



Wybrane aspekty bezpieczeństwa w technice i gospodarowaniu energią

redakcja

Dorota Wójcicka-Migasiuk

MONOGRAFIE

Wybrane aspekty bezpieczeństwa w technice i gospodarowaniu energią

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Podstaw Techniki
ul. Nadbystrzycka 38
20-618 LUBLIN

Wybrane aspekty bezpieczeństwa w technice i gospodarowaniu energią

redakcja:
Dorota Wójcicka-Migasiuk



Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
Lublin 2019

Recenzent:
prof. dr hab. inż. Andrzej Chochowski

Redaktor techniczny: Marzena Zielińska

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2019

ISBN: 978-83-7947-391-5

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin
tel. (81) 538-46-59

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

Spis treści

1	Poprawa skuteczności wykrywania sygnału okresowego przy użyciu systemów chaotycznych (M. Ferduła, K. Lenik, E. Kalinowska-Ozgowicz, R. Sorokatyj).....	9
2	Metoda Oliver’a i Pharr’a do określenia właściwości mikromechanicznych materiałów (A. Błat, M. Pashechko, B. Buraczyńska).....	41
3	Technologia BIM w projektowaniu inteligentnych budynków (M. B. Horyński, A. Urzędowski)	49
4	Variational Approach for Determining Tribocontact Parameters of Sliding Bearings (O. V. Dykha, N. S. Mashovets, V. O. Dytynyuk).....	74
5	Nowoczesne technologie zabezpieczania mienia i infrastruktury gospodarstwa domowego (M. Paśnikowska-Łukaszuk)	85
6	Rola bezpieczeństwa energetycznego w infrastrukturze budowlanej (D. Wójcicka-Magasiuk, M. Paśnikowska-Łukaszuk)	96
7	Bezpieczeństwo energetyczne inteligentnego domu w przestrzeni wiejskiej jako element zrównoważonego zarządzania energią (M. B. Horyński)	105
8	Niska emisja jako zagrożenie bezpieczeństwa ekologicznego Polski (A. Pietrzak, M. Wlazło, J. Szulżyk-Cieplak, M. Wrona).....	112
9	Budownictwo pasywne drogą rozwoju zrównoważonego i ekologii integralnej (D. Wójcicka-Migasiuk)	123
10	Termowizyjna analiza bezpieczeństwa cieplnego budynków (A. Urzędowski, B. Buraczyńska, D. Wójcicka-Migasiuk).....	134

Słowo wstępne

Politechnika Lubelska przez blisko 70 lat stanowi centrum wiedzy naukowo technicznej uwzględniając zagadnienia bezpieczeństwa technicznego zarówno w zakresie dydaktyki jak i nauki. W ostatnich latach Wydział Podstaw Techniki stał się ośrodkiem gromadzącym specjalistów inżynierii bezpieczeństwa, prowadząc kształcenie na takim kierunku, interdyscyplinarne badania naukowe wspierające również edukację techniczno-informatyczną oraz stanowiąc forum wymiany myśli naukowej i technicznej.

Poczynając od rozwoju regionu podjęliśmy próbę rozszerzenia naszego spojrzenia na zbieżne z naszymi dokonania także poza granicami kraju. Pragniemy przyczynić się do kształtowania wizji współpracujących instytucji jako liderów innowacyjności w obszarze bezpieczeństwa publicznego.

Wydział Podstaw Techniki organizuje również sesje młodych naukowców, które także dotyczą problematyki szeroko pojętego bezpieczeństwa. W czasie debat wielokrotnie stwierdzano potrzebę stałego podnoszenia świadomości techniczno-informatycznej w społeczeństwie dla ogólnej poprawy stanu bezpieczeństwa technicznego w regionie.

Organizowane konferencje i sympozja stanowią cykliczne forum wymiany doświadczeń i nowatorskiej myśli technicznej w bardzo interdyscyplinarnym obszarze bezpieczeństwa technicznego i cywilnego, także poza naszym regionem w kraju i zagranicą. Dzięki przewidywanej regularności wydarzenia uczestnicy będą dalej mogli poszerzać swoją wiedzę w zakresie bezpieczeństwa i rozwijać zainteresowania.

Ponadto do całego środowiska technicznego: absolwentów uczelni technicznych, pracowników instytucji współpracujących w zakresie zapewniania bezpieczeństwa użytkowania urządzeń, studentów i naukowców związanych z zagadnieniami inżynierii bezpieczeństwa, kierujemy serię wydawniczą prezentującą wyniki interdyscyplinarnych badań naukowych związanych z zagadnieniami bezpieczeństwa technicznego, informatycznego oraz technicznej edukacji społecznej.

Redaktorzy

1. Poprawa skuteczności wykrywania sygnału okresowego przy użyciu systemów chaotycznych

Słowa kluczowe: wykrywanie okresowych sygnałów radiowych, system chaotyczny, system Duffinga, portret fazowy, sekcja Poincare, urządzenie cyfrowe

Keywords: periodic detection of radio signals, chaotic system, Duffing system, phase portrait, Poincare section, digital device

Streszczenie: Praca poświęcona jest teoretycznym i stosowanym badaniom zagadnień ujawniania okresowych sygnałów radiowych w szumie z zastosowaniem systemów chaotycznych, a także wypracowywaniu decyzji strukturalno-schematycznych w istniejących i perspektywicznych urządzeniach łączności radiowej i lokalizacji radaru na podstawie zastosowania teorii dynamiki chaotycznej. W tym celu opracowano model matematyczny procesu wykrywania sygnałów okresowych z wykorzystaniem chaotycznego systemu Duffinga, który w odróżnieniu od znanego, uwzględnia przemieszczenie trajektorii fazowej wzdłuż struktury fraktalnej sekcji Poincare pod wpływem okresowych składowych sygnału wejściowego. Na podstawie proponowanego modelu matematycznego opracowywana jest metoda wykrywania sygnału okresowego z zastosowaniem chaotycznego układu Duffinga, która w odróżnieniu od znanego, nie wykorzystuje przejścia układu z trybu chaotycznego w trybie okresowym do wskazania obecności na wejściu sygnału okresowego o zadanej amplitudzie i częstotliwości. Metoda opiera się na analizie przesunięcia trajektorii fazowej systemu Duffinga w stosunku do struktury fraktalnej jego sekcji Poincare pod wpływem okresowych składowych sygnału wejściowego. Analityczny wyraz zależności jego portretu fazowego od amplitudy sygnału okresowego na wejściu, który różni się od znanych technik uwzględniających samo podobieństwo struktury sekcji Poincare dla systemu chaotycznego, na podstawie których opracowywana jest metoda dyskretnej numerycznej oceny przemieszczenia trajektorii fazowej względem sekcji Poincare. Metoda dyskretnego szacowania przesunięcia fazowego jest realizowana w postaci urządzenia cyfrowego. Podkreślono kwestie zwiększenia odporności na zakłócenia w zastosowaniu opracowanych metod i urządzeń do wykrywania sygnałów okresowych.

¹ Narodowy Uniwersytet Chmielnickiego, Katedra telekomunikacji i technologii zintegrowanych komputerowo, Chmielnicki, Ukraina

² Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, k.lenik@pollub.pl

³ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, e.kalinowska-ozgowicz@pollub.pl

⁴ Narodowy Uniwersytet Chmielnickiego, Katedra telekomunikacji i technologii zintegrowanych komputerowo, Chmielnicki, Ukraina

Wyniki przeprowadzonych badań procesu okresowego wykrywania sygnałów radiowych przez portrety fazowe chaotycznego systemu zainstalowanego na wejściu odbiornika wskazują na wzrost czułości i odporności na zakłócenia cyklicznego odbioru sygnałów radiowych przy zastosowaniu opracowanych metod, których realizacja daje możliwość okresowego wykrywania sygnałów przy minimalnym stosunku sygnału do szumu 1,8 razy mniejszym niż w przypadku znanych urządzeń zbudowanych na bazie systemów chaotycznych.

Summary

The paper is devoted to theoretical and applied research on the issues of revealing periodic radio signals in noise with the use of chaotic systems, as well as the development of structural and schematically decisions in existing and prospective radio communication devices and radar location based on the application of the theory of chaotic dynamics. For this purpose, a mathematical model of the process of detecting periodic signals using a chaotic Duffing system has been developed, which, unlike the known one, takes into account the displacement of phase trajectory along the fractal structure of the Poincare section under the influence of the periodic components of the input signal. On the basis of the proposed mathematical model, a method of detecting a periodic signal using a chaotic Duffing system is developed which, unlike the known one, does not use a system transition from a chaotic mode in a periodic mode to indicate the presence of a periodic signal of a specified amplitude and frequency at the input. The method is based on the analysis of phase trajectory shift of the Duffing system in relation to the fractal structure of its Poincare section under the influence of the periodic components of the input signal. An analytical expression of the dependence of its phase portrait on the amplitude of the periodic input signal, which differs from known techniques taking into account the self-similarity of the Poincare section structure for a chaotic system, on the basis of which a method of discrete numerical evaluation of phase trajectory displacement in relation to the Poincare section is developed. The method of discrete estimation of phase shift is implemented in the form of a digital device. The issues of increasing resistance to interference in the use of developed methods and devices for the detection of periodic signals have been emphasized.

The results of conducted research on the process of periodic detection of radio signals by phase portraits of a chaotic system installed at the input of the receiver indicate an increase in sensitivity and resistance to interference of cyclic reception of radio signals using the developed methods, the implementation of which gives the possibility of periodic detection of signals with a minimum signal-to-noise ratio of 1.8 times less than in the case of known devices built on the basis of chaotic systems.

Wprowadzenie

Wykrywanie okresowych sygnałów radiowych w szumie jest jednym z najważniejszych zadań nowoczesnej radiotechniki i telekomunikacji. Proces detekcji sygnałów okresowych jest ważnym elementem nowoczesnych metod odbioru sygnałów radiowych z manipulacją amplitudą, częstotliwością i fazą. Rozwój nowych technologii i komplikacja struktury sygnałów w dziedzinie informatyki i radiotechniki dyktują potrzebę ciągłego rozwoju i doskonalenia metod i środków odbioru sygnałów radiowych. Integralną częścią większości

takich urządzeń są urządzenia, które wykonują czynności związane z wykrywaniem okresowych sygnałów radiowych w szumie. W ciągu ostatnich 15–20 lat opracowano i wdrożono metody detekcji okresowych sygnałów radiowych, oparte na cyfrowym i analogowym przetwarzaniu sygnałów referencyjnych (odbior koherentny) oraz na akumulacji sygnałów wejściowych w czasie (zastosowanie funkcji korelacji i konwolucji). W przeważającej większości zastosowań tych metod wykorzystywane są liniowe obwody wejściowe oparte na elementach niskoszumowych wraz z mieszałkami opartymi na mnożnikach. Obwody wejściowe nieliniowe są zwykle używane do zmiany zakresu dynamiki sygnału wejściowego (kompresja, logarytmizacja, itp.). Skuteczność większości z powyższych narzędzi w praktyce jest ograniczona stosunkiem sygnał/szum wynoszącym około 0 dB w paśmie odbiornika.

Od lat 90. znana jest nowa grupa metod wykrywania okresowych sygnałów radiowych w szumie, które opierają się na wykorzystaniu czułości układów chaotycznych na odbiór słabych efektów okresowych. W znaczącej liczbie prac metody wykrywania okresowych sygnałów za pomocą układów chaotycznych, których tryb wahań waha się od chaotycznych do okresowych w realizacji okresowy składnik sygnału wejściowego o określonym poziomie progowym. Takie metody opierają się na wrażliwości parametrów chaotycznego systemu Lyapunova na słabe sygnały wejściowe, ponieważ wiadomo, że parametry Lyapunova dla dwóch identycznych chaotycznych systemów różnią się przy niewielkich różnicach ich sygnałów wejściowych z amplitudą lub częstotliwością.

Analiza znanych prac dotyczących wykrywania okresowych sygnałów radiowych przy niskich współczynnikach sygnał/szum wykazała, że osiągnięcie wysokiej odporności tych urządzeń na zakłócenia nie jest wystarczająco rozwiązane. Najważniejszą wadą tych metod detekcji jest potrzeba stałej kontroli i stabilizacji trybu wibracji, zbliżonego do krytycznego chaosu. Ten tryb oscylacji systemu chaotycznego jest niestabilny i zależy od sygnału wejściowego. To właśnie złożoność ustawienia krytycznego trybu chaotycznego jest powodem, dla którego te metody wykrywania okresowych sygnałów nie stały się powszechne w rozwiązywaniu praktycznych problemów komunikacji.

Jednocześnie nie poświęcono wystarczającej uwagi kwestii opracowania metod wykrywania okresowych sygnałów radiowych na oscylacje układów chaotycznych w trybie chaotycznym, bez przejścia do trybu okresowego, co potwierdza również brak odniesień do wykrywania sygnałów o przekroju poprzecznym Poincare dla układów chaotycznych w płaszczyźnie fazowej w opisie nowoczesnych metod przetwarzania sygnałów i ogólnie zidentyfikowano braki istniejących metod i urządzeń.

Zwiększenie skuteczności wykrywania okresowego sygnału radiowego za pomocą urządzeń o chaotycznej dynamice jest szeroko rozpracowywanym zadaniem naukowym. Opracowanie i wdrożenie w praktyce metod wykrywania okresowych sygnałów radiowych z wykorzystaniem systemów chaotycznych znacząco poprawi charakterystykę czułości i odporności na zakłócenia nowoczesnych urządzeń łączności radiowej.

Cel pracy i zakres badań

Celem pracy jest poprawa charakterystyki detekcji sygnałów okresowych w odbiornikach radiowych opartych na systemach chaotycznych.

Aby osiągnąć cel pracy rozwiązano następujące zagadnienia obejmujące zakres badań:

- analizę porównawczą metod detekcji sygnałów radiowych małej mocy w szumie, określającą znaczenie metod detekcji sygnałów budowanych w systemach chaotycznych,
- analizę modelu matematycznego chaotycznego systemu Duffinga i sformułowanie analitycznej zależności jego portretu fazowego od amplitudy sygnału okresowego na wejściu,
- opracowanie matematycznego modelu procesu detekcji sygnałów okresowych z wykorzystaniem chaotycznego systemu Duffinga, uwzględniającego fraktalne właściwości portretu fazowego tego systemu,
- opracowanie metody okresowego wykrywania sygnału z zastosowaniem chaotycznego systemu Duffinga bez przejścia z trybu chaotycznego do okresowego,
- opracowanie metody dyskretnej oceny przesunięcia toru fazowego systemu Duffinga w sekcji Poincaré w zależności od amplitudy sygnału okresowego na wejściu,
- opracowanie struktury urządzenia do detekcji sygnałów okresowych poprzez implementację dyskretnej oceny przemieszczenia trajektorii fazowej systemu Duffinga w sekcji Poincare w zależności od amplitudy sygnału okresowego na wejściu.

Przedmiotem badań jest proces wykrywania okresowych sygnałów radiowych poprzez portrety fazowe chaotycznego systemu zainstalowanego na wejściu odbiornika.

Metody badawcze

Zastosowano następujące metody badań naukowych: metoda analizy matematycznej, teoria optymalnego odbioru, statystyczna teoria sygnałów, teoria nieliniowej i chaotycznej dynamiki, teoria stabilności, teoria fraktalnego przetwarzania sygnału. Modele matematyczne opracowywano w oparciu o teorię nieliniowych oscylacji i teorię dyskretnego przetwarzania sygnału. Metody badań eksperymentalnych: eksperyment w pełnej skali, modelowanie symulacyjne. Metody te zostały wdrożone z wykorzystaniem wspomaganych komputerowo systemów projektowania (produkty programowe MatLab, OrCAD, LTSpiceIV).

Oryginalność i osiągnięcia naukowe pracy

1. Rozwinięto teoretyczne podstawy detekcji sygnałów okresowych z wykorzystaniem systemów chaotycznych w odniesieniu do przetwarzania sygnałów chaotycznych w sekcji Poincare. Na podstawie wyników analizy matematycznego modelu matematycznego chaotycznego systemu Duffinga, sformułowano analityczną zależność jego portretu fazowego od amplitudy sygnału okresowego na wejściu, która różni się od znanych metod uwzględniających samo podobieństwo struktury sekcji Poincare dla systemu chaotycznego.
2. Opracowano model matematyczny procesu detekcji sygnałów okresowych z wykorzystaniem chaotycznego systemu Duffinga, który w odróżnieniu od znanych modeli, uwzględnia przemieszczenie trajektorii fazowej wzdłuż struktury fraktalnej odcinka Poincare pod wpływem składników okresowych sygnału wejściowego. To znacznie zmniejsza minimalny stosunek sygnału do szumu wymagany do wykrycia danej amplitudy i częstotliwości na wejściu chaotycznego układu okresowego sygnału.
3. Opracowano metodę wykrywania sygnałów okresowych za pomocą chaotycznego systemu Duffinga, która w przeciwieństwie do znanych, nie wykorzystuje systemu do przełączania się z trybu chaotycznego na okresowy w celu wskazania obecności sygnału okresowego na wejściu o danej amplitudzie i częstotliwości. Eliminuje to wady niestabilnego trybu krytycznego i niskiej czułości w trybie okresowym.
4. Opracowano metodę dyskretnej oceny przemieszczenia trajektorii fazowej systemu Duffinga w sekcji Poincare, która różni się od innych metod tym, że uwzględnia właściwości fraktalne portretu fazowego systemu Duffinga w chaotycznym trybie oscylacji. Opracowana metoda pozwala na synteze cyfrowych urządzeń do analizy wpływu okresowych sygnałów wejściowych na portret fazowy systemu Duffinga, co pozwala na uproszczenie praktycznej realizacji detekcji sygnałów okresowych z zastosowaniem systemu chaotycznego.

Praktyczne znaczenie pracy

Opracowano schemat strukturalny urządzenia do okresowej detekcji sygnału sinusoidalnego oparty na generatorze Duffinga, który zmniejsza minimalny stosunek sygnału do szumu wymagany do detekcji, poniżej 0 dB mocy.

Przeprowadzono modelowanie opracowanego schematu strukturalnego urządzenia w środowisku MATLAB / Simulink, co pozwoliło na potwierdzenie uzyskanych wyników.

Ustalono zależność położenia punktu od struktury fraktalnej sekcji Poincare systemu Duffinga od amplitudy składowej okresowej sygnału wejściowego, która może być rozszerzona na inne chaotyczne systemy.

Jak wykazała symulacja, uzyskane wyniki pozwalają na: zmniejszenie o 1,5–2-krotność minimalnego stosunku sygnału do szumu na wejściu systemu Duffinga wymaganego do wykrycia sygnału okresowego na wejściu; zwiększenie stabilności urządzenia do okresowej detekcji sygnału z powodu braku przejść pomiędzy chaotycznymi i okresowymi trybami wibracji.

Uzyskane wyniki naukowe i praktyczne mogą znaleźć dalsze zastosowanie w procesie rozwoju i doskonalenia algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów radiowych, które będą wykorzystywane przez przedsiębiorstwa świadczące usługi w zakresie modernizacji urządzeń łączności radiowej i lokalizacji radaru; w placówkach badawczych i procesie kształcenia zakładów edukacyjnych uczelni wyższych.

Przeprowadzono analityczny przegląd prac w zakresie wykrywania sygnałów okresowych radiowych. W procesie kontroli ustalono, że najbardziej efektywne obecnie, według takich potencjalnych wskaźników jak odporność na szumie i stabilność działania, zastosowanie chaotycznego systemu Duffinga, który może pracować w trybie chaotycznym przez długi czas, jest stosunkowo łatwe do wdrożenia.

Analiza nowoczesnych metod i środków dyskretnego przetwarzania sygnału wykazała, że ich możliwości pozwalają na znaczne zwiększenie niezawodności dostępnego sygnału okresowego w odbiorniku. Tak więc, gdy wykryty zostanie okresowy sygnał, możliwe jest zidentyfikowanie chaotycznego trybu drgań systemu Duffinga poprzez różnicę pomiędzy odczytami jego drgań pobranych z częstotliwością odpowiadającą częstotliwości wzbudzenia systemu Duffinga.

Analiza wyników badań naukowych w dziedzinie okresowego wykrywania sygnałów radiowych za pomocą chaotycznych systemów wykazała, że w badaniach zwraca się szczególną uwagę przede wszystkim na kwestię identyfikacji chaotycznego trybu wibracji, ponieważ w tych pracach okresowe wykrywanie sygnału odbywa się ze zmianą trybu wibracji systemu z chaotycznego na okresowy. Gdy system Duffinga znajduje się w trybie niemal krytycznym, jego odporność na zakłócenia jest znacznie zmniejszona, ponieważ silne, nieperiodyczne sygnały o krótkim czasie trwania mogą wprowadzić system w tryb okresowych wibracji. Główną wadą tego podejścia jest potrzeba stałego wspierania trybu oscylacji systemu Duffinga, który jest blisko krytycznego chaosu, przy którym osiągnąta jest najwyższa wrażliwość na słabe sygnały okresowe.

Powyższe czynniki nie pozwalają na efektywne wykorzystanie w praktyce metod wykrywania okresowych sygnałów radiowych z wykorzystaniem systemów chaotycznych.

Zgodnie z wynikami przeprowadzonej analizy, celem badania jest poprawa charakterystyki detekcji sygnałów okresowych w odbiornikach radiowych, zbudowanych w oparciu o systemy, o chaotycznej dynamice. Aby osiągnąć cel pracy, przeprowadzono szczegółowe badanie procesów zachodzących w systemie chaotycznym. Opracowano model matematyczny procesu wykrywania sygnału

okresowego przez strukturę fraktalną sekcji Poincare systemu Duffinga. Schemat strukturalny urządzenia do wykrywania sygnałów okresowych jest syntetyczny uwzględniający opracowany model matematyczny.

Analityczny przegląd metod i środków odbioru słabych sygnałów przy użyciu systemów nieliniowych

Na wejściu każdego odbiornika radiowego zawsze słychać szumy wraz z użytecznym sygnałem. Zazwyczaj iloraz sygnału do szumu: sygnał/szum określany skrótem (SNR) jest wykorzystywany do ilościowego określenia stosunku sygnałów do szumów. Dla sygnału składającego się z jednej harmoniki na częstotliwości ω_c , stosunek sygnału do szumu jest określany za pomocą wzoru:

$$SNR = \frac{A^2}{N(\omega_c)} \quad (1)$$

gdzie: A – amplituda sygnału, $N(\omega_c)$ – widmowa gęstość natężenia szumu przy częstotliwości sygnału.

Ten stosunek sygnału do szumu jest wykorzystywany w badaniach procesu odbioru słabych sygnałów, ponieważ jego ekspresja odzwierciedla stosunek energii i uwzględnia widmo częstotliwości sygnału i szumu [1–5].

Jeśli sygnał na wejściu odbiornika charakteryzuje się stosunkiem większym niż kilkadziesiąt decybeli, odbiór i przetwarzanie takiego sygnału nie jest zadaniem trudnym. W takim przypadku filtracja sygnału realizowana jest za pomocą dość prostych środków, takich jak filtry pasywne lub aktywne filtry niskiego rzędu. W rozwoju urządzeń cyfrowych, obecność takiego poziomu szumu jest często pomijana [4–6].

Gdy moc szumów jest proporcjonalna do mocy sygnału użytecznego odpowiadającej stosunkowi sygnał/szum około 0 dB, zadanie filtracji staje się jednym z kluczowych w procesie rozwoju odbiornika. Oczywiście jest, że jakość pracy urządzenia radiotechnicznego, do którego należy odbiornik w dużym stopniu zależy od rozwiązania takiego problemu. W tym względzie problem filtracji takich sygnałów z połowy XX wieku przyciąga coraz większą uwagę naukowców na całym świecie. Obecnie istnieje wiele metod i środków filtracji sygnału o stosunku sygnał/szum około 0 dB. Teoretyczne podstawy nowoczesnych metod recepcyjnych sygnały radiowe na tle znacznego szumu opisane są w znanych pracach [7–10]. W praktyce istnieje wiele metod analogowej i cyfrowej implementacji urządzeń filtrujących sygnały radiowe o stosunku sygnał/szum około 0 dB [3, 11–16].

Jeśli użyteczne natężenie sygnału na wejściu odbiornika jest mniejsze niż widmowa gęstość natężenia szumów na użytecznej częstotliwości sygnału o więcej niż kilkadziesiąt decybeli, wdrożenie urządzeń do odbioru takich

sygnałów radiowych jest znacznie skomplikowane [6, 15, 16, 25–28] [Niski SNR przetwarzania sygnału ogólnego].

Analogowe wdrożenie jest skomplikowane głównie przez zwiększone wymagania w stosunku do bazy elementów. Nawet niewielkie przekroczenia dopuszczalnych granic takich parametrów jak rozpiętość parametrów, stabilność charakterystyki i własny szum elementów radiowych mogą powodować dodatkowe zakłócenia, są współmierne do sygnału użytecznego [17–20].

Cyfrowa implementacja jest skomplikowana ze względu na potrzebę minimalizacji wpływu kwantyzacji i efektów próbkowania na sygnał czerwony. Zakres dynamiki odbiornika cyfrowego może być mniejszy niż stosunek amplitudy szumów do amplitudy wejściowej. Dlatego też, aby wdrożyć cyfrową filtrację słabych sygnałów konieczne jest wprowadzenie dodatkowych analogowych urządzeń wejściowych, za pomocą których konwersja sygnału na formę wygodną do próbkowania i kwantyzacji. Są to często urządzenia zasadniczo nieliniowe, takie jak logarytmatory, które mogą powodować znaczne nieliniowe zniekształcenia sygnału użytecznego. Ponadto algorytmy cyfrowego przetwarzania słabych sygnałów są zwykle dość uciążliwe i złożone, dlatego istnieje potrzeba zwiększenia wydajności, pojemności cyfrowej i pojemności pamięci takich urządzeń [13, 14].

Znane sposoby zwiększania efektywności odbioru słabych sygnałów

W nowoczesnej technice radiowej istnieją dwa główne kierunki zwiększania efektywności odbioru słabych sygnałów [11, 16, 21–25]:

- udoskonalenie bazy elementów urządzeń do odbioru słabych sygnałów,
- doskonalenie zasad i metod odbioru słabych sygnałów.

Pierwszy kierunek jest zazwyczaj związany z opracowaniem i zastosowaniem cichych i precyzyjnych elementów radiowych o wysokiej precyzji w celu zmniejszenia szumu wewnętrznego w urządzeniach radiotechnicznych. W filtracji słabych sygnałów takie podejście jest skuteczne tylko w pewnym stopniu, ponieważ jest ograniczone przez poziom własnego szumu elementów radiowych. Należy zauważyć, że często koszty materiałowe i technologiczne wdrożenia cichych elementów radiowych rosną nieproporcjonalnie do redukcji własnego szumu [21, 23, 25–27].

Drugi kierunek obejmuje metody, które zazwyczaj opierają się na teorii spójnego odbioru. Metody te, w przeciwieństwie do pierwszego kierunku, wymagają mniejszych kosztów materiałowych i technologicznych. Obecnie większość takich metod jest wdrażana w urządzeniach cyfrowych, z dużą ilością pamięci i zdolnością do wykonywania złożonych operacji matematycznych. Najprostszą z nich jest spójna metoda uśredniania, która może być realizowana w oparciu o cyfrowy procesor sygnałowy z wystarczającą pamięcią. Metoda ta zazwyczaj nie wymaga niestandardowych rozwiązań obwodowych i kosztów

technologicznych związanych z produkcją cichych elementów radiowych [3, 28–30].

Główną wadą większości nowoczesnych urządzeń opartych na podejściach w drugim kierunku jest to, że w celu uzyskania sygnału wyjściowego konieczne jest gromadzenie odczytów odbieranego sygnału w określonym czasie. Czynniki ten znacznie komplikuje zadanie zapewnienia pracy odbiorników w czasie rzeczywistym i wymaga zwiększenia ich mocy obliczeniowej [3, 28–31].

Do głównych grup metod wykrywania sygnałów radiowych w szumie należą metody wykorzystujące akumulację odczytów sygnału w czasie, metody koherentnego odbioru [25, 32, 33], metody nieliniowe [34–36], a także metody kombinowane [15, 16, 37, 38]. Metody z akumulacją próbek zapewniają wysoką odporność na zakłócenia, ale wymagają pewnego czasu akumulacji sygnału, co negatywnie wpływa na działanie odbiorników radiowych. Metody koherentnego odbioru poprzez wygenerowanie kopii sygnału nośnego zapewniają wysoką wydajność, ale dla wysokiej odporności na zakłócenia wymagają komplikacji urządzeń i sposobów generowania sygnału. Metody nieliniowe mogą zapewnić bardzo wysoką czułość z powodu nieliniowych transformacji sygnału. Metody takie nie są jednak obecnie dobrze zbadane ze względu na złożoność modeli interakcji sygnału i szumu w elementach nieliniowych [2, 6, 15, 39].

Główne sposoby implementacji urządzeń detekcji sygnałów w szumach obejmują środki poprawy bazy elementów RES (elementy niskoszumowe), środki konstrukcyjne (projektowanie obudów, ekranów, obwodów drukowanych z uwzględnieniem kompatybilności elektromagnetycznej RPS), obwody (projektowanie obwodów RPS odpornych na szum), oprogramowanie (kodowanie dźwiękochłonne), jak również środki łączone [18, 21, 22, 40–42].

W tabeli 1.1 przedstawiono działanie znanych nieliniowych urządzeń wykorzystywanych do wykrywania sygnałów radiowych w szumie. Stosunek sygnału do szumu jest szacowany dla urządzeń nieliniowych, takich jak diody, tłumiki, logarytmatory, koła histerezy, koła chaotyczne (układy chaotyczne).

Tabela 1.1 Wydajność i rodzaj nieliniowych urządzeń dla odbioru sygnałów okresowych w szumie

Urządzenia nieliniowe stosowane do wykrywania sygnałów okresowych	
Rodzaj	Wskaźnik efektywności $K_{SNR} = (SNR)_{wyjście} / (SNR)_{wejście}$
Proste łańcuchy nieliniowe (diody, tłumiki, logarytmatory itp.) [34,43,44].	$K_{SNR} < 1$
Łańcuchy nieliniowe z histerezą (np. komparatory) [35,45-47]	$K_{SNR} = 1 \dots 1,3$
Łańcuchy nieliniowe o chaotycznej dynamice [48–50]	$K_{SNR} = 1 \dots 5$

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli 1.1 stwierdzono, że proste obwody nieliniowe mają wzmocnienie sygnału/szumu mniejsze niż 1. Kręgi histerezy mają nieco wyższą wartość (1–1,3), co wynika z obecności co najmniej dwóch różnych progów odpowiedzi na wejście. Najlepsze wskaźniki ujawniają urządzenia o chaotycznej dynamice (nieliniowe obwody implementujące chaotyczne systemy Duffinga, Chua, Lorentza, itp.) [49, 51–59].

Przegląd urządzeń nieliniowych pozwala na cenę perspektywy rozwoju metod i środków detekcji sygnałów okresowych z wykorzystaniem systemów chaotycznych.

Zastosowanie nieliniowych systemów do wykrywania słabych sygnałów w szumie

Wiadomo, że większość odbiorników radiowych jest wyposażona w urządzenia analogowe na wejściu, które zapewniają, że sygnał wejściowy jest doprowadzony do postaci wygodnej do dalszego przetwarzania analogowego lub cyfrowego [60, 61]. Urządzeniami takimi mogą być filtry wejściowe, wzmacniacze lub inne urządzenia radiowe [15, 16, 25, 62]. Jednym z głównych wymagań stawianych urządzeniu wejściowemu nowoczesnego odbiornika radiowego przeznaczonego do odbioru słabych sygnałów jest wymaganie zapewnienia wysokiej liniowości jego elementów [21, 22, 27].

Składowe harmoniczne sygnału i szumów przechodzą niezależnie od siebie przez liniowe obwody elektryczne. W tym przypadku działa zasada superpozycji, a reakcja okręgu liniowego na sumę wpływów zewnętrznych jest sumą reakcji na każdy z tych wpływów [63, 64].

Gdy sygnał z szumem przechodzi przez nieliniowy obwód elektryczny, składowe harmoniczne sygnału i szumu zazwyczaj wzajemnie na siebie oddziałują. W takich przypadkach zasada superpozycji nie działa, a reakcja kół na sumę sygnału i szumu nie odpowiada sumie jego reakcji na sygnał z reakcją na szum [65, 66].

Obecnie liniowe elementy radiowe stosowane są najczęściej w filtrach wejściowych urządzeń przeznaczonych do odbioru słabych sygnałów [29, 67]. Pytanie, w jaki sposób izolować słabe sygnały od szumów z powodu ich interakcji w nieliniowych obwodach, nie jest wystarczająco rozwinięte i wymaga dalszych badań.

Od pierwszej połowy XX wieku, znane prace teoretyczne [10, 16, 68], które opisują wrażliwość nieliniowych obwodów elektrycznych na słabe wpływy zewnętrzne oraz osobliwości interakcji sygnałów o różnych parametrach w takich kręgach. Prace te teoretycznie przewidują możliwość wykorzystania interakcji sygnału i szumu w obwodach nieliniowych w celu zwiększenia stosunku sygnału do szumu na częstotliwości sygnału. Jednak możliwości praktycznego wdrożenia takich podejść rozważano znacznie później, pod koniec XX wieku. [50, 69–71]. Takie opóźnienie praktycznego wdrożenia z teorii tłumaczy fakt, że w czasach

rozwoju tych teorii nie było wystarczająco dużo możliwości dla operacyjnej wydajności matematycznego modelowania procesów w zasadniczo nieliniowych obwodów elektrycznych z wystarczającą dokładnością. Uważano, że ponieważ takie kręgi są podatne na wzbudzenie i mogą powodować nieliniowe zniekształcenia w użytecznym sygnale, ich użycie do odbierania słabych sygnałów nie jest wskazane [34, 72].

Od końca XX wieku znane są próby wykorzystania nieliniowej interakcji sygnału do szumu do odbioru słabych sygnałów, w oparciu o badania wpływu stochastycznego rezonansu w nieliniowych obwodach elektrycznych [73].

Effekt stochastycznego rezonansu odkryto pod koniec lat 80. XX wieku w trakcie badań nad laserem pierścieniowym [73, 74], który jest optycznym urządzeniem bistabilnym. Okazało się, że zależność wartości wyjściowej stosunku sygnał/szum SNR_w od natężenia szumu D na wejściu takiego urządzenia nie jest monotonną funkcją malejącą, a na pewnym poziomie szumu na wejściu D_0 ma lokalne maksimum.

Eksperyment dowodzi, że przy wysokim poziomie szumu na wejściu urządzenia nieliniowego poziom wyjściowy sygnału użytecznego może być wyższy niż przy niższym poziomie szumu. Wyniki eksperymentu wskazują na istnienie parametrów urządzenia nieliniowego, dla którego wraz ze wzrostem poziomu szumu na wejściu wzrasta wartość stosunku SNR . Taki wynik sugeruje, że w urządzeniach nieliniowych energia może przesunąć się z szumu na użyteczny sygnał. Takie cechy nieliniowych urządzeń radiotechnicznych mogą być wykorzystywane do odbioru i przetwarzania słabych sygnałów, dla których stosunek sygnału do szumu jest znacznie mniejszy niż 0 dB [3, 34].

Po opublikowaniu wyników eksperymentów [75] w literaturze naukowej zaczęły pojawiać się nowe prace potwierdzające istnienie efektu rezonansu stochastycznego w różnych systemach fizycznych. Wykazano istnienie stochastycznego rezonansu w układach mechanicznym, chemicznym, biologicznym i radiofizycznym. Artykuły [73, 76, 77] zawierają dość wyczerpujące przeglądy rozważań teoretycznych i wyników eksperymentalnych, które dotyczą kwestii rezonansu stochastycznego.

W XXI wieku aktywowane jest badanie możliwości zastosowania rezonansu stochastycznego w celu filtracji słabych sygnałów. Opublikowano szereg prac [78] wraz ze szczegółowym uzasadnieniem możliwości filtracji sygnału z wykorzystaniem efektu stochastycznego rezonansu w nieliniowych kręgach radiotechnicznych.

Na podstawie wyników przeprowadzonej kontroli i analizy stwierdzono, że wśród nowoczesnych metod wykrywania okresowych sygnałów radiowych w szumie istnieją istotne perspektywy dla metod z wykorzystaniem nieliniowego przetwarzania sygnału [54, 79]. Wśród nich największą wrażliwość na sygnały okresowe przy niskich relacjach sygnał/szum występuje w metodach wykorzystujących układy chaotyczne, takich jak Oscylator Duffinga [54, 80]. Wymienione powyżej praktyczne metody są jednak ograniczone przez

opracowanie metod oceny parametrów sygnału wejściowego układu chaotycznego z sygnałem wyjściowym w trybie chaotycznym [55, 81]. Wiadomo, że metody sygnalizowania obecności na wejściu sygnału okresowego o danej amplitudzie są znane z wykorzystania przejścia układu chaotycznego w trybie okresowym. Takie podejście prowadzi do pojawienia się błędów w ustalaniu i ocenie krytycznego trybu oscylacji układu chaotycznego [69, 82]. Dlatego wskazane jest opracowanie metod wykrywania sygnałów okresowych za pomocą systemów chaotycznych bez przełączania się na tryb okresowy.

Tak więc, jako główne kierunki badań procesu wykrywania okresowych sygnałów radiowych przez portret fazowy chaotycznego systemu zainstalowanego na wejściu odbiornika, jak również tworzenie metod i algorytmów przetwarzania portretu fazowego chaotycznego systemu w procesie wykrywania okresowych składników jego sygnału wejściowego.

W związku z tym dalszymi zagadnieniami jest poprawa charakterystyki wykrywania sygnału okresowego w odbiornikach radiowych, zbudowanych w oparciu o systemy o chaotycznej dynamice.

Opracowanie metody wykrywania sygnałów okresowych za pomocą systemu chaotycznego

Na podstawie badań procesów zachodzących w układzie chaotycznym pod wpływem szumu opracowano matematyczny model procesu wykrywania sygnału okresowego na fraktalnej strukturze sekcji Poincare systemu Duffinga, działającej pod wpływem użytecznego sygnału okresowego i szumu.

Zawartość tego modelu oparta jest na ogólnie przyjętym wyrażeniu opisującym zmianę struktury fraktalnej sekcji Poincare dla systemu Duffinga w czasie, w zależności od amplitudy sygnału okresowego na wejściu.

Model matematyczny systemu Duffinga jest określony równaniem (1):

$$\ddot{x} + k\dot{x} - x + x^3 = s(t) \quad (1)$$

gdzie: $s(t)$ – sygnał wejściowy, x – sygnał wyjściowy, k – współczynnik tłumienia.

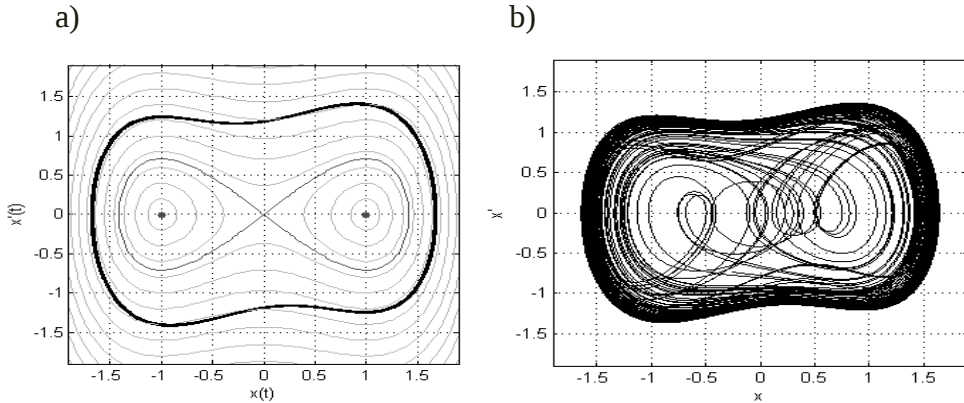
Sygnał wejściowy systemu Duffinga składa się z trzech komponentów:

$$s(t) = s_0(t) + s_1(t) + N(t) \quad (2)$$

gdzie: $s_0(t) = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ – ustawienie sygnału na częstotliwości o wysokiej amplitudzie ω_0 która określa tryb oscylacji systemu Duffinga,

$N(t)$ – szum na wejściu, $s_1(t) = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ – okresowy sygnał użyteczny o małej amplitudzie $A_1 \ll A_0$ częstotliwość $\omega_1 \rightarrow \omega_0$ który powinien wykryć przed szumem tła $N(t)$.

W zależności od ustawionych parametrów i sygnału wejściowego, system (1) Duffinga, może być w trybie oscylacji okresowej (rys. 1a) lub w trybie oscylacji chaotycznej (rys. 1b).



Rys. 1. Trajektorie fazowe układu (1) w trybie chaotycznym (a) i okresowym (b)

Źródło: opracowanie własne

Potencjalna funkcja systemu Duffinga jest określona przez wyrażenie:

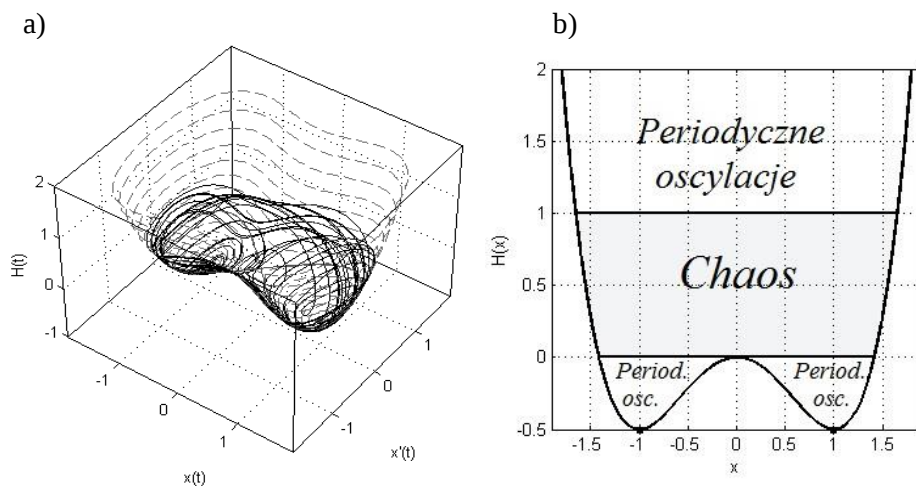
$$H(x) = \frac{1}{2} \cdot x^4 - x^2 \quad (3)$$

Dla systemu bez wzbudzenia (1) możliwe jest skonstruowanie powierzchni Hamiltona (rys. 2 a), którą określa następująca zależność:

$$H(x, x') = (x')^2 + \frac{1}{2} \cdot x^4 - x^2 \quad (4)$$

Możliwe jest rzutowanie trajektorii fazowych systemu Duffinga na powierzchnię (4), na wejściu której działa sygnał $s(t)$ (rys. 2a).

Chaotyczne oscylacje systemu Duffinga są możliwe tylko dla ograniczonego zakresu wartości potencjalnych. Na rysunku 2b przedstawiono zakres możliwych chaotycznych oscylacji w odniesieniu do potencjalnej funkcji (3) przy typowej wartości współczynnika tłumienia $k = 0,5$. Na rysunku 2b pokazano, że górny obszar trybu krytycznego znajduje się w pobliżu wartości $H = 1$. Potencjał systemu Duffinga jest silnie uzależniony od składowej okresowej sygnału wejściowego, a jeśli składowa okresowa $s_1(t)$ przy częstotliwości wzbudzenia systemu przekracza pewien poziom progowy odpowiadający wartości $H = 1$, system Duffinga przełącza się w tryb okresowy. W ten sposób wykrywane są okresowe sygnały o znanych metodach opracowanych w ciągu ostatniej dekady.



Rys. 2. Projektacja trajektorii fazowych systemu (1) na powierzchni Hamiltona (a), potencjalne funkcje ze wskazaniem trybów drgań (b)

Źródło: opracowanie własne

Biorąc pod uwagę, że oscylacje chaotyczne są przerywane, trudno jest w praktyce utrzymać stabilny tryb oscylacji blisko trybu krytycznego, a w wielu przypadkach szum może powodować przejście do trybu okresowego, a w konsekwencji błędne wykrywanie. Współczynnik ten ogranicza minimalny stosunek sygnału do szumu wymagany do normalnego okresowego wykrywania sygnału.

Z drugiej strony należy zauważyć, że wrażliwość chaotycznego systemu Duffinga na słabe sygnały jest niezwykle wysoka, gdyż w trybie chaotycznym jego parametry stale i stale się różnią w czasie. Oznacza to, że metoda detekcji sygnałów okresowych ze zmianami w trybie nie ujawnia w pełni możliwości poprawy skuteczności detekcji sygnałów okresowych, zastosowania systemu Duffinga urządzenia przychodzącego.

Ponieważ wzorec oscylacji systemu Duffinga w trybie chaotycznym jest dość złożony, sygnał wyjściowy może być łatwo analizowany w sekcji Poincare.

Przekrój Poincare dla sygnału $x(t)$ i jego pochodnej $x'(t)$ jest wielokrotnością $X_k(t)$, $Y_k(t)$, i jest określony przez wyrażenie:

$$\begin{cases} X_k(t) = x(kT + t), \\ Y_k(t) = x'(kT + t), \\ k = 0, 1, 2, \dots, N, \end{cases} \quad (5)$$

gdzie: T – jest okresem sygnału odniesienia $s_0(t)$, k – numer okresu sygnału odniesienia;

t – aktualny moment czasowy. dla wszystkich N punktów odcinka Poincare $t \in [0; T_c]$, gdzie T_c okres czasu, w którym jest obserwowany każdy punkt odcinka Poincare.

Geometryczne miejsce punktów $X_k(t)$, $Y_k(t)$ w płaszczyźnie fazowej to krzywa o złożonym kształcie homolinii, pokazana na rysunku 3. Kształt krzywej (patrz rys. 3) zmienia się okresowo w czasie. Okres zmiany kształtu krzywej jest równy okresowi T sygnału odniesienia $s_0(t)$.

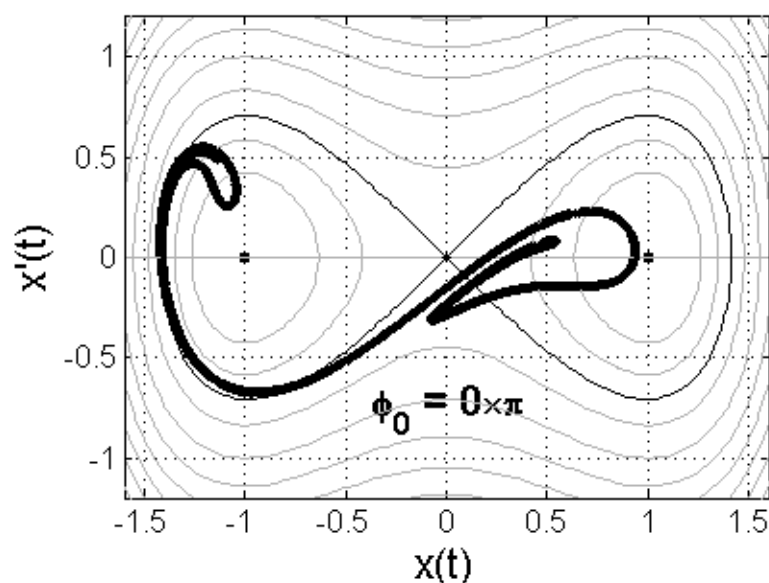
$$\begin{cases} X_k(nT + \varphi_0) = x(kT + nT + \varphi_0), \\ Y_k(nT + \varphi_0) = x'(kT + nT + \varphi_0), \\ k = 0, 1, 2, \dots, N, \\ n = 0, 1, 2, \dots, M. \end{cases} \quad (6)$$

Tak więc, każdy punkt trajektorii fazy systemu Duffinga w dowolnym momencie leży na krzywej formy z rysunku 3. Kształt krzywej zależy od fazy sygnału odniesienia w danym momencie. Jednak położenie punktu trajektorii fazy względem krzywej zmienia się nieregularnie w czasie, ponieważ system znajduje się w chaotycznym trybie oscylacji.

Podczas badań eksperymentalnych zależność między amplitudą składowej okresowej a położeniem chwilowej wartości portretu fazowego w stosunku do fraktalnej struktury sekcji Poincare dla systemu Duffinga, na wejściu której działa tylko sygnał nastawczy.

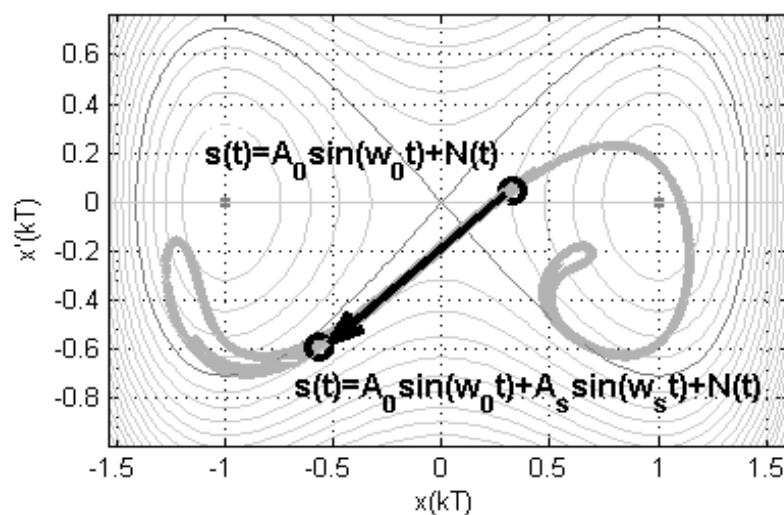
Jak pokazano na rysunku 4, jeśli na wlocie znajduje się dodatkowy element okresowy, punkt przesuwają się wzdłuż krzywej przekroju Poincare, jak pokazano na rysunku 3.

W trakcie badań eksperymentalnych ustalono, że kierunek i wielkość chwilowej zmiany wartości, gdy amplituda składnika okresowego wzrasta przy ustawieniu częstotliwości sygnału są praktycznie niezależne od szumów pod warunkiem, że stosunek sygnału do szumu nie jest mniejszy niż w paśmie częstotliwości.



Rys. 3. Geometryczne miejsce punktów przekroju Poincare dla systemu Duffinga ($\varphi_0 = 0$)

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Zależność położenia punktu przecięcia sekcji Poincare od okresowych składowych sygnału wejściowego

Źródło: opracowanie własne

Aby wskazać zmianę długości ścieżki punktu $\{x(t), x'(t)\}$ w zależności od zmiany amplitudy $A=A_0+A_s$ okresowego sygnału wejściowego na częstotliwości ω_0 , wprowadzono wartość $\lambda(t, A)$, która jest określona przez wyrażenie (5):

$$\lambda(t, A) = \int_{A_0}^{A_0+u} \sqrt{\left(\frac{\partial x(t, A)}{\partial A}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 x(t, A)}{\partial t \partial A}\right)^2} dA \quad (7)$$

Ponieważ sygnały $x(t, A)$ i $y(t, A) = \partial x(t, A) / \partial t$ są chaotyczne, nie zaleca się ich wyrażania poprzez funkcje analityczne. Dlatego dyskretna forma wyrażenia wartości jest wygodniejsza do modelowania procesu detekcji sygnału $\lambda(t, A)$:

$$\lambda(n \cdot \Delta t, m \cdot \Delta A) = \sum_{n=1}^N \sqrt{(x(n \cdot \Delta t, m \cdot \Delta A) - x(n \cdot \Delta t, (m-1) \cdot \Delta A))^2 + (y(n \cdot \Delta t, m \cdot \Delta A) - y(n \cdot \Delta t, (m-1) \cdot \Delta A))^2} \quad (8)$$

gdzie:

Δt – czas pobierania próbek,

Δu – etap pobierania próbek amplitudowych;

n, m – wielkości stałe, całkowite.

Z danych na rysunku 5 wynika, że dla wartości $\lambda(t, A)$ można ustawić poziom progowy dla wartości $\lambda_0(t, A)$, w odniesieniu do której można podjąć decyzję o obecności lub braku okresowego składnika o danym zakresie amplitud i częstotliwości na wejściu odbiornika.

Proces wykrywania sygnału okresowego można opisać za pomocą wyrażeń:

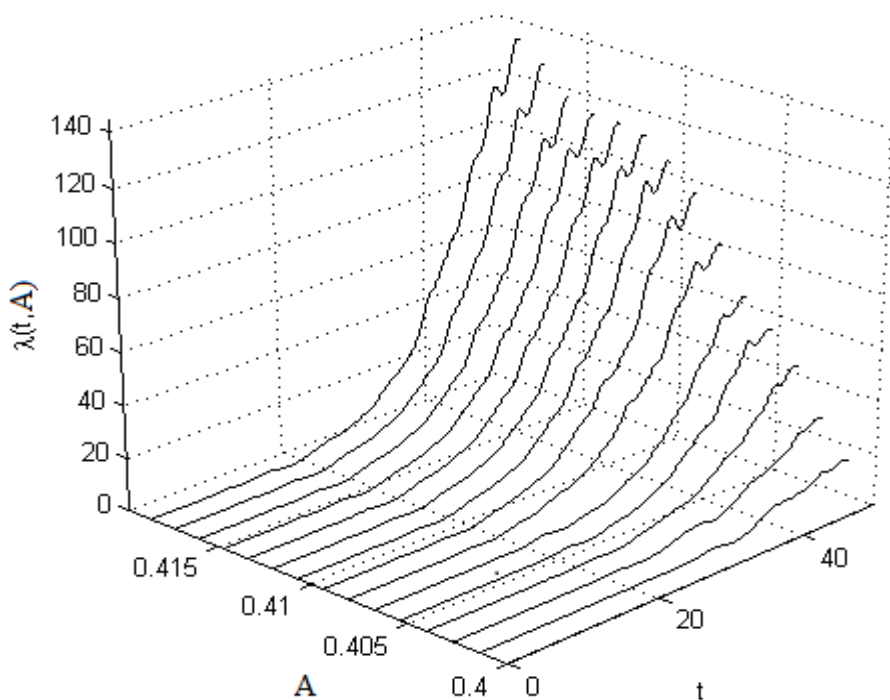
$$H_0 : \lambda(t, A) < \lambda_0(t, A) \quad (9)$$

$$H_1 : \lambda(t, A) > \lambda_0(t, A) \quad (10)$$

gdzie:

H_0 – hipoteza, że nie ma sygnału okresowego,

H_1 – hipoteza, że istnieje sygnał okresowy.



Rys. 5. Zależność ścieżki punktu $(x(t), x'(t))$ od czasu i amplitudy składowej okresowej sygnału wejściowego

Źródło: opracowanie własne

Metoda numerycznego, dyskretnego szacowania amplitudy składowej okresowej sygnału na wejściu systemu duffingowego

Opracowano metodę numerycznej dyskretniej oceny amplitudy składowej okresowej sygnału na wejściu systemu Duffinga.

W praktyce oszacowanie amplitudy składowej okresowej sygnału wejściowego systemu Duffinga na podstawie fazy przemieszczenia $(\lambda(t, A))$ toru (7), (8) jest zadaniem dość skomplikowanym, wymagającym integracji funkcji nieliniowych w czasie rzeczywistym. Dlatego wskazane jest opracowanie metod dyskretniej oceny przemieszczeń trajektorii fazowej układu chaotycznego pod wpływem zmiany amplitudy składowej okresowej sygnału wejściowego. Rozważmy portret fazowy systemu Duffinga pokazany na rysunku 6. Na płaszczyźnie fazowej znajdują się trzy centra $(0,0)$, $(1,0)$, $(-1,0)$, wokół których mogą obracać się punkty trajektorii faz układu chaotycznego (1).

W odniesieniu do tych ośrodków można wyróżnić dwa główne typy dynamiki punktowej ($x(t), x'(t)$), a mianowicie:

- obrót wokół jednego z centrów bocznych (1,0), (-1,0),
- przejście z jednego środka bocznego na drugi (obróć wokół środka (0,0)).

Pierwszy rodzaj ruchu punktów toru fazowego jest charakterystyczny dla trybów okresowych układu (1) o niskim potencjale:

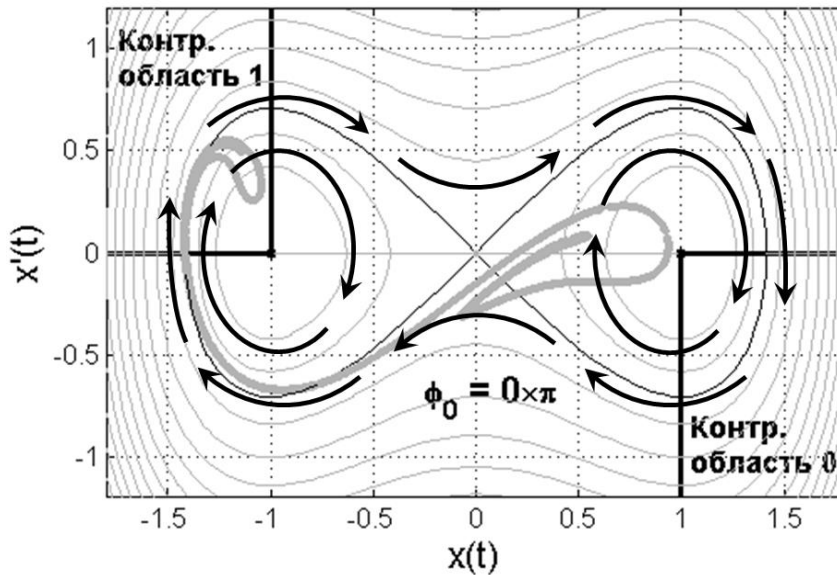
$$H(x(t), x'(t)) < 0$$

Drugi typ ruchu punktowego jest charakterystyczny dla trybów okresowych systemu (1) o wysokim potencjale:

$$H(x(t), x'(t)) > 1$$

Kiedy rozważany system Duffinga jest w chaotycznym trybie oscylacji, istnieje zarówno pierwszy, jak i drugi typ ruchu punktów trajektorii fazy.

Na rysunku 6 przedstawiono dwa obszary sterowania amplitudą sygnału odniesienia $A_0 = 0,4 B$. Dwukrotne przejście sekwencyjne punktu trajektorii fazy przez jeden z obszarów kontrolnych wyraźnie wskazuje pełny obrót tego punktu wokół odpowiedniego środka bocznego (ruch pierwszego typu).



Rys. 6. Rodzaje toru fazowego systemu Duffinga. Dynamika punktów trajektorii faz

Źródło: opracowanie własne

Przejście punktu trajektorii fazy z jednego obszaru kontrolnego do drugiego wskazuje na przejście tego punktu z orbity jednego środka bocznego do orbity drugiego środka bocznego (ruch drugiego typu). Tak więc chaotyczne oscylacje

systemu Duffinga można scharakteryzować dyskretną wartością następującego wyrażenia:

$$C = \begin{cases} 0, & x(t) \geq 1, x'(t) < 0, \\ 1, & x(t) \leq -1, x'(t) > 0, \end{cases} \quad (11)$$

Założmy, że punkt trajektorii $(x(t), x'(t))$ fazy w pewnym momencie czasu t wszedł do obszarów kontrolnych n w dowolnej kolejności. Następnie rodzaj ruchu punktu może być wyrażony wartością dyskretną, która jest wyrażona w tabeli prawdy (tabela 1).

Tabela wartości prawdy $Q(n)$ odpowiada logicznej funkcji wyłącznego rozłączenia:

$$Q(n) = XOR(C(n-1), C(n)) \quad (12)$$

Tabela 1. Tabela prawdy dla $Q(n)$

C(n-1)	C(n)	Q(n)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Źródło: opracowanie własne

Rozważamy ruch punktu $(x(t), x'(t))$ w obszarze środkowym $(0,0)$ na rysunku 6. Gdy punkt obraca się wokół jednego z bocznych środków, zawsze obraca się zgodnie z ruchem wskazówek zegara w obszarze $(0,0)$ względem początkowego kierunku ruchu. Jeżeli trajektoria fazy zmienia się z jednej strony orbity środkowej na drugą, obraca się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara w obszarze punktu $(0,0)$ względem początkowego kierunku ruchu. Wartość ta $Q(n) = 0$ odpowiada więc obrotowi w prawo punktu trajektorii faz w obszarze $(0,0)$, a wartość $Q(n) = 1$ odpowiada obrotowi w lewo.

Tak więc, dla każdego trybu systemu Duffinga, chaotyczne oscylacje mogą być opisane przez sekwencję wartości $Q(n)$, które odpowiadają obrotom punktu $(x(t), x'(t))$ wokół ośrodków bocznych i przejściom z jednego środka bocznego

do drugiego. Następnie wszystkie możliwe sposoby poruszania się punktu $(x(t), x'(t))$ można opisać za pomocą kodów binarnych z zakresu:

$$Q \in [Q_{\min}; Q_{\max}] \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Q_{\min}(1) &= Q_{\min}(2) = \dots = Q_{\min}(n) = 0 \\ Q_{\max}(1) &= Q_{\max}(2) = \dots = Q_{\max}(n) = 1 \end{aligned} \quad (14)$$

Należy zauważyć, że kod binarny Q charakteryzuje jedynie tryb pracy systemu Duffinga, ale nie dostarcza jednoznacznej informacji o amplitudzie składowej okresowej sygnału wejściowego w trybie chaotycznym, ponieważ pozycja wartości chwilowej $(x(t), x'(t))$ w stosunku do geometrycznego położenia sekcji Poincare (patrz rys. 3 i 4) nie zmienia się okresowo.

Aby oszacować parametry sygnału wejściowego $s_{\text{ex}}(t) = s_1(t) + N(t)$ uzasadnione jest wprowadzenie wyświetlanie ruchu każdego punktu $(x(kT + t), x'(kT + t))$ sekcji Poincare w czasie w postaci kodów C_k i Q_k :

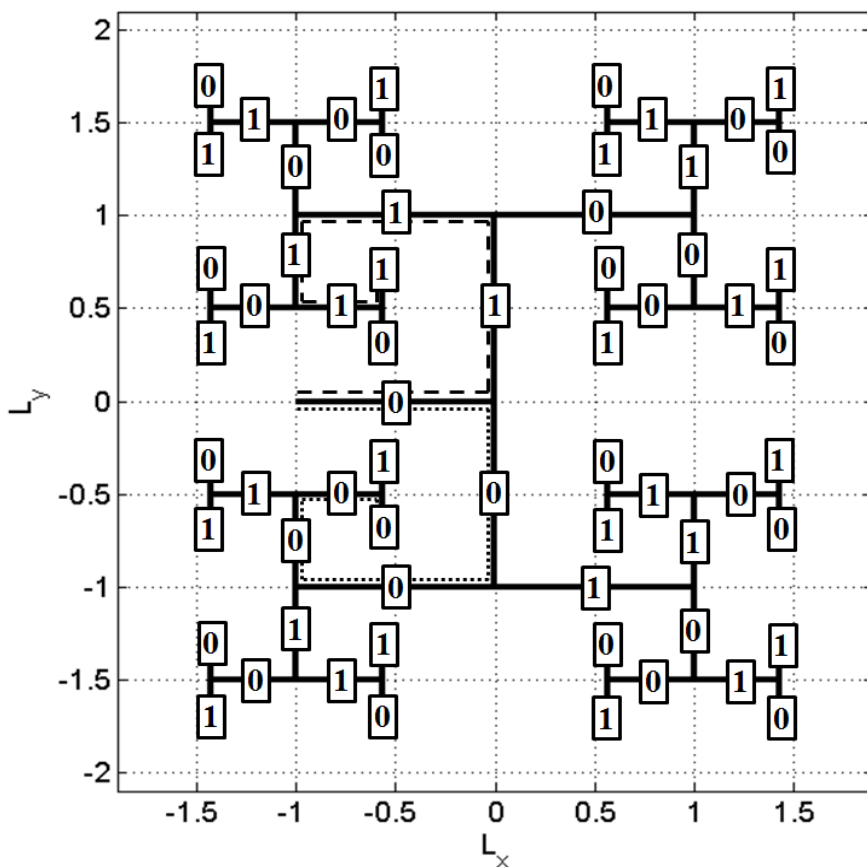
$$C_k = \begin{cases} 0, & x(kT + t) \geq 1, x'(kT + t) < 0, \\ 1, & x(kT + t) \leq -1, x'(kT + t) > 0, \end{cases} \quad (15)$$

$$Q_k(n) = \text{XOR}(C_k(n-1), C_k(n)) \quad (16)$$

gdzie: n – numer k – tego punktu sekcji Poincare w jednym z obszarów kontrolnych.

Następnie regularność zmian położenia punktów trajektorii fazowych $(x(kT + t), x'(kT + t))$ w stosunku do geometrycznego położenia sekcji Poincare systemu Duffinga może być przedstawiona w postaci fraktalu H , pokazanego na rysunku 7, gdzie L_1, L_2 – wymiary liniowe fraktalu, którego długość i położenie gałęzi zależy od wartości kodu Q_k .

Każdy punkt sekcji Poincare w dowolnym momencie ma swój własny kod Q_k i odpowiednio swoją własną ścieżkę wzdłuż fraktalu (rys. 7).



Rys. 7. Fraktalne odwzorowanie systemu Duffinga, Poincare. Zmiana sekcji Poincare w czasie

Pierwsze pięć cyfr wszystkich możliwych numerów binarnych znajduje się na gałęziach fraktalu Q_k :

$$Q_k \in [00000, 01111] \quad (17)$$

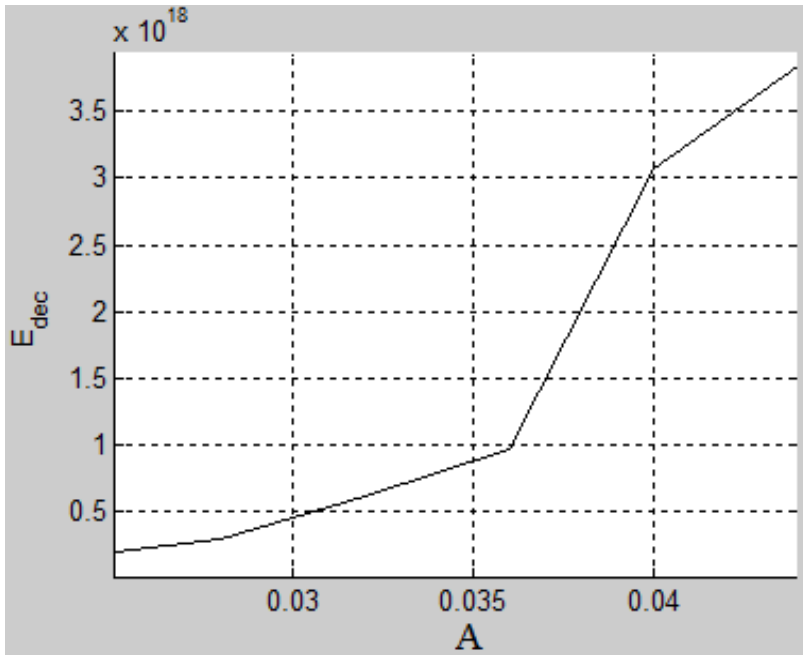
Maksymalne i minimalne wartości kodu Q_k są oznaczone na frakcjach z przerywanymi liniami.

Wyniki badań eksperymentalnych i teoretycznych wskazują, że ocena amplitudy składowej okresowej sygnału wejściowego systemu Duffinga na częstotliwości sygnału odniesienia jest to kod o maksymalnym zestawie kodów, które odpowiadają wybranej sekcji Poincare:

$$E = \max(Q_k) \quad (18)$$

gdzie: $k = 0, 1, 2, \dots, N$

Zależność estymacji E od amplitudy składowej okresowej sygnału wejściowego pokazano na rysunku 8, z którego widać, że zależność ta $E(A)$ jest funkcją monotonnie rosnącą. Oznacza to, że poprzez zastosowanie porównania $E(A)$ z pewnym progiem wartości $E(A_{prog})$, która odpowiada progowemu poziomowi amplitudy A_{nop} sygnału okresowego na wejściu, możliwe jest wykrycie okresowych sygnałów w szumach.



Rys. 8. Oszacowanie amplitudy składowej okresowej, sygnału wejściowego

Następnie detekcja sygnałów okresowych za pomocą opracowanej metody oceny dyskretnej jest opisana za pomocą wyrażeń:

$$H_0 : E(A) < E(A_{nop}) \quad (19)$$

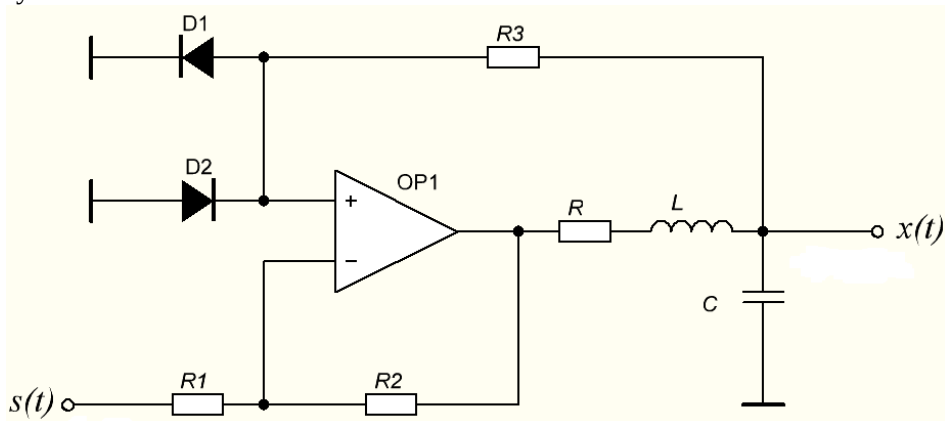
$$H_1 : E(A) > E(A_{nop}) \quad (20)$$

gdzie H_0 – hipoteza, że nie ma sygnału okresowego, H_1 – hipoteza, że istnieje sygnał okresowy; A – nieznaną amplitudą, która jest niezbędna do oszacowania wielkości przez wartość E .

Opracowanie struktury urządzenia do detekcji sygnałów okresowych z wykorzystaniem systemu przewodów w trybie chaotycznym

Przeprowadzono syntezę i wdrożenie urządzenia do wykrywania okresowych sygnałów radiowych w oparciu o metodę dyskretnej oceny trajektorii fazy

w sekcji Poincare. System Duffinga (1) jest realizowany w postaci analogowego oscylatora Duffinga, zbudowanego zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 9.



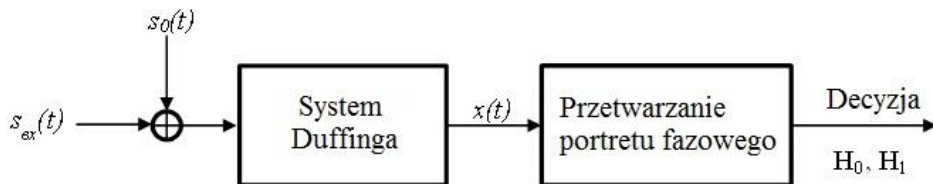
Rys. 9. Analogowe przedstawienie chaotycznego systemu Duffinga

Źródło: opracowanie własne

W obwodzie pokazanym na rysunku 9, liniowa część systemu Duffinga jest realizowana w oparciu o LC-Coal i wzmacniacz operacyjny. Część nieliniowa jest realizowana na dwóch diodach i rezystorze. Sygnałem wejściowym jest napięcie zasilające wejście inwersyjne DT. Sygnał wyjściowy to napięcie na kondensatorze C. Z sygnału wyjściowego, który jest niezbędny do budowy portretu fazowego, pochodzi prąd o indukcyjności L.

Urządzenie do szacowania amplitudy składowej okresowej sygnału wejściowego przy częstotliwości sygnału odniesienia jest realizowane na podstawie kombinatorycznego układu logicznego i bloku komparatorów niezbędnych do określenia położenie trajektorii fazy względem fraktalnej struktury sekcji Poincare.

Schemat blokowy urządzenia, który implementuje metodę detekcji sygnałów okresowych, pokazano na rysunku 10.



Rys. 10. Schemat blokowy urządzenia do wykrywania sygnału okresowego

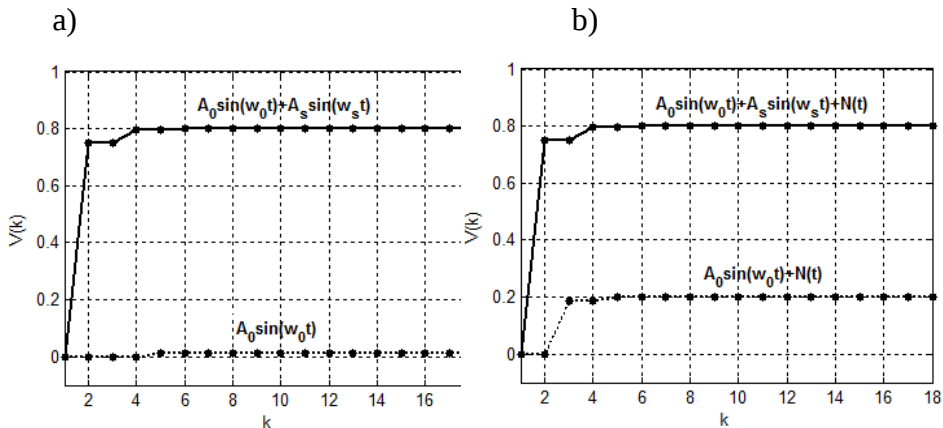
Źródło: opracowanie własne

Na schemacie – rys. 10, jednostka Przetwarzania Portretów Fazowych dokonuje dyskretnej oceny amplitudy składowej $s_{ex}(t)$ okresowej sygnału i podejmuje decyzję w sprawie H_0 lub H_1 .

Opracowane urządzenie (rysunek 10) jest badane za pomocą symulacji w środowisku oprogramowania OrCAD PSpice, jak również MATLAB/Simulink z wykorzystaniem bloków biblioteki Simscape.

W wyniku badań uzyskano stabilne wykrywanie sygnału okresowego (prawdopodobieństwo poprawnego wykrycia jest większe niż 90%) w warunkach stosunku sygnał/szum = 10 dB w mocy w zakresie częstotliwości od $0,5 \times \omega_0$ do $1,5 \times \omega_0$, gdzie: ω_0 – częstotliwość sygnału odniesienia. Modelowanie symulacyjne odbywa się w zakresie częstotliwościach od 1Hz do 500MHz. W procesie modelowania ustalono wzrost wpływu parametrów pasożytniczych elementów radiowych na częstotliwości wyższej niż 150 MHz. Przy częstotliwościach powyżej 500 MHz bardziej wskazane jest rozważenie cyfrowych implementacji dyskretnego wyświetlacza Duffinga, gdyż wpływ pasożytniczych parametrów elementów analogowych nie pozwala na jakościowe wdrożenie systemu Duffinga w tym zakresie częstotliwości.

Wydajność urządzenia cyfrowego do oceny amplitudy sygnału okresowego na wejściu systemu Duffinga pokrywa się z teoretycznymi. Typowe szacunki okresowej amplitudy sygnału bez szumów i pod wpływem szumów na wlocie systemu Duffinga pokazano na rysunku 11. Wykresy zależności $V(k)$ przedstawiają znormalizowane dyskretne oszacowanie amplitudy składowej okresowej sygnału wejściowego $V(k) = E(k) / \max(E)$, gdzie k jest numerem referencyjnym czasu oszacowania.



Rys. 11. Oszacowanie przesunięcia toru fazy w zależności od sygnału wejściowego bez zakłóceń (a) i w warunkach szumów białych przy -10 dB SNR (b)

Źródło: opracowanie własne

Z danych ujętych na rysunku 11 wynika, że wejściowy szum nieperiodyczny (-10 dB SNR) nieznacznie zwiększa przemieszczenie trajektorii fazowej względem fraktalnej struktury sekcji Poincare dla systemu Duffinga. Prowadzone badania statystyczne wskazują na stałe utrzymywanie detekcji sygnałów okresowych w określonych warunkach, dowodzi możliwości zwiększenia efektywności detekcji sygnałów okresowych za pomocą urządzeń o chaotycznej dynamice.

Wnioski

W artykule przedstawiono teoretyczne uogólnienie i nowe rozwiązanie naukowego problemu zwiększenia efektywności wykrywania okresowych sygnałów radiowych za pomocą systemów chaotycznych. W ramach tego problemu prowadzone jest poszukiwanie metod detekcji sygnałów okresowych w szumie, które łączą w sobie wysoką czułość i odporność na zakłócenia przy dość prostej praktycznej realizacji.

Najważniejsze wyniki teoretyczne i praktyczne ujęto w przedstawionych wnioskach

1. Na podstawie analizy źródeł literackich i badań eksperymentalnych stwierdzono, że obecnie w dziedzinie wykrywania słabych sygnałów okresowych w szumie metody skonstruowane w oparciu o teorię chaosu, które są realizowane w oparciu o wysoką czułość urządzeń o chaotycznej dynamice na słabe sygnały mają duże szanse. W procesie analizy ujawniono niedostateczny rozwój praktycznych zastosowań tych metod, co tłumaczy się niedoskonałością znanych metod analizy zależności sygnału wyjściowego układu chaotycznego od okresowych i nieperiodycznych składników sygnału wejściowego. Na podstawie sformułowanych wniosków postawiono zadanie naukowe – opracowanie metody wykrywania sygnału okresowego z zastosowaniem chaotycznego systemu Duffinga, bez stosowania przejścia systemu z trybu chaotycznego w tryb okresowy.
2. Teoretyczne podstawy detekcji sygnałów okresowych z wykorzystaniem systemów chaotycznych zostały rozwinięte w odniesieniu do przetwarzania sygnałów chaotycznych w sekcji Poincare. Według wyników analizy matematycznego modelu matematycznego chaotycznego systemu Duffinga, sformułowano analityczną zależność jego portretu fazowego od amplitudy sygnału okresowego na wejściu, która różni się od znanych metod uwzględnianiem samo podobieństwa struktury sekcji Poincare dla systemu chaotycznego.
3. Zastosowano model matematyczny procesu detekcji sygnałów okresowych z wykorzystaniem chaotycznego systemu Duffinga, który w przeciwieństwie do znanego, uwzględnia przemieszczenie trajektorii fazowej wzdłuż fraktalnej

struktury sekcji Poincare pod wpływem okresowych składników sygnału wejściowego. To znacznie zmniejsza minimalny stosunek sygnału do szumu wymagany do wykrycia danej amplitudy i częstotliwości na wejściu chaotycznego układu okresowego sygnału.

4. Opracowano metodę wykrywania sygnału okresowego za pomocą chaotycznego systemu Duffinga, który w odróżnieniu od znanych nie wykorzystuje przejścia systemu z trybu chaotycznego do okresowego w celu wskazania obecności sygnału okresowego na wejściu danej amplitudy i częstotliwości. Eliminuje to wady spowodowane niestabilnością trybu krytycznego i niską czułością w trybie okresowym.
5. Opracowano metodę dyskretnej oceny przemieszczenia trajektorii fazowej systemu Duffinga w sekcji Poincare, która różni się tym, że uwzględnia właściwości fraktalne struktury sekcji Poincare systemu Duffinga w chaotycznym trybie oscylacji. Opracowana metoda pozwala na syntezę cyfrowych urządzeń do analizy wpływu okresowych sygnałów wejściowych na portret fazowy systemu Duffinga, co pozwala na uproszczenie praktycznej realizacji detekcji sygnałów okresowych z zastosowaniem układu chaotycznego.
6. Opracowano urządzenie do wykrywania sygnałów okresowych, które działa w oparciu o opracowaną metodę wykrywania sygnałów okresowych z wykorzystaniem systemu Duffinga w trybie chaotycznym. Struktura urządzenia składa się z części analogowej, w skład której wchodzi system Duffinga zaimplementowany na diodach i wzmacniacz operacyjny oraz części cyfrowej, która przeprowadza dyskretną ocenę przemieszczenia trajektorii fazowej systemu Duffinga w sekcji Poincare za pomocą opracowanej metody i podaje kod binarny sygnalizujący obecność lub brak sygnału okresowego na wejściu danej amplitudy i częstotliwości. Zaprojektowane urządzenie zapewnia możliwość detekcji sygnałów okresowych przy minimalnym stosunku sygnał/szum 1,8 razy niższym od znanych urządzeń opartych na układach chaotycznych.

Literatura

- [1] Zhu S., *Study on Weak Signal Detection Methods*, Proc. 2nd Int. Conf. Green Commun. Networks, vol. 3, 2012, p. 553–60. doi:10.1007/978-3-642-35419-9;
- [2] Sklar B., *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, 2008;
- [3] Tandra R, Sahai A., *SNR walls for signal detection*. IEEE J Sel Top Signal Process 2008;2:4–17. doi:10.1109/JSTSP.2007.914879;
- [4] *Fundamentals, SP. Signal Processing Fundamentals*. Signal Processing, 1997;6:1–10. doi:10.1118/1.1455742;
- [5] Dutoit T, Marqués F., *Applied Signal Processing*, 2010. doi:10.1007/978-0-387-74535-0;

- [6] *Signal AD. Advanced Digital Signal Processing*, Order A J Theory Ordered Sets Its Appl 2002;
- [7] Tikhonov AN., *On the stability of inverse problems*, Dokl Akad Nauk SSSR 1943;39:195–198;
- [8] Tikhonov AN., “Solution of incorrectly formulated problems and the regularization method.” Sov Math 1963;4:1035–1038. doi:10.1557/PROC-1201-H02-06;
- [9] Shannon CE., *A Mathematical Theory of Communication*, Bell Syst Tech J 1948;27:623–56. doi:10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x.
- [10] Shannon CE., *Communication in the Presence of Noise*, Proc IRE 1949;37:10–21. doi:10.1109/JRPROC.1949.232969;
- [11] Ying CJ, Moses RL, Steedly WM., *Low-SNR statistical analysis of signal and extraneous modes for TLS damped exponential modeling*, IEEE Trans Signal Process 1997;45;
- [12] Zhang Z, Yang W, Ding Q., *Communication signal processing at low SNR using higher-order spectrum*, Proc. - 4th Int. Conf. Nat. Comput. ICNC 2008, vol. 1, 2008, p. 65–9. doi:10.1109/ICNC.2008.62;
- [13] Marino CS, Chau PM., “Signal processing for low” SNR digital communications, 2002, p. 1007–11. doi:10.1109/acssc.1998.751414;
- [14] Costa AH, Enríquez-Caldera R, Tello-Bello M, Bermúdez-Gómez CR. *High resolution time-frequency representation for chirp signals using an adaptive system based on duffing oscillators*, “Digit Signal Process A Rev” J 2016;55:32–43. doi:10.1016/j.dsp.2016.04.008;
- [15] Kak AC, Slaney M., 2. *Signal Processing Fundamentals*, Princ. Comput. Tomogr. Imaging, 2011, p. 5–47. doi:10.1137/1.9780898719277.ch2;
- [16] Zha BT, Zhang H, Wang JH, Guo J., *Design of Amplifying Circuit for Receiving Weak Signal for Laser Fuze*, Appl Mech Mater 2013;300–301:1012–7. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.300-301.1012;
- [17] Caloz C, Gupta S, Zhang Q, Nikfal B., *Analog signal processing*, IEEE Microw Mag 2013;14:87–103. doi:10.1109/MMM.2013.2269862;
- [18] Twigg C, Hasler P., *Configurable analog signal processing*, Digit Signal Process A Rev J 2009;19:904–22. doi:10.1016/j.dsp.2007.09.013;
- [19] Fainman Y, Tan D, Grieco A, Zamek S, Ikeda K, Fang L, et al. *Analog signal processing/filtering*, IEEE Photonic Soc. 24th Annu. Meet. PHO 2011, 2011, p. 141–2. doi:10.1109/PHO.2011.6110465;
- [20] CARR JJ., *Analog Signal Processing Circuits. Des. Handb. Instrum. Control Circuits*, 2014, p. 385–411. doi:10.1016/b978-0-12-160640-4.50020-4;
- [21] Grosch., *Low Noise Amplifier Design. Small Signal Microw*, Amplif. Des., 2013, p. 233–51. doi:10.1049/sbew032e_ch9;
- [22] Adl S, Peckerar M., *Low-noise signal processing chain for high capacitance sensors*, IEEE Sens J 2008;8:1864–70. doi:10.1109/JSEN.2008.2006258;

- [23] Signal MR., *Signal, Noise, Signal-to-Noise, and Contrast-to-Noise Ratios*, Breast MRI 2008:93–111. doi:10.1007/978-0-387-73507-8_7;
- [24] Lee W, Afshari E., *Low-noise parametric resonant amplifier*, IEEE Trans Circuits Syst I Regul Pap 2011;58:479–92. doi:10.1109/TCSI.2010.2072370;
- [25] Josten A, Baeuerle B, Leuthold J., *Coherent Reception of NFDM Signals on a Single FPGA-Board Enabled by Low Complexity Algorithms*, 2017, p. M2H.4. doi:10.1364/acpc.2017.m2h.4;
- [26] Tkachenko MM., *Low-frequency noise in polycrystalline elements of semiconductor devices*, Int. Conf. Microelectron. Microelectron. '92, vol. 1783, 2004, p. 213. doi:10.1117/12.131022;
- [27] Krause C, Drung D, Götz M, Scherer H., *Noise-optimized ultrastable low-noise current amplifier*, Rev Sci Instrum 2019;90. doi:10.1063/1.5078572;
- [28] Lin TT., *A novel beamforming for coherent signal reception*, ISAPE 2000 - 2000 5th Int. Symp. Antennas, Propag. EM Theory, Proc., 2000, p. 599–602. doi:10.1109/ISAPE.2000.894858;
- [29] Vaseghi S V., *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction*, 2008, doi:10.1002/9780470740156;
- [30] Cai Y., *Discrete Time Signal Processing Tutorial*, Book 1999, doi:10.1109/PROC.1969.7178;
- [31] Boehm S, Schumacher K, Goelz D, Meissner P., *PMD compensation with coherent reception and digital signal processing*, Conf. Lasers Electro-Optics, 2007, CLEO 2007, 2007, doi:10.1109/CLEO.2007.4453455;
- [32] Bottomley GE, Cozzo C., *Coherent rake reception using noisy channel estimates*, 2005, p. 1801–5. doi:10.1109/vetecf.2004.1400346;
- [33] Zhang L, So HC, Ping L, Liao G., *Effective beamformer for coherent signal reception*. Electron Lett 2003;39:949. doi:10.1049/el:20030648;
- [34] Centurion M, Tsang M, Psaltis D., *Nonlinear signal processing*. Conf. Proc. - Lasers Electro-Optics Soc. Annu. Meet., vol. 2005, 2005, p. 434–5. doi:10.1109/LEOS.2005.1548064;
- [35] Poularikas AD. *Nonlinear filtering*. Discret. Random Signal Process. Filter. Prim. with Matlab®, 2018, p. 209–46. doi:10.1201/9781315218564-8;
- [36] Julier SJ, Uhlmann JK., *Unscented filtering and nonlinear estimation*, Proc. IEEE, vol. 92, 2004, p. 401–22. doi:10.1109/JPROC.2003.823141;
- [37] Wysocki T, Honary B, Wysocki BJ., *Signal processing for telecommunications and multimedia*, 2005;
- [38] Antoniou A. *Digital Signal Processing - Signals, Systems and Filters*. 2006;
- [39] Bonet-Dalmau J, López-Riera A, Palá-Schönwalder P, Moncunill-Geniz FX, Babí-Oller A., *Design and performance comparison of a superregenerative MPSK transceiver*, proc. IEEE Int. Conf. Electron. Circuits, Syst., vol. 2016–March, 2016, p. 169–72. doi:10.1109/ICECS.2015.7440276;
- [40] Jeremy E, Keng N., *Ultra-low phase noise crystal oscillators*, Proc. IEEE Int. Freq. Control Symp. Expo., 2007, p. 1246–50. doi:10.1109/FREQ.2007.4319276;

- [41] Hung, Cherng Y. CMOS Nonlinear Signal Processing Circuits. *Adv. Solid State Circuit Technol.*, 2012. doi:10.5772/8630;
- [42] Itoh M. SYNTHESIS OF ELECTRONIC CIRCUITS FOR SIMULATING NONLINEAR DYNAMICS. *Int J Bifurc Chaos* 2001;11:605–53. doi:10.1142/S0218127401002341;
- [43] Nonlinear Filtering Theory. *Math Sci Eng* 1970;64:162–93. doi:10.1016/S0076-5392(09)60375-1;
- [44] Duncan TE. Filtering and Estimation, Nonlinear. *Wiley Encycl. Electr. Electron. Eng.*, 2005. doi:10.1002/047134608x.w1013;
- [45] Reza Moghimi. Curing Comparator Instability with Hysteresis. *Analog Dialogue* 2000;80:34–7;
- [46] Beom Cho Y, Tsuchiya K, Takefuji Y., *CMOS analog/digital circuit of the hysteresis McCulloch-Pitts neuron for Ramsey numbers.*, *Analog Integr Circuits Signal Process* 1992;2:313–22. doi:10.1007/BF00228714;
- [47] Newcomb RW. Semistate design theory - Binary and swept hysteresis. *Circuits, Syst Signal Process* 1982;1:203–16. doi:10.1007/BF01600052;
- [48] Fraser A., *Chaos and detection*, *Phys Rev E* 1996;53:4514–23. doi:10.1103/PhysRevE.53.4514;
- [49] Dedieu H, Ogorzałek M., *Chaos-Based Signal Processing*, *Int J Bifurc Chaos* 2003;10:737–48. doi:10.1142/s0218127400000517;
- [50] Zhang G-W, Shi W-K, Ji X-J, Zhang Z-J., *Chaos theory for information detection. Proc. Second Int. Symp. Instrum. Sci. Technol.*, vol. 3, 2002;
- [51] Liu HG, Liu XL, Yang JH, Sanjuán MAF, Cheng G., *Detecting the weak high-frequency character signal by vibrational resonance in the Duffing oscillator*, *Nonlinear Dyn* 2017;89:2621–8. doi:10.1007/s11071-017-3610-2;
- [52] Li C, Xu X, Ding Y, Yin L, Dou B., *Weak photoacoustic signal detection based on the differential duffing oscillator*, *Int J Mod Phys B* 2018;32:1850103. doi:10.1142/S0217979218501035;
- [53] Lai Z, Leng Y., *Weak-signal detection based on the stochastic resonance of bistable Duffing oscillator and its application in incipient fault diagnosis*, *Mech Syst Signal Process* 2016;81:60–74. doi:10.1016/j.ymssp.2016.04.002;
- [54] Wei C, Chen M, Cheng W, Zhe Z. *Summary on weak signal detection methods based on chaos theory*, *ICEMI 2009 - Proc. 9th Int. Conf. Electron. Meas. Instruments*, 2009, p. 1430–5. doi:10.1109/ICEMI.2009.5274836;
- [55] Martynyuk V, Fedula M, Balov O., *Periodic Signal Detection with Using Duffing System Poincare Map Analysis*, *Adv Sci Technol Res J* 2014;8:26–30. doi:10.12913/22998624.1105158;
- [56] Martynyuk V, Fedula M., *Weak Periodic Signal Detection with the Fractional Order Modified Duffing-Holmes System*, *Visn NTUU KPI, Ser Radiotekh Radioaparatabuduv* 2013:13–22;
- [57] Korneta W, Garcia-Moreno E, Sena AL., *Noise activated dc signal sensor based on chaotic Chua circuit*, *Commun Nonlinear Sci Numer Simul* 2015;24:145–52. doi:10.1016/j.cnsns.2014.12.010;

- [58] Song T, Cattani C., *Fast detection of weak singularities in a chaotic signal using Lorenz system and the bisection algorithm*, Math Probl Eng 2012;2012. doi:10.1155/2012/102848;
- [59] Deng C, Zhang S., *The weak signal detection based on chaos and genetic algorithms*, 2nd Int. Symp. Inf. Sci. Eng. ISISE 2009, 2010, p. 583–6. doi:10.1109/ISISE.2009.47;
- [60] Prandoni P, Vetterli M., *Signal Processing for Communications*, 2008, doi:10.1109/GLOCOM.2005.1578356;
- [61] Madisetti VK, Madisetti V., *Digital Signal Processing Fundamentals*, DSP 2009:906. doi:10.1201/9781420046076;
- [62] Zadeh LA., *Theory of Filtering*, J Soc Ind Appl Math 2005;1:35–51. doi:10.1137/0101003;
- [63] Linear systems. Pure Appl Math 1980;94:80–108. doi:10.1016/S0079-8169(08)61576-7;
- [64] Brereton RG., *3 Signal Processing*, vol. 8. 2003;
- [65] Glad ST., *Nonlinear system theory*, Automatica 2003;23:545–6. doi:10.1016/0005-1098(87)90085-9;
- [66] Nonlinear System Analysis. 2016. doi:10.1016/b978-0-121-04350-6.x5001-5;
- [67] Moudgalya KM., *Linear System. Digit, Control*, 2007, p. 33–59. doi:10.1002/9780470517109.ch3;
- [68] Liu F, Wang JF, Wang W., *Frequency sensitivity in weak signal detection*. Phys Rev E - Stat Physics, Plasmas, Fluids, Relat Interdiscip Top 1999;59:3453–60. doi:10.1103/PhysRevE.59.3453;
- [69] Le B, Liu Z, GU T., *Chaotic Oscillator and Other Techniques for Detection of Weak Signals*, IEICE Trans Fundam2005;E88–A:2699–701.doi:10.1093/ietfec/e88-a.10.2699;
- [70] Peng LU, Yue LI., *A Modified Chaos Based Weak Sinusoidal Signal Amplitude Detection Approach*, 2005;33:527–9;
- [71] Zhao W, Zhao J, Huang Z, Meng Q., *Weak signal detection technology based on Holmes Duffing oscillator*, Procedia Eng., vol. 29, 2012, p. 1796–802. doi:10.1016/j.proeng.2012.01.215;
- [72] Paulo Carmo J., Carlos Ribeiro J., Mateus Mendes P., Higinio Correia J., *Super-regenerative receiver at 433 MHz*, Microelectronics J 2011;42:681–7. doi:10.1016/j.mejo.2011.02.009;
- [73] McNamara B, Wiesenfeld K., *Theory of stochastic resonance*, Phys Rev A 1989;39:4854–69. doi:10.1103/PhysRevA.39.4854;
- [74] Blümich B., *Stochastic NMR imaging*, J Magn Reson 1984;60:37–45. doi:10.1016/0022-2364(84)90023-4;
- [75] Gammaitoni L., Hanggi P., Jung P., Dykman MI, Luchinsky DG, Mannella R., et al. *Stochastic resonance*, Rev Mod Phys 1998;70:223–87. doi:10.1103/RevModPhys.70.223;

- [76] Yao Y, Ma J., *Weak periodic signal detection by sine-Wiener-noise-induced resonance in the FitzHugh–Nagumo neuron*, Cogn Neurodyn 2018;12:343–9. doi:10.1007/s11571-018-9475-3;
- [77] Mcnamara B, Wiesenfeld K., *Theory Of Stochastic Resonance*, Phys Rev A 1989;39:4854–69. doi:10.1103/PhysRevA.39.4854;
- [78] Kallianpur G., *Stochastic filtering theory*, Adv Appl Probab 2016;11:264. doi:10.1017/s0001867800031967;
- [79] Thomson JMT, Stewart HB., *Nonlinear Dynamics and Chaos*, John Wiley & Sons, Ltd; 2002;
- [80] Kovacic I, Brennan MJ., *The Duffing Equation: Nonlinear Oscillators and their Behaviour*, 2011. doi:10.1002/9780470977859;
- [81] Jalilvand A, Fotoohabadi H., *The application of duffing oscillator in weak signal detection*, Trans Electr Eng Electron Commun 2011;9;
- [82] Wang J., Zhou J., Peng B., *Weak signal detection method based on Duffing oscillator*, Kybernetes 2009;38:1662–8. doi:10.1108/03684920910994015.

2. Metoda Oliver’a i Pharr’a do określenia właściwości mikromechanicznych materiałów

Wprowadzenie

Metoda opracowana w latach 70. XX wieku przez W.C. Oliver’a i G.M. Pharr’a. Dzięki niej możemy wyznaczyć właściwości mechaniczne materiałów przez wciskanie wgłębnika. Dokładność tej metody uzależniona głównie od dokładności pomiarowej urządzeń. Zaletą stosowania metody jest możliwość wyznaczenia właściwości mechanicznych materiału z wykresu zależności przyłożonej siły od przemieszczenia wgłębnika. Dzięki bardzo dokładnym urządzeniom mierniczym jesteśmy w stanie określić właściwości materiałów w skali mikrometrycznej lub nawet w nanometrycznej. Głównymi właściwościami mierzonymi tą metodą są moduł Younga i twardość.

Zakres stosowania metody Oliver’a i Pharr’a

Metodę Oliver’a i Pharr’a można stosować do badania właściwości mechanicznych przy oddziaływaniu sprężysto-plastycznym indentora z materiałami o różnej i jednolitej strukturze. Przy badaniach należy pamiętać o zachowaniu odpowiedniej grubości badanych materiałów jak i doborze wielkości wgłębnika oraz siły działającej na próbkę. Nie dostosowanie się do tego może skutkować błędnymi wynikami, a nawet całkowitym zniszczeniem próbki [1].

⁵ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, student 1 roku (II stopień) Edukacji Techniczno-Informatycznej, albert.blatt@edu.pollub.pl

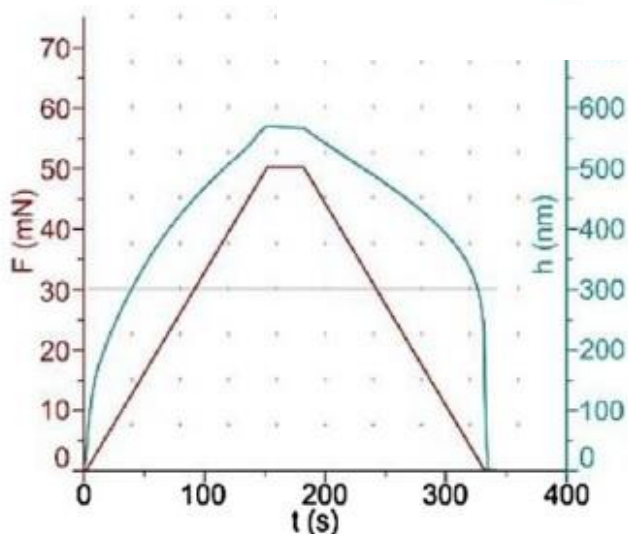
⁶ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, m.paszeczko@pollub.pl

⁷ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, b.buraczynska@pollub.pl

W przypadku powłok głębokość penetracji wgłębnikami ostrymi nie powinna przekraczać 10÷20% grubości. W przeciwnym razie odkształcenia wywierane przez wgłębnik mogą pojawić się podłożu [2].

Metoda badania

Wyznaczanie właściwości materiału odbywa się przez stopniowe wciskanie trzpienia pomiarowego w badany materiał, wytrzymanie przy maksymalnej sile, a następnie jego odciążenie. Przykładowy wykres pokazano na rysunku 1.

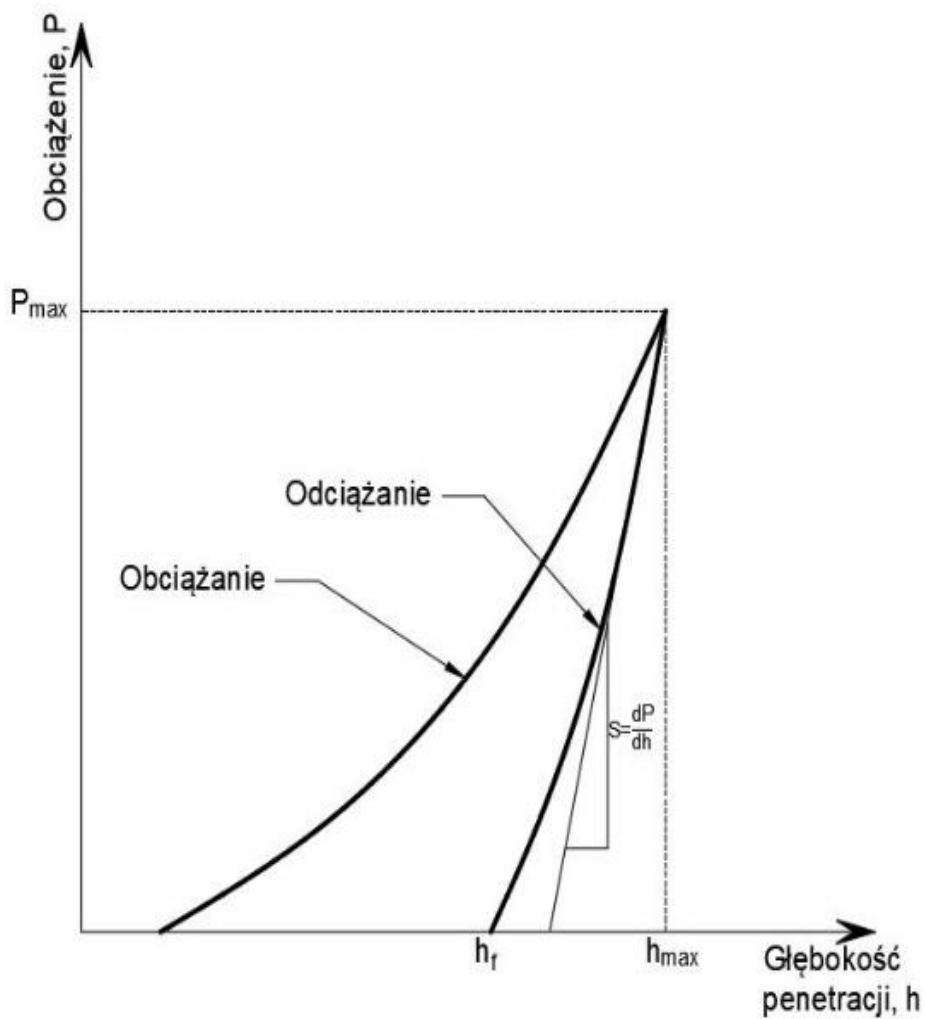


Rys. 1 Wykres zależności siły od czasu [3]

Podczas obciążania (wciskania) i odciążania wgłębnika powstaje wykres zależności przyłożonej siły od głębokości penetracji (rys. 2). Z rys. 2 odczytujemy parametry potrzebne do obliczeń modułu Younga i twardości. Parametry te odczytywane są z krzywej wykresu przy odciążaniu, ponieważ występują na niej tylko naprężenia sprężyste.

Parametry odczytywane z wykresu to:

- obciążenie maksymalne – $P_{\max}$;
- przemieszczenie maksymalne wgłębnika – $h_{\max}$;
- sztywność kontaktowa podczas odciążania próbki – S , którą możemy również zapisać jako pierwszą pochodną siły po przemieszczeniu.



Rys. 2 Przykładowy wykres zależności przyłożonej siły od głębokości penetracji wglębniaka

Krzywą odciążającą może zostać aproksymowana do funkcji wykładniczej, która ma postać:

$$P = \alpha (h - h_f)^m \quad (1)$$

gdzie:

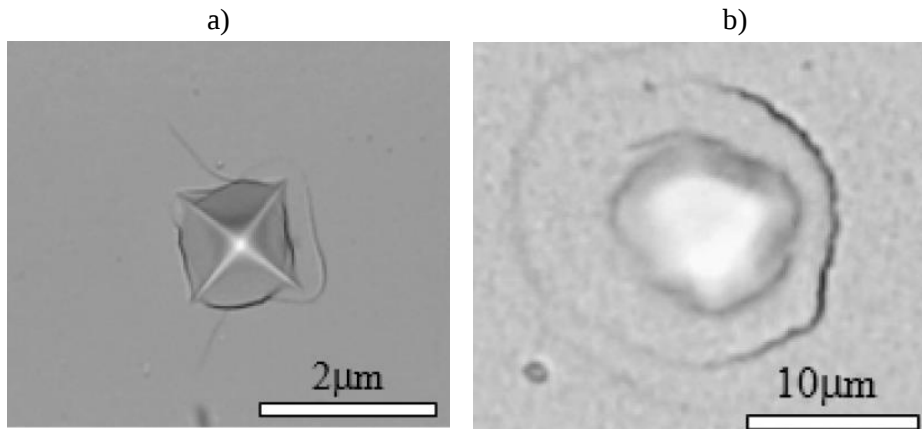
α , h_f i m – parametry funkcji wykładniczej;
 h – argument funkcji wykładniczej.

Parametr h_f jest współczynnikiem, który decyduje o przesunięciu wykresu wzdłuż osi x . Gdy wykres funkcji zaczyna się od początku układu współrzędnych, wówczas h_f przyjmuje wartość 0.

Parametr m jest odpowiedzialny za jednorodność materiału i zawiera się w przedziale $1 \div 2$. Dla materiału idealnie jednorodnego wartość m wynosi 2, lecz w rzeczywistości na podstawie badań [1] współczynnik m zawiera się w przedziale $1,2 \div 1,6$. Parametr α odpowiedzialny jest za pochylenie funkcji.

Stosowane wgłębniki

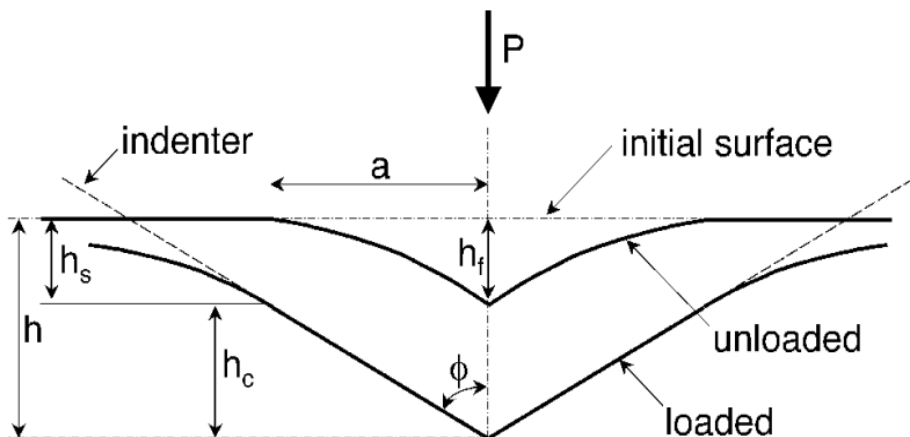
Stosować można różne wgłębniki, należy jednak znać dla nich funkcję pola lub inaczej zwaną funkcję kształtu wgłębnika, zależącą od głębokości rzeczywistego kontaktu. Zaleca się używanie wgłębników znormalizowanych takich jak: Berkovich'a, Vickers'a czy sferycznego. Dla różnych typów wgłębników występują różne odciski (rys. 3).



Rys. 3 Odciski po próbach wciskania wgłębników: Vickers'a (a), sferycznego (b) [2]

Wyznaczanie modułu Younga

Ogólny wygląd odcisku i jego parametry podano na rys. 4.



Rys. 4 Schemat ilustrujący odcisku przy obciążeniu i odciążeniu wgłębnika [1]

Z założeń o zachowaniu wgłębnika i materiału na powierzchniach styku oraz zaniedbaniu efektu spiętrzania się materiału, formułuje się zależność:

$$h_s = \epsilon \frac{P_{\max}}{S} \quad (2)$$

gdzie:

ϵ – stała geometrii wgłębnika;

$P_{\max}$ – maksymalna przyłożona siła;

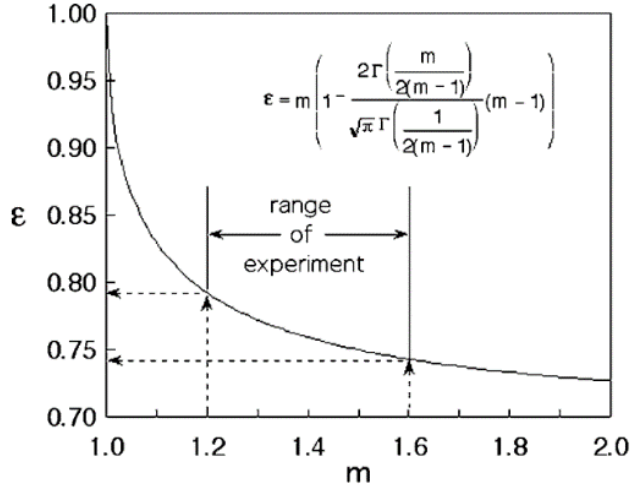
S – sztywność kontaktowa.

Zatem głębokość rzeczywistego kontaktu można zapisać jako:

$$h_c = h_{\max} - \epsilon \frac{P_{\max}}{S} \quad \text{dla wgłębnika Berkovich'a} \quad (3)$$

$$h_c = \frac{h_{\max} - h_f}{2} \quad \text{dla wgłębnika sferycznego} \quad (4)$$

Stałą geometryczną wgłębnika wyznacza się z funkcji gamma od parametru m . Jej zakres waha się w przedziale $1,2 \div 1,6$, a wartość ϵ oscyluje w granicach $0,74 \div 0,79$. Dlatego do obliczeń zaleca się przyjmowanie wartości $0,75$.



Rys. 5 ϵ od wartości parametru m [Wykres zależności stałej geometrycznej 1]

Kolejnym parametrem jaki należy wyznaczyć jest pole kontaktu. Do jego wyznaczenia potrzebna jest funkcja pola lub inaczej zwana funkcja kształtu wgłębnika, która zależy od rodzaju wgłębnika i głębokości rzeczywistego kontaktu.

$$A = F(h_c) \quad (5)$$

Sztwność kontaktową obliczamy za pomocą wzoru:

$$S = \beta \frac{2}{\sqrt{\pi}} E_r \sqrt{A} \quad (6)$$

gdzie:

β – współczynnik, który uwzględnia dewiacje sztywności, która zwykle mieści się w przedziale $1.0226 \div 1.085$, z reguły przyjmuje się 1.05 , który jest dobrym wyborem dla większości materiałów [1];

E_r – efektywny moduł sprężystości.

Przez porównanie wzoru (6) oraz pochodnej sztywności kontaktowej możemy wyznaczyć efektywny moduł sprężystości:

$$\beta \frac{2}{\sqrt{\pi}} E_r \sqrt{A} = \alpha m (h - h_f)^{m-1} \quad (7)$$

$$E_r = \frac{\alpha m (h - h_f)^{m-1}}{\beta \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{A}} \quad (8)$$

Wyznaczenie efektywnego modułu sprężystości daje nam możliwość wyliczenia modułu Younga z zależności:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - v^2}{E} + \frac{1 - v_i^2}{E_i} \quad (9)$$

gdzie:

E_i – moduł Younga wgłębnika;

v_i – współczynnik Poissona wgłębnika;

E – moduł Younga badanego materiału;

v – współczynnik Poissona badanego materiału.

Wzór (9) wiąże w jedną całość odkształcenia jakie występują w badanym materiale i wgłębniku podczas odciażania.

Po przekształceniu wzoru (9) otrzymujemy:

$$E = \frac{(1 - v^2)}{\frac{1}{E_r} - \frac{1 - v_i^2}{E_i}} \quad (10)$$

Wyznaczanie twardości:

Twardość materiałów wyznacza się ze wzoru:

$$H = \frac{P_{max}}{A} \quad (11)$$

gdzie:

P_{max} – maksymalna przyłożona siła;

A – powierzchnia pola zależna od głębokości rzeczywistego kontaktu, wyznaczana z funkcji pola wgłębnika.

Podsumowanie

Metoda Oliver'a i Pharr'a może być stosowana jako nieinwazyjna metoda wyznaczania modułu Younga oraz twardości, która daje możliwość otrzymania wyników zbliżonych do rzeczywistości, a nie jest metodą niszczącą – nie uszkadza materiału. Dokładność wyniku zależy głównie od dokładności pomiarowych urządzeń zastosowanych do jej przeprowadzenia. Należy pamiętać również o odpowiedniej ilości przeprowadzonych prób, ponieważ mogą występować miejscowe zniekształcenia jednorodności materiałów, a przez to wyniki mogą być obciążone dużym błędem.

Literatura

- [1] W.C. Olivier, G.M. Pharr, *Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology*, J. Mater. Res., Vol. 19, No. 1, 2004; 3–20;
- [2] M. Kot, *Analiza właściwości mechanicznych układów powłoka – podłoże z użyciem metody indentacji z wykorzystaniem wgnębników o różnej geometrii*, Tribologia, 236, 2011; 47–60;
- [3] G.G. Gorokha, M.I. Pashechko, J.T. Borc i inni, *Matrix coatings based on anodic alumina with carbon nanostructures in the pores*, Applied Surface Science, vol. 433, 2018; 829–835.

3. Technologia BIM w projektowaniu inteligentnych budynków

Słowa kluczowe: systemy KNX/EIB, budynki inteligentne, modelowanie informacji o budynku

Streszczenie: BIM jest podstawą integracji realizacji inwestycji. W celu zapewnienia ekonomicznego użytkowania i utrzymania budynku wymaga wszechstronnego podejścia do procesu jego projektowania i realizacji. O wysokości standardu budynku decyduje obecność zautomatyzowanych instalacji elektrycznych. W niniejszym artykule omówiono problematykę zastosowania modeli cyfrowych do projektowania inteligentnych budynków. Obejmuje ona między innymi integrację wszystkich instalacji elektrycznych w nim usytuowanych. Obecnie na etapie projektowym, trójwymiarowe modele służą do koordynacji międzybranżowej (umożliwiają wyszukiwanie kolizji). Wirtualizacja obiektów umożliwia minimalizację ryzyka, pozwala na wyeliminowanie trudności, które mogą wystąpić w przypadku tradycyjnych systemów CAD. Przedstawiono również podstawowe narzędzia współczesnego projektanta oraz metodykę wykonywania projektów inteligentnych instalacji.

BIM technology in the design of intelligent buildings

Keywords: KNX / EIB systems, intelligent buildings, building information modeling

Abstract: BIM is the basis for the integration of investment implementation. To ensure the economical use and maintenance of a building, it requires a comprehensive approach to the design and implementation process. Building's standard is determined by the presence of automated electrical installations. This article discusses the use of digital models for the design of intelligent buildings. It includes, among others, the integration of all electrical installations located in it. Currently, at the design stage, three-dimensional models are used for inter-branch coordination (they enable collision search). Virtualization of objects allows risk minimization, eliminates the difficulties that may occur with traditional CAD systems. Also presented are the basic tools of the modern designer and the methodology for making intelligent installation projects.

Wstęp

W związku z dynamicznym rozwojem sprzętu komputerowego proces konstruowania coraz częściej jest komputerowo wspomagany na każdym etapie.

⁸ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, m.horynski@pollub.pl

⁹ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra podstaw Techniki, a.urzedowski@pollub.pl

Projektowaniem nazywamy zespół czynności związanych z opracowaniem dokumentacji projektowo-kosztorysowej, czyli zespołu dokumentów określających rozwiązanie zagadnień technicznych, organizacyjnych i ekonomicznych projektowanego obiektu. Do wspomagania wykorzystywane są popularne programy ogólnego przeznaczenia, będące produktem masowym, jak i wyspecjalizowane programy z rodziny CAD (ang. Computer-Aided Design – komputerowo wspomagane projektowanie), CAM (ang. Computer-Aided Manufacturing – komputerowo wspomagana produkcja) lub programy zintegrowane CAD/CAM. Istnieją także programy jednostkowe tworzone w zależności od potrzeb.

Programy CAD dzieli się na dwie grupy: dwuwymiarowe CAD–2D oraz trójwymiarowe CAD–3D. Stosowanie którejś z ww. grup związane jest z zamierzonym celem. Często jednak wykonując projekt dwuwymiarowy korzysta się z programów 3D np. AutoCAD ze względu na ich popularność oraz uniwersalność polegającą na istnieniu szeregu tzw. nakładek branżowych np. dla mechaników, elektryków czy architektów. Pozwala to na łatwiejszą współpracę specjalistów różnych branż.

Programy CAD tworzone są w celu zastąpienia pracy przy desce kreślarskiej pracą przy ekranie komputera. Etapy tworzenia dokumentacji są analogiczne do projektowania przy użyciu metod tradycyjnych. Ogólną zasadą jest stworzenie szeregu rysunków technicznych stanowiących projekt. Jedyną różnicą jest to, iż rysunki na etapie projektowania przechowywane są w formie elektronicznej a nie na papierze czy kalce. Efektem finalnym jest dokumentacja techniczna na papierze, identyczna zarówno w przypadku projektowania komputerowego jak i tradycyjnego.

Zasadniczą zaletą projektowania przy użyciu metod komputerowych jest szybkość i łatwość wprowadzania zmian w projekcie oraz łatwość tworzenia różnych wariantów jednego projektu. Dodatkowo proces projektowania odbywa się w przestrzeni wirtualnej, dlatego nie trzeba pamiętać o utrzymywaniu skali rysunku. Po dokonaniu ustawień obszaru oraz jednostek rysowanie odbywa się zawsze w skali 1:1 a efekt końcowy zależy od ustawień wydruku. Większość programów CAD posiada polecenia do tworzenia punktów, linii, krzywych, okręgów, elips, łuków i wielokątów a programy z możliwością tworzenia grafiki trójwymiarowej dodatkowo sferę, prostopadłościan, ostrosłup, stożek. Utworzone z tych obiektów rysunki mogą być odpowiednio edytowane w celu osiągnięcia odpowiedniego efektu.

Typowa lista funkcji na obiektach to: usuwanie, przesuwanie, kopiowanie, obracanie, tworzenie odbić lustrzanych, rozciąganie, obcinanie, zaokrąglanie, fazowanie, kreskowanie, wypełnianie, łączenie obiektów ze sobą – część wspólna, suma, różnica.

Istotną funkcją jest możliwość tworzenia tzw. bloków, czyli definiowania i zapisywania w pamięci często powtarzających się obiektów np. symboli elektrycznych tworząc w ten sposób biblioteki elementów.

Programy CAD dają możliwość korzystania z tzw. warstw, na których rysowane są poszczególne części rysunku. Daje to dużą wygodę, ponieważ warstwy można wyświetlać lub nie. Można też niektóre z nich zablokować, aby pochopnie nie wprowadzić zmian. Istnieje możliwość przyporządkowania warstwom kolorów, rodzaju linii, czcionki itp. Dodatkową zaletą jest to, że można ustawić czy dana warstwa ma znaleźć się na wydruku czy nie.

Oprócz wyżej wymienionych możliwości większości programów CAD istotnym jest, że w zależności od przeznaczenia programy posiadają funkcje automatyzowania niektórych czynności np. wymiarowanie, sprawdzanie wytrzymałości, tworzenie wykresów lub kolorowych map rozkładu danej wartości np. natężenia oświetlenia, naprężeń itp. W przypadku programów przeznaczonych dla elektryków programy sprawdzają poprawność połączeń. Niektóre oprócz wykonywania skomplikowanych obliczeń oferują także tworzenie zestawienia materiałów.

Udogodnienia, jakie oferują programy z rodziny CAD znacznie skracają proces projektowania pod warunkiem dobrego opanowania obsługi programu. Komputerowe wspomaganie projektowania instalacji elektrycznych, jest niezwykle ważnym elementem procesu inwestycyjnego.

Wraz z rozwojem instalacji elektrycznych i pojawieniem się tzw. inteligentnych instalacji elektrycznych, oprócz tradycyjnych „narzędzi programowych projektanta” w rodzaju programów z rodziny CAD, powstały programy służące, poza tworzeniem schematu instalacji, również do uruchomienia, sprawdzenia poprawności działania oraz diagnozowania jej stanu.

Coraz większą popularność wśród projektantów zyskuje praca w środowisku BIM. Pod tym akronimem kryje się Building Information Modeling (modelowanie informacji o budynku). Ta spopularyzowana już w Wielkiej Brytanii, Stanach Zjednoczonych i krajach skandynawskich metodologia polega na projektowaniu wielobranżowym z wykorzystaniem inteligentnego wirtualnego sparametryzowanego modelu budynku. Dane zgromadzone w rodzinach pozwalają na prowadzenie prac projektowych w znacznie szerszym zakresie niż dostępne jest to z poziomu modelu 3D obiektu stworzonego z wykorzystaniem komputerowego wspomaganie projektowania. Kolejnymi zestawami parametrów, które mogą być generowane na podstawie informacji zapisanych w rodzinach są 4D – harmonogram prac, 5D – kosztorys, 6D – adaptacja obiektu do wymagań budownictwa zrównoważonego, 7D – zarządzanie nieruchomością.



Rys. 1. Wybrane zastosowania systemu EIB w domu jednorodzinnym

Środowisko BIM pozwala na prowadzenie prac międzybranżowych na modelu centralnym, zarządzanym przez menadżera projektu. Projektanci systemów i instalacji wodno-kanalizacyjnych, gazowych, elektrycznych czy ciepłowniczych i wentylacyjnych prowadzą swoje prace również z wykorzystaniem modeli trójwymiarowych. Takie podejście pozwala na unikanie kolizji już na etapie projektu, oraz korzystanie z informacji zgnieżdżonych w rodzinach udostępnianych przez producentów. Środowiska programów do pracy w BIM pozwalają na projektowanie w systemie KNX/EIB z wykorzystaniem udostępnionych baz danych. Dzięki tej zaawansowanej technologii, rewolucjonizującej sektor budownictwa, możliwe jest gromadzenie, dokonywanie syntezy i udostępnianie ogromnych ilości danych odnośnie określonego projektu lub grupy projektów.

Inteligentne budownictwo

W Polsce idea inteligentnego budownictwa zdobywa coraz większe rzesze zwolenników. Ekonomiczne użytkowanie i utrzymanie budynku, zwłaszcza budynku użyteczności publicznej, wymaga wszechstronnego podejścia do procesu jego projektowania i realizacji. Jesteśmy obecnie na progu znaczących zmian w budownictwie mieszkaniowym. Coraz częściej o wysokości standardu i komforcie budynku decydować będzie nie tylko metraż czy lokalizacja, ale również obecność zautomatyzowanych instalacji elektrycznych, zarządzających oświetleniem, ogrzewaniem, multimediami oraz sterujących urządzeniami elektrotechnicznymi [5].

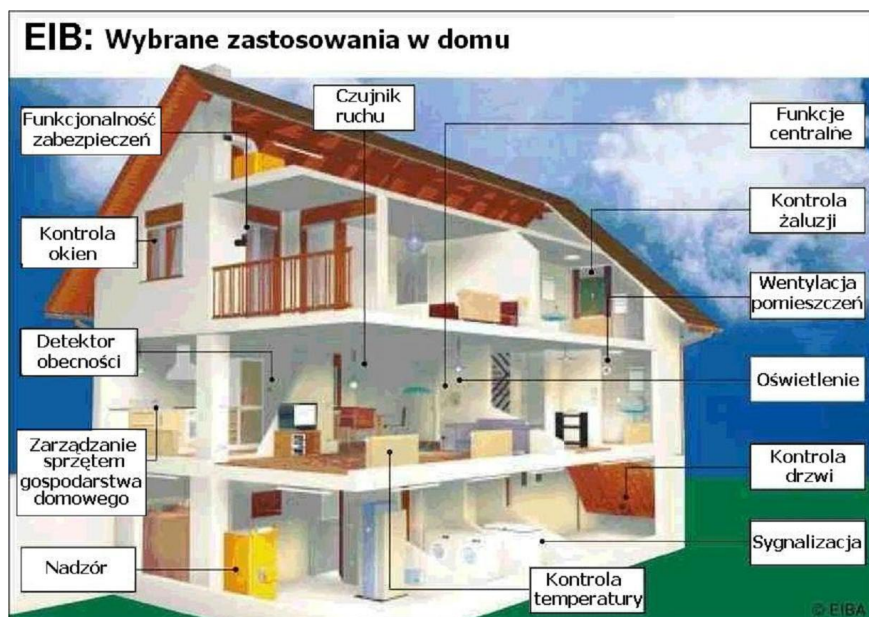
Odpowiedź na pytanie, co to jest inteligentny budynek, nie jest jednoznaczna. Generalnie uznaje się, że jeśli budynek jest wyposażony w podsystemy automatyki to nie znaczy, że jest inteligentny. Inteligencja budynku polega na

tym, iż wyżej wymienione podsystemy są zintegrowane, tzn. każdy system dysponuje informacją o każdej zmianie stanu innego systemu.

W standardowym domu urządzenia działają niezależnie. W inteligentnym współpracują ze sobą, by lepiej zaspokajać potrzeby użytkowników. Luksusowy dom niekoniecznie musi być inteligentny i na odwrót. Celem inteligentnych systemów jest integracja światła, systemów alarmowych, urządzeń audio-wideo, komputerów, telefonów i klimatyzacji. Współdziałają ze sobą i same reagują na różne sytuacje[2, 3, 6, 7, 8].

W związku z rozwojem automatyki, w tym mikroprocesorowej, w ostatnich latach coraz bardziej popularne stają się tzw. inteligentne instalacje elektryczne. Produkowana automatyka staje się coraz tańsza, a co za tym idzie bardziej dostępna dla przeciętnego użytkownika. Coraz częściej stosowana jest w budownictwie, w tym także w budownictwie jednorodzinnym, gdyż koszty jej zastosowania są relatywnie niewysokie w stosunku do korzyści i wymiernych oszczędności, jakich dostarcza.

Powstało kilka inteligentnych systemów instalacji elektrycznych w budynkach. Wśród nich można wyróżnić system EIB, który jest nazywany również instalacyjną techniką systemową.



Rys. 2. Wybrane zastosowania systemu EIB w domu jednorodzinnym

Zadaniem tradycyjnej instalacji elektrycznej było doprowadzenie energii elektrycznej do wszystkich odbiorników energii w gospodarstwie domowym

i umożliwienie człowiekowi ich załączanie i wyłączanie. System EIB praktycznie robi to samo z tym, że dostawa energii do odbiorników odbywa się poprzez sterowane układy automatyki, które czynią to zgodnie z zadanym programem. System EIB jest połączeniem instalacji elektrycznej z siecią komputerową oddzielonych od siebie [1].

Projektowanie, uruchamianie, serwis i diagnostyka systemu KNX/EIB są realizowane z zastosowaniem specjalistycznego oprogramowania EIB Tool Software (ETS5), pracującego w środowisku Windows, opracowanego i oferowanego przez stowarzyszenie EIBA (European Installation Bus Association)

System KNX/EIB – podstawowe zasady

System KNX/EIB (ang. European Installation Bus) jest systemem o tzw. „rozszerzonej inteligencji”. Oznacza to, że wszystkie elementy są w pewnym zakresie „inteligentne” i wspólnie tworzą automatykę o zdecentralizowanym sposobie sterowania. Specyficzne rozwiązanie determinuje odpowiednią budowę połączeń i elementów.

Jest on zdecentralizowanym systemem elektroinstalacyjnym służącym do łączenia, regulacji, sterowania, kontroli stanu i nadzoru urządzeń elektrycznych oraz wyposażenia technicznego znajdującego się w budynku. W tradycyjnej instalacji elektrycznej zrealizowanie każdej funkcji wymaga prowadzenia oddzielnego przewodu, a każdy system sterowania posiada własną sieć. W systemie EIB występuje rozdzielenie sygnałów sterujących i kontrolnych przesyłanych dwużyłowym przewodem magistralnym od obwodów zasilania energetycznego poszczególnych odbiorników. Tak powstała linia sterująca stanowi magistralę EIB. Magistrala jest zasilana przez specjalne zasilacze tworzące z punktu widzenia przepisów wydzieloną sieć SELV (Safety Extra Low Voltage) o napięciu nominalnym 24V DC. Do magistrali tej dołączone są wszystkie urządzenia pracujące w systemie EIB. Magistrala jest dla nich źródłem informacji oraz zasilania układów odpowiedzialnych za transmisję sygnału. Każdy z elementów wyposażony jest we własny mikroprocesorowy układ elektroniczny pozwalający realizować funkcje inteligencji rozproszonej [2, 6].

Wykorzystując system KNX/EIB możemy w sposób kompleksowy nadzorować i sterować pracą urządzeń przeznaczonych do:

- oświetlenia,
- ogrzewania,
- wentylacji i klimatyzacji,
- gospodarstwa domowego,
- nadzoru i kontroli dostępu,
- telewizji przemysłowej,

- sterowania pracą żaluzji i markiz,
- zarządzania energią,
- zdalnego serwisu i zarządzania,
- komunikacji z innymi systemami

Oprogramowanie dla KNX/EIB

System KNX/EIB (ang. European Installation Bus) jest Przy projektowaniu i uruchamianiu systemu KNX/EIB wykorzystywany jest zestaw narzędzi zawarty w oprogramowaniu ETS5 (EIB Tool Software), zaimplementowanym na komputerze pracującym w środowisku Windows.

ETS5 jest projektową platformą inżynierską, przeznaczoną dla projektantów i instalatorów sieci EIB, która umożliwia uruchomienie sieci. Polega ono, z formalnego punktu widzenia, na przesłaniu odpowiednich telegramów programujących do pamięci EEPROM w złączach magistralnych wszystkich elementów systemu.

Dla programisty istotnym elementem procesu projektowania sieci, jest zdefiniowanie każdego elementu poprzez podanie jego:

- adresu fizycznego, określającego jego położenie w sieci (nr strefy, nr linii i nr elementu w linii),
- adresu grupowego, który określa funkcję wykonywaną przez dany element,
- podanie odpowiednich parametrów pracy elementu w systemie i jego komunikacji z magistralą.

Nie jest istotne w tym przypadku, w którym miejscu budynku aparaty się znajdują. Opracowanie projektu polega na, łączeniu wielu pojedynczych urządzeń w jedną funkcjonalną całość połączoną adresami grupowymi.

Pakiet programowy ETS5 jest zbudowany w oparciu o środowisko komponentów do projektowania komputerowego w środowisku Windows, zwane EIB Tool Environment (ETE). Ten zbiór interfejsów programowania aplikacji (API – Application Programming Interface) tworzy część standardu KNX/EIB.

Standard KNX/EIB nie jest ograniczony do żadnego modelu czy procesora o określonej architekturze. Ogromna ilość dostępnych narzędzi takich jak assembly, kompilatory i emulatory, zarówno shareware jak i pełnowartościowych środowisk programistycznych, może być wykorzystana w dowolnej implementacji. Niektórzy dostawcy systemu EIB oferują, zintegrowane środowiska projektowe, które umożliwiają tworzenie aplikacji w języku ANSI C (wraz z ich debugowaniem) oraz są wyposażone w dedykowaną dla standardu KNX/EIB infrastrukturę programową [8]. ETS5 jest programem składającym się z kilku części wspólnie ze sobą współpracujących.

Okno główne programu zawiera przyciski, za pomocą, których przechodzi się do następujących modułów programu. Poszczególne przyciski uruchamiają począwszy od lewej strony następujące moduły: nastawy całego programu, projektowanie, uruchamianie i testowanie instalacji, zarządzanie projektami, zarządzanie bankami danych, konwersja projektów oraz przycisk wyjścia z programu:

- nastawy całego programu: moduł ten, daje nam możliwość zmiany parametrów programu i dostosowania go do własnych potrzeb np. projektowanie bez automatycznego wprowadzania adresów fizycznych,
- projektowanie: po otwarciu modułu „projektowanie” uzyskuje się schematyczny widok budowlany całego projektu, na którym nanoszone są urządzenia,
- uruchamianie i testowanie instalacji: ten moduł programu umożliwia uruchomienie, testowanie i serwisowanie instalacji. Do poprawnego działania tego modułu potrzebne jest połączenie komputera z instalacją, KNX/EIB poprzez port szeregowy w komputerze i łączy RS232 lub USB,
- zarządzanie projektami: projekty są integralną częścią programu, dlatego moduł zarządzania projektami umieszczono wewnątrz programu. Umożliwia on importowanie, eksportowanie, dzielenie, łączenie, wczytywanie i zapisywanie projektów,
- zarządzanie bankami danych: producenci urządzeń przystosowanych do pracy w systemie KNX/EIB są dostawcami programów aplikacyjnych do tych urządzeń, są one zawarte w bazie danych urządzeń konkretnego producenta przystosowanej do programu ETS5. Baza ma postać pliku o formacie VDX, który należy wczytać do programu. Projekty wykonuje się na podstawie konkretnych urządzeń, dlatego musimy posiadać taką bazę. Firmy produkujące urządzenia udostępniają bazy swoich produktów bezpłatnie. Zasady zarządzania bazami danych są identyczne jak w przypadku projektów,
- konwersja projektów: moduł ten daje możliwość korzystania z projektów wykonanych za pomocą poprzednich wersji programu ETS [4, 6].

Projektowanie instalacji KNX/EIB

Wykonanie projektu instalacji KNX/EIB można podzielić na trzy zasadnicze etapy:

- wykonanie projektu połączeń elektrycznych,
- wykonanie projektu sterowania w programie ETS5,
- uruchomienie i testowanie instalacji.

Aby korzystając z programu ETS5 zaprojektować instalację w systemie KNX/EIB należy wgrać do niego bazę danych o sprzęcie wraz z jego oprogramowaniem aplikacyjnym. Istnieje możliwość pracy z urządzeniami nieograniczonej liczby producentów. Zadaniem projektanta jest wybór wytwórcy

i właściwy dobór urządzeń oraz ustalenie konfiguracji systemu. Program ETS5 poza funkcją projektowania posiada także inne funkcje, np. możliwość sprawdzenia poprawności działania zaprojektowanej instalacji, czy testowania i diagnozowania. Zapewnia on również możliwość obsługi serwisowej instalacji poprzez internet lub telefon komórkowy. Po otwarciu się okna „Projektowanie” uzyskuje się widok „budowlany” całego projektu. Jest to schematyczny odpowiednik planów budowlanych. Dzięki projektanci nie są zobligowani do korzystania z planów budowlanych i żmudnego nanoszenia na te plany urządzeń. Zaprojektowanie rozmieszczenia urządzeń w poszczególnych pomieszczeniach nie określa jeszcze funkcji, jakie te urządzenia powinny spełniać.

Program może także standardowo nadawać poszczególnym urządzeniom unikalne adresy fizyczne zgodnie z przyjętą w KNX/EIB strukturą drzewiastą. Niekiedy wygodniej jest wykonać to przy nadawaniu adresów grupowych. Projekt następnie wyposaża się w urządzenia systemowe: zasilacze, sprzęgła liniowe i obszarowe oraz łączy RS. ETS5 poza funkcją projektowania posiada także możliwość sprawdzenia poprawności działania zaprojektowanej instalacji, testowania i diagnozowania.

Uruchomienie instalacji KNX/EIB

Uruchomienie instalacji jest ostatnim etapem zaliczanym do projektowania, ale następującym już po wykonaniu podłączeń w budynku. Etap ten polega na przyłączeniu do już istniejącej instalacji KNX/EIB poprzez złącze RS232 komputera z wykonanym projektem sterowania w programie ETS5 i przy jego pomocy:

- nadanie elementom magistralnym adresów fizycznych i grupowych,
- zapisanie w pamięci urządzeń wcześniej wybranych aplikacji,
- test poprawności działania systemu.

Wizualizacja

Wizualizacja jest to graficzna metoda analizowania, oraz przekazywania informacji. Dzięki środkom wizualnym można wymieniać się różnymi myślami stworzonymi w wyobraźni lub komunikatami, które mają bezpośrednie oparcie w rzeczywistości. W obecnych czasach wizualizacja wypływa nie tylko na sposób prowadzenia różnych badań naukowych, ale także może być pojmowana, jako wyraz artystyczny. Wizualizacja jest techniką komputerową, która jest rozpowszechniona w wielu dziedzinach takich jak: nauki biologiczne, medycyna, chemia, dynamika płynów, zarządzanie oprogramowaniem, czyli technika 2D i 3D, pedagogika, a także w inżynierii produkcji.

W dzisiejszych czasach wykorzystuje się nowoczesne techniki wizualizacji w automatyce budynków. Przykładem takich rozwiązań są wizualizacje systemu KNX/EIB [7]. Dają one możliwość uzyskania skutecznego i prostego wyglądu paneli oraz monitorowania tego systemu. W zależności od stopnia i wielkości zaawansowania automatyki oraz postawionych wymagań przez użytkownika lub inwestora istnieje bardzo dużo możliwości zastosowania systemu.

Bardzo często na wierzchu wyłącznika znajduje się wbudowana dioda fluoroscencyjna, która umożliwia odczytanie informacji o stanie odbiornika, na przykład: migająca dioda LED przy opuszczeniu mieszkania sygnalizuje, że zostało jeszcze gdzieś włączone oświetlenie lub otwarte okno. Dioda ta może informować także o regulacji ogrzewania, jak również o innych dowolnych stanach systemu. Obecnie produkowane panele sterujące oprócz przycisków posiadają wbudowany wyświetlacz. Na wyświetlaczu można w zależności od oczekiwań użytkownika przedstawić status pomieszczenia, lub całego obiektu, czyli temperaturę pomieszczeń, pozycję okien, lub rolet, aktywację scen świetlnych, status systemu kontroli dostępu. Jednakże wszystkie te metody wizualizacji, oraz urządzenia stosowane do jej przedstawienia wymagają fizycznej obecności użytkownika przy każdym panelu lub wyświetlaczu.

Do uzyskania pełnego komfortu użytkowania systemu inteligentnego budynku potrzebny jest interfejs, który pozwala zarówno monitorować stan urządzeń, jak też nimi sterować z pewnej odległości. Do tego celu służy program wizualizacyjny Tebis Vis. W celu lokalnego zarządzania instalacją komputer łączy się z systemem odpowiednim kablem ze sprzęgiem komputerowym. Natomiast do obsługi zdalnej potrzebne jest łącze internetowe dołączone do systemu poprzez router i moduł serwera dostępowego.

Aby rozpocząć pracę z programem do wizualizacji wszystkie moduły w instalacji powinny być zaprogramowane. Do konfiguracji systemu używane jest oprogramowanie Tebis Vis. Program ten może pracować w dwóch trybach, w trybie offline, oraz trybie online. W trybie offline komputer nie jest połączony z instalacją systemu KNX/EIB. Stwarza on możliwość wstępnego skonfigurowania systemu poprzez dodawanie modułów z bazy danych i ich parametryzację (rys. 5).

Na bazie rzutu obiektu, który można dodać do biblioteki programu KNX/EIB i wczytanej konfiguracji systemu.

Program Tebis Vis posiada dużą bibliotekę symboli elementów wejściowych, czyli włączników, regulatorów oświetlenia, ogrzewania, czujek. Zawiera w sobie również dużą bibliotekę symboli elementów wyjściowych, takich jak: źródła światła, żaluzje, wentylatory, lub inne urządzenia stosowane w zaawansowanych instalacjach przemysłowych. Umożliwia również dodanie własnych symboli w bibliotece danych.

Po utworzeniu rzutu w edytorze można dodać poszczególne elementy instalacji. Wykonuje się to wybierając polecenie dodaj z paska narzędzi, lub

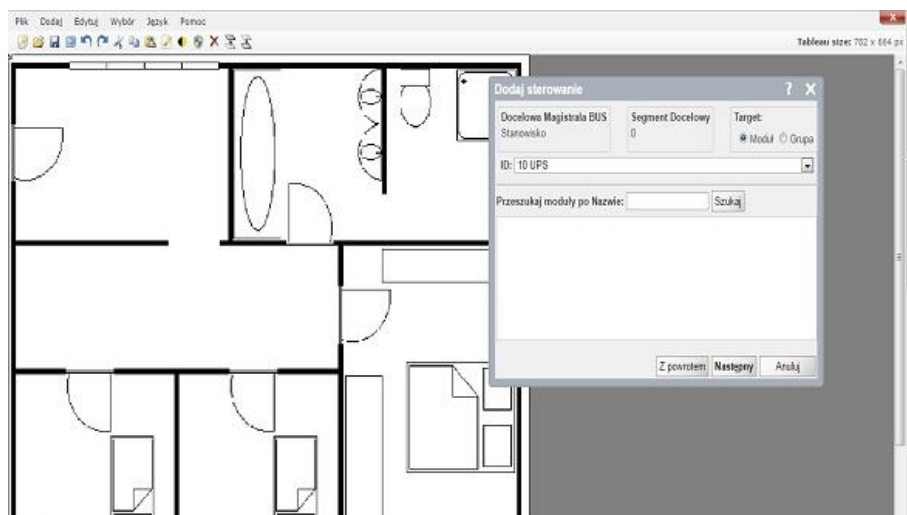
klikając prawym przyciskiem myszki na obszarze rzutu. Wówczas otwiera się okno z listą elementów możliwych do umieszczenia w wizualizacji (rys. 5).

Dodawane elementy muszą być przydzielone do wejść i wyjść zgodnie z konfiguracją modułów w instalacji. Jeżeli przycisk, lub wejście logiczne zostanie przypisane do innego wyjścia spowoduje brak reakcji instalacji na polecenia wydawane z programu wizualizacyjnego. W oknie jednokrotnego wyboru istnieje możliwość wyboru wszystkich sposobów realizacji funkcji przez moduły systemu KNX/EIB.



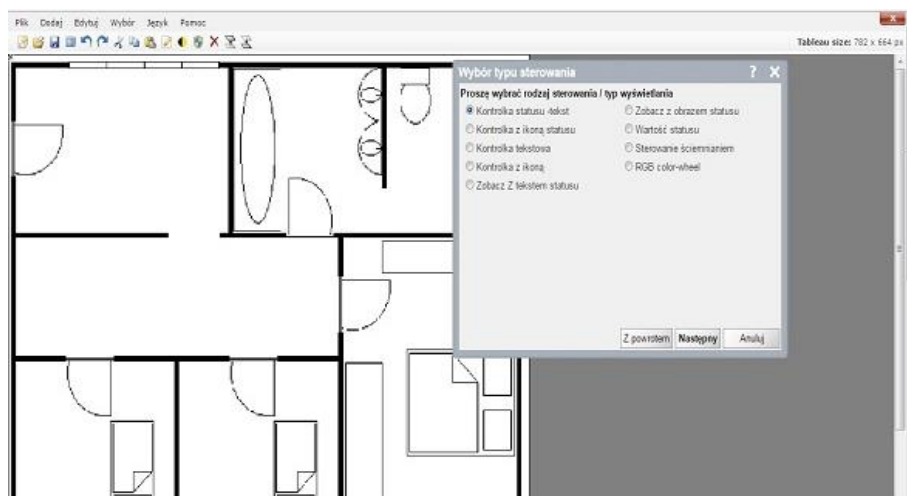
Rys. 5. Dodawanie elementów w programie

W większości przypadków po wybraniu rodzaju sterowania i kliknięciu następnym, otwarte zostaje kolejne okno, w którym należy wybrać moduł, lub grupę modułów, do których jest adresowana komenda. Procedura ta, czyli wybór sterowania, określenie numeru modułu, lub grupy modułów występuje przy dodawaniu każdego z elementów wizualizacji (rys. 6).



Rys. 6. Wybór modułu, lub grupy modułów w programie

Następnym etapem dodawania elementu wyjściowego jest określenie sposobu jego wyświetlania na ekranie wizualizacji. Odbywa się to w oknie Wybór trybu sterowania (Rys. 7).

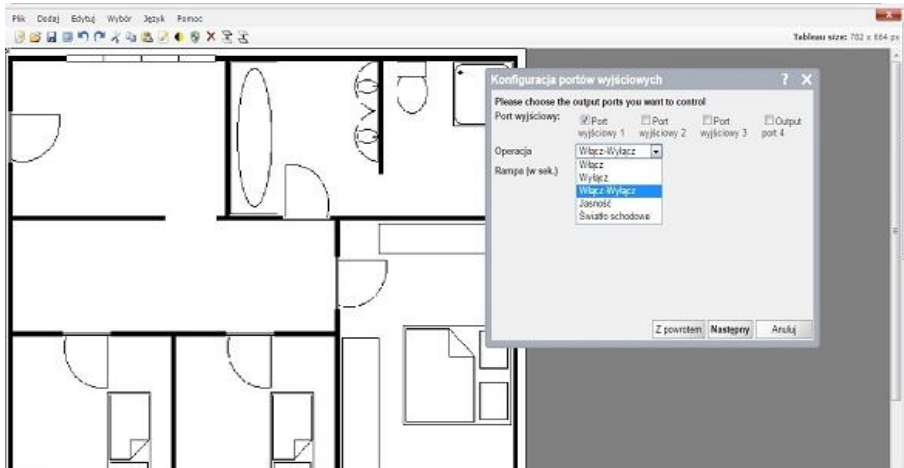


Rys. 7. Wybór trybu sterowania wyjść

Program oferuje kilka sposobów wyświetlania statusu urządzenia. Możliwe jest wyświetlanie za pomocą ikony z tekstem, lub ikony zmieniającej się wraz ze statusem urządzenia, albo tekstu, czy kilku innych. Możliwy jest wybór metody sterowania elementami oświetlenia. Wybór ten wymusza wygląd ikony

urządzenia na ekranie podglądu wizualizacji w dalszym etapie konfiguracji. Opcję tą można zawsze zmienić wybierając polecenie Edytuj danego elementu wizualizacji.

W kolejnym oknie programu należy określić numer urządzenia wyjściowego: portu, przekaźnika, wyjścia binarnego, oraz sposób wykonywania przez nie rozkazów w instalacji inteligentnej (rys. 8).



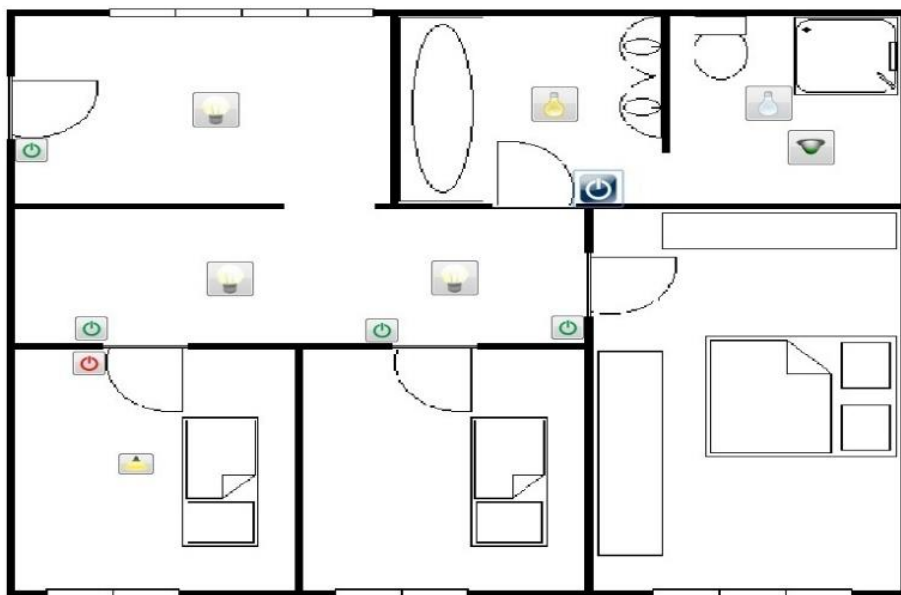
Rys. 8. Wybór numeru urządzenia i jego funkcji

Kolejny etap dodawania wyjścia nie jest związany z częścią sprzętową programu. Wykonuje się tutaj typową pracę wizualizacyjną. Jest on związany z wcześniejszym oknem (rys. 9), w którym należało dokonać wyboru sposobu wyświetlania stanu urządzenia. Jeżeli wcześniej wybrane zostało wyświetlanie ikony, teraz należy wybrać odpowiedni symbol z biblioteki programu. Biblioteka zawiera około 2500 różnych symboli. Występują w niej ikony włączników, oświetlenia, wentylacji, centralnego ogrzewania, jak też informacyjne. Symbole zawarte w bibliotece programu występują w formie statycznej, lub też animowanej. Jeżeli do wyjścia, lub przekaźnika wybrano opcję Kontrolka z ikoną statusu program narzuca wybór dwóch ikon. Jedną dla stanu ACTIVE, czyli włączony może to być świecąca żarówka, pracujący wentylator, opuszczone rolety. Drugą dla stanu PASSIV, czyli wyłączony, ciemna żarówka, wentylator w stanie spoczynku, podniesione rolety. Można też wybrać własny symbol wczytany wcześniej do danych biblioteki. Gdy status urządzenia ma być wyświetlany tekstowo program posiada takie same możliwości formatowania, czyli rozmiar czcionki, styl, kolor, jak popularne edytory tekstowe.

Po dodaniu w edytorze najprostszych urządzeń, którymi będzie sterował system KNX/EIB takich jak wejście, czyli włącznik i połączone z nim wyjście, czyli oprawa oświetleniowa można sprawdzić poprawność wykonania tych

czynności. W tym celu należy z zakładki Plik wybrać polecenie Okno podglądu. W oknie domyślnej przeglądarki internetowej otworzy się widok obiektu (rys. 9).

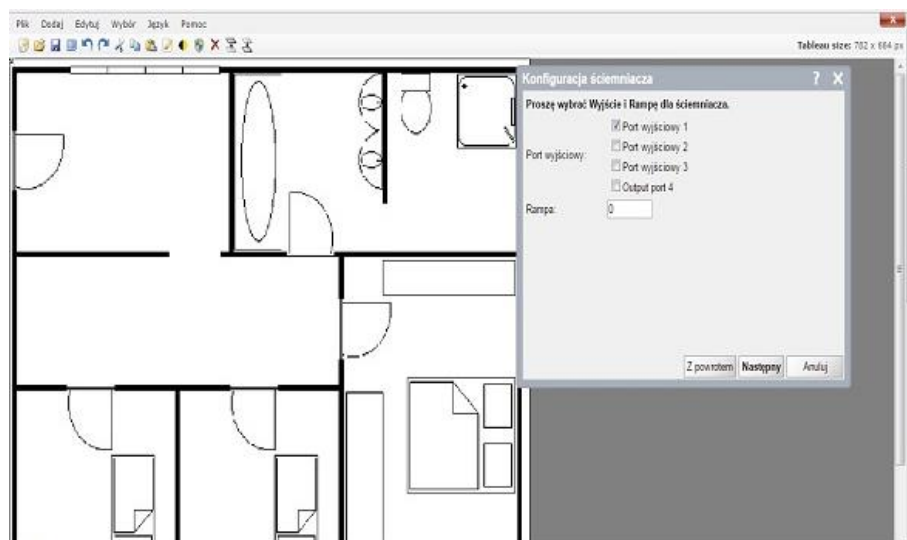
Jeżeli wszystkim elementom wizualizacji zostały przypisane dane zgodnie z konfiguracją modułów w programie Tebis Vis, wszystkie ikony wyświetlą się poprawnie i będzie możliwe sterowanie modułami z poziomu przeglądarki. Klikając lewym przyciskiem myszy na ikonę włącznika powinna włączyć się odpowiadająca jemu oprawa oświetleniowa. Widoczne będzie to zarówno na obiekcie, włączy się oświetlenie, jak też na ekranie przeglądarki, ikona oprawy zmieni wygląd zgodnie z ustawieniami symbolu, który został wybrany do wizualizacji. Z drugiej strony naciskając włącznik w pomieszczeniu włączamy w nim oświetlenie, a ikona statusu oprawy oświetleniowej w oknie przeglądarki zmieni swój wygląd. Należy pamiętać, aby przy większej ilości elementów dane włączniki umieścić w pomieszczeniu, w którym umieszczona jest przypisana do niego oprawa. Dotyczy to praktycznie wszystkich urządzeń, oprócz elementów centralnego sterowania. Należy umieszczać je w miejscach niezasłaniających innych urządzeń. Jednak zawsze rozmieszczenie elementów wizualizacji należy skonsultować z użytkownikiem instalacji.



Rys. 9. Elementy systemu KNX/EIB w programie wizualizacyjnym

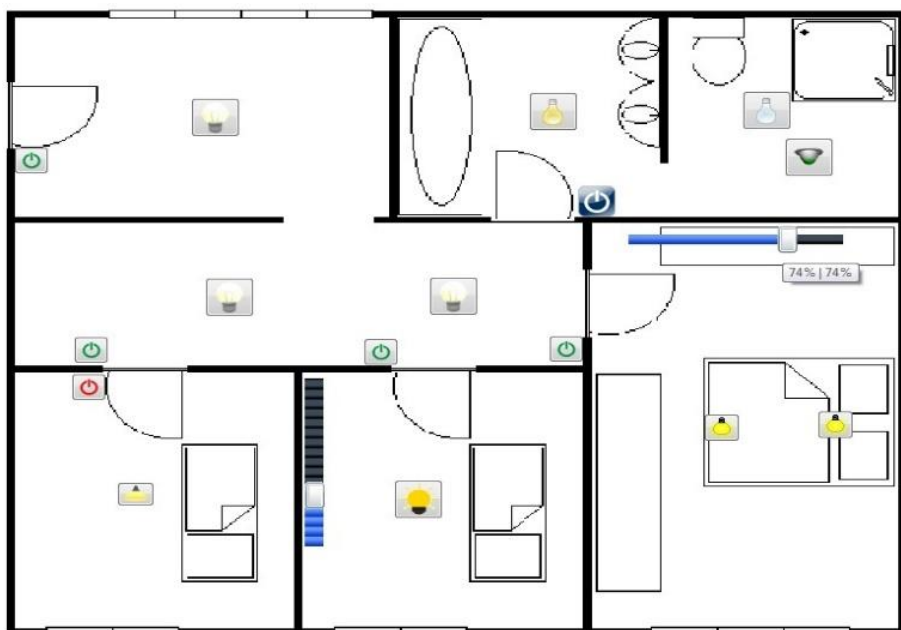
Program Tebis Vis umożliwia odwzorowanie funkcji ściemniacza, czyli regulacji natężenia oświetlenia w pomieszczeniach. Jest ona bardzo często stosowana w instalacjach inteligentnych do tworzenia scen świetlnych, jak też służy do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej. Aktywacji funkcji

ściemniacza dokonujemy w oknie Wybór trybu sterowania (rys. 9), poprzez zaznaczenie opcji Sterowanie ściemnianiem. W oknie Konfiguracja Ściemniacza (rys. 10) należy wybrać numer portu, na którym został on skonfigurowany, oraz rampę, czyli czas przełączania określony w programie Tebis Vis.

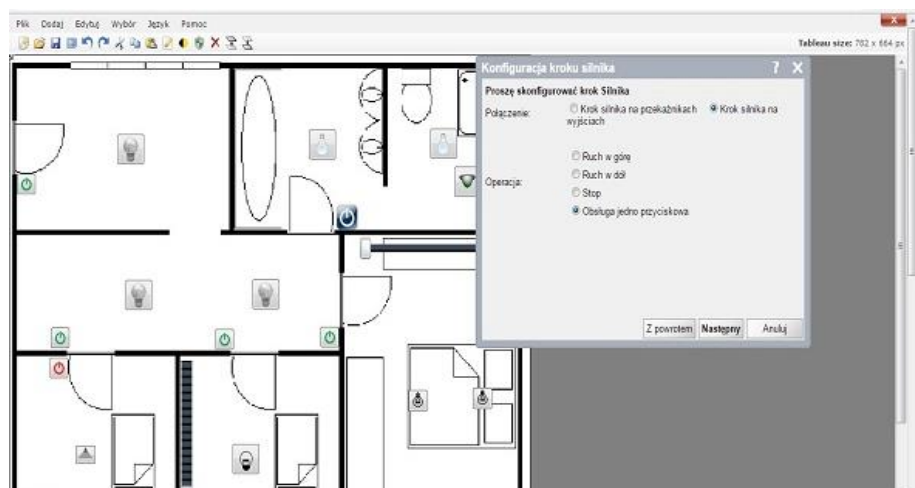


Rys. 10. Konfiguracja ściemniacza

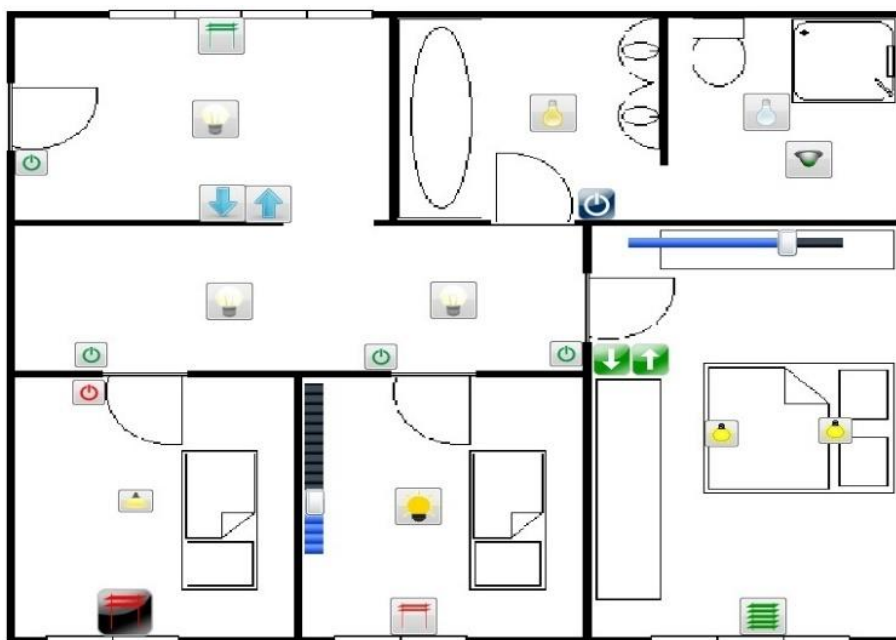
Program Tebis Vis oferuje przedstawienie regulatora oświetlenia w formie suwaka. Istnieje również możliwość wyboru kilku kolorów i rozmiarów wyświetlanej ikony. W oknie przeglądarki internetowej, w której jest wyświetlona wizualizacja jest możliwość sterowania oświetleniem w pomieszczeniu przesuwając przycisk suwaka. Jeżeli zmiana natężenia oświetlenia zostanie wykonana przyciskiem w pomieszczeniu na ekranie wizualizacji suwak przesunie się w zakresie, w którym nastąpiła zmiana. Po ustawieniu kursora na ikonie ściemniacza pokaże się procentowa wartość natężenia oświetlenia w pomieszczeniu (rys. 11).



Rys. 11. Widok regulatora oświetlenia ściemniacza na wizualizacji



Rys. 12. Wybór trybów pracy rolet



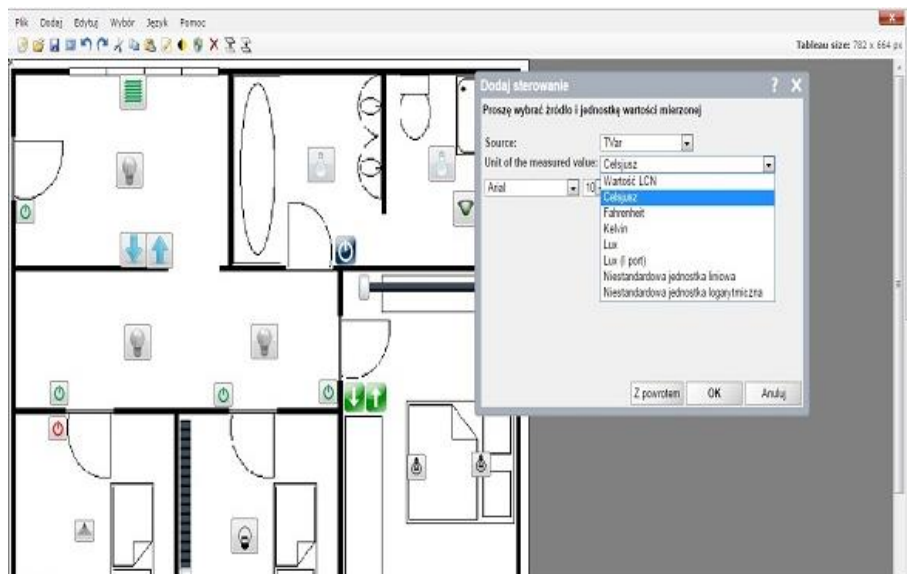
Rys. 13. Wizualne odwzorowanie rolet w pomieszczeniach

W wielu budynkach są zainstalowane rolety antywłamaniowe, czy też przeciwsłoneczne. System KNX/EIB umożliwia sterowanie ich położeniem. W programie wizualizacyjnym KNX/EIB istnieje możliwość zarówno odwzorowania rzeczywistego stanu ich położenia, jak też sterowanie nimi. Dodanie funkcji sterowania roletami następuje poprzez wybranie opcji Silnik/rolety w oknie Dodaj sterowanie (rys. 11). Następnym etapem jest podanie elementu wykonawczego wyjście, lub przekaźnik odpowiedzialny za zasilanie silników, oraz trybu pracy (rys. 12). W większości przypadków sterowanie roletami odbywa się za pomocą przycisków. Mogą to być przyciski lokalne odpowiedzialne za sterowanie roletami w danym pomieszczeniu, lub centralne odpowiadające za grupę pomieszczeń. Przyciski sterujące roletami dodajemy identycznie jak przyciski sterujące oświetleniem i innymi urządzeniami.

Przy pomocy odpowiednich symboli zawartych w bibliotece programu Tebis Vis można uzyskać wizualne odwzorowanie stanu rolet w budynku (rys. 13).

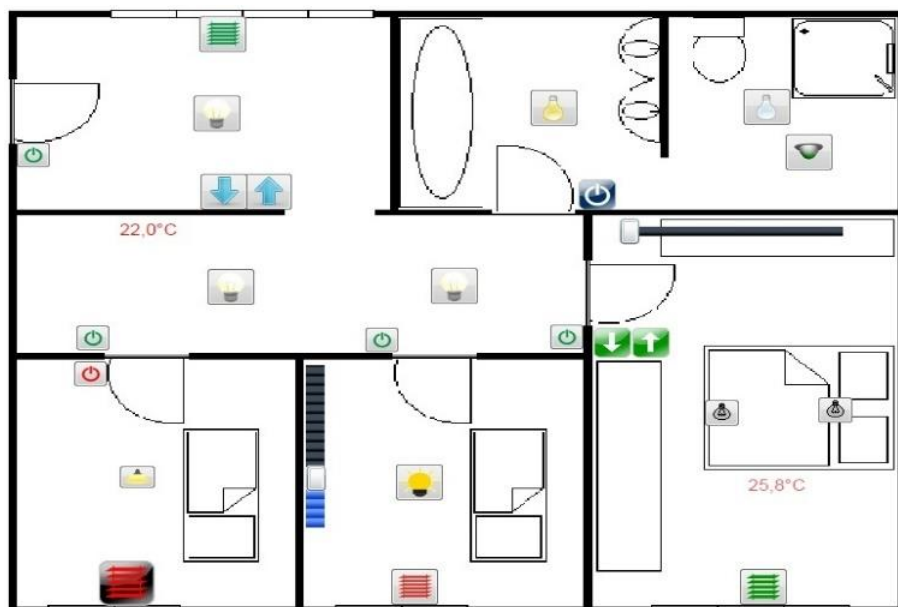
System instalacji inteligentnego budynku nie mógłby spełniać wszystkich swoich funkcji bez odczytu parametrów środowiskowych budynku i jego otoczenia z różnego rodzaju czujników. Parametrami tymi są między innymi: temperatura, natężenie oświetlenia, wilgotność, stężenie gazów. Ludzi najczęściej interesuje temperatura panująca w pomieszczeniu, oraz temperatura powietrza na zewnątrz budynku. Na ekranie wizualizacji istnieje możliwość umieszczenia ikony tekstowej z bieżącym odczytem parametrów z czujników. W tym celu

należy w oknie dodaj sterowanie (rys. 13) zaznaczyć opcję Odczytana wartość mierzona. Po wybraniu modułu, do którego jest podłączony dany czujnik należy wybrać źródło, oraz jednostkę, w której parametr będzie wyświetlany (rys. 14)



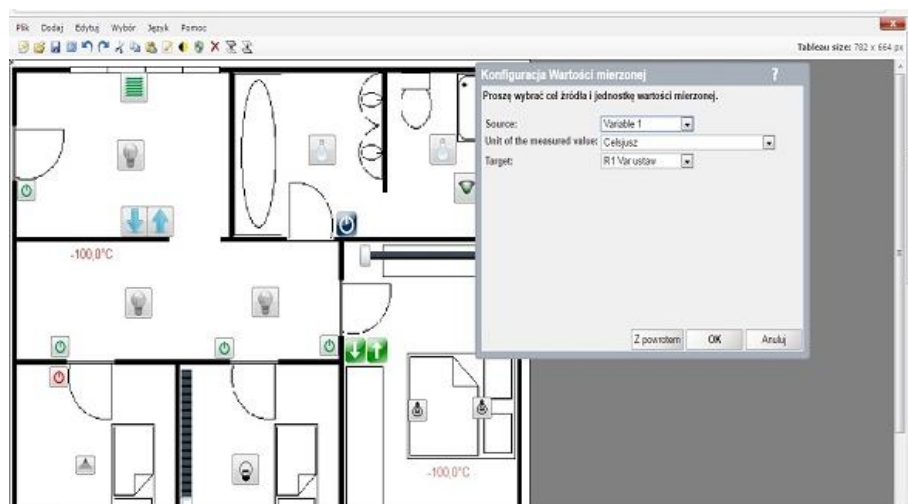
Rys. 14. Konfiguracja odczytu parametrów

Istnieje również możliwość określenia stylu, w jakim tekst będzie widoczny na wizualizacji. Po określeniu wszystkich danych na ekranie wizualizacji wyświetli się tekst z wartością żadanego parametru w czasie rzeczywistym (rys. 15).



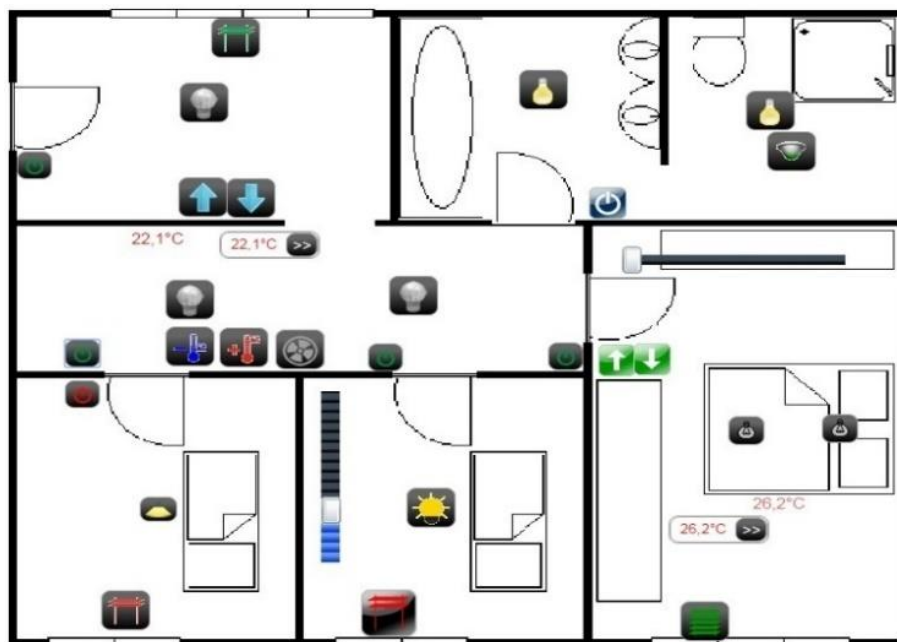
Rys. 15. Wyświetlanie parametrów otoczenia na ekranie wizualizacji

Na podstawie bieżących odczytów z czujników wewnętrznych i zewnętrznych system KNX/EIB umożliwia precyzyjną regulację temperatury w pomieszczeniach budynku. Program wizualizacyjny Tebis Vis umożliwia odwzorowanie regulatora temperatury na ekranie wizualizacji. W tym celu w oknie Dodaj sterowanie należy wybrać opcję Regulacja temperatury. A w następnym kroku należy określić parametry pochodzenia danych z odczytu, rozkaz jaki ma wykonywać regulator, oraz w jakich jednostkach będzie wyświetlany (rys. 16). Do modułu logicznego może być dołączonych kilka czujników, dlatego z rozwijanej listy paska wyboru Source, należy wybrać numer zmiennej, do której jest przypisany czujnik. Regulator generalnie może wykonywać dwa rodzaje rozkazów. Dążenie do wartości ustawionej przez użytkownika, polecenie R1Var ustaw, lub zadanych wartości progowych polecenie Treshold.



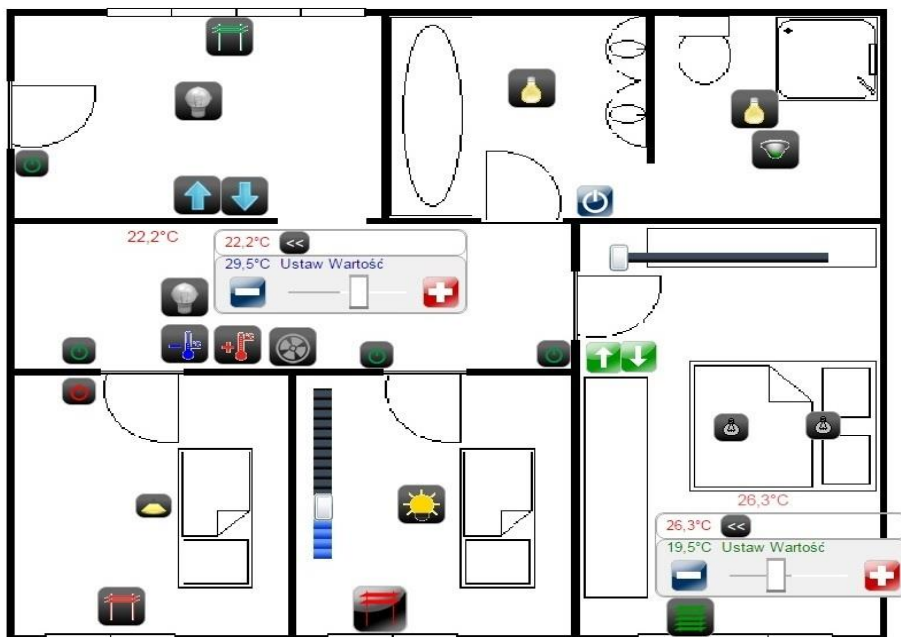
Rys. 16. Ustawienie parametrów regulatora temperatury

Regulator temperatury na ekranie wizualizacji jest przedstawiany w formie zwiniętej ikony z odczytem aktualnej wartości temperatury w pomieszczeniu (rys. 17).



Rys. 17. Widok podstawowy, zwinięty symbolu regulatora temperatury

Ikona regulatora po jej rozwinięciu przedstawia aktualną temperaturę pomieszczenia, temperaturę zadaną ustawioną przez użytkownika, oraz suwak służący do zmiany temperatury zadanej (rys. 18). W edytorze tablic istnieje możliwość dowolnego formatowania tekstów wyświetlanych w symbolu regulatora.



Rys. 18. Widok rozwinięty regulatora temperatury

W momencie zalogowania się do instalacji poprzez program wizualizacyjny ikona regulatora temperatury wyświetla się w postaci zwiniętej, gdyż po rozwinięciu może zasłaniać symbole innych elementów instalacji. Zarówno suwak regulatora, jak też przyciski plus i minus są przypisane do odpowiadających im przycisków na panelu sterującym w instalacji systemu KNX/EIB.

Modelowanie systemów KNX w środowisku BIM

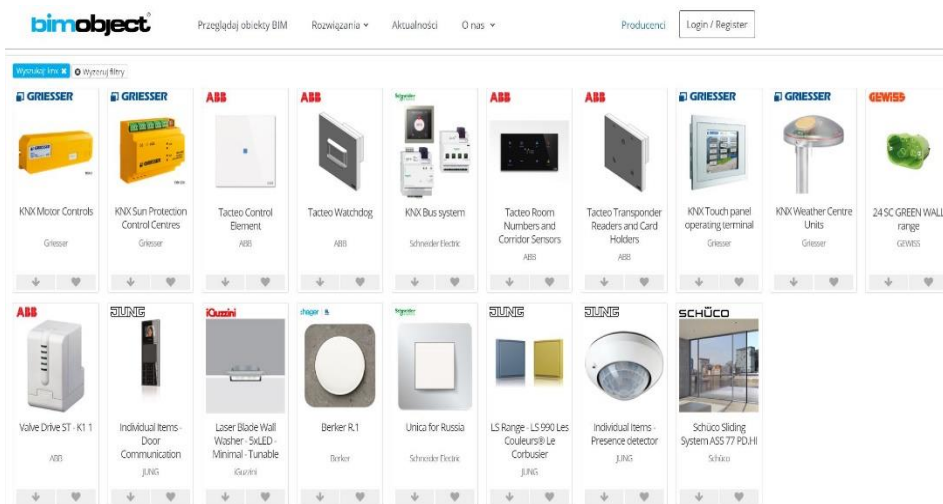
Zdecentralizowane systemy elektroinstalacyjne do łączenia, regulacji, sterowania, kontroli stanu i nadzoru urządzeń elektrycznych KNX mogą być również modelowane i testowane w środowisku BIM. Najpopularniejszymi narzędziami do tworzenia opracowań w biurach konstrukcyjnych są programy ArchiCAD oraz Revit. Udostępniają one narzędzia umożliwiające tworzenie projektów instalacyjnych w środowisku MEP, tj. Mechanical, Electrical

& Plumbin z wykorzystaniem wcześniej sporządzonego modelu przez projektantów z branży architektonicznej, czy konstrukcyjnej (rys. 19). Współpraca odbywa się na jednolitym modelu trójwymiarowym, o którym informacje zapisywane są w bazie danych pozwalającej na dowolne zmiany przestrzeni roboczej, ukazując ten sam obiekt w różnych ujęciach np. rzutu sufitu, przekroju, widoku elewacji, widoku 3D, czy widoku modelu analitycznego [11].



Rys. 19. Fragment interfejsu programu Revit do pracy w środowisku MEP

Praca w środowisku BIM opiera się w dużej mierze na pracy z rodzinami (Revit Families), które zawierają zbiory elementów podzielonych na kategorie, będące wiernym odzwierciedleniem rzeczywistych elementów instalacyjnych. Możliwym jest tworzenie własnych rodzin bezpośrednio w programie Revit i wczytywanie ich do projektów, jak i korzystanie z gotowych, sparametryzowanych modeli udostępnianych przez producentów. Jedną z najpopularniejszych platform wymiany plików rodzin jest bimobject.com, która oficjalnie wspierana jest przez firmy Graphisoft i Autodesk. W jej zasobach można znaleźć szeroki zakres modeli – ponad 400 000 parametrycznych obiektów, podzielnych w dziesiątkach kategorii. Wśród nich znajduje się wiele elementów do projektowania systemów elektrycznych w standardzie KNX, udostępnianych przez wiodących producentów – rys.20.



Rys. 20. Wybrane rodziny wiążących producentów, dostępne na portalu bimobject.com, pozwalających na projektowanie parametrycznych układów KNX w standardzie BIM

Wszystkie informacje niezbędne do projektowania i tworzenia zestawień, takie jak sparametryzowane wymiary, materiały, tekstury, rodzaje kreskowania, właściwości fizyczne i termiczne przechowywane są w obiektach rodzin. Kombinacja wielu typów produktów udostępniana jest w oprogramowaniu jako kompletna rodzina, podziela na kategorie tj. w katalogu producenta. Wszelkie niezgodne kombinacje urządzeń w obrębie danej instalacji są wykluczane za pomocą testu logicznego, który można przeprowadzić w programie Revit z wykorzystaniem opcji *Sprawdzanie kolizji* z poziomu karty *Współpracy*, panelu *Współrzędne*. Dopasowanie widocznych komponentów projektu można weryfikować na wielu dostępnych widokach z poziomu przeglądarki projektu. Korzystając z kompletnego projektu możliwe jest wygenerowanie, formatowanie i sortowanie zestawień materiałów dla wszystkich branż, z podziałem na kategorie, wśród których można znaleźć m.in. oprawy oświetleniowe, osprzęt elektrycznych, podwieszenia produkcyjne MEP, systemy podłączania itp. Mogą one służyć również do tworzenia kosztorysów, dla obiektów reprezentowanych przez rodziny mające zagnieżdżone ceny, oraz harmonogramów prac z wykorzystaniem programu Autodesk Quantity TakeOff [12]. Takie podejście do projektowania systemów w standardzie KNX pozwala na prowadzenie symulacji dobranych rozwiązań przy jednoczesnej optymalizacji kosztów inwestycji.

Wnioski

Na przestrzeni ostatnich lat, rynek systemów automatyki budynkowej dość silnie rozwinął się na całym świecie. Rozwój tego rodzaju instalacji wynikał

najczęściej z konieczności zwiększenia komfortu, produktywności budynku, poprawy jakości powietrza, a także oszczędności energii. Zastosowanie zaawansowanej elektroniki oraz technologii informatycznych coraz bardziej zapewnia realizację tych potrzeb. Postęp technologiczny oraz obniżenie kosztów spowodowały opłacalność montażu systemów automatyki w średnich oraz dużych budynkach. Wszystkie te czynniki spowodowały i nadal będą przyczyniać się do rozwoju istniejącego oprogramowania wspomagającego projektowanie instalacji elektrycznych. Dowodem tego są m.in. powstające biblioteki symboli aparatów stosowanych w systemach instalacji inteligentnych, możliwe do wykorzystania w programach rodziny CAD. Kolejnym kierunkiem ewolucji w tej dziedzinie są programy będące połączeniem funkcji projektowej z serwisową (ETS5).

Literatura

- [1] Chilimoniuk T., *Analiza inteligentnych systemów instalacji w budynku mieszkalnym*, Praca magisterska, Politechnika Lubelska 2003;
- [2] Drop D., Jastrzębski D., *Współczesne instalacje elektryczne w budownictwie jednorodzinnym z wykorzystaniem osprzętu firmy Moeller*, COSiW SEP, Warszawa 2002;
- [3] Dubrawski A., *GIRA instabus EIB, Pierwsze wtajemniczenie*, „Elektroinstalator”, 12/1996, Warszawa;
- [4] Greguła A., *Komputerowe wspomaganie projektowania instalacji elektrycznych*, Praca magisterska, Politechnika Lubelska 2003;
- [5] Kosicki K., *Dom, który żyje*, Businessman Magazine 9/2003;
- [6] Petykiewicz P., : *Technika systemowa budynku instabus EIB*, Podstawy Projektowania, Warszawa 1999;
- [7] Sikora K., *Integracja instalacji elektrycznych w inteligentnym budynku*, Praca magisterska, Politechnika Lubelska 2003;
- [8] www.lodman.pl;
- [9] Horyński M., *Komputerowe wspomaganie projektowania filtra do odpylania materiałów w przemyśle rolno-spożywczym*, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, seria: Elektryka - 2015, nr 126, s. 63–70;
- [10] Horyński M., *Energooszczędne zautomatyzowane systemy zarządzania energią w budynkach mieszkalnych*, Monografie, Politechnika Lubelska 2015, 147 s.;
- [11] Urzędowski A., Styczeń J., *BIM – nadążyć za rewolucją w budownictwie*, Interdyscyplinarne prace doktorantów Politechniki Lubelskiej, 2019 s. 148–157;
- [12] Paśnikowska-Łukaszuk M., Wójcicka-Migasiuk D., *Selected aspects of development towards energy efficient buildings*, Journal of Ecological Engineering, 2017, vol. 18, nr 5, s. 137–143.

O. V. Dykha¹⁰, N. S. Mashovets¹¹, V. O. Dytynyuk¹²

4. Variational Approach for Determining Tribocontact Parameters of Sliding Bearings

Keywords: sliding bearing, contact pressure, pressure diagram, iterative procedure, tangential friction.

Abstract: An approximate method of determining the distribution of contact pressure in a cylindrical bearing is proposed. In the solution, the experimental dependence of the dimensions of the contact area in the bearing on external load is additionally used. The functional of the problem is obtained on the basis of the least squares method as a deviation of the experimental function from the integral equilibrium condition. An iteration procedure is proposed to obtain the estimated values of kinetics of tribocontact parameters. For a more precise solution of the contact problem, an algorithm for taking into account tangential contact pressure from friction is given.

Introduction

Bearings of sliding are one of the most important structural elements of machines and devices and make up the main part of friction units. Technological failures are usually due to bounce of the bearings (along with the failures of other nodes) and thus limit the durability of the machine as a whole. Bearings of sliding, depending on the type of lubrication, operate in conditions of limiting and liquid friction. With limiting lubrication, the surfaces of the shaft and the bearing touch fully or in areas of great length. Масляний шар, який розділяє поверхні, відсутній. There is no layer of oil separating the surface. The lubricant is on metal surfaces in the form of an adsorbed film. In practice, the methods of calculating bearings are used when wearing only the bearing (direct friction pair), only the wear of the shaft (the reverse friction pair) and simultaneous wear of the shaft and bearing (mixed friction pair). When creating reliable friction units of machines, there is a need for calculations of contact

¹⁰ Khmelnytskyi National University, Ukraine, tribosensor@gmail.com

¹¹ Khmelnytskyi National University, Ukraine, tribosensor@gmail.com

¹² Khmelnytskyi National University, Ukraine, tribosensor@gmail.com

pressures and stresses in the contact area. Calculations are numerical implementations of mathematical models, corresponding processes and states. Mathematical models of contact interaction consist of calculation schemes, state equations and boundary conditions. The basis of the estimated estimation of wear of bearings of sliding is the solving of wear of contact tasks [1–5]. In this paper, a variational-experimental approach was used to determine the contact pressure in the bearing.

The variational - experimental approach [1] is characterized by the introduction into the functional of the experimental dependence. Minimizing the functionality is looking for a solution according to this experiment. The contact problem of the theory of elasticity leads to a joint solution of a system of two equations: continuity and equilibrium:

$$\int_a^b \sigma(s)k(x-s)ds = f(x),$$

$$Q = \iint \sigma(x, y)dxdy.$$

The traditional way of solving the main part is to solve the integral equation of continuity, using the equilibrium condition as a limitation. This function is supposed to be known from the geometry of contacting bodies. The basis of the variational approach is that, as the basic equation for solving the contact problem, we take the integral equation of continuity rather than the equilibrium condition. In essence, this is also an integral equation, since an unknown function is under the integral sign. But this is an integral equation of a special type.

Next, the procedure consists in transforming the left side of the equation of equilibrium from a constant into a function. To do this, it is assumed that the experiment can find a function:

$$Q = cu_0^n,$$

where u_0 is the maximal normal movement in contact.

This function reflects the entire load process, not just one process point. After substitution:

$$cu_0^n = \iint \sigma(x, y)dxdy,$$

get the condition of equilibrium at any moment of loading.

The function of contact pressures can be obtained from the following expression, which reflects the mismatch of the experiment and the desired function:

$$\varepsilon = cu_0^n - \iint \sigma(x, y)dxdy,$$

The result is a quadratic functional of the contact problem:

$$F = \int_0^{u_0} \left[cu_0^n - \int \int \sigma(x, y) dx dy \right]^2 du_0 .$$

The traditional formulation of the contact problem contains two equations: continuity and equilibrium, and two unknown functions of the pressure $\sigma(x)$ and size of the contact area $a(Q)$. In the presence of an experimental dependence $a(Q)$, the dimensions of the contact area are known and the conditions of continuity are satisfied automatically.

The task minimization procedure is performed traditionally using the Ritz method. The desired function is represented in the form of a truncated series taken from a series that has the property of completeness.

For simplicity, consider the flat problem. Then the desired function can be represented as:

$$\sigma(x) = \sum c_i \varphi_i(x) .$$

After substitution, we have the function of many variables c_i :

$$F(c_i) = \int_0^{u_0} \left[cu_0^n - \int \sum c_i \varphi_i(x) dx \right]^2 dx .$$

From the condition of the minimum of the function:

$$\frac{\partial F(c_i)}{\partial c_j} = 0 .$$

Calculation – experimental method of estimation of wear of a bearing of sliding

Consider the application of the variational-experimental method [1] to calculate the contact parameters of a cylindrical bearing of sliding (fig. 1).

The contact interaction of a solid cylinder of a radius R_1 (shaft) and a hollow cylinder (a bearing of a sliding bearing), a radius R_2 connected with a gap $\Delta = R_2 - R_1$ is considered.

Compression by force Q leads to plastic deformations in contact, while from the experiment the dependence of the contact angle $2\varphi_0$ on the load in the form of a power function is known:

$$Q = c\varphi_0^n, \quad (1)$$

where c, n are the dependency options:

$$Q = \frac{Q_n}{\varepsilon},$$

where Q_n is the load on the shaft; ε is the size of the shaft on the creature.

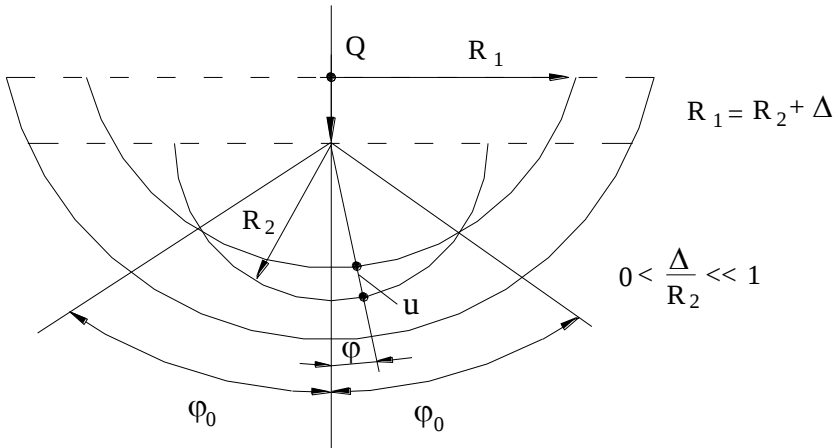


Fig. 1. Scheme of bearing of sliding

The second main condition of the problem is the equilibrium condition of the external load and contact pressure $\sigma(\varphi)$ for the shaft:

$$Q = 2R \int_0^{\varphi_0} \sigma(\sigma) \cos \varphi d\varphi. \quad (2)$$

The condition of equilibrium must be fulfilled throughout the process of loading. This requirement leads to a quadratic functional:

$$F = \int_0^{\bar{\varphi}_0} \left[Q(\varphi_0) - 2R \int_0^{\varphi_0} \sigma(\varphi) \cos \varphi d\varphi \right]^2 d\varphi_0. \quad (3)$$

For the convenience of the solution, we take the function of the projection of pressure on the direction of the force as follows:

$$\sigma_1(\varphi) = \sigma(\varphi) \cos \varphi, \quad (4)$$

Then the functional takes the form:

$$F_1 = \int_0^{\bar{\varphi}_0} \left[Q(\varphi_0) - 2R \int_0^{\varphi_0} \sigma_1(\varphi) d\varphi \right]^2 d\varphi_0, \quad (5)$$

or taking into account (1):

$$F_1 = \int_0^{\bar{\varphi}_0} \left[c\varphi_0^n - 2R \int_0^{\varphi_0} \sigma_1(\varphi) d\varphi \right]^2 d\varphi_0. \quad (6)$$

The solution of the problem of determining the function of contact pressure we will look in the form of a power series of the form:

$$\sigma_1(\varphi) = \sum_k \xi_k (\varphi_0^k - \varphi^k), \quad (7)$$

where $k = 1, 2, 3, \dots$

After substitution (7), the functional (6) becomes a function of many variables:

$$F_1(\zeta_k) = \int_0^{\bar{\varphi}_0} \left[c\varphi_0^n - 2R \int \sum_k \xi_k (\varphi_0^k - \varphi^k) d\varphi \right]^2 d\varphi_0. \quad (8)$$

After taking the internal integral (8) turns into a form:

$$F_1(\zeta_k) = \int_0^{\bar{\varphi}_0} \left[c\varphi_0^n - 2R \sum_k \xi_k \varphi_0^{k+1} \left(\frac{k}{k+1} \right) \right]^2 d\varphi_0. \quad (9)$$

Minimization of the function (9) of many variables is realized using the system of equations:

$$\frac{\partial F_1(\xi_k)}{\partial \xi_k} = 0. \quad (10)$$

After the rise (9) to the square, integrating and differentiating we arrive at the system of equations:

With a small number of members of a series, the system (11) regarding the coefficients ξ_k is solved analytically. With a large number of members in a series - numerically with the help of a computer.

After determining ξ_k the distribution function of pressure $\sigma_1(\varphi)$ is determined by (7).

$$\left. \begin{aligned} \sum_k \xi_k \sigma_0^k \frac{k}{(k+1)(k+p+3)} &= \frac{1}{n+p+2}; \\ k, p &= 1, 2, 3; \\ \xi_k &= \bar{\xi}_k, \bar{\sigma}; \quad \bar{\sigma} = \frac{Q}{2R\varphi_0}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

During wear, the contact angle φ_0 of the shaft and bearing increases. If you do not take into account the elastic deformation of the bearing, then the relationship between the angle φ_0 of contact and the linear wear u_w is as follows:

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{\cos \varphi \cdot \Delta}{u_w + \Delta}\right). \quad (12)$$

The wear of a bearing will be determined by an algebraic form:

$$u_w = a\sigma^m(\varphi_0) \cdot t. \quad (13)$$

Thus, in order to obtain data describing the kinetics of bearing wear, it is necessary to use a step-by-step procedure. This procedure is as follows. The whole process of wear is divided into small segments of time. $\Delta t = t_0 = t_2 = t_3 \dots t_n$. Determine the contact pressure from the system (11) and the wear of the bearing according to expression (13) for the first period of time t_0 .

Then determine the new value of the angle of contact φ_0 (12) taking into account the increase in wear $u_w + \Delta u_w$. The new value φ_0 is determined by the contact pressure $\sigma(\varphi_0)$ (4). The procedure is repeated. Thus, based on the results of

numerical calculations it is possible to obtain a change in the main parameters of the bearing in the process of wear: $\sigma(t)$, $\varphi_0(t)$, $u_w(t)$.

Research results and their discussion

In the first stage, tests were performed on the press of the shaft into the bearing with the determination of the experimental pressure diagram [2].

According to the test results, the parameters c and n of the pressure diagram were determined in the form:

$$\frac{Q}{\epsilon \Delta} = c \varphi_0^n.$$

The results of determining the parameters of the pressure diagram (hard characteristics) are given in Table 1.

Table 1
Values of parameters of hard characteristics of a sliding bearing

Materials		Parameters of hard characteristics	
shaft	bearing	c , MPa	n
Steel 45 HRC 38 – 43	Steel 40H HRC 43 – 47	2,93.105	3,05
	Steel 20H HRC 60	3,02.105	3,50
	Cast iron Z120	3,36.105	4,35
	Bronze CuSn10P	2,36.105	3,95
	Bronze CuAl8Fe3	2,26.105	3,63
	Bronze CuSn5Zn5Pb5	2,15.105	3,74

Calculations of contact parameters were performed at the following initial data:

$R = 45$ mm, shaft length along a formative line $\epsilon = 15$ mm;

$\Delta = 0,1$ mm, shaft material - steel 45; material of bearing - Bronze CuSn10P;

$c = 2,36,105$ MPa; $n = 3,95$.

The results of calculations of the angle of contact and pressure on the proposed method are presented on Fig. 2 and on Fig. 3

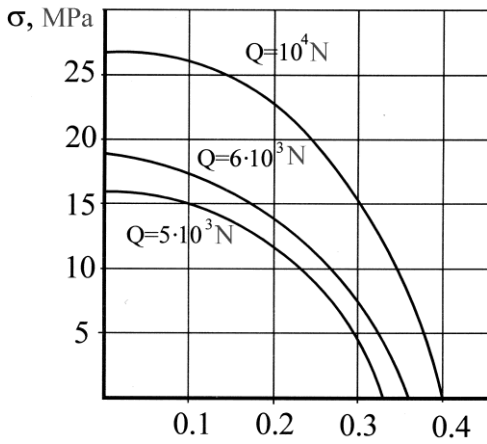


Fig. 2. Distribution of contact pressures at the angle of contact at different load values

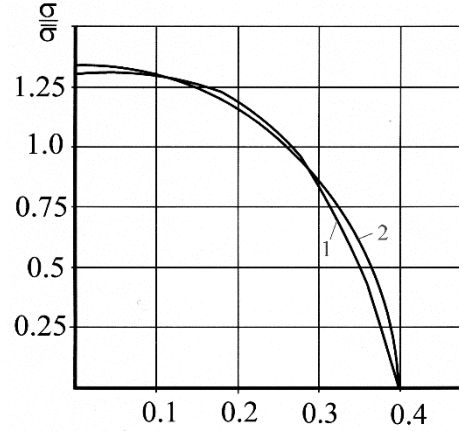


Fig. 3. Comparison of the distribution of contact pressure according to the proposed method -1 and by the method [3] -2.

Comparison of the results of these calculations of contact pressure with calculations according to the known method [3] (Fig. 3), shows the sufficient accuracy of the proposed methodology.

Contact shaft and bearing, taking into account frictional forces

The contact of shaft and bearing on a large contact area in conditions without slipping at each point of contact is considered. The functional task based on minimizing the deviation of the work of external force on the way of convergence from the work of normal and tangential stresses on contact movements was taken as:

$$F = \int_0^{\varphi_0} \left[Q(\varphi_0) d\varphi_0 - 2\varepsilon \int_0^{\varphi_0} \int_0^u \sigma(u) du R d\varphi - 2\varepsilon \int_0^{\varphi_0} \int_0^v \tau(v) dv R d\varphi \right]^2 d\varphi_0.$$

From contact geometry for normal displacements follows:

$$u(\varphi) = \Delta \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_0} - 1 \right),$$

or approximation, expanding in a numerical series:

$$u(\varphi) = \Delta \left[\left(\frac{\varphi_0^2}{2} - \frac{\varphi^2}{2} \right) + \left(\frac{\varphi_0^4}{24} - \frac{\varphi^4}{24} \right) \right] \left(1 + \frac{\varphi_0^2}{2} \right).$$

For small first order: $du(\varphi) = -\Delta \varphi d\varphi$.

For tangential displacements, respectively: $v = u(\varphi) \operatorname{tg} \varphi$,

$$v(\varphi) = \Delta \left[\left(\frac{\varphi_0^2}{2} - \frac{\varphi^2}{2} \right) + \left(\frac{\varphi_0^4}{24} - \frac{\varphi^4}{24} \right) \right] \left(1 + \frac{\varphi_0^2}{2} \right) \left(\varphi + \frac{\varphi^3}{3} \right),$$

$$dv(\varphi) = \Delta \left(\frac{\varphi_0^2}{2} - \frac{3}{2} \varphi^2 \right) d\varphi.$$

The solution of the problem will be sought in the form of numerical series:

$$\sigma(\varphi) = \sum d_k (\varphi_0^k - \varphi^k), \quad \tau(\varphi) = \sum \beta_e (\varphi_0^e - \varphi^e) \varphi, \quad k, l = 1, 2, 3.$$

The dependence of external load on the angle of contact is taken in the form:

$$\bar{Q} = \varphi_0^n; \quad \bar{Q} = \frac{Q}{(6c\Delta)}.$$

After the substitution of the resulting expressions, the functional is reduced to the following:

$$F = \int_0^{\hat{\varphi}_0} \left[\int_0^{\varphi_0} \bar{Q}(\varphi_0) d\varphi_0 - \frac{2R}{c} \int_0^{\varphi_0} \int_0^{\varphi} \sum \alpha_k (\varphi_0^k - \varphi^k) (-\varphi \Delta) d\varphi - R d\varphi - \right. \\ \left. - \frac{2R}{c} \int_0^{\varphi_0} \int_0^{\varphi} \sum \beta_e (\varphi_0^e - \varphi^e) \left(\frac{\varphi_0^2}{2} - \frac{3}{2} \varphi \right) \right]^2 d\varphi_0.$$

Parameters α_k and β_e were determined from the condition of minimizing the functional of the task: $\partial F(\alpha_k, \beta_k) / \partial \alpha_k = 0$.

After the integration and differentiation the system of equations was obtained:

$$\sum_k \bar{\alpha}_n \varphi_0^{k+1} \frac{k}{3(k+p+7)k+3} + \sum_l \bar{\beta}_l \varphi_0^{l+1} \frac{l}{4(l+3)} \times \left(\frac{\varphi_0 a_1}{l+p+9} - \frac{a_2}{l+p+8} \right) = \frac{1}{(n+p+5)(n+1)},$$

$$\begin{aligned} & \sum_k \bar{\alpha}_k \varphi_0^{k+1} \frac{k}{(k+3)} \left(\frac{\varphi_0 \epsilon_1}{k+m+9} - \frac{\epsilon_2}{k+m+8} \right) + \sum_l \bar{\beta}_l \varphi_0^{m+2l+11} \frac{l}{3(l+3)} \times \\ & \times \left(\frac{\varphi_0^2 a_1 \epsilon_1}{2m+2l+19} - \frac{\varphi_0(a_1 \epsilon_2 + a_2 \epsilon_1)}{2(m+l+9)} + \frac{a_2 \epsilon_2}{2m+3l+17} \right) = \frac{\varphi_0 \epsilon_1}{n+m+7} - \frac{\epsilon_2}{n+m+6}, \\ & \text{де } k, p, l, m = 1, 2, 3, \dots \end{aligned}$$

$$\alpha_k = \bar{\alpha}_k \bar{\sigma}, \quad \beta_e = \bar{\beta}_e \bar{\sigma}, \quad \bar{\sigma} = \frac{Q}{(2\epsilon R \varphi_0)},$$

$$a_1 = \frac{l+5}{3(l+2)}, \quad a_2 = \frac{l+7}{2(l+4)}, \quad \epsilon_1 = \frac{m+5}{3(m+2)}, \quad \epsilon_2 = \frac{m+7}{2(m+4)}.$$

This solution requires a complicated computational procedure for the use of computer programs, in particular, MathCad.

Conclusion

The variational-experimental method for determining the distribution of contact pressure in a cylindrical slider bearing, taking into account frictional forces is proposed. In the solution, the experimental dependence of the dimensions of the contact arc in the bearing on the external load was used. In this work an example of determining the parameters of the indicated experimental dependence is implemented. The functional problem is obtained as a deviation of the experimental function from the integral equilibrium condition. For the calculation the kinetics of wear and contact parameters, a step-by-step procedure is proposed.

References

- [1] Kuzmenko A.G., *Plastic contact Variational – experimental method*. Monograph. Khmelnytsky: KhNU, 2009;
- [2] Kuzmenko, A. G., Kuzmenko, G. A., Sorokaty, R. V., Dykha, A. V. (1992). *Calculating and experimental method for solving contact problems*, *Trenie i iznos*, 13(2), 257–264;
- [3] Dykha O. V., *Approximate wear contact problem for cylindrical bearing with allowance for slip friction*, *Problems of Tribology*, 2017. No.4. Pp. 75–81;
- [4] Dykha A.V. Kuzmenko, A.G. 2015. *Solution to the problem of contact wear for four-ball wear-testing scheme*. *Journal of Friction and Wear*, 36(2), 138–143. DOI: 10.3103/S1068366615020051;
- [5] Dykha A., Sorokaty R., Makovkin, O., Babak O., *Calculation-experimental modeling of wear of cylindrical sliding bearings*. „Eastern-European Journal of Enterprise Technologies”, 2017, 5/1 (89), 51–59. doi: 10.15587/17294061.2017.109638. <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/109638>.

5. Nowoczesne technologie zabezpieczania mienia i infrastruktury gospodarstwa domowego

Słowa kluczowe: zabezpieczanie mienia, systemy alarmowe, infrastruktura domowa

Streszczenie: W artykule przedstawiono nowoczesne sposoby zabezpieczania mienia w gospodarstwie domowym, a także omówiono rozwiązania proponowane przez najnowsze technologie na rynku. Omówiono zagrożenia wynikające z nieprawidłowego zabezpieczania mienia. W artykule zostały opisane także, wady i zalety wynikające ze stosowania technologii antywłamaniowej i przeciwpożarowej. Opisano także potrzebę edukowania dotyczącego prawidłowego zabezpieczania dobrobytu, a następnie przedstawiono wnioski końcowe.

Wstęp

Rozwój gospodarki pozwala na różnorodne rozwiązania dotyczące zarówno aranżacji gospodarstwa domowego jak i również nabycia wartościowego mienia. W dzisiejszych czasach dostępność produktów takich jak urządzenia RTV, AGD jest na bardzo wysokim poziomie. Można zauważyć, że większość domów jak i mieszkań posiada w swoim wyposażeniu sprzęt, który można zaliczać do rzeczy wartościowych. W niektórych krajach poziom rozwinięcia bada się przeliczając ilość telewizorów na mieszkańców. Jednakże wartościowe mienie to nie tylko sprzęt elektroniczny, są to również różnego rodzaju pamiątki, wyposażenie domu, przedmioty sztuki, a także jego infrastruktura. Wiele lat temu nie przykładano uwagi do tego w jaki sposób zabezpieczony jest dorobek. Społeczeństwo było bardziej ufne. W dobie dzisiejszych technologii pojawia się jednak negatywne zjawisko związane z reklamowaniem się w Internecie, ale także umieszczaniem fotografii lub krótkich filmów, na których czasem nawet nie świadomie pokazuje się publicznie swoje domowe mienie. Publiczne przedstawianie swojego dorobku jest bardzo ryzykowne. Aby zapobiec utracie mienia bądź też jego uszkodzeniu na rynku pojawia się wiele nowoczesnych rozwiązań wspomagających proces ochrony mienia oraz infrastruktury gospodarstwa domowego.

¹³ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, m.pasnikowska-lukaszuk@pollub.pl

Problematyka zabezpieczania mienia

Proces zabezpieczania mienia jest pracochłonny i wymagający dużych nakładów kosztów, jednakże warto zauważyć, że taka inwestycja jest bardzo opłacalna. Nowe budownictwo jest dostosowane pod przyłączenie sieci zabezpieczającej dom czy mieszkanie. Wielu architektów i projektantów na etapie planowania rozkładu pomieszczeń oraz umiejscowienia budynku bierze pod uwagę fakt, w jakim położeniu znajduje się działka oraz to w jaki sposób można zabezpieczyć pomieszczenia budowanego obiektu. W obiektach już wybudowanych problem pojawia się w momencie próby podłączenia instalacji. Często wymaga ono drastycznych rozwiązań takich jak kucie tynków, rozkopywanie działki itp., aby można było utworzyć dodatkowe przyłącze. Bardzo ważne jest aby na etapie projektu przewidzieć rozwiązania dotyczące montażu czujek alarmowych oraz kamer. Przykładową instalację pokazano na rysunku nr 1.



Rys. 1. Przykładowa instalacja [źródło: własne]

Problemem pojawiającym się w czasie planowanego utworzenia systemu zabezpieczeń są wspomniane wcześniej nakłady finansowe. Przygotowanie kompletnego systemu wymaga przyłącza elektrycznego oraz zamontowania dostatecznej ilości czujek. Na rynku jest obecnie mnóstwo firm, które zajmują się kompleksowym przygotowaniem systemów alarmowych. Koszt takich usług waha się w granicach kilku tysięcy złotych. Dodatkowym obciążeniem jest fakt płacenia abonamentu za całodobowe monitorowanie, przez cały czas trwania umowy. Samodzielne wykonanie łącza jest tańsze jednakże wymaga precyzyjnych umiejętności oraz odpowiedniej wiedzy. W przypadku monitoringu obiektów należy także bardzo dokładnie wymierzyć pomieszczenia i sprawdzić,

czy zakładany montaż kamer obejmie dokładnie każdy punkt budynku. Instalację monitoringu przedstawiono na rysunku nr 2. Do instalacji z monitoringiem również potrzebna jest dodatkowa instalacja przewodów elektrycznych. Ponadto niektóre kamery wymagają odrębnego montażu dysków, na których przechowywane są zapisane dane i podłączenia do Internetu w tym także, dostępu do bezprzewodowej sieci.

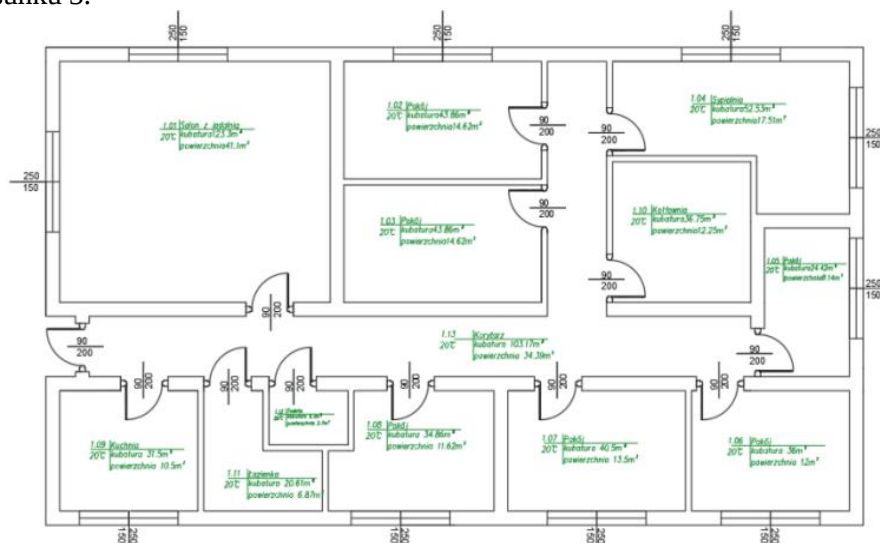


Rys. 2. Monitoring wraz z czujką alarmową

Jeśli dom znajduje się na uboczu i z dala od różnego rodzaju przekaźników tj. wieże sygnałowe sieci komórkowych, łącza internetowe itp., to bardzo często pojawia się problem z zasięgiem. Firmy, które zajmują się instalacją systemów dodatkowo montują urządzenie wysyłające sygnały o stanie alarmu do centrali, jeśli zasięg jest słaby, mogą one po prostu nie docierać. Dlatego często mieszkańcy nowych osiedli decydują się na późniejszą instalację systemów ze względu na brak infrastruktury sieci komórkowych lub łączy internetowych. Należy jednak pamiętać, że mimo tych utrudnień i problemów przy dokonywaniu wyboru odpowiedniego zabezpieczenia, ma to sens.

Techniki zabezpieczania mienia

Podstawowym krokiem, który należy poczynić w procesie zabezpieczania mienia jest przygotowanie szacowania mienia, które chcemy zabezpieczyć oraz przygotowanie planu domu w celu rozmieszczenia odpowiednich czujek. Jeśli właściciel nie posiada dokładnego planu, warto zwymiarować wszystkie pomieszczenia indywidualnie wraz z uwzględnieniem drzwi i okien w pomieszczeniach. Do przygotowania rzutu pomieszczeń pomocny jest program Autodesk AutoCAD. Za pomocą dostępnych narzędzi można przygotować schemat i rozkład pomieszczeń, a także dodatkowo nanieść wymiary, które są niezbędne w procesie przygotowania infrastruktury czujek. Przykładowy schemat pomieszczeń wykonany w programie Autodesk AutoCAD przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat pomieszczeń wykonany w programie AutoCAD

Na rynku dostępne są gotowe produkty, które pozwalają na kompleksowe przygotowanie projektu systemu alarmowego, jednakże większość z nich wymaga dużych nakładów kosztów z racji posiadanej licencji. Mając na uwadze fakt ogólnodostępnych narzędzi zaleca się korzystanie właśnie z takich w celu zmniejszenia kosztów instalacji. Jeśli właściciel posiada już gotowy projekt domu lub przygotował wersję pomocniczą może zająć się doбором czujek. Firmy, które oferują zakup czujek systemów alarmowych posiadają szeroki opis i zastosowanie tych czujek. Każda z nich musi być dobrana odpowiednio do parametrów nakładanych przez konstrukcję domu. Czujki posiadają zasięg, dlatego też ich dobór zależy od wymiarów pomieszczenia, w którym będą montowane.



Rys. 4. Przykładowy zestaw alarmowy [źródło: <https://bit.ly/2UJV6It>]

Mienie to nie tylko wyposażenie wewnątrz domu, ale także jego infrastruktura, a także to co znajduje się na jego zewnątrz. Często jest tak, że to mienie właśnie najtrudniej zabezpieczyć. Dlatego ważne jest aby w takich przypadkach wykorzystać możliwość montażu kamer. Na rynku dostępne są kamery tubowe oraz kopułkowe, które sprawdzają się doskonale w procesie monitorowania budynku. Przykład takich kamer pokazano na rysunku nr 5. W zależności od konstrukcji i bryły budynku dopasowuje się wybrany rodzaj monitoringu. Największy zasięg mają kamery kopułkowe. Większość z nich ma możliwość obrotu nawet o 360°. Ich wadą jest jednak to, że w momencie obrotu mogą pominąć akurat ważny moment, który powinien zostać nagrany. Kamery tubowe skupiają się na jednym punkcie, dlatego często potrzeba kilku kamer, aby objęły lokalizację, która ma być monitorowana. W zależności też od jakości nagrania przechowywane jest ono na dyskach, czy też serwerach. Jeśli kamera ma możliwość nagrywania w HD to rozmiar plików jest zdecydowanie większy i wtedy takie nagranie przechowywane jest krócej. Kamery montuje się w najbardziej wysuniętych miejscach budynku, tak aby obejmowały wszystkie punkty budynku oraz działki. Należy pamiętać, że monitoring musi być tak wykonany, aby przy rejestrowanym obrazie nie było tzw. „martwych punktów” tzn. takich, których kamera nie jest w stanie objąć. Większość dostępnych na rynku modeli ma możliwość wyboru odpowiedniego zasięgu, jednakże należy mieć na uwadze również fakt, że im większy zasięg odległości ma kamera to jednak obraz nie do końca będzie czytelny. Niektórzy właściciele domów jako dodatkowe zabezpieczenie monitorujące stosują domofony wraz z wbudowaną

kamerą. W ten sposób zanim dana osoba przekroczy teren prywatny, zostanie wcześniej rozpoznana przez osobę obsługującą domofon. Jest to wygodne zwłaszcza w przypadkach gdzie odległość między wejściem do domu czy też mieszkania a furtką bądź wejściem do klatki schodowej jest duża. Systemy informatyczne bardzo szybko przetwarzają obraz i przekazują go użytkownikowi. W bezpiecznym domu warto wziąć również pod uwagę montaż czujek zalania, które w przypadku nagłego wystąpienia zalania mieszkania bądź domu zaalarmują o podnoszącym się poziomie wody.



Rys. 5. Kamera kopulkowa i tubowa [źródło: monitorowany.com]

Czujki te stosuje się przede wszystkim w pomieszczeniach, w których może nastąpić ryzyko wycieku z instalacji wodnej. Najczęściej są to łazienki, kuchnie, pomieszczenia gospodarcze oraz garaże. Czujki te montuje się na wysokości podłogi. Kolejną nowoczesną technologią wprowadzoną na rynek są czujki dymu i ognia. Pozwalają one na alarmowanie użytkownika w przypadku zagrożenia pożarem bądź zadymieniem. Niektóre modele dostępne na rynku mają wbudowany system powiadamiania służb bezpieczeństwa, w tym przypadku straży pożarnej. Czujki te montowane są najczęściej w kuchni oraz pomieszczeniach, w których może dojść do samozapłonu wyposażenia, tudzież zadymienia np. salony, w których zamontowany jest kominek bądź instalacja grzewcza. Niektórzy producenci zalecają również montaż takiego systemu w pomieszczeniach, w których znajduje się dużo elektroniki. Ten system także wymaga dodatkowej instalacji przewodów, jednak można spotkać się również z modelami, które działają na baterie i można je montować bezprzewodowo.

Przykład takiej czujki przedstawiono na rysunku nr 6. Czujek nie wolno montować w miejscach ciągłego zadymiania tj. tam gdzie np. działają nawilzacze powietrza, urządzenia ozdobne wywołujące parę bądź dym oraz w miejscach przeznaczone np. do palenia papierosów zarówno tradycyjnych oraz elektronicznych, ponieważ te czynniki mogą samoistnie i bezpodstawnie wywoływać alarm. Kolejną technologią, która pojawiła się niedawno na rynku są czujki ruchu montowane w oknach. Pozwalają one zabezpieczyć dom przed włamaniem, ale także przed samoistnym otworzeniem się. Czujki te są magnetyczne. Ich inna nazwa rynkowa to kontaktrony. Jest to łącznik, który posiada sterowanie poprzez pole magnetyczne. Jednakże mimo iż jest to również

przydatny rodzaj zabezpieczenia to ma swoje wady. Przy dużych przeciągach może nastąpić załączenie się alarmu. Także przy wybiciu szyb w oknach czujki nie odegrają swojej roli. Dlatego w domu, który ma być zabezpieczony bardzo dobrze powinno stosować się kilka różnych rozwiązań alarmowych.



Rys. 6. Czujka przeciwpożarowa z elektronicznym systemem alarmowym [źródło: vape.pl]



a)



b)

Rys. 7. a) i b) Kontaktron zamontowany w ramie okiennej [źródło: a) dom.pl, b) ekobudowanie.pl]

Zarządzanie takimi systemami można dokonywać poprzez działanie różnego rodzaju aplikacji internetowych, które pod nieobecność będą na bieżąco informować co dzieje się w domu. Warto jednak pamiętać, że jak każde urządzenie sterujące online ma ono swoje wady. Jeśli dostęp do aplikacji trafi w niepowołane ręce to może zakończyć się to zarówno zmianą oprogramowania jak i np. haseł dostępu. Dlatego dostęp do takich aplikacji powinien posiadać tylko sam właściciel. Aplikacje te powinny być chronione odpowiednim hasłem [2]. Jeśli system alarmowy jest wykonany samodzielnie jego nadzorowanie jest

również samodzielne, zaś system montowany przez firmy zewnętrzne jest monitorowany 24h na dobę. To ułatwia codzienny proces nadzorowania mienia.

Dodatkowo firmy te mają w obowiązku kilka razy w miesiącu zrobić tzw. obchód bądź objazd kontrolny okolicy, w której nadzorowane są gospodarstwa domowe. Ostatnim aspektem, który należy wspomnieć w procesie zabezpieczania mienia jest kontrola pogodowa. Mienie domu, które trzymamy na zewnątrz często jest narażone na warunki pogodowe. Dlatego niektórzy właściciele gospodarstw budują komórki ochronne lub dodatkowe garaże. Są jednak sytuacje, kiedy nie potrzeba ciągłego zabezpieczania tj. bardzo dobra pogoda, sprzyjające warunki klimatyczne. Jednakże wraz ze zmianą klimatu pojawia się problem nie przewidywanych zjawisk. Dlatego w wielu krajach stosuje się powiadomienia z Centrum Zarządzania Kryzysowego. W Polsce alerty wysyłane są za pomocą SMS przez Rządowe Centrum bezpieczeństwa. Zazwyczaj w wiadomościach tych podawana jest informacja o rodzaju zjawiska atmosferycznego oraz wskazówkach co należy zrobić, aby się zabezpieczyć. Jest to bardzo dobre rozwiązanie zwłaszcza dla osób, które nie mają ciągłego dostępu do informacji. Alerty wysyłane są do wszystkich użytkowników sieci komórkowych. Sposób przesłania informacji przedstawiono na rysunku 8.

Przy technikach zabezpieczania mienia warto wspomnieć, że istnieją również systemy zabezpieczania przed uszkodzeniami mechanicznymi wynikającymi z nieprawidłowego poruszania się np. pojazdów. W niektórych rejonach, zwłaszcza w takich, w których domy znajdują się blisko ruchliwej drogi i mogą być narażone na uszkodzenia związane z wypadkami komunikacyjnymi stosuje się zabezpieczenia, które mają uchronić np. przed wjazdem samochodu na posesję. Do takiego rodzaju zabezpieczeń stosuje się słupki automatyczne lub zapory drogowe. Mają one za zadanie przyjąć w razie potrzeby cały ciężar samochodu bądź innego środka transportu na siebie. Są sterowane automatycznie. Drugi rodzaj takich słupków to słupki stałe, zamontowane bez możliwości sterowania, zapewniają całodobową ochronę. Przykład automatycznych słupków przedstawiono na rysunku nr 9. Należy pamiętać, że jak każde zabezpieczenie wymaga ono regularnej kontroli sprawności i wytrzymałości.



Rys. 8. Alert RCB wysłany za pomocą SMS

Nowoczesnych rozwiązań zabezpieczania mienia dostępnych na rynku jest bardzo wiele. Warto zapoznać się ze wszystkimi aby wybrać dla swojego gospodarstwa domowego jak najlepsze. Ponieważ technologie ciągle się rozwijają i systemy alarmowe wprowadzają nowe rozwiązania, warto na bieżąco się z nimi zapoznawać i wdrażać w życie.



Rys. 9. Słupki drogowe [źródło: bavak.pl]

Wnioski

Systemy alarmowe to bardzo przydatna rzecz w życiu codziennym. Pozwalają one uchronić mienie przed utratą i zniszczeniem. Jednakże w planowaniu systemów należy wziąć pod uwagę kilka czynników takich jak infrastruktura domu, koszty, położenie domu czy też stan aktualny domu lub mieszkania. Gospodarstwo domowe zabezpieczone w odpowiedni sposób zyskuje również na wartości. Montaż systemów alarmowych wymaga nakładów kosztów, jednak ta liczba w porównaniu z całkowitą wartością domu ta kwota jest niewielka.

Rozwiązania systemowe zewnętrzne związane są z infrastrukturą domu. Przed wyborem odpowiedniego systemu należy dokonać analizy wartości mienia, aby rzeczy najbardziej kosztowne posiadały najlepsze zabezpieczenie. Jeśli jednak właściciel domu nie zdecyduje się na żadne z wymienionych w tekście zabezpieczeń warto choć zastanowić się nad prostymi zabezpieczeniami takimi jak sejf, czy porządne zamki oraz klódki, które w małym stopniu będą tworzyły pewnego rodzaju zabezpieczenie. Takie rozwiązania nakładają małe koszty inwestycyjne a stanowią podstawowe zabezpieczenie. Zawsze warto pamiętać, że czasem lepiej zainwestować w odpowiednie zabezpieczenie mienia niż je stracić.

Literatura

- [1] Horyński M., Majcher J., *Automatyka budynkowa jako element bezpieczeństwa*, „Technika Transportu Szynowego.”, Instytut Naukowo-Wydawniczy, "TTS", ISSN 1232-3829;
- [2] Charlak M., *Wybrane aspekty bezpieczeństwa użytkowników systemów informatycznych*, [w:] *Innowacje w technologiach wytwarzania i technologiach informatycznych* / Joanna Szulżyk-Cieplak, Lublin : Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2018, ISBN 978-83-7947-350-2;
- [3] Szulżyk-Cieplak J., Lenik K., Borowski G., Łoboda D., *Bezpieczeństwo pożarowe obiektów w aspekcie wymogów specjalnych ośrodków oświatowo-wychowawczych*, [w:] „Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych”, Warszawa: Wydawnictwo Centrum Rzecznawstwa Budowlanego, ISSN 2450-1859 ;
- [4] Laskowski M., *Bezpieczeństwo systemów informatycznych*, Lublin 2013, s. 10–11.

6. Rola bezpieczeństwa energetycznego w infrastrukturze budowlanej

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo energetyczne, termodynamika, infrastruktura budowlana, modele matematyczne

Streszczenie: W artykule przedstawiono aspekty bezpieczeństwa energetycznego budynków oraz infrastruktury budowlanej. Dodatkowo przedstawiono sposoby zwiększania efektywności cieplnej budynków. Omówiono proces edukacji dotyczący nauczania bezpieczeństwa energetycznego w celu poprawy świadomości ekologicznej społeczeństwa. Przedstawiono przykłady uzyskania oszczędności energii w budynkach posiadających niskie zużycie energii tj. budynkach pasywnych i energooszczędnych. Opisano aspekty prowadzące do zrównoważonego rozwoju wynikającego z prawidłowego korzystania z dóbr naturalnych, a następnie przedstawiono wnioski końcowe oraz proponowane rozwiązania.

Wstęp

Aspekty bezpieczeństwa znajdują się w każdej dziedzinie życia. Społeczeństwo na co dzień zmierza się z nimi, czasem nawet nieświadomie. Prawidłowe funkcjonowanie różnych podmiotów jest często właśnie uzależnione od zapewnienia odpowiedniego bezpieczeństwa. Ważnym aspektem w dziedzinie bezpieczeństwa jest bezpieczeństwo energetyczne. Odpowiada ono zarówno za podmioty związane z zapewnieniem źródeł energii dla danego państwa oraz zagwarantowaniem prawidłowego rozwoju gospodarki energetycznej. W tym przypadku traktuje się bezpieczeństwo energetyczne jako dobro publiczne [3]. Energetyka jest bardzo ważną dziedziną życia. Gwarantuje ona pracę wielu podmiotów. Bez niej nie ma możliwości funkcjonowania. Prawidłowe korzystanie z zasobów natury pozwala na uzyskanie odpowiednich efektów cieplnych oraz zapewnieniu przyszłym pokoleniom zasobów wtórnych. Czasami odpowiednia edukacja sprzyja takiemu zachowaniu. Codzienne czynności prowadzące do systematyczności w działaniach np. segregacja odpadów na

¹⁴ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, d.wojcicka-migasiuk@pollub.pl

¹⁵ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, m.pasnikowska-lukaszuk@pollub.pl

odpowiednie frakcje sprzyja procesowi rozwoju energetyki. W krajach wysokorozwiniętych oraz takich, które dążą do osiągnięcia wysokich zysków energetycznych, z odpadów uzyskuje się paliwa alternatywne, które mogą być wykorzystywane jako źródło energii. Paliwa te stosuje się także w budynkach mieszkalnych. Często w gospodarstwach domowych paliwem opałowym jest pelet, który pozyskuje się w procesie przetwarzania biomasy czy też odpadów pochodzenia drzewnego. Przykład peletu pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Pelet wykorzystywany jako paliwo opałowe

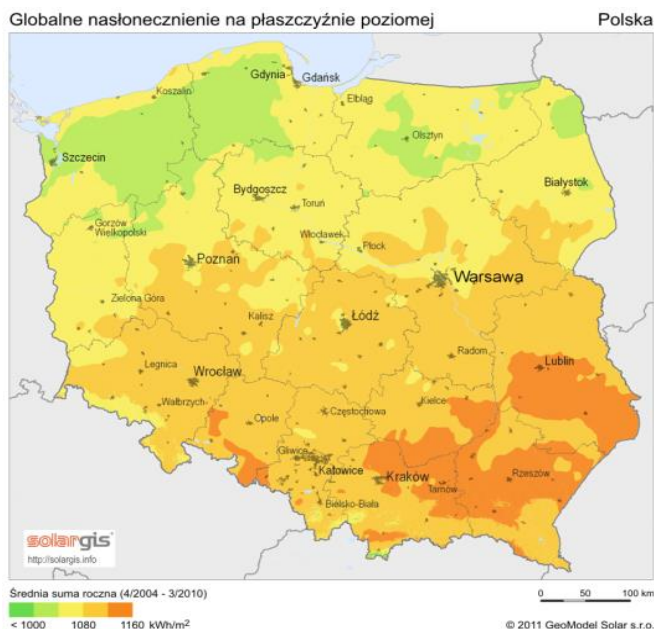
Odpowiednie przygotowanie oraz prawidłowa edukacja pozwala na zaoszczędzenie energii i przeznaczenie jej na inny cel. Jeśli społeczeństwo będzie prawidłowo korzystało z zasobów ziemi to będzie możliwe pozyskiwanie energii bez narażania środowiska na straty i duże zanieczyszczenia. Taka postawa sprzyja dążeniu do zrównoważonego rozwoju. Proces zapewniania odpowiednich warunków energetycznych jest długotrwały. Przykładem dążenia do doskonałej efektywności energetycznej są budynki pasywne i energooszczędne wykorzystujące zarówno korzyści z infrastruktury budowlanej, ale także z czynników naturalnych jakim jest energia słoneczna. Na to budowlane bezpieczeństwo energetyczne wpływa wiele czynników. Czynniki te zostaną omówione zostaną one w następnych podrozdziałach.

Problematyka bezpieczeństwa energetycznego w budynkach

Aby budynki mieszkalne spełniały swoje zadanie tj. zapewniały bezpieczeństwo i komfort mieszkańcom zarówno związany z poczuciem

przestrzeni jak i aspektów cieplnych, muszą one sprostać wielu wymogom. Jednym z tych wymagań jest bezpieczeństwo energetyczne infrastruktury budynku. Ze względu na to iż na co dzień człowiek znajduje się w różnych przestrzeniach zarówno prywatnych jak i publicznych, ma do czynienia z odmiennymi warunkami budowlanymi. Tak naprawdę ciężko jest znaleźć takie budynki, które będą spełniały identyczne efekty cieplne. Uzależnione jest to od temperatury powietrza, ale także też od uwarunkowania atmosferycznego np. umiejscowienie budynku na terenie nasłonecznionym bądź nie. W Polsce rozróżnia się kilka stref nasłonecznienia. Strefy te przedstawiono na rysunku nr 2.

Najbardziej nasłonecznionym rejonem jest Lubelszczyzna oraz okolice województw: podkarpackiego oraz świętokrzyskiego. W tych rejonach możliwe jest uzyskanie jeszcze lepszych efektów cieplnych budynków niż w pozostałych województwach. Dodatkowo montaż instalacji solarnej może pozwolić na uzyskanie statusu energooszczędności budynku.



Rys. 2. Mapa nasłonecznienia Polski [4]

Klimat Polski jest umiarkowany. W całym roku kalendarzowym wedle badań jest 66 dni słonecznych, co oznacza, że budynki muszą spełniać doskonałe warunki energetyczne. Najcieplejsze miesiące to: maj, czerwiec, lipiec oraz sierpień. W tych miesiącach systemy grzewcze są eksploatowane na najmniejszych ustawieniach (jeśli mają dodatkowe funkcję niż tylko zapewnienie ciepła) lub wcale.

Wiele budynków mieszkalnych zwłaszcza tych, które są budowane technologiami już przestarzałymi, albo zostały wykonane w latach kiedy nie zwracało się szczególnej uwagi na efekty cieplne ma ogromny problem z uzyskaniem odpowiednich osiągnięć energetycznych. Związane jest to z niedokładnością zastosowanych rozwiązań budowlanych, ale także jakością materiałów, które kiedyś były produkowane, ale także z funduszami. Można spotkać budynki, które są zbudowane różnymi materiałami np. parter jest murowany, a góra wykończona stylem kanadyjskim tj. konstrukcja drewniana. W takich domach jest ciężko uzyskać jednakowy efekt cieplny w każdym pomieszczeniu.



Rys. 4. Konstrukcja drewniana pokoju [źródło: własne]

Często dlatego stosuje się w takich domach dodatkowe docieplenia, aby zdolność energetyczna była wszędzie jednakowa. Kolejnym problemem pojawiającym się w aspekcie bezpieczeństwa energetycznego jest niesprawność kotłów energetycznych. Brak systematyczności w dokonywaniu przeglądów urządzeń grzewczych prowadzi do strat energii cieplnej, ale także zanieczyszczania powietrza i środowiska. Dbłość o urządzenia grzewcze powinna być tak samo ważna jak dbłość po pozostałe urządzenia sanitarne. Zbyt przestarzała instalacja całego systemu też wpływa niekorzystnie na bezpieczeństwo energetyczne budynku. Ważnym aspektem jest także izolacja związana z funkcjonowaniem okien. Największe straty ciepła są związane z nieprawidłowym uszczelnieniem bądź zbyt małą grubością materiału, z którego wykonana jest konstrukcja okienna. Niektóre materiały dobrane do produkcji okna są nieodpowiednie do zapewnienia dobrej izolacyjności cieplnej. Problemem też jest dobór odpowiedniego zadaszenia domu i zapewniania izolacji

stropu. W mieszkaniach, które są w blokach wielorodzinnych ten problem jest mniejszy, ponieważ izolację stanowi kolejne nadbudowane mieszkanie, jednakże kłopot pojawia się przy ostatnim piętrze. W domach prywatnych stosuje się różne rozwiązania konstrukcji dachu oraz zabezpieczenia powierzchni strychu. Tu nowoczesne technologie pozwalają na uzyskanie odpowiednich efektów przy użyciu dostępnych materiałów termoizolacyjnych.

Bezpieczeństwo energetyczne to nie tylko zapewnienie odpowiedniej ilości energii, aby mieszkańcom budynków nie było zimno, ale też zapewnienie jej w takiej ilości by nie uzyskać przeciwnego efektu jakim jest przegrzanie budynku. Przykłady odpowiednich rozwiązań technologicznych przedstawiono w kolejnym rozdziale.

Metody zwiększania efektywności cieplnej budynków

Aby rozpocząć proces zwiększania efektywności cieplnej trzeba przeprowadzić odpowiednie badania dotyczące zapotrzebowania na ciepło dla danego budynku. W ten sposób można uzyskać szacunkową informację o zdolności budynku. Należy przygotować zestawienie pomieszczeń budynku wraz z dokładnymi wymiarami, temperaturami pomieszczeń oraz współczynnikami przenikania. Aktualnie obowiązujące współczynniki przenikania ciepła na poszczególnych komorach przedstawiono w tabeli nr 1.

Tab. 1. Wartości współczynnika przenikania ciepła [5]

Lp.	Rodzaj przegrody i temperatury w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{C(max)}$ [W/(m ² · K)]		
		Od 1 stycznia 2014r.	Od 1 stycznia 2017r.	Od 1 stycznia 2021r.
1.	Ściany zewnętrzne: a) przy $t_i \geq 16^{\circ}\text{C}$ b) przy $8^{\circ}\text{C} \leq t_i < 16^{\circ}\text{C}$ c) przy $t_i < 8^{\circ}\text{C}$	0,25 0,45 0,90	0,23 0,45 0,90	0,20 0,45 0,90
2.	Ściany wewnętrzne: a) przy $Dt_i \geq 8^{\circ}\text{C}$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy b) przy $Dt_i < 8^{\circ}\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00 bez wymagań 0,30	1,00 bez wymagań 0,30	1,00 bez wymagań 0,30

3.	Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości: a) do 5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm b) powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	1,00	1,00	1,00
		0,70	0,70	0,70
4.	Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
5.	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i \geq 16^{\circ}\text{C}$ b) przy $8^{\circ}\text{C} \leq t_i < 16^{\circ}\text{C}$ c) przy $t_i < 8^{\circ}\text{C}$			
		0,20	0,18	0,15
		0,30	0,30	0,30
		0,70	0,70	0,70
6.	Podłogi na gruncie: a) przy $t_i \geq 16^{\circ}\text{C}$ b) przy $8^{\circ}\text{C} \leq t_i < 16^{\circ}\text{C}$ c) przy $t_i < 8^{\circ}\text{C}$			
		0,30	0,30	0,30
		1,20	1,20	1,20
		1,50	1,50	1,50
7.	Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi: a) przy $t_i \geq 16^{\circ}\text{C}$ b) przy $8^{\circ}\text{C} \leq t_i < 16^{\circ}\text{C}$ c) przy $t_i < 8^{\circ}\text{C}$			
		0,25	0,25	0,25
		0,30	0,30	0,30
		1,00	1,00	1,00
8.	Stropy nad ogrzewanymi pomieszczeniami podziemnymi i stropy międzykondygnacyjne: a) przy $Dt_i \geq 8^{\circ}\text{C}$ b) przy $Dt_i < 8^{\circ}\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego			
		1,00	1,00	1,00
		bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
		0,25	0,25	0,25
Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura, której wartość została określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia. t_i – Temperatura pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia. *) Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.				

Po wykonaniu odpowiednich obliczeń należy sprawdzić czy dla danego budynku zostały odpowiednio dobrane urządzenia. Jeśli instalacja grzewcza jest dobrana do parametrów, które zostały obliczone to problemu należy szukać gdzie indziej. Może się zdarzyć, że obliczenia wykażą zbyt duże zapotrzebowanie mimo np. nowoczesności budynku. Wtedy należy zapoznać się z termoizolacją budynku. Jeśli osoba użytkująca budynek ma świadomość, że mimo użytych odpowiednich materiałów konstrukcyjnych osiąga duże straty ciepła, należy zastanowić się nad termomodernizacją. To zjawisko budowlane jest przede

wszystkim wdrażane w życie zwłaszcza w starym budownictwie. Aby poprawić zdolność cieplną budynku odnawia się jego elewację wraz z zastosowaniem odpowiedniego materiału izolacyjnego. Obecnie najpopularniejsze są materiały termoizolacyjne takie jak: wełna mineralna, styropian. Ich przewodność cieplną przedstawiono w tabeli nr 2.

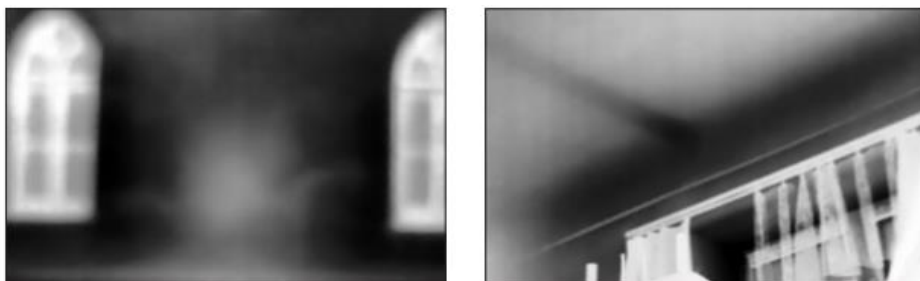
Tab. 2. Materiały termoizolacyjne

Rodzaj materiału termoizolacyjnego	Przewodność cieplna, W/(mK)	Wymagana grubość izolacji dla $U=0,10$ W/(m ² K), cm	Wymagana grubość izolacji dla $U=0,080$ W/(m ² K), cm
Wełna mineralna	0,045 – 0,034	43 – 33	55 – 41
Celuloza	0,043 – 0,037	41 – 36	52 – 45
Styropian spieniany EPS	0,042 – 0,031	40 – 30	51 – 38
Styropian ekstrudowany XPS	0,040 – 0,034	39 – 33	49 – 41
Pianka PU	0,035 – 0,025	34 – 24	42 – 30

Odpowiednie zastosowanie termoizolacji sprzyja poprawie poprawy zapotrzebowania na ciepło. Będąc przy tematyce termoizolacji warto wspomnieć o pomiarach termowizyjnych, które służą także do wykrywania zmiany temperatur. Za pomocą pomiarów termowizyjnych można wykryć miejsca, w których ciepło „ucieka”. To właśnie w tych miejscach powinno zastosować się szczególnie termoizolację. Czasami zabezpieczenie takich miejsc poprawia znacznie efektywność cieplną pomieszczenia, a co za tym idzie całego budynku. Przykład pomiarów termowizyjnych oraz widma uciekającego ciepła przedstawiono na rysunkach nr 6 i 7.



Rys. 6. Pomiar termowizyjny



Rys. 7. Pomiar termowizyjny

Aby uzyskać jak najlepsze efekty cieplne budynku, na etapie projektowania można zastanowić się nad koncepcją budynku energooszczędnego bądź pasywnego. Budynki energooszczędne to takie, których zapotrzebowanie na energię nie przekracza $40 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, zaś budynki pasywne to takie, gdzie roczne zapotrzebowania jest nie większe niż 15 kWh/m^2 , a zużycie energii pierwotnej nie jest większe niż 120 kWh/m^2 . By osiągnąć, któryś z wymienionych efektów należy wziąć pod uwagę kilka czynników. Przede wszystkim głównym czynnikiem jest bardzo dobra izolacja, po za tym już na etapie projektu należy rozważyć budowę domu na planie prostej bryły – kwadratu bądź prostokąta. Jeśli chcemy uzyskać efekt domu pasywnego należy rozważyć także dwuspadowy dach. Ponadto w miejscach od strony południowej powinny być umieszczone pokoje do użytku codziennego. W ten sposób zyskujemy dodatkowe ciepło wynikające z promieniowania słonecznego. Od strony północnej unika się dużych przeszkleń budynku. W budynkach pasywnych rzadko kiedy stosuje się rozwiązania takie jak: rozległe tarasy, balkony itp. W ten sposób unika się dodatkowych strat ciepła. Dodatkowo w domach można zastosować instalację solarną, dzięki której zyskuje się dodatkową czystą energię. Taka instalacja może być również montowana w budynkach starego typu, gdzie każde dodatkowe źródło energii sprzyja poprawie efektywności cieplnej. W miejscach zawietrznych można pomyśleć dodatkowo o montażu wiatraków. Nowoczesnych technologii wspomagania procesu poprawy efektywności energetycznej infrastruktury budowlanej jest wiele, mając na celu dobra własne i środowiska należy rozpatrzyć każde z nich i wybrać jak najlepsze rozwiązanie.

Wnioski

Bezpieczeństwo energetyczne ma ogromny wpływ na codzienne funkcjonowanie. Zapewnienie odpowiedniej ilości energii sprzyja poprawie samopoczucia mieszkańców. Zastosowanie prawidłowych rozwiązań technologicznych pozwala także, na ochronę środowiska, ale także uzyskanie zysków ekonomicznych.

Najlepszym rozwiązaniem budowlanym w przypadku uzyskania jak największych efektów energetycznych jest budowa domu energooszczędnego bądź pasywnego. W procesie regulowania bezpieczeństwa energetycznego warto korzystać z naturalnych i odnawialnych źródeł energii, które są przyjazne dla środowiska tj. energia słoneczna, energia wiatrowa. Dbłość o zasoby energii sprzyja dążeniu do zrównoważonego rozwoju we wszystkich aspektach życia.

Literatura

- [1] Wójcicka-Migasiuk D., Pańnikowska-Łukaszuk M., *Selected aspects of development towards energy efficient buildings*, Journal of Ecological Engineering, Vol. 18, Issue 5, Sep. 2017, p. 137–143;
- [2] Wójcicka-Migasiuk D., Urzędowski A., *Thermal imaging for building diagnostics*, Disputationes Scientifcae Universitatis Catholicae Ružomberok, Ružomberok : VERBUM - vydavateľstvo Katolíckej univerzity v Ružomberku.- ISSN 1335-9185, 2018;
- [3] Braun J., *Bezpieczeństwo energetyczne jako dobro publiczne – miary i czynniki wpływające na jego poziom*, „Studia Ekonomiczne Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach”, Nr 358 ISSN 2083-8611, Katowice 2018;
- [4] gsfotowoltaika.pl ;
- [5] mieszkajenergooszczednie.pl .

7. Bezpieczeństwo energetyczne inteligentnego domu w przestrzeni wiejskiej jako element zrównoważonego zarządzania energią

Wprowadzenie

Wspólna polityka rolna stawia przed rolnictwem państw członkowskich zadania zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego krajów oraz utrzymanie zrównoważonej produkcji rolnej w zgodzie z wymogami w zakresie ochrony środowiska. Sprostanie tym zadaniom, wymaga od rolnictwa ciągłego doskonalenia technologii produkcji, poprawy jej wydajności i efektywności, co z kolei nie jest możliwe bez zapewnienia odpowiedniej ilości i jakości energii elektrycznej na obszarach wiejskich. W szczególności dotyczy to obszarów, które są najbardziej oddalone od źródeł jej wytwarzania i gdzie występują największe straty w przesyłce energii. Tworząca się w Polsce energetyka rozproszona, prosumencka może wydatnie przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa energetycznego na wsi. W pracy zostały przedstawione wybrane systemy automatyki budynkowej dedykowane do oszczędnego zarządzania energią w obiektach zaliczanych do infrastruktury krytycznej. Współcześnie w sferze bezpieczeństwa człowieka ważne miejsce zajmuje infrastruktura krytyczna (IK).

Według definicji zawartej w ustawie o zarządzaniu kryzysowym stanowią ją „systemy oraz wchodzące w ich skład powiązane ze sobą funkcjonalnie obiekty, w tym obiekty budowlane, urządzenia, instalacje, usługi kluczowe dla bezpieczeństwa państwa i jego obywateli oraz służące zapewnieniu sprawnego funkcjonowania administracji publicznej, a także instytucji i przedsiębiorców”. Wprowadzenie automatyzacji w sektorze budownictwa wymusiło szybki rozwój techniki informatycznej. O zaliczeniu obiektu do IK decydują szczegółowe kryteria, które zapisane są w niejawnym załączniku do Narodowego Programu Infrastruktury Krytycznej.

¹⁶ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki,
b.horynski@pollub.pl

Definicje budynku inteligentnego

Inteligentny budynek łączy w sobie różnego rodzaju innowacje technologiczne lub inne, oraz dzięki sprawnemu zarządzaniu maksymalizuje zwrot kosztów całej inwestycji. Zapewnia wysoką produktywność oraz wydajne środowisko pracy poprzez optymalizację jego podstawowych elementów struktury, systemów, usługi zarządzania i powiązań między nimi.

Dzięki swej konstrukcji i wyposażeniu spełnia wymagania energooszczędności wynikającej z zarządzania pracą odbiorników energii oraz zapewniający wygodę użytkowania.

Dzięki regulacjom zawartym w Ustawie o odnawialnych źródłach energii mogą pojawić się przesłanki stanowiące nowy impuls do dalszego rozwoju tych obszarów. Wytwarzanie energii bezpośrednio w miejscu jej zużycia, co jest specyfiką energetyki prosumenckiej, pozwala ograniczyć koszty, a także straty energii wynikające z przesyłu i dystrybucji. Przyczyni się również do zmniejszenia opłat za energię płaconych przez jej odbiorców.

Doświadczenia niemieckie pokazują, że stymulacja rynku produkcji energii elektrycznej, dzięki właściwemu ustawodawstwu, może być czynnikiem aktywizującym rozwój obszarów wiejskich.

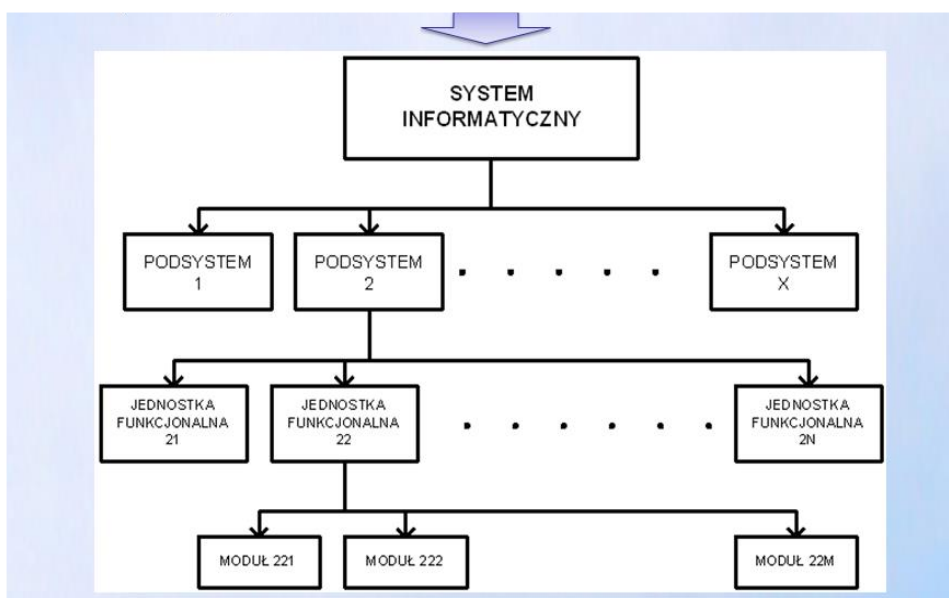
Energooszczędność



- **Energooszczędność jest przede wszystkim kwestią związaną z kontrolowaniem i zmniejszaniem zapotrzebowania na energię, chociaż konieczne są także ukierunkowane działania zarówno w odniesieniu do zużycia energii, jak i dostaw energii.**
- **Psychologowie twierdzą, że mamy już kilkanaście rodzajów inteligencji.**
- **Współcześni inżynierowie i architekci dodają do nich jeszcze inteligencję zawartą w budynkach.**

System informatyczny

We współczesnych, nowoczesnych budynkach istotną rolę pełni system informatyczny, który wchodzi w skład zautomatyzowanych instalacji. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest zapewnienie komunikacji między elementami wchodzącymi w skład systemów automatyki budynku.



Rys. 1. Schemat struktury systemu informatycznego

Na szczególną uwagę zasługują działania mające na celu:

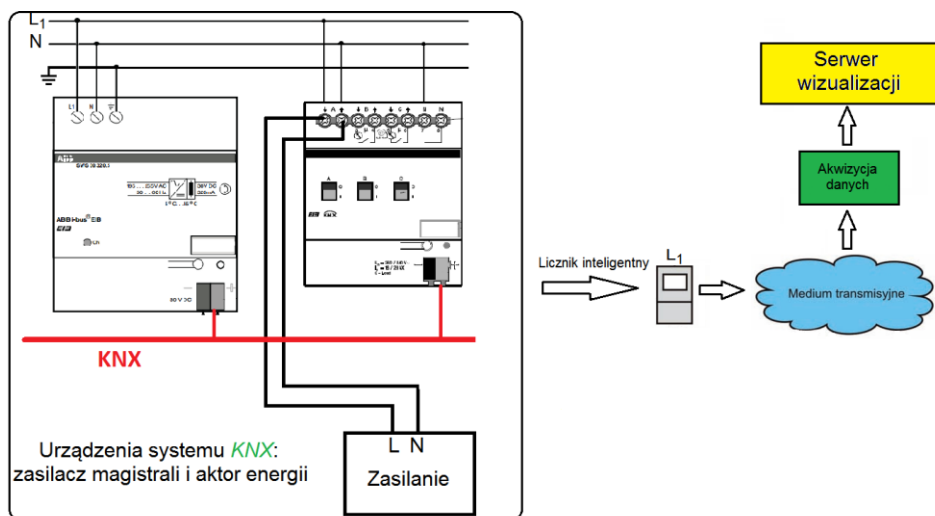
- prowadzenie pomiarów zużycia energii i innych wielkości i wykonywanie na ich podstawie analizy zużycia energii;
- identyfikowanie na terenie obiektów podlegających wprowadzeniu systemu zarządzania energią źródeł oraz odbiorów energii;
- określanie zużycia energii obecnie i w przeszłości;
- prognozowanie zapotrzebowania na energię w przyszłości;
- wskazywanie miejsc o istotnym zużyciu energii;
- identyfikację obszarów o znaczącym zużyciu energii;
- identyfikację komponentów instalacji oraz procesów i określanie ich wpływu na zużycie energii;
- monitoring zużycia energii i określanie miejsc w systemie znacząco wpływających na jego wzrost;

- określenie wydajności procesów, urządzeń o znaczącym zidentyfikowanym zużyciu energii.

Zdalny odczyt liczników

Ważnym, istotnym elementem decydującym o rozwoju energetyki prosumenckiej jest powstanie i rozbudowa inteligentnej sieci energetycznej (ang. smart grid). Ta sieć energetyczna przede wszystkim wprowadza zmianę w sposobie zarządzania dystrybucją energii poprzez bieżącą wymianę informacji między wszystkimi uczestnikami sieci, czyli tymi, którzy produkują energię, przesyłają ją i konsumują. Specjalny system informatyczny łączy dostawców energii z klientami dzięki inteligentnym licznikom. Informatyzacja sieci pozwala m.in. na automatyczne przysyłanie informacji o awariach (obustronnie: zarówno do dostawcy, jak i konsumenta), czy odcinanie dłużnikom dostępu do prądu. Inteligentne liczniki w czasie rzeczywistym pokazują dokładne zużycie energii i automatycznie przekazują te dane dostawcy. Dzięki nim rachunki przedstawiają wartość rzeczywistą zużytej energii. Dodatkowo nie ma potrzeby bezpośredniego sprawdzania stanu liczników w domach klientów. Inteligentne sieci mają jeszcze jeden bardzo istotny cel, pozwalają na dwukierunkowy przesył energii. Oznacza to, że jeśli ktoś z indywidualnych konsumentów energii będzie chciał zainwestować w mikroźródła, czyli małe, przydomowe źródła energii w postaci paneli słonecznych lub wiatraków o łącznej mocy elektrycznej do 40 kW, będzie mógł niewykorzystaną produkcję energii sprzedać do sieci.

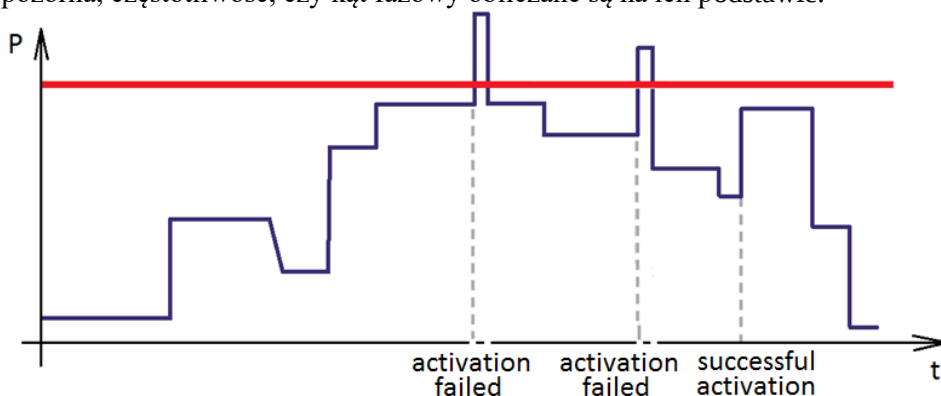
Inteligentne sieci energetyczne pozwalają ograniczyć przerwy w dostawach prądu, czyli tzw. blackouty. Główne przyczyny coraz częstszych blackoutów to: przeciążenie sieci, ekstremalne warunki atmosferyczne (z powodu zmian klimatu), niestabilne, przestarzałe linie przesyłowe. Dzięki połączeniu odbiorników energii elektrycznej z wyjściami aktorów wyposażonych w moduły pomiarowe, sieć KNX może realizować założenia Smart Metering. Sygnały odczytane na wyjściach za pośrednictwem magistrali KNX przesyłane są do głównego licznika, którego rolą jest zliczanie zużycia w całym gospodarstwie domowym. Dane z licznika głównego mogą zostać wysłane dalej, wprost do dostawcy energii elektrycznej zapewniając tym znaczne oszczędności w porównaniu do klasycznego systemu odczytu.



Rys. 2. Zdalny odczyt liczników

Badania laboratoryjne

W badaniach wykorzystano aktory energetyczne. W systemie KNX są one parametryzowane jak inne urządzenia magistralne, posiadają szereg funkcji pozwalających na zarządzanie energią w budynku. Oprócz funkcji typowych dla urządzenia stycznikowo-przełącznikowego aktor posiada licznik, który umożliwia realizację pomiarów elektrycznych. Odpowiednia parametryzacja urządzenia umożliwia zarządzanie energią dzięki ciągłej kontroli i ograniczenie nadmiernego jej zużycia. Aktor mierzy szereg wielkości elektrycznych. Natężenie prądu i napięcie mierzone są w sposób bezpośredni, natomiast moc czynna, moc pozorna, częstotliwość, czy kąt fazowy obliczane są na ich podstawie.



Rys. 3. Przykładowy schemat kontroli zużycia energii za pomocą aktora energii

Tab 1. Zastosowanie aktora energii do kontroli zużycia energii

	1	2	3
Natężenie, A	9.664	0.109	5.051
Napięcie, V	234.851	240.389	234.775
Moc pozorna, VA	2269	25	1185
Współczynnik mocy	1	0.76	1
Współczynnik szczytu	1.49	2.86	1.49
Częstotliwość, Hz	50.02	50.03	50.04

Podsumowanie

Prawidłowe zarządzanie energią jest jednym z najważniejszych problemów w eksploatacji budynków. Obecnie coraz bardziej popularne do sterowania instalacjami w budynkach są systemy magistralne.

Coraz szersza dostępność zautomatyzowanych, zintegrowanych instalacji elektrycznych zwiększa ich zastosowanie. Projektanci nowoczesnych instalacji elektrycznych, zgodnie z polityką prowadzoną w Unii Europejskiej, powinni kierować się zasadą efektywności energetycznej w budynkach. Istotne jest poznanie interakcji między tymi systemami i niezintegrowanymi urządzeniami. Takie podejście wymaga jednak bardzo dobrej znajomości funkcjonowania nowoczesnej instalacji oraz urządzeń i przeprowadzania szeregu obliczeń, i analiz. Pogłębianiu wiedzy z tego zakresu sprzyjają modele w Laboratorium Energooszczędnych Systemów Budynkowych.

Literatura

- [1] Bukowski M., Pankowiec A., Szczerba P., Śniegocki A., *Przełomowa energetyka prosumencka. Dlaczego źródła rozproszone mogą doprowadzić do przewrotu na rynku energii*, Warszawski Instytut Studiów Ekonomicznych, Warszawa, 2014;
- [2] Dołęga W., *Praktyczne aspekty wykorzystania instalacji fotowoltaicznych w budownictwie. Napędy i Sterowanie*, 15(6), 92–95, 2013;
- [3] Gospodarstwa rolne w Polsce na tle gospodarstw Unii Europejskiej – red. Poczty W. Powszechny spis rolny 2010, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2013;
- [4] Horyński M., *Systemy automatyki budynkowej w rewitalizacji przestrzeni wiejskiej*. *Logistyka*, 6, 4527–4534, 2014;

- [5] Horyński M., *Bezpieczeństwo energetyczne inteligentnego domu w przestrzeni wiejskiej*, TTS Technika Transportu Szynowego, 12, 2582–2585, 2015;
- [6] Horyński M., *Zastosowanie technik bezprzewodowych do modernizacji instalacji elektrycznych w obiektach agroturystycznych. Motrol. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*, 1, vol. 16, 37–41. Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 249, 117–128, 2014;
- [7] Horyński M., Majcher J., *Building automation as a safety element*, TTS Rail Transport Technology, , 12, p. 425–428, 2016;
- [8] Horyński M., „The application of dispersed processing networks in order to optimize the energy consumption in contemporary buildings”, *Przegląd Elektrotechniczny*, 7, p. 293–296, 2013;
- [9] Kacejko P. i inni, Prosument – przyjaciel, wróg czy tylko hobbysta?. *Rynek Energii*, 5, 83–89, 2014;
- [10] Kapica J, 2014, Fuel Cells as Energy Storage for Photovoltaic Energy Sources in Rural Areas, Teka, Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, vol. 14, No. 3, 43–46. Ogłoszenie Prezesa Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa z dnia 21 września 2015 r. w sprawie wielkości średniej powierzchni gruntów rolnych w gospodarstwie rolnym w poszczególnych województwach oraz średniej powierzchni gruntów rolnych w gospodarstwie rolnym w kraju w 2015 roku;
- [11] Kuna-Broniowski M., Adamiec M., „A fuel cell as a power source for computing devices in agriculture”, *Agricultural Engineering*, 8(68), 179–185, 2005;
- [12] Poczta W., *Sytuacja dochodowa gospodarstw rolnych w Polsce po akcesji do UE i jej determinanty jako przesłanka rozwoju rolnictwa*, Rocz. Nauk Roln. Ser. G 97.3, 2010;
- [13] Romaniuk W., Łukaszuk M., Karbowy A., *Potencjalne możliwości rozwoju biogazowni w gospodarstwach rolnych w Polsce*, *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 18, 129–139, 2010;
- [14] Rosik-Dulewska Cz., 2006, *Podstawy gospodarki odpadami*, PWN. Warszawa;
- [15] Sarniak M., 2014 *Energy Balance of a Prosument Microinverter On-Grid Photovoltaic System*. Teka Commission of motorization and energetics in agriculture , vol. 14, No. 3, 99–102;
- [16] Siedliska K., Photovoltaics – *The Present and the Future* teka. commission of motorization and energetics in agriculture, vol. 14, No. 3, 103–110;
- [17] Ścibisz M., Pawlak H., 2008, *Wykorzystanie sterowników PLC jako elementów kontrolnych w liniach technologicznych w przemyśle rolno-spożywczym*, *Inżynieria Rolnicza*, 8 (117), Kraków, 231–236, Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej.

Aleksandra Pietrzak¹⁷, Magda Wlazło¹⁸, Joanna Szulżyk-Cieplak¹⁹, Monika Wrona²⁰

8. Niska emisja jako zagrożenie bezpieczeństwa ekologicznego Polski

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia powietrza, niska emisja, odnawialne źródła energii, bezpieczeństwo ekologiczne

Streszczenie: W rozdziale omówiono kluczowe kwestie związane z problemem niskiej emisji. Przedstawiono aktualne wskaźniki jakości powietrza w Polsce i wskazano na niską emisję jako podstawową przyczynę złego stanu powietrza w naszym kraju. W ramach przeprowadzonych badań ankietowych dokonano inwentaryzacji wykorzystywanych źródeł energii na wybranym obszarze województwa lubelskiego celem określenia udziału źródeł odpowiedzialnych za emisję szkodliwych pyłów i gazów powstałych w wyniku nieefektywnego spalania paliw w gospodarstwach domowych. Analiza uzyskanych wyników pozwoliła na oszacowanie poziomu niskiej emisji na objętym badaniem obszarze. Istotnym aspektem badań była także ocena świadomości mieszkańców odnośnie wpływu niskiej emisji na poziom zanieczyszczenia powietrza.

Wstęp

Powietrze jest mieszaniną gazów, która tworzy atmosferę ziemską. Jej głównymi składnikami są azot (78,09%), tlen (20,95%) oraz gazy szlachetne (0,96%). Powietrze w swoim składzie zawiera również inne składniki, które określone są jako „zanieczyszczenia powietrza”. Są to rozproszone ciecze, gazy i ciała stałe oraz związki, które występują w znacznie zwiększonych ilościach w zestawieniu

¹⁷ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, absolwentka kierunku Inżynieria Bezpieczeństwa

¹⁸ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, studentka 1 roku (II stopień) na kierunku Edukacja-Techniczno-Informatyczna, magda.wlazlo@edu.pollub.pl

¹⁹ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, j.szulzyk-cieplak@pollub.pl

²⁰ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, m.wrona@pollub.pl

z jego naturalnym składem. Zanieczyszczenia powietrza możemy podzielić na zanieczyszczenia pierwotne, czyli takie które zostają wprowadzone do atmosfery w takiej postaci, w jakiej zostały uwolnione oraz zanieczyszczenia wtórne – produkty reakcji chemicznych i przemian fizycznych między składnikami atmosfery i obecnymi w niej zanieczyszczeniami. Powstałe produkty tych reakcji są bardziej toksyczne niż pierwotne zanieczyszczenia[1].

Większa część zanieczyszczeń powietrza, gazowych jak i pyłowych, wydziela się w wyniku spalania paliw (w celu wytwarzania energii), takich jak: węgiel, olej opałowy, gaz, drewno, olej napędowy, benzyna. Niestety w wyniku nielegalnego spalania odpadów również powstaje wiele zanieczyszczeń [2]. Głównym źródłem zanieczyszczającym powietrze są substancje, które emitowane są do atmosfery przez paliwa niezupełnie spalane w przestarzałych kotłach lub w indywidualnych paleniskach. W swoim składzie zawierają one duże ilości siarki, wody i popiołów, które po spaleniu tworzą szkodliwe związki unoszące się w powietrzu negatywnie wpływając na środowisko [3]. Stanowi to poważny problem, ponieważ spalanie węgla, odpadów czy śmieci w przydomowych paleniskach przyczynia się do znacznej emisji zanieczyszczeń na wysokości mniejszej od 40 m.

Zanieczyszczenia te stanowią tzw. niską emisję. Z domowych kominów emitowane są szkodliwe substancje takie jak pyły zawieszone PM_{10} i $PM_{2,5}$ oraz rakotwórczy benzo(a)piren [4]. Wysoka koncentracja zanieczyszczeń w powietrzu, głównie w sezonie zimowym, spowodowana jest okresem grzewczym wywołana przez spalanie znacznej ilości paliw kopalnych. Wzrost intensywności zanieczyszczeń na niewielkiej przestrzeni prowadzi do wytworzenia się gęstej mgły, czyli smogu. W Polsce występuje smog czarny, gdzie główne jego substancje to pyły, dwutlenek siarki i tlenek węgla [5].

Według dostępnych raportów niska emisja, odpowiada za niemal połowę emisji wszystkich pyłów o frakcji PM_{10} emitowanych w Polsce. Za przekroczenie poziomu dopuszczalnego pyłu PM_{10} w skali kraju w 83% odpowiada indywidualne ogrzewanie budynków. Drugorzędny udział w wysokości 9% wynika z oddziaływania emisji związanej z ruchem pojazdów, a w 8% z emisji z kopalni. [2]

System kontroli i oceny jakości powietrza w Polsce oparty jest na pomiarach prowadzonych w wyznaczonych obszarach zwanych strefami. Strefę stanowi aglomeracja o liczbie mieszkańców większej niż 250 tysięcy, miasto o liczbie mieszkańców powyżej 100 tysięcy oraz pozostały obszar województwa, niewchodzący w skład miast powyżej 100 tysięcy mieszkańców oraz aglomeracji. Polska podzielona jest na 46 stref (Rysunek 1) Klasyfikacji stref w rocznej ocenie jakości powietrza dokonuje się oddzielnie dla dwóch grup kryteriów:

- określonych w celu ochrony zdrowia ludzi,
- określonych w celu ochrony roślin .[6]

W oparciu o przedstawione kryteria podziału wyróżnia się następujące klasy:

- Klasa A – poziom stężeń zanieczyszczenia nie przekracza poziomu dopuszczalnego/ docelowego,
- Klasa B – poziom stężeń zanieczyszczenia przekracza poziom dopuszczalny lecz nie przekracza poziomu dopuszczalnego powiększonego o margines tolerancji,
- Klasa C – poziom stężeń zanieczyszczenia przekracza poziom dopuszczalny/ docelowy. [7]

Ocena jakości powietrza w Polsce, pod kątem ochrony zdrowia, wykonywana jest z uwzględnieniem następujących substancji: dwutlenek siarki (SO_2), dwutlenek azotu (NO_2), tlenek węgla (CO), benzen (C_6H_6), ozon (O_3), pył drobny PM_{10} (o średnicy do $10\mu\text{m}$), pył drobny $\text{PM}_{2,5}$ (o średnicy do $2,5\mu\text{m}$), metale ciężkie: ołów (Pb), arsen (As), nikiel (Ni), kadm (Cd) oznaczane w pyłe PM_{10} oraz benzo(a)piren oznaczany w pyłe PM_{10} . Poziom stężenia zanieczyszczeń powietrza określony jest dla każdej substancji wymienionej wyżej i nie powinien być przekraczany od dopuszczalnych norm. [7]

Poziom dopuszczalny to poziom substancji, który musi zostać uzyskany w konkretnym czasie i który po tym czasie nie powinien być przekraczany. Poziom dopuszczalny nazywany jest standardem jakości powietrza [6]. Poziom docelowy natomiast to poziom substancji który musi zostać uzyskany w konkretnym terminie, ze wsparciem działań technicznych i technologicznych, które są ekonomicznie uzasadnione [6].

Alternatywnymi źródłami energii w odniesieniu do tradycyjnych nośników energii są odnawialne źródła energii (OZE). Produkcja takiej energii nie powoduje emisji żadnych substancji potencjalnie niebezpiecznych dla środowiska, jak i również stanowi niewyczerpalne zasoby eksploatacyjne na skutek uzupełniają się wystarczająco szybko w naturalny sposób. Urządzenia do uzyskania energii z OZE są dostępne dla instytucji i firm, jak i dla osób prywatnych, co powoduje to możliwość instalacji takiego urządzenia w gospodarstwach domowych i rolnych. [8] Tendencja pozyskania energii ze źródeł odnawialnych w Polsce w ostatnich latach ma charakter rosnący. Wynika to z warunków geograficznych oraz zasobów możliwych do zagospodarowania. Energia pozyskiwana ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2017 r. pochodzi w głównym stopniu z biopaliw stałych (67,9%), energii wiatru (14,0%) i z biopaliw ciekłych (10,0%), co obrazuje rysunek 2.1. Łączna wartość energetyczna pozyskanej energii pierwotnej ze źródeł odnawianych w Polsce w 2017 r. wyniosła 383 168 TJ. [9]

Metodologia badań własnych

Celem przeprowadzonych badań była ocena świadomości społeczeństwa na temat wpływu niskiej emisji na poziom zanieczyszczenia powietrza oraz zainteresowania ankietowanych technologiami OZE jako alternatywy dla tradycyjnych źródeł energii. Na potrzeby realizacji celu badań przeprowadzono badania ankietowe wśród osób mieszkańców niewielkiej miejscowości położonej w województwie lubelskim. Kwestionariusz ankiety składał się z 22 pytań. Założono, że w badaniu ankietowym mogą wziąć udział tylko osoby dorosłe, ponieważ osoby niepełnoletnie (dzieci) mogłyby nie znać odpowiedzi na pytania dotyczące ilości zużytych paliw oraz ilości zużytej energii w gospodarstwie domowym. Pytania merytoryczne zawarte w kwestionariuszu ankiety miały na celu uzyskanie informacji odnośnie źródeł ciepła stosowanych w gospodarstwach domowych, rodzaju i ilości zużytego surowca do ogrzewania domów i podgrzania ciepłej wody użytkowej, a także świadomości ankietowanych na temat źródeł powstawania i rodzaju zanieczyszczeń powietrza oraz ich wiedzy na temat technologii OZE jako alternatywnego źródła energii.

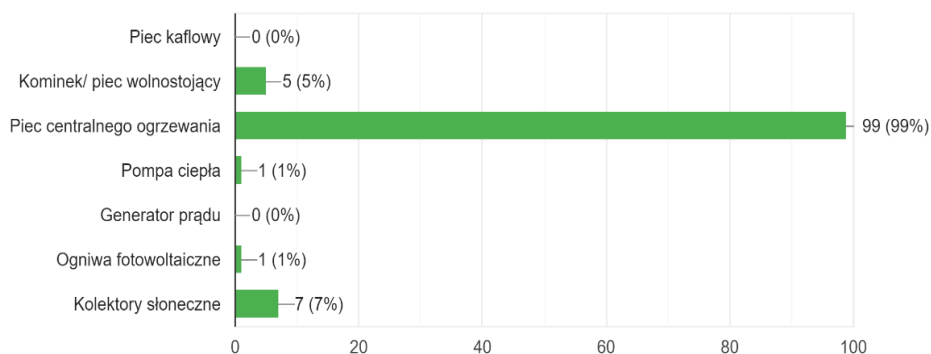
Wyniki badań oraz ich analiza

1. Struktura grupy badawczej

W badaniu uczestniczyło 100 respondentów, spośród czego 51% stanowiły kobiety, a 49% mężczyźni. Mając na uwadze strukturę wieku, najlichnieszą grupę stanowili ankietowani w przedziale wiekowym 50÷69 lat (39 %), następnie 30÷49 lat (34%), 18÷29 lat (18%) oraz 70 i więcej (8%). Ponad połowa badanych (53%) posiadała wykształcenie średnie, nieco mniej zawodowe (26 %), a najmniej liczną grupą były osoby z wykształceniem wyższym (21%). Spośród ogółu respondentów 73% zadeklarowało, że pracuje zawodowo, natomiast 17% to emeryci lub renciści, 6% stanowią uczniowie lub studenci, a 4% to bezrobotni. Jeżeli chodzi o ilości osób zamieszkujących gospodarstwo domowe, to najczęściej wpisywanymi odpowiedziami były „4 osoby” oraz „5 osób” (odpowiednio 26 i 21 ankietowanych).

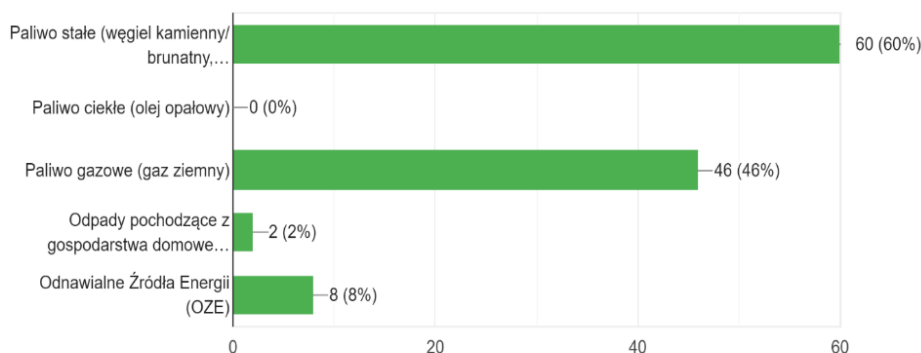
2. Inwentaryzacja wykorzystywanych źródeł energii

Analizując odpowiedzi na pytanie dotyczące źródeł ciepła, z których korzystają ankietowani w swoich gospodarstwach domowych stwierdzono, że prawie wszyscy (99%) korzystają z pieca centralnego ogrzewania. Wśród innych źródeł energii wskazano kominek lub piec wolnostojący oraz odnawialne źródła energii, takie jak: ogniwa fotowoltaiczne (1%), pompa ciepła (1%) oraz kolektory słoneczne (7%) (Rysunek 1).



Rys. 1. Rodzaj źródła ciepła wykorzystywanego w gospodarstwie domowym
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań

W pytaniu wielokrotnego wyboru dotyczącym rodzaju wykorzystywanego surowca energetycznego respondenci wskazali (Rysunek 2), że do ogrzania budynków mieszkalnych, wykorzystują w większości paliwo stałe (60%). Dużą grupę stanowią osoby ogrzewające mieszkanie paliwem gazowym (46 %). Jedynie 2% badanych przyznało, że spala śmieci w piecu. Z kolei 8% korzysta z odnawialnych źródeł energii.



Rys. 2. Rodzaj surowca energetycznego wykorzystywanego do ogrzania budynków
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań

W tabeli 1 przedstawiono sumaryczne wyniki dotyczące ilości zużytej energii elektrycznej oraz nośników energii cieplnej w gospodarstwach domowych. Na badanym obszarze zużywa się zdecydowanie więcej energii elektrycznej z liczników 3-fazowych niż 1-fazowych. Do ogrzewania gospodarstw domowych

z paliw stałych wykorzystuje się węgiel (172 t/rok) i drewno (282 m³/rok). Używa się również gazu sieciowego (57091 m³/rok) i z butli (180 butli/rok). Zauważyć można, że nie wykorzystuje się koksu, torfu i oleju opałowego.

Tabela 1. Wielkość zużycia energii elektrycznej oraz nośników energii cieplnej

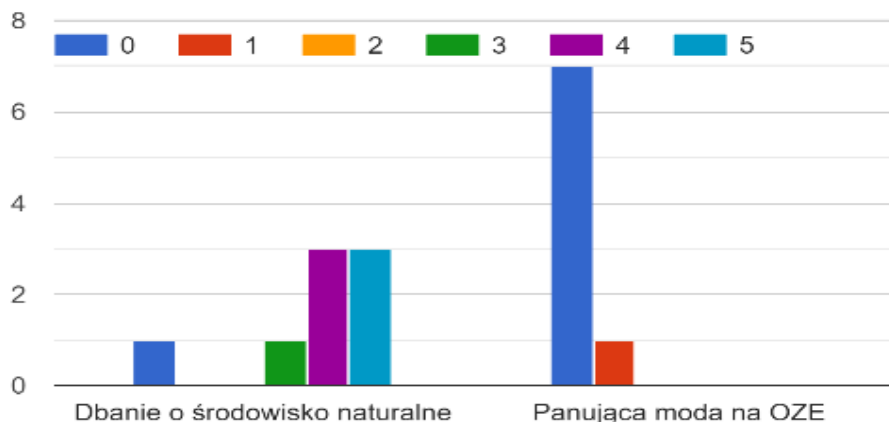
Rodzaj energii	Wielkość zużycia
Energia elektryczna licznik 1-fazowy	186 939 [kWh/rok]
Energia elektryczna licznik 3-fazowy	351 524,992 [kWh/rok]
Węgiel	172 [t/rok]
Koks	-
Torf	-
Drewno	282 [m ³ /rok]
Olej opałowy	-
Gaz sieciowy	57 091[m ³ /rok]
Gaz z butli	180[butla/rok]

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań

3. Stosunek respondentów do odnawialnych źródeł energii

Odnosnie planowanych lub wykonanych inwestycji w celu poprawy efektywności energetycznej ankietowani najczęściej wskazywali wymianę okien (61%) i ocieplenie ścian (58%). Wymianę źródła ciepła przeprowadziło lub ją planuje 41% ankietowanych, drzwi 28%, a odnośnie odnawialnych źródeł energii instalację kolektorów słonecznych ma w planach 22% ankietowanych oraz paneli fotowoltaicznych 7%. Żadnych inwestycji w tym zakresie nie planuje się i nie przeprowadzono dotychczas u 15% badanych.

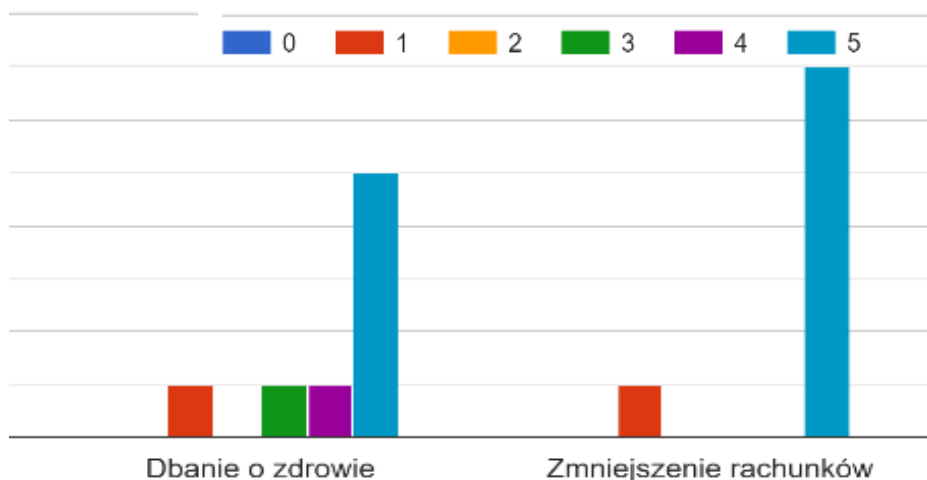
Z odnawialnych źródeł energii, zgodnie z wyniki badań (Rysunek 1) korzysta jedynie 8% respondentów, z czego panele fotowoltaiczne wykorzystuje 12,5 %, a kolektory słoneczne 87,5%. Wszyscy korzystający z OZE respondenci wskazali, że są zadowoleni z technologii odnawialnych źródeł energii. Jeżeli chodzi o powody, dla których badani zdecydowali się na instalacje wykorzystujące odnawialne źródła energii to dbanie o środowisko naturalne jest ważne lub bardzo ważne dla sześciu respondentów, a dla jednego jest nieistotne. Panująca moda na OZE nie miała wpływu na tą decyzję (Rysunek 3).



Rys. 3. Powody zdecydowania się na wybór rozwiązań z OZE, opracowanie własne (skala od „0-5” oznacza 0 - „nieważne”, 5 - „najbardziej ważne”)

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań

Dbanie o zdrowie jest jednym z priorytetów, dla których ankietowani zdecydowali się na zastosowanie instalacji OZE. Opowiedziało się za tym 6 z 8 osób, a dla dwóch było to obojętne lub nieważne. Zdecydowana większość, bo aż 7 respondentów stwierdziło, że zmniejszenie rachunków jest znaczącym powodem w kwestii podjęcia decyzji o instalacji OZE. Tylko jedna oceniła to jako nieistotny aspekt (Rysunek 4).



Rys. 4. Powody zdecydowania się na wybór rozwiązań z OZE c.d. (skala od „0-5” oznacza 0 - „nieważne”, 5 - „najbardziej ważne”)

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań

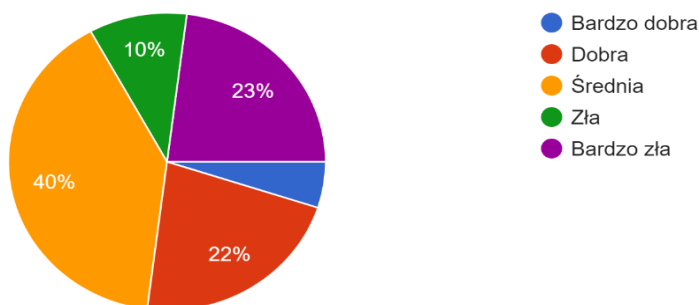
W pytaniu o największe korzyści ze stosowania odnawialnych źródeł energii wskazano:

- korzystny wpływ na zdrowie człowieka – 30%,
- zmniejszenie zanieczyszczeń powietrza – 29%,
- zmniejszenie rachunków – 27%,
- zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego – 3%.

Wśród ankietowanych 11% nie miało zdania na ten temat.

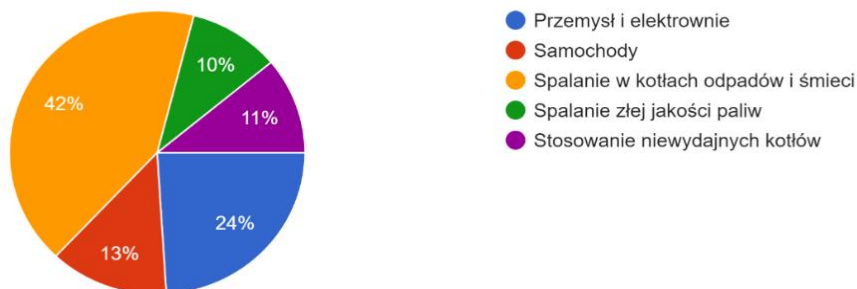
4. Świadomości społeczeństwa na temat wpływu niskiej emisji na poziom zanieczyszczenia powietrza

Na pytanie „Jak ocenia Pan/i jakość powietrza w swojej okolicy?” 23 % osób odpowiedziało „bardzo zła”, „zła” – 10%, „średnia” – 40%, „dobra” – 22% i „bardzo dobra” – 5% (Rysunek 5).



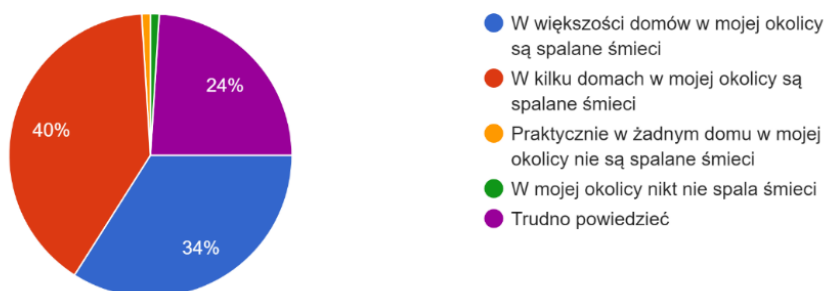
Rys. 5. Ocena jakości powietrza przez respondentów
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań

W opinii ankietowanych głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza (Rysunek 6) jest spalanie w kotłach odpadów i śmieci (43%). 24% ankietowanych o złą jakość powietrza „obwinia” przemysł i elektrownie. Natomiast w przypadku pozostałych odpowiedzi głosy rozłożyły się dość równowmiernie: samochody (13%), stosowanie niewydajnych kotłów (11%) oraz spalanie złej jakości paliwa (10%).



Rys. 6. Główne źródła zanieczyszczenia powietrza
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań

Jeżeli chodzi o spalanie śmieci w domowych piecach/kotłach zdecydowana większość stwierdziła, że takie praktyki pozbywania się odpadów są stosowane (Rysunek 7).

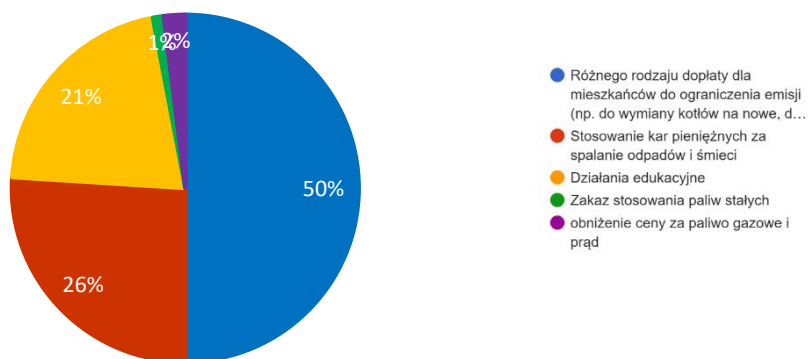


Rys. 7. Opinia w sprawie spalania śmieci w domowych piecach/kotłach
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań

Na pytanie „Czy w ciągu ostatniego roku zauważył/a Pan/Pani prowadzone przez swoją gminę działania informacyjne i edukacyjne w zakresie zanieczyszczenia powietrza?” aż 40% respondentów nie zauważyło żadnych czynności realizowanych na tym obszarze, 31% stwierdziło, że „trudno powiedzieć”, a jedynie 29% zaobserwowało takie działania. Żaden z badanych nie ocenił swojego stosunku do wykorzystania energii odnawialnej jako negatywny. Dla 85% jest on pozytywny, a dla 15% obojętny.

Na pytanie „Jakie działania Pana/i zdaniem powinny podjąć władze w celu ograniczenia problemu zanieczyszczenia powietrza” aż 50% odpowiedziało, że pomocne byłyby różnego rodzaju dopłaty dla mieszkańców do ograniczenia emisji (np. do wymiany kotłów na nowe, do instalacji OZE). Stosowanie kar

pieniężnych za spalanie odpadów i śmieci poparło 26% badanych. Niewiele mniej (21%) stwierdziło, że potrzebne są działania edukacyjne. Wyniki zestawiono na wykresie (Rysunek 8)



Rys. 8. Działania jakie powinny podjąć władze w celu ograniczenia problemu zanieczyszczenia powietrza

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań

Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wyniki badań ankietowych oraz przeprowadzone studia literaturowe pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Stwierdzono, że 60% ankietowanych korzysta z pieca centralnego ogrzewania na paliwo stałe, 46% na paliwo gazowe, a 8% wspomaga się instalacjami odnawialnych źródeł energii. Wśród stosowanych technologii OZE są głównie kolektory słoneczne.
2. Najczęściej wykorzystywanymi paliwami do ogrzania budynku mieszkalnego są paliwa stałe (60%), do których należą węgiel i drewno. Żaden z respondentów nie korzysta z koksu i torfu. 46% ankietowanych zaznaczyło, że do ogrzania gospodarstwa wykorzystuje gaz ziemny.
3. Oszacowano, że 62% emisji dwutlenku węgla pochodzi ze spalania węgla kamiennego, 23% – ze spalania drewna, a 15% emisji dwutlenku węgla powstało wyniku spalania gazu ziemnego. Łączna emisja powstała w wyniku spalania paliw wyniosła 802,08 Mg CO₂.
4. Większość spośród badanych oceniała jakość powietrza w okolicy jako średnią i na główną tego przyczynę wskazała spalanie w kotłach odpadów i śmieci, jednocześnie podając, że w kilku lub większości domów w ich okolicy śmieci są spalane w kotłach. Jednocześnie część ankietowanych (26%) wskazała, że jednym ze sposobów zmniejszenia emisji mogłoby być stosowanie kar pieniężnych za spalanie odpadów i śmieci. Podobna ilość (21%) stwierdziła, że potrzebne są działania edukacyjne w tym zakresie. Odpowiednia edukacja oraz promowanie

zasad rozwoju zrównoważonego jest ważnym zadaniem zmierzającym do rozsądnego gospodarowania zasobami naturalnymi oraz zmiany postaw społeczeństwa do OZE. Gmina powinna zintensyfikować działania edukacyjne na temat negatywnych skutków spalania nieodpowiedniej jakości surowców energetycznych oraz sposobów przeciwdziałania niskiej emisji.

5. Większość mieszkańców pozytywnie odnosi się do stosowania niekonwencjonalnych źródeł energii. Jednak, pomimo pozytywnego stosunku to odnawialnych źródeł energii, należy zauważyć, że wśród badanych respondentów odsetek zastosowania instalacji OZE był bardzo mały. Aby zwiększyć poziom wykorzystania odnawialnych źródeł energii w gospodarstwach domowych należy rozwinąć system promujący te rozwiązania, m.in. poprzez różnego rodzaju dofinansowania do instalacji OZE.

Literatura

- [1] <https://encyklopedia.pwn.pl/> (dostęp z dnia 03.12.2018r.);
- [2] Florek-Klęsk D., „Zanieczyszczenie powietrza – zagrożenia XXI wieku”, wyd. Zeszyty naukowe Wyższej Szkoły Informatyki, Zarządzania i Administracji w Warszawie, t. 15, z.3(40), s. 7–25, 2017;
- [3] Kujda Ł., Kozacki D., Pocięch D., Hryniewicz M., *Wpływ odnawialnych źródeł energii na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń z obszarów wiejskich*, Problemy Inżynierii Rolniczej, 3(93), s.59–67, 2016;
- [4] Kraszewski D., Grzebińska D., *Jesteś tym, czym oddychasz. Kompendium wiedzy na temat niskiej emisji*, wyd. Stowarzyszenie Zielone Mazowsze, Warszawa 2016;
- [5] <https://www.forbes.pl/csr/polska-ma-najbardziej-zanieczyszczone-powietrze-w-ue/sfb3hlm> [dostęp z dnia 10.09.2019 r.];
- [6] Nowak W., Stachel A., *Kolektory słoneczne i panele fotowoltaiczne jako źródło energii w małych instalacjach ciepłych i elektroenergetycznych*, Energia odnawialna, nr 4, s. 55 – 64 ;
- [7] <http://solaris18.blogspot.com/2011/12/wspomaganie-ogrzewania-kolektorami.html> [dostęp z dnia 04.02.2019 r.];
- [8] <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/maps/zone> [dostęp dnia 10.09.2019 r.];
- [9] Treder M., *Smog zagrożeniem bezpieczeństwa zdrowotnego w Polsce*, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Rocznik Bezpieczeństwa Międzynarodowego, 2017, vol. 11, nr 1;
- [10] Tytko R., *Odnawialne źródła energii*, wydanie czwarte, wyd. OWG Warszawa, 2010;
- [11] Krawiec F., *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego*, wyd. Difin, Warszawa 2010;
- [12] Berent-Kowalska G., *Energia ze źródeł odnawianych w 2017 r*, Główny Urząd Statystyczny, 2018.

9. Budownictwo pasywne drogą rozwoju zrównoważonego i ekologii integralnej

Słowa kluczowe: energooszczędność, termowizja, odnawialne źródła energii, interdyscyplinarność, metody motywacyjne.

Streszczenie: W artykule przedstawiono częściowe wyniki analizy pomiarowej energochłonności budynku, którym nadano zadanie uzasadnienia celowości upowszechniania budownictwa pasywnego w warunkach polskich. Wyjaśniono korzyści wpływające z dostosowywania obiektów budowlanych do wymagań dążących w kierunku pasywności. Przedstawiono ten etap jako najbardziej uzasadniony z punktu widzenia warunków klimatycznych, ekonomicznych i geograficznych naszego kraju.

W analizie pomiarowej wykorzystano metodę termowizyjną zwracając uwagę zarówno na jej niedogodności jak i zalety, które sprawiają, że staje się doskonałym narzędziem motywującym pożądane zachowania społeczne na drodze zrównoważonego rozwoju wpisując się także w wymagania ekologii integralnej. Artykuł ma także za cel przedstawienie koncepcji integracji i dialogu interdyscyplinarnego opartego na wykorzystaniu badań technicznych i ich interpretacji w szeroko rozumianej edukacji społecznej na wszystkich szczeblach. Przywołano wybrane zasady pedagogiki ignacjańskiej przydatne w procesach motywacji zachowań społecznych.

Wstęp

Przedstawiając artykuł w ramach konferencji dotyczącej bezpieczeństwa użytkowania urządzeń autor uważa za celowe sprecyzowanie we wstępie kilka pojęć kluczowych, które nadają kierunek zaprezentowanym treściom dotyczącym użytkowania obiektów budowlanych. Przede wszystkim jednak, mają na względzie cel, jakim jest postępowanie według zasad ekologii integralnej, gdyż społeczne zainteresowanie ekologią integralną wzrosło znacznie od czasu opublikowania przez Papieża Franciszka Encykliki „Laudato Si”²². Przywołuje on jej definicję szczególnie intensywnie w odniesieniu do integracji pomiędzy ekologią, społeczeństwem i ekonomią. Porównuje badania ekologii jako relacji między organizmami żywymi a środowiskiem, w którym się rozwijają łącząc je tak jak są ze sobą powiązane różne składniki planety - fizyczne, chemiczne i biologiczne. Podkreśla, że „też gatunki żyjące stanowią pewną sieć, którą

²¹ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, d.wojcicka-migasiuk@pollub.pl

²² „Encyklika Laudato Si’ Ojca Świętego Franciszka poświęcona trosce o wspólny dom”, dostęp przez https://w2.vatican.va/content/dam/francesco/pdf/encyclicals/documents/papafrancesco_20150524_enciclica-laudato-si_pl.pdf, str. 111–112

nieustannie rozpoznajemy i uczymy się rozumieć. Sporą część naszej informacji genetycznej dzielimy z wieloma istotami żywymi. Z tego powodu wiedza fragmentaryczna i izolowana może stać się formą ignorancji, jeśli nie łączy się z szerszą wizją rzeczywistości”. [4]

Zachowania pro-ekologiczne w tym rozumieniu mają zatem bezpośredni wpływ na gospodarkę, mieszkalnictwo a w konsekwencji na styl życia w każdej społeczności. Artykuł przedstawia zagadnienia w odniesieniu do warunków naszego kraju ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień zrównoważonego rozwoju, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokojone bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie. W tym kierunku zaznaczają się dwa nurty: jeden związany bezpośrednio z człowiekiem i jego wychowaniem, a drugi pośrednio, z techniką, którą się posługuje. Jeśli rozważane jest wychowanie, to nie ogranicza się ono do wychowania w rodzinach, ale obejmuje cały proces kształcenia na wszystkich jego poziomach ¹włącznie z uniwersyteckim i dojrzewania do specjalistycznych zadań w pracy zawodowej oraz funkcjonowania w innych wspólnotach pozarodzinnych i pozazawodowych. W obydwu tych nurtach wykorzystanie techniki i naukowej analizy technicznej rozszerza znacznie możliwości kształtowania pożądanych zachowań społecznych na drodze zrównoważonego rozwoju z poszanowaniem szeroko rozumianych zasad bezpieczeństwa, w tym także bezpieczeństwa energetycznego. [2, 3, 4]

Za jedną z takich dróg autor uznaje dążenie budownictwa w kierunku pasywności. Normatywna energooszczędność rozpoczyna się gdy sumaryczne zapotrzebowanie roczne budynku (na energię pierwotną a więc obliczane wskaźnikowo) jest mniejsze niż 250 kWh na 1 m² podłogi rocznie przy założeniu, że ogrzewanie zabiera z tego maksymalnie 70 kWh/m². Jeżeli udaje się jeszcze obniżyć to zapotrzebowanie, wtedy można mówić o energooszczędności w kierunku pasywności. Gdzie graniczna wartość wynosi 120 kWh/m² z granicą dla ogrzewania 15 kWh/m². Wartości te w konsekwencji oznaczają, że energooszczędność można osiągnąć poprzez prawidłowe zaprojektowanie i dobór wysokiej jakości systemów i poszczególnych materiałów izolacyjnych oraz energooszczędnych urządzeń a także właściwe konstrukcje elementów takich jak drzwi, okna czy dach. Nie ma jednak jeszcze potrzeby wprowadzania zmian w trybie pozyskiwania energii ani też w stylu użytkowania obiektu, a co z tym się wiąże, w stylu życia jego mieszkańców. Natomiast, osiągnięcie granicy pasywności już takie wymagania nakłada na użytkowników budynku. Należy też pamiętać, że budownictwo wraz z cyklem użytkowania (na mieszkanie i zastosowania komercyjne oraz służb publicznych) zużywa globalnie nawet około 60% energii wytwarzanej, a pozostałe zużycie to transport i przemysł poza biurowy. [4,9]

Konstrukcje poszczególnych elementów budynku zarówno chłoną energię w procesie budowy, eksploatacji, jak i mogą stawać się miejscami nadmiernego (ponadnormatywnego) wpływu strat energii, szczególnie, powstałych z biegiem lat użytkowania obiektów, gdy materiały ulegają stopniowej degradacji.

Niekorzystne połączenie degradacji materiałów budowlanych wraz z niewielkimi nawet nieprawidłowościami konstrukcyjnymi powstałymi w procesie montażu może doprowadzić nawet już po upływie kilku sezonów do znacznych nieprzewidywanych uszkodzeń, strat i trudnych do zlokalizowania miejsc ich występowania. Wtedy właśnie dogodne jest posłużenie się analizą termowizyjną możliwą do zastosowania zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz obiektów, nawet dla wysoko zlokalizowanych kondygnacji budynku, bez potrzeby narażania się na pracę na wysokości. Pozwala ona nie tylko na pomiar temperatury ale także na zlokalizowanie miejsc i wstępne oszacowanie możliwych strat ciepła, ewentualnie także nieoczekiwanych dodatkowych jego źródeł. Zastosowanie kamer termowizyjnych można wspomóc wykorzystaniem oprogramowania do szczegółowej analizy otrzymanych obrazów co zawsze stanowi pomoc dla badacza przy ich interpretacji, bowiem właśnie prawidłowa interpretacja jest podstawą wnioskowania a następnie planowania działań modernizacyjnych lub tylko naprawczych. [4,9]

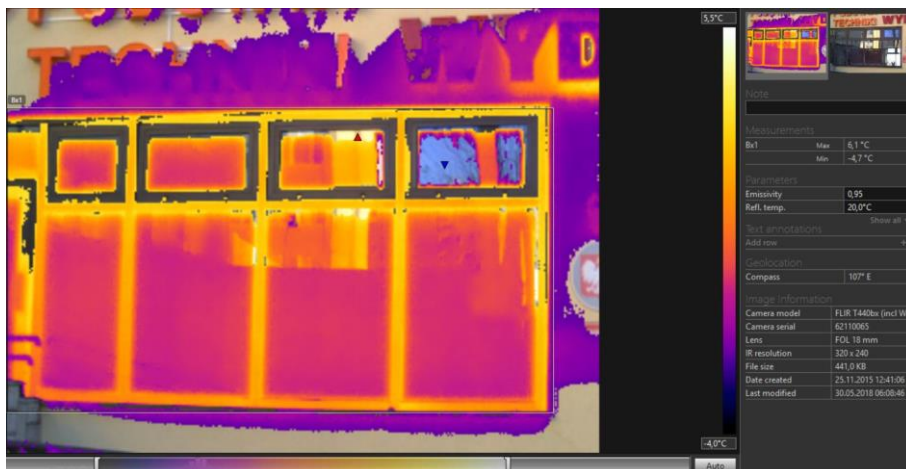
Proces podejmowania decyzji modernizacyjnych w kierunku budownictwa pasywnego staje się przestrzenią, w której istotną rolę odgrywa edukacja społeczna, potrzeba dialogu interdyscyplinarnego, zaangażowanie odpowiednich metod i środków motywacyjnych. Sprzyja mu postępująca informatyzacja społeczeństwa, wzrost świadomości ekologicznej zwłaszcza wśród młodzieży, trendy zdrowego stylu życia, wzrost wiedzy z zakresu bezpieczeństwa czy postępujący wzrost zamożności społecznej wyraźniejszy z dalszej perspektywy czasu. W edukacji kształcenie i wychowanie jest procesem mającym na celu rozwój osobowości młodego człowieka lub nierzadko formację osób dojrzałych, które wymagają zarówno od osoby nauczającej jak i uczącej się podejmowania konkretnych działań. Istotnym czynnikiem jest dokonywanie określonych przemian zachodzących w sferze osobistego rozwoju zmierzających do uzyskania nowej perspektywy własnej egzystencji, w której wartościującym kryterium odniesienia nie jest już sam człowiek, ale wartości obiektywne, których urzeczywistnianie jest celem ludzkiego życia. Działanie to jest procesem, który dokonuje się w przestrzeni społecznej, w której dialog i interakcja prowadzą również do osobistego integralnego rozwoju.

Metodyka wykorzystania analizy termowizyjnej i badawczej do celów motywacyjnych

Przedstawione autorskie przykłady pochodzą z bazy laboratorium badawczego Wydziału Podstaw Techniki Politechniki Lubelskiej. Pomiary zostały wykonane kamerą termowizyjną Flir T450bx a dodatkowo poddano je analizie za pomocą oprogramowania Flir ResearchIR. [6]



Rys. 1. Fotografia przedstawia obraz cyfrowy analizowanego przykładu elewacji zachodniej fragmentu budynku WPT PL (fot. A. Urzędowski)



Rys. 2. Obraz fragmentu elewacji wygenerowany za pomocą modułu Fusion

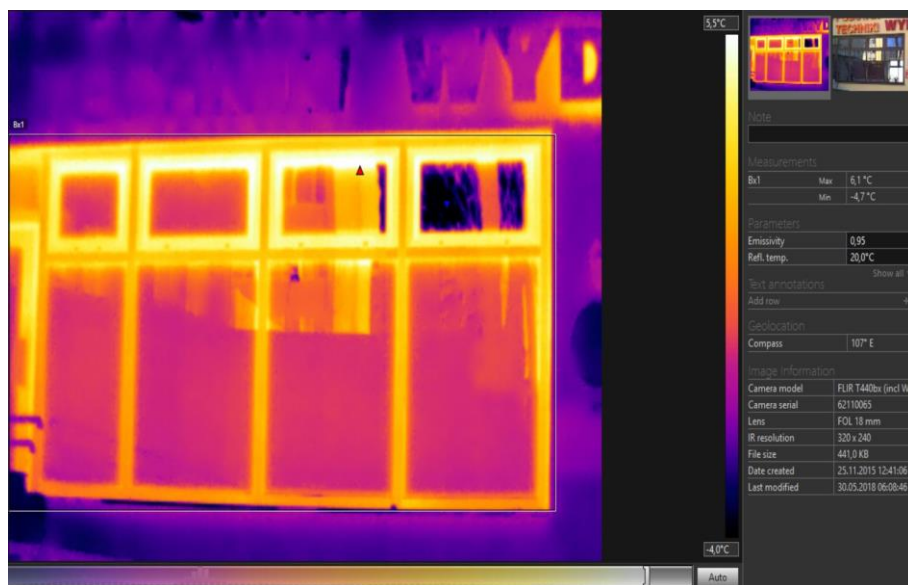
Na rysunkach 1–6 przedstawiono obrazy wykonane za pomocą kamery termowizyjnej z wykorzystaniem oprogramowania do analizy wyników, w ten sposób przeprowadzonych pomiarów. Obraz cyfrowy znajdujący się na rys. 1. ma za zadanie udokumentować zarówno geometrię opomiarowanej powierzchni jak i umożliwić ocenę wpływu poszczególnych jej elementów na dokładność pomiaru. Widoczne są odbicia w szybach okiennych sąsiednich budynków jasno oświetlonych promieniowaniem słonecznym, ale fotografowana elewacja nie jest ekspozowana na promieniowanie bezpośrednie. Wykonanie pomiarów termowizyjnych na zewnątrz budynku często obarczone jest błędami wynikającymi z zaistnienia warunków fizycznych niesprzyjających dokładności.

Interpretacja takich pomiarów może być jedynie właściwa jeżeli towarzyszy jej wiedza na temat skali i rodzaju wpływu istniejących warunków na zarejestrowany obraz termowizyjny. W tym celu pomocne jest wykorzystanie dodatkowego oprogramowania wspomagającego analizę wyników pomiarów. Na rys. 2. przedstawiono obraz pochodzący z modułu fuzji cyfrowej i termowizyjnej przygotowany w wyświetlonym na pasku dolnym spektrum barw (lub jasności w przypadku obrazów czarno-białych), co jednocześnie jednoznacznie pozwala określić zakres mierzonych temperatur poprzez porównanie z pionowym paskiem widma.



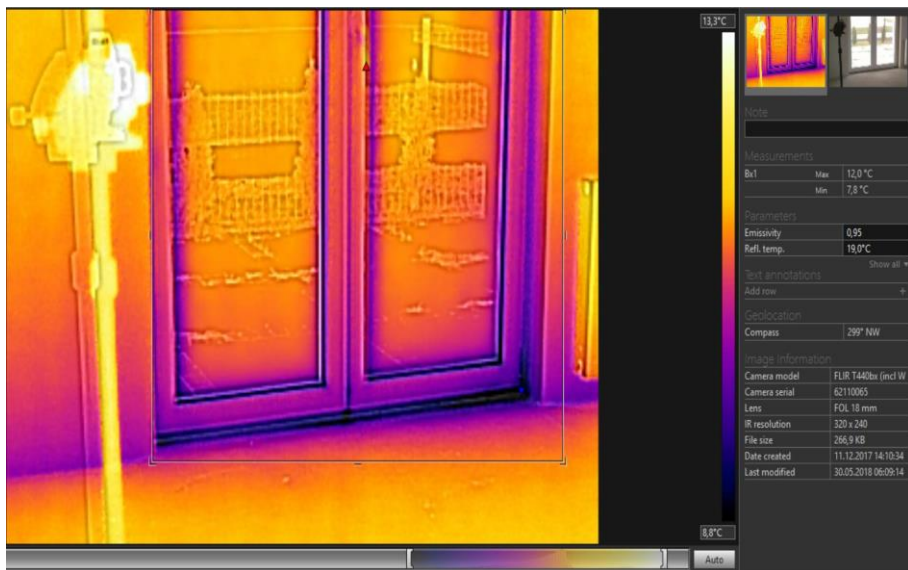
Rys. 3. Obraz termowizyjny z nałożonym obrazem cyfrowym w module MSX

Napromienienie powierzchni promieniowaniem słonecznym bezpośrednim w trakcie pomiarów jest niekorzystne gdyż powoduje podwyższenie jej temperatury rejestrowane poprzez pomiar a jednocześnie odbicie światła również jest rejestrowane jako emisja energii błędnie sugerując podwyższenie temperatury. Należy zatem odpowiednio oszacować wpływ refleksyjności poszczególnych elementów okna (w tym przypadku nawet do 60%) na zarejestrowany wynik. Ponadto należy pamiętać, że obraz termowizyjny umożliwia tylko pomiar temperatury zewnętrznej powierzchni elementu. Tą metodą niemożliwe jest zmierzenie temperatury przedmiotów np. za szybą lub kotarą (rys.3). Analizowany przypadek jest zdecydowanie umieszczony w granicach budownictwa energooszczędnego – ściany zewnętrzne mają temperaturę jedynie o ok. 0,5°C wyższą od temperatury otoczenia przy różnicy 24°C i występowaniu promieniowania rozproszonego. Jednakże pomimo występujących niedogodności warunków pomiarowych można stwierdzić że otwieralne okna mają nieszczelną górną poziomą krawędź. Jest to symptom dość powszechnie występujący, możliwy do usunięcia poprzez naprawę/wymianę uszczelnienia, co jednak będzie związane z demontażem elementu (rys.4). Obraz daje jednocześnie przykład ryzyka związanego z instalowaniem dużych powierzchni przeszklonych, nawet wykonanych w nowej technologii, jeśli są to elementy ruchome (otwieralne). [7,8]



Rys. 4. Obraz termowizyjny

Z doświadczenia autorów wynika, że również pomiary termowizyjne przeprowadzane wewnątrz budynku zwłaszcza mieszkalnego mają bardzo silne oddziaływanie psychologiczne. Interpretatorzy muszą jednak wówczas liczyć się z większą nawet ilością niedogodności pomiarowych, zwłaszcza jeżeli nie chcemy wprowadzać pomiarem zaburzenia w bieżące funkcjonowanie mieszkania.



Rys. 5. Obraz termowizyjny w module MSX wykonany wewnątrz obiektu (fot. A. Urzędowski)

Jak pokazuje przykład z rys. 5., wewnątrz obiektu w pobliżu badanego elementu mogą wystąpić dodatkowe źródła ciepła pochodzące od systemu ogrzewania. Obraz termowizyjny w tym trybie jest przesunięty względem obrazu cyfrowego ze względu na to że jego krawędzie tak nigdy nie są ostre z powodu konwekcyjnej wymiany ciepła z otoczeniem danego elementu. Obraz za oknem jest widoczny i może dać odbicie wizualne bez związku z temperaturą elementu. W tym obrazie wykazano nieszczelność ramy okiennej powodującą tak wyraźną stratę ciepła, że decyzja o modernizacji była bardzo łatwa do podjęcia. Podobnie jak na rys. 6., gdzie mylącym dla odczytu są firanki i zasłona, które tylko odbijają światło nie dając żadnej informacji o temperaturze. Niemniej jednak prawidłowo lokalizują wpływ ciepła w narożniku i przez ramy okna wskazując na blisko 7°C różnicę temperatury w stosunku do temperatury pomieszczenia przy zaledwie 20°C różnicy pomiędzy temperaturą wewnątrz i na zewnątrz budynku. Ten obiekt również został już gruntownie przebudowany.



Rys. 6. Obraz termowizyjny wewnątrz przykładowego pomieszczenia

Motywacyjny charakter pomiarów technicznych i ich analizy

Przedstawione w poprzednim rozdziale przykłady spełniły swoje zadanie motywacyjne w środowisku specjalistycznym. W tym miejscu należy się odwołać do potrzeby integracji różnych dziedzin aby odpowiednie ich wykorzystanie przyczyniało się do działań zmierzających do oszczędzania energii poprzez modernizowanie budynków energooszczędnych w kierunku pasywności. Potrzeba zintegrowania wysiłków w zespołach złożonych z różnych specjalistów dobrze jest rozumiana w sporcie i edukacji natomiast w nauce często bywa niedoceniana. Obecne społeczeństwo funkcjonuje jako społeczeństwo sieciowe zarówno w przestrzeni światowej jak i krajowej. Jest to zjawisko pozytywnie ukierunkowane jednakże powstałe sieci są niejako płaskie tworząc płaszczyznę wymiany dla osób w jednej specjalności czy światopoglądzie. Zdecydowanie jednak brakuje integracji pomiędzy tymi sieciami, które sprawiałyby że powstałe połączenia są wielowymiarowe – przestrzenne i nawzajem się przenikają. Przykładowo pomiędzy inżynierami a humanistami, specjalistami w dziedzinie środowiska, psychologami czy ekonomistami. Przydałoby się zatem wprowadzenie bardzo istotnej interdyscyplinarności przede wszystkim w myśleniu a w konsekwencji w działaniach. Nie jest to jednak możliwe bez naukowego dialogu, wzajemnej inspiracji do formułowania problemów

i poszukiwania drogi ich rozwiązania. Potrzeba również wzajemnej wymiany doświadczenia, eksperymentu, który zweryfikuje dotychczas posiadaną wiedzę w obliczu całego a różnorodnego zespołu a nie tylko w obrębie jednej dyscypliny. Ograniczenie rozwoju do rozdzielnej pracy zespołów specjalistycznych opóźnia proces komunikacji a także poprzez konieczne w niej uproszczenia powoduje utratę obserwacji niektórych szczegółów błędnie uznanych przez daną dyscyplinę za nieistotnych. Z jednej strony oceniając obserwacja ta jest szeroko akceptowana a z drugiej niedostatecznie aplikowana. H.Ford wypowiedział się już dawno, że: „Jeśli wszyscy zmierzają do tego samego celu, sukces jest tylko kwestią czasu.”[5]

Naukę tworzenia zespołów interdyscyplinarnych niewątpliwie należy rozpocząć równolegle z procesem wyławiania zespołów o podobnych zdolnościach czy zainteresowaniach. To jest zadanie dla szkół ale także i pole współpracy dla uczelni kształcących specjalistów, gdyż na poziomie studiów doktoranckich takie zespoły już powinny funkcjonować. Drogą do tego jest także funkcjonowanie interdyscyplinarnych kierunków kształcenia obok specjalistycznych w dyscyplinach aby umożliwić studentom podejmowanie drugiego kierunku o znacznie szerszym zakresie dziedzin kształcenia niż główny, a to dla lepszego zrozumienia pomiędzy specjalistami w różnych dziedzinach.

Zrozumienie społeczne dla potrzeby rozwoju budownictwa energooszczędnego w kierunku pasywnego powinno wypływać z wewnętrznego przekonania specjalistów różnych dziedzin a także administratorów tych obiektów. Potrzeba wspólnie zastanawiać się nad argumentami, metodami i narzędziami aby przekazana wiedza pomagała w kształtowaniu kreatywności w tym obszarze, samych użytkowników. Nie tylko należy wspierać ich w procesie podejmowania decyzji ale także w procesie właściwego rozumienia potrzeb własnych, swoich rodzin czy innych społeczności, które dany obiekt użytkują. Osoby te muszą bowiem podjąć decyzje, które uzasadniają nie bezpośrednie możliwe do dość dokładnego obliczenia efekty z następujących powodów:

- tendencjach odpływu sfery usługowej z kraju. koszt modernizacji zwykle nie jest kompensowany przez możliwe obliczenia dostępne wprost na podstawie zużycia paliw, czy pozyskania energii ze źródeł odnawialnych, w krótkim okresie,
- złożoność koncepcji modernizacyjnej wynikająca z potrzeby szerokiego uwzględnienia naturalnych warunków lokalnych oraz stylu użytkowania obiektu wydaje się nadmierna i pozornie niesatysfakcjonująca inwestorów,
- potrzeba zaangażowania wszystkich korzystających z obiektu w bardziej złożony proces stylu użytkowania zwykle wiąże się z rozszerzeniem docelowej grupy, do której kierowana jest akcja edukacyjno-motywacyjna,
- potrzeba utworzenia i sprawnego funkcjonowania systemu wsparcia technologicznego i społecznego dla użytkowników w wieloletnim okresie eksploatacji obiektu,

- konieczność zachowania dużej elastyczności przy opracowaniu koncepcji modernizacyjnych uwzględniających lokalne uwarunkowania naturalne, środowiskowe oraz geograficzne, ekonomiczne, specyfikę gospodarczą regionu, użytkowe, preferencje społeczne odnośnie stylu życia a nawet upodobania użytkowników.

Lista trudnych do podjęcia decyzji jest w rzeczywistości znacznie dłuższa ze względu na złożoność problemów przedstawionych do rozwiązania. Nie można tutaj sformułować cząstkowych rozwiązań, które bezpośrednio odpowiadają na każdą z wymienionych trudności ale można je podać na pewnym stopniu ogólności czytelnym jednakże dla specjalistów wielu dziedzin:

- kwestie ekonomiczne powinny uwzględniać przynajmniej szacunkowe, a biegiem lat coraz dokładniejsze, obliczenia kosztów konsekwencji pozostawiania przy starych rozwiązaniach w różnych dziedzinach nie tylko zakupu energii ale także kosztów starzenia się obiektu, zdrowia całej społeczności także w relacjach z innymi, komunikacji, zakresu ilościowej eliminacji substancji szkodliwych dla środowiska a także pośrednio i bezpośrednio dla zdrowia,
- korzyści wynikające z integracji użytkowników nad wspólnym działaniem w uznanym przez wszystkich pozytywnym kierunku,
- możliwość wykorzystania i rozszerzenia istniejącego zakresu rynku usług oraz utworzenie nowych przestrzeni rynkowych i usługowych, włącznie z edukacją i doradztwem handlowym, produkcyjnym, usuwania i przetwarzania odpadów czy poradnictwem psychologicznym, co jest szczególnie trudne przy obserwowanych.

Podsumowanie

W podsumowaniu można stwierdzić, że technika posługująca się obrazem takim jak termowizja znacznie rozszerza możliwości docierania do społeczeństwa z takim kierunkiem rozwoju zrównoważonego jakim jest przechodzenie od budownictwa energooszczędnego w kierunku pasywnego. Użycie tego narzędzia będzie skuteczne jednakże przy współistniejącym procesie prawidłowej interpretacji dostępnej analizy pomiarów oraz opracowaniu metodyki motywacyjnej.

Stwierdzone w opisanych przypadkach, niekorzystne różnice temperatury w zakresie 1–10 °C prowadziły do znacznych wpływów energii i kwalifikowały obiekt do natychmiastowych napraw. Należy pamiętać że wystąpienie takich wpływów dyskwalifikuje obiekt w dążeniu do pasywności. Obowiązuje bowiem, bezwzględna zasada eliminowania strat przed zwiększaniem sprawności urządzeń, która nie tylko dotyczy urządzeń ale nawet przede wszystkim budynków, w których są użytkowane.

Rozwiązania wymienionych problemów związanych z modernizacją powinny uwzględniać jednocześnie wszystkie aspekty związane z nowymi technologiami, bezpiecznym ich użytkowaniem i kosztami, integracją społeczną oraz poszerzeniem oferty rynku usług i towarów. Występujące trudności mogą stać się dalszą inspiracją dla nauki do poszukiwania coraz skuteczniejszych rozwiązań.

Literatura

- [1] *Visual thinking – Visual culture – Visual pedagogy.* (ed.) H. Rarot, M. Śniadkowski, Politechnika Lubelska 2015;
- [2] *Współdziałanie nauk humanistycznych i ścisłych.* (red.) H. Rarot, Politechnika Lubelska 2017;
- [3] *Aspekty wizualne w edukacji szkolnej i akademickiej.* (red.) H. Rarot, M. Śniadkowski, Politechnika Lubelska 2016;
- [4] *Humanistyka a nauki ścisłe.* (red.) H. Rarot., Politechnika Lubelska 2016;
- [5] Kerpen D., *Dobre relacje – klucz do sukcesu. Jak współcześnie zjednywać sobie ludzi.* Gliwice, Helion, 2016;
- [6] Urzędowski A., Wójcicka-Migasiuk D., Korga S., *Using of a computer simulation tools for analyzing the influence of multi-layer vertical walls in buildings, on heating exchange phenomena occurring in them.* III Międzynarodowa Konferencja Innovative Buildings „InBuild”, Kraków, 20–22 listopada 2017;
- [7] Urzędowski A., Wójcicka-Migasiuk D., “Visual analysis of heat transport in unique object.” *Advances In Science And Technology Research Journal* 28 vol. 8, 2015, p. 153–159;
- [8] Urzędowski A., Wójcicka-Migasiuk D., Styczeń J., “Analysis of thermal properties and heat loss in construction and isothermal materials of multilayer building walls”, *Advances In Science And Technology Research Journal*, 2017, nr 2, vol. 11, p. 33–37;
- [9] Chwieduk D.A. *Some aspects of energy efficient building envelope in high latitude countries*, “Solar Energy”, vol. 133, 2016, p. 194–206.

Arkadiusz Urzędowski²³, Barbara Buraczyńska²⁴, Dorota Wójcicka-Migasiuk²⁵

10. Termowizyjna analiza bezpieczeństwa cieplnego budynków

Słowa kluczowe: technika termowizyjna, bezpieczeństwo cieplne budowli, transport ciepła

Streszczenie: W artykule przedstawiono zastosowanie techniki termowizyjnej w ocenie i analizie bezpieczeństwa cieplnego budynków. Scharakteryzowano złożone procesy fizyczne zachodzące podczas przewodzenia ciepła w wielowarstwowych przegrodach budowlanych w stanie ustalonym i nieustalonym. Opisano zasadę działania kamery termowizyjnej, czynniki wpływające na prowadzone pomiary i otrzymywane wyniki. Na praktycznych przykładach przedstawiono analizę wyników pomiarów termowizyjnych, omówiono i opisano występujące zjawiska z wykorzystaniem oprogramowania Flir Tools+.

Thermovision analysis of buildings thermal safety

Keywords: thermovision technique, thermal safety of buildings, heat transport

Abstract: The article presents thermal imaging technique in the assessment and analysis of thermal safety of buildings. Complex physical processes occurring during heat conduction in multi-layer building partitions have been characterized. The principle of operation of a thermal imager is described, influencing factors on the measurements carried out and the results obtained. The practical examples present the results of thermovision measurements, discussed and described occurring phenomena using Flir Tools + software.

Wstęp

Wizualizacja rozkładu temperatury metodą termowizyjną w badaniach naukowych ma zastosowanie nie tylko do prezentacji ich wyników, ale umiejętnie

²³ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, a.urzedowski@pollub.pl

²⁴ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, b.buraczynska@pollub.pl

²⁵ Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki, d.wojcicka-migasiuk@pollub.pl

wykorzystana może stanowić element pośredni procesu badawczego. Analiza obrazów pozwala na wybór dalszej właściwej procedury oraz ułatwia analizę porównawczą. Przy zastosowaniu odpowiedniej jakości sprzętu i oprogramowania, obrazowanie termowizyjne jako element metody badawczej, jest w dziedzinie bezpieczeństwa energetycznego budynków nie do uniknięcia.

Obraz termiczny to obraz składający się z palety barw przyporządkowanych skali temperatury, a obrazujących jej rozkład w badanym elemencie. Wykonanie obrazu multispektralnego wymaga zebrania i połączenia w jednej ilustracji barwnej danych z dwóch lub więcej zakresów częstotliwości pasma promieniowania. W przypadku wykonanych pomiarów jest to światło widzialne oraz promieniowanie podczerwone.

Technika ta stosowana jest głównie w obszarze termografii jakościowej, tzn. w pomiarach, w których dąży się do wyznaczanie różnic temperaturowych pomiędzy elementami w badanych obszarach. Prowadzone są jednak również pomiary ilościowe, w których dąży się do wyznaczenia rzeczywistych wartości temperatury celem oceny skali występujących zjawisk cieplnych, bądź wyznaczenia rzeczywistych wartości temperatury. Otrzymane obrazy zwane termogramami, wymagają odpowiedniej interpretacji. Osoba prowadząca pomiary na podstawie cech bezpośrednich widocznych na zobrazowaniu termalnym, wiedzy i doświadczenia uzupełnia je o cechy pośrednich obiektu [11]. Właściwa interpretacja termogramów wykonanych od zewnętrznej strony budynków może być kłopotliwa ze względu na wiele czynników mających wpływ na wartość temperatury powierzchni w momencie rejestracji termogramu. W celu poprawnej interpretacji wyników niezbędna jest wiedza o zagospodarowaniu wnętrza budynku i elementach takich jak źródła ciepła, meble, czy elementy oświetlenia znajdujące się wewnątrz budynku w bezpośrednim sąsiedztwie badanej przegrody [9]. O szybkości zmiany temperatury tej powierzchni w zależności od zmieniającej się temperatury bliskiego i dalekiego otoczenia decyduje pojemność cieplna przegrody, mająca wpływ na chwilową wartość temperatury. W bliskim otoczeniu powierzchni następuje wymiana ciepła na drodze konwekcji, natomiast w dalekim na drodze promieniowania. Zjawiska te mają szczególne znaczenie przy wykonywaniu pomiarów przegród budowlanych, których zewnętrzna warstwa jest osłonięta cienkim tynkiem. Prowadząc badanie w ciągu pochmurnego dnia, zarejestrowana wartość może być znacznie wyższa od temperatury powietrza, niż wynikałoby to z przenikania ciepła w stanie ustalonym. Przeciwnie zjawisko może być odnotowane w czasie bezchmurnej nocy, kiedy temperatura może osiągać wartości nawet niższe od temperatury powietrza, na co wpływa wymiana energii na drodze promieniowania pomiędzy powierzchnią ściany a zimnym nieboskłonem. W zależności, bowiem od pojemności cieplnej przegroda w różny sposób reaguje na zmiany temperatury [12, 5]. Poprawna interpretacja termogramów obiektów budowlanych wymaga szczegółowego rozpoznania przegrody i rozległej wiedzy z zakresu fizyki budowli.

Technika termowizyjna ma bardzo szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach, wśród których do najpopularniejszych należą: budownictwo, hutnictwo (badanie jakości odlewów, określanie rozkładu temperatur w piecach i na ich powierzchni), elektronika (badanie jakości układów scalonych, poszukiwanie uszkodzonych elementów w aparaturze elektronicznej), energetyka (badanie stanu przewodów elektrycznych, określanie stanu izolacji termicznej), rolnictwo i leśnictwo (określanie stanu wilgotności gleby i stanu upraw), chemia (lokalizacja miejsc, w których osadzają się pyły), medycyna (wykrywanie nowotworów, wykrywanie i lokalizacja stanów zapalnych) [10].

Charakterystyka przewodzenia ciepła w przegrodach budowlanych

Przewodzenia ciepła w ścianach warstwowych jest bardzo istotnym parametrem w projektowaniu budowli. Przypadki transportu ciepła w stanie ustalonym i niestalonym przez jednorodne przegrody izotropowe, możliwe są do wyznaczenia metodami analitycznymi. Jednak dla przegród wielowarstwowych skonstruowanych z materiałów niejednorodnych i złożonych warunków brzegowych, koniecznym jest zastosowanie metod numerycznych. Najszerzej stosowana do rozwiązywania takich zagadnień jest metoda elementów skończonych. Wymiana ciepła realizowana może być na drodze przewodzenia ciepła, konwekcji i promieniowania. Zazwyczaj mają miejsce złożone przypadki wymiany ciepła polegające na równoczesnym występowaniu dwóch lub trzech z tych sposobów. Przewodzenie polega na bezpośrednim przekazywaniu energii wewnętrznej między ciałami bezpośrednio stykającymi się. Przewodzenie ciepła zachodzi we wszystkich stanach skupienia materii. Konwekcją nazywamy wymianę ciepła pomiędzy powierzchnią ciała stałego i przylegającym do niej płynem, w którym oprócz przewodzenia występuje ruch. Ten sposób wymiany ciepła nazywa się również wnikaniem ciepła (przejmowanie ciepła). Przewodzenie i konwekcja wymagają bezpośredniego kontaktu ciał wymieniających energię. Wymiana ciepła może odbywać się również bez tego kontaktu w sposób zwany promieniowaniem. Polega ono na przekazywaniu energii w formie fal elektromagnetycznych [1, 2].

W celu przeprowadzenia obliczeń numerycznych stosuje się równania dla ustalonego i niustalonego przepływu ciepła. W niejednorodnych materiałach izotropowych, dla ustalonego i bezźródłowego przepływu ciepła, równanie lokalne (1) jest równaniem typu eliptycznego, gdzie $A(x) > 0$, a x jest wektorem określającym położenie cząstki w ciele [4].

$$\operatorname{div}(A \operatorname{grad} \theta) = 0 \quad (1)$$

Jeśli zaś $A = \text{const.}$, to otrzymujemy równanie Laplace'a (2).

$$\nabla^2 \theta = 0 \quad (2)$$

Konieczne jest zadanie warunków brzegowych i warunków ciągłości dotyczących pola temperatury i gęstości strumienia ciepła. Na przykład warunek Dirichleta, gdy na powierzchni ograniczającej ciało zadana jest temperatura (3) i warunek Neumannna, gdy znany jest gradient temperatury (lub strumień ciepła) na powierzchni ograniczającej ciało (4).

$$\tilde{\theta}(x) = \theta_1(x) \quad (3)$$

$$\text{grad}\tilde{\theta}(x) = h_1(x) \quad (4)$$

Dla nieustalonego i bezźródłowego przepływu ciepła równanie lokalne przedstawia wzór (5), w którym ρ oznacza gęstość, a c_w to ciepło właściwe.

$$\rho c_w \dot{\theta} = \text{div}(A \text{grad}\theta) \quad (5)$$

Dla stałego A równanie (5) upraszcza się i staje się równaniem parabolicznym (6).

$$\dot{\theta} = \kappa \nabla^2 \theta, \kappa = \frac{A}{\rho c_w} \quad (6)$$

Również w tym przypadku konieczne jest zadanie warunku początkowego, warunków brzegowych oraz warunków ciągłości. Przykładowo w warunkach brzegowych stosuje się prawo Stefana-Boltzmana (7), w którym n jest wektorem normalnym do brzegu, e współczynnikiem promieniowania ($e = k\varepsilon$, gdzie k jest stałą Boltzmana, a ε to emisyjność powierzchni), zaś θ_0 oznacza temperaturę otaczającego ośrodka, a θ temperaturę na brzegu.

$$q = q \cdot n = e(\theta_0^4 - \theta^4) \quad (7)$$

Można też zastosować konwekcyjny warunek brzegowy z prawem Newtona (8), w którym α oznacza współczynnik przejmowania ciepła.

$$q = \alpha(\theta_0 - \theta) \quad (8)$$

Analiza termowizyjna strat ciepła budowli

Badania termowizyjne są szybką, efektywną i nieinwazyjną metodą diagnostyczną. Poprawność takiego badania zależy od wielu czynników, jednak do najistotniejszych z nich należą warunki, w których wykonywane są pomiary. Między wynikami badań przeprowadzanych w pomieszczeniach i na zewnątrz występują duże różnice. Optymalne warunki dla badań „terenowych” to bezwietrzna noc przy pełnym zachmurzeniu oraz znacznym obciążeniu cieplnym badanego obiektu. Należy unikać badań w pomieszczeniach z silnymi polami elektromagnetycznymi, oraz w przegrzanych pomieszczeniach, co wynika z maksymalnej temperatury dopuszczającej pracę kamer [8].

Zasada działania kamery termowizyjnej polega na pomiarze i przedstawieniu w postaci obrazu, promieniowania podczerwonego docierającego do jej cyfrowego przetwornika. Natężenie promieniowania jest funkcją temperatury powierzchni badanego obiektu, stąd na podstawie sygnału z przetwornika kamera może obliczyć i przedstawić jego obraz termiczny. Energia

docierająca do przetwornika kamery zależy w dużej mierze od rodzaju materiału, z którego wykonany jest obiekt oraz struktura jego powierzchni. Wpływ tych czynników uwzględnia parametr nazywany emisyjnością, mówiący o zdolności danego ciała do emisji promieniowania cieplnego. Jest to najistotniejszy z parametrów w pomiarach termowizyjnych a jego niepoprawne ustawienie może prowadzić do bardzo dużych błędów odczytu. Generatorami promieniowania docierającego do kamery są także inne źródła ciepła znajdujące się w pobliżu badanego obiektu, „odbijające się” w jego powierzchni. Także powietrze znajdujące się między kamerą i badanym obiektem emituje własne promieniowanie, a równocześnie tłumi energię docierającą do kamery od tego obiektu. Poziom tego promieniowania, jak i stopień tłumienia zależy przede wszystkim od odległości od badanego obiektu oraz wilgotności i temperatury powietrza. Przed przystąpieniem do rozpoczęcia pomiarów należy określić odległość od obiektu, wilgotność względną atmosfery, temperaturę atmosfery, temperaturę odbitą oraz emisyjność powierzchni badanego obiektu [6, 3].

Na emisyjność powierzchni ma wpływ wiele czynników: temperatura, kąt pomiaru, zakres widmowy pomiaru, przepuszczalność materiału, geometria i sposób wykończenia powierzchni. Emisyjność można określić na kilka sposobów, lub odczytać jej wartość z tabel. Wartości tam podane wahają się od 0,01 (dla wypolerowanego mosiądzu) do 0,98 (dla ziemi). Emisyjność wynosząca 1 osiągalna jest wyłącznie dla ciała doskonale czarnego.

W analizach radiacyjnych, powierzchnie zewnętrzne przegród budowlanych charakteryzowane są przez półsferyczną emisyjność monochromatyczną (emisyjność widmowa dla danej długości fali promieniowania) – wzór (9) i półsferyczną emisyjność panchromatyczną (emisyjność całkowita dla całego zakresu promieniowania) – wzór (10).

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{W_{\lambda}}{W_{b\lambda}} \quad (9)$$

gdzie:

ε_{λ} – emisyjność monochromatyczna,

W_{λ} – natężenie promieniowania monochromatycznego o długości fali λ ,

$W_{b\lambda}$ – natężenie promieniowania monochromatycznego o długości fali λ dla ciała czarnego w tej samej temperaturze.

$$\varepsilon = \frac{W_T}{W_{bT}} \quad (10)$$

gdzie:

ε – emisyjność całkowita,

W_T – natężenie promieniowania w pełnym zakresie promieniowania dla danego ciała,

W_{bT} – natężenie promieniowania w pełnym zakresie promieniowania dla ciała czarnego w tej samej temperaturze [7].

Technika pomiarów termowizyjnych rozpowszechniona jest bardzo szeroko w budownictwie lądowym m.in. do badania termicznej obudowy budynków, oceny, jakości izolacji termicznej w przegrodach, wykonywanie kontroli, jakości prac izolacyjnych, oceny poprawności montażu i szczelności stolarki okiennej i drzwiowej, ocena poprawności montażu i szczelności połączenia systemowych płyt ściennych obudowy hal ogrzewanych, względnej ocena jakości okien i drzwi balkonowych, w tym zestawów szyb zespolonych, pod kątem izolacyjności termicznej, badania systemów grzewczych, w tym instalacji wewnętrznych, badania rozkładu temperatury na wybranych elementach instalacji C.O, wykrywania położenia rur wodnych wewnątrz murów, pod ziemią i w posadzkach, lokalizacji podziemnych sieci ciepłych i energetycznych, identyfikacji zawilgocenia przegród budowlanych, lokalizacji zawilgoconych fragmentów murów, lokalizacji niepożądanego infiltracji powietrza przez nieszczelności, badania budynków zabytkowych, badania stanu technicznego i szczelności kominów, badania przegród elementów budowlanych w laboratoriach.

Termowizyjna analiza strat ciepła w wybranych elementach budowli

W pracy metoda termowizyjna zastosowana została do jakościowego oszacowania miejscowych strat ciepła, zwanych potocznie mostkami termicznymi. Stanowią one zagrożenie dla budynków, w których może następować korozja biologiczna i fizykochemiczna. Prowadzą one do kondensacji pary wodnej, zawilgocenia, zagrzybienia i zmian strukturalnych przegrody (pęknięcia, wykruszenia itd.). Mostki termiczne powstają zarówno na skutek błędów projektowych, jak i wykonawczych.

Do badań zastosowano kamerę termowizyjną, wiodącego producenta tego sprzętu na świecie – FLIR Systems, Inc., serii T400, model Flir T440bx o zastosowaniu uniwersalnym w energetyce i przemyśle. Pozwala ona odczytać emisję elektromagnetyczną fal niewidocznych w zakresie widma spektralnego od 7,5 do 13 μm , w temperaturze od -20°C do 350°C . Kamera wyposażona jest w czuły detektor o rozdzielczości 320x240 pikseli, wizualizujący różnice temperatury $0,045^{\circ}\text{C}$ i pracujący z częstotliwością odświeżania 60Hz. Ponadto kamera posiada funkcję Multi Spectral Dynamic Imaging (MSX), która poprawia strukturę obrazu termogramu, funkcję profilu liniowego, wyznaczanie punktu rosy, dotykowy monitor, możliwość wykonywania szkiców na obrazie termowizyjnym oraz łączność poprzez WiFi i Meterlink.

Do opracowania otrzymanych wyników badań, wykorzystane zostało oprogramowanie producenta kamery, program FLIR Tools+. Program ten pozwala na obróbkę termogramów, ich rozbudowaną analizę oraz tworzenie raportów termowizyjnych w oparciu o skatalogowane zdjęcia termograficzne. Umożliwia on również zastosowanie punktów i obszarów pomiarowych, zmianę

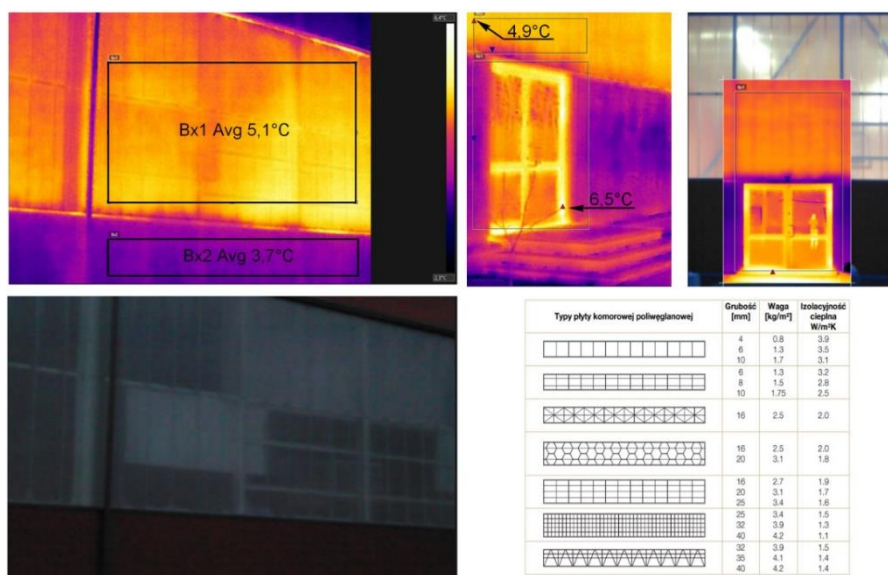
palety barw, linii termostatycznych, wskazań maksimów temperatury, określanie różnic temperaturowych, wprowadzania i modyfikację szeregu parametrów dostępnych również z poziomu kamery.

Rysunek 1 przedstawia wzmocnienie słupa na parterze budynku Studium Wychowania Fizycznego i Sportu Politechniki Lubelskiej przy ul. Nadbystrzyckiej 36B w Lublinie. Zdjęcia cyfrowe wykonane zostały w trakcie prowadzenia prac termomodernizacyjnych obiektu, natomiast termogram po ich zakończeniu i oddaniu obiektu do użytkowania w okresie jesienno-zimowym. Zastosowane wzmocnienia konstrukcyjne ze stalowych kątowników i płaskowników okalających słup budziły uzasadnione obawy, że będą one potencjalnymi miejscami strat ciepła w budynku. Prace prowadzone były z dużą starannością i dbałością o szczegóły. Zastosowano płyty polistyernu ekspandowanego Termoorganika Dalmatyńczyk Fasada grubości 25cm, charakteryzujące się deklarowanym współczynnikiem przewodzenia ciepła 0,044 W/mK. Na rysunku 1b niewidoczne są miejsca, w których rozmieszczono kotwy montażowe płyt, ponieważ zaślepione one zostały styropianowymi wkładkami. Poprawność wykonanej izolacji termicznej potwierdza Rysunek 1.c, na którym barwa elewacji jest jednolita a brak występowania jasnych kolorów w tym obszarze pozwala stwierdzić, iż nie występuje migracja podgrzanego powietrza na zewnątrz budynku.



Rys. 1. Zdjęcia cyfrowe i termowizyjne elementu konstrukcyjnego budynku Studium Wychowania Fizycznego

Wykonano również zdjęcia termowizyjne hali sportowej, przyległej do omawianego budynku Studium Sportu – Rys.2. Hala ta ma konstrukcję stalową pokrytą płytami warstwowymi Balexmetal PU-R (poliuretan), grubości 160 mm, o współczynniku przenikania ciepła $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$. Jej przeszklenia wykonano z płyty poliwęglanowej komorowej grubości 40 mm i współczynniku przenikania ciepła $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rozwiązanie takie pozwoliło uniknąć stosowania zaawansowanych rozwiązań konstrukcyjnych do montażu ciężkiej, tradycyjnej stolarki okiennej. Ponadto spełnione zostały kryteria dla wartości współczynnika przenikania ciepła U dla okien i drzwi zewnętrznych wynikające z rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. System montażu płyty komorowej w przegrodzie z pianki poliuretanowej pozwolił również uniknąć strat ciepła występujących często wskutek złego montażu stolarki tradycyjnej. Podczas przeprowadzenia pomiarów na zewnątrz hali panowała temperatura -5°C , natomiast wewnątrz odnotowano 21°C .



Rys. 2. Zdjęcia cyfrowe i termowizyjne fragmentu elewacji hali sportowej

W programie Flir Tools+, na termogramie – Rys. 2. naniesione zostały obwiednie obszarów (Bx1, Bx2), w których wyznaczona została temperatura średnia. Na wybranym obszarze płyt warstwowych odnotowano temperaturę wynoszącą $3,7^\circ\text{C}$, podczas gdy na powierzchni płyty komorowej poliwęglanowej jest ona większa zaledwie o $1,4^\circ\text{C}$. Tak niewielka rozbieżność w pełni uzasadnia stosowanie tego typu rozwiązań w obiektach przemysłowych i użyteczności publicznej, w których wykonano instalację nawiewno-wywiewną i niewymagane

jest otwieranie okien. Niski współczynnik przenikania ciepła dla przeszkleń jest niezwykle istotny w omawianym przypadku, gdzie powierzchnia okien wynosi aż 60% powierzchni całej ściany wschodniej ściany. Na sąsiadującym termogramie opisane zostały maksima temperaturowe dla wysownych obwiedni wokół aluminiowych, przeszklonych drzwi wejściowych i fragmentu poliwęglanowej płyty komorowej. Zarejestrowana wartość temperatury dla ościeżnicy drzwi jest wyższa o 1,6°C. Zjawisko to nie powinno występować w przypadku poprawnego montażu stolarki drzwiowej w warstwie izolacji termicznej ściany hali. Miejscowy upływ ciepła może prowadzić do przemarzania i stopniowej destrukcji elementów przylegających tj. drewniana podłoga sportowa czy konstrukcja stalowa.

Wnioski

Przeprowadzone pomiary z wykorzystaniem kamery termowizyjnej umożliwiły analizę rozkładu temperatury na elewacjach sąsiadujących obiektów, wzniesionych w dwóch technologiach konstrukcyjnych. Obiekty te modernizowane były w tym samym czasie, zatem regulacje w zakresie izolacyjności cieplnej były równie aktualne. W obydwóch przypadkach zaprezentowane graficznie rozkłady temperatury na elewacji pozwalają na pozytywną ocenę przeprowadzonych prac termomodernizacyjnych. Dzięki zastosowaniu oprogramowania Flir Tools+ przeprowadzono powierzchniowe i punktowe pomiary wartości temperatury. Metoda termowizyjna, jako jedyna dostępna w przemyśle, pozwala na jakościowe oszacowanie strat ciepła na całej elewacji obiektu. Bezinwazyjne prowadzenie pomiarów z wykorzystaniem kamery jest niezastąpione w przypadku weryfikacji izolacyjności termicznej fragmentów i całych przegród budowlanych, zwłaszcza miejscach trudno dostępnych.

Praca z termogramami wymaga znajomości rozwiązań konstrukcyjnych badanych obiektów oraz ich właściwości termicznych, pozwalając na ocenę zgodności przyjętych w dokumentacji projektowej rozwiązań detali w zakresie ochrony cieplnej ze stanem istniejącym, ocenę wpływu występujących liniowych i punktowych mostków cieplnych na stan ochrony cieplnej oraz stwierdzenie czy są wadą czy też anomalią związaną z technologią robót (np. konstrukcja stalowa), oszacowania wpływu występujących defektów niezwiązanych z technologią robót i określenie czy defekty te są możliwe do częściowej lub całkowitej eliminacji.

Termografia jest efektywnym narzędziem badawczym wspomagającym ocenę stanu technicznego przegród zewnętrznych budynków w aspekcie bezpieczeństwa cieplnego budynków. W połączeniu z innymi metodami badawczymi i pomiarami termicznymi, umożliwia kompleksową ocenę izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych.

Literatura

- [1] Bejan A., *Convection heat transfer*, Wiley, Hoboken, 2013;
- [2] Galadanci, A.S., Ianakiev, A., Kromanis, R., Robinson, J. , *Energy investigation framework: Understanding buildings from an energy perspective view*, „Journal of Building Engineering”, 2020 vol. 28;
- [3] Godi, S.C., Abraham, S., Pattamatta, Balaji, C. ,*Evaluation of candidate strategies for the estimation of local heat transfer coefficient from wall jets*, „Experimental Heat Transfer”, 2020 vol. 33, p. 40–63;
- [4] Jemiło S., Gajewski M., *Termosprężystość i przepływy ciepła w materiałach anizotropowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2015;
- [5] Królczyk B., *Budownictwo energooszczędne i pasywne: identyfikacja problemu*, Kunke Poligrafia, 2013;
- [6] Malinowski M., Sikora J., *Termograficzna analiza wybranych przegród budowlanych w aspekcie ich termoizolacyjności*, „Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich”, 2013 vol. 3, p. 91–104;
- [7] Nowak H., *Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2012;
- [8] Paśnikowska-Łukaszuk M., Wójcicka-Migasiuk D., *Selected aspects of development towards energy efficient buildings*, „Journal of Ecological Engineering”, 2017, vol. 18, p. 137–143;
- [9] Urzędowski A., Wójcicka-Migasiuk D., *Visual analysis of heat transport in unique object*, „Advances in science and technology research journal”, 2015, vol. 9, p. 153–159;
- [10] Więcek B., De Mey G., *Termowizja w podczerwieni: podstawy i zastosowania*, Wydawnictwo PAK, 2011;
- [11] Więcek B., Strąkowski R., *Ilościowe aspekty zastosowania termowizji w budownictwie*, „Inżynier Budownictwa”, 2013, p. 34–37;
- [12] Wiśniewski S., Wiśniewski T. S., *Wymiana ciepła*, Warszawa, Wydawnictwo WNT, 2012.

Szanowni Państwo,

W ramach działań mających na względzie podniesienie poziomu bezpieczeństwa technicznego, energetycznego i informatycznego podjęto wspólną misję z Urzędem Dozoru Technicznego zatytułowaną: „Bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń technicznych” oraz zorganizowano konferencję naukową skierowaną do środowiska technicznego, a także do studentów kierunku Inżynieria Bezpieczeństwa. Konferencja przewidziana jest jako wydarzenie cykliczne mające na celu odzwierciedlenie efektów współpracy Wydziału Podstaw Techniki z Urzędem Dozoru Technicznego oraz przemysłem w regionie. W wydarzeniu uczestniczą przedstawiciele Urzędu Dozoru Technicznego, Państwowej Inspekcji Pracy oraz liczni przedstawiciele przemysłu w regionie z takich firm i instytucji, jak: MEGATEM EC-LUBLIN Sp. z o.o., ENERGOSERWIS S.A., Grupa Azoty Zakłady Azotowe „Puławy” S.A., Państwowa Straż Pożarna, MEZAP Sp. z o.o., REMZAP sp. z o.o., PGE Energia Ciepła S.A. OE Lublin Wrotków, Instytut Nowych Syntezy Chemicznych w Puławach, INWESTPROJEKT-DŻWIG Sp. z o.o., PZL Świdnik S.A.

Celem serii konferencji jest odzwierciedlenie efektów współpracy pomiędzy Urzędem Dozoru Technicznego w Lublinie oraz jak najszerzej pojętym środowiskiem technicznym, a Wydziałem Podstaw Techniki Politechniki Lubelskiej w nowoczesnym i profesjonalnym działaniu w obszarze bezpieczeństwa publicznego przy jednoczesnym stymulowaniu jego rozwoju.

Redaktorzy i autorzy mają nadzieję, że zarówno zaprezentowana seria wydawnicza jak i fora wymiany myśli naukowej będą cieszyły się wieloletnim zainteresowaniem.

*Dorota Wójcicka-Migasiuk
Dziekan WPT*



ISBN: 978-83-7947-391-5

