prawnej (Evergreen Solutions posiada w sumie kilkanaście umów licencyjnych na korzystanie z zastrzeżeń i praw patentowych, oraz prawa własności intelektualnej należące do spółki)

2. Zasada działania technologii

Zaprojektowana linia technologiczna FuelCal® dobrze współpracuje z instalacjami w miejscu powstawania odpadów (surowców). Głównym elementem systemu jest reaktor, w którym proces destrukcji surowca jest kontrolowany z reagentem WapCal® w celu spowodowania reakcji egzotermicznej i wytworzenia produktów OrCal® lub OrCal® pHregulator® (rys. 1).

Produkty OrCal® i OrCal® pHregulator® mogą być wytwarzane jedynie z wykorzystaniem technologii FuelCal®, przy użyciu reagenta WapCal®, którego skład oparty jest o wysoko reaktywne wapno palone o wysokiej porowatości i zmodyfikowanym składzie chemicznym, m.in. o plastyfikator (parametry reagenta wymagają każdorazowo certyfikacji Evergreen Solutions Sp. z o.o. lub wskazanego przez Evergreen Solutions Sp. z o.o. podmiotu). Katalizatorem inicjującym reakcję egzotermiczną i uwalniającym energię całego procesu jest Reagent WapCal® – wap-

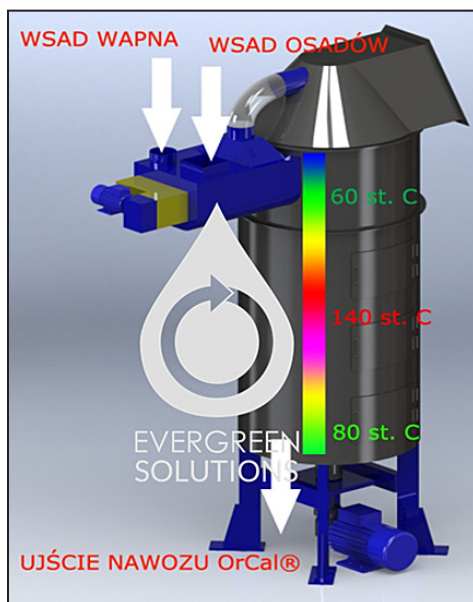


Rys. 1. Schemat procesu oraz elementy instalacji technologii FuelCal®
[Prezentacja firmowa Evergreen Solutions, 2018]

no palone BWR, w postaci sproszkowanej z dodatkiem makro- i mikroelementów podnoszących właściwości nawozowe przetwarzanego odpadu. W wyniku egzotermicznych reakcji chemicznych zachodzących pomiędzy precyzyjnie dawkowanym Reagentem WapCal®, a wodą z biomasy i osadów ściekowych następuje odparowanie i częściowe związanie wody zawartej w osadzie, czego efektem jest hydrat wapnia wchodzący w skład gotowego produktu: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$.

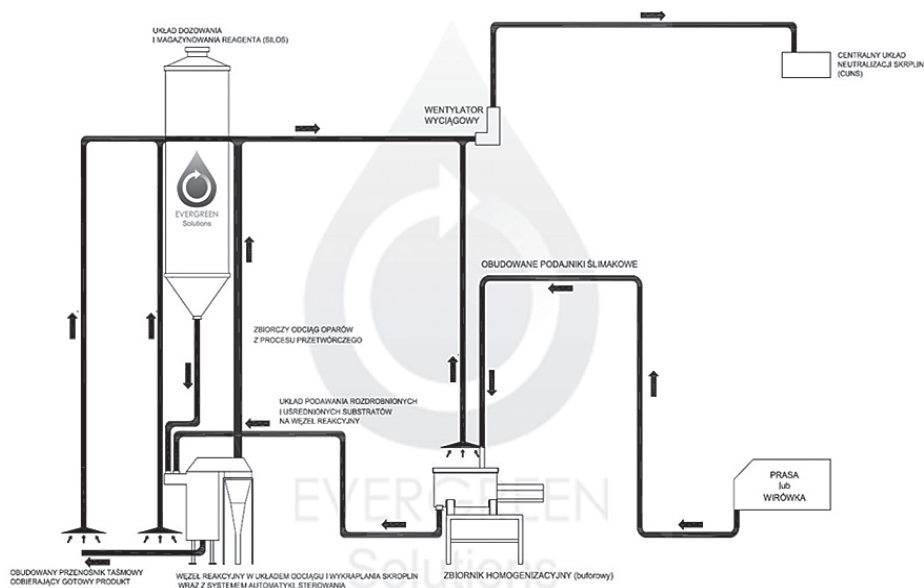
Hydrat wapnia wiążąc się z CO_2 zawartym w komorze reakcyjnej stwarza cienką lecz mocną otoczkę wokół cząstek frakcji organicznej z osadu, zbudowaną z CaCO_3 . Proces przetwarzania biomasy prowadzi do wytworzenia nawozu o kontrolowanym uwalnianiu składników chemicznych do gleby, zgodnie z którym powstają produkty z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®. Proces hydratacji przebiega w temperaturze od 55°C do 140°C. W technologii FuelCal® operator ma możliwość kontroli, regulacji zadanej temperatury, oraz czasu przebywania substratów w reaktorze, co decyduje o skuteczności higienizacji przy jednoczesnej możliwości zmian parametrów pracy reaktora (rys. 2), oraz archiwizacji danych w formie elektronicznej dostępnych na stronie internetowej Evergreen Solutions.

Reaktory RCal120 mają możliwość sterowania wydajnością przetwarzania biomasy od 500 kg/h do 4000 kg/h, oraz czasem przebywania substancji reagującej w reaktorze, której udział w zależności od uwodnienia substratu powinien stanowić nie więcej niż 300 kg/1 Mg osadu. Proponowana technologia umożliwia ekspozycję przetwarzanego odpadu w reaktorze przez minimum 5 minut i poddanie w/w mieszaniny ustalonej zadanej temperaturze. Wydzielające się podczas procesu reakcji reagenta WapCal® z osadem, gazy takie jak amoniak i merkaptany są sepa-



Rys. 2. Schemat pracy reaktora [Prezentacja firmowa Evergreen Solutions, 2018]

rowane i przepuszczane przez układ neutralizacji skroplin minimalizując uciążliwość odorową i zawracając azot i inne makroelementy wzbogacając powstający produkt. Instalacja ma system zarządzania recepturami przetwarzanego surowca, dzięki czemu można wpływać na skład powstałego produktu. Dostępne receptury wyświetlane na panelu LCD ułatwiają zmianę ustawień dawek wykorzystywanego podczas procesu Reagenta WapCal®, osadu oraz ich wzajemnych zależności, proporcji i temperatur. Receptury mają możliwość zmian ustawień podczas produkcji a zainstalowany system automatyki i sterowania umożliwia zdalny dostęp i w razie potrzeby diagnostykę urządzenia lub korektę parametrów pracy przez ekipę serwisową. System umożliwia zdalny dostęp do urządzenia oraz podgląd wybranych parametrów pracy dla ekipy serwisowej. Historia przetwarzanych zapisów temperatur jest archiwizowana. Instalacja posiada możliwość podłączenia do Internetu celem spełnienia w/w zadań. Technologia ma system sterowania urządzeniem do unieszkodliwiania oparów powstałych w wyniku reakcji osadu ściekowego z Reagentem WapCal®. Reakcja hydratacji wapna palonego z wodą zawartą w osadach – odpadach, powoduje podwyższenie temperatury procesu, co neutralizuje nieprzyjemny zapachu z osadu/opadu, a zawarte w substracie zanieczyszczenia biologiczne, takie jak wirusy, bakterie, patogeny, formy przetrwalnikowe, oraz jaja pasożytów jelitowych *Ascaris* zostają zniszczone i powstający produkt jest wolny od patogenów. Wysoka temperatura w komorze mieszania jest efektem wyłącznie reakcji egzotermicznej tlenku wapnia z wodą bez użycia zewnętrznych źródeł ciepła. Technologia FuelCal® daje możliwość odzysku nadmiaru ciepła celem wykorzystania w innych procesach ale zasadniczo jest wykorzystywana w procesie podczas dosuszania gotowego produktu.



Rys. 3. Schemat procesu technologicznego [Prezentacja firmowa Evergreen Solutions, 2018]

Zastosowana technologia FuelCal® spełnia również zapisy Dyrektywy 86/278/EWG w sprawie ochrony środowiska, w szczególności gleby, w przypadku wykorzystywania biomasy i osadów ściekowych w rolnictwie, której celem jest ustanowienie warunków i promowanie stosowania osadu ściekowego w rolnictwie w taki sposób, by zapobiegać szkodliwemu ich oddziaływaniu na glebę, roślinność i ludzi. Technologia FuelCal® w pełni spełnia przepisy Ustawy o odpadach z 14 grudnia 2012 r., art. 17 i art. 18.

Proces technologiczny przetwarzania biomasy jest chroniony patentem, a jego efektem końcowym są znakomite, nowoczesne nawozy OrCal® i środki poprawiające właściwości gleby OrCal® pHregulator®, powyższe produkty zawierają znaczne ilości składników organicznych pochodzenia zwierzęcego, które mają potwierdzony naukowo przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach pozytywny, biostymulujący wpływ na rozwój upraw.

Firma Evergreen Solutions Sp. z o.o. zakończyła wieloletnie badania własne oraz badania prowadzone przez zewnętrzne instytucje dotyczące oddziaływania certyfikowanych, wytworzonych przy użyciu reagenta WapCal® produktów z serii OrCal® i OrCal® pHregulator® na metale ciężkie zawarte w glebie. Po zastosowaniu certyfikowanego, wytworzonego przy użyciu reagenta WapCal® produktu OrCal® i OrCal® pHregulator®, metale ciężkie obecne w glebie przechodzą do tzw. form rezydualnych. Formy rezydualne nie są rozpuszczalne w roztworze glebowym, a więc metale ciężkie nie są pobierane i magazynowane przez rośliny, mają też mniejszą możliwość przechodzenia do wód gruntowych. Wyniki przeszły oczekiwania firmy Evergreen Solutions Sp. z o.o. gdzie OrCal® i OrCal® pHregulator® produkowany przy użyciu certyfikowanego reagenta WapCal® uzdrawia glebę.

W procesie technologii FuelCal® powstają nawozy i środki wspomagające uprawę roślin organiczno-wapniowe z aktywnym hydratем wapnia z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®. Zawarty w produktach aktywny hydrat wapnia prawie 100 razy lepiej niż kreda lub dolomity rozpuszcza się w wodzie. Dzięki temu OrCal® skutecznie i szybko podnosi pH gleby. Efekty są widoczne już w pierwszym plonie. Dzięki zawartości materii organicznej, doskonale użyźniają glebę i odżywiają rośliny. Omawiane produkty spełniają wymagania jakościowe stawiane przez ustawodawstwo Rzeczypospolitej Polskiej oraz Komisji Europejskiej. OrCal® i OrCal® pHregulator® mają uznaną pozycję rynkową. Zostały wielokrotnie docenione przez rolników i ekspertów o czym świadczą przyznane nagrody branżowe (rys. 4).

3. Technologia FuelCal® i model biznesowy

Ogromnym atutem oferowanej przez firmę Technologii FuelCal® jest jednak wszechstronność – klienci mogą dostosowywać potencjał produkcyjny instalacji oferowanej przez Evergreen Solutions do swoich potrzeb w zakresie przetwarzania odpadów. Dobrym przykładem są Wodociągi i Kanalizacja w Turawie czy realizowany projekt w Oczyszczalni Ścieków w Zbąszynku, gdzie zainstalowana



Rys. 4. Nagrody dla produktów Evergreen Solutions
[Prezentacja firmowa Evergreen Solutions, 2018]

i projektowana jest mniejsza wersja instalacji z potencjałem produkcyjnym około 1 tys. Mg nawozu (środka poprawiającego właściwości gleby) w ciągu roku. W Polsce w maju 2019 r. działa już 13 zakładów wykorzystujących Technologię FuelCal® do przetwarzania biomasy na nawóz/środek poprawiający właściwości gleby (m.in. w Sierpcu, Grodzisku Wielkopolskim czy Turawie), a kolejnych kilkanaście instalacji jest aktualnie w trakcie realizacji (rys. 5). Oczywiście, rynkowe uznanie dla technologii FuelCal® nie sprawiły, że firma spoczęła na laurach – niezależnie od oferowanych obecnie rozwiązań, Evergreen Solutions prowadzi badania nad optymalizacją i rozwojem urządzeń, oraz nad nowymi zastosowaniami linii technologicznej w kolejnych branżach gospodarki. Dzięki temu powstaje perspektywa tworzenia nowych produktów w oparciu o nowe substraty i innowacyjnych rozwiązań technologicznych na bazie Technologii FuelCal®. Niezależnie od wdrożeń krajowych, firma działa na rynkach krajów Unii Europejskiej. Obecnie szczególnie obiecujące są kontakty biznesowe nawiązane w USA, na Białorusi, Azji i w Afryce. Na wszystkich tych rynkach zapotrzebowanie na rozwiązania oferowane przez Evergreen Solutions są ogromne i stale rosną, a klienci doskonale rozumieją, jakie zalety wynikają z wdrożenia systemu, który nie tylko pozwala na skuteczne rozwiązanie problemu odpadów, ale wręcz pozwala na nich zarabiać.

Co ważne, Evergreen Solutions skupia wokół siebie wielu szanowanych naukowców i Uczelni wspierających jej dążenia do popularyzacji Technologii FuelCal® na skalę przemysłową. Potwierdzają oni, że technologia FuelCal® jest przyjazna środowisku - wyniki pomiarów emisji wykonanych przez Biegłego Ministra Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa są bardzo korzystne i nie wykazu-



Rys. 5. Mapa lokalizacji z wdrożoną technologią FuelCal oraz w trakcie wdrożenia [Prezentacja firmowa Evergreen Solutions, 2019]

ją uciążliwości dla środowiska, w tym emisji gazowych i odorowych. Firma jest członkiem wspierającym PTIE czy członkiem i założycielem Klucowego Klastra Chemicznego Zielona Chemia skupiającego producentów nawozów. Jego celem jest rozwój i wspieranie badań nad zastosowaniem technologii FuelCal® w nowych obszarach działalności przemysłowej. Evergreen Solutions sp. z o.o. prowadzi też działania zmierzające do zwiększenia zaplecza naukowo badawczego mającego na celu rozwój Technologii FuelCal® i poszeżenia gamy produktów z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®. Celem tych działań jest zwiększenie wydajności, oraz optymalizacja procesu i kosztów produkcji co w konsekwencji będzie miało pozytywny wpływ na środowisko naturalne i efekt ekonomiczny uzyskiwany przez otoczenie biznesowe związane z technologią FuelCal®. Dodatkowym celem jest rozwój produktów z serii OrCal® i OrCal® pHregulator® jego składu i cech pozwalających na skuteczne wdrożenie w obszarze komercyjnym na skalę masową. Poza wsparciem liczego grona naukowców oraz przedstawicieli branży nawozowej [Wywiad z prof. J. Siutą, 2018] Evergreen Solutions ma silne wsparcie zarówno Instytutu Ochrony Środowiska, Ośrodków Doradztwa Rolniczego, Krajowej Stacji Chemiczno-Rolniczej jak i Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Takie kontakty służą popularyzacji rozwiązań technologicznych na skalę masową i jej komercjalizacji. W tym celu w 2018 roku spółka rozpoczęła budowę Centrum Badawczo Rozwojowego w Pyrzycach. Warto podkreślić, że Centrum budowane jest ze środków własnych firmy, co oddaje zaangażowa-

nie w projekt oraz pewność spełnienia pokładanych w nim nadziei. Dzięki takiemu zapleczu firma jest w stanie badać oraz rozwijać nowe produkty i innowacje w obszarze Technologii FuelCal® i nawozu z serii OrCal® i OrCal® pHregulator® – takie rozwiązanie daje możliwość połączenia celów biznesowych z badaniami i rozwojem naukowym. Pozwoli to na wdrożenie nowych rozwiązań i zwiększenie skali działania przedsiębiorstwa. Poza tym dzięki takiemu zapleczu firma jest w stanie badać oraz rozwijać nowe produkty i innowacje w obszarze Technologii FuelCal® i nawozu OrCal®. To pozwala znacząco zwiększać potencjał jaki jest ukryty w Technologii FuelCal® i produkcie finalnym jakim jest nawóz organiczno-mineralny OrCal® i środek wspomagający uprawę roślin OrCal® pHregulator®.

Najważniejsze wyróżnienia:

- W 2016 roku technologia FuelCal® otrzymała pozytywną opinię o innowacyjności wystawioną przez Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny.
- Technologia FuelCal® jest laureatem Akceleratora Zielonych Technologii – projektu Ministerstwa Środowiska mającego na celu międzynarodowy transfer technologii, sprzyjających ochronie środowiska i rozwojowi gospodarczemu.
- Firma Evergreen Solutions jest licencjonowanym dysponentem należącego do Janusza Zakrzewskiego patentu nr P.229206 pt. „Nawóz o kontrolowanym uwalnianiu składników chemicznych do gleby oraz sposób jego wytwarzania i aplikacji”, opisującego wytwarzanie nawozu zgodnie z którym powstają produkty z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®.
- Znaki towarowe FuelCal®, OrCal®, WapCal® są zastrzeżone w Urzędzie Patentowym RP i podlegają ochronie prawnej. Evergreen Solutions posiada w sumie kilka umów licencyjnych na korzystanie z własności intelektualnej w tym zastrzeżeń i praw patentowych należących do Janusza Zakrzewskiego.
- Produkty wynikowe z serii OrCal® i OrCal® pHregulator® uzyskują dopuszczenia do obrotu, spełniają wszelkie wymagania określone prawem i wysokimi kryteriami jakościowymi – to bezpieczne, powtarzalne produkty o ugruntowanej pozycji rynkowej.
- Dystrybucja obejmuje całą Polskę, a także tworzona jest sieć dystrybucji w wybranych krajach europejskich.

Najważniejsze wyróżnienia branżowe i naukowe, zdobyte przez firmę oraz jej przedstawicieli:

- Wyróżnienia osobowe dla Zarządu Evergreen Solutions sp. z o.o. dla Janusza Zakrzewskiego i Tomasza Chabelskiego za opracowanie technologii FuelCal® i OrCal® oraz za długoletnią współpracę na rzecz rozwoju ekologicznych technologii od Krajowego Klastra Kluczowego – Klaster Chemiczny Zielona Chemia ze Szczecina grudzień 2017.
- GreenEvo – Akcelerator Zielonych Technologii Ministerstwo Środowiska dla Technologii FuelCal® kwiecień 2011.

- Najbardziej innowacyjny produkt w konkursie „Power of Innovation” na Targach Agro Power Mazury 2014.
- Nagroda Dyrektora Zachodniopomorskiego Oddziału Regionalnego Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa w Szczecinie dla produktu OrCal® na XXVIII Barzkowickich Targach Rolnych Agro Pomerania 2015.
- Puchar Przewodniczącego Rady Miejskiej w Żninie 2016.
- Złoty Żuraw Rolnictwa 2016 – nagroda dla produktu OrCal® na Centralnych Targach Rolnictwa.
- Firmowy Hit Roku 2018 – nagroda dla produktu OrCal® przyznana przez Raport Rolny.
- Nagroda przyznana przez Niemieckie Towarzystwo Rolnicze DLG podczas Międzynarodowych Targów Rolniczo-Przemysłowych AGRO-TECH 2018 w Minikowie. Nagroda „ZNAKOMITA FIRMA” przyznana EvergreenSolution przez Izbę Gospodarczą Wodociągów Polskie oraz firmę Abrys, wręczona podczas Kongresu Envicon Water w Warszawie, w dniach 17–18.06.2019 (rys. 6).

Evergreen Solution jest również aktywnym członkiem licznych instytucji branżowych – m.in. Krajowego Klastra Kluczowego Zielona Chemia w Szczecinie (firma jest również jego współzałożycielem), Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej oraz współpracującym z Izbą Wodociągów Polskie w Bydgoszczy.

Warto dodać, że zainteresowanie produktami z serii OrCal® i OrCal® pHregulator® na rynku jest bardzo duże, gdyż są to produkty, które bardzo dobrze przyjęły się w produkcji roślinnej i obecnie są stosowane z powodzeniem na setkach tysięcy hektarów użytków rolnych w Polsce i zagranicą. Najważniejsze wartości produktów z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®, zauważane i doceniane przez rolników. Produkty z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®, wymieniono poniżej:



Rys. 6. Wiceprezes Evergreen Solutions z dyplomem nagrody „ZNAKOMITA FIRMA” podczas Kongresu Envicon Water dn. 17.06.2019 [Newsletter Klastra Chemicznego, 2019]

- skutecznie odkwaszają glebę, szybko podnosząc jej odczyn pH. Stwarza to korzystniejsze warunki dla wzrostu korzeni, dostępności składników pokarmowych oraz rozwoju pożytecznych mikroorganizmów w glebie;
- wzbogacają glebę o substancję organiczną, która jest surowcem do produkcji próchnicy glebowej, zwiększa strukturę gruzelkową gleby, co poprawia jej stosunki powietrzno-wodne, akumulację wody, przesiąkanie wody po dużych opadach, ułatwia uprawę gleby i wiele innych;
- zawierają składniki pokarmowe, z których roślina korzysta w trakcie wegetacji;
- OrCal®e są łatwe w stosowaniu, w przeciwieństwie do osadu ściekowego, który zawierając dużo wody jest mazisty, klejący i nie nadaje się do wysiewu rozsiewaczami nawozów mineralnych lub organicznych;
- ekonomicznie, są atrakcyjne dla rolnika, gdyż wartość zawartych w nich składników pokarmowych zbliżona jest cenie nawozu natomiast wartością dodaną są substancja organiczna (około 48% w suchej masie), siarka, magnez i mikroelementy oraz efekt dodatkowy tj. poprawa odczynu pH gleby czy wiązanie metali ciężkich obecnych do form rezydualnych.

Dużą zaletą technologii FuelCal® jest fakt, iż jest ona przyjazna dla środowiska i mieszkańców – w przeciwieństwie do wielu alternatywnych metod zagospodarowania/przetwarzania odpadów. Nie generuje ona żadnych nieprzyjemnych zjawisk zapachowych i złoonych, szkodliwych substancji i emisji złoonych itp.



Rys. 7. Fotografia instalacji FuelCal®

Technologia FuelCal® jest jedyną z technologii, która nie generuje żadnych emisji szkodliwych produktów, typowych dla wysokotemperaturowych procesów przetwarzania takich jak tlenki siarki, dioksyny, tlenki azotu i inne. W odróżnieniu od typowych suszarni, kompostowni czy spalarni osadów ściekowych nie występują emisje odorowe, a większość przegrzanej pary wodnej wytwarzanej w technologii FuelCal® wyłapywana jest w układzie neutralizacji skroplin UNS1 i CUNS.

Ma to kluczowe znaczenie dla firm czy oczyszczalni zlokalizowanych w pobliżu miast czy zabudowań – wdrożenie technologii FuelCal® pozwala im na bezkonfliktowe funkcjonowanie w lokalnej społeczności. Spółka może pochwalić się całym zestawem certyfikatów, rekomendacji i opinii ekspertów, potwierdzających innowacyjność, skuteczność oraz przyjazność dla środowiska tej metody. Są to m.in. Decyzje MRiRW dla produktu-nawozu OrCal® i środka wspomagającego uprawę roślin OrCal® pHregulator®, rekomendacja Głównego Inspektoratu Weterynarii, pozytywne wyniki badania IUNG Puławy, Instytutu Ochrony Środowiska, Instytut Medycyny Wsi, a także opinia o Innowacyjności wydana przez Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie. Podsumowując, przy pomocy Technologii FuelCal®, z mało wartościowego osadu ściekowego który jeszcze do niedawna stwarzał tylko problemy, wytwarza się cenny nawóz lub środek poprawiający właściwości gleby z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®, którego oczekują zakwaszone i ubogie w substancję organiczną gleby Polski. Wdrożenie tego rozwiązania jest więc dla inwestora posunięciem nie tylko opłacalnym finansowo i raz na zawsze rozwiązującym problem z przetwarzaniem odpadów, ale również posunięciem bardzo korzystnym wizerunkowo – z uwagi na relacje ze społecznością lokalną oraz pozytywny wpływ na lokalne rolnictwo i uprawy

4. Nawozy OrCal® oraz OrCal® pHregulator® i ich plonotwórcza efektywność

Produktem technologii FuelCal® jest nawóz wapniowo-organiczny, dostępny na rynku jako nawóz OrCal®. Został on gruntownie przebadany i posiada oficjalny dokument, poświadczający jego wysoką jakość, skuteczności i bezpieczeństwo – czyli Dopuszczenie Nawozowe Nr. 183/07/2007 wydane przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. OrCal® (dystrybuowany przez firmę Evergreen Solutions Sp. z o.o. i podległą jej sieć dystrybucji) to nawóz o właściwościach bardzo szybko korygujących pH gleby i zawierający ok. 30% materii organicznej (tab. 4). OrCal® neutralizuje zakwaszenie gleby. Dzieje się tak gdyż nawóz zawiera aktywny hydrat wapnia, który jest łatwo rozpuszczalny w wodzie – rozpuszcza się o wiele szybciej niż kreda wapienna, czy wapno węglanowe.

OrCal® zawiera do 4,7% azotu, który charakteryzuje się spowolnionym uwalnianiem w czasie – długotrwałym działaniem. Nawóz OrCal® poprawia strukturę i żyzność gleby zapewniając również roślinom składniki pokarmowe. Badania przeprowadzone przez specjalistów z Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa

Tabela 1. Procentowe zawartości substancji organicznej, azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu w suchej masie środka wspomagającego OrCal® pHregulator® i nawozu OrCal®

Laboratorium, rok badania	Substancja organiczna	Azot N	Fosfor		Potas		Wapń Ca	Magnez Mg
			P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O		
IUNG w Puławach, 2006 r.	36,24	1,74	–	0,30	–	0,18	27,54	0,16*
OSCHR w Warszawie, 2015 r.	36,06	4,70	1,12	2,56	1,15	1,36	19,8	0,12

* W tlenku magnezu (MgO).

w Puławach wykazały, że nawóz powoduje wzrost biomasy roślin od 20% do 40%. Według klientów stosujących nawozy OrCal® wynika, że nawóz ten zwiększa zawartość białka w ziarnach zbóż o około 30% stosunku do upraw nienawożonych nawozem OrCal® (rys. 8). Przykładowo, w pszenicy jarej nawożonej nawozem OrCal® średnia zawartość białka wynosi do 18% wagowych w porównaniu z 13% białka uzyskiwanymi w uprawach tradycyjnych.



Rys. 8. Potwierdzone badaniami działanie produktów z serii OrCal® i OrCal® pHregulator® [Strona internetowa Evergreen Solutions, 2019]

Nawóz OrCal® zawiera następujące składniki:

- azot (N) – do 4,7%;
- fosfor związany (P₂O₅) – ok 2,56%;
- fosfor – ok. 1,12%;
- potas (K) – ok 1,15%;
- potas związany (K₂O) – 1,38%;
- wapno i CaO – min. 25%;
- substancje organicznej w suchej masie – ok 20%.

Stwierdzono, że nawóz doskonale sprawdza się podczas suszy – na polach nawożonych OrCal® w wyjątkowo suchych okresach gleba ma lepszą strukturę, wygląda na bardziej żyzną, bardziej próchniczą i przyjazną systemowi korzeniowemu rośliny, a także pozostaje wilgotna w warunkach intensywnej kilkutygodniowej suszy.



Rys. 9. Opakowanie handlowe nawozu OrCal z logotypami
[Strona internetowa Evergreen Solutions, 2019]

Wpływ OrCal® na właściwości gleby

- 1) Odkwaszanie gleby.** Związki wapnia w nawozie, a szczególnie powstałe jony OH⁻ (z dysocjacji w glebie hydratu wapnia i węglanów wapnia), łączą się z jonami wodorowymi H⁺ skutecznie podwyższając pH roztworu glebowego. Według dr hab. Piotra Szulca z UP Poznań wzrost pH pod wpływem nawozu OrCal® wyniósł nawet o 1–1,5 jednostki pH w ciągu 2–3 miesięcy. Co ciekawe, w tym doświadczeniu prowadzonym przez UP Poznań, nawożenie NPK spowodowało lekkie obniżenie pH gleby, w porównaniu do kontroli, bez nawożenia NPK. W wykonanych kilka lat wcześniej badaniach IUNG w Puławach zanotowano podobny efekt, czyli podniesienie pH o 1 do 2 jednostek, w zależności od dawki OrCal®. Co istotne, wzrost pH gleby po zastosowaniu OrCal® skutkował wzrostem zawartości przyswajalnych form fosforu i potasu w glebie, z czego z powodzeniem skorzystały kukurydza i jęczmień, reagując wzrostem plonowania. Związki znajdujące się w ziemi stały się łatwiej przyswajalne dla roślin.
- 2) Zwiększenie zawartości substancji organicznej w glebie.** OrCal® zawiera co najmniej 20% masy organicznej w suchej masie. W praktyce, zawartość masy organicznej jest dużo wyższa, gdyż substancja organiczna jest zaotaczowana węglanami wapnia i w standardowych analizach chemicznych (spalanie w temperaturze 550 °C) tylko jej część jest określana. W praktyce, zawartość masy organicznej (materii organicznej) oceniana metodą spalania w temperaturze 750 °C wynosi ponad 50% w suchej masie nawozu. Jest to sporo, jeśli weźmie się pod uwagę jakie ilości nawozu stosuje się na hektar pola. Przy powszechnym spadku zawartości masy organicznej w glebach uprawnych, OrCal® może być więc dobrym źródłem jej uzupełniania i odbudowy próchnicy glebowej – tym bardziej, że jest to substancja częściowo rozłożona do form prostych, a więc bardziej przdatna do budowy związków próchnicznych.

- 3) Stymulacja rozwoju systemu korzeniowego oraz mikroorganizmów glebowych.** Optymalizacja odczynu pH gleby (pHgleby) jest czynnikiem, który sam w sobie stwarza korzystne warunki dla rozwoju korzeni roślin, a szczególnie delikatnych włośników. W niskim pH, w glebach kwaśnych dochodzi do zahamowania wzrostu korzeni przez jony glinu Al^{3+} , które masowo uwalniają się do roztworu glebowego z kompleksu sorpcyjnego i minerałów ilastych. Zastosowanie nawozu OrCal® znacznie ogranicza toksyczność glinu i wodoru, pozwalając rozwijać się korzeniom roślin w sposób prawidłowy. Ponadto, związki powstające wskutek rozkładu substancji organicznej nawozu OrCal®, stymulują wprost stożki wzrostu korzeni i włośników. OrCal® oddziałuje też korzystnie na rozwój i namnażanie się pożytecznej flory (pożyteczna flora bakteryjna w glebie) grzybowej i bakteryjnej gleby pomagając w utrzymaniu prawidłowej homeostazy w glebie (homeostaza w glebie). Jest to skutek zmiany pH, oraz działania bioaktywnych związków organicznych (biostymulanty), pochodzących z hydrolizy substancji organicznej (naturalnej materii organicznej) zawartej w nawozie.
- 4) Dostarczanie roślinom składników pokarmowych.** Jedna tona OrCal® może zawierać około 47 kg azotu (N), około 25 kg fosforu (P_2O_5), 13,8 kg potasu (K_2O) oraz co najmniej 250 kg wapnia (CaO). Oprócz tego, w nawozie są magnez i mikroelementy. Mimo, że nie są to duże ilości, to biorąc pod uwagę fakt, że uwalniają się stopniowo z gruzełków otoczonych skorupką węgla wapnia, można zakładać, że będą wykorzystane w całości w ciągu okresu wegetacyjnego- stopniowo w zależności od aktywności glebowej. Dla porównania, z nawozów mineralnych (nawozy mineralne), rośliny wykorzystują tylko od 70% do 30% składników pokarmowych. Z pewnością OrCal® można potraktować jako dobre źródło wapnia i naturalnych składników odżywczych dla roślin. Wapń jest pierwiastkiem, który odpowiada za prawidłowe funkcjonowanie ścian komórkowych, ich sztywność, przepuszczalność i selektywność – reguluje także podziały komórek i wzrost tkanek. Wapń ogranicza skutki stresów, neutralizując reaktywne formy tlenu (ROS), które powstają podczas stresów i działają destrukcyjnie na organelle komórkowe, a także uczestniczy w mechanizmach przekazywania sygnałów ze środowiska. Skala zmian stężenia wapnia w roślinie jest dla niej informacją o rodzaju i natężeniu bodźca środowiskowego. Ponieważ zmiany tego typu następują w bardzo dużej ilości komórek, możliwa jest reakcja całej rośliny, np. zmiana ustawienia liści, stałe podążanie (ze wschodu na zachód) tarczy słonecznika za słońcem.

Działanie nawozu OrCal® na rośliny można podzielić na dwa rodzaje:

- **Bezpośredni wpływ**, czyli dostarczanie składników pokarmowych, stymulację rozwoju korzeni (szczególnie włośników). Mimo, że OrCal® zawiera niedużo pierwiastków przydatnych dla roślin, należy je uwzględnić w ocenie nawozu i kalkulowania planu nawożenia uprawy.

- **Pośredni wpływ**, czyli regulację pH gleby, wzbogacanie gleby o substancję organiczną, stymulowanie rozwoju pożytecznych mikroorganizmów glebowych, poprawę parametrów fizycznych i chemicznych gleby i inne. Wszystkie te efekty przyczyniają się do stworzenia roślinom uprawnym lepszych warunków do wzrostu, rozwoju oraz plonowania.

OrCal® – to się opłaca!

Nawóz OrCal® to produkt, którego popularność wciąż wzrasta przy jednoczesnym zachowaniu stałej, wysokiej ceny produktu. Dzięki temu zakłady inwestujące w technologię FuelCal® mają szansę na uzyskanie dodatkowych dochodów ze sprzedaży – dzięki czemu wdrożenie tego rozwiązania nie tylko pozwala na skuteczne rozwiązanie problemu zagospodarowania odpadów czy osadów ściekowych, ale również na zarabianie na teoretycznie kłopotliwych substancjach.

Warto również dodać, że OrCal® promowany jest przez Ośrodki Doradztwa Rolniczego w całej Polsce oraz Okręgowe Stacje Chemiczno-Rolnicze – specjaliści z tych instytucji doceniają rozwiązanie firmy Evergreen Solutions i rekomendują je firmom i jednostkom samorządu, poszukującym skutecznej metody zagospodarowania odpadów produkcyjnych/z procesu oszczaniania. Innowacyjność i jakość nawozów OrCal® – także całej technologii FuelCal® – doceniają również niezależni eksperci. Technologia FuelCal® została doceniona przez Ministerstwo Środowiska (Firma została laureatem konkursu Akcelerator Zielonych Technologii GreenEvo) zdecydowanie pozytywnie jej rozwiązanie opiniowali również specjaliści z Instytutu Budownictwa i Mechanizacji Rolnictwa, Instytutu Medycyny Wsi, Instytutu Ochrony Środowiska czy Politechniki Opolskiej.

Nawóz OrCal® i środek wspomagający właściwości gleby OrCal® pHregulator® otrzymały wiele nagród i wyróżnień (rys. 10), między innymi:

- 2014 – najbardziej innowacyjny produkt w konkursie „Power of Innovation” na targach rolnych w Ostródzie,
- 2015 – nagrodę dla „Najlepszej firmy” na targach AGRO POMERANIA 2015,
- 2016 – Złoty Żuraw Rolnictwa na Centralnych Targach Rolniczych w Nadarzynie.

Spółka Evergreen Solutions otrzymała decyzje i opinie, potwierdzające wysoką skuteczność oraz bezpieczeństwo preparatów OrCal® i OrCal® pHregulator®:

- Opinia IUNG-PIB w Puławach o spełnieniu wymagań jakościowych oraz wymagań w zakresie dopuszczalnych zawartości zanieczyszczeń przez OrCal® pHregulator®.
- Opinia IUNG-PIB w Puławach o przydatności OrCal® pHregulator® do stosowania w rolnictwie.
- Sprawozdania z badań Okręgowej Stacji Chemiczno Rolniczej w Warszawie dla OrCal® pHregulator®.
- Pozytywne wyniki badań biologicznych przeprowadzonych przez Państwowy Instytut Weterynaryjny Państwowy Instytut Badawczy w Puławach PiWET.



Rys. 10. Nawozy z serii OrCal® uznane zostały za najbardziej innowacyjny produkt w konkursie Power of Innovation AGRO-POWER MAZURY 2014
[Strona internetowa Evergreen Solutions, 2019]

- Opinia Instytutu Medycyny Wsi w Lublinie dla OrCal® pHregulator® o braku szkodliwego wpływu na zdrowie ludzi IMW.
- Opinia dla OrCal® pHregulator® o przydatności do stosowania w uprawie warzyw i owoców Instytutu Ogrodnictwa Zakład Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych Laboratorium Analiz Chemicznych w Skierniewicach INHORT.
- Pozytywna Opinia Instytutu Ochrony Środowiska Państwowy Instytut Badawczy IOŚ-PIB dla OrCal® pHregulator® IOŚ-PIB.
- Opinia Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Falentach o przydatności do stosowania na TUZ dla OrCal® pHregulator®.
- Decyzje Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi zezwalająca na wprowadzenie do obrotu produktów z serii OrCal® i OrCal® pHregulator® MRiRW.

Wśród instytucji, z którymi współpracuje firma, warto wymienić Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, Instytut Ochrony Środowiska, Krajową Stację Chemiczno-Rolniczą w Warszawie, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii, magazyny Inżynieria Ekologiczna oraz Forum Mleczarskie Biznes, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy oraz Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Praktyka, oceny użytkowników, a także wyniki testów przeprowadzanych przez renomowane instytucje badawcze i naukowe pokazują, że produkty z serii OrCal® i OrCal® pHregulator® to produkty o właściwościach bardzo szybko podnoszących pH gleby i zawierające jednocześnie ok. 30% materii organicznej naturalnego pochodzenia. OrCal® i OrCal® pHregulator® neutralizuje naturalne zakwaszenie gle-

by oraz zakwaszenie spowodowane działalnością rolniczo-przemysłową – jest to możliwe, ponieważ OrCal® i OrCal® pHregulator® zawiera aktywny hydrat wapnia, który jest łatwo rozpuszczalny w wodzie, a co za tym idzie rozpuszcza się o wiele szybciej niż kreda wapienna czy wapno węglanowe. OrCal® zawiera około 4,7% azotu, który charakteryzuje się stopniowym kontrolowanym uwalnianiem w czasie i długotrwałym działaniem. Przez swoje specyficzne właściwości nawóz OrCal® poprawia strukturę i żyzność gleby zapewniając również roślinom aminokwasy, minerały i inne pierwiastki śladowe. Według badań IUNG w Puławach nawóz powoduje wzrost biomasy roślin od 20–40%. Według badań klientów stosujących nawozy OrCal® nawóz podnosi zawartość białka w ziarnach zbóż o około 30% stosunku do upraw nienawożonych nawozem OrCal®. Przykładowo w pszenicy jarej nawożonej nawozem OrCal® średnia zawartość białka wynosi do 18% wagowych w porównaniu z 13% białka uzyskiwanymi w uprawach tradycyjnych.

Najwyższą jakość tych produktów potwierdziły m.in. wspomniany Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, a także Instytut Budownictwa i Mechanizacji Rolnictwa, Instytut Medycyny Wsi czy Instytut Ochrony Środowiska. Politechnika Opolska wydała niezależną opinię dotyczącą technologii, w której uznała ją za bardzo korzystną ze względów finansowych i środowiskowych pod względem wykorzystania technologii FuelCal® w zakładach wytwarzających odpady. Oczywiście, na zapewnieniu najwyższej jakości, efektywności i zbywalności swojego produktu, działania firmy na rzecz promocji produktów OrCal® i OrCal® pHregulator® się nie kończą. Firma Evergreen Solutions prowadzi również szereg działań medialnych i marketingowych mających na celu pozycjonowanie i budowaniu silnej marki produktu OrCal® i OrCal® pHregulator® na rynku polskim i UE (rys. 11). Ich celem jest zarówno promowanie samego produktu, jak i propagowanie dobrych praktyk w rolnictwie związanych ze skutecznym odkwaszaniem jej bezpiecznym odżywieniem i użyznieniem. Są one prowadzone zarówno samodzielnie, jak i wspólnie z organizacjami branżowymi – np. z Krajowym Kłosem Kluczowym Zielona Chemia, który wspiera działania kluczowych producentów nawozów w Polsce. Mowa tu m.in. o popularyzowaniu wiedzy o tym, jak stosowanie nowoczesnych nawozów może pomóc w minimalizowaniu skutków suszy [Minimalizowanie skutków suszy, 2019] czy o tym, jaką rolę może odegrać nawóz OrCal® w Krajowym Programie Odkwaszania i Użyźniania Gleby Zdrowa Polska Gleba [Na ratunek polskiej glebie, 2019].

5. Perspektywy technologii FuelCal®

Zmodernizowana technologia FuelCal® jest od lat doskonale znana na rynku i coraz częściej wdrażana przez oczyszczalnie ścieków oraz inne jednostki generujące odpady i osady ściekowe – użytkownicy doceniają efektywność i opłacalność tej metody przetwarzania odpadów. Jej atutem jest również fakt, że odpady przetwarzane są bezzwłocznie w miejscu ich wytworzenia oraz, że w procesie techno-



Rys. 11. Krajowa Konferencja Naukowa w Kazimierzu Dolnym, 17–18 września 2018 r.

logicznym wykorzystywane jest tylko ciepło reakcji chemicznej, a także wysoka przyjazność tego rozwiązania dla środowiska. Najważniejszą (z punktu widzenia inwestora) zaletą wdrożenia technologii FuelCal® jest jednak to, że decydując się na ten krok *de facto* przestaje on wytwarzać odpady ściekowe/poprodukcyjne (biomasę poprodukcyjną/odpadową) – zamiast tego staje się on po prostu producentem renomowanego nawozu z grupy OrCal® lub renomowanego środka poprawiającego właściwości gleby OrCal® pHregulator®.

Głównym profilem działalności firmy Evergreen Solutions jest wdrażanie modelu biznesowego opartego na implikacji własności intelektualnej, technologii FuelCal® wyrażonej poprzez produkcje urządzeń i części do montażu linii technologicznych służących do przetwarzania odpadów organicznych i wszelkiej biomasy odpadowej powstającej w procesie produkcji oraz sprzedaż nawozów z grupy OrCal® i OrCal® pHregulator®. Linie produkcyjne FuelCal® są projektowane tak, by również łatwo można je było montować w docelowym obiekcie zarówno podczas jego budowy, jak i później, jako uzupełnienie istniejących instalacji.

Model biznesowy, na jakim opiera swoje działania Evergreen Solutions, polega na dostarczeniu klientowi kompletnego rozwiązania z zakresu gospodarki osadowej i odpadowej jak i dystrybucji produktów wynikowych Technologii tj produktów z serii OrCal®, OrCal® pHregulator® lub OrCal® En. Evergreen Solutions Sp. z o.o. wspólnie z ogólnopolskimi dystrybutorami zajmuje się dystrybucją nawozów OrCal® i środków wspomagających uprawę roślin OrCal® pHregulator®. Produkty OrCal® i OrCal® pHregulator® tworzą nową dziedzinę rynku nawozowego uzupełniając „lukę” pomiędzy nawozami sztucznymi, nawozami organicznymi oraz nawozami wapniowymi.



Rys. 12. Fotografia dokumentu patentowego [Patent nr P.229206, 2018]

Warto odnotować, że Evergreen Solutions jest jedynym prawnym dysponentem technologii FuelCal® z zastrzeżoną i opatentowaną (rys. 12) nazwą produktu finalnego OrCal® i OrCal® pHregulator®. FuelCal® jest też laureatem GREEN-EVO Akceleratora Zielonych Technologii (rys. 13, a Evergreen Solutions jako następca prawny wcześniej prowadzonej działalności członkiem i założycielem



Rys. 13. Nagroda DLG na AGRO-TECH 2018
[Prezentacja firmowa Evergreen Solutions, 2018]

Chemicznego Klastra Kluczowego Zielona Chemia. O najwyższej jakości i skuteczności jej rozwiązań świadczą również kolejne decyzje, wydawane przez Ministerstwo Rolnictwa dla kolejnych zakładów, które zdecydowały się na wdrożenie FuelCal®.

Odbiorcami technologii FuelCal® są zakłady przetwórstwa mięsnego, mleczarnie, oczyszczalnie, itd. [Realizacje, 2019]. Dodajmy, że to właśnie oczyszczalnie są szczególnym zainteresowaniem wdrażaniem technologii pozwalających na wykorzystanie odpadów i komunalnych osadów ściekowych w charakterze surowca – co związane jest z wejściem w życie Rozporządzenia Ministra Gospodarki dotyczącego zakazu składowania osadów i szczególnego z nimi postępowania.

Firma Evergreen Solutions ma już na koncie wdrożenie kilka rozwiązań technologicznych w komunalnych oczyszczalniach ścieków – mowa tu m.in. o wzorcowej, mogącej być referencyjnym przykładem dla innych wdrożeń, instalacji w EPMEGEK Sierpc (gdzie roczna produkcja wynosi ponad 6 tys. ton), czy GPK Grodzisk Wielkopolski (gdzie roczna produkcja ponad 5 tys. ton).

Przykładem wdrożenia technologii FuelCal® jest także zakład w Mińsku Mazowieckim, stworzony dla potrzeb przetwarzania wszelkiej biomasy odpadowej z przemysłu rolno spożywczego oraz osadów ściekowych w technologii FuelCal® - jest to wdrożenie, obrazujące możliwości, wszechstronność oraz zalety rozwiązania opracowanego przez Evergreen Solutions.

Zbyt i dystrybucja produktów OrCal® i OrCal® pHregulator®

Nawóz OrCal® oraz środek wspomagający uprawę roślin OrCal® pHregulator® są jednym z najbardziej cenionych produktów tego typu na rynku – ten sukces nie jest dziełem przypadku, lecz doświadczenia firmy Evergreen Solutions, właściwej wiedzy jej założycieli i pracowników oraz przemyślanego, efektywnego modelu biznesowego. Konsekwentne kierowanie zarządu oraz działania Evergreen Solutions w tym promocja marki OrCal® i OrCal® pHregulator® skutkuje efektem w postaci stabilnie rosnącej i podwajającej się w stosunku do roku poprzedniego sprzedaży markowych produktów z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®.

Model biznesowy polega na dostarczaniu klientom kompletnego rozwiązania z zakresu przetworzenia odpadów w nawóz lub środek wspomagający uprawę roślin i dystrybucji produktów wynikowych technologii z grupy OrCal®, OrCal® pHregulator® lub OrCal® En. Podstawowym warunkiem do sprawnego funkcjonowania tego systemu jest zapewnienie, aby produkt wynikowy zastosowania technologii był najwyższej jakości, a ponadto będzie cieszył się ogromną popularnością na rynku. Celem zarządu Evergreen Solutions jest dostarczanie produktów najwyższej jakości gwarantujących zysk i dodatkowe profity dla użytkowników. Dlatego u podstaw dystrybucji leży założenie, że oryginalne produkty OrCal® oraz OrCal® pHregulator® muszą być wytwarzane w licencjonowanym przez Evergreen Solutions zakładzie produkcyjnym w oparciu o certyfikowany reagent WapCal®, zgodnie z wewnętrzną normą zakładową nr R.292513, z wykorzystaniem technolo-

gii FuelCal® której dysponentem jest Evergreen Solutions. Natomiast profesjonalną dystrybucją zajmują się licencjonowani Dystrybutorzy szkoleni i zarządzani są przez specjalistów w spółce Evergreen Solutions. W ten sposób określono fundamenty funkcjonowania całej organizacji. Proponowany model biznesowy daje klientom spółki poczucie zrozumienia oraz czytelne zasady współpracy.

Zbyt gotowych produktów odbywa się poprzez własne sieci dystrybucyjne, dystrybutorów zewnętrznych oraz handlowców podzielonych na regiony i przydzielonych do konkretnych licencjonowanych zakładów produkcyjnych. Konfekcjonowanie w opakowania typu Big Bag odbywają się na terenie zakładu produkcyjnego poprzez układ pakowania, ważenia i oznakowania zgodnego z ustawą o nawozach i nawożeniu. Worki są ustawiane na euro paletach, oznaczane dokumentem uprawniającym do wprowadzenia na rynek i przykrywane kapturem zabezpieczającym przez warunkami atmosferycznymi. Wysyłka do klienta końcowego – rolnika odbywa się po załadunku opakowań na samochody typu firanka. Nad całym procesem pieczę sprawuje pracownik ze strony Evergreen Solutions kontrolując prawidłowość całego procesu dostawy i serwisu po sprzedażowego. Dodatkowo również spółka udziela wsparcia w zakresie edukacji w zakresie prawidłowego wysiewu, dawkowania oraz doradza klientom w uprawie polowej roślin, warzyw i owoców.

Poza grupami dystrybucyjnymi spółka Evergreen Solutions prowadzi ogólnopolską infolinię poprzez którą obsługuje zamówienia składane bezpośrednio przez strony internetowe, jak i telefon. Poza opakowaniami typu Big Bag o pojemności 1 tony firma prowadzi sprzedaż i dystrybucję pełnych samochodów o pojemności 24 ton typu łódka. Rolnicy zamawiający większe ilości decydują się na zamówienia luzem z powodu atrakcyjniejszej oferty cenowej. Spółka prowadzi szeroko zakrojoną rekrutację nowych handlowców i przedstawicieli planując zatrudnienie w celu pokrycia terenu całej Polski szczególnie w obszarach gdzie powstają instalacje w technologii FuelCal®. Spółka prowadzi stały cykl programów promocyjnych w TV, radio, prasie, socjal mediach itp. mających na celu szeroko pojętą promocję markowych produktów z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®.

Spółka Evergreen Solutions zamierza konsekwentnie realizować założenia modelu biznesowego, dokończenie istniejących kontraktów na dostawę technologii FuelCal® i pozyskanie kolejnych zamówień na linie technologiczne produkujące OrCal® i OrCal® pHregulator®, co wydaje się realnym założeniem biorąc pod uwagę listy intencyjne, umowy przedwstępne i działania prowadzone w ramach dialogów technicznych. Celem działalności jest utrzymanie stabilnej pozycji jako firmy dostarczającej technologie do zakładów i przedsiębiorstw wytwarzających odpady oraz przetwarzających biomasę rolno-spożywczą na produkty z serii OrCal® i OrCal® pHregulator®. Kolejnym celem jest rozwój rynku sprzedaży nawozów OrCal® i OrCal® pHregulator® oraz budowa rynków produkcji i dystrybucji rynków europejskich oraz rynku afrykańskiego. Spółka zakontraktowała projekt budowy Centrum Badawczo-Rozwojowego nowych technologii. Dzięki temu może skupić w ramach tego projektu nie tylko na obszarze naukowym, ale również ko-

mercyjnym. Projekt angażuje wybraną grupę naukowców i autorytetów z branży odpadowej i nawozowej tworząc solidne wsparcie dla działu rozwoju i sprzedaży. Przewiduje się znaczące zwiększenie potencjału i skuteczności w ramach podejmowanych działań. Podsumowując, przed spółką jeszcze wiele lat intensywnej pracy w oparciu o przemyślany model biznesowy. Powinno to zaowocować zwiększeniem wolumenu sprzedaży i maksymalizacją planowanych zysków z korzyścią nie tylko dla spółki Evergreen Solutions, ale również dla środowiska naturalnego, czy potencjalnie zainteresowanych inwestorów.

Bibliografia

- Folder informacyjny nt. „FuelCal”, luty 2019.
- Folder informacyjny nt. „Uprawy rolne”, luty 2019.
- Newsletter Klastra Chemicznego „Zielona Chemia”, czerwiec 2019.
- Patent nr P.229206, właściciel Janusz Zakrzewski, Urząd Patentowy RP, grudzień 2018.
- Prezentacja firmowa Evergreen Solutions, marzec oraz grudzień 2018.
- Strona internetowa Evergreen Solutions, <https://evergreensolutions.pl> (dostęp dn. 30.06.2019 r.)
- Przetwarzanie odpadów biodegradowalnych, <https://evergreensolutions.pl/przetwarzanie-opadów-biodegradowalnych-na-organiczno-wapniowy-nawoz-oraz-dystrybucja-i-plonotworcza-efektywnosc-nawozu/> (dostęp dn. 02.03.2019 r.)
- Produkty, <https://evergreensolutions.pl/produkty-z-serii-orcal-to-wiecej-niz-nawozy/> (dostęp dn. 02.03.2019 r.)
- Na ratunek polskiej glebie, <https://evergreensolutions.pl/na-ratunek-polskiej-glebie/> (dostęp dn. 02.03.2019 r.)
- Minimalizowanie skutków suszy, <https://evergreensolutions.pl/orcal-sprawdza-sie-podczas-suszy/> (dostęp dn. 02.03.2019 r.)
- Realizacje, <https://evergreensolutions.pl/realizacje/> (dostęp dn. 02.03.2019 r.)
- Wywiad z prof. J. Siutą, 2018, https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=K0j-JHCfToqw

Wytwarzanie, właściwości i wielofunkcyjne użytkowanie hydrożeli z uwzględnieniem zwiększonej dostępności wody i składników pokarmowych dla roślin

Łukasz Kulikowski¹, Edward Kulikowski¹, Karolina Gręda-Stempel¹
Jacek Kiepuski²

1. Wprowadzenie

Firma Artagro Polska Sp. z o.o. została założona w 2015 roku. W latach od 2003 do 2015 firma działała pod nazwą Artagro Edward Kulikowski. Zainteresowania i badania nad superabsorbentami rozpoczęły się w roku 1997, a obecnie są nadal kontynuowane. Artagro Polska posiada linie produkcyjne w Miechowie, gdzie mieszczą się również laboratoria badawcze do monitorowania produkcji, jak również prowadzenia badań nad nowymi technologiami. Ważnym elementem strategii rozwoju Firmy jest współpraca z uczelniami i instytutami badawczymi służąca wymianie doświadczeń i poglądów oraz wdrażaniu technologii z udziałem najlepszych specjalistów.

Hydrożel, zwany też superabsorbentem, to substancja, która jest w stanie pochłoniąć i zmagazynować bardzo duże ilości cieczy względem swojej masy. Hydrożele są polimerami syntetycznymi i naturalnymi związkami o wielkocząsteczkowej budowie. Hydrożele produkowane przez naszą firmę mają zdolność pochłaniania, a następnie oddawania wody roślinom. W dobie zmieniającego się klimatu, powracających okresów długiej suszy, konieczne jest zwiększanie nakładów finansowych na nawadnianie upraw, a niekiedy i zakładanie nowych plantacji, co wiąże się z dużymi kosztami. Wykorzystanie superabsorbentów pozwala znacząco zmniejszyć koszty nawadniania, a hydrożelowa iniekcja ratuje istniejące plantacje bez konieczności zakładania nowych. Zawarta w superabsorbencie woda umożliwia roślinom przetrwanie okresów suszy, zapobiega przenikaniu nawozów w głąb gleby, niedostępne dla korzeni roślin. Umożliwia to zmniejszenie dawek nawozów, chroniąc glebę przed zasoleniem.

¹ Artagro Polska Sp. z o.o., ul. Bolesława Prusa 1, 32-200 Miechów

² Bio-Ecology Services Sp. z o.o., ul. Narocz 3, 02-678 Warszawa

Innowacyjny asortyment produktów oferowanych przez Artagro Polska powstał w ramach wdrażania technologii produkcji nanoporowatego kompozytu hydrożelowego zawierającego nawozy o spowolnionym uwalnianiu z dodatkiem mikroorganizmów. Technologia ta została zrealizowana dzięki Europejskim Funduszom na rzecz Rozwoju Innowacyjnej Gospodarki. Oferowane produkty to rozwinięcie istniejących technologii, dzięki czemu innowacje są jeszcze bardziej efektywne, ekonomiczne i bardziej przyjazne środowisku. Można scharakteryzować produkty Firmy jako wyroby powstałe w oparciu o polimery słabo usieciowane i polimery naturalne. Produkty te zwiększają absorpcję, poprawiają strukturę gleby, stymulują wzrost korzeni i plon roślin, ograniczają stres spowodowany okresami suszy, a także przeciwdziałają erozji wodnej i wietrznej.

Głównym celem Spółki jest produkcja hydrożeli dedykowanych do zastosowań przyrodniczych, w oparciu o własną nowoczesną technologię. Do najważniejszych produktów Artagro Polska zaliczają się preparaty dla rolnictwa, leśnictwa i ochrony środowiska, powstałe na bazie superabsorbentów, nawozów naturalnych, nanonawozów i lepiszczy polimerowych. Są to produkty:

- AgroNanoGel® Basic,
- AgroNanoGel® Root,
- AgroNanoGel® Premium,
- AgroNanoGel® Inject.

Firma produkuje ponadto serię preparatów Teracryl® przeznaczonych do łatwego i szybkiego związania pyłów powstałych w trakcie prac budowlanych, umocnienia terenów pochyłych, czy związania materiałów sypkich takich jak pył węglowy czy piasek. Zastosowanie lepiszczy polimerowych przynosi pozytywne efekty i ułatwia pracę w warunkach, gdzie występuje pylenie czy konieczność uszczelnienia gruntu. Produkty Teracryl® posiadają atest wydany przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH o numerze PZH/BT-3418/2018.

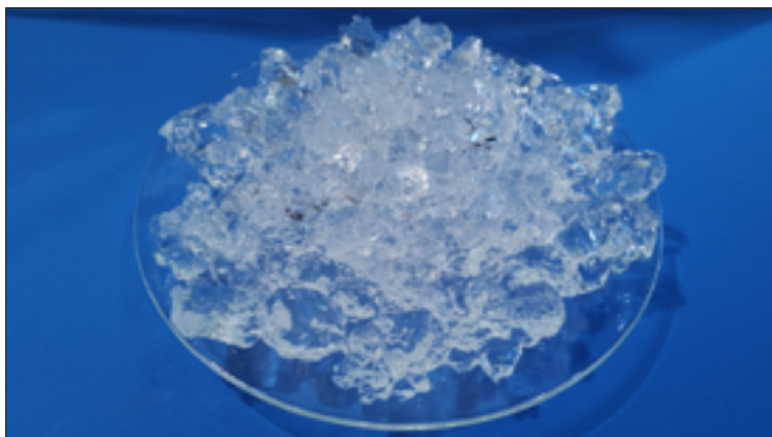
2. Produkty i technologie AgroNanoGel®

AgroNanoGel® Basic jest to ziarnisty superabsorbent, który charakteryzuje się dużą chłonnością wody, przekraczającą kilkaset razy własną masę. Poprawia on pojemność wodną gleby. Rośliny nie odczuwają stresu wodnego zarówno w fazie ukorzeniania się sadzonek, jak i w czasie wzrostu czy plonowania. AgroNanoGel® Basic jest trwały i aktywny w glebie do 5 lat i w tym czasie dostarcza roślinom wodę podczas niedostatecznej ilości opadów i nawodnień. Ulega całkowitej biodegradacji po około 10 latach i jest bezpieczny dla środowiska. Produkt posiada atest wydany przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH o numerze PZH/BT-3417/2018.

Zastosowanie AgroNanoGel® Basic ułatwia precyzyjne podanie roślinom preparatów wspomagających wzrost grzybów mikoryzowych oraz bakterii symbiotycznych. W glebie lub podłożu utrzymuje on stabilne warunki wodne dla roślin od chwili nasadzenia do zbiorów.



Fot. 1. Kryształy nieuwodnionego hydrożelu



Fot. 3. Kryształy uwodnionego hydrożelu

AgroNanoGel® Root to superabsorbent, który po uwodnieniu tworzy pulę hydrożelową służącą do otaczania bryły korzeniowej zabezpieczając system korzeniowy przed zasychaniem w transporcie, przechowywaniu i nasadzeniach. Jest doskonałym nośnikiem dla grzybów mikoryzowych i bakterii symbiotycznych. Stosowany w zabiegach iniekcji dogłębowej. Produkt posiada atest wydany przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH o numerze PZH/HT-3144/2016.

AgroNanoGel® Root jest trwały i aktywny w glebie do 5 lat i ulega całkowitej biodegradacji po około 10 latach, jest bezpieczny dla środowiska.

AgroNanoGel® Premium to superabsorbent o najwyższej oferowanej chłonności przekraczającej kilkaset razy własną masę, szczególnie polecany dla gleb lekkich, piaszczystych o małej pojemności wodnej. W okresach niedoboru wody w glebie oddaje ją sukcesywnie roślinom wykonując



Fot. 4. Otoczone korzenie truskawki Frigo z odmiany Elsanta

kilkadziesiąt tysięcy cykli chłonięcia i oddawania wody. Produkt posiada atest wydany przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH o numerze PZH/BT-3417/2018.

Zastosowanie AgroNanoGel® Premium ułatwia podanie roślinom preparatów wspomagających wzrost – grzybów mikoryzowych czy bakterii symbiotycznych. Zastosowanie niewielkich dawek pozwala ograniczyć zużycie wody w przypadku nawodnień (dawki zależne od pojemności podłoża lub gleby). AgroNanoGel® Premium jest trwały i aktywny w glebie do 5 lat i ulega całkowitej biodegradacji po około 10 latach, jest bezpieczny dla środowiska.

AgroNanoGel® Forte jest hydrożelowym nawozem zawierającym substancje nawozowe o spowolnionym działaniu. Produkt jest unikatowy dzięki opatentowanemu inteligentnemu procesowi uwalniania zawartych w nim nawozów WE. Po wykorzystaniu przez rośliny składników pokarmowych z produktu, nadal w glebie (podłożu) pozostaje superabsorbent, który zwiększa pojemność wodną gleby lub podłoża. Produkt jest w fazie badań i testów przed wprowadzeniem na rynek.

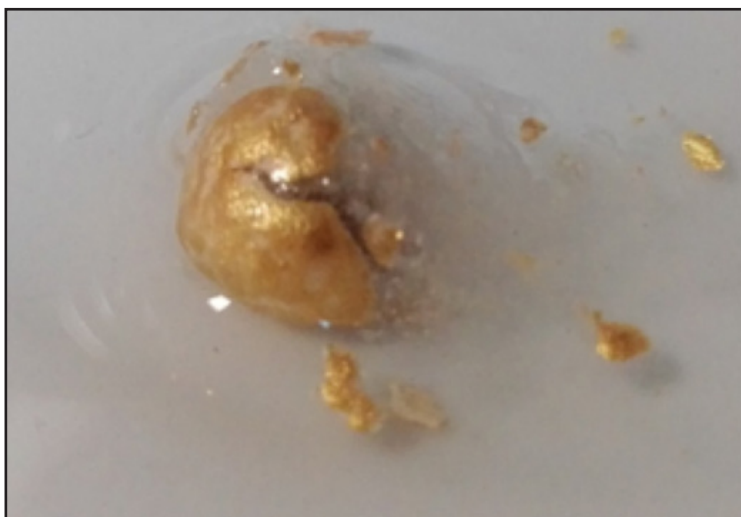
Oprócz wyżej opisanych produktów, firma Artagro Polska stworzyła dwie innowacyjne i w części opatentowane technologie iniekcji oraz otaczania nasion. Są to technologie AgroNanoGel® Inject i AgroNanoGel® SeedCoat.

AgroNanoGel® Inject jest technologią iniekcji polegającą na wprowadzeniu pod dużym ciśnieniem preparatu hydrożelowego wzbogaconego substancjami mikrobiologicznymi, nawozami i środkami ochrony roślin. Metoda ta pozwala na szybką aplikację uwodnionego hydrożelu bezpośrednio w obszar systemu korzeniowego w istniejących drzewostanach, trawnikach i innych uprawach. Dodatkowo zabieg iniekcji przyczynia się do areacji podłoża i rozluźnienia zbitej darni trawnikowej. Zabieg pozwala ograniczyć ilość zużywanej wody, jak również ilość i częstotliwość nawodnień. Opatentowana przez Firmę doglebową i podpowierzchniową technologia iniekcji uwodnionego hydrożelu za pomocą dedykowanych maszyn iniekcyjnych. Budowa tych urządzeń także została opracowana przez Artagro Polska. Urządzenia do iniekcji również zostały opatentowane. Dzięki zabiegowi w Parku Królewskim w Wilanowie udało się uratować 188 drzew bardzo cennych z punktu widzenia krajobrazowego. Podobne zabiegi wykonano również w Alei Kasztanowców w Poznaniu, w Ogrodzie Botanicznym UJ w Krakowie, na pasach zieleni przy ulicach miast i przy osiedlach.

AgroNanoGel® SeedCoat to technologia otaczania różnych rodzajów nasion wielowarstwową hydrożelową otoczką. Zastosowanie unikalnej warstwy zawierającej dedykowany hydrożel, pozwala osiągnąć lepsze wyniki kiełkowania i wzrostu siewki w początkowej fazie. Stwarza stabilne warunki wilgotności dla nasion i siewek. Warstwa hydrożelu stanowiąca „mini magazyn wody” pozwala wyrównać wschody i ograniczyć wpływ niekorzystnych warunków środowiska glebowego na kiełkujące nasiona. Zastosowanie hydrożelowej otoczki nasiennej szczególnie polecane jest w sytuacji upraw polowych na glebach lekkich, przewiewnych, z tendencją do przesuszania.



Fot. 4. Otoczone nasiona szpinaku



Fot. 5. Otoczone nasiono szpinaku po namoczeniu w wodzie

Sposób otaczania nasion jest nadal rozwijany, ale już w 2019 roku z tej usługi skorzystali: Kalgrup Sp. z o.o., Brudzew Sp. z o.o. Maciej Kowalski, Attila Kisch Węgry. Należy zwrócić uwagę, że według posiadanej wiedzy, firma Artagro Polska jako jedyna oferuje otaczanie nasion otoczką zawierającą hydrożel.

3. Seria Teracryl®

Seria Teracryl® to lepiszcza, które zwiększają odporność gleby i substancji pylistych na erozję wodną i wietrzną. Po aplikacji do podłoża tworzą elastyczne spojenia w postaci trójwymiarowej siatki, które stabilnie utrzymują materiał sypki, pylisty, itp. Produkty są biodegradowalne i przyjazne środowisku naturalnemu. Naniesione na powierzchnię gleby powodują okresową zmianę jej właściwości fizycznych w górnej warstwie.

Teracryl® T przeznaczony do zastosowań technicznych jak wiązanie pyłów odpadów poflotacyjnych, pyłów poprodukcyjnych, stabilizacja hałd, pyłów dymnicowych itp. Teracryl® T jest to lepiszcze o zastosowaniu technicznym – preparat łączący rozdrobniony, pylisty materiał. Chroniący powierzchnię przed erozją wodną i wietrzną. Zapobiegający nadmiernemu pyleniu. Umożliwia zazielenienie i rozwój roślin. Nanoszony na materiały pyliste w celu zapobiegania zapylenia okolicznych miejsc, podczas różnego rodzaju prac związanych z budownictwem, wydobywaniem materiałów, bądź na tereny pochyłe takie jak zbocza hałd (np. pogórnicych). Preparat dzięki swoim doskonałym właściwościom wiążącym umożliwia unieruchomienie, wiązanie materiałów pylistych. Rozpylenie preparatu na chmury pyłu powoduje jego opadnięcie na grunt poprzez zlepianie cząstek pyłu. Po czasie niezbędnym na wiązanie się Teracryl® T z cząstkami materiału pylistego



Fot. 7. Sklejony piasek przy użyciu preparatu Teracryl® T

następuje ich unieruchomienie co ogranicza ich ponowne przemieszczenie. Dzięki temu Teracryl® T jest dobrym rozwiązaniem na problemy zapylenia, zakurzenia pojawiające się między innymi podczas budowy dróg czy w kopalniach.

Została opracowana technologia wiązania pyłów dymnicowych z użyciem produktu Teracryl® T dla jednej z elektrowni węglowych w Polsce. Celem było usprawnienie transportu pyłów z elektrowni do miejsca składowania. Pozytywne próby zastosowania Teracryl® T zaobserwowano w cementowni miejskiej City Cement w Rijadzie w Arabii Saudyjskiej. Został tam użyty jako preparat do wiązania pyłów na drogach technologicznych, w celu wyeliminowania zapylenia i niszczenia urządzeń transportowych. W roku 2019 rozpoczęto doświadczenia z wykorzystaniem Teracryl® T do umocnienia podłoża i przeciwdziałania rozwiewaniu pyłu poflotacyjnego.

Teracryl® A jest to lepiszcze o zastosowaniu przyrodniczym. Jest preparatem agregującym rozdrobniony materiał, chroni powierzchnię gleby przed erozją wodną i wietrzną. Może być stosowany jako składnik mieszanki do hy-



Fot. 8. Zagregowana ziemia ogrodowa przy użyciu Teracryl® A

drosiewu. Umożliwia zazielenienie i rozwój roślin. Stosowany do nanoszenia (opryskiwania) na rozdrobnione, pyliste lekkie, piaszczyste gleby przeciwdziała erozji wodnej i wietrznej (zapobiega zdmuchiwanemu zwiewnej gleby przez wiatr, a także wymywaniu jej przez silne deszcze). Prawdłowo utrwała glebę i umożliwia jej zazielenienie i zadarnienie. Okresowo zmienia właściwości fizyczne w górnej warstwie gleby (poprawa gospodarki cieplnej, obniżenie parowania).

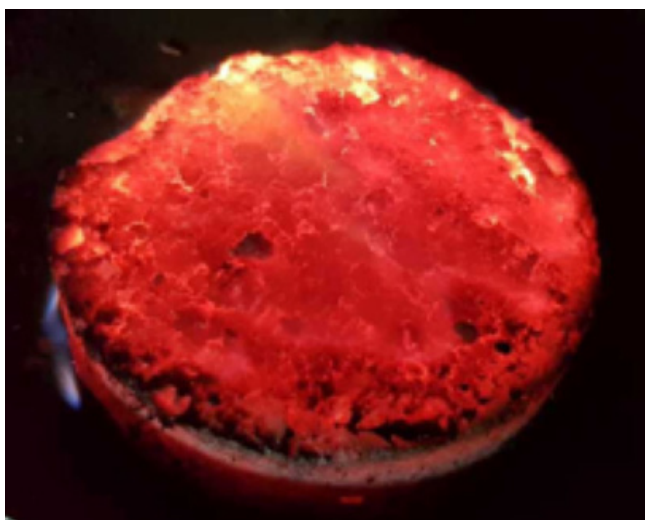
Może też być stosowany do nanoszenia na skarpy – przeciwdziała ich osypywaniu się oraz umożliwia ich zazielenienie. Korzystne oddziaływanie preparatu nie jest niszczone w okresie zimy przez śnieg i mróz. Wysiane nasiona lepiej kiełkują, a rośliny znacznie lepiej się rozwijają. Zmieszany z glebą stanowi lepiszcze pomiędzy poszczególnymi jej agregatami.

Użycie produktu Teracryl® A w technologii hydrosiewu razem z dodatkiem superabsorbentu oraz z pozostałymi komponentami zwiększa pojemność wodną gleby, sprzyja lepszemu ukorzenianiu i wzrostowi roślin szczególnie w okresie suszy. Zadaniem preparatu Teracryl® A w hydrosiewie jest sklepanie komponentów mieszanki oraz przeciwdziałanie erozji wodnej i wietrznej.

Teracryl® A zastosowano w Western Camp Resort Zator do zakładania terenów zielonych na dużym areale, metodą hydrosiewu. Zabiegu tego dokonała Firma Corsin, Grupa Radko. Innym przykładem zastosowania Teracryl® A również do hydrosiewu jest użycie go przez Firmę Architektura Krajobrazu Gajda w Zabierzowie. Zastosowana tam metoda hydrosiewu pozwoliła na zazielenienie i wzmocnienie skarp na odcinku autostrady A4 pomiędzy Krakowem, a Tarnowem.

Teracryl® HD służy do skutecznego wiązania dolin wąwozów, bądź do wiązania szlaków komunikacyjnych. Teracryl® HD jest produktem dwuskładnikowym. Ma zastosowanie techniczne jako trwałe lepiszcze - preparat do wzmacniania i uszczelniania gurtów i podłoży. Chroni powierzchnię przed erozją wodną i wietrzną. Zapobiegający nadmiernemu pyleniu. Teracryl® HD w przeciwieństwie do Teracryl® T i Teracryl® A zapobiega zazielenianiu, rozwojowi roślin, nie jest przepuszczalny dla wody – woda nie powoduje jego rozpuszczenia. Podnosi odporność ciągów komunikacyjnych na destrukcję związaną z intensywną eksploatacją. Dzięki swoim właściwościom może być stosowany przy stabilizacji ciągów komunikacyjnych na luźnym podłożu, wiązaniu dna wąwozów szczególnie narażonych na erozję wodną, stabilizacji stanowisk podatnych na wymywanie, erozję wodną i powietrzną.

Firma Artagro Polska jest w trakcie badań przygotowujących spółkę do przeprowadzenia testów wykorzystujących Teracryl® HD w wąwozach lessowych na terenie Gminy Nałęczów. Po przeprowadzeniu wstępnej analizy stanowiska oraz możliwości zastosowania technologii i produktów Spółki, został wybrany areal, pozwalający przeprowadzić doświadczenie, które potwierdzi skuteczność przyjętego planu ratowania terenu o niewątpliwie ogromnych walorach krajobrazowych i kulturowych.



Fot. 9. Gleba lessowa sklejona przy użyciu produktu Teracryl® HD

Teracryl® C jest preparatem, służącym do wiązania pyłów węglowych. Produkt o dwuetapowej aplikacji. Produkt jest w fazie badań i testów przed wprowadzeniem na rynek. Produkt znajdzie zastosowanie przy czasowym wiązaniu pyłu/miału węglowego, zapobiegając pyleniu przemieszczaniu się pyłu w miejscu składowania. Z powodzeniem zostały przeprowadzone doświadczenia wspomagania brykietowania z użyciem produktu Teracryl® C na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W doświadczeniach tych badano wpływ dodatku Teracryl® C na jakość procesu brykietowania oraz na jakość spalania i emisji gazów.

Dużym problemem w kopalniach węglowych jest pył węglowy, który powstaje w wyniku wydobywania węgla. Pył ten stwarza bezpośrednie zagrożenie wybuchem, dlatego obecnie Artagro Polska prowadzi intensywne badania nad wiązaniem pyłów węglowych w celu poprawy bezpieczeństwa.



Fot. 10. Sprasowany miął węglowy przy użyciu Teracryl® C



Fot. 11. Żarzący się sprasowany miął węglowy przy użyciu Teracryl® C

4. Technologie produkcji hydrożelów

Produkcja hydrożelu AgroNanoGel® Basic Firmy Artagro Polska jest innowacyjna ze względu na przeprowadzenie reakcji polimeryzacji w małych objętościach substratów. Produktem końcowym są granulki różnej frakcji, które zawierają poliakrylan potasu. Hydrożele te nie zawierają nawozów, substancji odżywczych ani stymulujących wzrost roślin, co czyni je obojętnymi dla upraw. Produkcja AgroNanoGel® Basic rozpoczyna się od precyzyjnego i równoczesnego wprowadzenia do jednostkowych kuwet reakcyjnych, znajdujących się na mieszadle wahliwym, odpowiednich ilości kwasu akrylowego z dodatkiem substancji sieciującej i wodorotlenku potasu w celu częściowego zobojętnienia roztworu. Po osiągnięciu temperatury zobojętniania 70–80 °C, nie przerywając procesu mieszania, zostaje wprowadzony inicjator reakcji polimeryzacji. Pojemnik zadaniowy zostaje przesunięty pod digestorium odbierające gazy wytwarzane podczas silnej reakcji egzotermicznej.

Otrzymany surowy hydrożel w postaci elastycznego ciała stałego o dużej wilgotności, zostaje przekazany do suszarni konwencjonalnej, gdzie w warunkach intensywnego nadmuchu i temperatury w zakresie 60–90°C przebywa przez co najmniej dobę. Następnie wysuszony hydrożel zostaje przekazany do kruszarni, gdzie jest kruszony za pomocą młyna palcowo-udarowego. Pokruszony hydrożel przekazywany jest na wibracyjne sito kalibrujące w celu rozdzielenia na żądane frakcje. Ostatnim etapem produkcji hydrożelu jest pakowanie, które odbywa się w warunkach kontrolowanych, w hermetyczne, paroizolacyjne opakowania z recyklingowej folii, składowane następnie w magazynie.

Opisana technologia wytwarzania umożliwia otrzymanie produktu o bardzo dobrej jakości potwierdzonej przez niezależne, zewnętrzne Laboratorium Ochrony Środowiska IBWCh w Łodzi, posiadające akredytację PCA. Wyniki zawartości wolnego monomeru kwasu akrylowego w AgroNanoGel® Basic przedstawiono w tabeli 1.

Podczas produkcji AgroNanoGel® Basic odsiewana jest najdrobniejsza frakcja (pył), która w dalszym etapie produkcyjnym używana jest do wytworzenia produktu AgroNanoGel® Root. AgroNanoGel® Root jest mieszaniną drobnej frakcji produktu AgroNanoGel® Basic z odpowiednią kompozycją dodatków antyzbrylających – umożliwiających przygotowanie pulpy hydrożelowej, którymi są kwas cytrynowy jednowodny oraz węglan potasu.

Tabela 1. Wyniki badań wolnego monomeru kwasu akrylowego w AgroNanoGel® Basic wykonane przez Laboratorium Biodegradacji IBWCH w Łodzi

Oznakowanie próbek	Badany parametr	Jednostka miary	Wynik badania	
			Średnio	R*
16/1	monomer kwasu akrylowego	%	0,0006	9%

* Różnice między równoległymi wynikami.

Teracryl® T i Teracrym® A są również produkowane w ściśle i stale kontrolowanych warunkach temperaturowych. Po wymieszaniu wszystkich substratów z kwasem akrylowym i gorącą wodą, reakcja polimeryzacji prowadzącej do otrzymania koncentratu jest prowadzona w zbiorniku z płaszczem grzewczo-chłodzącym. Po zakończeniu procesu polimeryzacji następuje rozcieńczenie koncentratu do koncentratu handlowego. Następnie koncentrat handlowy przepompowywany jest do pojemników magazynowych, gdzie w razie potrzeby następuje jego przelewanie do pojemników handlowych.

5. Badania wykonane przez zewnętrzne laboratoria

Produkty z linii AgroNanoGel® są bezpiecznie i nietoksyczne dla środowiska. Hydrożele te są biodegradowalne, co zostało potwierdzone pozytywną opinią akredytowanego laboratorium. Biodegradacja polega na rozkładzie hydrożelu przez mikroorganizmy glebowe na proste związki, które są nietoksyczne i występują normalnie w przyrodzie oraz w organizmach żywych. Wyniki badania biodegradacji AgroNanoGel® Basic przedstawiono w tabeli 2.

Każdy z komponentów mieszaniny tworzących produkt o nazwie AgroNanoGel® Root ulega biodegradacji lub jest środkiem powszechnie stosowanym w rolnictwie. Dodatkowo hydrożele te nie wpływają negatywnie na mikroorganizmy naturalnie występujące w glebie, czyli nie hamują wzrostu mikroorganizmów. Wyniki badań przedstawione w tabeli 3 wykazały, że liczba mikroorganizmów w próbie badawczej i próbie odniesienia przez cały czas prowadzenia badań utrzymywała się na tym samym, bądź zbliżonym poziomie.

Wyniki badania właściwości fizyko-chemicznych obejmowały badania dynamiki oddawania wody, współczynnika pęcznienia i pojemność kapilarną hydrożelu AgroNanoGel®. Badanie dynamiki oddawania wody zgromadzonej w hydrożelu

Tabela 2. Wyniki badań biodegradacji hydrożelu AgroNanoGel® Basic wykonane przez Laboratorium Biodegradacji IBWCH w Łodzi

Lp.	Symbol próbki	Numer powtórzeń	Czas przebiegu biodegradacji (tygodnie)						
			(1)	(4)	(8)	(12)	(16)	(20)	(24)
			Ubytek masy (%)						
1.	AgroNanoGel Basic	I	0	30,5	42,8	52,3	55,4	55,4	55,4
		II	0	29,0	38,2	53,4	61,8	61,8	61,8
		III	0	25,1	40,6	52,4	59,8	65,3	65,3
		Średni ubytek masy	60,8%						

* Badania prowadzono zgodnie z Procedurą Badawczą nr 3 „Oznaczenie stopnia rozpadu tworzyw sztucznych i wyrobów włókienniczych w symulowanych warunkach glebowych w skali laboratoryjnej. Metoda wyznaczania ubytku masy” w oparciu o normy: PN-EN/ISO 20 200, PN-EN 14 806 oraz PN-EN 1405.

Tabela 3. Dynamika namnażania mikroorganizmów glebowych w glebie z dodatkiem i bez dodatku hydrożelu wykonane przez Laboratorium Biodegradacji IBWCH w Łodzi

Próba	1 dzień (j.t.k./g)	3 dzień (j.t.k./g)	7 dzień (j.t.k./g)	9 dzień (j.t.k./g)	11 dzień (j.t.k./g)	13 dzień (j.t.k./g)	14 dzień (j.t.k./g)
Właściwa	$2,65 \times 10^6$	$6,95 \times 10^7$	$1,48 \times 10^7$	$1,71 \times 10^7$	$6,4 \times 10^7$	$3,3 \times 10^7$	$7,1 \times 10^7$
Kontrolna	$2,65 \times 10^6$	$6,21 \times 10^7$	$1,05 \times 10^7$	$7,5 \times 10^6$	$2,8 \times 10^6$	$1,2 \times 10^7$	$1,0 \times 10^7$

wykazały, że badany produkt posiada zdolność oddawania wody w określonym czasie. Tempo uwalniania wody związanej w badanym hydrożelu jest dość powolne i rozłożone w czasie. Przeprowadzony eksperyment wykazał, że po 16 dniach od jego rozpoczęcia wilgotność w powietrzu suchej glebie wzrosła o średnio 33%. Współczynnik pęcznienia hydrożelu AgroNanoGel® w wodzie destylowanej wyniósł 13000%, został on zmierzony jako maksymalna ilość wody pochłoniętej przez badany hydrożel w czasie. Natomiast pojemność kapilarna hydrożelu AgroNanoGel® wyniosła 0,3%, była ona mierzona jako maksymalna szybkość podsiąku kapilarnego. Wszystkie powyższe badania zostały wykonane przez zewnętrzne laboratorium posiadające akredytację PCA, tj. Laboratorium Biodegradacji IBWCH w Łodzi.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki badań produktów AgroNanoGel® Basic i AgroNanoGel® Root, przeprowadzone przez Laboratorium Fizykochemiczne IBWCh w Łodzi i przez laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Warszawie.

Na zlecenie Artagro Polska, Laboratorium Nawozów i Wyróbów Chemicznych Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji w Pile, przepadało produkty AgroNanoGel® Basic i AgroNanoGel® Root na zawartości metali ciężkich i na obec-

Tabela 4. Wyniki poszczególnych cech dla produktów AgroNanoGel® Basic i dla AgroNanoGel® Root przeprowadzonych przez Laboratorium Fizykochemiczne IBWCh w Łodzi i przez laboratorium Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Warszawie

Badana cecha	Jednostka	AgroNanoGel® Basic	AgroNanoGel® Root
Chłonność	ml/1 g	477	315
Ciężar właściwy	g/cm ³	0,65	0,76
Uziarnienie 4,0 – 0,2 mm	%	100	84,9
Chłonność w wodzie destylowanej	%	57619*	–
Chłonność w soli fizjologicznej	%	4558*	–
Współczynnik wtórnego pęcznienia w wodzie destylowanej	%	44279*	–
Współczynnik wtórnego pęcznienia w soli fizjologicznej	%	3421*	–

* Średnia pomiarów.

Tabela 5. Wyniki badań na zawartość metali ciężkich i obecność *Salmonelli* sp. i żywych jaj pasożytów jelitowych dla produktów AgroNanoGel® Basic i AgroNanoGel® Root

Lp.	Badana cecha	Jednostka	Wyniki badania dla AgroNanoGel® Basic	Wyniki badania dla AgroNanoGel® Root
1	Zawartość miedzi całkowitej, Cu	mg/kg	<5,00	<5,00
2	Zawartość cynku całkowitego, Zn	mg/kg	<5,00	<5,00
3	Zawartość ołowiu, Pb	mg/kg	1,9	1,15
4	Zawartość kadmu, Cd	mg/kg	<1,00	<1,00
5	Zawartość chromu, Cr	mg/kg	<0,50	<0,50
6	Zawartość niklu, Ni	mg/kg	<0,50	<0,50
7	Zawartość rtęci, Hg	mg/kg	<0,05	<0,05
8	Obecność <i>Salmonella</i> sp.	–	nie wykryto	nie wykryto
9	Obecność żywych jaj pasożytów jelitowych <i>Ascaris</i> sp., <i>Toxocara</i> sp., <i>Trichuris</i> sp.	–	nie stwierdzono	nie stwierdzono

ność *Salmonelli* sp. oraz na obecność żywych jaj pasożytów jelitowych. Wyniki z tego badania zostały przedstawione w tabeli 5.

Jednostki opiniujące z ramienia Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi wydały pozytywne opinie dotyczące jakości i możliwości stosowania jako środek poprawiający właściwości gleby w różnego typu uprawach: opinia IUNG Puławy, opinia Instytutu Ogrodnictwa Skierniewice (opinia dotycząca zastosowania w uprawach warzyw, roślin ozdobnych, roślin sadowniczych) oraz opinia Instytutu Badań Leśnictwa w Sękocinie Starym. Obecnie produkt AgroNanoGel® Root dostał pozwolenie wydane przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi o dopuszczeniu do obrotu, natomiast produkt AgroNanoGel® Basic jest w trakcie procedury uzyskania pozwolenia na wprowadzenie do obrotu jako środek poprawiający właściwości gleby.

Produkty AgroNanoGel® Basic i AgroNanoGel® Root przeszły badania użytkowe i otrzymały dopuszczenie do stosowania wydane przez Departament Rolnictwa, Leśnictwa i Rybołówstwa Republiki Południowej Afryki, czego wynikiem jest obszernie sprawozdanie z badań potwierdzające korzystny wpływ na wielkość i jakość plonu. Przeprowadzone badania wykazały, że produkt AgroNanoGel® Basic znacznie ulepszył plon roślin użytych do doświadczenia w porównaniu do kontroli, żaden z produktów nie wpłynął na zawartość składników odżywczych w roślinach, AgroNano Gel® Basic spowodował spadek fosforu w glebie i wzrost wapnia, gdy zwiększono jego dawki, procent nasycenia gleby został zwiększony wraz ze wzrostem dawek obydwu produktów oraz zdolność zatrzymywania wody przez glebę wzrosła wraz ze wzrostem dawki produktu. Z wyników wynika, że produkty AgroNanoGel® nie stanowią żadnego negatywnego wpływu na wzrost roślin, dlatego też nie działają fitotoksycznie. Również oba produkty spowodowały wzrost zdolności zatrzymywania wody w glebie.

Firma Artagro Polska jest posiadaczem kilku zgłoszeń patentowych. Przedmiotem wynalazku nr P.406500 jest preparat hydrożelowy, zwłaszcza z agrochemikaliami, w szczególności dla wspomagania drzewostanów, uprawy roślin lub rekultywacji hałd, nieużytków i terenów zdegradowanych, pozbawionych składników niezbędnych dla rozwoju roślin. Preparat hydrożelowy, zwłaszcza z agrochemikaliami, zawiera polimery z procesu polimeryzacji kwasu akrylowego i związki z jonami przyswajalnymi przez rośliny. Preparat jest kompozytem nanoporowatego hydrożelu nierozpuszczalnego w wodzie i polimeru liniowego rozpuszczalnego w wodzie, połączonych ze sobą adhezyjnie. Zawiera on nanopory 300–500 nm. Uwodniony granulat jest ustabilizowany kwasem sorbowym.

- Firma zgłosiła wnioski patentowe na urządzenia oraz metody iniekcji hydrożelu:
- P.414598 – lanca urządzenia wtłaczającego do gleby mieszaną żelową dla przetwarzania środowiska glebowego roślin, zwłaszcza drzew, oraz sposób przetwarzania środowiska glebowego roślin, zwłaszcza drzew;
 - P.414599 – sposób przetwarzania środowiska glebowego dla roślin, zwłaszcza na dużych obszarach trawników oraz urządzenie do przetwarzania środowiska glebowego roślin, zwłaszcza na dużych obszarach trawników.

Artagro Polska stale pracuje nad rozwojem zarówno technologii hydrożelowej, spoiw na bazie polimerów, jak i technologii iniekcji. Spółka weszła na nowe zagraniczne rynki, gdzie zapotrzebowanie na oferowane produkty stale rośnie ze względu na zmiany klimatyczne. W listopadzie 2016 firma uzyskała certyfikat „Kupuj polskie” na rzecz przedsiębiorczości i innowacyjności oraz tworzenie nowej jakości na rynku polskim wydany przez Polskie Stowarzyszenie Przedsiębiorców.

7. Wykorzystanie hydrożeli w praktyce

Produkt AgroNanoGel® Basic znalazł wykorzystanie zarówno w uprawach polowych, jak i uprawach pod osłonami. Kupowany jest przez producentów warzyw i owoców, jak również przez producentów rozsąd. Jego szerokie zastosowanie oraz korzyści wynikające z użycia potwierdzają liczne referencje i opinie klientów. Odbiorcami są między innymi: Ogród Śląski Świerklaniec, Zakład Zieleni Miejskiej Rybnik, Zakład Zieleni Miejskiej Września, Gospodarstwo Rolne Wiesław Dobiecki, Universal Manure Company Italy, Rolnicza Spółdzielnia Produkcyjna Hopkie (areal upraw 1000 ha warzyw), Magdalena Konieczna Kaczory Szkołka Sadownicza, Gospodarstwo Ogrodnicze Alicja Kuchta i wiele innych. AgroNanoGel® Basic został wykorzystany przy badaniach doświadczalnych, których wyniki posłużyły do napisania pracy doktorskiej przez Pana Roberta Bielaszewskiego. W swojej pracy wykazał on pozytywny wpływ użycia hydrożelu zastosowanego przed siewem na wzrost buraka cukrowego. Wzrost był wspierany w słabym, piaszczystym gruncie.

Poniżej przedstawiono przykłady wykorzystania hydrożeli skutkujących poprawą zarówno dostępności wody w uprawie, jak i pozytywnego wpływu na plon.

Gospodarstwo Rolne W. Bednarz i A. Tompalska-Kańczuga zmagало się z problemem złego przyjmowania się sadzonek przy nasadzeniach nowych plantacji. Dla zapewnienia dostatecznej ilości wody w naszych warunkach klimatycznych niezbędne są opady w granicach 600–700 mm. W trakcie każdego deszczowania powinno się dostarczać 25–30 mm wody, co odpowiada zużyciu 25–30 litrów wody na 1 m² lub 250–300 m³ wody na powierzchnię 1 ha uprawy. Przy niedoborach opadów, plantacje truskawek powinny być deszczowane kilkakrotnie, od 6 do 7 razy w czasie sezonu wegetacyjnego. W celu poprawy przyjmowania się sadzonek w tym gospodarstwie użyto produktu AgroNanoGel® Root do otaczania systemu korzeniowego sadzonek truskawek bezpośrednio przed ich wysadzeniem na stanowisko. Zastosowanie AgroNanoGel® Root przyczyniło się do zmniejszenia stresu wodnego w momencie nasadzania nowych sadzonek. Przyjęcia nowych sadzonek na zakładanej plantacji osiągnęło 100%.

Z podobnym problemem zmagала się plantacja truskawek Gaia Nature Cabo Verde, ale w przypadku tej plantacji stosowane było nawadnianie kropelkowe. Wykorzystanie nawadniania wiąże się z dużymi ilościami zużycia wody. Problemem był również ograniczony zasób wody, która pochodziła ze studni głębinowej. Częstotliwość nawadniania kropłowego zależna jest od przebiegu pogody. W okresach bezdeszczowych nawadnianie kropłowe powinno być prowadzone stosunkowo często nawet codziennie nie rzadziej jednak niż raz na 3 dni. Przy codziennym nawadnianiu, w zależności od przebiegu pogody, dawki wody mogą zmieniać się od 10 m³ do nawet 35 m³ na hektar. W tym przypadku zaproponowano aplikację produktu AgroNanoGel® Basic zgodnie z dawką i metodą dostosowaną do potrzeb uprawy. W rezultacie ograniczono częstotliwości podlewania. W porównaniu do poletka kontrolnego, gdzie podlewanie odbywało się 3 razy w tygodniu, na poletku z zastosowanym AgroNanoGel® Basic podlewanie ograniczono do jednego cyklu w tygodniu. Sadzonki truskawek, pod uprawę których zastosowano produkt AgroNanoGel® Basic były w bardzo dobrej kondycji, bardzo ładnie kwitły, a owoce były większe, o ładnym kształcie i kolorze.

Usychanie roślin w okresie wysokich temperatur, bardzo duże zużycie wody do pielęgnacji roślin, straty w sadzonkach podczas wysadzania kwiatów do donic oraz złe przyjmowanie się roślin – z tymi problemami zmagал się Zakład Utrzymania Miasta w Skierniewicach. Zakład posadził 16 100 sztuk roślin jednorocznych (w tym 4550 sztuk pelargonii) z użyciem produktów AgroNanoGel® Basic i AgroNanoGel® Root. W tym celu AgroNanoGel® Basic został wymieszany z podłożem, które następnie zostało użyte do wypełnienia kwietników, donic i wień kwiatowych. AgroNanoGel® Root po dodaniu wody w odpowiednich proporcjach został użyty do otaczania systemu korzeniowego sadzonek bezpośrednio przed ich wysadzeniem. Uzyskano znaczne oszczędności w zużyciu wody – do 40% podczas pielęgnacji roślin w okresie ich wegetacji. Poprawiła się struktura podłoża. Uzyskano znaczny wzrost przyjęć sadzonek w momencie wysadzania – 98% przyjętych sadzonek.

Gospodarstwo Rolne Arkadiusza Drabko – Plebania Wola zmagало się z negatywnym wpływem braku opadów i suszą w okresie kiełkowania na plon przy

uprawie kukurydzy. Brak odpowiedniej ilości wody prowadził do obniżenia jakości i wielkości plonu. W gospodarstwie tym kukurydza jest uprawiana na średniej jakości glebie i nie ma systemu nawadniania. Zaaplikowano hydrożel AgroNanoGel® Basic w odpowiednio dawce. Uzyskano znaczną poprawę wilgotności gleby w profilu glebowym, co przyczyniło się do równomiernego kiełkowania nasion. Uzyskano wzrost zarówno masy zielonej, jak i masy nasion z pola testowego o areale 1,2 ha.

Produkt AgroNanoGel® Root używany jest w nadleśnictwach w całej Polsce. Odbiorcami są między innymi: Nadleśnictwo Baligród, Nadleśnictwo Pisz, Nadleśnictwo Spała, Nadleśnictwo Jędrzejów, Nadleśnictwo Miechów, Nadleśnictwo Czarna Białostocka, Nadleśnictwo Bolewice, Nadleśnictwo Karwin, Nadleśnictwo Konin, Nadleśnictwo Międzychód, Nadleśnictwo Poddebice, Uabe Gradhelitas Lithuania Vilnus (dystrybutor naszego produktu do lasów na terenie Litwy) i wiele innych. Praktycznie w każdym z tych nadleśnictw występują te same problemy, którym są duże straty w sadzonkach w trakcie nasadzania, odnowy drzewostanu spowodowane niedoborem wody w okresie początkowym po nasadzeniu i w trakcie rozwoju. Ratunkiem dla szkółek leśnych jest zabezpieczenie systemu korzeniowego sadzonki poprzez maczanie korzeni w pulpie hydrożelowej z uwodnionego AgroNanoGel® Root i wysadzanie jej na stanowisko docelowe. Zastosowanie hydrożelu AgroNanoGel® Root w odpowiednio dobranej dawce powoduje przyjęcie się sadzonek na miejscu ich wysadzania na poziomie 97%.

Lista badań jakie zostały wykorzystane lub są w posiadaniu Firmy Artagro Polska:

1. Atesty PZH na wszystkie oferowane produkty.
2. Badania produktu AgroNanoGel® Basic prze Instytut Biopolimeru i Włókien Chemicznych:
 - chłonność i współczynnik wtórnego pęcznienia AgroNanoGel® Basic,
 - badanie obecności wolnego monomeru kwasu akrylowego,
 - biodegradacja produktu AgroNanoGel® Basic,
 - badanie mikrobiologiczne wpływu AgroNanoGel® na mikroorganizmy glebowe,
 - badanie właściwości hydro-fizycznych AgroNanoGel® Basic.
3. Badanie zawartości metali ciężkich oraz badanie mikrobiologiczne w produkcji AgroNanoGel® Basic przez Polskie Centrum Badań i Certyfikacji w Pile.
4. Badanie zawartości metali ciężkich oraz badanie mikrobiologiczne w produkcji AgroNanoGel® Root przez Polskie Centrum Badań i Certyfikacji w Pile.
5. Badanie absorpcji, uziarnienia i ciężaru właściwego produktu AgroNanoGel® Basic przez Okręgową Stację Chemiczno-Rolniczą w Warszawie.
6. Badanie absorpcji, uziarnienia i ciężaru właściwego produktu AgroNanoGel® Root przez Okręgową Stację Chemiczno-Rolniczą w Warszawie.
7. Opinia o spełnieniu wymagań jakościowych oraz wymagań w zakresie dopuszczalnych zawartości zanieczyszczeń przez środek poprawiający właściwości gleby – AgroNanoGel® Basic – wydana prze Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach.

8. Opinia o spełnieniu wymagań jakościowych oraz wymagań w zakresie dopuszczalnych zawartości zanieczyszczeń przez środek poprawiający właściwości gleby – AgroNanoGel® Root – wydana przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach.
9. Opinia o przydatności środka poprawiającego właściwości gleb do stosowania w uprawach polowych roślin rolniczych – AgroNanoGel® Basic – wydana przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach.
10. Opinia o przydatności środka poprawiającego właściwości gleb do stosowania w uprawach polowych roślin rolniczych – AgroNanoGel® Basic – wydana przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach.
11. Opinia o przydatności środka poprawiającego właściwości gleb do stosowania w uprawach warzywniczych – AgroNanoGel® Basic – wydana przez Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach.
12. Opinia o przydatności środka poprawiającego właściwości gleb do stosowania w uprawach ogrodniczych – AgroNanoGel® Basic – wydana przez Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach.
13. Opinia o przydatności środka poprawiającego właściwości gleb do stosowania w uprawach sadowniczych – AgroNanoGel® Basic – wydana przez Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach.
14. Opinia o przydatności środka poprawiającego właściwości gleb do stosowania w uprawach sadowniczych – AgroNanoGel® Root – wydana przez Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach.
15. Opinia o przydatności środka poprawiającego właściwości gleb do stosowania w leśnictwie – AgroNanoGel® Root – wydana przez Instytut Badań Leśnictwa w Sękocinie Starym.
16. Pozwolenia na obrót produktu AgroNanoGel® Basic na terenie RPA.
17. Pozwolenia na obrót produktu AgroNanoGel® Root na terenie RPA.
18. Dopuszczenie do obrotu AgroNanoGel® Root wydane przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi w Warszawie.

Mobilna technologia przetwarzania komunalnych osadów ściekowych na nawozy agroekologicznej użyteczności

Łukasz Kulikowski¹, Edward Kulikowski¹, Karolina Gręda-Stempel¹
Jacek Kiepuski²

1. Wprowadzenie

Komunalne osady ściekowe są dużym problemem sanitarnym i gospodarczym. Lauter Logistik Spółka Celowa została powołana do przetwarzania tych osadów na nawóz z możliwością modyfikowania i wzbogacania jego składu np. o składniki mikrobiologiczne. Celem Spółki jest szybkie dotarcie do klienta i przetworzenie osadu na miejscu jego wytworzenia. Umożliwia to mobilna technologia przetwarzania osadów ściekowych na nawozy. Istnieje też możliwość zaprojektowania i wykonania (na zlecenie klienta) stacjonarnej linii technologicznej.

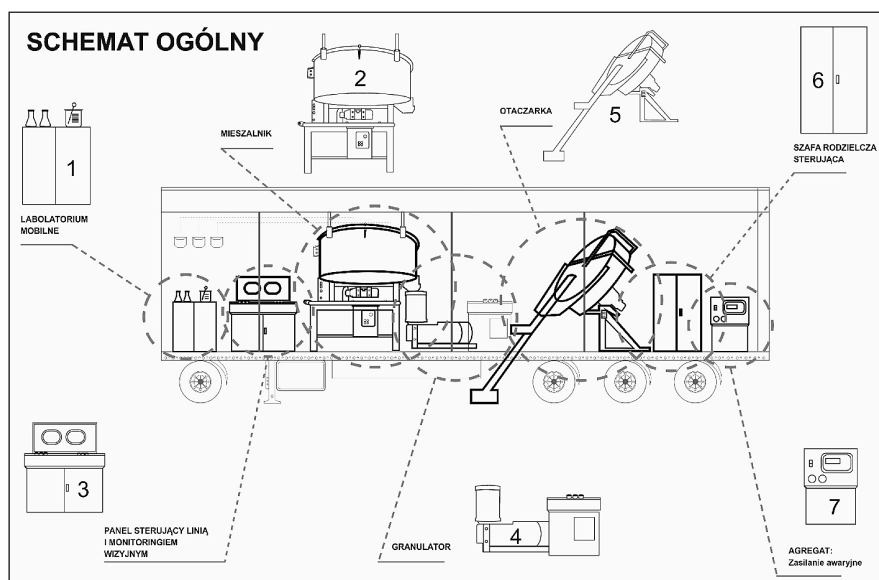
Od lat dziewięćdziesiątych Edward Kulikowski prowadzi badania nad agroekologicznymi produktami do nawożenia gleby. Nawiązano współpracę między innymi z AR Kraków, IUNG Puławy, AR Lublin i w Zamościu, Wydziałem Chemii UJ Kraków, IBL Warszawa, Instytutem Warzywnictwa Skierniewice, Uniwersytetem Rolniczym w Krakowie oraz Politechniką Krakowską.

Opatentowana technologia przetwórcza osadów ściekowych, znacznie zwiększa produktywność w porównaniu z dotychczasowymi metodami przeróbki tych osadów. Na rysunku 1 przedstawiono schemat linii technologicznej: (1) laboratorium, w którym wykonuje się analizy osadu ściekowego i produktów; (2) mieszalnik osadu ściekowego; (3) panel sterujący procesem z zamontowanym monitorem wizyjnym; (4) granulador; (5) otaczarka; (6) szafa sterująca oraz (7) agregat do awaryjnego zasilania.

Innowacyjność technologicznie polega na wyprodukowaniu nawozów wieloskładnikowych, organiczno-mineralnych o spowolnionym działaniu, kompletnych, aktywnych biologicznie, w postaci granulowanej, spełniających agroekologiczne wymogi. Dzięki skalowalności rozwiązania oferowany jest nawóz na różnym stopniu udoskonalenia i przetworzenia. Zaczynając od ustabilizowane-

¹ Artagro Polska Sp. z o.o., ul. Bolesława Prusa 1, 32-200 Miechów

² Bio-Ecology Services Sp. z o.o., ul. Narocz 3, 02-678 Warszawa



Rys. 1. Schemat linii technologicznej

go, granulowanego polepszacza glebowego, a skończywszy na zaawansowanym technologicznie organiczno-mineralnym nawozie o spowolnionym działaniu, zawierającym biologicznie aktywne składniki. Opracowanie i wyprodukowanie nawozów o przedłużonym działaniu, które zostały ustandaryzowane, zhigienizowane oraz związane polimerami, wzbogacone substancjami biologicznie czynnymi i superabsorbentem, postawiło w nowym miejscu osady ściekowe jako wartościowy surowiec, a nie uciążliwy odpad.

W procesie przetwarzania osadów ściekowych wprowadza się do mieszalnika, gdzie podczas procesu ujednoludniania dodawane są poszczególne, pożądane substraty zgodnie z opracowaną procedurą, poza dodatkami biologicznie czynnymi. Wymieszany nawóz jest wytłaczany do odpowiedniej wielkości granulatu. Wytłoczony pregranulat jest transportowany do otaczarki talerzowej, gdzie w procesie warstwowego otaczania z dodatkami biologicznie aktywnymi, podlega dosuszeniu do wilgotności umożliwiającej poddanie go dalszym procesom logistycznym.

2. Mobilna technologia przetwarzania osadów ściekowych

Technologia pozwala na niskonakładowe i mało inwazyjne przetwarzanie osadu bezpośrednio w miejscu jego powstania. Dzięki mobilnej platformie – usadowieniu całego parku maszynowego na możliwej do użycia w ruchu drogowym naczepie, Firma Lauter Logistik gwarantuje najbardziej elastyczne rozwiązanie dopasowane do potrzeb oczyszczalni o różnym stopniu zaawansowania parku maszynowego jak i zaawansowania procesu stabilizacji. Zarówno małe oczyszczalnie jak i więk-



Fot. 1. Mobilna linia zabudowana na platformie pojazdu ciężarowego

sze podmioty mogą skorzystać z oferowanego rozwiązania, ponieważ cały proces odbywa się w miejscu powstawania osadu. Technologia pozwala pobrać osad bezpośrednio z węzła oczyszczalni jak również z miejsca jego składowania.

Osady ściekowe mają dużą zawartość składników mineralnych i organicznych, dlatego doskonale nadają się do nawożenia gleby uprawnej. Zawarta w osadach prochnicotwórcza biomasa poprawia strukturę gleb.

Projektując mobilne technologie przetwarzania osadów ściekowych o różnym stopniu uzdatnienia oraz różnych kompozycjach składników funkcjonalnych, zostały uwzględnione, istotne dla korzystającego z tej technologii, czynniki jakimi są: wydajność przetwarzania oraz zdolność przetwarzania wsadów o zmiennych parametrach. W założeniu mobilna instalacja ma wykonywać zadanie w cyklach/turach, rotując na wybranym obszarze między jednostkami, w których istnieje problem z przetwarzaniem lub oddaniem do uzdatnienia osadów. Niewielkie oczyszczalnie ścieków, jak również oczyszczalnie przyzakładowe, które nie dysponują znacznym wsparciem lokalnej administracji w realizowaniu zadań utylizacji mogą dzięki okresowemu wsparciu mobilnej instalacji uporać się z problemem nawarstwiających się składowisk osadów. Pozwala to na zaangażowanie mniejszych środków na logistykę osadu nieprzetworzonego. Nawet niewielkie lokalne oczyszczalnie obecnie muszą przyjąć na swoje barki obowiązek przetwa-



Fot. 2. Mobilna linia gotowa do transportu

rzania lub oddawania osadów wyspecjalizowanym firmom. Spółdzielnie rolnicze dysponujące wspólnymi węzłami przetwórczymi mogłyby w zamkniętym obiegu wykorzystywać produkt uzdatniania, jednak brak środków na budowę stacjonarnych rozwiązań ogranicza wykorzystanie na własnych użytkach polepszaczy czy nawozów pochodzących z procesu uzdatniania. Również wiąże się z tym kwestia zubożenia lokalnych arealów w materię organiczną, tak niezbędną do prawidłowego funkcjonowania ekosystemów uprawnych.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań, zawartości makro i mikroelementów oraz badania mikrobiologiczne. Osad ściekowy pochodził z Zakładowej Oczyszczalni Ścieków Spółdzielni Mleczarskiej w Rykach, a jego badanie wykonano w Laboratorium Badawczym „Jars” w Legionowie. Badanie granulatu wykonano w Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Rzeszowie.

Na podstawie uzyskanych wyników badań powstałego granulatu, można stwierdzić, że może on być stosowany; przy spełnieniu wymagań określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. (Dz.U. z 2015 r., poz. 257) oraz w Art. 96 Ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz.U. z 2013 r., poz. 21, z późn. zm.):

Tabela 1. Zawartości poszczególnych parametrów w przebadanych próbkach przetwarzanego osadu ściegowego na granulaty powstały po przejściu przez mobilną linię przetwarzania osadów ściekowych Lauter Logistik

L.p.	Badany parametr	Jednostka	Wynik	
			osad ściekowy	granulowany produkt organiczno-mineralny
1	pH	-	7,1	8,75
2	Sucha masa	%	16,9	55,3
3	Substancja org.	%	68,1	34,0
4	Azot ogólny	%	5,4	3,63
5	Azot amonowy	%	0,35	0,28
6	Fosfor ogólny	%	3,5	2,60
7	Wapń	%	2,4	1,46
8	Magnez	%	0,52	1,66
9	Potas	%	nie zbadano	0,74
10	Ołów	mg/kg	<1,0	10,9
11	Kadm	mg/kg	0,08	<1
12	Rtęć	mg/kg	<0,10	0,0034
13	Nikiel	mg/kg	3,5	<5
14	Cynk	mg/kg	45	21,6
15	Miedź	mg/kg	4,5	10,0
16	Chrom	mg/kg	1,9	<5
17	Mangan	mg/kg	nie zbadano	66,9
18	Bor	mg/kg	nie zbadano	7,9

Tabela 2. Wyniki badań na obecność patogenów w przebadanych próbkach przetwarzanego osadu ściegowego i granulatu powstałego po przejściu przez mobilną linię przetwarzania osadów ściegowych Lauter Logistik

L.p.	Badany parametr	Jednostka	Wynik	
			osad ściegowy	granulowany produkt organiczno-mineralny
1	Salmonella sp.	JTK/100 g m.m.	0	0
2	Żywe jaja Ascaris sp.	szt/kg s.m.	0	0
	Żywe jaja Trichuris sp.		0	0
	Żywe jaja Toxocara sp.		0	0

- w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolnicze,
- do rekultywacji terenów na cele nierolne,
- przy dostosowaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do upraw roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz.

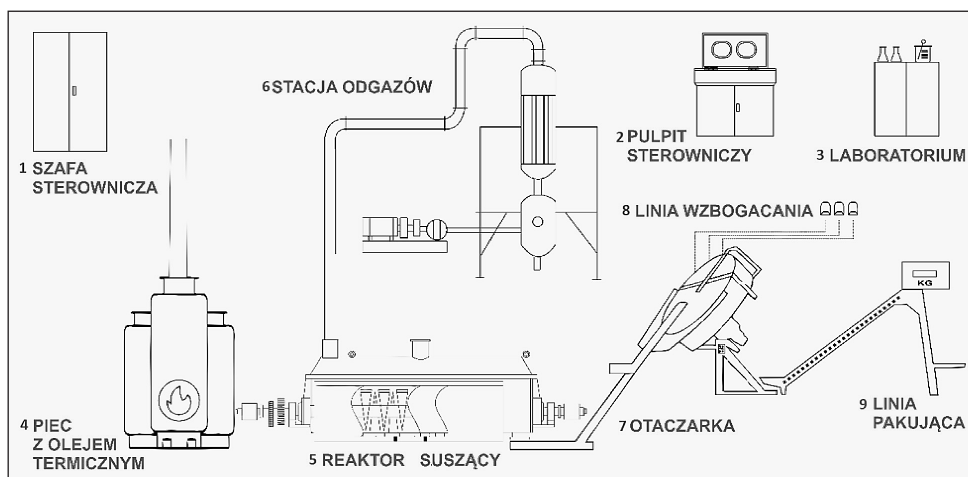
Osady ściekowe, które poddano procesom zmniejszenia podatności na mineralizację przez co zawartość substancji organicznych została zredukowana o minimum 38% to osady ustabilizowane [Ministerstwo Środowiska, 2018]. W przebadanych próbkach osadu ściegowego na granulacie substancje organiczne zostały zredukowane o 49,9%, co jest potwierdzeniem na stabilizację osadu.

Warto podkreślić, że w powstałym granulacie nie wykryto obecności pasożytów jelitowych oraz bakterii Salmonella. Wyniki umieszczone w tabeli 2. potwierdzają, że proces technologiczny zapewnia eliminację patogenów niebezpiecznych dla zdrowia ludzi i zwierząt.

Reasumując, dzięki technologii Firmy Lauter Logistik istnieje możliwość kształtowania układu w sposób wręcz holistyczny, który na pierwszy rzut oka wydaje się sprzeczny – z jednej strony ochronę przed niekontrolowanym wzrostem liczby osadów wpływających na zanieczyszczenie środowiska naturalnego, z drugiej strony umożliwić zwiększenie wydajności produkcji rolnej.

3. Linia stacjonarna dużych agregatów

W toku regularnie prowadzonych prac nad modernizacją linii mobilnej oraz poszukiwaniu innych rozwiązań dla jednostek wymagających przetwarzania dużych wolumenów, zwłaszcza w sytuacji obsługi oczyszczalni zlokalizowanych w okolicach dużych aglomeracji, została zaprojektowana do wdrożenia linia stacjonarna, której schemat zaprezentowany jest na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat instalacji stacjonarnej

Podobnie jak w przypadku linii mobilnej przy instalacji stacjonarnej będzie działało laboratorium (3) przeprowadzające wstępne analizy osadu ściekowego. Całość będzie monitorowana za pomocą pulpitu sterującego (2) i szafy sterowniczej (1). Temperatura do suszenia osadów ściekowych będzie wytwarzana w piecu z olejem termicznym (4) i doprowadzana do reaktora suszącego (5). Opary wytwarzane w trakcie procesu będą kierowane do stacji odgazów (6). Wysuszony osad będzie kierowany na otaczarkę (7), tam zostanie wzbogacony przy pomocy linii wzbogacania (8). Ostatnim etapem jest linia pakująca (9).

W wyniku modyfikacji parku maszynowego osiągnięto możliwość przetwarzania bardzo trudnych osadów. W przypadku gdy proces filtracji i stabilizacji osadu nie jest doskonały, a to prowadzi do dużych wahań parametrów, zwłaszcza zawartości suchej masy, proponowana jest linia technologiczna dopasowana do potrzeb klienta. Linia taka umożliwia doprowadzenie wsadu do niskiej wilgotności i pełnej dezynfekcji, nawet przy osadach o zawartości suchej masy poniżej 20%. Zastosowanie wysokotemperaturowego reaktora, który w jednym przebiegu czynem ciągłym uzdatnia mieszając, susząc i dezynfekując, pozwala uzyskać na wyjściu materiał o stabilnych parametrach wilgotności względnej na poziomie nawet 20%, w pełni zdatny do kolejnych etapów procesowania. Przy opracowaniu tego rozwiązania założono jako oczekiwane, uzyskanie wilgotności względnej przetworzonego osadu na poziomie nie przekraczającym 23–25%, prasowanego lub granulowanego również w wariacie z polimerową otoczką, z możliwością dalszego wzbogacania w składniki biologicznie aktywne. Linia, dzięki swej prostocie, może być zainstalowana również w nieogrzewanym, izolowanym pomieszczeniu na stosunkowo niewielkiej powierzchni.

W procesie wysokotemperaturowego przetwarzania osadu metodą uproszczoną planowane jest użycie dodatku wapna jako potencjalnego stabilizatora odczynu produktu, poprawiającego skuteczność higienizacji. Wapno palone w wyniku reakcji

egzotermicznej pochłaniania 32% wody w stosunkowo do swojej masy. Dodatkowymi korzyściami tego procesu oprócz stabilizacji i higienizacji jest usunięcie nieprzyjemnego zapachu osadów oraz, w przypadku wykorzystania rolniczego, wprowadzenie wapna do gleby dzięki czemu poprawia się jej struktura. W procesie wysokotemperaturowym- uproszczonym oprócz wapna planuje się jeszcze użycie dedykowanego kleju polimerowego opracowanego przez Lauter Logistik, którego zadaniem jest zapobieganie pyleniu i rozwarstwianiu się produktu granulowanego. Dodatkowym atutem zastosowania polimerowych lepiszczy jest stabilizowanie wilgotności granulatu na czas przechowywania.

Podstawowym atutem zaproponowanego rozwiązania technologicznego jest zastosowanie parku maszynowego umożliwiającego podwójną higienizację termiczną. Zarówno pierwsza maszyna procesowa – reaktor, dwuwałowa mieszkorosuszkarka oraz zespół granulująco-otaczający gwarantuje osiągnięcie temperatury procesowej dochodzącej w masie do 120 °C (proces dezynfekcji) i powyżej.

Zaprojektowana przez zespół Lauter Logistik automatyka umożliwia monitorowanie i rejestrowanie całego procesu przetwarzania. Urządzenia gwarantują bezpyłowy oraz bezodpadowy przebieg procesu. Zastosowanie dwuetapowej techniki granulowania i otaczania uzdatnionego osadu, gwarantuje łatwą obróbkę materiału oraz stanowi zasadnicze udoskonalenie praktycznego wykorzystania osadów do celów rolniczych, dzięki uzyskaniu jednnorodnej i normatywnej wielkości granulki produktu, która ułatwia późniejszy rozsiew na polu.

Zastosowanie jak w przypadku linii mobilnej, niewielkiego laboratorium analitycznego pozwala potwierdzić stosownymi badaniami fizykochemicznymi oraz na obecność patogenów, zadeklarowane przez klienta parametry, a szczególnie czystość osadu przeznaczonego do przetworzenia. Uzyskanym produktem w wyniku przetwarzania będzie granulat o uśrednionej kalibracji, zawierający w swoim składzie uzdatniony osad oraz ewentualne dodatki zabezpieczające przed działaniem wilgoci i utratą spójności przez otoczkę, zapakowany w oddychające worki foliowe lub big-bag gotowe do magazynowania lub dystrybucji.

Dzięki zastosowaniu autorskiej automatyki wraz z dedykowanym oprogramowaniem oraz adekwatnego parku maszynowego, możliwa jest praca ciągła instalacji, bez konieczności przygotowania i buforowania wsadów surowca. Zastosowanie tej technologii pozwala z uciążliwego odpadu uczynić pełnowartościowy produkt, który umożliwia rewitalizację ziem zdegradowanych lub też bardzo ubogich w materię organiczną. Niewielkie rozmiary instalacji, bezodpadowy charakter pracy oraz znikoma uciążliwość dla otoczenia pozwala zainstalować technologię praktycznie w każdym obiekcie. Skalowalność i zdolność lokalizowania instalacji, również w niewielkich obiektach, pozwala na szerokie i powszechne stosowanie proponowanych rozwiązań. Idąc z duchem czasów można zmienić postrzeganie dbałości o stan środowiska, a zwłaszcza dotyczące terenów uprawnych i produkcji wysokiej jakości płodów rolnych.

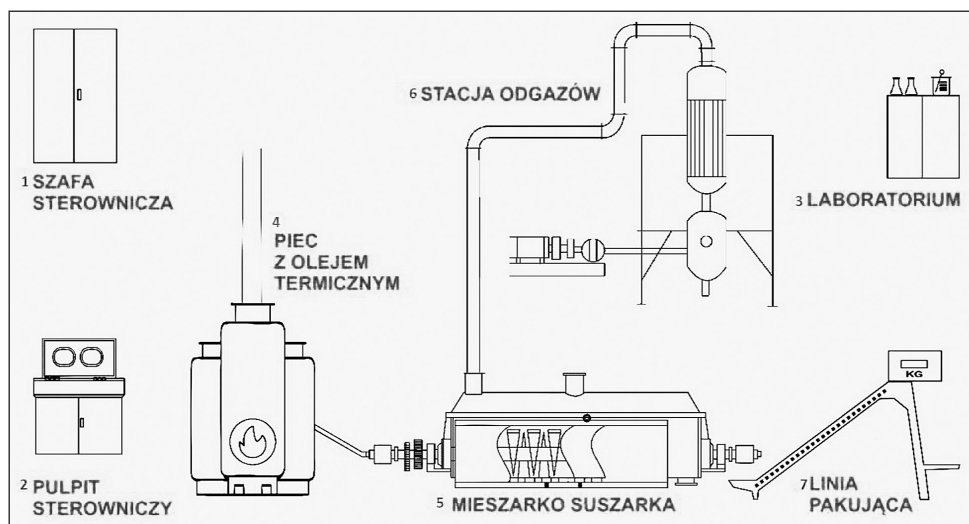
Mimo nieprzerwanej popularności nawozów sztucznych dowiedziono, że to aktywne organiczne nawozy wpływają na lepszą jakość zbiorów. Według prof. Lidii

Sas-Paszt z Zakładu Agrotechniki w Instytucie Ogrodnictwa w Skierniewicach, które zostały opublikowane w pracy pt. „Pożyteczne mikroorganizmy glebowe w uprawie roślin sadowniczych”, wyhodowane na takich nawozach warzywa i owoce mają lepsze właściwości prozdrowotne oraz smakowe. Proces edukacji i budowania świadomości na temat nawozów organicznych pochodzących z osadów jest trudny i długotrwały. Problemem jest także wewnętrzna blokada, która powstrzymuje rolników od stosowania nawozów organicznych pochodzących z utylizacji odpadów ściekowych.

Określone w prawie normy dla laboratoriów badających osady, między innymi pod kątem obecności pasożytów, metali ciężkich i bakterii chorobotwórczych, wymagają niemal 100% bezpieczeństwa produktu końcowego. Stosując technologię Lauter Logistik można być pewnym spełnienia najsurowszych kryteriów zwłaszcza w zakresie bezpieczeństwa użycia i czystości od wszelakich patogenów. Na rysunku 3 pokazano linię do suszenia osadów zapewniającą likwidację pasożytów i bakterii chorobotwórczych.

4. Innowacyjność technologii przetworzenia osadu ściekowego

Opracowane na zlecenie Lauter Logistik przez Edwarda Kulikowskiego zastosowanie połączonych metod higienizacji lub dezynfekcji przy pomocy temperatury, czynników chemicznych oraz ciśnienia wraz z możliwością zaszczerpienia produktu finalnego biologicznie aktywnymi komponentami, stanowi unikatowe rozwiązanie w skali światowej. Możliwość kontrolowanego podawania bioaktywnych komponentów dedykowanych do różnych gałęzi produkcji roślinnej poszerza walory innowacyjności technologii Lauter Logistik.



Rys. 3. Linia do suszenia osadów i odpadów

Dzięki zastosowaniu rozwiązań Lauter Logistik oraz linii uzdatniającej osad ściekowy, który niejednokrotnie zalega w lagunach osadowych, kontenerach bądź na terenach przynależnych do oczyszczalni – staje się użytecznym nawozem organicznym również w wersji z aktywnymi biologicznie komponentami, łatwym do sprzedaży bądź dystrybucji nieodpłatnej.

Modułowość i zdolność pełnej kontroli nad procesem pozwala na przetworzenie osadu ściekowego na dwa sposoby. Pierwszy z nich polega tylko na utylizacji osadu poprzez efektywne przetworzenie do postaci polepszacza glebowego, który zajmuje do 80% mniej miejsca – tym samym pojawia się wymierna oszczędność w logistyce bądź składowaniu odpadu. Drugi sposób to przetworzenie komponentów będących efektem działania oczyszczalni na nawóz, bogaty w materię organiczną, który pozwala na ponowne wprowadzenie materii organicznej do obiegu w przyrodzie, co w efekcie daje szansę przywrócić równowagę biologiczną w glebie. Oba sposoby pozwalają na ograniczenie nakładu finansowego przeznaczonego na logistykę i składowanie odpadów.

Proponowane technologie wyróżnia przede wszystkim szeroka możliwość adaptacji procesu do różnych typów odpadów. W wyniku odpowiednio dopasowanych działań za każdym razem otrzymuje się finalnie ten sam nawóz o wysokim standardzie.

Co odróżnia oferowane przez Lauter Logistik rozwiązania? Przede wszystkim wieloetapowość i pełna kontrola procesów na każdym poziomie. Nie ma szansy na przypadkowy przebieg reakcji na którymkolwiek etapie procesu. Kontrola jest najistotniejszym czynnikiem powtarzalności i gwarancją sukcesu, w postaci znormalizowanego i wartościowego produktu, który musi być pewny i bezpieczny, ponieważ ostatecznie ma trafić na pola uprawne, a w efekcie do płodów rolnych. Osady ściekowe spełniające warunki dopuszczenia dla zastosowań przyrodniczych, ujednarodnia się w procesie z mieszaniną składników organiczno-mineralnych, żywicą mocznikowo-formaldehydową, stabilizatorem pH, lepiszczami naturalnymi lub akrylowym polimerem liniowym, supersorbentem oraz substancjami wypełniającymi. Zastosowanie kwasu fosforowego jako katalizatora polikondensacji żywicy mocznikowo-formaldehydowej zapewnia higienizację chemiczną oraz stabilizację osadu ściekowego, a zarazem w wyniku zachodzących reakcji powoduje powstawanie łatwo przyswajalnych fosforanów. Dodatek aktywnego wapna i minerałów, w celu uzyskania właściwego odczynu pH, umożliwia odwodnienie mieszaniny, a powstające fosforany ograniczają wymywanie cennych składników. Zastosowanie unikalnego dodatku superabsorbentu – hydrożelu polimerowego, który powoduje nie tylko odwodnienie mieszaniny, ale ponadto daje spowolnienie wymywania składników pokarmowych, działa jako dodatkowe lepiszcze w procesie granulacji oraz wpływa na zwiększenie chłonności wodnej gleby. Otrzymany, zhigienizowany, granulaty, na życzenie zlecniodawcy, można finalnie wzbogacić o dedykowaną szczepionkę zawierającą żywe mikroorganizmy przywracające aktywność biologiczną, korzystną dla środowiska glebowego.

Najważniejsze elementy innowacyjnej technologii to:

1. **ANALIZA.** W procesie przetwarzania osadów ściekowych pierwszym i najważniejszym etapem jest analiza fizykochemiczna oraz sanitarna osadów. Następnie, zgodnie z przyjętym dla danej partii osadu procesem technologicznym, dobierana jest kompozycja składników uzdatniających i uzupełniających. Dlatego wsadem mogą być osady ściekowe o różnym składzie gdyż każdorazowo poddawane są analizie w celu określenia zawartości składników, określenia zawartości metali ciężkich. Osady ściekowe są badane na zawartość bakterii, patogenów i innych substancji niebezpiecznych.
2. **SANITARYZACJA I PRZETWARZANIE.** Po zbadaniu osad trafia do reaktora, zależnie od wersji rozwiązania - do mieszalnika lub suszarni dwuwałowej, dzięki któremu otrzymujemy pożądaną wilgotność. Na tym etapie poddajemy osad pełnej higienizacji chemicznej i termicznej, gdzie robocza temperatura w tym procesie może przekraczać nawet 120 °C.
3. **UZDATNIANIE.** Tak przygotowane osady podawane są procesom uzdatniania i ujednordniania. W trakcie mieszania, za pomocą systemu precyzyjnych dozowników, dodawane są poszczególne składniki, zgodnie z przygotowaną dla konkretnej partii recepturą (poza dodatkami biologicznie czynnymi). Podczas tego etapu następuje higienizacja i ustabilizowanie masy.
4. **GRANULACJA.** Wymieszany preparat jest transportowany podajnikami do ciśnieniowej wyciarkarki, gdzie wytłaczany jest do pożądanego wielkości granulatu. Ten podlega dosuszeniu do wilgotności roboczej, najczęściej przy użyciu promieniowania podczerwonego. Wytłoczony, surowy i podsuszony granulak, po wykonaniu końcowej analizy fizykochemicznej oraz na obecność patogenów, po uzyskaniu aprobaty oraz po uzgodnieniu składu dodatków organicznych, transportowany jest do otaczarki. Tam w procesie wielowarstwowego otaczania jest wzbogacany stabilizowany polimerami i finalną otoczką.
5. **KONFEKCJONOWANIE.** Ostatnim etapem przetwarzania jest proces konfekcjonowania. Wynikiem przetwarzania osadów ściekowych zgodnie z technologią Lauter Logistik może być polepszacz glebowy lub pełnowartościowy, organiczno-mineralny, wieloskładnikowy nawóz o spowolnionym i kontrolowanym uwalnianiu składników pokarmowych. Wzbogaca on podłoże w niezbędne dla prawidłowego wzrostu roślin składniki pokarmowe mineralne, jak również przywraca podłożu materię organiczną niezbędną dla prawidłowego funkcjonowania mikroorganizmów glebowych, odpowiedzialnych za tworzenie próchnicy i utrzymanie prawidłowej struktury gleby.

Linia technologiczna jest produkowana na zamówienie przez inżynierów firmy Lauter Logistik wraz z firmami z nią współpracującymi. Ze względu na innowacyjność technologii wiele komponentów wytwarzanych jest przez zewnętrznych producentów, całość montowana i strojona w ośrodku Lauter

Logistik. Czas oczekiwania na dostawę maszyny to 16 tygodni, produkt przyjeżdża do klienta na dedykowanej naczepie. Jest możliwość instalacji technologicznej w formule stacjonarnej – dzięki procesowi rozpisaniu w patencie jest możliwość dopasowania zespołu maszyn do specyficznych warunków panujących u klienta. Model sprzedaży jest bezpośredni bądź w formule wynajmu: maszyny bądź wykonania usługi przetwarzania. Dzięki temu posiadając maszynę Lauter Logistik odbiorca może nie tylko wykonywać usługę na własne potrzeby, może również świadczyć sprzedaż efektu przetworzenia bądź samej usługi przetworzenia. Całość została zaprojektowana w sposób pozwalający maksymalizować przychody celem eliminacji „przestojów” linii w przypadku braku materiału do przetworzenia.

5. Dystrybucja instalacji

Zależnie od formy współpracy można przyjąć istnienie kilku wariantów logistyki produktu będącego wynikiem pracy zastosowanego rozwiązania. Odpowiadając na oczekiwania kontrahentów przygotowano trzy ścieżki współpracy, zarówno w modelach cyklicznych, jak i jednorazowym zakupie rozwiązania przez Klienta. Efektywne przetwarzanie osadu ogranicza nakład finansowy na logistykę i składowanie odpadów.

MODEL 1: Wynajmij park maszynowy. Klient otrzymuje w ramach świadczonej usługi dostęp do technologii, dzięki której może produkować swój nawóz. Ten z kolei może:

- a) sprzedać,
- b) rozdać (np.: rolnikom w grupie rolniczej, do której przynależy).

W tym wariantcie klient ma po swojej stronie odpowiedzialność za dalszą dystrybucję produktu. Po jego stronie leży również logistyka i gospodarowanie produktem, który powstaje w wyniku przetworzenia.

W ramach oferty Lauter Logistik pozostaje:

- wynajem linii, przeszkolenie personelu;
- dostawa substratów;
- plan serwisowy.

MODEL 2: Kup linię technologiczną my ją zbudujemy. To rozwiązanie polecane jest w sytuacji, gdy klient chce być właścicielem urządzenia lub parku maszynowego oraz nie chce ponosić miesięcznych kosztów najmu czy też usługi, nie ma miejsca na nasze mobilne urządzenia lub chce mieć zamkniętą technologię w swoich pomieszczeniach. Dla takiego rozwiązania realizowane są kompleksowe pomiary, wykonywany projekt, dobierane maszyny i urządzenia stosownie do lokalizacji, a następnie linia technologiczna jest instalowana i uruchamiana na miejscu u kontrahenta.

W tym wariantcie klient również ma po swojej stronie odpowiedzialność za dalszą dystrybucję produktu. Po jego stronie leży też logistyka i gospodarowanie produktem, który powstaje w wyniku przetworzenia.

W ramach oferty Lauter Logistik pozostaje:

- projekt, budowa, montaż, uruchomienie linii;
- dostawa substratów;
- plan serwisowy.

MODEL 3: My przetwarzamy osady – zabierzemy twój problem. Klient kupuje usługę, dzięki której zapewni sobie zależnie od wersji technologii odbiór osadów oraz bezodpadową produkcję. W takiej sytuacji linia wraz z laboratorium Lauter Logistik stawiane są we wskazanym przez zamawiającego usługę miejscu. Takie rozwiązanie jest szczególnie wygodne dla tych, którzy nie chcą martwić się dalszą utylizacją odpadów czy sprzedażą nawozu. Klient zapewnia jedynie miejsce i dostęp do energii elektrycznej, a z dostawcą rozwiązania rozlicza się za wolumen odebranego i zutylizowanego osadu.

W ramach oferty Lauter Logistik pozostaje:

- dostarczenie linii do przetwarzania,
- odbiór i przetworzenie osadu z węzła oczyszczalni,
- logistyka osadu – transport poza miejsce przetwarzania,
- magazynowanie i dystrybucja.

Lauter Logistik w ramach powstałej grupy podmiotów specjalizujących się w kreowaniu przyjaznych środowisku rozwiązań, wspomagających uprawę roślin, rekultywację, rewitalizację terenów zdegradowanych ma zdolność do dystrybuowania wytworzonego produktu – polepszacza, czy też nawozu dzięki powstałej szerokiej sieci sprzedaży, w kraju jak i za granicą. Oczywiście należy pamiętać, iż wszelkie działania handlowe zarówno po stronie klienta jak i Lauter Logistik muszą być poprzedzone pozyskaniem stosownych dopuszczeń oraz zezwoleń, charakterystycznych dla rynków, na których planuje się oferować, wytworzone w procesie przetwarzania osadów produkty. Ustawa z dnia 10 lipca 2017 r. O nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2018 r. poz. 1259) oraz wydane na jej podstawie rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2008 nr 129, poz. 76) regulują wykorzystanie ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych do produkcji nawozu lub środka wspomagającego uprawę roślin. Zgodnie z tymi przepisami osady ściekowe przetworzone na nawóz mogą być wprowadzone do obrotu po uzyskaniu zezwolenia właściwego ministra do spraw rolnictwa. W tym celu należy przedstawić właściwości fizykochemicznych, chemicznych, biologicznych wykonanych przez akredytowane laboratorium oraz opinie o spełnianiu wymagań jakościowych i o przydatności do stosowania wydane przez właściwe instytuty badawcze [Ministerstwo Środowiska, 2018].

Bibliografia

- Brzeski K. 1999. Sanitarna ocena przydatności osadów ściekowych do przyrodniczego wykorzystania. III Konferencja Naukowo-Techniczna.
- Gambuś F. 1999. Skład chemiczny i wartość nawozowa osadów ściekowych z wybranych oczyszczalni regionu krakowskiego. III Konferencja Naukowo-Techniczna.
- Górski M., Zabawa S. 2008. Zarządzanie gospodarką odpadami: techniczno-organizacyjno-prawne aspekty gospodarki odpadami. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań.
- Siuta J. 2015. Spór o prawną i wykonawczą zasadność stosowania komunalnych osadów ściekowych. *Inżynieria Ekologiczna*, 45, 1–20.
- Europejskie Stowarzyszenie Wapna. Wapnowanie: nowoczesna metoda higienizacji osadów ściekowych wykorzystywanych w rolnictwie.
- Ministerstwo Środowiska 2018. Strategia postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2019–2022.
- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015r. w sprawie stosowania komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. z 2015 r., poz. 257).
- Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. Art. 96 (Dz.U. z 2013 r., poz. 21, z późn. zm.).

Innowacyjna technologia marki FLUID uwęglania biomas i nawozowe użytkowanie biowęgla

Jan Gładki¹

1. Wprowadzenie

W niniejszym rozdziale przedstawiono dorobek zespołu inżynierów Fluid S.A. oraz wyniki współpracy naukowej nad zastosowaniem biowęgla w rolnictwie. Krajowe doświadczenia w tym zakresie podparte zostały pracami zagranicznymi [Biochar... 2010] oraz [Biochar use..., 2018].

Prowadzone w Polsce prace badawczo-rozwojowe powinny rozszerzyć wiedzę rolnikom, organizacjom rolniczym, instytucjom certyfikującym a w konsekwencji doprowadzić do uznania biowęgla przez Ministerstwo Rolnictwa jako pożądanego produktu przywracającego równowagę w przyrodzie, poprawiającego strukturę gleb w sadownictwie, leśnictwie, uprawach wielkotowarowych, szklarniowych, w odżywianiu zwierząt i drobiu, w zapobieganiu tworzenia gazów cieplarnianych, poprawie jakości mięsa, itp.

Firma Fluid S.A. od 14 lat zajmuje się technologiami przemysłowej produkcji biowęgla, w tym od 8 lat prowadzi badania biowęgla zmierzające do stosowania w rolnictwie. Współpracuje z kilkunastoma uczelniami i instytutami techniczno-przyrodniczymi, zbierając doświadczenia i wspomagając wiedzą różne dziedziny przemysłu.

2. Biowęgiel

Substancja węglowa wyprodukowana z biomasy i używana jako ulepszcza gleby, została doceniona z wielu względów, między innymi dzięki możliwości ulepszenia żyzności gleby, ochronie jakości wody oraz generowaniu energii o zerowym bilansie emisji związków węgla. Zaletą biowęgla jest magazynowanie węgla w glebach, a więc uzupełnia glebę w ten pierwiastek. Działa jako użyźniacz gleby, który raz zaorany wywiera trwały efekt na dziesiątki lat. Biowęgiel zwiększa

¹ Fluid S.A., ul. Spółdzielcza 9, 28-340 Sędziszów

żyźność gleby poprzez stymulowanie aktywności biologicznej, zwiększając zawartość składników odżywczych w glebie, retencję wody oraz zwiększając udział części organicznych. Biomasa pochodzi z łatwo dostępnych i zrównoważonych odpadów rolniczych. Biowęgiel jest organicznym, wzbogaconym w węgiel produktem z odnawialnych pozostałości roślinnych, produkowany za pomocą procesu termicznego uszlachetniania biomas (podgrzewanie bez dostępu tlenu), który ma zastosowanie jako zrównoważony i trwały użyźniacz gleby.

Biowęgiel staje się najbardziej pożądanym produktem w celu zatrzymania globalnych zmian klimatycznych. Węgiel znajdujący się w biowęgla zostaje uwięziony na trwałe w glebie usuwając dwutlenek węgla z atmosfery.

Do produkcji biowęgla zaleca się stosowanie biomasy z pozostałości poprodukcyjnych oraz z odpadów biomasowych. Mając na względzie ochronę zasobów leśnych nie powinno się stosować biomasy pierwotnej. W kategorii biomasy poprodukcyjnej i odpadów najbardziej pożądanymi surowcami są nawozy zwierzęce, stałe miejskie odpady organiczne oraz pozostałości po wyрубie drzew. Należy pamiętać że na ocenę produkcji biowęgla i sposobu wykorzystania należy wziąć pod uwagę energię wymaganą do produkcji, zbierania, transportu, w odniesieniu do potencjalnego wzrostu żyzności gleby, a w konsekwencji urodzaju.

Powolna piroliza jest najbardziej optymalnym procesem dla zmaksymalizowania produkcji biowęgla. Tylko duże systemy produkcyjne, jednolite surowce i ściśle kontrolowane systemy aplikacji są w stanie zapewnić optymalne procesy produkcyjne o odpowiedniej jakości biowęgla. Pomimo dużego zainteresowania małymi systemami produkcji biowęgla, są one trudne do scharakteryzowania i monitorowania. Małe, proste systemy produkcji biowęgla nie powinny być traktowane jako pierwszoplanowe narzędzia do produkcji biowęgla na cele rolnicze, a więc zapobiegające zmianom klimatu. Tego typu małe systemy mogą służyć lokalnej społeczności do produkcji biowęgla w celu polepszania struktury kompostów przed aplikacją do gleby.

3. Technologia firmy Fluid S.A.

Poniżej przedstawiono innowacyjną technologię produkcji biowęgla z jednoczesną produkcją innych odnawialnych energii wraz z systemem zapewniającym uzyskanie produktu o określonych przez odbiorcę właściwościach.

Produkcja biowęgla z biomas roślinnych, w tym poprodukcyjnych, odbywa się w Zakładzie Odzysku Energii w Sędziszowie. Zakład ten produkuje „zieloną” energię elektryczną, odnawialne ciepło (chłód) oraz biowęgiel sypki z przeznaczeniem dla rolnictwa lub jako pellet z biowęgla (bezdymne, ekologiczne paliwo) oraz biowęgiel sypki jako paliwo dla energetyki. Przedstawiona technologia uzyskała nagrodę Ministra Gospodarki „ECO₂ innowacje” Polski Produkt Przyszłości „Stale paliwo odnawialne marki FLUID o największym potencjale redukcji CO₂”.

Wilgotna, wstępnie rozdrobniona biomasa dostarczana jest transportem kołowym do zadaszonego sektora wyładunkowego. W tym miejscu następuje samoczynny wyładunek biomasy, która poprzez szereg przenośników prze-

mieszczana jest w kierunku sekcji przesiewania i rozdrabniania. Roizdrobniona biomasa kierowana jest do sekcji suszenia, gdzie następuje zmniejszenie jej wilgotności do watości 25%. Przesuszona biomasa trafia do wewnętrznych koszu zasypowych reaktorów, a następnie do retorty. Biomasa poddawana jest dalszemu podgrzaniu bez dostępu tlenu, dzięki czemu następuje odgazowanie lekkich węglowodorów. Gazy te wydostają się do wnętrza reaktorów i ulegają spaleni w wirującym gorącym powietrzu. Stwarza to warunki autotermiczności procesu. Proces podgrzania i prażenia w retortach, bez dostępu tlenu, powoduje uwęglanie biomasy. W ten sposób powstaje biowęgiel, którego zawartość pierwiastka węgla może być regulowana w granicach od 65% do 93%. Gorący biowęgiel po wyjściu z reaktorów kierowany jest poprzez podajniki schładzające do młynów mielących mających za zadanie rozdrobnienie produktu do żądanej frakcji. Rozdrobniony biowęgiel składowany jest w workach typu big-bag i kierowany do magazynu.

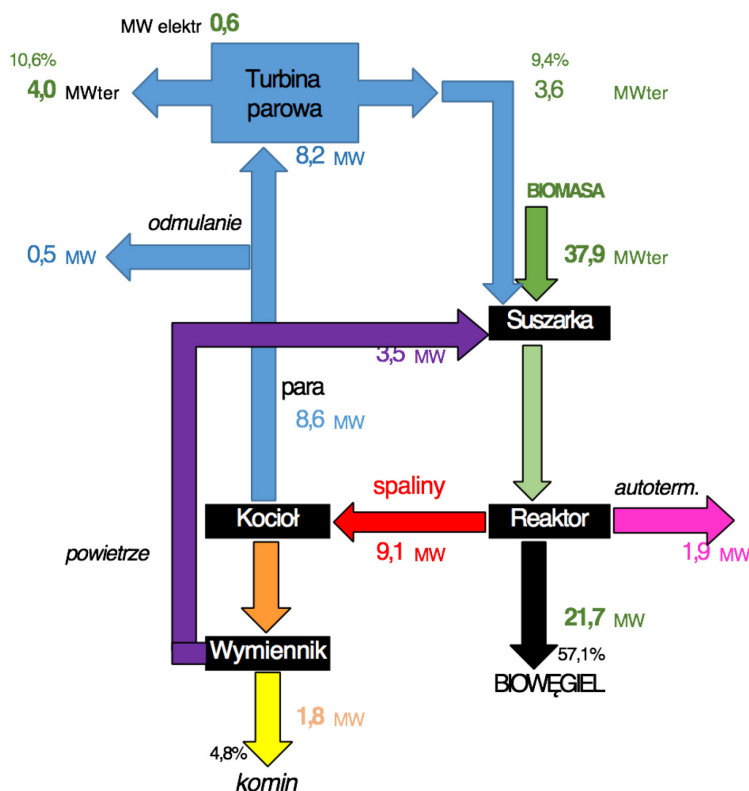
W trakcie produkcji biowęgla co cztery godziny pobierane są próbki materiału, które następnie badane są w laboratorium zakładowym. Przykładowe wyniki badań podano w tabeli 1. Co kilka tygodni próbki wysyłane są także do badań w zewnętrznych akredytowanych laboratoriach.

Tabela 1. Wyniki badań produkowanego biowęgla marku FLUID

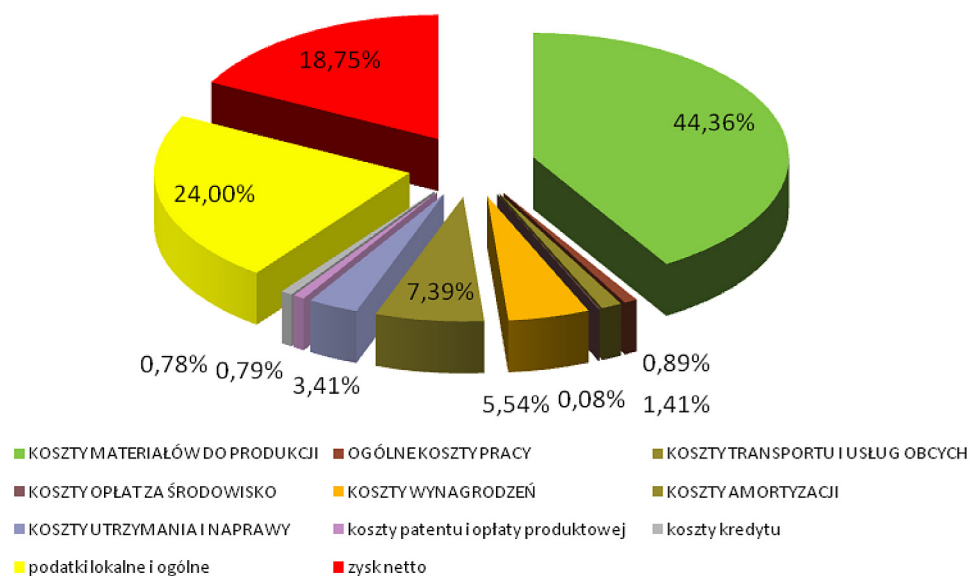
Data / Godzina	Próbka	Zawartość węgla	Zawartość siarki	Zawartość wodoru	Naważka, g	Czas, s	Aplikacja
01.06.2018 11:11	biowęgiel	91,835%	1,397%	0,035%	102.4	110	C 72,52 - 0,38 H 4,46 - 0,12 S 0,57- 0,04
01.06.2018 11:14	biowęgiel	92,736%	1,540%	0,036%	101.9	112	C 72,52 - 0,38 H 4,46 - 0,12 S 0,57- 0,04
Wartość średnia		92,286%	1,469%	0,036%	—		
Odchylenie standardowe		0,6370/ 0,690%	: 0,0009/ 2,591%	0,1015/ 6,908%	—		



Rys. 1. Biowęgiel zapakowany w workach typu big-bag oraz w torbach po 5 kg



Rys. 2. Przykładowy rozkład energii w procesie uwęglania wg technologii FLUID



Rys. 3. Rozkład kosztów produkcji biowęgla marki FLUID

Wyzwolona energia podczas uwęglania w spalinach jest przekształcana na energię pary w kotłach parowych współpracujących z reaktorami, a następnie para jest kierowana do jednostopniowej turbiny redukcyjnej produkującą energię elektryczną. Nadmiar pary z turbiny przeznaczony jest do suszenia biomasy oraz produkcji ciepła.

Dla zapewnienia optymalnej pracy instalacji przewidziane są oddzielne układy technologiczne dla każdego reaktora pracujące równolegle. Jest to układ bezpieczny dla całego zakładu, ponieważ pozwala utrzymać stabilność oraz elastyczność pracy. Nawet w przypadku ewentualnej awarii jednego układu, nie ma ryzyka zatrzymania pracy zakładu. Z procesu wyłączony jest w tym wypadku jeden obieg, natomiast pozostałe funkcjonują nadal.

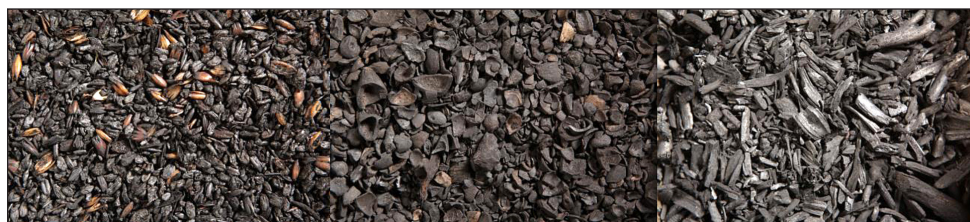
4. Badania biowęgla marki Fluid

Główny Urząd Statystyczny w Warszawie, Departament Metodologii, Standardów i Rejestrów w maju 2008 roku na nasz wniosek zakwalifikował produkt o nazwie handlowej „Biowęgiel”, produkowany wg technologii FLUID, powstający z biomasy roślinnej, zwierzęcej i ich miksów, wysegregowanych odpadów komunalnych, osadów pościekowych oraz osadów z technologii przetwórstwa owocowo-warzywnego w dwóch kodach produktowych.

- **Kod CN 3824 90 97** dla biowęgla produkowanego z biomasy zwierzęcej, wysegregowanych biomasowych odpadów komunalnych, osadów ściekowych, osadów przetwórstwa owocowo-warzywnego oraz ich mieszanek z biomasą roślinną (rys. 4).
- **Kod CN 4402 90 00** dla biowęgla produkowanego z biomas roślinnych (rys. 5), numer grupowania PKWiU 24.14.72 węgiel drzewny (wg PKWiU z 2004 roku).



Rys. 4. Biowęgiel wg kodu CN 3824 90 97



Rys. 5. Biowęgiel wg kodu CN 4402 90 00

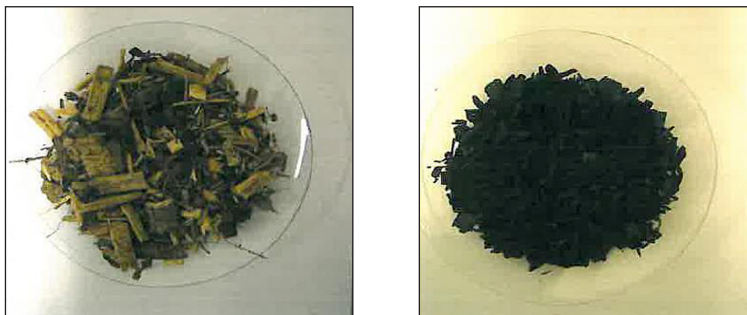
4.1. Badania w AGS Institut Fresenius GmbH, Berlin

Raport z inspekcji 2119602 wykonany przez Pana Thomas Smyk; usługi środowiskowe SGS Institut Fresenius GmbH w Berlinie wykazał że: „Biówęgiel produkowany w tych samych warunkach, co podczas audytu (surowiec w 100% z biomasy, surowiec z pobliskiego regionu, surowiec nie pochodzi z intensywnych upraw, zastosowanie autotermalnego procesu do produkcji biowęgla) ocenia się, jako biomasę spełniającą wymogi Dyrektywy Komisji Europejskiej 2009/28/EC. Poniższe wyliczenia dotyczą wyłącznie biowęgla wyprodukowanego podczas audytu i mogą różnić się w przypadku innych produktów.

Jednak dla oceny wpływu biowęgla na redukcję emisji poprzez współspalanie w elektrowniach itp. należy uwzględnić zastosowanie do produkcji biowęgla oleju napędowego oraz energii elektrycznej. Olej napędowy stosowany jest do rozruchu, po przerwaniu procesu. Średnia 0,1 l oleju napędowego na tonę stanowi mniej, niż 0,3 kg CO₂. Energia elektryczna używana jest do zasilania urządzeń (np. przenośniki). Na podstawie relatywnie wysokiej ilości 1 kg CO₂ na kWh, w procesie zużywa się 40 kg CO₂ na tonę biowęgla.

Wpływ transportu surowca do zakładu może być jedynie oszacowany z założeniem najgorszego scenariusza. Odległość 50 km i 100 l oleju napędowego dla tej odległości (transport ciągnikiem) dla 20 ton surowca (ok. 7 t biowęgla) stanowi mniej niż 40 kg CO₂ na tonę biowęgla. Wpływ transportu do klienta może zostać oceniony jedynie indywidualnie, w przypadku sprzedaży biowęgla.

Jedna tona biowęgla posiada wartość opałową dolną 30,81 GJ/tona w stanie wyjściowym oraz 82,8% węgla w stanie wyjściowym (3034 kg CO₂ ekwiwalent na tonę). Spalenie tego biowęgla wytworzy brutto 98,5 kg biogenicznego CO₂ na GJ. W celu obliczenia całkowitego potencjału redukcji CO₂ od powyższego czynnika należy odjąć energię paliw kopanych użytą podczas produkcji. Zgodnie z powyższymi wyliczeniami 80,3 kg CO₂ z paliw kopanych potrzeba do produkcji 1 tony biowęgla o wartości opałowej 30,81 GJ/tonę w stanie wyjściowym. Zatem ten biowęgiel posiada czynnik emisji równy 2,6 kg CO₂ z paliw kopanych na GJ. Zatem efektywny potencjał redukcji emisji testowanej substancji to 95,5 kg CO₂ na GJ (98,5 kg biogenicznego CO₂ na GJ – 2,6 kg biogenicznego CO₂ na GJ).



Rys. 6. Próbkki materiału i wytworzonego z niego biowęgla

KARTA CHARAKTERYSTYKI sporządzona zgodnie z Rozporządzeniem Komisji (UE) 2015/830 zmieniającym rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 (REACH)	Data opracowania:	
BIOWĘGIEL	Wersja: 1.0 13.11.2017 Aktualizacja: --- (wersja 1)	

SEKCJA 1: IDENTYFIKACJA SUBSTANCJI/MIESZANINY I IDENTYFIKACJA PRZEDSIĘBIORSTWA
1.1. Identyfikator produktu Nazwa handlowa: BIOWĘGIEL Numer CAS: 7440-44-0 [C] Numer WE: 231-153-3 1.2. Istotne zidentyfikowane zastosowania substancji lub mieszaniny oraz zastosowania odradzane Zastosowania zidentyfikowane: paliwo do grilla, polepszacz do gleby 1.3. Dane dotyczące dostawcy karty charakterystyki ul. Spółdzielcza 9 28-340 Sędziszów, Świętokrzyskie, Polska telefon: + 48 41 381 26 25 fax: + 48 41 381 26 25 e-mail fluid@fluid.pl e-mail kompetentnej osoby odpowiedzialnej za kartę charakterystyki: barbara.baran@fluid.pl 1.4. Numer telefonu alarmowego Ogólnopolskie telefony alarmowe: Policja 997; Straż Pożarna 998; SOS tel. kom. 112

SEKCJA 2: IDENTYFIKACJA ZAGROZEŃ
2.1. Klasyfikacja substancji lub mieszaniny Klasyfikacja produktu - <u>zgodnie z rozp. WE Nr 1272/2008 [CLP/GHS]</u> Substancja nie jest zaklasyfikowana jako stwarzająca zagrożenia fizyczne, dla zdrowia lub dla środowiska. 2.2. Elementy oznakowania - <u>zgodnie z rozp. WE Nr 1272/2008 [CLP/GHS]</u> Substancja nie została zaklasyfikowana jako stwarzająca zagrożenie, dlatego nie posiada oznakowania. 2.3. Inne zagrożenia Ocena PBT / vPvB – nie spełnia kryteriów dla substancji PBT/vPvB.

SEKCJA 3: SKŁAD/INFORMACJA O SKŁADNIKACH
3.1. Substancja Biowęgiel powstaje z uwęglania biomasy w postaci zrębków drzewnych, pozostałych po obróbce mechanicznej drewna.

Rys. 7. Karta charakterystyki biowęgla

4.2. Badania w krajowych ośrodkach naukowych

Współpraca z Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu, Instytutem Przyrodniczo-Technologicznym w Falentach oddz. Wrocław, Uniwersytetem Rolniczym w Krakowie, Państwową Szkołą Wyższą w Bielsku Podlaskim oraz Instytutem Upraw, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach na temat możliwości zastosowania biowęgla w rolnictwie. Giowęgiel marki FLUID badany jest również w uprawach sadowniczych Instytutu Sadownictwa w Skierniewicach oraz wielu innych ośrodkach naukowych.

Podsumowanie wyników dotychczasowych badań:

- 100% sekwestracja dwutlenku węgla (CO_2).
- Wpływa na łagodzenie zmian klimatycznych.
- Znaczna poprawa właściwości gleby.
- Zwiększa zawartość substancji organicznej w glebie.
- Wpływa na zwiększenie aktywności mikroorganizmów i mezofauny glebowej.
- Zwiększa wilgotność gleby.
- Pozytywnie wpływa na wzrost i plonowanie roślin.
- Wpływa na zwiększenie masy i jakości systemu korzeniowego.

Badania w Instytucie Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie, pod kierunkiem prof. dr hab. Bogusława Usowicza

Tematem badań było „Określenie wpływu biowęgla na właściwości fizyczne gleby, szczególnie na cieplne właściwości w aspekcie czynnika wpływającego na poprawę struktury i żyzności” (umowa z dnia 21.02.2013 r.). Zasadniczym celem użycia, biowęgla marki FLUID (biomasa, która została poddana pirolizie w warunkach niskiej zawartości tlenu) w glebie jest zmniejszenie efektu cieplarnianego poprzez sekwestrację dwutlenku węgla w glebie i poprawę jakości gleby z punktu widzenia rolnictwa i ochrony środowiska, unikając jednocześnie krótko i długoterminowego szkodliwego wpływu biowęgla dla szerszego środowiska przyrodniczego oraz zdrowia ludzi i zwierząt.

Biowęgiel jest stabilny w glebie, ponieważ jest trudniej dostępny dla mikroorganizmów, niż inne substancje organiczne dodawane do gleby. Dlatego traktowany jest jako materiał pozwalający na zatrzymanie węgla w glebie i zmniejszenie emisji dwutlenku węgla (CO_2) do atmosfery.

Wydzielanie gazu szklarniowego oraz CO_2 z gleby jest efektem procesów przeprowadzanych przez mikroorganizmy glebowe. Każdy gram gleby zasiedlają miliardy różnorodnych komórek drobnoustrojów, które – prowadząc własne procesy życiowe – przetwarzają organiczne i nieorganiczne składniki gleby. Oprócz CO_2 , także metan (CH_4) i podtlenek azotu (tlenek azotu(I), N_2O) są gazami szklarniowymi, wydzielanymi z gleby w wyniku aktywności drobnoustrojów.

Gleba może być nie tylko emitentem, ale również pochłaniaczem gazów szklarniowych. Szczególnie silny wpływ na te procesy mają warunki wodno-powietrzne gleby, temperatura i zawartość łatwo dostępnej substancji organicznej. Jak szybko będą zachodzić dane procesy w glebie zależy to będzie od właściwości fizycznych, chemicznych, cieplnych i hydraulicznych gleby i biowęgla.

Prowadzone były badania (pomiar i modelowanie) nad przewodnictwem cieplnym, wodnym i gazowym, pojemnością cieplną, wodną i gazową samego biowęgla i biowęgla wymieszanego z różnymi glebami. Wykonawcami prac byli prof. dr hab. Teresa Włodarczyk; dr hab. Małgorzata Brzezińska; prof. IAPAN oraz dr Urszula Majewska.

Badania w IUNG Puławy; Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia

Wyniki badań przedstawiono w opracowaniu pt. „Opinia o wartości nawozowej uwęglonego obornika bydlęcego”. Wilgotność zbieranej biomasy mięty była tym wyższa im wyższa dawka biowęgla w glebie. Nie stwierdzono istotnych różnic zawartości olejków eterycznych w świeżo zebranej biomase mięty w zależności od dawek biowęgla i nawożenia azotowego. Stężenia metali ciężkich w uwęglonym oborniku bydlęcym były znacznie niższe od dopuszczalnych w nawozach organicznych (tab. 2).

Badania w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych

Badania biowęgla marki FLUID na zawartość frakcji biodegradowalnej przeprowadzono w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych; oddział Inżynierii Procesowej w Opolu; Laboratorium Innowacyjnych Materiałów i Monitorowania Środowiska. Wyniki pomiarów udziału masowego biomasy metodą izotopu węgla C14 przedstawiono w tabeli 3.

Badania w Instytucie Ogrodnictwa w Skierniewicach

Określono wpływ biowęgla marki FLUID na wzrost i plonowanie roślin sadowniczych w badaniach prowadzonych pod kierownictwem prof. Lidii Sas-Paszt. Drzewa brzoskwini i jabłoni posadzono wiosną 2013 r. Zasosowano biowęgla wy-

Tabela 2. Stężenia metali ciężkich w uwęglonym oborniku bydlęcym, mg/kg s.m.

Pierwiastek	W badanej próbce	Dopuszczalna w nawozach organicznych*
Cr (chrom)	27,8	100
Cd (kadm)	0,77	5
Ni (nikiel)	24,0	60
Pb (ołów)	4,75	140
Hg (rtęć)	poniżej 0,01	2

* Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2008 r., nr 119, poz. 765).

Tabela 3. Zawartość frakcji biodegradowalnej w biowęgla marki FLUID

Numer próbki w LIMiŚ	Badana właściwość	Jednostka	Stan analityczny ± niepewność*	Stan roboczy ± niepewność*
LL/17/2158	Zawartość frakcji biodegradowalnej – udział masowy biomasy metodą izotopu węgla C14	[%]	100,0 ± 7,5	

* Niepewność rozszerzona określona dla współczynnika rozszerzenia k=2 przy poziomie ufności p=95%; niepewność nie zawiera składowej pobierania próbek.

tworzony ze zrębków drzew iglastych, w dawce 1,6 kg na jedno drzewo. Wiosną 2014 roku drzewa nektaryny *Prunus persica* cv. Flattery potracono ponownie biowęgłem marki FLUID. Wyniki badań przeprowadzonych w 2015 roku wykazały:

- aplikacja biowęgla w połączeniu z mikroorganizmami wpłynęła na zmniejszenie populacji izolowanych bakterii oraz wzrost populacji grzybów mikroskopowych,
- aplikacja biowęgla wpłynęła na zwiększenie przyrostów średnicy pnia,
- zastosowanie biowęgla i biowęgla z mikroorganizmami wpłynęło na zwiększenie liczby owoców i plonowanie brzoskwini,
- aplikacja biowęgla z pożytecznymi mikroorganizmami wpłynęła na istotne zwiększenie świeżej i suchej masy korzeni brzoskwini,
- aplikacja biowęgla z Florovit NPK korzystnie wpłynęła na wielkość systemu korzeniowego brzoskwini:
 - system korzeniowy po aplikacji biowęgla był bardziej rozbudowany, z większym udziałem korzeni młodych i drobnych;
 - korzenie drzew brzoskwini traktowane biowęgłem miały komórki kory pierwotnej wypełnione ziarnami skrobi;
- aplikacja biowęgla z mikroorganizmami wpłynęła na istotne zwiększenie zasiedlania korzeni przez grzyby mikoryzowe,
- biowęgla pozytywnie wpłynął na cechy wzrostu wegetatywnego jabłoni; największy przyrost średnicy pnia oraz wielkość i masę liści miały rośliny potraktowane biowęgłem z Florovit NPK,
- aplikacja biowęgla z mikroorganizmami wpłynęła na zwiększenie plonu i liczby owoców jabłoni,



Rys. 8. Owoce jabłoni i nektaryny po aplikacji biowęgla

- zastosowanie biowęgla w dawce 0,8 kg/drzewo nektaryny istotnie zwiększyło ogólną liczbę grzybów mikroskopowych,
- aplikacja biowęgla w dawce 2,4 kg/drzewo nektaryny wpłynęła na istotne zwiększenie ogólnej liczby bakterii izolowanych z gleby,
- aplikacja biowęgla w dawce 0,8 kg/drzewo zwiększyła stopień frekwencji mikoryzowej oraz liczbę wezykul w korzeniach drzew nektaryny,
- zastosowanie biowęgla wpłynęło na zwiększenie pola powierzchni liści nektaryny,
- największy plon i średnią masę owoców uzyskano z drzew nektaryny traktowanych biowęgłem w dawce 0,8 kg/drzewo,
- zastosowanie biowęgla w dawce 0,8 kg/drzewo wpłynęło na zwiększenie świeżej i suchej masy korzeni nektaryny,
- aplikacja biowęgla 0,8 kg/drzewo oraz 1,6 kg/drzewo korzystnie wpłynęła na cechy wzrostu korzeni drzew nektaryny,
- zastosowanie biowęgla wpłynęło na znaczny wzrost korzeni drobnych, co wskazuje na korzystne oddziaływanie biowęgla na formowanie korzeni,
- korzenie drzew nektaryny traktowane biowęgłem, podobnie jak korzenie brzoskwini i jabłoni, miały komórki kory wypełnione skrobią,
- biowęgłiel istotnie zwiększał wilgotność gleby na której rosły drzewa jabłoni i brzoskwini.

Badania w Politechnice Częstochowskiej

W maju 2016 r. na Wydziale Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej pood kierunkiem dr inż. Krystyny Malińskiej wykonano prace badawcze nt. „Biowęgłiel jako materiał pomocniczy w procesie kompostowania i wermikompostowania”. Poniżej podsumowanie tych prac:

- biowęgłiel pełni rolę dodatku funkcjonalnego w procesie wermikompostowania (dodany do mieszanki kompostowej przed procesem kompostowania),
- biowęgłiel jest źródłem mikro i makroskładników dla dżdżownic,
- przekompostowane osady ściekowe z dodatkiem biowęgla stanowią medium wzrostowe dla dżdżownic,
- biowęgłiel wpływa na wzrost i rozmnażanie dżdżownic podczas procesu wermikompostowania.

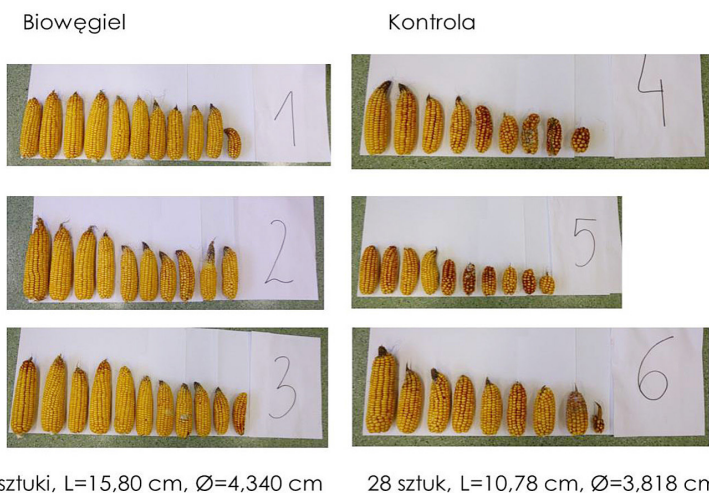
Badania w Politechnice Opolskiej

W Politechnice Opolskiej na Wydziale Inżynierii Biosystemów oraz Wydziale Inżynierii Produkcji i Logistyki, prowadzono prace badawcze nad wykorzystaniem biowęgla dla zwiększenia produkcji rolnej: „W kwietniu 2014 roku rozpoczęto innowacyjne badania w kierunku określenia przydatności rolniczej biowęgla w produkcji kukurydzy i rzepaku, na polu Przedsiębiorstwa Rolnego Pana Lempke, w gminie Prószków. Badania te są prowadzone przez Katedrę Inżynierii Biosystemów pod kierownictwem Prof. Katarzyny Szwedziak. Badania są prowadzenie we współpracy z Firmą Fluid, największą firmą w Polsce produkującą bio-

węgiel. Firma Fluid finansuje również analizy tych badań w ramach wspierania nauki polskiej. Kierownikiem badań jest dr inż. Agnieszka Latawiec, która prowadzi również podobne badania właśnie w Brazylii, u źródeł badań i zastosowania biowęgla. W badaniach uczestniczył interdyscyplinarny zespół naukowców z Katedry Inżynierii Biosystemów. Badania prowadzono również we współpracy z innymi ośrodkami naukowymi w Polsce, takimi jak Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu (dr Agnieszka Medyńska-Juraszek, która wykonuje część analiz) oraz Uniwersytet Rolniczy w Krakowie (dr Alina Wiszniewska, która przeprowadza badania roślin w warunkach *in vitro*). Pierwsze wyniki są obiecujące (rys. 9 i 10). Zaobserwowano znaczny przyrost biomasy kukurydzy i rzepaku w miejscach, gdzie zaaplikowano biowęgiel”.



Rys. 9. Doświadczalna uprawa kukurydzy



Rys. 10. Zbiory kukurydzy z uprawy aplikowanej biowęgiewem oraz kontrolnej

„Jako przykład literatura podaje eksperyment z użyciem biowęgla otrzymanego z pieprzowca brazylijskiego w temperaturze 600 °C, dzięki czemu zmniejszenie wymywania azotanów, amoniaków i fosforanów z badanej gleby wynosiło odpowiednio: 34,0%, 34,7% i 20,6%”.

„Podsumowując, biowęgiel może stanowić jedno z rozwiązań dla aktualnych wyzwań nowoczesnego rolnictwa oraz problemów związanych z ochroną środowiska. Nie jest on produktem nowym, gdyż znany był od wieków i używany do poprawy jakości gleb; natomiast jego właściwości odkrywane są na nowo i na szerszą skalę”.

Biowęgiel wprowadzony do gleby przyczynia się do ograniczenia przenikania zanieczyszczeń do wód powierzchniowych i podziemnych, poprzez zatrzymywanie pierwiastków biogennych takich jak fosfor i azot.

Badania w laboratorium zakładowym firmy Fluid S.A.

W dniu 4 czerwca 2018 r. posiano trawę do ziemi uniwersalnej TORF w doświadczeniu nad wpływem dodatku biowęgla marki FLUID na kiełkowanie i wzrost trawy ogrodowej. W pierwszych dniach zauważono najintensywniejszy wzrost trawy w doniczce z 5% dodatkiem biowęgla (rys. 11a). Mniej intensywny wzrost zauważono w pozostałych doniczkach. W doniczce z 50% dodatkiem biowęgla zauważono tylko kilka pojedynczych kiełków trawy.

W dniu 22 czerwca zaobserwowano, że trawa w doniczce z 5% dodatkiem biowęgla jest najbardziej okazała (rys. 11b) oraz ma nieco ciemniejszy kolor. W doniczce z 10% dodatkiem biowęgla zauważono, że trawa ma nieco dłuższe i grubsze źdźbła, niż trawa w pozostałych dwóch doniczkach. Trawa w doniczce z 50% dodatkiem węgla w większości obumarła, pozostała tylko jedna kępa.

Doniczki pozostawione w miejscu nasłonecznionym w warunkach naturalnego podlewania (deszcz) do dnia 31 lipca zaczęły usychać. Najlepiej tą próbę przeszła trawa posiana w doniczce z 10% dodatkiem biowęgla. Stwierdzono zatem, że dodatek biowęgla do gleby ma wpływ na kiełkowanie, wzrost i przetrwanie trawy ogrodowej.

5. Podsumownie

5.1. Biowęgiel zwiększa plony roślin

W całej historii ludzkość na całym świecie stosuje się proste, ale skuteczne eko-technologie w celu poprawy jakości gleby oraz w celu zwiększenia produkcji rolnej. Obecnie naukowcy na nowo odkrywają wartość w dodawaniu uwęglonej biomasy (biowęgla) do gleby. Proces (uwęglanie) obejmuje ogrzanie części organicznych bez dostępu tlenu, co w rezultacie daje wzbogacony w węgiel produkt nazwany biowęgłem przeznaczony do wprowadzania do gleby. W połączeniu z nawozami organicznymi, biowęgiel może być zastosowany do różnych typów gleb w wielu różnych środowiskach. Długotrwała żyźność biowęgla – użyźniacza do gleby, wraz z rosnącą liczbą udokumentowanych badań z wielu

krajów pokazuje, że pojedyncze zastosowanie od 5 do 20 ton na hektar może podwoić produktywność upraw oraz zapewnić długotrwałe korzyści związane z nawożeniem gleby. Wzbogacony biowęgiel zaowocował poprawą produktywności gleby przez:

- zwiększenie organizmów biologicznych gleby (wzrost o 40% grzybów mikoryzowych),
- poprawa retencji składników odżywczych w glebie (wzrost o 50%),
- poprawa pojemności retencji wody w glebie (do 18%),
- wzrost pH gleb kwaśnych (wzrost o 2 punkty),
- wzrost części organicznych gleby.

Warto pamiętać, że wpływ biowęgla jest znacznie większy na zdegradowanych lub silnie zwietrzałych glebach niż na glebach o wysokiej zawartości materii organicznej. Ponieważ biowęgiel jest szczególnie istotny dla obszarów o poważnie zużytych glebach oraz niedoborów wody, może odgrywać ważną rolę w poprawie jakości gleby, a tym samym dla bezpieczeństwa żywności oraz zdrowia ludzkiego w tropikalnych agro-ekosystemach włącznie z obszarami pustynnymi. Obecnie badania są skupione głównie na mechanizmach, dzięki którym biowęgiel poprawia właściwości gleby łącznie z optymalnymi warunkami i modelami produkcji oraz wykorzystania biowęgla.

5.2. Biowęgiel środkiem łagodzenia następstw zmian klimatycznych

Gdy rośliny rosną pobierają dwutlenek węgla z atmosfery w celu produkcji biomasy, która zawiera węgiel. Podczas fotosyntezy usuwany jest CO_2 z atmosfery, biowęgiel przechowuje węgiel w formie stałej i korzystnej. Ponieważ produkcja i wykorzystanie biowęgla może usunąć więcej CO_2 z atmosfery (poprzez zakopanie go w formie użyźniacza gleby) niż jest uwalniane, uważa się to za technologię ujemnej emisji węgla. Biowęgiel wykazał redukcję emisji innych gazów cieplarnianych z gleby, włącznie z metanem i podtlenkiem azotu (300 razy silniejszy niż CO_2). Według ostatnich badań szacuje się, że 12% rocznej emisji gazów cieplarnianych mogłoby zostać zredukowane dzięki biowęglowi.

Biowęgiel jest produkowany i dostępny na rynku w kilku krajach, m.in. w USA, Wielkiej Brytanii, Niemczech, Szwajcarii, Japonii, Australii, Nowej Zelandii oraz w Polsce z innowacyjnej, powtarzalnej, kontrolowanej w cyklu „on line” technologii FLUID. W Japonii oraz Szwajcarii i Wielkiej Brytanii biowęgiel wyprodukowany z organicznego surowca został dopuszczony do użycia jako użyźniacz gleby w rolnictwie ekologicznym.

5.3. Rodzaje uwęglanej biomasy

Źródła biomasy wybrane do produkcji biowęgla muszą być odpowiednie oraz odporne na kompleksową Analizę Cyklu Życiowego. Aby nie powtarzać tych sa-

mych błędów spowodowanych światową ekspansją biopaliw, jedynie zasoby biomasy które mogą być otrzymane w sposób zrównoważony, czyli bez narażania bezpieczeństwa żywności, bioróżnorodności/siedliska lub ochrony gleb, powinny być wykorzystywane do produkcji biowęgla. To uwzględnia znaczenie pozostawionych resztek roślin w glebie w celu dostarczenia części organicznych i składników odżywczych. Zgodnie z takimi zrównoważonymi kryteriami, analizy pokazują że na świecie jest dostępne rocznie nawet ponad 4 miliarda ton biomasy, z czego ponad 0.5 miliarda ton to łuska i słoma ryżowa nieużywana do karmienia zwierząt. Oprócz pozostałości ryżu biomasa ta obejmuje również słomy zbóż, wytloki trzciny cukrowej (bagasse), wytloki warzywno-owocowe, skorupki orzecha kokosowego oraz orzechów ziemnych, łuski kakao, bambusa, pozostałości po tłoczeniu oleju palmowego (PKS i EFB) oraz trzciny Typha, trzciny cukrowej, oborniki, uprawy specjalistyczne biomasy, pozostałości leśne, zielone/drewniane odpady z agroleśnictwa.

Biowęgiel marki FLUID jest produkowany wyłącznie z odnawialnych i łatwo dostępnych pozostałości biomasowych takich jak pozostałości z tartaku, po wycinie drzew, po tłoczeniu oleju, wyciskaniu owoców. Obecnie duża ilość rolniczych, komunalnych i leśnych odpadów jest spalana albo pozostawiana do rozkładu na polach po zbożach, co uwalnia gazy cieplarniane do atmosfery.

Technologia FLUID pozwala zatem uniknąć emisji szkodliwych gazów cieplarnianych wykorzystując do produkcji biowęgla pozostałości rolnicze, które nie znajdują zastosowania, np. w karmieniu zwierząt.

5.4. Jak bezpieczny jest biowęgiel?

Niektóre plemiona (np. w Amazonii) przez tysiąclecia dodawały węgiel drzewny do swoich gleb, a więc jest to metoda bezpieczna. Wskazane jest jednak przeprowadzenie oceny środowiskowej oraz wpływu na zdrowie w każdym przypadku z osobna.

- Firma Fluid S.A. przebadła próbki biomasy oraz biowęgla w SGS Instytut Fresenius w Berlinie. Wyniki badań wykazały, że jakość biowęgla marki FLUID jest znacznie większa niż tradycyjnych węgli drzewnych. Dodatkowo biowęgiel należy traktować jako biomasę spełniającą wymagania Dyrektywy Komisji Europejskiej 2009/28/EC.
- Przebadano ponadto próbki obornika oraz biowęgla z obornika w Instytucie Upraw i Nawożenia w Puławach. Wykazano, że biowęgiel z obornika marki FLUID ma cechy charakterystyczne dla nawozów naturalnych (porównywalny jest do wartości obornika bydlęcego). Posiada on postać stałą, czarną barwę, zawiera 83,8% suchej masy (68,9% – substancja organiczna), odczyn pH 9.5. Najważniejszymi składnikami pokarmowymi są: azot – 1,94% N ogółem, fosfor – 1,78% P_2O_5 , potas – 4,19% K_2O w suchej masie. Stężenia metali ciężkich są znacznie niższe od dopuszczalnych w nawozach organicznych. Ponadto w próbce nie stwierdzono obecności pałeczki Salmonella ani jej pasożytów jelitowych.
- Firma Fluid SA otrzymała Atest PZH używania biowęgla marki FLUID dla celów bezpośredniego grillowania potraw.

- Badaniach biowęgla marki FLUID odbywają się w sposób systematyczny w różnych ośrodkach naukowo-badawczych.
- W wyniku produkcji według własnej, innowacyjnej, technologii uzyskuje się produkty dopasowane do planowanego zastosowania.
- Do zastosowań biowęgla w określonych warunkach agrotechnicznych mogą zostać wykorzystane stosunkowo proste testy chemiczne i biologiczne.
- Konieczne jest również prowadzenie badań w celu określenia wpływu różnych typów biowęgla na specyficzne gleby i uprawy.
- Ryzyko związane z wykorzystaniem różnych biowęgla może być kontrolowane.

6. Wnioski

Prowadzone badania biowęgla firmy Fluid S.A. nie są jedynymi w Polsce. Od 2010 roku przekazywane są niezliczone ilości próbek biowęgla dla różnych instytucji i firm związanych z rolnictwem. Na podstawie przedstawionej technologii oraz badań biowęgla marki FLUID powstały dwie prace magisterskie obronione na wyższych uczelniach w Krakowie oraz dwie prace doktorskie, w tym jedna jest w trakcie opracowania. Od 2017 roku biowegiel marki FLUID sprzedawany jest do Stanów Zjednoczonych Ameryki, Kanady oraz Anglii, gdzie uzyskał odpowiednie certyfikaty wydane przez Instytucje Certyfikujące.

Analiza przedstawionego materiału wskazuje, że dotychczasowe badania jednoznacznie potwierdzają pozytywną rolę biowęgla w sektorze uzdatniania gleby, wzrostu roślin oraz drzew owocowych. Prowadzone są badania z udziałem kilku uczelni przyrodniczych zastosowania biowęgla w żywieniu zwierząt.

Nadszedł czas, aby biowegiel stał się zalecanym Przez Ministra Rolnictwa uzdatniaczem gleby, a tworzone kierunkowe nawozy organiczne na podkładzie biowęgla zalecanymi naturalnymi nawozami. W tym celu IUNG w Puławach powinien opracować niezbędne certyfikaty, które posłużą jako rekomendację dla Ministra Rolnictwa do wpisu na listę zalecanych uzdatniaczy i nawozów. Takie umocowanie biowęgla i naturalnych nawozów na bazie biowęgla, pozwolą na szerokie stosowanie w sektorze rolniczym. Powrót do tradycyjnych naturalnych nawozów z dużą ilością związanego węgla przyczyni się do odbudowywania wyjąłowanej, zniszczonej gleby, a tym samym zwiększeniem plonowania roślin.

Bibliografia

- Biochar: Assessing the Promise and Risks To Guide U.S. Policy; November 2010.
Author Stephen Brick Madison, Wisconsin; Project Manager, Sasha Lyutse Natural Resources Defense Council.
- Biochar use, market and legislation in Europe. Hans-Peter Schmidt, Instytut ITAKA Szwajcaria 2018 r.

- Certyfikat SGS Fresenius, Berlin 13.12.2011 r.
- Karta Charakterystyki biowęgla marki FLUID. Sedziszów 13.11.2017 r.
- Opinia IUNG Puławy, Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia, 9.09.2011 r.
- Wyniki badania uwęglonego obornika. IUNG Puławy, 21.08.2011 r.
- Atest PZH, kwiecień 2016 r.
- Wyniki badania pod kierunkiem prof. dr hab. Bogusława Usowicza, oddział PAN Lublin.
- Raport z badań PWS w Białej Podlaskiej, 2.11.2016 r.
- Raport z badań 596 1847 7-321, GIG Katowice, 6.07.2017 r,
- Raport z badań 596 2280 7-321, GIG Katowice, 14.09.2017 r.
- Sprawozdanie z badań w Uniwersytecie Przyrodniczym w Krakowie; Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, maj 2018 r.
- Sprawozdanie z badań nr 4L053S17/001 w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych; oddział Inżynierii Procesowej w Opolu, Laboratorium Innowacyjnych Materiałów i Monitorowania Środowiska, 23.06.2017 r.
- Wpływ biowęgla marki FLUID na wzrost i plonowanie roślin sadowniczych, praca zespołowa. Prezentacja prof. Lidii Sas-Paszt, Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach, 30–31 maj 2016 r.
- Biowęgiel jako materiał pomocniczy w procesie kompostowania i wermikompostowania. Prezentacja dr inż. Krystyny Malińskiej, Politechnika Częstochowska; Wydział Infrastruktury i Środowiska, 30–31 maj 2016 r.
- Biowęgiel podnosi plony kukurydzy: wstępne wyniki z pierwszego doświadczenia polowego w Polsce. Sprawozdanie.
- Artykuł Kurier Rolniczy, dr Agnieszka Latawiec, 2016 r.
- Raport z badań własnych FLUID SA, mgr inż. Barbara Baran, czerwiec 2018 r.

CZĘŚĆ VI

Agrochemiczne właściwości gleb rolniczych

Agrochemiczne właściwości gleb użytkowanych rolniczo

Wojciech Lipiński¹

1. Wprowadzenie

Historia badań chemiczno-rolniczych w Polsce sięga 1858 roku, kiedy to została utworzona w Warszawie pierwsza Pracownia Chemiczna Towarzystwa Rolniczego w Królestwie Polskim. Dało to początek działań będących skutkiem ogłoszonej wówczas przez Justusa von Liebiga w 1840 r. teorii mineralnego żywienia roślin [Lipiński 2000]. W kolejnych latach następowały liczne zmiany w budowie systemu, przerwane działaniami wojennymi, jednak już w roku 1945 utworzone zostały trzy stacje chemiczno-rolnicze – w Poznaniu, Wrocławiu i Aninie koło Warszawy, natomiast w roku 1954 powołane zostają do życia stacje chemiczno-rolnicze istniejące w dotychczasowej liczbie i w podobnej strukturze organizacyjnej [Czuba i in. 2000, Lipiński 2005].

W latach 1955–1975 prowadzono badania określane mianem I i II rotacji, które objęły gleby wszystkich użytków rolnych w Polsce. Oprócz stanu zakwaszenia, zidentyfikowano poziom zasobności gleby w P, K i Mg, a w kolejnych latach także w mikroelementy. Kolejnym ważnym wydarzeniem było uchwalenie w roku 2000 ustawy o nawozach i nawożeniu, która uporządkowała m.in. kwestie agrochemicznej obsługi rolnictwa.

Historia badań agrochemicznych potwierdza zdobyte doświadczenia i jednocześnie wskazuje na kierunki zmian jakie zachodzą w tym obszarze z koniecznością ich przekładania na praktykę rolniczą. Muszą one współbrzmieć z ogólnymi tendencjami rozwoju gospodarczego i polityki środowiskowej.

Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju (EUROPA 2020) obejmuje trzy wzajemnie ze sobą powiązane priorytety takie jak rozwój inteligentny (rozwój gospodarki opartej na wiedzy i innowacji), rozwój zrównoważony (wspieranie gospodarki efektywniej korzystającej z zasobów, bardziej przyjaznej środowisku i bardziej konkurencyjnej) oraz rozwój sprzyjający włączeniu społecznemu (wspieranie gospodarki o wysokim poziomie zatrudnienia, zapew-

¹ Krajowa Stacja Chemiczno-Rolnicza w Warszawie, ul. Żółkiewskiego 17, 05-075 Warszawa-Wesoła

niającej spójność społeczną i terytorialną). W myśl Komunikatu Komisji z dnia 29.02.2012 r. do Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie europejskiego partnerstwa innowacyjnego na rzecz wydajnego i zrównoważonego rolnictwa „zwiększoną i zrównoważoną produkcję rolną będzie można osiągnąć jedynie przy podjęciu znacznych wysiłków w zakresie badań i innowacji na wszystkich poziomach”. Stanowisko KE wskazuje jako warunki „zwiększenie wydajności i konkurencyjności rolnictwa, większą efektywność gospodarowania zasobami, tak aby produkcję realizować przy mniejszym zużyciu wody, energii, nawozów (głównie P i N) oraz pestycydów”. Jednak przewidywania FAO wskazują na wzrost zapotrzebowania na żywność w perspektywie do 2050 r. o 70%. Rolnictwo UE zapewnia ok. 40% całkowitej produkcji żywności w krajach OECD, przy różnym wkładzie regionów, ale warunkuje światowy przepływ żywności w 18%. Tendencje te nie pozostawiają wątpliwości, że również w zakresie nawożenia niezbędne będzie wprowadzanie działań innowacyjnych, które obejmować powinny następujące obszary:

- produkcyjne – rolnictwo, przemysł nawozowy;
- środowiskowe;
- usługowe – transport, stosowanie nawozów, zabiegi agrotechniczne;
- zmniejszenie areału upraw;
- demograficzne;
- polityczne.

Z całą pewnością działalność agrochemiczna stanowi fundamenty zarówno w kwestiach produkcji roślinnej, jak i w konsekwencji w środowiskowych. Jest zatem podstawą skutecznego gospodarowania składnikami mineralnymi. Aby zapewnić osiągnięcie właściwych standardów użyteczności prac agrochemicznych, niezbędne są działania techniczne ukierunkowane na:

- właściwe pobieranie próbek gleby, podłoży, pożywek, materiału roślinnego, nawozów, środków wspomagających uprawę roślin (ŚWUR);
- rzetelną diagnostykę gleby, podłoży, pożywek, roślin, nawozów, ŚWUR;
- właściwą ocenę wyników badań laboratoryjnych – liczby graniczne, wartości dopuszczalne, normy, oceny eksperckie itp.;
- racjonalne zalecenia, opiniowanie, ekspertyzy.

Zmniejszenie presji na środowisko przyrodnicze oraz względy produkcyjne przemawiają za podnoszeniem rangi zarządzania składnikami mineralnymi, które są niezbędne dla roślin, ale również mogą negatywnie oddziaływać na jakość wód, gleby i powietrza.

2. Materiał i metody

W opracowaniu wykorzystano dane literaturowe, dane statystyki opisowej GUS oraz wyniki badań agrochemicznych prowadzonych w Polsce przez okręgowe stacje chemiczno-rolnicze w latach 1955–2017.

Od 1955 roku na większą skalę prowadzono badania odczynu oraz zasobności gleb w fosfor i potas. Określanie zawartości magnezu przyswajalnego zaczęto wdrażać do praktyki na początku lat 60. XX w. Do określania tych parametrów wówczas i do dnia dzisiejszego stosuje się następujące metody:

- pH – $1 \text{ mol KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$,
- fosfor i potas przyswajalny – metodą Egnera-Riehma (DL),
- magnez przyswajalny – metodą Schachtschabela (CaCl_2 $0,0125 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$).

Początkowo do oznaczania ilości składników mineralnych wykorzystywano głównie metody kolorymetryczne (tab. 1), w niektóre z nich stosowane jest do chwili obecnej. Oprócz procedur analitycznych zmianom ulegały zasady oceny wyników badań, co zobrazowano w tabeli 2. Obecnie stosowane metody badań pH oraz ekstrakcji przyswajalnych form składników mineralnych w badaniach agrochemicznych wyszczególniono w tabeli 3.

Tabela 1. Metody pomiarowe stosowane w stacjach chemiczno-rolniczych

Parametr	Lata 60. XX w.			Stan obecny	
pH	potencjometrycznie			potencjometrycznie	
P	kolorymetrycznie			kolorymetrycznie	
K	fotometria płomieniowa			fotometria płomieniowa	
Mg	kolorymetrycznie			AAS	
Lekka	<31	31–43	44–67	68–93	>93
Średnia	<48	48–77	78–106	107–135	>135
Ciężka	<69	70–93	94–142	143–191	>191

Tabela 2. Zmiany w ocenie gleb w stacjach chemiczno-rolniczych

Parametr	Ilość klas	
	Do 1985 r.	Po 1985 r.
Kategorie agronomiczne	3	4
pH	5	5
P	3	5
K	3	5
Mg	3	5

Tabela 3. Niektóre metody badań stosowane przez stacje chemiczno-rolnicze

Parametr	Gleby mineralne	Gleby organiczne
pH	$\text{KCl} - 1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	$\text{KCl} - 1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
P, K	Egner-Riehm	$\text{HCl} - 0,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
Mg	Schachtschabel	$\text{HCl} - 0,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
$\text{N}_{\min}$	1% K_2SO_4	
S	0,5 N roztwór $\text{CH}_3\text{COONH}_4 + 0,25\text{N } \text{CH}_3\text{COOH}$	
Mikroelementy	$1 \text{ HCl mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	$\text{HCl} - 0,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$

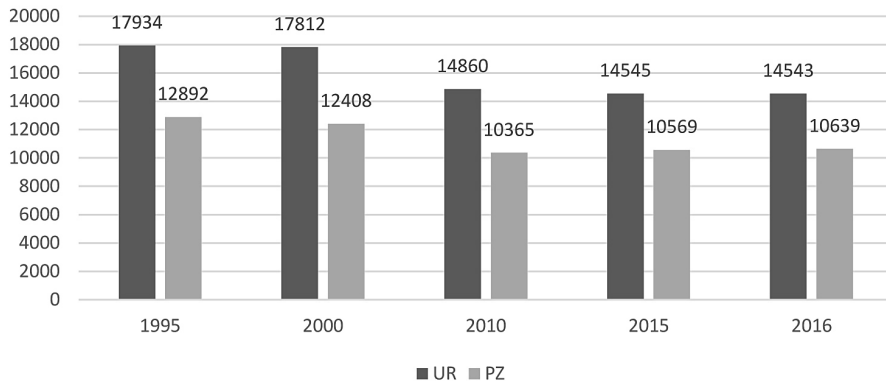
Skala badań chemiczno-rolniczych w latach 1956–1968 była imponująca, gdyż obejmowała prawie wszystkie gleby użytkowane rolniczo. W tym czasie przebadano ponad 17 mln ha użytków rolnych, na powierzchni których pobrano 9 mln 128 tys. próbek glebowych. Średnio jedna próbka reprezentowała obszar 1,90 ha użytków rolnych. W latach 1965–1983 uzupełniono je wynikami badań zasobności w mikroelementy. Funkcją tych prac była inwentaryzacja gleb pod kątem występowania w nich składników mineralnych i stworzenie platformy dla rozwoju przemysłu nawozowego. Pozwoliły także m.in. opracować mapy zasobności, stanowiące do dzisiaj materiał odniesienia we współczesnych badaniach.

Po roku 1975 badania systematyczne zakończyły się na rzecz indywidualnych, prowadzonych w gospodarstwach, które wykazywały faktyczne zapotrzebowanie na wyniki oznaczeń odczynu oraz zasobności gleb w składniki mineralne. Wpłynęło to na zawężenie liczebności badanych próbek i na zmniejszenie areалу objętego badaniami. Zwiększyło się natomiast praktyczne wykorzystanie wyników chemicznej analizy gleby [Lipiński 2005]. Aktualnie liczba próbek objętych badaniami w ciągu roku obejmuje ok. 500 000 obiektów, co stanowi kilka milionów oznaczeń w ciągu roku. W rozdziale wskazano również najważniejsze aktualnie obowiązujące akty prawne, powiązane ściśle z działalnością agrochemiczną.

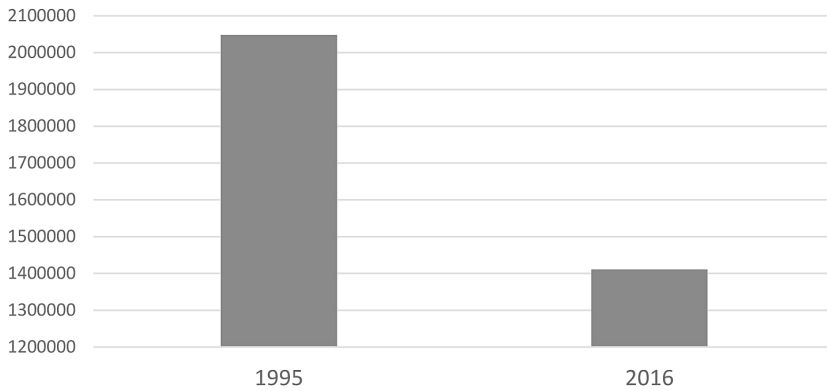
3. Ogólne uwarunkowania rolnictwa wpływające na rozmiary badań agrochemicznych

Tendencje w badaniach agrochemicznych kształtowane są przez warunki naturalne, postęp technologiczny, trendy demograficzne, polityki międzynarodowe oraz krajowe itp. Niektóre zmiany w użytkowaniu gruntów w Polsce przedstawiono na rysunkach 1–5. Ich ogólny kierunek wykazuje na zmniejszającą się powierzchnię użytków rolnych, szczególnie wyraźną w ostatnich 20 latach. W ślad za tym idą zmiany liczebności gospodarstw, ale również zmiany ich wielkości. Na tym tle dla przykładu zobrazowano wzrostowe zmiany w ogólnej produkcji zbóż, co wskazuje na nieustające zapotrzebowanie na składniki nawozowe w produkcji roślinnej. Taka sytuacja ma swoje odzwierciedlenie w tendencjach demograficznych i zapotrzebowaniu na produkty żywnościowe, przy kurczącej się powierzchni gleb użytkowanych rolniczo przypadającej na statystycznego mieszkańca naszego globu. Stąd nawiązanie we wstępie do strategii kształtowanych na poziomie polityk europejskich i stojące przed rolnictwem wyzwania.

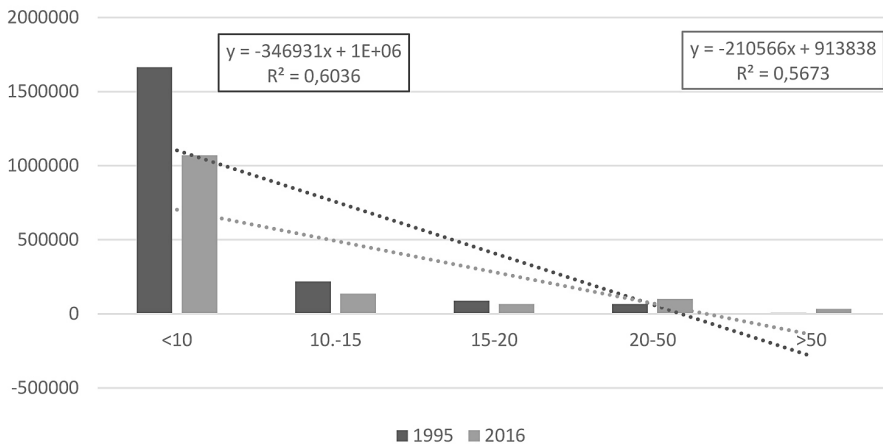
To tło uzupełniają dane o poziomie stosowania nawozów mineralnych w Polsce, które wynosi około 130 kg NPK na ha, przy wyjątkowo niskim zużyciu CaO, które nie przekracza 70 kg (rys. 6). To dalece odbiega od faktycznych potrzeb, które oscylują wokół 500 kg czystego składnika na ha UR. W wielu województwach poziom wapnowania gleb nie neutralizuje nawet zakwaszającego działania nawozów nie mówiąc o innych czynnikach sprzyjających temu procesowi (np. opad zakwaszających związków N i S z atmosfery).



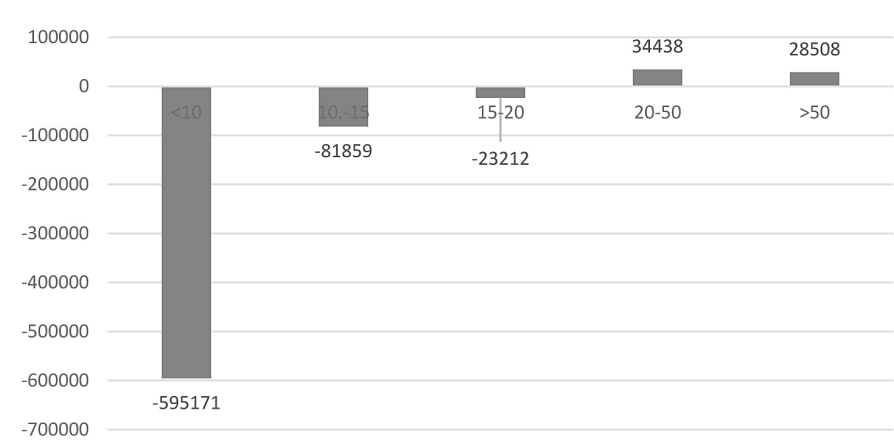
Rys. 1. Użytki rolne (UR) i powierzchnia zasiewów (PZ) w Polsce w latach 1995–2016 wg GUS



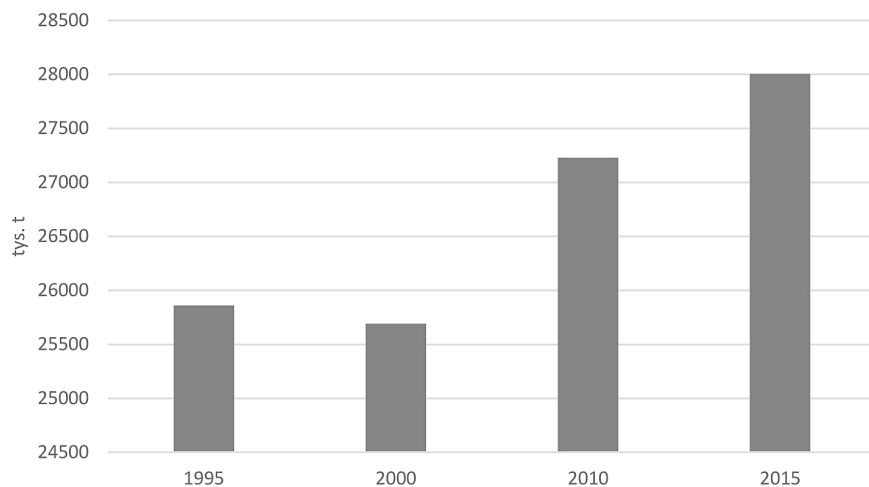
Rys. 2. Liczba gospodarstw rolnych w Polsce wg GUS



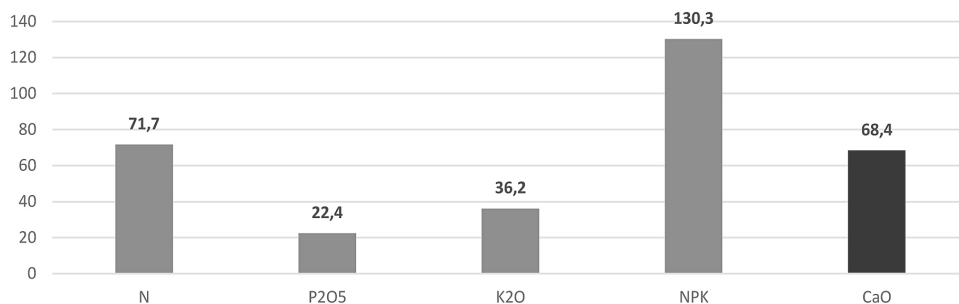
Rys. 3. Liczba gospodarstw rolnych wg wielkości w latach 1995–2016 wg GUS



Rys. 4. Zmiany liczby gospodarstw rolnych w Polsce w latach 1995–2016 wg GUS

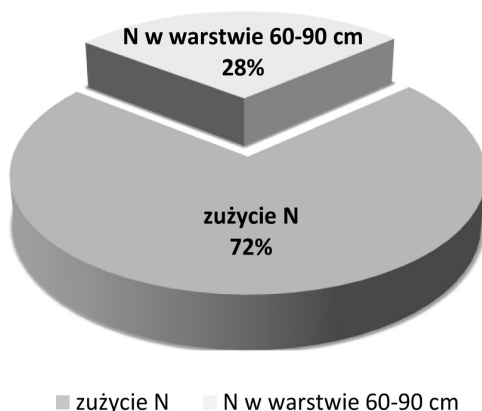


Rys. 5. Zbiory zbóż w Polsce w latach 1995–2015



Rys. 6. Zużycie nawozów mineralnych w Polsce w kg/ha [GUS, 2017]

Niewielkie ilości wapna nawozowego stosowanego w wielu gospodarstwach rolnych mają decydujący i ograniczający wpływ na cały szereg czynników produkcji, w tym wykorzystanie składników mineralnych. Jednym z najważniejszych jest azot. Silne zakwaszenie gleb przyczynia się do małej efektywności tego składnika a jego straty stanowią znaczną część N wprowadzanego w nawozach mineralnych (rys. 7). Każdy kilogram składnika nawozowego (wymycie, straty gazowe, sorpcja chemiczna) ma swoje konsekwencje ekonomiczne i środowiskowe.



Rys. 7. Udział azotu w warstwie gleby 60–90 cm w odniesieniu do zużycia N w nawozach mineralnych

W badaniach agrochemicznych kluczowymi dokumentami wskazującymi główne kierunki prac są regulacja prawne o zasięgu krajowym jak i europejskim. Wśród nich należy wymienić:

- Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. z 2015 r. poz. 625, 1893),
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o wspieraniu rozwoju obszarów wiejskich z udziałem środków Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020 (Dz.U. z 2015 r. poz. 349),
- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz.U. z 2017 r. poz. 1566),
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 kwietnia 2008 r. w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania (Dz.U. nr 80, poz. 479) – w zakresie §5 pkt 7,
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. Nr 119 poz. 765 z późn. zm.) – w zakresie §3 pkt 1,
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie danych dotyczących wyników przeprowadzonych analiz (Dz.U. z 2015 r. poz. 676),

- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 26 maja 2015 r. w sprawie laboratoriów urzędowych i referencyjnych oraz zakresu analiz wykonywanych przez te laboratoria (Dz.U z 2015 r. poz. 795),
- Rozporządzenie (WE) Parlamentu Europejskiego i Rady Nr 2003/2003 z dnia 13 października 2003 r. w sprawie nawozów (Dz.Urz. UE L 304 z 21.11.2003, str. 1; z późn. zm.) – w zakresie tytułu III, art. 30 i załącznika IV do rozporządzenia.

Uzupełniają je, zwłaszcza w działalności laboratoryjnej, dokumenty normalizacyjne, krajowe i międzynarodowe, instrukcje, programy komputerowe. W doradztwie nawozowym zalecenia, opinie, ekspertyzy formułowane są na podstawie zaleceń nawozowych (opracowywanych przez instytuty resortowe tj. IUNG oraz ITP) uzupełnione instrukcjami wdrożeniowymi, literaturą fachową, podręcznikami oraz programami komputerowymi. Ważną częścią zaleceń nawozowych są „dobre praktyki” wynikające z Kodeksu dobrej praktyki rolniczej oraz Metodyk integrowanej produkcji roślin zawierające m.in. wymogi nawożenia z uwzględnieniem analiz gleby [<https://piorin.gov.pl>].

Szczególne znaczenie posiadają badania agrochemiczne w obszarach regulowanych prawnie, których podstawę stanowią:

- Rozporządzenie (WE) NR 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. w sprawie nawozów
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczania informacji o składnikach nawozowych na tych opakowaniach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typów wapna nawozowego
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu
- Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia (w zakresie Rozporządzenia Komisji (WE) nr 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych i aktów zmieniających).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. z 2016 r. poz. 1395).

Te i inne przesłanki nadają badaniom chemiczno-rolniczym szczególnego znaczenia i ugruntowują ich pozycję w różnych obszarach rolnictwa i środowiska, w szczególności stanowią podstawę:

- zarządzania składnikami mineralnymi w rolnictwie,
- decyzji agrotechnicznych,
- planowania efektów produkcyjnych,
- przewidywania i osiągania rezultatów ekonomicznych,
- planowania rozwiązań technicznych i logistycznych,
- oceny ryzyka w produkcji roślinnej,

- oceny oddziaływania produkcji na środowisko,
- naukowych fundamentów doradztwa nawozowego,
- kształtowania polityk regionalnych (program wapnowania gleb województwa śląskiego),
- strategii w przemyśle nawozowym (program Grupy Azoty „Grunt to Wiedza”),
- kształtowania polityki krajowej i polityk UE (ONW, PROW 2014–2020).

4. Ważniejsze prace w zakresie badania gleby realizowane przez stacje chemiczno-rolnicze i ich wyniki

4.1. Inwentaryzacja gleb pod kątem właściwości fizykochemicznych i chemicznych

Początkowy okres badań agrochemicznych na większą skalę charakteryzował się specyfiką ich wykorzystania. Obejmowały one dwa etapy:

- 1) 1955–1975 – badania pH, P, K, Mg – dwie rotacje badań wszystkich gleb użytków rolnych w Polsce,
- 2) 1965–1983 – badania przyswajalnych form mikroelementów w glebach Polski.

Ich zasadniczym celem były wcześniej wspomniane wytyczne dla przemysłu nawozowego, ale miały także charakter poznawczy w zakresie fizykochemicznych i chemicznych właściwości gleb użytków rolnych w Polsce. Wyniki tych badań zawarto w tabelach 4 i 5.

Tabela 4. Ocena odczynu i zasobności gleby w latach 1955–1975

Parametr	Udział gleb w klasach odczynu i zasobności, %		
	bardzo kwaśny i kwaśny/ bardzo niska i niska	lekko kwaśny/ średnia	obojętny i zasadowy/ wysoka i bardzo wysoka
Odczyn	57	25	18
P	52	31	17
K	59	29	12
Mg	38	38	24

Tabela 5. Ocena zasobności gleb w przyswajalne formy mikroelementów w latach 1965–1983

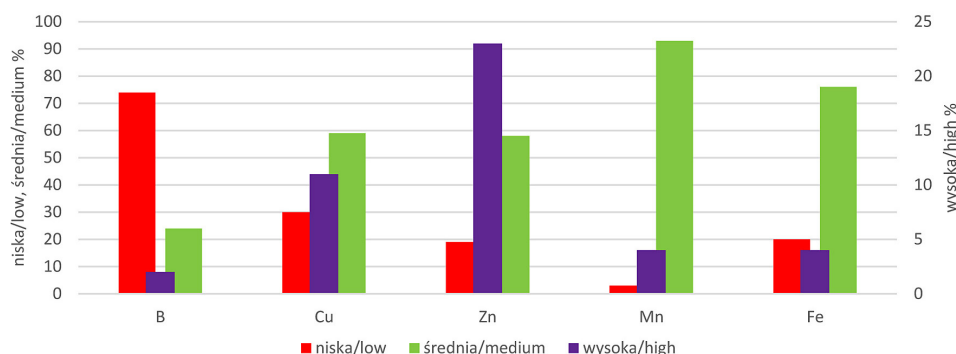
Pierwiastek	Udział gleb w klasach zasobności, %		
	Niska	Średnia	Wysoka
B	41	41	18
Mo	44	49	7
Mn	25	14	61
Cu	41	25	34
Zn	9	39	52

4.2 Badania gleb dla potrzeb doradztwa nawozowego w uprawach na gruntach ornych oraz użytkach zielonych (polowych i pod osłonami) po roku 1975 i współcześnie

Współczesne badania gleby na potrzeby doradztwa nawozowego dedykowane są gospodarstwom rolnym w celu ustalenia niezbędnych dawek nawozów w produkcji roślinnej. Ich wyniki, z uwagi na znaczącą liczebność służą także do opracowania map odczynu i zasobności gleby w przyswajalne formy P, K i Mg, które corocznie publikowane są w rocznikach statystycznych GUS. Są tym samym źródłem danych do oceny zmian we właściwościach fizykochemicznych i chemicznych gleb w Polsce, a tym samym mogą być wykorzystywane do kształtowania polityk regionalnych i krajowych. Aktualny stan odczynu i zasobności gleby w przyswajalne formy makro i mikroelementów zawarto w tabeli 6 i na rysunku 8.

Tabela 6. Ocena odczynu i zasobności gleby w latach 2014–2017

Parametr	Odczyn i zasobność gleby		
	bardzo kwaśny i kwaśny/ bardzo niska i niska	lekko kwaśny/ średnia	obojętny i zasadowy/ wysoka i bardzo wysoka
Odczyn	37	34	29
P	30	26	44
K	38	32	30
Mg	28	29	43



Rys. 8. Udział gleb w klasach zasobności w przyswajalne formy mikroelementów w latach 2012–2015

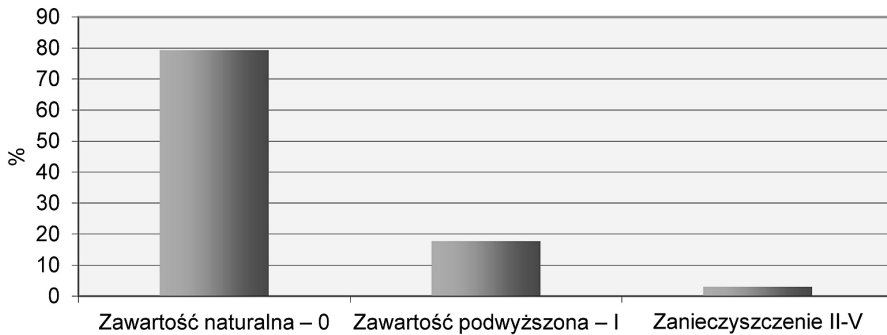
4.3. Badania monitoringowe

Badania zawartości metali ciężkich i siarki

W ostatnim dziesięcioleciu XX wieku, w pracach prowadzonych przez stacje chemiczno-rolnicze na uwagę zasługuje udział w badaniach metali ciężkich i siarki w agroekosystemie Polski. Badania te prowadzone były na zlecenie Ministerstwa

Rolnictwa i Rozwoju Wsi, pod metodycznym nadzorem Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Badaniami objęto obszar całego kraju wykonując oznaczenia zawartości metali ciężkich i siarki w 48 000 punktach. Do badań pobierano także materiał roślinny z 33 000 punktów. Wyniki pozwoliły ustalić stan zanieczyszczenia gleb użytków rolnych metalami ciężkimi i wyznaczyć klasy zagrożeń tymi pierwiastkami w uprawie roślin. Uzyskane pomiary pozwoliły ocenić faktyczny stan zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi i określić zagrożenia wynikające z tego faktu w produkcji roślinnej (rys. 9).

Efektem tych prac było również określenie zawartości siarki w glebach Polski, stref zagrożenia tym składnikiem, ale również opracowanie liczb granicznych i pierwszych zaleceń w zakresie nawożenia siarką, na podstawie oceny występowania jej siarczanowej formy w glebie [Lipiński i in. 2001, Lipiński i in. 2003].



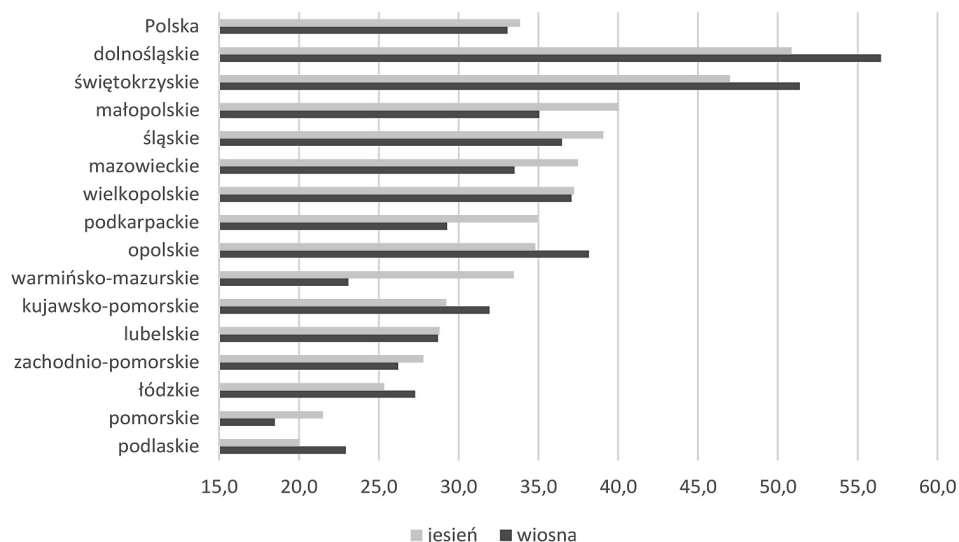
Rys. 9. Udział gleb w klasach zanieczyszczenia wg IUNG

Monitoring azotu mineralnego w glebie oraz azoty azotanowego w wodzie na głębokości do 90 cm pod powierzchnią terenu oraz zasobności gleby w fosfor przyswajalny

Zmieniające się uwarunkowania w odniesieniu do zagrożeń jakości wód zanieczyszczeniami pochodzenia rolniczego spowodowały konieczność prowadzenia monitoringu azotu mineralnego w glebach użytków rolnych (tab. 8, rys. 10). Obejmują one ok. 5000 stałych punktów wytypowanych na terenie kraju, zlokalizowanych na gruntach ornych i użytkach zielonych, gdzie pobierane są próbki gleb w dwóch terminach (wczesna wiosna, jesień) z trzech warstw (0–30 cm, 30–60 cm, 60–90 cm). W ciągu roku badania zawartości azotu wykonywane są w 30 000 próbek glebowych.

Tabela 8. Zawartość azotu mineralnego w glebie w latach 2008–2016 [kg/ha]

Pora roku	0-90	Warstwy, cm		
		0–30	30–60	60–90
Wiosna	151,5	68,7	44,2	38,6
Jesień	168,8	78,9	52,7	37,2



Rys. 10. Azot mineralny w warstwie gleby 60–90 cm [kg/ha]

W blisko 30% lokalizacji pozyskuje się wody celem oznaczenia w nich zawartości azotanów. Wyniki uzupełnione są także badaniami fosforu w glebie jako czynnika eutroficznego. Wymiernym rezultatem badań monitoringowych $N_{\min}$ są wyniki stanowiące podstawę opracowania wskaźników zawartych w obowiązujących w Polsce aktach prawnych (Dz.U. 2018), ale także wytycznych dla praktyki rolniczej [Jadczyński i in. 2008, Jadczyński i Lipiński 2016, 2017].

Badania w celu wyznaczenia obszarów z ograniczeniami naturalnymi w latach 2014–2015

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1305/2013 z dnia 17 grudnia 2013 r. w sprawie wsparcia rozwoju obszarów wiejskich przez Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (EFRROW) i uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 1698/2005 pozwoliło na wprowadzenie do obszarów z ograniczeniami naturalnymi (ONW) różnych kryteriów niekorzystnych właściwości gleby w tym jej nadmiernego zakwaszenia. Jako próg określono wartość

Tabela 9. Wykaz parametrów i ich ilościowe zestawienie w ramach badań na potrzeby wyznaczenia obszarów z ograniczeniami naturalnymi

Właściwości gleb	Lata		
	2014–2015	2016	2017
pH-H ₂ O i pH-KCl	160 228	–	3200
C _{org}	–	30 000	14 200
Przyswajane formy P, K, Mg	–	30 000	14 200
Całkowita pojemność kationowa	–	–	44 200

pH gleby (w wierzchniej warstwie) na poziomie ≤ 5 (w wodzie). Uwzględnienie tego kryterium może się przyczynić do utrzymania poziomu delimitacji ONW, pozwalającego na szersze wykorzystanie przez Polskę środków ze wspólnej polityki rolnej. W celu zastosowania tego kryterium, w latach 2014–2015 wykonano ponad 320 000 pomiarów pH w wodzie i KCl na terenie całego kraju (tab. 9).

Monitoring gleb w ramach PROW 2014–2020

Zgodnie z ustawą z dnia 20 lutego 2015 r. o wspieraniu rozwoju obszarów wiejskich z udziałem środków Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020 (Dz.U. z 2015 r. poz. 349) prowadzony jest monitoring zmian właściwości gleb pod wpływem instrumentów objętych finansowaniem we środków UE.

4.4. Badania nad wdrożeniem do praktyki metody Mehlich 3

Z prac przeprowadzonych w roku 2013, na podstawie analiz ok. 4000 próbek gleby pobieranych z warstwy ornej, opracowana została procedura oznaczania przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu wg metody Mehlich 3 wraz z nowymi liczbami granicznymi wyznaczonymi dla wymienionych pierwiastków [Kęsik i in. 2014]. Opracowane dla praktyki liczby graniczne zamieszczono w tabeli 10. Mają one już zastosowanie w praktyce, chociaż w dalszym ciągu trwają nad nimi prace doskonalące.

Tabela 10. Liczby graniczne zawartości form przyswajalnych P, K, Mg wyznaczone dla metody Mehlich 3 [Kęsik i in. 2014]

Odczyn / kategoria agronomiczna gleby	Klasy zasobności gleb				
	bardzo niska	niska	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Zawartość fosforu przyswajalnego – P mg·kg ⁻¹ gleby					
Bardzo kwaśny	<50	50–110	111–186	187–262	>262
Kwaśny	<49	49–103	104–158	159–215	>215
Lekko kwaśny	<47	47–99	100–152	153–207	>207
Obojętny	<27	27–54	55–75	76–99	>99
Zasadowy	<27	27–54	55–75	76–99	>99
Zawartość potasu przyswajalnego – k mg·kg ⁻¹ gleby					
Bardzo lekka	<32	32–75	75–119	120–162	>162
Lekka	<52	52–99	100–145	146–191	>191
Średnia	<98	98–139	140–200	201–241	>241
Ciężka	<126	126–174	175–270	270–318	>318
Zawartość magnezu przyswajalnego – mg mg·kg ⁻¹ gleby					
Bardzo lekka	<7	7–21	22–51	52–80	>80
Lekka	<31	31–43	44–67	68–93	>93
Średnia	<48	48–77	78–106	107–135	>135
Ciężka	<69	70–93	94–142	143–191	>191

4.5. Badania gleby w celu wyznaczenia wskaźnika wysycenia gleby fosforem jako narzędzia do szacowania ryzyka strat tego pierwiastka do wód

Równoczesne oznaczenie w wyciągu Mehlicha 3 stężenia fosforu, a także żelaza i glinu pozwala na dodatkowe wyznaczenie wskaźnika określającego stan fosforowej gleby [Kęsik i in. 2014].

Wskaźnik „P-sorption saturation” jest obliczany wg wzoru:

$$P_{\text{sat}} = P_{\text{M3}} / (Al_{\text{M3}} + Fe_{\text{M3}})$$

gdzie: P_{sat} – oznacza wskaźnik „P-sorption saturation”,

P_{M3} – oznacza zawartość P w glebie oznaczoną wg metody Mehlich 3,

Al_{M3} – oznacza zawartość glinu w glebie oznaczoną wg metody Mehlich 3,

Fe_{M3} – oznacza zawartość żelaza w glebie oznaczoną wg metody Mehlich 3.

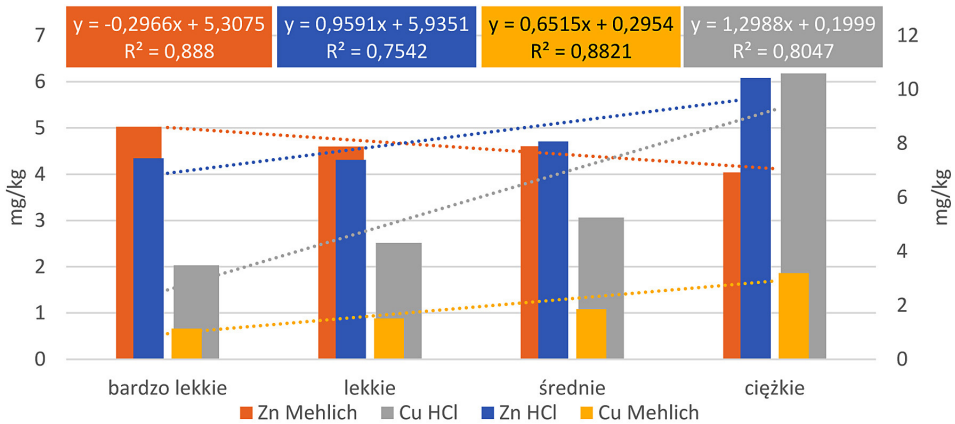
Wskaźnik „P-sorption saturation” charakteryzuje stopień wysycenia gleby (jej zdolności sorpcyjnych). W przypadku ekstremalnego nasycenia gleb tym składnikiem, wskaźnik P_{sat} może przyjmować wartości powyżej 100%. Już o podwyższonym ryzyku wystąpienia znaczących strat fosforu z gleby do środowiska wodnego świadczy stopień nasycenia gleby na poziomie P_{sat} 15%. Trwają prace nad praktycznym wykorzystaniem tego wskaźnika. W przyszłości P_{sat} może być wykorzystany jako wskaźnik oddziaływania nawożenia fosforem na eutrofizację wód.

4.5. Badania gleby metodą Mehlich 3 w celu dostosowania diagnostyki i wyceny zasobności w mikroelementy

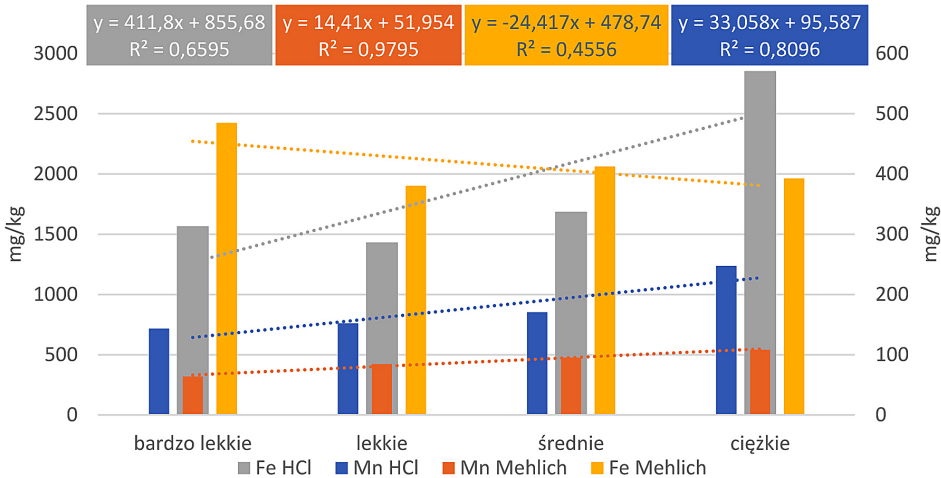
Wybrane wstępne wyniki badań nad zastosowaniem wielopierwiastkowego wyciągu Mehlich 3 przedstawiono na rysunkach 11 i 12. Stanowią one potwierdzenie kontynuacji prac związanych z wdrażaniem tej metody w warunkach Polski, jednak w przypadku mikroelementów, w powiązaniu z weryfikacją opartą o analizy materiału roślinnego. Trzyletnie badania (2016–2018) obejmują ponad 6000 punktów pomiarowych (gleba i roślina) i stanowią będą podstawę opracowania zaleceń dla rolnictwa.

5. Podsumowanie

Współczesna rola badań agrochemicznych wynika z polityk i strategii regionalnych, krajowych i międzynarodowych. Ich charakter znajduje często przełożenie na regulacje prawne. Ma to najczęściej związek z zadaniami rozwoju zrównoważonego i wynikającymi z tego tytułu działaniami zmniejszającymi presję działalności rolniczej na środowisko w połączeniu z racjonalną gospodarką surowcami, a tym samym z wyzwaniem w zakresie produkcji żywności o wysokich walorach jakościowych.



Rys. 11. Zawartość Zn i Cu w zależności od udziału w glebie cząstek o wymiarach 0,02 mm [mg/kg]



Rys. 12. Zawartość Mn i Fe w zależności od udziału w glebie cząstek o wymiarach 0,02 mm [mg/kg]

Funkcja badań agrochemicznych stanowi podstawę zrównoważonego gospodarowania składnikami mineralnymi na poziomie pola, całego gospodarstwa rolnego oraz na poziomie krajowym czy międzynarodowym, czego przykładem może być wykorzystywanie wyników badań w ocenie skuteczności wspólnej polityki rolnej UE.

Badania agrochemiczne mogą być także niezwykle istotnym narzędziem w zarządzaniu ryzykiem na poziomie gospodarstwa rolnego i tym samym mogą decydować o działaniach w zakresie zapobiegania ryzykom.

Bibliografia

- Fotyma M., Kęsik K., Lipiński W., Filipiak K., Purchała L. 2015. Testy glebowe jako podstawa doradztwa nawozowego. *Studia i Raporty IUNG-PIB*. 42(16), 9–52.
- Jurga B. 2015. Indeks fosforowy jako narzędzie do szacowania ryzyka strat fosforu do wód (przegląd piśmiennictwa). *Studia i Raporty IUNG-PIB*. 42(16), 91–112.
- Jadczyzsyn T., Kowalczyk J., Lipiński W. 2008. Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. Instrukcja upowszechnieniowa nr 151. IUNG-PIB, ss. 24.
- Jadczyzsyn T., Lipiński W. 2016. Optymalizacja nawożenia azotem przy pomocy testu N_{min} . *Studia i Raporty IUNG-PIB*. 48(2), 9–17.
- Jadczyzsyn T., Lipiński W. 2017. Praktyczne wykorzystanie testu N_{min} w doradztwie nawozowym. Materiały szkoleniowe IUNG-PIB, 107, 1–17.
- Kęsik K., Lipiński W., Jadczyzsyn T., Boreczek B., Janda B., Sumorek-Gołabek A., Kocoń A., Ochal P., Pikula D., Bochniarz A. 2014. Liczby graniczne oraz procedura badawcza oznaczania metodą Mehlich 3 ruchomych form fosforu, potasu i magnezu w glebach mineralnych. Instrukcja wdrożeniowa nr 230, ss. 28.
- Komisja Europejska, 2010. EUROPA 2020. Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu. KOMUNIKAT KOMISJI, <https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:PL:PDF>, ss. 37.
- Lipiński W. 2000. Odczyn i zasobność gleb w świetle badań stacji chemiczno-rolniczych. Nawozy i Nawożenie, PTN-CIEC, Nr 3(4), 3a/2000, 89–104.
- Lipiński W. 2005. Pięćdziesiąt lat działalności stacji chemiczno-rolniczych w Polsce. Nawozy i Nawożenie, 2(23), 7–25.
- Lipiński W. 2006. Zadania i metody pracy stacji chemiczno-rolniczych w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*. 1, 11–16.
- Lipiński W. 2016. Ocena zasobności gleb Polski w mikroelementy. *Zeszyty Naukowe UP we Wrocławiu, Rolnictwo*, 621, 49–58.
- Lipiński W., Motowicka-Terelak T., Terelak H. 2001. Sulphur concentration in the agricultural soils of the Lublin region and Poland. *Acta Agrophysica*, 52, 161–165.
- Lipiński W., Terelak H., Stuczyński T. 2001. Concentration of heavy metals in agricultural soils of the Lublin region and Poland. *Acta Agrophysica*, 51, 243–253.
- Lipiński W., Terelak H., Motowicka-Terelak T. 2003. Propozycja liczb granicznych zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych na potrzeby doradztwa nawozowego. *Rocz. Glebozn. LIV*, 3, 79–84.
- <https://piorin.gov.pl/publikacje/metodyki-ip/#>
www.stat.gov.pl

Badania stanu zakwaszenia gleb w kształtowaniu regionalnych polityk rolno-środowiskowych

Zygmunt Adrianek¹

1. Wstęp

Działalność gospodarcza człowieka skutkuje zmianą obiegu pierwiastków w środowisku, co prowadzi do zanieczyszczenia nimi jego różnych komponentów. Wprowadzanie pierwiastków śladowych do wierzchniej warstwy gleby przyczynia się do ich trwałego pozostawiania w strefie korzeniowej roślin, przez co mogą oddziaływać na żywe organizmy [Kucharski i Wyszowska 2003].

Gleby Górnego Śląska charakteryzują się wielokrotnie wyższymi zawartościami kadmu i ołowiu w porównaniu z gruntami położonymi w innych regionach, czy w odniesieniu do średnich krajowych [Lipiński in. 1999, Lipiński 2001, Terelak i in. 1995, 1998, 2000a, 2000b]. Mimo to tereny te są użytkowane rolniczo i są źródłem produktów roślinnych wytwarzanych w takich warunkach.

Przeważająca większość opracowań poświęconych związkowi właściwości gleby z zawartością metali ciężkich w roślinach wskazuje na odczyn, jako główny, choć nie tak stabilny jak skład granulometryczny gleby, czynnik. Nie ma wątpliwości, że obniżenie pH gleby przyczynia się do wzrostu aktywności pierwiastków metalicznych. Tym samym eliminacja zakwaszenia zmniejsza ich ruchliwość [Gambuś 1998, Jackowska 1997, Kabata-Pendias i Pendias 1999]. Jednocześnie zakwaszenie w warunkach glebowo-klimatycznych Polski stanowi proces ciągły, który wymaga podejmowania nieustannych zabiegów, mających na celu utrzymanie optymalnego dla produkcji roślinnej odczynu [Filipek i in. 2015].

W rozdziale zaprezentowano działania prowadzące do stworzenia i wdrożenia regionalnego programu wapnowania gleb w województwie śląskim.

¹ Okręgowa Stacja Chemiczno-Rolnicza w Gliwicach, ul. Gen. Józefa Sowińskiego 26
44-100 Gliwice

2. Materiał i metody

Punktem wyjściowym przedsięwzięcia była ocena stanu zakwaszenia gleb i zawartości metali ciężkich, zwłaszcza kadmu i ołowiu w gruntach ornym województwa śląskiego. Bazę danych znajdującą się w posiadaniu Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Gliwicach wykorzystano do sporządzenia ekspertyzy dającej podstawy do ubiegania się o środki na wapnowanie gleb poddanych antropopresji. Pierwszym etapem było zestawienie wyników badań odczynu gleby 79 202 próbek, przebadanych w latach 2001–2009, tj. poprzedzających rozpoczęcie regionalnego programu. Badania te uzupełniono wynikami zawartości metali ciężkich wykonywanymi przez OSChR w Gliwicach w latach 1992–1998 w ramach monitoringu zleconego przez MRiRW. Jego wyniki jednoznacznie potwierdzały wysokie zawartości metali ciężkich w glebach województwa śląskiego (tab. 1).

Tabela 1. Zawartość kadmu i ołowiu w glebach Śląska na tle kraju [Terelak i in. 1998]

Zakres	Zawartość Cd w glebach [mg/kg]		Zawartość Pb w glebach [mg/kg]	
	Polska	śląskie	Polska	śląskie
Stwierdzone zawartości	0,01–49,73	0,08–49,73	0,1–5000	10–5000
Średnia	0,21	1,17	13,6	58,8

Dane o właściwościach agrochemicznych gleb oraz inne wyniki stały się podstawą opracowania obszernej ekspertyzy mającej na celu wykazanie przyczyn zakwaszenia gleb w województwie śląskim, która stanowiła bezdyskusyjną podstawą potwierdzającą wpływ czynników antropogenicznych na zakwaszenie gleb, w tym największy udział przemysłowych zanieczyszczeń powietrza tlenkami siarki i azotu [Kaczor i Jackowska 2010].

W celu przeciwdziałania temu niekorzystnemu zjawisku Śląska Izba Rolnicza w Katowicach i Okręgowa Stacja Chemiczno-Rolnicza w Gliwicach podjęły intensywne starania zmierzające do powstania programu wapnowania gleb współfinansowanego przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach. Efektem starań wielu instytucji uruchomiony został program oparty na silnych podstawach merytorycznych i finansowych, stanowiący regionalną długofalową politykę ochrony gleb przed skutkami zakwaszenia w warunkach silnej antropopresji.

3. Wyniki

Województwo śląskie obejmuje powierzchnię 12,3 tys. km² z czego około 40% stanowią użytki rolne w większości intensywnie eksploatowane rolniczo. Teren ten to region burzliwie rozwijającej się działalności przemysłowej w ostatnich

200 latach, związanej z wydobyciem węgla i jego przetwórstwem, hutnictwem żelaza, wydobyciem i przeróbką rud metali nieżelaznych, przemysłem maszynowym, energetyką.

Efektom tych działań było silne zakwaszenie gleb – około 75% wymagało pilnego wapnowania, a podwyższona zawartość metali ciężkich w przypadku kadmu przewyższała 6-krotnie wartości przeciętne dla kraju, zaś ołowiu 4-krotnie (tab. 1) [Terelak i in. 1998].

Zabiegiem łagodzącym skutki zakwaszenia gleb i podwyższonej zawartości metali ciężkich jest wapnowanie. Powoduje podwyższenie pH i unieruchomienie metali ciężkich w glebie, przez co stają się mniej dostępne dla roślin.

Do roku 2004 wapnowanie w Polsce wspierane było dotacjami i obejmowało teren całego kraju. Taka forma wsparcia przestała funkcjonować z chwilą wejścia Polski do Unii Europejskiej. Skutkiem tego było drastyczne zmniejszenie zużycia nawozów wapniowych w województwie śląskim ze 100,2 kg CaO/ha w roku 2004 do 36,5 kg CaO/ha w roku 2008 (tab. 2).

Tabela 2. Zużycie nawozów wapniowych w Polsce i w województwie śląskim w latach 2004–2008 [Jackowska, Kaczor 2010]

Lata	Polska	Województwo śląskie
	kg CaO/ha	
2004	93,5	100,2
2005	91,5	80,5
2006	54,8	86,8
2007	37,4	31,0
2008	38,5	36,5

Problem zmniejszającego się zużycia wapna nawozowego stanowił zagrożenie dla jakości gleb poprzez postępujące zakwaszenie, ale w konsekwencji przekładał się na jakość płodów rolnych, głównie w wyniku nagromadzenia metali ciężkich, zwłaszcza Cd i Pb. Skłoniło to różne instytucje do podjęcia współpracy celem przeciwdziałania tym negatywnym skutkom. W problematykę zaangażowały się:

- Śląska Izba Rolnicza w Katowicach,
- Okręgowa Stacja Chemiczno-Rolnicza w Gliwicach,
- Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach,
- Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.

W wyniku oceny stanu faktycznego, oceny merytorycznej i zaangażowania organizacyjnego i finansowego, w roku 2011 podpisana została przez Śląską Izbę Rolniczą w Katowicach oraz Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach pierwsza umowa na dofinansowanie regionalnego programu wapnowania gleb. Dysponentem środków na dofinansowanie została Śląska Izba Rolnicza, która prowadzi postępowania z beneficjentami koń-

cowymi. Koniecznym warunkiem uzyskania dopłat są przesłanki merytoryczne oparte o wyniki badań odczynu gleby. Na ich podstawie OSChR w Gliwicach ustala zalecane dawki CaO w t/ha. Badania stanu zakwaszenia gleby mogą być wykonywane przez inne jednostki akredytowane w tym zakresie.

W latach 2011–2017 na dofinansowanie wapnowania wydatkowano 7 300 000 zł, za które przeprowadzono wapnowanie 38 156 ha użytków rolnych. W ramach programu zastosowano 244 082 ton wapna nawozowego, zaś liczba beneficjentów wyniosła 2154. W okresie trwania programu 332 beneficjentów skorzystało z dotacji więcej niż jeden raz.

Wymiernym efektem projektu, poza bezpośrednim wpływem na poziom odczynu gleb w województwie śląskim, był również wzrost zużycia wapna nawozowego z poziomu 36 kg CaO/ha do 51,3 kg CaO/ha w roku 2016.

W latach 2014–2017 w województwie śląskim, na podstawie wyników badań 40.004 próbek gleb, stwierdzono znaczące zmiany udziału gleb w klasach odczynu (tab. 3). Odnotowano zmniejszenie udziału gleb bardzo kwaśnych z 20% do 12%, gleb kwaśnych z 29% do 22% i gleb lekko kwaśnych z 34 do 40%.

Program zainicjowany w województwie śląskim jest aktualnie jednym tego typu projektem realizowanym w kraju. Śląska Izba Rolnicza w Katowicach i Okręgowa Stacja Chemiczno-Rolnicza w Gliwicach nadal dokładają wszelkich starań, aby utrzymać jego realizację w następnych latach.

Tabela 3. Porównanie odczynu gleb w województwie śląskim w latach 2004–2009 i 2014–2017 [Jackowska i Kaczor 2010]

Odczyn Lata	Bardzo kwaśny, %	Kwaśny, %	Lekko kwaśny, %	Obojętny, %	Zasadowy, %
2004–2009	20	29	34	13	4
2014–2017	12	22	41	20	5

4. Podsumowanie

- Problematyka regulacji odczynu gleby przyczyniła się do integracji działań o zasięgu regionalnym.
- Wykorzystano zasoby informacji o agrochemicznych właściwościach gleby posiadane przez OSChR w Gliwicach i powiązano je z działaniami samorządu rolniczego oraz instytucji udzielających wsparcia finansowego w zakresie ochrony środowiska.
- Wyniki badań agrochemicznych prowadzonych przez stację chemiczno-rolniczą były podstawą do opracowania ekspertyzy, co zaowocowało wdrożeniem programu wapnowania gleb.
- Badanie pH gleby stanowił racjonalny wskaźnik wyznaczenia dawek wapna w programie i jest bezpośrednią podstawą jego bieżącego funkcjonowania.

- Program spełnia swoją rolę poprzez zmniejszenie stanu zakwaszenia gleby, a tym samym wpływa na łagodzenie skutków jej zanieczyszczenia metalami ciężkimi oraz propaguje proste sposoby poprawy jakości gleby.

Bibliografia

- Filipek T., Badora A., Lipiński W., Brodowska M.S., Domańska J., Harasim P., Kozłowska–Strawska J., Skowron P., Skowrońska M., Tkaczyk P. 2015. Zakwaszenie i wapnowanie gleb. FAPA, ss. 236.
- Gambuś F. 1998. The influence of soil reaction on solubility of heavy metals in soil and their availability to plants. Zesz. Probl. PNR, 456, 71–81
- Jackowska I. 1997. Uruchamianie jonów niklu i kadmu z frakcji pyłowej gleby pod wpływem zmian odczynu i temperatury. Zesz. Probl. PNR, 448a, 161–166.
- Kabata–Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Warszawa, ss. 398.
- Kaczor A., Jackowska I. 2010. Kompleksowe rozwiązanie problemu zakwaszenia gleb województwa śląskiego spowodowanego przekształceniami antropogenicznymi. ss. 121.
- Kucharski J., Wyszowska J. 2003. Właściwości biochemiczne i fizykochemiczne gleby zanieczyszczonej metalami ciężkimi. Zesz. Probl. PNR, 492, 435–442.
- Lipiński W. 2001. Oddziaływanie niektórych właściwości gleby na zawartość metali ciężkich w ziarnie pszenicy, żyta oraz bulwach ziemniaka. Rozprawy Naukowe AR w Lublinie, 249, 1–79.
- Lipiński W., Terelak H., Stuczyński T. 1999. Zawartość metali ciężkich w glebach użytków rolnych Lubelszczyzny na tle ich występowania w glebach kraju. Mat. Kongresu „Rola gleby w funkcjonowaniu ekosystemów. Lublin 7–10 września. 252.
- Terelak H., Lipiński W., Boguszewska M. 2000a. Beurteilung der Bodenverunreinigung in Polen durch Schwermetalle. VDLUFA-Schriftenreihe, 54, 23–28.
- Terelak H., Motowicka-Terelak T., Stuczyńska T., Pietruch Cz. 2000b. Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski. IOŚ, Bibliot. Mon. Środ.
- Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyńska T., Budzyńska K., Pietruch Cz. 1995. Zawartość metali ciężkich i siarki w glebach użytków rolnych Polski oraz ich zanieczyszczenie tymi składnikami. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 418, cz. I, 45–60.
- Terelak H., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Stuczyńska T., Pietruch Cz., Budzyńska K., Sroczynski W. 1998. Właściwości chemiczne gleb oraz zawartość metali ciężkich i siarki w glebach i roślinach. IUNG Puławy.



Fot. 1. Nawłóć to najbardziej inwazyjny chwast, który szybko opanowuje grunty rolne (fot. J. Siuta)



Fot. 2. Rząd borówki amerykańskiej dzielący lewy i prawy obszar posadzono zanim pojawiła się nawłóć. Nawłóć najbardziej opanowała lewostronną część obszaru (fot. J. Siuta)



Fot. 3-5. Roślinność naturalna na odłogujących gruntach rolnych
(fot. J. Siuta)



Fot. 6-7. Struktura przestrzenna powierzchni biologicznie czynnej i technicznie zabudowanej w mieście (fot. J. Siuta)