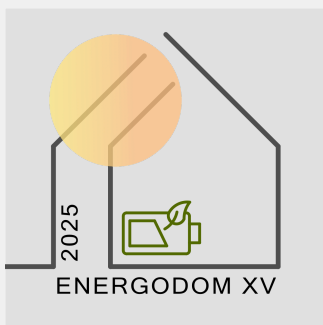




ENERGOPOL 2025

XV KONFERENCJA NAUKOWO - TECHNICZNA

Fala Renowacji strategią osiągnięcia standardu Net Zero w budownictwie

Politechnika Krakowska

23 - 24 października 2025



PATRONAT HONOROWY:



Minister Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



Kraków

Prezydent Miasta Krakowa
Aleksander Miszański



**Politechnika
Krakowska**
Jubileusz 80-lecia

JM Rektor Politechniki Krakowskiej
prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata



Dziekan Wydziału
Inżynierii Lądowej
dr hab. inż. Lucyna Domagała, prof. PK



Polska Akademia Nauk
Wydział IV Nauk Technicznych
Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej
Seksja Fizyki Budowli

SPONSORZY:

Termo Organika
Myśl: Ciepło

BOLIX®

FAKRO®

Adenergo

JMA
PARTNER

synthos

PATRONAT MEDIALNY:

**MATERIAŁY
BUDOWLANE**
MIESIĘCZNIK
100 punktów za artykuły naukowe

**RI Rynek
instalacyjny**

Builder
IZOLACJE
budownictwo | przemysł | ekologia

**Inżynier
budownictwa**

Kraków.pl

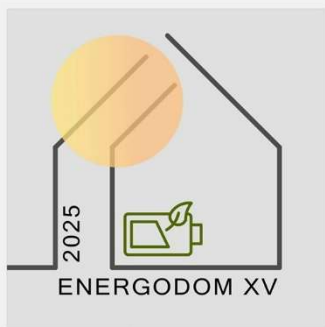
PARTNER STRATEGICZNY:



STOWARZYSZENIE
GMIN I POWIATÓW
MAŁOPOLSKI

ABSTRAKTY
REFERATÓW

SESJA I	2
SESJA II A	11
SESJA III A	19
SESJA IV	30
SESJA V	38
SESJA VI	49
SESJA POSTEROWA	58



ENERGOPOL 2025

XV KONFERENCJA NAUKOWO - TECHNICZNA

Fala Renowacji strategią osiągnięcia
standardu Net Zero w budownictwie

Politechnika Krakowska

23 - 24 października 2025



SESJA I

REWITALIZACJA I TERMOMODERNIZACJA, ROZWIĄZANIA I PROBLEMY PROJEKTOWE, cz. I

- Obliczenia numeryczne w projektowaniu instalacji aktywnych w obiekcie zabytkowym - przykład zintegrowanego projektowania dla Wawelu - L. Klimczak, J. Radoń.
- Uproszczona analiza wpływu standardu izolacyjności termicznej obudowy zewnętrznej budynku na wybrane wskaźniki oceny energetycznej i eksploatacyjnej - H. Jędrzejuk.
- Integracja elastycznych paneli fotowoltaicznych z ETICS - wytyczne dla systemu ActiVer - D. Heim, D. Knera, A. Wieprzkowicz.
- Zarządzanie w skali doby energią elektryczną w klastrze budynków jednorodzinnych: integracja z rynkiem dnia następnego - M. Zygmunt, D. Gawin.

Obliczenia numeryczne w projektowaniu instalacji aktywnych w obiekcie zabytkowym – przykład zintegrowanego projektowania dla Wawelu

Liliana Klimczak^{1*}, Jan Radoń²

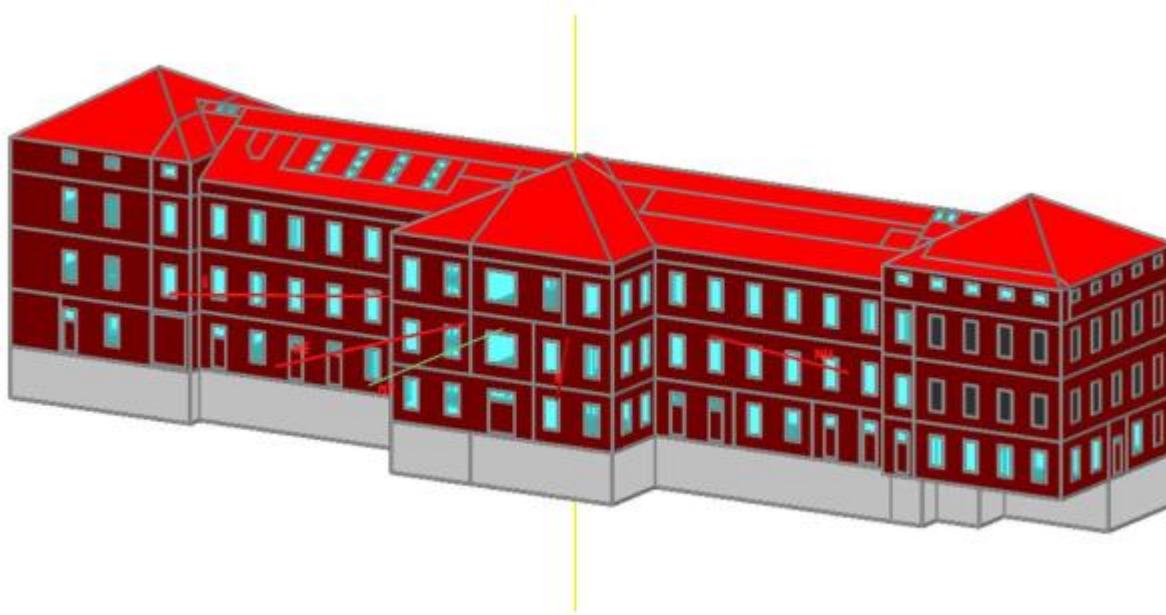
Słowa kluczowe: konserwacja, mikroklimat, modelowanie numeryczne, obiekt zabytkowy, Wawel

1 Wprowadzenie

W projektowaniu instalacji w obiektach zabytkowych niezbędne jest równoczesne uwzględnienie wymagań konserwatorskich, energetycznych oraz funkcjonalnych. Obiekty tego typu wymagają stabilnych warunków mikroklimatycznych, przy czym ingerencja w substancję zabytkową musi być ograniczona. Przykładem jest adaptacja budynku dawnego szpitala przy Wawelu 9 na centrum konserwacji i magazynowania muzealiów.

2 Metodyka obliczeń

W trzech etapach obliczeń numerycznych wykonanych w programie *WUFI Plus* i poprzedzonych modelowaniem geometrii w *SketchUp* przeanalizowano 62 strefy użytkowe budynku.



Rysunek 1: Elewacja północno wschodnia budynku zwizualizowana w programie *Wufi® Plus*[1]

Zdefiniowano warianty kształtowania mikroklimatu: pasywne (izolacje, folie IR, blendy okienne) oraz aktywne (ogrzewanie, chłodzenie, nawilżanie, osuszanie). Stopniowo wprowadzano dokładniejsze dane materiałowe, w tym parametry przegród i konstrukcji blend.

3 Wyniki

3.1 Etap I

Etap I obliczeń numerycznych powstał na etapie projektu koncepcyjnego budynku, w oparciu o wstępne dane odnośnie konstrukcji i izolacji. Dostarczył orientacyjnych informacji o wahaniami temperatury i wilgotności w magazynach oraz o orientacyjnym zapotrzebowaniu na energię. Pozwolił zaplanować odpowiednią do oczekiwań Inwestora izolacyjność budynku.

¹ dr inż., Nabla Projekt Energia Sp. Z o.o., liliana.klimczak@nabla-pe.pl (* autor do korespondencji)

² prof. dr hab. inż., Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

3.2 Etap II

Etap II obliczeń numerycznych wykonano w oparciu o docelową konstrukcję budynku. Wyniki dla pięciu różnych wariantów pozwoliły ocenić skuteczność izolacji termicznych i pojedynczych blend okiennych w ograniczaniu wahań mikroklimatu, a także ocenić energochłonność stref magazynowych na tle całego budynku.

3.3 Etap III

Etap III wspierał projektowanie podwójnych blend z rdzeniem PIR i ostateczny kształt stolarki okiennej, aby dodatkowo ograniczyć zyski ciepła i ustabilizować warunki w strefie magazynowej. Na podstawie tego etapu potwierdzono moce urządzeń HVAC.

4 Dyskusja

Analizy wykazały, że działania pasywne znacząco redukują obciążenia energetyczne systemów aktywnych. Wariant pasywny nie zapewnia pełnego spełnienia rygorystycznych norm konserwatorskich, ale w połączeniu z aktywną regulacją pozwala na znaczne zmniejszenie mocy i kosztów eksploatacyjnych.

5 Podsumowanie

Obliczenia numeryczne umożliwiły iteracyjne wsparcie procesu projektowego: od wstępnych szacunków po szczegółowe wymiarowanie instalacji. Zastosowane podejście potwierdza, że integracja rozwiązań pasywnych i aktywnych jest kluczem do efektywnego kształtowania mikroklimatu w obiektach zabytkowych, minimalizując ryzyko nieefektywnych i kosztownych systemów.

Bibliografia

- [1] Radoń J.: Obliczenia kształtowania mikroklimatu i zużycia energii w centrum konserwacji i magazynowania muzealiów w zabytkowym budynku dawnego szpitala – Wawel 9, Raporty Etap I–III, Kraków 2024–2025.

Uproszczona analiza wpływu standardu izolacyjności termicznej obudowy zewnętrznej budynku na wybrane wskaźniki oceny energetycznej i eksploatacyjnej

Hanna Jędrzejuk^{1*}

Słowa kluczowe: termomodernizacja, ocena energetyczna budynków, budynki jednorodzinne, metoda 5R1C, metoda TOPSIS

1 Wprowadzenie

W referacie rozważono wpływ poprawy izolacyjności termicznej obudowy zewnętrznej budynku ze standardu „1982” do standardów „2021” i „2050”, przy założeniu trzech wariantów wewnętrznej pojemności cieplnej ($C_{m,j}$), liczby wymian powietrza (n) na: wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło użyteczne do ogrzewania (EU_H , kWh/(m²·rok)); wskaźnik rocznego zapotrzebowania na ciepło użyteczne do chłodzenia (EU_C , kWh/(m²·rok)); znormalizowany średni błąd kwadratowy mocy ogrzewania ($NRMSE_H$) oraz znormalizowany średni błąd kwadratowy mocy chłodzenia ($NRMSE_C$).

Wybrano kryteria energetyczne: wskaźniki rocznego zapotrzebowania na ciepło użyteczne, które mogą również posłużyć do wyznaczenia kosztów eksploatacyjnych oraz emisji zanieczyszczeń do środowiska oraz eksploatacyjne, które charakteryzują dynamikę zapotrzebowania na moc. Duża zmienność zapotrzebowania na moc do ogrzewania lub chłodzenia, może niekorzystnie oddziaływać na sprawność źródeł ciepła i chłodu, przy rozruchu urządzeń mogą występować większe straty energii, może dojść do krócenia żywotności urządzeń.

Do symulacji numerycznej wykorzystano uproszczony model godzinowy o parametrach skupionych, tj. 5R1C [1] ze względu na ogólne sformułowanie i ograniczoną liczbę niezbędnych danych.

Do wskazania rozwiązania preferowanego wykorzystano metodę TOPSIS [2].

2 Opis problemu

Analiza dotyczy wolnostojącego, prostopadłościennego, dwukondygnacyjnego budynku jednorodzinnego o polu powierzchni ogrzewanej (A_g) 200 m² i współczynniku kształtu 0,85, w którym wentylacja jest bez odzysku ciepła.

W rozważaniach uwzględniono trzy kategorie jednostkowej wewnętrznej pojemności cieplnej budynku: o konstrukcji bardzo lekkiej (wg. [1]: 80 000 J·K⁻¹·m²), średniej (wg. [1]: 165 000 J·K⁻¹·m²) i bardzo ciężkiej (warunki polskie: 450 000 J·K⁻¹·m²). Przyjęte standardy izolacyjności termicznej przedstawiono w tabeli 1.

Tablica 1. Standardy izolacyjności termicznej

Standard izolacyjności termicznej	Ściany zewnętrzne [W/(m ² ·K)]	Stropodach [W/(m ² ·K)]	Okna [W/(m ² ·K)]	Drzwi zewnętrzne [W/(m ² ·K)]	Strop nad piwnicą [W/(m ² ·K)]
„1982”	0,75	0,45	2,60	2,60	1,16
„2021”	0,20	0,15	0,90	1,30	0,25
„2050”	0,10	0,10	0,60	0,90	0,10

Współczynniki przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego przegród przezroczystych zostały odpowiednio przypisane do standardów izolacyjności termicznej, tj.: „1982”: 0,80; „2021”: 0,55; „2050”: 0,50. Przyjęto liczbę wymian powietrza 4,0 1/h w przypadku standardu „1982”, a w pozostałych 1,5 1/h i 0,6 1/h.

W obliczeniach wykorzystano przypisane do stacji meteorologicznej Warszawa-Okęcie archiwalne dane meteorologiczne przeznaczone do obliczeń energetycznych budynków [2].

Zmienność wymaganej mocy ogrzewania (ϕ_H) scharakteryzowano za pomocą znormalizowanego średniego błędu kwadratowego ($NRMSE_H$), przy czym do normalizacji przyjęto średnią roczną wartość ($\phi_{sr,H}$):

¹ dr hab. inż., Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska, Hanna.Jedrzejuk@pw.edu.pl
(* autor do korespondencji)

$$\phi_{sr,H} = \frac{1}{I} \cdot \sum_{i=1}^I \phi_{H,i}, \text{ jeżeli } \phi_{H,i} \neq 0, \text{ gdzie } I - \text{całkowita liczba godzin ogrzewania} \quad (1)$$

$$NRMSE_H = \frac{\sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (\phi_{sr,H} - \phi_{H,i})^2}}{\phi_{sr,H}} \quad (2)$$

Analogicznie została zdefiniowana zmienność wymaganej mocy chłodzenia.

3 Wyniki obliczeń (wybór)

W tablicach 2 – 6 przedstawiono wyniki obliczeń w przypadku budynku o konstrukcji bardzo lekkiej.

Tablica 2. Przestrzeń celów

Wariant	EU_H	EU_C	$NRMSE_H$	$NRMSE_C$
1982; 4,0 1/h	256,18	24,38	0,8750	0,1282
2021; 1,5 1/h	84,05	21,35	1,4113	0,1105
2021; 0,6 1/h	14,30	38,79	3,0810	0,0556
2050; 1,5 1/h	82,52	17,97	1,3835	0,1244
2050; 0,6 1/h	12,55	34,97	3,1867	0,0580
Wsp. norm.	282,61	64,03	4,9314	0,2249

Tablica 3. Znormalizowana przestrzeń celów

Wariant	$EU_{H,z}$	$EU_{C,z}$	$NRMSE_{H,z}$	$NRMSE_{C,z}$
1982; 4,0 1/h	0,9065	0,3807	0,1774	0,5699
2021; 1,5 1/h	0,2974	0,3334	0,2862	0,4915
2021; 0,6 1/h	0,0506	0,6057	0,6248	0,2471
2050; 1,5 1/h	0,2920	0,2807	0,2805	0,5533
2050; 0,6 1/h	0,0444	0,5461	0,6462	0,2578

Tablica 4. Znormalizowana przestrzeń celów (wagi)

Wagi	0,3	0,4	0,15	0,15
Wariant	$EU_{H,zw}$	$EU_{C,zw}$	$NRMSE_{H,zw}$	$NRMSE_{C,zw}$
1982; 4,0 1/h	256,18	24,38	0,8750	0,1282
2021; 1,5 1/h	84,05	21,35	1,4113	0,1105
2021; 0,6 1/h	14,30	38,79	3,0810	0,0556
2050; 1,5 1/h	82,52	17,97	1,3835	0,1244
2050; 0,6 1/h	12,55	34,97	3,1867	0,0580

Tablica 5. Znormalizowana przestrzeń celów (wagi)

Wagi	0,25	0,25	0,25	0,25
Wariant	$EU_{H,zw}$	$EU_{C,zw}$	$NRMSE_{H,zw}$	$NRMSE_{C,zw}$
1982; 4,0 1/h	256,18	24,38	0,8750	0,1282
2021; 1,5 1/h	84,05	21,35	1,4113	0,1105
2021; 0,6 1/h	14,30	38,79	3,0810	0,0556
2050; 1,5 1/h	82,52	17,97	1,3835	0,1244
2050; 0,6 1/h	12,55	34,97	3,1867	0,0580

Tablica 6. Wskaźnik relatywnej bliskości (do tab.4.)

Wariant	Wsk. rel. blisk.	Komentarz
1982; 4,0 1/h	0,3003	
2021; 1,5 1/h	0,7131	
2021; 0,6 1/h	0,6410	
2050; 1,5 1/h	0,7236	Rozwiązanie preferowane
2050; 0,6 1/h	0,6745	

Tablica 7. Wskaźnik relatywnej bliskości (do tab.5.)

Wariant	Wsk. rel. blisk.	Komentarz
1982; 4,0 1/h	0,3596	
2021; 1,5 1/h	0,6720	Rozwiązanie preferowane
2021; 0,6 1/h	0,6233	
2050; 1,5 1/h	0,6588	
2050; 0,6 1/h	0,6303	

4 Podsumowanie

Kryteria energetyczne (tj. wskaźniki EU_H, EU_C): przy równych wagach, wskazują na rozwiązanie termomodernizacji o najwyższym standardzie (wariant: „2050”; 0,6 1/h). Natomiast przypisanie większego znaczenia wskaźnikowi EU_C , (wagi 0.6) powoduje, że rozwiązaniem preferowanym jest najwyższy standard izolacyjności termicznej, przy większej liczbie wymian powietrza niż minimalna (wariant: „2050”; 1,5 1/h).

W przypadku wag (wg. tab. 4) rozwiązanie preferowane wskazuje na .

Im lepsza izolacyjność termiczna obudowy zewnętrznej tym wzrasta wpływ zapotrzebowania na ciepło użyteczne do chłodzenia na rozwiązanie preferowane.

Najlepsze rozwiązanie osiągnięto w przypadku budynku o największej wewnętrznej pojemności cieplnej, wariancie izolacyjności termicznej „2050”, liczbie wymian 1,5 1/h (wagi jak w tab. 4). W tym przypadku wskaźnik relatywnej bliskości wyniósł 0,7415.

Metoda TOPSIS [2] pozwala na jednoznaczny wybór rozwiązania preferowanego, ale jej wiarygodność silnie zależy od przyjętych wartości współczynników wagowych.

Bibliografia

- [1] PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia
- [2] Hwang, C.L., Yoon, K.: *Methods for multiple attribute decision making. Methods and Applications. A state-of-the-Art Survey*, in: Multiple attribute decision making. Springer-Verlag, 1981
- [3] Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju – archiwum: Dane do obliczeń energetycznych budynków (<https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>, dostęp: 29.08.2025 r.)

Integracja elastycznych paneli fotowoltaicznych z ETICS – wytyczne dla systemu ActiVer

Dariusz Heim^{1*}, Dominika Knera², Anna Wieprzkowicz³

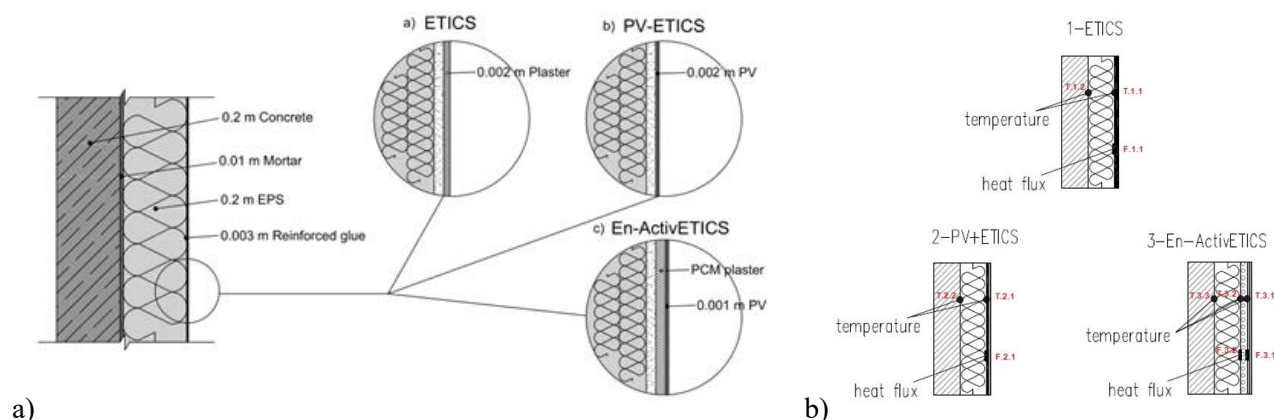
Słowa kluczowe: energia odnawialna, przegrzewanie, rozpraszanie ciepła, temperatura, strumień ciepła

1 Wprowadzenie

Lokalna produkcja energii ze źródeł odnawialnych wraz z jej efektywnym magazynowaniem jest warunkiem niezbędnym do uzyskania standardu budynku energooszczędnego i niskoemisyjnego. Panele PV zintegrowane z obudową zewnętrzną budynku (BIPV – Building Integrated Photovoltaic) wraz z całym systemem elektroenergetycznym stanowią atrakcyjną alternatywę dla użytkowników budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej. Podstawową zaletą systemów BIPV jest łatwiejsze połączenie z instalacją elektryczną obiektu, oszczędność miejsca na działce i możliwość wykorzystania konstrukcji budynków jako elementów nośnych na potrzeby instalacji OZE. Dominującymi rozwiązaniami są systemy wykorzystujące ciężkie podkonstrukcje, najczęściej metalowe, sytuowane na dachach lub podwieszane do ścian zewnętrznych. Konieczność wykonania dodatkowego stelażu podnosi zarówno koszt całej inwestycji, pogarsza jej parametry środowiskowe, a także istotnie zwiększa obciążenia działające na budynek. Przyczynkiem do podjęcia badań opisanych w niniejszym artykule jest potrzeba opracowania nowego systemu, pozbawionego wymienionych powyżej wad i pozwalającego na instalację systemów PV w postaci lekkich okładzin ściennych, łatwo integrowalnych z popularnymi systemami wykończenia ścian zewnętrznych, takimi jak m.in. ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems).

2 Integracja paneli PV z lekkim systemem ociepleń

W pracy podjęto próbę opracowania innowacyjnego systemu pozwalającego na bezpośrednie połączenie lekkich, elastycznych paneli PV z systemem ociepleń ETICS. Zidentyfikowano problemy fizyko-budowlane występujące w tego typu instalacji, polegające na ryzyku przegrzewania się paneli PV powyżej granicznej temperatury eksploatacji i możliwość wystąpienia kondensacji pary wodnej. Po wstępnych analizach z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych [1,2] dokonano wyboru wariantu docelowego, który wykonano w skali rzeczywistej na istniejącym budynku Politechniki Łódzkiej oraz Uniwersytetu Technicznego w Tallinie. Jednocześnie wykonano systemy referencyjne w postaci elastycznego panelu PV naklejonego bezpośrednio na styropian oraz systemu ETICS pokrytego czarnym tynkiem (rysunek 1a). W systemie En-ActivETICS zastosowano warstwę tynku o podwyższonej akumulacyjności ciepła uzyskane w wyniku modyfikacji zaprawy materiałami fazowo-zmiennymi (MFZ).



Rysunek 1: Schemat rozwiązań (a) i sposób rozmieszczenia czujników (b).

¹ Prof. dr hab. inż., Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, dariusz.heim@p.lodz.pl (* autor do korespondencji)

² dr inż., Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, dominika.knera@p.lodz.pl

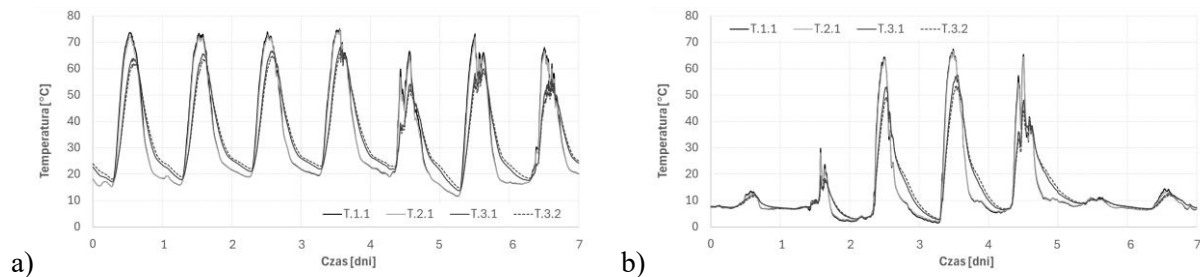
³ dr inż., Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, anna.wieprzkowicz@p.lodz.pl

3 Instalacja eksperymentalna

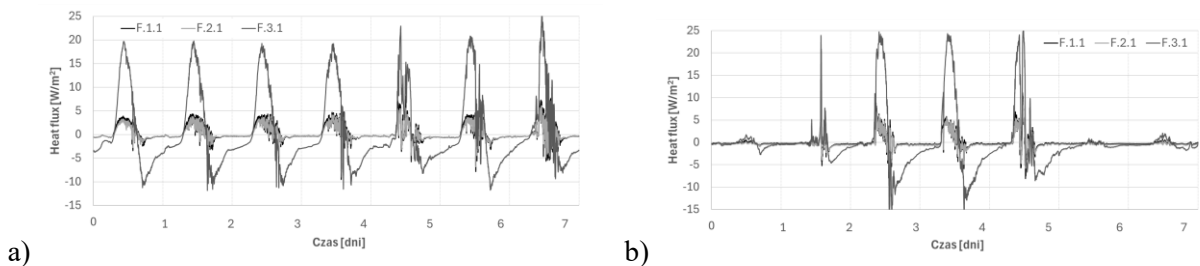
Wykonane systemy po uprzednim opomiarowaniu pozwoliły na stworzenie instalacji eksperymentalnej służącej do badania przegrody jak i samych paneli PV. Na Politechnice Łódzkiej badano cieplne zachowanie się ściany przez okres całego roku, zaś przykładowe wyniki badań i ich analiza są przyczynkiem do sformułowania wytycznych będących tematem niniejszego referatu. Wykorzystane czujniki pomiarowe to czujniki platynowe Jumo (pomiar temperatury) i Hukseflux FHF02SC (pomiar strumienia ciepła). Umieszczenie czujników w przegrodach pokazano na rysunku 1b.

4 Wyniki badań

Na rysunku 2 i 3 przedstawiono przykładowe wyniki badań dla wybranych tygodni lata (a) i zimy (b). Wybrane do analizy przedziały czasu należy uznać za ekstremalne na podstawie temperatury zmierzonej bezpośrednio pod panelem PV (rysunek 2), będącej w głównej mierze efektem fototermicznej konwersji promieniowania słonecznego. W tych samych miejscach zmierzono strumień ciepła (rysunek 3).



Rysunek 2: Zmiana temperatury pod panelem PV w tygodniu a) lata, b) zimy.



Rysunek 3: Zmiana strumienia ciepła za panelem PV w tygodniu a) lata, b) zimy.

5 Podsumowanie

Analiza wyników badań eksperymentalnych pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

- maksymalne temperatury uzyskane pod panelem PV nie przekraczają wartości temperatury eksploatacji określonej przez producentów (85°C),
- różnice maksymalnych wartości pomiędzy wynikami uzyskanymi w lecie i zimie są poniżej 10K,
- wprowadzenie warstwy tynku modyfikowanego MFZ powoduje znaczną akumulację ciepła i obniżenie temperatury pod panelem, nawet powyżej 10K.

Na tej podstawie należy stwierdzić, że zastosowanie warstwy MFZ chociaż skuteczne, nie jest konieczne i może być zastąpione innym sposobem rozproszenia ciepła. Rezygnacja z tynku zawierającego MFZ obniży wagę i koszt całego systemu. Dodatkowe zalecenia dotyczą wprowadzenia prefabrykacji oraz zapewnienia łatwiejszej wymienialności pojedynczych paneli na wypadek awarii. Wnioski wynikające z dotychczasowych badań zostały wykorzystane przy tworzeniu koncepcji systemu PRE-ActiVer, realizowanego w ramach projektu finansowanego z środków NCBiR (projekt nr M-ERA.NET3/2024/70/PRE-ActiVer/2025).

Bibliografia

- [1] D. Heim, D. Knera, M. Krempski-Smejda, A. Wieprzkowicz, T. Kalamees, Thermal performance of two different PV-ETICS integration solutions in a real environment, J Phys Conf Ser 2654 (2023) 012098. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2654/1/012098>.
- [2] M. Talvik, S. Ilomets, P. Klõšeiko, T. Kalamees, M. Põldaru, D. Heim, Hygrothermal Performance of Thick PCM Mortar behind PV Panels in Energy-Activated ETICS Facades, Buildings 13 (2023) 1572. <https://doi.org/10.3390/buildings13061572>.

Zarządzanie w skali doby energią elektryczną w klastrze budynków jednorodzinnych: integracja z rynkiem dnia następnego

Marcin Zygmunt^{1*} i Dariusz Gawin²

Słowa kluczowe: Bilansowanie Lokalne w Klastrach Energetycznych, Modelowanie Energetyczne Obszarów Zurbanizowanych, Optymalizacja Energetyczna, Zarządzanie Popytem na Energię

1 Wprowadzenie

Sektor budynków odpowiada za niespełna 40% zużycia energii. Postępująca urbanizacja zwiększa presję na rozwój miast energooszczędnych i ograniczenie ich negatywnego wpływu na klimat. Równocześnie, coraz wyższe ceny energii i rosnące zapotrzebowanie energii wymagają lepszego zarządzania popytem energetycznym obszarów miejskich. Koncepcja Modelowania Energetycznego Obszarów Miejskich (ang. *Urban Energy Modeling*; UEM) wspiera przejście od scentralizowanych systemów do rozwiązań zdecentralizowanych opartych na prosumentach i lokalnej produkcji z Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) [1]. Integracja OZE i inteligentnego opomiarowania (ang. *smart metering*) umożliwia tworzenie tzw. Klastrow Energii Budynków (ang. *Energy Building Clusters*; EBC) [2]. EBC oparty jest na koncepcji połączenia poszczególnych uczestników/elementów klastra, umożliwiając na dynamiczne sterowanie stroną popytową zapotrzebowania na energię, stosując metody znane jako *Demand Side Management* (DSM) [3].

W artykule przedstawiono metodykę oceny elastyczności energetycznej (ang. *energy flexibility*) przykładowego klastra budynków jednorodzinnych, zlokalizowanego w Łodzi. Ocenę efektywności i elastyczności energetycznej wykonano zakładając integrację z rynkiem energii dnia następnego (ang. *day-ahead*), sprawdzając możliwości zarządzania w odpowiedzi na warunki lokalnej sieci oraz predykcje cen energii i prognozy pogody. Analizę wykonano z użyciem autorskiego narzędzia TEAC (*Tool for Energy Efficiency Analyses of an Energy Cluster*), rozszerzonego o algorytm optymalizacji dobowej. Algorytm umożliwia zastosowanie technik DSM do optymalizacji klastra w ujęciu ekonomicznym i środowiskowym. Wyniki wskazują na istotne obniżenie kosztów energii oraz poprawę efektywności i stabilności lokalnego systemu energetycznego.

2 Opis wykonanej analizy

Analizę przeprowadzono stosując model UEM dla przykładowego klastra budynków jednorodzinnych. Wszystkie wyniki otrzymano przy użyciu oprogramowania TEAC oraz dedykowanego rozszerzenia do zaawansowanej optymalizacji energetycznej. Oprogramowanie umożliwia ocenę energetyczną, ekonomiczną i środowiskową klastrow mieszkaniowych opracowanych na bazie polskiej typologii domów jednorodzinnych. Zapotrzebowanie na energię prognozują sztuczne sieci neuronowe (ang. *Artificial Neural Networks*) o potwierdzonej, wysokiej zgodności z wynikami *EnergyPlus*. Szczegółowy opis TEAC znajduje się w [4].

Analiza wykorzystuje nowo opracowany algorytm optymalizacyjny, ukierunkowany na maksymalizację celów ekonomicznych i środowiskowych. Zaimplementowana logika sterowania umożliwia dostosowanie obliczeniowego obciążenia ($E_{d,0}$) przez skoordynowaną pracę układów PV i domowych magazynów energii, uwzględniając jednocześnie predykcje dla dnia następnego. Część środowiskowa minimalizuje pobór z sieci, a ekonomiczna bazuje na zaawansowanej funkcji celu minimalizacji kosztów operacyjnych przez dostosowanie chwil poboru energii z sieci (E_{grid}), zużycia energii PV ($E_{PV,self}$) oraz ładowania/rozładowania baterii ($E_{bat}^{dis}/E_{bat}^{ch,grid}$); patrz równanie (1). Algorytm wykorzystuje dwie biblioteki optymalizacyjne: programowanie liniowe (ang. *linear programming*; LP) oraz programowanie dynamiczne (ang. *dynamic programming*; DP). Narzędzie pozwala na tryb indywidualny (budynki niezależne) i klastrowy (koordynacja jako jeden podmiot). Skrypt (opracowany w środowisku *Python*) uwzględnia szereg ograniczeń (m.in. pojemność baterii) i nie obejmuje sprzedaży nadwyżek energii PV do sieci.

$$E_{grid}(t) = E_{d,0}(t) - E_{PV,self}(t) - E_{bat}^{dis}(t) + E_{bat}^{ch,grid}(t) \quad (1)$$

Analizowany Klaster Energii *Smulsko* to osiedle mieszkaniowe w Łodzi. Wyjściowy zasób budowlany, obejmujący 202 budynki jednorodzinne, charakteryzuje się niską efektywnością energetyczną. Przedstawioną

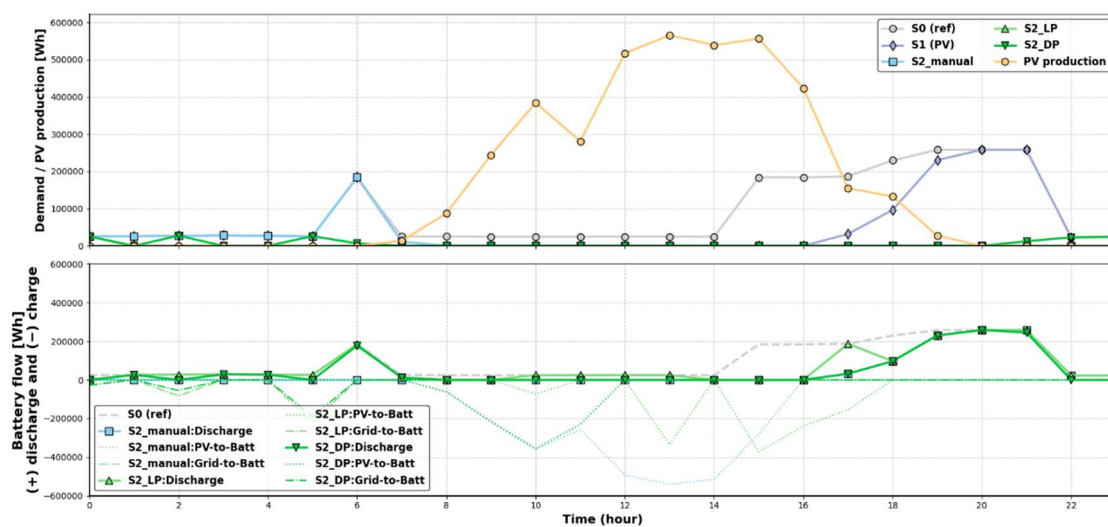
¹ dr inż., Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Łódzka, marcin.zygmunt@p.lodz.pl

² prof. dr hab. inż., Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Łódzka

optymalizację przeprowadzono dla klastra po kompleksowej modernizacji prowadzącej do pełnej elektryfikacji, obejmującej termomodernizację przegród, modernizację źródeł ciepła, integrację PV oraz wdrożenie inteligentnego opomiarowania z magazynami energii. Bardziej szczegółowy opis klastra *Smulsko* oraz sposób jego definicji w programie TEAC przedstawiono w [5]. Analizowany klaster, dla stanu po modernizacji, został poddany dalszej optymalizacji w celu sprawdzenia działania opracowanego rozszerzenia programu TEAC.

3 Wyniki

Wyniki przedstawiono dla analizy całego klastra wg danych z dn. 15.09.2025. Wykorzystano pomiary meteorologiczne ze stacji w zachodniej części Łodzi oraz godzinowe ceny energii z prognozy rynku dnia następnego [6], publikowane zwykle około południa dnia poprzedniego. Procedura obejmowała wstępną symulację dobowego zapotrzebowania klastra *Smulsko* w programie TEAC, wykorzystując prognozę pogody, oraz przygotowanie trzech plików wejściowych z co najwyżej godzinowym krokiem czasowym dla: bazowego profilu zapotrzebowania, profilu produkcji PV (*output* z TEAC) oraz prognozowanych cen energii. Moduł optymalizacyjny porównuje alternatywne scenariusze zarządzania klastrem oraz koszty użytkowe dla różnych taryf (np. *G11*). Wyniki generowane są w postaci zbiorów danych (CSV) i graficznej (patrz Rys. 1).



Rysunek 1: Wyniki optymalizacji energetycznej dnia następnego (dane z dn. 15.09.2025) dla klastra *Smulsko*: zapotrzebowanie z sieci (góra) oraz przepływ energii w bateriach (dół).

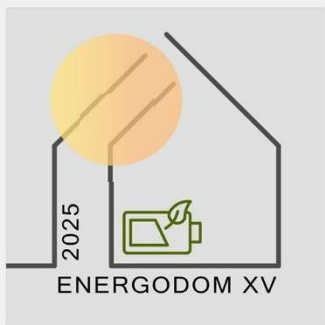
Bazowe zapotrzebowanie klastra *Smulsko* w dniu 15.09.2025 wynosi ok. 2157 kWh, przy produkcji PV ok. 3926 kWh (z czego ok. 870 kWh jest dostępne do pokrycia bieżącego zapotrzebowania) oraz dostępnej łącznej pojemności baterii 2727 kWh. Scenariusz typowy dla nowoczesnych, wysoce efektywnych budynków (*S2_manual*) pozwala obniżyć pobór z sieci do poziomu jedynie 356 kWh. Zaawansowane podejścia optymalizacyjne (*S2_LP* lub *S2_DP*) utrzymują zbliżony całkowity pobór z sieci, lecz przesuwają go na inne godziny, co przekłada się na wyraźne korzyści finansowe. Dla analizowanego klastra możliwa redukcja kosztów względem scenariusza bazowego (profil *S0*, taryfa *G11*) sięga 92%; dodatkowo *S2_LP* obniża koszty o kolejne 27% względem *S2_manual*. Maksymalnie odnotowano obniżenie kosztów z 1674 PLN do jedynie 133 PLN.

4 Podsumowanie

Przeprowadzona analiza potwierdziła wysoką efektywność ekonomiczną opracowanego algorytmu w zarządzaniu popytem w przykładowym klastrze energii. Planowany jest dalszy rozwój narzędzia: uwzględnienie innych horyzontów czasowych predykcji (poza *day-ahead*) oraz dodatkowych zmiennych dynamicznych kształtujących obciążenie sieci, w tym włączenie do bilansu innych typów budynków oraz stacji ładowania pojazdów elektrycznych, a także sprzedaż nadwyżek energii PV oddawanych do sieci.

Bibliografia

- [1] Sola A., Corchero C., Salom J., Sanmarti M.; *Energies*, 11, 3269, 2018
- [2] Vigna I., Perneti R., Pasut W., Lollini R.; *Sustainable Cities and Society*, 38, 526-533, 2018
- [3] Kaspar K., Ouf M., Eicker U.; *Energy and Buildings*, 257, 111731, 2022
- [4] Zygmunt M., Gawin D.; *Energies*, 15, 473, 2022
- [5] Zygmunt M., Gawin D.; *Energies*, 14, 8285, 2021
- [6] The Nord Pool, <https://data.nordpoolgroup.com/auction/day-ahead/prices>, dostęp dn. 15.09.2025r.



ENERGOPOLSKA 2025

XV KONFERENCJA NAUKOWO - TECHNICZNA

Fala Renowacji strategią osiągnięcia standardu Net Zero w budownictwie

Politechnika Krakowska

23 - 24 października 2025



SESJA II A

REWITALIZACJA I TERMOMODERNIZACJA, ROZWIĄZANIA I PROBLEMY PROJEKTOWE, cz. II

- Nowoczesne systemy izolacji termicznej i ich wpływ na redukcję strat ciepła - S. Gołębiowska.
- Analiza wpływu zastosowania przeszkleń BIPV na zapotrzebowanie energii i komfort cieplny użytkowników w pomieszczeniu biurowym z wykorzystaniem programu DesignBuilder - M. Waliduda, Ł. Nowak.
- Analiza parametrów fizykalnych przegród i złączy budowlanych budynku jednorodzinnego przed i po ociepleniu - K. Pawłowski.
- Weryfikacja oraz testy linii badawczej PM&VL7 w ramach projektu MEZeroE. - A. Nowak-Michta.

Nowoczesne systemy izolacji termicznej i ich wpływ na redukcję strat ciepła

Sara Gołębiowska – Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

Słowa kluczowe: bio-based materials, efektywność energetyczna, izolacja termiczna, neutralność węglowa, straty ciepła

Wprowadzenie Współczesne budownictwo kładzie co raz większy nacisk na efektywność energetyczną oraz zrównoważony rozwój. Jednym z kluczowych czynników decydujących o energooszczędności obiektów są nowoczesne systemy izolacji termicznej, które ograniczają straty ciepła. Przeglądy literatury wskazują, że zastosowanie innowacyjnych materiałów, takich jak panele próżniowe, może prowadzić do redukcji zapotrzebowania na energię grzewczą nawet o 30–50% [1]. Ogromne znaczenie zyskują również materiały oparte na odnawialnych źródłach biologicznych (bio-based materials), które charakteryzują się porównywalną skutecznością izolacyjną przy dużo niższej emisji CO₂ i korzystniejszym cyklu życia [2]. Wdrożenie tych systemów ma istotne znaczenie nie tylko dla zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych budynków, ale także dla realizacji polityki klimatycznej i celów neutralności węglowej.

Bibliografia

- [1] L. Aditya, T.M.I. Mahlia, B. Rismanchi, H.M. Ng, M.H. Hasan, H.S.C. Metselaar, Oki Muraza, H.B. Aditiya, A review on insulation materials for energy conservation in buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 73, 2017, Pages 1352-1365, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.034>.
- [2] Ali, A.; Issa, A.; Elshaer, A. A Comprehensive Review and Recent Trends in Thermal Insulation Materials for Energy Conservation in Buildings. Sustainability 2024, 16, 8782. <https://doi.org/10.3390/su16208782>

Analiza wpływu zastosowania przeszkleń BIPV na zapotrzebowanie energii i komfort cieplny w pomieszczeniu biurowym z wykorzystaniem programu DesignBuilder

Michał Waliduda^{1*}, Łukasz Nowak²

Słowa kluczowe: szkło fotowoltaiczne, semitransparentne i transparentne moduły fotowoltaiczne, efektywność energetyczna budynku, symulacje energetyczne, budynki biurowe

1 Wprowadzenie

Postępujące zmiany klimatyczne oraz konieczność ograniczenia emisji gazów cieplarnianych zwiększają znaczenie działań na rzecz zrównoważonego rozwoju [1]. Sektor budowlany odpowiada za znaczną część globalnego zużycia energii oraz emisji CO₂, przy czym przeszklenia mogą odpowiadać za prawie 60% strat ciepła w budynkach [1]. W odpowiedzi rozwijane są nowoczesne technologie, takie jak zintegrowane systemy fotowoltaiczne BIPV (ang. *Building-Integrated Photovoltaics*), które jednocześnie pełnią funkcję przegrody budynku i źródła energii elektrycznej, przyczyniając się do redukcji zużycia energii i emisji CO₂. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się moduły semitransparentne umożliwiające częściowe przenikanie światła dziennego przy równoczesnej produkcji energii elektrycznej [3][4]. W pracy przeprowadzono symulacyjną analizę pomieszczenia biurowego z tradycyjnym przeszkleniem oraz z szybami BIPV o ograniczonej przepuszczalności promieniowania słonecznego. Oceniano roczne zapotrzebowanie na energię cieplną i chłodniczą, produkcję energii elektrycznej oraz komfort cieplny użytkowników dla różnych wartości WWR (ang. *Window-to-Wall Ratio*).

2 Metodyka badań

2.1 Założenia symulacyjne

Analizę modelu pomieszczenia przeprowadzono w środowisku DesignBuilder, opartym na silniku obliczeniowym EnergyPlus, z przyjętą jego lokalizacją we Wrocławiu. Analizy obejmowały ocenę rocznego zapotrzebowania na energię końcową na potrzeby ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia, produkcję energii elektrycznej przez moduły BIPV oraz wskaźniki komfortu cieplnego PMV (ang. *Predicted Mean Vote*) i PPD (ang. *Predicted Percentage of Dissatisfied*). Przyjęto parametry wentylacji zgodnie z normą EN 16798-1:2019, natężenie oświetlenia w pomieszczeniu biurowym 500 lx (zgodnie z EN 12464-1:2021), gęstość zaludnienia 0,1 os./m², wewnętrzne przyrosty ciepła generowane przez: użytkowników - 127 W/os., sprzęt biurowy - 11,77 W/m² i komputery - 16,25 W/m². Harmonogram użytkowania pomieszczenia: 8:00–16:00 od poniedziałku do piątku, z możliwością nadgodzin między 7:00 a 8:00 oraz 16:00 a 18:00.

2.2 Model pomieszczenia biurowego

Model geometryczny stanowiło pomieszczenie biurowe o wymiarach 6,0 × 4,0 × 3,0 m (długość × szerokość × wysokość). Wszystkie przegrody wewnętrzne przyjęto jako adiabatyczne, z wyjątkiem fasady południowej, w której zlokalizowano analizowane przeszklenia. Południową ścianę zewnętrzną przyjęto z betonu komórkowego o gr. 25 cm, warstwy izolacji ze styropianu o gr. 15 cm tak, aby odpowiadała obecnym wymogom w zakresie izolacyjności cieplnej budynków w Polsce. Temperatura chłodzenia w okresie letnim została ustalona na +24 °C w godzinach 5:00–19:00, poza tym zakładano dopuszczalną wartość +28 °C. W sezonie zimowym przyjęto temperaturę ogrzewania +21 °C w godzinach 5:00–19:00, a poza tym +19 °C, co odpowiada drugiej kategorii komfortu cieplnego wg EN 16798-1:2019.

2.3 Analizowane warianty

Przeprowadzono analizę sześciu wariantów przeszkleń, obejmujących trzy wartości WWR (ang. *Window to Wall Ratio*) dla dwóch rodzajów przeszkleń – pakietu szybowego referencyjnego oraz pakietu BIPV. Zestaw szybowy referencyjny stanowił potrójny pakiet szyb 3LE/12/3/12/3LE z powłokami Low-E i wypełnieniem argonem, charakteryzujący się parametrami: $U = 0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, $SHGC = 0,474 [-]$ (ang. *Solar Heat Gain Coefficient*) oraz $LT = 0,611 [-]$ (ang. *Light Transmittance*). W zestawie BIPV przyjęto system

¹mgr inż., Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, michal.waliduda@pwr.edu.pl

²dr inż., Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, lukasz.nowak@pwr.edu.pl

VPV (ang. *Vacuum Photovoltaic Glazing*) o $U = 0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, $\text{SHGC} = 0,42$, $\text{LT} = 0,25$ oraz sprawności modułów 6,3%. Warianty WWR obejmowały 30%, 50% i 70% powierzchni przeszklenia.

3 Wyniki i dyskusja

3.1 Zyski od nasłonecznienia

Analiza zysków słonecznych wykazała, że zastosowanie półprzezroczystych modułów BIPV skutkuje ograniczeniem energii słonecznej w pomieszczeniu o około 16,9% w stosunku do wariantu referencyjnego niezależnie od WWR. Zmniejszenie zysków słonecznych redukuje obciążenie chłodzenia latem, a zimą powoduje niewielki wzrost zapotrzebowania na ogrzewanie.

3.2 Zapotrzebowanie na energię (ogrzewanie, chłodzenie, oświetlenie)

Zastosowanie BIPV w pomieszczeniu biurowym powoduje wzrost zużycia energii cieplnej na ogrzewanie o 1,4%, 4,9% i 11,0% dla wariantów WWR 30%, 50% i 70%, podczas gdy zapotrzebowanie na chłodzenie spada o 1,7%, 7,1% i 9,4%. Energia zużywana na oświetlenie sztuczne wzrosła o 50–55% w zależności od udziału przeszkleń, co wynika z ograniczonej przepuszczalności światła dziennego przez moduły półprzezroczyste. O ile zwiększenie zapotrzebowania na ogrzewanie rekompensuje zmniejszenie zapotrzebowania na chłodzenie, o tyle w przypadku wzrostu zapotrzebowania na oświetlenie, przeszklenia BIPV muszą pokrywać tę wartość z nadwyżki energii wyprodukowanej przez siebie.

3.3 Produkcja energii elektrycznej

Roczna produkcja energii elektrycznej z modułów BIPV wyniosła 164,9 kWh, 273,3 kWh oraz 381,3 kWh dla wariantów WWR 30%, 50% i 70%, co w pełni kompensuje wzrost zużycia energii na oświetlenie i ograniczenie zysków słonecznych. Wraz ze zwiększaniem powierzchni przeszklenia produkcja energii wzrasta, potwierdzając korzyści z zastosowania systemów BIPV w budynkach biurowych o większych fasadach przeszklonych.

3.4 Komfort cieplny

Ocena komfortu cieplnego wykazała minimalne zmiany wartości wskaźników PMV i PPD w analizowanych wariantach. Średnioroczne PMV mieściło się w przedziale od $-0,30$ do $-0,20$, odpowiadając kategorii A/B komfortu termicznego według ISO 7730, natomiast wskaźnik PPD wynosił 9,1–9,9%, nie przekraczając progu 10% dla kategorii B. Godziny przekroczenia komfortu termicznego zwiększyły się nieznacznie o 0,8–7,5% w zależności od WWR, a średnioroczna temperatura operatywna spadła o $0,06$ – $0,25$ °C w stosunku do wariantu referencyjnego. Wyniki te wskazują, że integracja modułów BIPV nie powoduje istotnego pogorszenia komfortu cieplnego w pomieszczeniu biurowym.

4 Podsumowanie

Zastosowanie półprzezroczystych modułów BIPV w warunkach klimatu umiarkowanego typowego dla Polski pozwala uzyskać dodatni bilans energetyczny w skali roku, mimo wzrostu zapotrzebowania na oświetlenie. Warianty o większym udziale przeszklenia ($\text{WWR} \geq 50\%$) są szczególnie korzystne, gdyż zwiększają produkcję energii elektrycznej i redukują obciążenie chłodzenia w sezonie letnim. Optymalizacja parametrów optycznych powinna uwzględniać bilans zysków zimowych i strat oświetleniowych, a system oświetlenia sztucznego musi być energooszczędny i zintegrowany z czujnikami światła dziennego. Wyniki wskazują, że BIPV może wspierać cele dekarbonizacji budynków i stanowić istotny element strategii projektowania budynków niemal zeroenergetycznych.

Bibliografia

- [1] Organizacja Narodów Zjednoczonych: „Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030”, 2015
- [2] Cuce E., Cuce P.M.: „Optimised performance of a thermally resistive PV glazing technology: An experimental validation”, *Energy Reports*, 5, 1185–1195, 2019
- [3] Kyrou E., Goia F., Reith A.: „Current performance and future development paths of transparent PV glazing in a multi-domain perspective”, *Energy and Buildings*, 292, 113140, 2023
- [4] Martín-Chivelet N., Kapsis K., Wilson H.R., Delisle V., Yang R., Olivieri L., Polo J., Eisenlohr J., Roy B., Maturi L., Otnes G., Dallapiccola M., Wijeratne W.M.P.U.: „Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) products and systems: A review of energy-related behavior”, *Energy and Buildings*, 262, 111998, 2022

Analiza parametrów fizykalnych przegród i złączy budowlanych budynku jednorodzinnego przed i po ociepleniu

Krzysztof Pawłowski¹

Słowa kluczowe: ocieplenie przegród zewnętrznych, parametry fizykalne, termomodernizacja, złącza budowlane

1 Wprowadzenie

Termomodernizacja budynku ma na celu zmniejszenia zapotrzebowania na energię, co przekłada się na poprawę komfortu cieplnego z uwzględnieniem kryterium cieplnego wg rozporządzenia [1]. Ponadto stanowi zbiór zabiegów mających na celu wyeliminowanie lub znaczne ograniczenie strat ciepła w budynku. Jest jednym z elementów modernizacji budynku, który przynosi efekty finansowe uzyskane w wyniku przeprowadzonej termomodernizacji pozwalające na np. pokrycie kosztów innych niezbędnych przedsięwzięć.

Działania termomodernizacyjne stosowane w budynkach można podzielić na trzy podstawowe grupy:

- działania związane z redukcją strat ciepła przez przegrody,
- działania dotyczące redukcji strat oraz poprawy sprawności systemu instalacyjnego,
- prace projektowo-wykonawcze lub modernizacyjne skupiające się na źródle ciepła.

Szczegółowe analizy w zakresie termomodernizacji i poprawy efektywności energetycznej budynków przedstawiono m.in. w pracach [2, 3].

W artykule skupiono się głównie na ociepleniu ścian zewnętrznych jednowarstwowych z betonu komórkowego i stropodachu pełnego oraz wymianie stolarki okiennej w analizowanym budynku jednorodzinnym.

2 Parametry fizykalne przegród i złączy budynku jednorodzinnego przed i po ociepleniu

Do analizy wybrano budynek jednorodzinny wzniesiony w technologii murowanej z bloczków z betonu komórkowego gr. 36,5 cm ($\lambda=0,17 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), którego wybrane przegrody zewnętrzne charakteryzują się współczynnikiem przenikania ciepła U o następujących wartościach:

- ściana zewnętrzna – $0,43 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$,
- stropodach pełny – $0,37 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$,
- podłoga na gruncie – $0,40 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$,
- stolarka okienna – $1,30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Analizowane przegrody zewnętrzne nie spełniają kryterium $U_c \leq U_{c(\max)}$ wg rozporządzenia [1]. W związku z powyższym zaproponowano ocieplenie ściany zewnętrznej i stropodachu styropianem grafitowym ($\lambda=0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) lub płytami z pianki poliuretanowej PIR ($\lambda=0,024 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) oraz wymianę stolarki okiennej o $U_w = 1,30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ na stolarkę o $U_w = 0,79 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Aby spełnić kryterium $U_c \leq U_{c(\max)}$ [1] należy dobrać odpowiednią grubość zalecanego materiału termoizolacyjnego.

Kompleksowa ocena jakości cieplnej elementów budynku (przegrody i złącza budowlane obejmuje analizę wielu parametrów fizykalnych. W tym celu wykonuje się szczegółowe obliczenia, wykorzystując odpowiedni program komputerowy oraz autorski algorytm obliczeniowy prezentowany m.in. w [4]. Procedura obliczeń numerycznych parametrów fizykalnych przegród i złączy budowlanych obejmuje następujące etapy:

- przyjęcie układu materiałowego przegrody i złącza budowlanego,
- wykonanie obliczeń numerycznych: modelowanie złączy, przyjmowanie warunków brzegowych (temperatury powietrza wewnętrznego (t_i) i zewnętrznego (t_e) oraz opory przejmowania ciepła po stronie wewnętrznej (R_{si}) i zewnętrznej (R_{se})), przyjęcie wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ materiałów budowlanych,
- określenie parametrów fizykalnych złączy: strumień cieplny Φ , współczynnik przenikania ciepła U , liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ , temperatura minimalna na wewnętrznej powierzchni przegrody w miejscu mostka cieplnego $t_{\min.}$, czynnik temperaturowy f_{Rsi} ,
- kryteria oceny przegród i złączy budowlanych: kryterium cieplne (współczynnik przenikania ciepła U , strumień cieplny Φ , liniowy współczynnik przenikania ciepła Ψ), kryterium wilgotnościowe (czynnik temperaturowy f_{Rsi}),
- wybór poprawnego układu materiałowego złącza budowlanego.

¹ dr inż., Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Bydgoska, krzypaw@pbs.edu.pl

Przykłady obliczeniowe dotyczą kształtowania układów materiałowych trzech (wybranych z badań własnych) złączy: połączenie ścian zewnętrznych w narożniku, połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem oraz połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę. Osiągnięcie stosunkowo niewielkiej wartości współczynnika przenikania ciepła U ściany zewnętrznej, stropodachu lub stolarki okiennej nie gwarantuje efektu minimalizacji strat ciepła przez przenikanie H_{Tr} oraz ograniczenia występowania kondensacji powierzchniowej (obniżenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody) i międzywarstwowej.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że ocieplenie ściany zewnętrznej i stropodachu oraz wymiana stolarki okiennej sprawiło, że analizowane przegrody spełniają kryterium cieplne: $U_c \leq U_{c(max.)}$ wg rozporządzenia [1] ($U_{c(max.)}=0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ – dla ściany zewnętrznej, $U_{c(max.)}=0,15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ – dla stropodachu, $U_{c(max.)}=0,90 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ – dla stolarki okiennej).

Parametry fizyczne analizowanych złączy zależą od ich indywidualnego układu warstw materiałowych (szczególnie rodzaj i grubość materiału termoizolacyjnego). Zaprojektowanie izolacji cieplnej ściany zewnętrznej i stropodachu powoduje zmniejszenie strat ciepła przez przenikanie w postaci parametrów cieplnych (Φ , U , Ψ) oraz podwyższenie temperatury na wewnętrznej powierzchni przegrody ($t_{min.}$) w miejscu mostka cieplnego. Podobne skutki powoduje ocieplenie ściany zewnętrznej i wymiana stolarki okiennej o niższej wartości współczynnika U_w .

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można także stwierdzić, że przy poprawnym ociepleniu złączy budowlanych istnieje możliwość wyeliminowania ryzyka występowania kondensacji powierzchniowej (ryzyko rozwoju pleśni).

Sprawdzenie ryzyka występowania kondensacji międzywarstwowej w przegrodach zewnętrznych i złączach budowlanych wymaga przeprowadzania symulacji komputerowej z uwzględnieniem parametrów powietrza zewnętrznego i wewnętrznego zgodnie z PN-EN ISO 13788 [5], co stanowi następny etap prowadzonych badań własnych.

Przedstawione przykłady obliczeniowe nie wyczerpują wszystkich charakterystycznych złączy budowlanych budynku przed i po ociepleniu. Zasadne staje się opracowanie kart katalogowych przegród i złączy budowlanych, które będą aplikowane podczas projektowania i termomodernizacji budynków.

3 Podsumowanie

Na podstawie prowadzonych badań własnych i przedstawionych analiz parametrów fizycznych przegród i złączy budowlanych budynków poddawanych ociepleniu można sformułować następujące wnioski końcowe:

- przy projektowaniu ocieplenia przegród i złączy budowlanych należy wykonać wielowariantowe obliczenia parametrów fizycznych i uwzględniając m.in. kryterium cieplne i wilgotnościowe i na ich podstawie wybrać poprawne rozwiązanie materiałowe,
- wprowadzenie dodatkowych materiałów termoizolacyjnych do budynków jednorodzinnych ze ścianami jednowarstwowymi z betonu komórkowego powoduje obniżenie strat ciepła przez przenikanie oraz ograniczenie lub wyeliminowanie ryzyka występowania kondensacji powierzchniowej,
- docieplenie przegród i złączy budowlanych stanowi tylko jedno z działań termomodernizacyjnych; dopiero po uwzględnieniu usprawnienia instalacji i źródła ciepła w budynku pozwoli na poprawę jego efektywności energetycznej (co będzie stanowiło następny etap obliczeń i analiz autora artykułu).

Bibliografia

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU z 2017 r. poz. 2285 z późn. zmianami; DzU z 2022 r., poz. 248).
- [2] Kasperkiewicz K. Termomodernizacja budynków. Ocena efektów energetycznych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018.
- [3] Praca zbiorowa pod kierunkiem dr. inż. Szymona Firląga. Kompleksowa termomodernizacja budynków jednorodzinnych. Fundacja Ziemia i Ludzie, Warszawa 2019.
- [4] Pawłowski K. Przykład kształtowania układów materiałowych elementów obudowy budynków niskoenergetycznych. Materiały budowlane 4/2023, s. 41-44.
- [5] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji. Metody obliczania.

Weryfikacja oraz testy linii badawczej PM&VL7 w ramach projektu MEZeroE

Aneta Nowak-Michta^{1*}

Słowa kluczowe: budynki o niemal zerowym zużyciu energii, innowacyjne produkty budowlane, linia badawcza, MEZeroE, wprowadzanie na rynek,

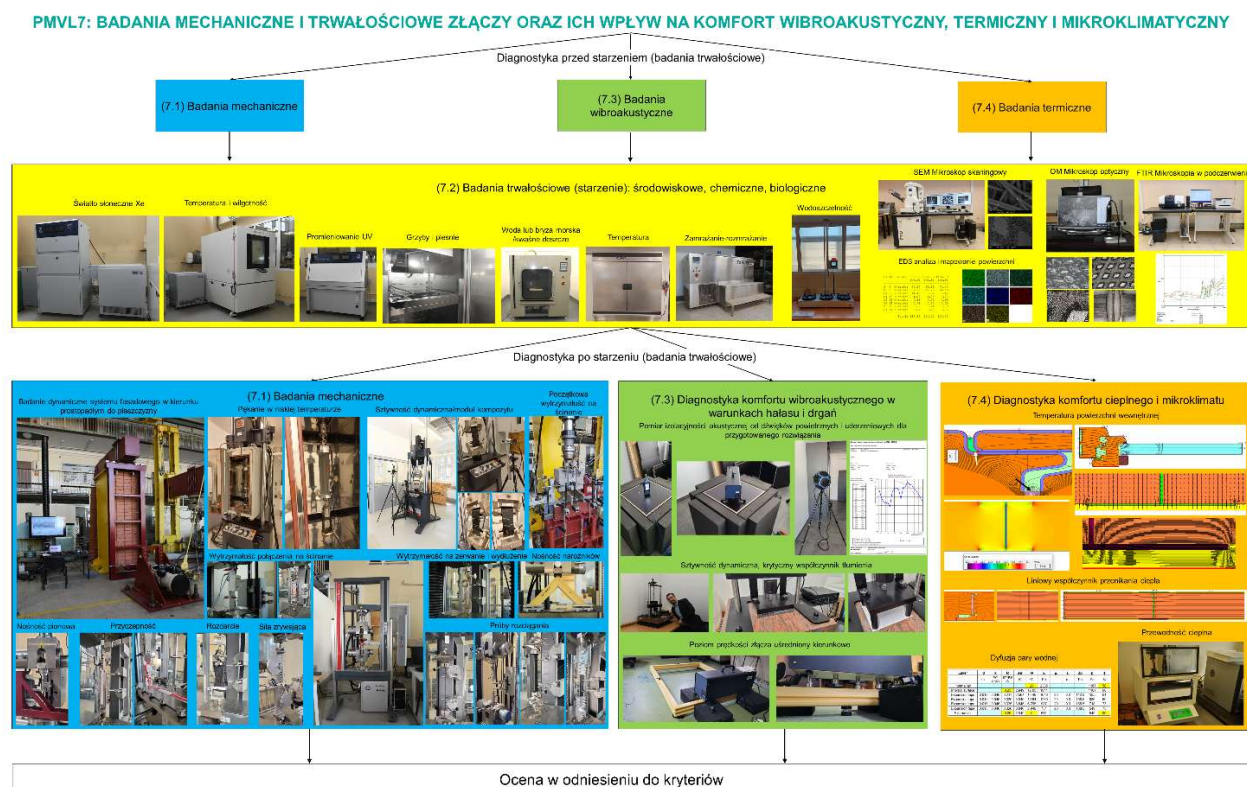
1 Wprowadzenie

Projekt MEZeroE Measuring Envelope project for products and systems contributing to healthy, nearly Zero-Energy buildings [1] na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej (WIL PK) jest realizowany od stycznia 2021 do stycznia 2026. Pierwszy etap projektu polegał na zbudowaniu, uruchomieniu i przetestowaniu linii badawczych: Pilot Measurement & Verification Line (PM&VL) w jednostkach naukowo-badawczych biorących udział w projekcie. Linie badawcze zostały przetestowane i zweryfikowane podczas badań innowacyjnych wyrobów budowlanych wyprodukowanych przez partnerów przemysłowych projektu MEZeroE.

W referacie opisano weryfikację oraz testy utworzonej na WIL PK linii PM&VL7: Badania mechaniczne i trwałościowe złączy oraz ich wpływ na komfort wibroakustyczny, termiczny i mikroklimatyczny, a także jej prezentację na platformie usług MEZeroE.

2 Testy i weryfikacja PM&VL7

Głównym zadaniem PM&VL7 [2] jest opracowanie szczegółowych procedur testowych do oceny bezpieczeństwa łączników, rozpatrywanych jako połączenia między elementami obudowy i połączenia między panelami obudowy a elementami konstrukcyjnymi. Linia PM&VL7 (Rys.1) pozwala użytkownikom na przeprowadzenie typowych testów połączeń i zbadanie ich bezpieczeństwa w użytkowaniu, z odniesieniem do komfortu wibroakustycznego i termo-wilgotnościowego (zdefiniowanego w normach europejskich, jak i niezdefiniowanego w nich).



Rysunek 1: Schemat linii badawczej PM&VL7

¹ dr inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, aneta.nowak@pk.edu.pl (* autor do korespondencji)

W ramach testów PM&VL7 pracownicy WIL PK zrealizowali badania wyrobów budowlanych czterech europejskich partnerów przemysłowych:

- Membrany, taśmy oraz połączenia membrana-taśma-membrana włoskiej firmy ROTHOBLAAS,
- Kurtyny oraz wsporniki elewacyjne hiszpańskiej firmy FLEXBRICK,
- Ramy okienne oraz płyty warstwowe hiszpańskiej firmy INDRESMAT,
- Kompozyty, iniekcje i powłoki firmy FLEX&ROBUST [3-5].

Zrealizowane testy PM&VL7 umożliwiły pozytywną weryfikację sprzętu, nowych, niejednokrotnie innowacyjnych stanowisk i procedur badawczych, a także personelu realizującego badania.

PM&VL7, jako jedna z dziewięciu linii badawczych, prezentuje usługi na platformie MEZeroE [6].

3 Platforma MEZeroE

Platforma usług MEZeroE <https://mezeroe-platform.eu/> [6] łączy zaplecze infrastrukturalne oraz wiedzę ośrodków akademickich i badawczych z innowacyjnymi rozwiązaniami proponowanymi przez przemysł w postaci wielostronnego wirtualnego rynku, otwartego na wykorzystanie wymiany wiedzy i doświadczeń pomiędzy zainteresowanymi stronami z branży budowlanej. Na platformie [6] prezentowane są usługi:

- 9 pilotażowych linii pomiarowych i weryfikacyjnych (PM&VL),
- 3 usługi otwartych innowacji (OIS - Open Innovation Service),
- żywe laboratoria (LL – Living Lab),
- oraz dodatkowe zasoby i wsparcie, w tym szkolenia, rozwój modelu biznesowego, systematyczne zarządzanie własnością intelektualną oraz wiedzą.

Finalnym celem projektu jest opracowanie ścieżek informacyjnych w zakresie oznakowania CE różnych grup wyrobów budowlanych stosowanych w przegrodach zewnętrznych budynków [3].

4 Podsumowanie

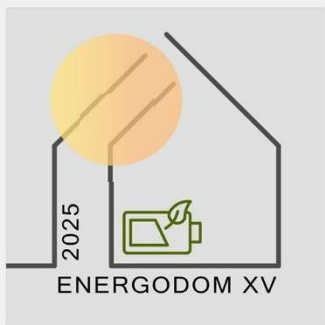
W referacie przedstawiono testy i weryfikację, utworzonej w ramach projektu MEZeroE na WIL PK linii badawczej PM&VL7: badania mechaniczne i trwałościowe złączy oraz ich wpływ na komfort wibroakustyczny, termiczny i mikroklimatyczny. Wartością dodaną PM&VL7 są dodatkowe testy diagnozujące wpływ czynników środowiskowych, chemicznych, biologicznych i mechanicznych na bezpieczeństwo użytkowania połączeń i utratę parametrów wibroakustycznych i termo-wilgotnościowych.

Zaprezentowano również platformę MEZeroE łączącą naukę z biznesem, na której PM&VL7 wraz ośmioma liniami utworzonymi przez europejskie instytuty badawcze i uniwersytety techniczne prezentuje swoje usługi. Platforma wspiera i przyspiesza proces oznakowania znakiem CE oraz wprowadzania na rynek innowacyjnych wyrobów budowlanych, przede wszystkim stosowanych w budynkach zero-energetycznych. Platforma jest ogólnodostępna pod adresem <https://www.mezeroe-platform.eu/> [6], gdzie producenci nowoczesnych wyrobów budowlanych mogą uzyskać dodatkowe informacje oraz dołączyć do społeczności MEZeroE.

Bibliografia

- [1] MEZeroE Measuring Envelope project for products and systems contributing to healthy, nearly zero-energy buildings. EU Horizon 2020 research and innovation program under subsidy No. 953157, <https://www.mezeroe.eu/>, dostęp: 06.08.2025
- [2] Nowak-Michta, A., Linia badawcza PM&VL7: badania mechaniczne i trwałościowe złączy oraz ich wpływ na komfort wibroakustyczny, termiczny i mikroklimatyczny, Przegląd Budowlany, 2025, vol. 96, nr 2, s.224-227. DOI:10.5604/01.3001.0055.1027
- [3] Nowak-Michta, A., A. Kwiecien, and J. Michta, A Roadmap for the Certification of Polyurethane Flexible Connectors Used as Envelope Products in the Next Generation of Healthy, Nearly Zero-Energy Buildings. MATERIALS, 2024. 17(22). DOI:10.3390/ma17225503
- [4] Górszczyk, J., K. Malicki, and A. Kwiecien, Laboratory Investigation on Dynamic Complex Modulus of FRPU Composite. MATERIALS, 2024. 17(24) <https://doi.org/10.3390/ma17246229>.
- [5] Nering, K., A. Kwiecien, and K. Nering, Evaluating the Impact of Sample Irregularities on the Dynamic Stiffness of Polyurethane: Insights from Experimental and FEM Analysis. MATERIALS, 2024. 17(23) <https://doi.org/10.3390/ma17235910>.
- [6] <https://mezeroe-platform.eu/>, dostęp: 06.08.2025

Finansowanie: Referat został przygotowany w ramach projektu MEZeroE Measuring Envelope project for Products and Systems Contributing to Healthy, Nearly Zero-Energy Buildings, finansowanego z programu badań i innowacji w ramach dotacji EU Horizon 2020 No. 953157.



ENERGOPOL 2025

XV KONFERENCJA NAUKOWO - TECHNICZNA

Fala Renowacji strategią osiągnięcia standardu Net Zero w budownictwie

Politechnika Krakowska

23 - 24 października 2025



SESJA III A

JAKOŚĆ ŚRODOWISKA WEWNĘTRZNEGO I ZEWNĘTRZNEGO

- Warunki termiczne w lecie w budynkach prefabrykowanych zamieszkałych przez osoby starsze - M. Grudzińska, R. Stabryła, K. Siwek, K. Bartoszek, J. Wankiewicz.
- Analiza wpływu prognozowanych zmian klimatycznych na zmianę zapotrzebowania na energię zasobu budynków jednorodzinnych w Polsce - Ł. Nowak, K. Cebrat.
- AI w badaniach nad radonem - J. Kubiak, M. Basińska, D. Grządziel.
- Komfort termiczny mieszkańców Żelaznego Trójkąta Australii Południowej - A. Miszczuk.
- Ocena oddziaływania budynku na środowisko w cyklu życia – Z. Gondek, A. Kaliszuk-Wietecha.

Warunki termiczne w lecie w budynkach prefabrykowanych zamieszkałych przez osoby starsze

Magdalena Grudzińska^{1*}, Rafał Stabryła¹, Krzysztof Siwek², Krzysztof Bartoszek², Jakub Wankiewicz¹

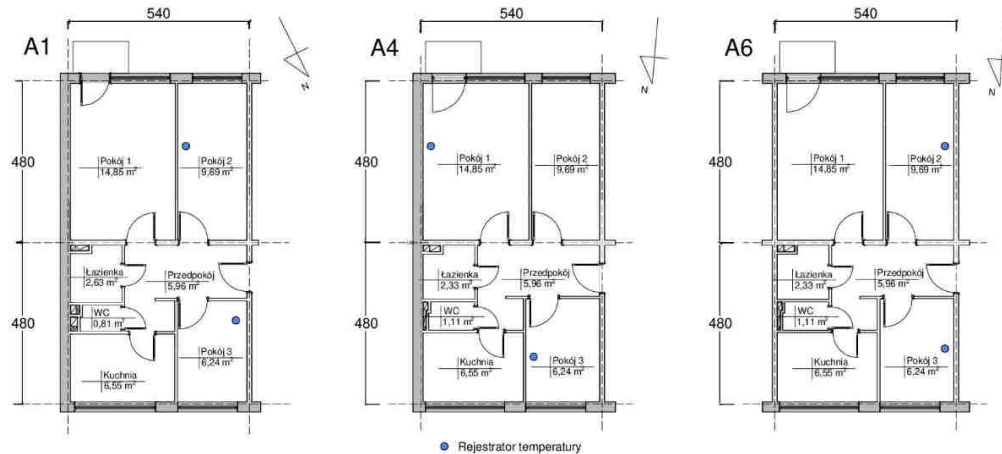
Słowa kluczowe: komfort termiczny, przegrzewanie, monitoring temperatury, budynki prefabrykowane, osoby starsze

1 Wprowadzenie

Zagrożenia związane ze wzrostem temperatury w lecie i możliwością przegrzewania mieszkań są ważnym problemem, dyskutowanym w powiązaniu ze zmianami klimatu [1]. W miastach zjawiska te mogą ulegać intensyfikacji, wywierając negatywny wpływ na ludzi i infrastrukturę [2]. Okresowe fale upałów mocniej dotykają osoby starsze, bardziej wrażliwe i podatne na problemy zdrowotne wynikające z dyskomfortu termicznego [3]. Komfort letni mieszkań jest szczególnie istotny w powiązaniu z możliwością regulacji temperatury wewnętrznej pasywnymi środkami, bez użycia mechanicznego chłodzenia.

2 Monitoring temperatury w budynkach prefabrykowanych

Artykuł przedstawia wybrane wyniki monitoringu temperatury prowadzonego latem 2023 roku. Obiektem badań były mieszkania w budynkach powstałych w drugiej połowie XX wieku w Lublinie. Budynki wykonano w technologii wielkopłytywowej OWT, a w późniejszym czasie były one modernizowane poprzez dodanie izolacji termicznej ścian i wymianę okien. Prezentowane mieszkania mają taki sam układ funkcjonalny i zamieszkałe są przez osoby w wieku powyżej 70 lat. Część dzienna mieszkań (pokój z balkonem) skierowana jest na południe lub południowy wschód (rys. 1). Mieszkania są użytkowane przez 1 (A1 i A4) lub 2 osoby (A6). Lokale znajdują się na kondygnacjach: piątej (z pięciu), jedenastej (z dwunastu) i trzeciej (z dwunastu). Izolacyjność cieplna przegród zewnętrznych jest zbliżona.

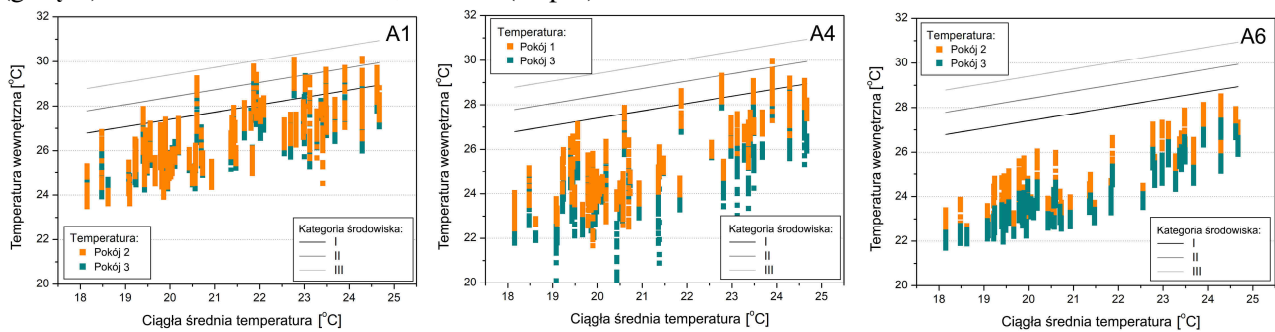


Rysunek 1: Schemat mieszkań

Informacje na temat temperatury zewnętrznej i natężenia promieniowania słonecznego podczas monitoringu pochodzą ze stacji meteorologicznych należących do Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej (UMCS) i z danych udostępnionych przez „SID – Surface Incoming Direct Radiation, version 004” [4]. W lipcu najwyższą temperaturę (33,7°C), zarejestrowano 16.07, był to też dzień o najwyższym natężeniu promieniowania kierunkowego na płaszczyźnie poziomej (24,4 MJ·m⁻², wg SID). W sierpniu ekstremalną temperaturę zmierzono 15.08 i wyniosła ona 34,7°C. W tym miesiącu odnotowano tak że 9 kolejnych dni o maksymalnej temperaturze powyżej 30°C (od 13.08 do 21.08) i 4 tropikalne noce, o temperaturze minimalnej powyżej 20°C. Największe natężenie promieniowania kierunkowego na płaszczyźnie poziomej wystąpiło 12.08 (21,5 MJ·m⁻² wg SID), dzień przed początkiem fali upałów.

Oceny warunków wewnętrznych dokonano zgodnie z [5] stosując kryteria komfortu adaptacyjnego, na podstawie pomiarów temperatury od 10.07 do 12.09 (rys. 2). W mieszkaniu oznaczonym A1, w pokoju 2 stwierdzono 163 godziny o temperaturze przekraczającej I kategorię komfortu wewnętrznego i 42 godziny o temperaturze powyżej granicy II kategorii. Najwyższa temperatura wystąpiła 20.08, podczas fali upałów (30,1°C). W mieszkaniu A4, w pokoju 1 o orientacji południowej, liczba godzin powyżej I i II kategorii

wyniosła odpowiednio 62 i 3. Najwyższa temperatura pojawiła się 19.08 i wyniosła 30,0°C. W mieszkaniu A6 nie stwierdzono przegrzewania, a najwyższa temperatura w pokoju 2 (z 20.08) wyniosła 28,5°C. W odbiorze mieszkańców letnie warunki termiczne wg siedmiostopniowej skali od +3 do -3 ocenione zostały jako +3 (gorąco) w mieszkaniach A1 i A4, oraz +2 (ciepło) w mieszkaniu A6.



Rysunek 2: Temperatura wewnętrzna i kategorie środowiska wewnętrznego

2.1 Dyskusja

Mimo takiego samego układu funkcjonalnego, przegród o zbliżonej izolacyjności, i podobnej orientacji, warunki wewnętrzne w poszczególnych mieszkaniach różniły się dość znacznie. Jedną z przyczyn było usytuowanie mieszkań A1 i A4 na najwyższej kondygnacji. Nad częścią mieszkania A4 znajduje się suszarnia zaadaptowana na mieszkanie, ale część powierzchni przekryta jest stropodachem dwudzielnym. Źródła literaturowe jednoznacznie wskazują na problemy z wysoką temperaturą właśnie w takich mieszkaniach [6]. Ponadto skierowane na południe ściany mieszkań A1 i A4 nie były zacieniane przez sąsiednie budynki.

Źródłem różnic może być też zachowanie użytkowników. W mieszkaniu A1 w pokoju południowym okna były stale zamknięte i odsłonięte, mimo zainstalowanych rolet wewnętrznych. Podczas fali upałów użytkownik chłodził pokój przy pomocy przenośnego klimatyzatora przez około 3 godziny wieczorem. W mieszkaniu A4 okna od strony południowej były zasłonięte przez większość czasu, a drzwi balkonowe – zasłonięte do połowy. Okna były stale uchylone, a wieczorem pomieszczenie wietrzono otwierając drzwi balkonowe. Dzięki tym działaniom udało się w odczuwalnym stopniu ograniczyć czas przegrzewania. W mieszkaniu A6 okno było odsłonięte ale stale uchylone. Mimo niestosowania zasłon przegrzewanie w pokoju skierowanym na południe nie wystąpiło, co można powiązać z lokalizacją mieszkania w środkowej części budynku. Elewacja południowa była też zacieniona przez równoległy budynek sąsiedni, co ograniczało zyski słoneczne, szczególnie w godzinach popołudniowych.

3 Podsumowanie

Niektóre z mieszkań w budynkach wielkopłytowych mogą być zagrożone przegrzewaniem. W badanych mieszkaniach długość okresów przegrzewania (a także do pewnego stopnia temperatury wewnętrzne), różniły się w sposób widoczny. Dysproporcje te można powiązać z lokalizacją mieszkań, skutkującą różną intensywnością promieniowania słonecznego. Ważnym czynnikiem było także zachowanie użytkowników, szczególnie w zakresie zasłaniania okien i naturalnego przewietrzania pomieszczeń. W przypadku osób starszych, do zwiększenia uciążliwości warunków wewnętrznych mogą także przyczyniać się utrwalone niekorzystne sposoby zachowań, co do pewnego stopnia zaobserwowano w mieszkaniu A1.

Bibliografia

- [1] Kovats, R.S., Hajat, S.: "Heat stress and public health: a critical review", *Annual Review of Public Health*, 29, 41-55, 2008
- [2] Oke, T.R.: "The energetic basis of the urban heat island", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1-24, 1982
- [3] Kenny, G.P., Yardley, J., Brown, C., Sigal, R.J., Jay, O.: "Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases", *Canadian Medical Association Journal*, 182, 1053-1060, 2010
- [4] Pfeifroth, U., Kothe, S., Drücke, J., Trentmann, J., Schröder, M., Selbach, N., Hollmann, R.: *Surface Radiation Data Set - Heliosat (SARAH) - Edition 3*, Satellite Application Facility on Climate Monitoring, 2023
- [5] EN 16798-1: *Energy Performance of Buildings - Ventilation for Buildings - Part 1*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium, 2019.
- [6] Morey, J., Beizaee, A., Wright, A.: "An investigation into overheating in social housing dwellings in central England", *Building and Environment*, 176, 106814, 2020

Analiza wpływu prognozowanych zmian klimatycznych na zmianę zapotrzebowania na energię zasobu budynków jednorodzinnych w Polsce

Lukasz Nowak^{1*}, Krzysztof Cebrat²

Słowa kluczowe: ocieplenie klimatu, zmiany klimatyczne, efektywność energetyczna, zapotrzebowanie na energię, budynki jednorodzinne

1 Wprowadzenie

W ostatnich dekadach Polska doświadcza coraz wyraźniejszych symptomów zmian klimatycznych - średnia roczna temperatura powietrza rośnie o około 0,2–0,3°C na każde 10 lat, co zostało potwierdzone badaniami klimatologicznymi z ostatnich 70 lat [1]. Zjawisko to idzie w parze z łagodniejszymi zimami i coraz częstszymi falami upałów latem, co wpływa na sezon grzewczy i chłodzący w budynkach jednorodzinnych. O ile zapotrzebowanie na energię do ogrzewania będzie się zmniejszać, gdy średnie temperatury zewnętrzne będą rosły zgodnie z przewidywanymi trendami, to jednocześnie potrzeby chłodzenia będą stawać się coraz bardziej istotne, co może prowadzić do znacznego zwiększenia zużycia energii w miesiącach letnich. Artykuł przedstawia analizę wpływu postępujących zmian klimatycznych wg scenariusza SSP2-4.5 na zmianę zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia w budynkach jednorodzinnych o różnych standardach energetycznych w wybranych, reprezentatywnych dla różnych stref klimatycznych, lokalizacjach w Polsce.

2 Opis badań

Badania polegały na wygenerowaniu bazy budynków jednorodzinnych o wybranych kształtach w sposób losowy, za pomocą autorskiego algorytmu napisanego w języku VBA w programie MS Excel. Uzyskane dane geometryczne budynków w połączeniu z losowo dobraćanymi parametrami przegród (odpowiadającymi różnym okresom powstania budynku) pozwalały na uzyskanie różnych standardów energetycznych budynków. Poszczególne wymiary tworzące geometrię budynków były losowane tak, aby kubatura ogrzewana była stała, a następnie przeprowadzono dla nich obliczenia charakterystyki energetycznej budynków. Łącznie przeanalizowano po 100 wariantów geometrii na każde 4 kształty budynków w 6 standardach energetycznych, 7 lokalizacjach w Polsce oraz wg 5 zestawów danych meteorologicznych dla każdej lokalizacji (wg IMGW, wg IWEK2 oraz wg scenariusza SSP2-4.5 dla lat 2050, 2075 i 2100), co dało razem 84000 grup wyników w zakresie bilansu strat i zysków ciepła oraz zapotrzebowania na energię na ogrzewanie i chłodzenie dla budynków jednorodzinnych.

2.1 Przygotowanie danych meteorologicznych

Na potrzeby analizy wykorzystywano obecnie obowiązujące w Polsce dane meteorologiczne (IMGW) oraz nowsze autorsko przygotowane dane wg pomiarów satelitarnych (IWEK2) oraz prognozowane danych na lata 2050, 2075 i 2100 dla lokalizacji podanych w Tabeli 1. Prognozowane dane klimatyczne otrzymano z modelu AWI-CM-1-1-MR, rozwijanego w Alfred Wegener Institute w ramach projektu CMIP6, który w analizie dostępnych modeli klimatycznych, okazał się najbardziej stabilny i najlepiej odwzorowujący obserwacje dla obszaru Polski, jednocześnie dla temperatur powietrza przy powierzchni gruntu (T2M), jak i promieniowania krótkofalowego całkowitego docierającego do powierzchni Ziemi (RSDS).

Tabela 1: Analizowane lokalizacje budynków w Polsce oraz źródła danych meteorologicznych

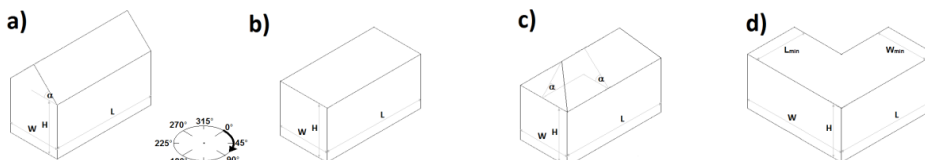
Strefa klimatyczna	Lokalizacja	Dane meteorologiczne	Dane prognozowane
I	Szczecin		
II	Wrocław, Zielona Góra	IMGW (1971-2000),	AWI-CM-1-1-MR
III	Kłodzko, Rzeszów, Warszawa	IWEK2 (1984-2008)	(2050, 2075, 2100)
V	Suwałki		

¹ dr inż., Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska, lukasz.nowak@pwr.edu.pl

² dr hab. inż., Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska, krzysztof.cebrat@pwr.edu.pl

2.2 Analizowane budynki

Przedmiotem analizy były budynki jednorodzinne o typowych kształtach przedstawionych na Rys. 1. Poszczególne wymiary tworzące geometrię budynku były losowane tak, aby kubatura ogrzewana mieściła się w zakresie $600 \pm 2 \text{ m}^3$ oraz losowane były przegrody wraz z ich parametrami technicznymi (grubość, pojemność cieplna, współczynnik przenikania ciepła) tak, aby spełniały analizowane standardy energetyczne budynku: od budynków z lat 70-tych (PN-74/B-03404) aż do budynków spełniających obecnie obowiązujące wymogi (wg rozporządzenia Dz. U. 2021, poz. 1225). Szczegóły analizowanych standardów energetycznych budynków zawiera Tabela 2.



Rysunek 1: Analizowane kształty bryły budynków jednorodzinnych

Tablica 2: Zestawienie stałych i zmiennych parametrów budynków oraz zmiennych podlegających

Standard energetyczny	Wymogi w zakresie izolacyjności przegród spełnione według	Powierzchnia i orientacja okien	Szczelność powietrzna obudowy	Udział mostków termicznych	Klasa osłonięcia budynku od działania wiatru
Lata 70	PN-74/B-03404	losowana			losowana
Lata 80	PN-82/B-02020	powierzchnia, ale równa min. $1/8 A_f$	losowana z zakresu:	losowany z zakresu	(0 - brak osłonięcia,
Lata 90	PN-91/B-02020	możliwa orientacja okien (NW, N, NE,	$n_{50} = 0,5 - 10 \text{ l/h}$	1-20%	1 - średnie,
WT2008	Dz. U. 2008, Nr 201, poz. 1238	E, SE, S, SW, W)			2 - dobre)
WT2014	Dz. U. 2014, poz. 1238				
WT2021	Dz. U. 2021, poz. 1225				

3 Wyniki

Wykorzystany model klimatyczny prognozuje na terenie Polski wzrost zarówno średnich rocznych temperatur jak i wielkości promieniowania słonecznego. Wzrosty te są jednak nierównomierne w czasie (w 2075 r. ma nastąpić obniżenie tych wartości względem 2050 r.), dla różnych miesięcy w roku (w miesiącach zimowych promieniowania będzie mniej) i różne dla różnych badanych lokalizacji (stosunkowo największe zmiany mogą dotknąć Zieloną Górę).

Najstarsze z analizowanych budynków (lata 70. i 80.) obecnie nie wymagają energii do chłodzenia. Zapotrzebowanie na tą energię obliczeniowo pojawia się obecnie dla budynków od standardu energetycznego z lat 90. XX wieku, i jest tym większa, im nowszy jest budynek. Bardzo stare budynki (lata 70-te) mogą mieć nawet 10-krotnie wyższe zapotrzebowanie na ogrzewanie niż budynki spełniające aktualne wymogi w zakresie ochrony cieplnej w Polsce (WT2021). Ocieplenie klimatu spowoduje spadek zapotrzebowania na energię grzewczą dla każdego analizowanego budynku. Natomiast najstarsze budynki (lata 70. i 80. XX wieku), które obecnie zwykle nie wymagają aktywnego systemu chłodzenia, będą musiały być doposażone w tym zakresie, lub użytkownicy będą odczuwać dyskomfort cieplny w okresie letnim z powodu przegrzewania się pomieszczeń. W przypadku najnowszych budynków (WT2021) w niedalekiej przyszłości zapotrzebowanie energii na chłodzenie może być nawet większe niż tej na ogrzewanie.

Podsumowanie

Zmieniający się klimat powinien być na bieżąco uwzględniany przy projektowaniu nowych energooszczędnych budynków (istnieje realna potrzeba aktualnych danych meteorologicznych). W przyszłości, budynki będą wymagały aktywnego systemu chłodzenia, ponieważ nawet w starych budynkach, ze względu na globalne ocieplenie, utrzymanie komfortu cieplnego latem będzie problematyczne. Termomodernizacja budynku oznacza mniej energii na jego ogrzewanie, ale wzrost energii na jego chłodzenie. W przyszłości w najbardziej energooszczędnych budynkach zapotrzebowanie na chłodzenie będzie większe niż na ogrzewanie, stąd ważne będzie ograniczenie przegrzewania się budynków poprzez zastosowanie wszelkich możliwych rozwiązań pasywnych (efektywna masa termiczna, jasne kolory elewacji, systemy zacieniania czy wentylacji) w celu zmniejszenia zapotrzebowania na chłodzenie budynku.

Bibliografia

- [1] <https://www.gov.pl/web/nauka/jak-zmienia-sie-klimat-w-polsce-nowe-badania> (dostęp 16.09.2025 r.)

AI w badaniach nad radonem (AI in radon research)

Joanna Kubiak^{1*}, Małgorzata Basińska², Dominik Grządziel³

Słowa kluczowe: radon, uczenie maszynowe, jakość powietrza

1 Wprowadzenie

W 2001 roku ankietowani deklarowali, że ponad 87% czasu w ciągu dnia spędzają w pomieszczeniach [1]. Dzisiaj zapewne wartość ta przekracza 90%, co zwiększa narażenie populacji na zanieczyszczenie powietrza wewnętrznego. Jednym z parametrów jakości powietrza, którego pierwsze pomiary wykonane w 1901 roku potwierdziły jego wszechobecności w środowisku, jest radon [2]. Radon jako radioaktywny gaz, który w znacznych stężeniach może kumulować się w budynkach jest drugą po paleniu tytoniu najczęstszą przyczyną raka płuc [3]. Na poziom jego stężenia w budynku, oprócz warunków meteorologicznych i geologicznych oraz zachowania mieszkańców wpływ ma szczelność powietrzna budynku oraz system wentylacji. Niewłaściwie przeprowadzone zabiegi termomodernizacyjne w budynku, poprawa jego szczelności powietrznej bez zastosowania kontrolowanych systemów wentylacji może prowadzić do wzrostu poziomu stężenia radonu o ponad 100 % [4]. Do przewidywania zagrożeń z tego wynikających można zastosować sztuczną inteligencję (AI), w tym w szczególności umiejętność analizy dużych zbiorów danych.

2 Cel

Celem pracy jest przegląd badań dotyczących radonu prowadzonych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, w tym algorytmów uczenia maszynowego (ML). Dokonano przeglądu literatury wykorzystując hasło „indoor radon machine learning” w bazie Web of Science. Ostatecznie skupiono się na przeglądzie 11 artykułów z ostatnich 4 lat.

3 Wyniki

Najczęściej w badaniach nad poziomem radonu ML było wykorzystywane do tworzenie map zagrożenia radonowego w skali regionu [5, 6, 7], znalezienia najważniejszych predyktorów stężenia [8, 9,10] oceny ryzyka zdrowotnego [11] oraz w zastosowaniach związanych z pomiarami [12, 13, 14, 15]. W tej ostatniej grupie badacze wskazują, iż możliwa jest oszczędność kosztów monitoringu między innymi poprzez wskazanie budynków do pomiarów. Badacze twierdzą iż przy ich wyborze powinno się kierować następującymi kryteriami: powierzchnia zabudowy, powierzchnia ogrzewana, rok budowy, współrzędne budynku, rodzaj wentylacji, stężenie uranu w glebie oraz obecność piwnic [12]. Dodatkowo można uwzględnić: wysokość n.p.m., wilgotność gleby, ciśnienie powierzchniowe i odległość od uskoku [13]. Wcześniejsze badania prowadzone w Poznaniu, skupione były na analizie reprezentatywności krótkoterminowych pomiarów do oceny rocznego ryzyka [14], w budynku pomiarowych uzyskano zgodność w miesiącach od listopada do marca mediany rocznej do mediany tygodniowej z niedoszacowaniem 5%, przeszacowania zdarzyły się częściej jednakże przeszacowanie stanowi mniejszy problem niż niedoszacowanie średniej rocznej. Algorytmy ML wykorzystywane są do systemów przewidywania przekroczenia progów bezpieczeństwa i uruchamiania wentylacji, nim radon przekroczy wartości krytyczne [15].

4 Wnioski

Metody oparte na sztucznej inteligencji coraz częściej znajdują zastosowanie w badaniach nad stężeniem radonu wewnątrz pomieszczeń. Najczęściej wykorzystywanym algorytmem pozostaje las losowy, a zastosowania AI obejmują zarówno mapowanie radonu, identyfikację predyktorów jego stężenia, jak i rozwiązania zmierzające do obniżenia kosztów monitoringu oraz zwiększenia możliwości pomiarowych. Coraz częściej wskazuje się, że krótkoterminowe pomiary prowadzone w odpowiednich miesiącach roku, w

¹ mgr inż., Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Poznańska, joanna.kubiak@put.poznan.pl (* autor do korespondencji)

² dr hab. inż., Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Poznańska, małgorzata.basinska@put.poznan.pl

³ dr, Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk, Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych, dominik.grzadziel@ifj.edu.pl

budynkach o określonych cechach, mogą wystarczyć do identyfikacji obiektów o podwyższonym stężeniu radonu. Analizy dużych zbiorów danych podkreślają ogromny potencjał sztucznej inteligencji, która prawdopodobnie stanie się w przyszłości kluczowym narzędziem w ocenie ryzyka środowiskowego i zdrowotnego. Niezbędne jest jednak zachowanie ostrożności przy interpretacji wyników, zwłaszcza w odniesieniu do korelacji ujawnianych przez algorytmy, aby uniknąć błędnych wniosków. Dodatkowym wyzwaniem, akcentowanym w wielu badaniach, pozostaje niski poziom świadomości społecznej dotyczącej zagrożeń związanych z promieniotwórczym radonem.

Bibliografia

- [1] Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., Behar, J. V., Hern, S. C., & Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11(3), 231–252. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>
- [2] Arshinoff, K., History of Radon & Related Discoveries, December 10, 2024
- [3] WHO, Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, World Health Organization, 2009.
- [4] McGrath, J. A., Aghamolaei, R., O'Donnell, J., Byrne, M. A., "Factors influencing radon concentration during energy retrofitting in domestic buildings: A computational evaluation," *Build Environ*, vol. 194, May 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107712.
- [5] Benà, E., Ciotoli, G., Petermann, E., Bossew, P., Ruggiero, L., Verdi, L., Huber, P., Mori, F., Mazzoli, C., & Sassi, R. (2024). A new perspective in radon risk assessment: Mapping the geological hazard as a first step to define the collective radon risk exposure. *Science of the Total Environment*, 912, 169569. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169569>
- [6] Rezaie, F., Panahi, M., Bateni, S. M., Kim, S., Lee, J., Lee, J., Yoo, J., Kim, H., Kim, S. W., & Lee, S. (2023). Spatial modeling of geogenic indoor radon distribution in Chungcheongnam-do, South Korea using enhanced machine learning algorithms. *Environment International*, 171, 107724. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107724>
- [7] Petermann, E., Bossew, P., Kemski, J., Gruber, V., Suhr, N., & Hoffmann, B. (2024). Development of a high-resolution indoor radon map using a new machine learning-based probabilistic model and German radon survey data. *Environmental Health Perspectives*, 132(9), 097009. <https://doi.org/10.1289/EHP14171>
- [8] Dicu, T., Cucos, A., Botoș, M., Burghiele, B., Floriacă, S., Baci, C., Ștefan, B., & Bălc, R. (2023). Exploring statistical and machine learning techniques to identify factors influencing indoor radon concentration. *Science of the Total Environment*, 905, 167024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167024>
- [9] Sundal, A. V., Etiope, G., Pascual, L., & Åkerblom, G. (2023). Indoor radon interval prediction in the Swedish building stock using machine learning. *Environmental Research*, 232, 116182. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116182>
- [10] Yang, Z., Prox, L., Meernik, C., Raveendran, Y., Press, D. J., Gibson, P., Koch, A., Ajumobi, O., Chen, R., Zhang, J., & Akinyemiju, T. (2025). Identifying predictors of spatiotemporal variations in residential radon concentrations across North Carolina using machine learning analytics. *Environmental Pollution*, 367, 125592. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125592>
- [11] Lee, H., Hanson, H. A., Logan, J., Maguire, D., Kapadia, A., Dewji, S., & Agasthya, G. (2024). Evaluating county-level lung cancer incidence from environmental radiation exposure, PM2.5, and other exposures with regression and machine learning models. *Environmental Geochemistry and Health*, 46, 82. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01820-4>
- [12] Sundal, A. V., Etiope, G., Pascual, L., & Åkerblom, G. (2023). Indoor radon interval prediction in the Swedish building stock using machine learning. *Environmental Research*, 232, 116182. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116182>
- [13] Yang, Z., Prox, L., Meernik, C., Raveendran, Y., Press, D. J., Gibson, P., Koch, A., Ajumobi, O., Chen, R., Zhang, J., & Akinyemiju, T. (2025). Identifying predictors of spatiotemporal variations in residential radon concentrations across North Carolina using machine learning analytics. *Environmental Pollution*, 367, 125592. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125592>
- [14] Kubiak, J., & Basińska, M. (2025). A novel method for analysing indoor radon concentration measurements. *Building and Environment*, 277, 112940. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112940>
- [15] Valcarce, D., Alvarellos, A., Rabuñal, J. R., Dorado, J., & Gestal, M. (2022). Machine learning-based radon monitoring system. *Chemosensors*, 10(7), 239. <https://doi.org/10.3390/chemosensors10070239>

Komfort termiczny mieszkańców Żelaznego Trójkąta Australii Południowej

Artur Miszczuk^{1*}

Słowa kluczowe: Australia Południowa, komfort cieplny, model adaptacyjny, PMV, temperatura operacyjna.

1 Wprowadzenie

Komfort cieplny w budynkach stanowi kluczowy element jakości środowiska wewnętrznego, wpływając nie tylko na zdrowie i samopoczucie użytkowników, ale także na efektywność energetyczną w fazie eksploatacji [1]. W literaturze dominują dwa podejścia do oceny komfortu cieplnego: model PMV (Predicted Mean Vote) Fangera [2], stanowiący podstawę międzynarodowych norm ASHRAE Standard 55 [3] i ISO 7730. Drugim jest model adaptacyjny Humphreysa [4] rozwijany przez de Deara i Bragera [5].

Badania terenowe prowadzone m.in. w Indiach [6], Izraelu [7] czy Kuwejcie [8] wykazały, że PMV często nie odzwierciedla rzeczywistych odczuć użytkowników, zawężając zakres temperatur komfortowych. Z kolei podejście adaptacyjne uwzględnia mechanizmy fizjologiczne i behawioralne, pozwalając na szersze dopasowanie kryteriów do lokalnych uwarunkowań klimatycznych [9]. W tym kontekście istotne staje się prowadzenie badań terenowych w regionach o zróżnicowanych warunkach klimatycznych. Niniejsze badanie skupia się na regionie Żelaznego Trójkąta, który wyróżnia się wysokimi temperaturami i stanowi reprezentatywny obszar Australii Południowej, do oceny komfortu cieplnego w budynkach mieszkalnych.

2 Metodologia

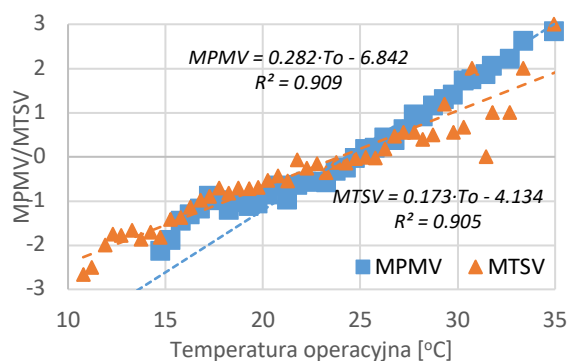
Badania przeprowadzono w okresie od czerwca 2023 do lutego 2024 w trzech miastach: Port Augusta, Whyalla i Port Pirie. Łącznie objęto analizą 30 budynków jednorodzinnych, reprezentatywnych dla lokalnej zabudowy. Pomiary parametrów środowiskowych (temperatura powietrza, promieniowania, wilgotność względna, prędkość przepływu powietrza) prowadzono przy użyciu rejestratorów HOBO MX1104 o wysokiej dokładności. Dane rejestrowano automatycznie co 15 minut. Równolegle przeprowadzono badania ankietowe, gromadząc 3 540 odpowiedzi w zakresie odczuć cieplnych (TSV – Thermal Sensation Vote) od 38 mieszkańców. Badanie skoncentrowano na dwóch kluczowych przestrzeniach użytkowych: salonach (główna przestrzeń dzienna) i sypialniach (30–35% aktywności, głównie biernej) [10]. Do analizy zastosowano wskaźniki PMV, TSV oraz średnie wartości MTSV (Mean Thermal Sensation Vote). Neutralne temperatury operacyjne określono przy użyciu regresji liniowej, a klasy komfortu cieplnego zdefiniowano zgodnie z normą EN 16798-1:2019. Uwzględniono również różnice pomiędzy wartościami empirycznymi (MTSV) a teoretycznymi (MPMV), co pozwoliło na porównanie modeli i ocenę ich użyteczności w lokalnym kontekście.

3 Wyniki

Warunki wewnętrzne charakteryzowały się dużą zmiennością: temperatura powietrza wahała się od 9,0°C do 42,5°C w salonach i od 10,2°C do 37,3°C w sypialniach, przy średniej wilgotności względnej 50–52%. Zależność pomiędzy temperaturą operacyjną (T_o) a ocenami TSV wykazała istotną liniową tendencję, przy czym temperatura operacyjna wyniosła 23,9°C. Szczegółowa analiza MTSV ujawniła silną korelację z T_o ($R^2 = 0,905$), co wskazuje na spójność subiektywnych odczuć z rzeczywistymi warunkami. Porównanie wartości teoretycznych (MPMV) i empirycznych (MTSV) pokazało jednak, że powyżej 25°C model PMV systematycznie przeszacowuje odczucia cieplne uczestników (rys. 1).

Zakres akceptowalnych temperatur odpowiadający satysfakcji $\geq 90\%$ użytkowników wyniósł 21,1–26,8°C, co odpowiada kategorii IEQ II wg norm europejskich. Analiza zróżnicowania funkcjonalnego ujawniła różnice w preferencjach pomiędzy pomieszczeniami: neutralna temperatura operacyjna w salonach wynosiła 23,7°C, natomiast w sypialniach 24,4°C. Oznacza to, że aktywność fizyczna i tempo metabolizmu odgrywają istotną rolę w percepcji komfortu. Zakresy temperatur dla poszczególnych kategorii komfortu cieplnego w obu typach pomieszczeń przedstawiono w tabeli 1.

¹ dr inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, artur.miszczuk@pw.edu.pl (* autor do korespondencji)



Rysunek 1: Porównanie wartości MTSV z wartościami teoretycznymi MPMV.

Tablica 1: Zakresy T_o dla poszczególnych kategorii komfortu cieplnego MTSV z podziałem na rodzaj pomieszczenia.

MTSV	Temperatura operacyjna (T_o) - salon, [°C]	Temperatura operacyjna (T_o) - sypialnia, [°C]
MTSV = 0	23,7	24,4
$-0,2 < MTSV < +0,2$	22,3 ÷ 25,0	23,3 ÷ 25,5
$-0,5 < MTSV < +0,5$	20,3 ÷ 27,0	21,5 ÷ 27,3
$-0,7 < MTSV < +0,7$	19,0 ÷ 28,3	20,4 ÷ 28,4
$-1,0 < MTSV < +1,0$	17,0 ÷ 30,3	18,7 ÷ 30,1

4 Wnioski

Badanie potwierdziło, że preferencje użytkowników znacząco odbiegają od wartości prognozowanych przez klasyczny model PMV. Rzeczywisty zakres akceptowalnych temperatur okazał się szerszy, a jego granice zależały od funkcji pomieszczeń oraz aktywności użytkowników. Wyniki wskazują na neutralną temperaturę operacyjną równą 23,9°C i na wyraźne różnice między salonami i sypialniami (odpowiednio 23,7°C i 24,4°C). Oznacza to konieczność odejścia od uśrednionych, jednolitych standardów na rzecz bardziej zindywidualizowanych kryteriów.

Wnioski z badań dostarczają ważnych argumentów za modyfikacją australijskiego systemu NatHERS, który obecnie zakłada jednolite kryteria komfortu cieplnego dla całego kraju. Uwzględnienie lokalnych warunków klimatycznych i realnych zachowań użytkowników pozwoliłoby zwiększyć trafność ocen efektywności energetycznej budynków. Jednocześnie szeroki zakres temperatur akceptowanych przez mieszkańców może sprzyjać zmniejszeniu zużycia energii na ogrzewanie i chłodzenie, co wspiera realizację celów zrównoważonego rozwoju oraz poprawę jakości życia w gorącym, suchym klimacie Australii Południowej.

Bibliografia

- [1] Teli D., Patrick J., Jentsch: „Thermal comfort in naturally ventilated primary school classrooms”, *Building Research & Information*, t. 41, nr 3, s. 301–316, 2013,
- [2] Fanger P. O.: „*Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*”, 1970,
- [3] „*Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*”,
- [4] Humphreys M. A., Nicol J. F.: „Understanding the adaptive approach to thermal comfort”, *ASHRAE Trans*, t. 104, s. 991, 1998,
- [5] De Dear R., Brager G. S.: „*Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*”, 1998,
- [6] Indraganti M.: „Thermal comfort in naturally ventilated apartments in summer: Findings from a field study in Hyderabad, India”, *Appl Energy*, t. 87, nr 3, s. 866–883, 2010,
- [7] Becker R., Paciuk M.: „Thermal comfort in residential buildings – Failure to predict by Standard model”, *Build Environ*, t. 44, nr 5, s. 948–960, 2009,
- [8] Al-ajmi F. F., Loveday D. L.: „Indoor thermal conditions and thermal comfort in air-conditioned domestic buildings in the dry-desert climate of Kuwait”, *Build Environ*, t. 45, nr 3, s. 704–710, 2010,
- [9] Jeong B., Kim J., Chen D., de Dear R.: „Comparison of residential thermal comfort in two different climates in Australia”, *Build Environ*, t. 211, s. 108706, 2022,
- [10] Ortiz-Ospina E., Roser M.: „How do people across the world spend their time and what does this tell us about living conditions?”, *Our World in Data*, 2024.

Ocena oddziaływania budynku na środowisko w cyklu życia

Zuzanna Gondek^{1*}, Agnieszka Kaliszuk-Wietecha²

Słowa kluczowe: Life Cycle Assessment, ślad węglowy budynku, wpływ budynku na środowisko, współczynnik GWP

1 Wprowadzenie

Wpływ budynków na środowisku nie jest tematem nowym, bowiem w 2009 roku w Polsce został wprowadzony obowiązek sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej jako implementację unijnej dyrektywy EPBD z 2002 roku [1]. Obecnie w Polsce poza współczynnikiem zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP, który dla nowych budynków musi być niższy niż wartość graniczna podana w Warunkach Technicznych, ze świadectwa możemy odczytać również roczną emisję CO₂. Jednak najnowsza dyrektywa EPBD z 2024 roku [2] wprowadziła dodatkowy aspekt wpływu budynków na środowisko, czyli współczynnik GWP w całym cyklu życia budynku i państwa członkowskie są zobowiązane do wprowadzenia tego elementu do swoich krajowych przepisów.

2 Współczynnik GWP w cyklu życia

Współczynnik GWP (Global Warming Potential) określa, w jakim stopniu budynek przyczynia się do emisji gazów cieplarnianych prowadzących do globalnego ocieplenia. Podawany jest w ekwiwalencie dwutlenku węgla - wszystkie gazy cieplarniane wliczają się do niego z różną wagą, w zależności od ich wpływu na efekt cieplarniany. W celu jego obliczenia należy wykonać analizę cyklu życia, inaczej LCA (Life Cycle Assessment). Jest to ustandaryzowana metoda oceny oddziaływania budynków w cyklu życia.

2.1 Krajowa metodyka LCA

Dyrektywa EPBD nakłada na państwa członkowskie obowiązek obliczania GWP na świadectwie charakterystyki energetycznej. Następnym krokiem definiowanym przez dyrektywę jest ustanowienie wartości granicznych skumulowanego GWP w całym cyklu życia budynku, które stopniowo będą zaostrzane w ramach dążenia do neutralności klimatycznej, tak samo jak dzieje się to w przypadku współczynnika EP. Część krajów członkowskich stworzyła już krajowe wytyczne do obliczeń śladu węglowego budynków zgodnie z EPBD. Pozostałe, w tym Polska, są w trakcie prac mających na celu dostosowanie krajowych regulacji do europejskiej dyrektywy.

2.2 Różnice w istniejących metodykach

Analizując metodyki obliczania śladu węglowego budynków wybranych Państw członkowskich UE [3], można stwierdzić, że pomimo iż wszystkie bazują na europejskiej normie EN 15978, to w nich widoczne różnice. Główne rozbieżności obejmują: zakres elementów inwestycji uwzględnionych w analizie, obowiązkowe fazy cyklu życia czy długość cyklu życia budynku. Wszystkie te elementy mogą wpływać na otrzymane wyniki w różnym stopniu.

Polska metodyka jest w trakcie opracowania. GWP będzie raportowane na świadectwie energetycznym, więc metodyka będzie musiała zostać zintegrowana z metodologią wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku. Propozycję wystosowali: w 2022 roku Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego [4], a w 2024 roku Narodowa Agencja Poszanowania Energii [5].

3 Potencjał redukcji śladu węglowego w zależności od konstrukcji budynku

Wykonano analizę LCA budynku mieszkalnego jednorodzinnego, porównano wyniki dla 4 wariantów tego samego budynku. Analiza uwzględnia pełny zakres materiałów, wraz z instalacjami budynkowymi i terenami zewnętrznymi. Przeanalizowane warianty obejmują:

- 1) Budynek w konstrukcji murowanej, w którym
 - a) system ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej opiera się na kotle gazowym, a energia elektryczna pochodzi z sieci elektroenergetycznej;

¹ inż., JWA, gondekzuzanna@gmail.com (* autor do korespondencji)

² dr inż., Wydział Inżynierii Łądowej, Politechnika Warszawska, agnieszka.wietecha@pw.edu.pl

- b) system ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej opiera się na pompie ciepła, która zasilana jest instalacją fotowoltaiczną;
- 2) Budynek w konstrukcji drewnianej szkieletowej, w którym
- a) system ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej opiera się na kotle gazowym, a energia elektryczna pochodzi z sieci elektroenergetycznej;
- b) system ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej opiera się na pompie ciepła, która zasilana jest instalacją fotowoltaiczną.

W obliczeniach uwzględniono fazy A1-A4, B4-B5, B6, C1-C4, a długość cyklu życia przyjęto 50 lat. Obliczenia przedstawiono dla obu typów budynków przy założeniu obu systemów (tab. 1).

Tablica 1: Porównanie wyników analizy LCA budynku mieszkalnego jednorodzinnego w konstrukcji murowanej i drewnianej szkieletowej. Operacyjny ślad węglowy obejmuje fazę B6, a wbudowany ślad węglowy pozostałe uwzględniane w analizie fazy cyklu życia.

Ślad węglowy		Konstrukcja murowana		Konstrukcja drewniana szkieletowa	
		Systemy: kocioł gazowy + energia elektryczna z sieci	Systemy: pompa ciepła + energia elektryczna z fotowoltaiki	Systemy: kocioł gazowy + energia elektryczna z sieci	Systemy: pompa ciepła + energia elektryczna z fotowoltaiki
Wbudowany	[kg CO ₂ e]	111 947	125 907	94 971	108 777
	[kg CO ₂ e/m ²]	726	816	615	705
Operacyjny	[kg CO ₂ e]	242 604	0	250 477	0
	[kg CO ₂ e/m ²]	1572	0	1623	0
Całkowity	[kg CO ₂ e]	354 552	125 907	345 448	108 777
	[kg CO ₂ e/m ²]	2298	816	2239	705

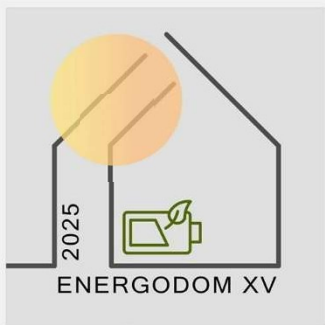
W analizowanym przypadku zastosowanie konstrukcji drewnianej zredukowało wbudowany ślad węglowy o 15%. Drewno magazynuje węgiel, który uwalniany jest dopiero pod koniec życia budynku, w trakcie przetwarzania odpadów z rozbiórki. Z tego względu największe korzyści względem konstrukcji murowanej są widoczne w fazach A1-A3. Największy wpływ obserwowany jest jednak w fazie operacyjnego zużycia energii. Przeanalizowano zmianę systemu na pompę ciepła z fotowoltaiką, co zredukowało praktycznie do zera tę fazę cyklu życia, mimo że zwiększył się wbudowany ślad węglowy wygenerowany poprzez produkcję pompy ciepła i paneli fotowoltaicznych. Najkorzystniejszym przykładem redukcji śladu węglowego budynku jest wariant ostatni.

4 Podsumowanie

Wprowadzenie obowiązku obliczania śladu węglowego w całym cyklu życia (GWP) stanowi znaczącą zmianę dla budownictwa, wymuszając kompleksową analizę wpływu budynku na środowisko. Aby skutecznie zredukować jego wartość, kluczowe jest bazowanie na wiarygodnych danych o materiałach (EPD) oraz, co szczególnie istotne w Polsce, dalsze ograniczanie zużycia energii w trakcie użytkowania budynku. Nie bez znaczenia pozostaje również rodzaj zastosowanej konstrukcji budynku, gdzie lekkie drewniane konstrukcje mogą charakteryzować się niższym GWP niż tradycyjne konstrukcje murowane.

Bibliografia

- [1] Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1275 z dnia 24 kwietnia 2024 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [3] Astle P., Gibbson L., Eriksen A.: "Comparing differences in building life cycle assessment methodologies", 2023
- [4] Bartosz D., Kowalski W., "Szacowanie śladu węglowego budynku. Mapa drogowa dekarbonizacji budownictwa do roku 2050", 2022
- [5] Narodowa Agencja Poszanowania Energii, "Propozycja krajowej metodyki wyznaczania śladu węglowego budynku", 2024



ENERGODOM 2025

XV KONFERENCJA NAUKOWO - TECHNICZNA

Fala Renowacji strategią osiągnięcia
standardu Net Zero w budownictwie

Politechnika Krakowska

23 - 24 października 2025



SESJA IV

NISKOENERGETYCZNE I INTELIGENTNE TECHNOLOGIE BUDOWLANE

- Koncepcja usługi ETChek do diagnostyki i optymalizacji energetycznej budynków na podstawie danych pomiarowych – M. Szymański, K. Czerpińska, K. Bandurski.
- Bezpieczeństwo pożarowe systemów ETICS – balans między efektywnością energetyczną a ochroną życia - M. Firlit.
- Wpływ zastosowania zdecentralizowanych układów wentylacyjnych na parametry powietrza wewnętrznego w budynku przedszkola – M. Basińska, D. Kaczorek.
- Odzysk ciepła z technologii kuchennej w jadłodajni i jego zagospodarowanie - J. StępniaK, K. Tadeusz, M. Stachowiak.

Koncepcja usługi ETCheck do diagnostyki i optymalizacji energetycznej budynków na podstawie danych pomiarowych

Michał Szymański^{1*}, Karolina Czerpińska², Karol Bandurski³

Słowa kluczowe: charakterystyka energetyczna budynku, audyt energetyczny, koszty eksploatacji, modernizacja

1 Wprowadzenie

W kontekście powszechnych wymagań ciągłej poprawy efektywności energetycznej budynków i ich technicznego wyposażenia (TWB), przedstawiono koncepcję kompleksowej usługi optymalizacyjnej i serwisowej ETCheck, dla budynków z wykorzystaniem systemu monitoringu charakterystycznych parametrów, zapotrzebowania energii, analizy danych i zachowań użytkowników. Usługa ma na celu uzyskanie oszczędności energii, zapewniając jednocześnie wewnętrzne środowisko wspierające produktywność ludzi, oraz podniesienie poziomu bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacyjnej. W ramach projektu zaplanowano zautomatyzowanie interakcji człowiek - system informatyczny, przy wykorzystaniu bezprzewodowego, mobilnego systemu pozyskiwania wiedzy o parametrach obiektu oraz komforcie użytkowników. Usługa adresowana jest przede wszystkim do użytkowników budynków, jest skalowalna i elastyczna - będzie mogła znaleźć zastosowanie w budynkach projektowanych, oddawanych do użytkowania, eksploatowanych, przygotowywanych do remontu.

2 Opis usługi ETCheck

2.1 Grupa docelowa - odbiorcy

Główną grupę docelową obiektów dla usługi ETCheck stanowią budynki użyteczności publicznej (przyszłościowo również inne rodzaje), zarówno publiczne jak i prywatne.

Odbiorcami fizycznymi usługi będą:

- użytkownik lub najemca budynku (wzrost świadomości, edukacja, kształtowanie nawyków),
- ekspert z zakresu efektywności energetycznej (energetyk, optymalizator – narzędzie do pracy),
- inwestor (wpływ na decyzje inwestycyjne - racjonalne utrzymanie stanu i wartości, egzekwowania od wykonawcy odpowiedniej jakości budynku i charakterystyki energetycznej),
- serwisant TWB (monitoring - dane do analiz technicznych, wpływ na ofertę usług/dostaw).

2.2 Dane charakterystyczne budynków

Dane zbierane w ramach realizacji usługi w czasie rzeczywistym obejmują przede wszystkim:

- parametry komfortu klimatycznego oraz stopnia wykorzystania pomieszczeń,
- parametry robocze instalacji HVAC i elektrycznych, w tym wskazania liczników mediów,
- wiedzę o stopniu satysfakcji i inne informacje pozyskane od użytkowników obiektu,
- dane o stanie działań konserwacyjnych, serwisowych, naprawczych itp.

W/w dane dotyczą wybranych, reprezentatywnych elementów lub stref obiektu, natomiast informacje pochodzące od użytkowników i obsługi technicznej dotyczą całego budynku i wszystkich składowych TWB.

2.3 Zasada działania

Usługa kompleksowa ETCheck polega na wykorzystaniu systemu bezprzewodowego monitoringu istotnych parametrów charakterystycznych budynków do pozyskania wiedzy o badanych obiektach, działaniu ich TWB oraz zachowaniach ich użytkowników. Prowadzona akwizycja danych, ich analiza oraz wnioskowanie na ich podstawie, pozwolą operatorowi na zrealizowanie celów nadrzędnych, jakimi jest uzyskanie oszczędności oraz wysokiego poziomu bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacji obiektu. Ponadto właściciel zyskuje dla swojego obiektu wyższej jakości obsługę serwisową. Dodatkowymi istotnymi efektami jest pozyskanie dużego zasobu uporządkowanych informacji o obiekcie i sposobie jego użytkowania, co można wykorzystać również w innych obszarach, zgodnie z ideą Demand Side Management.

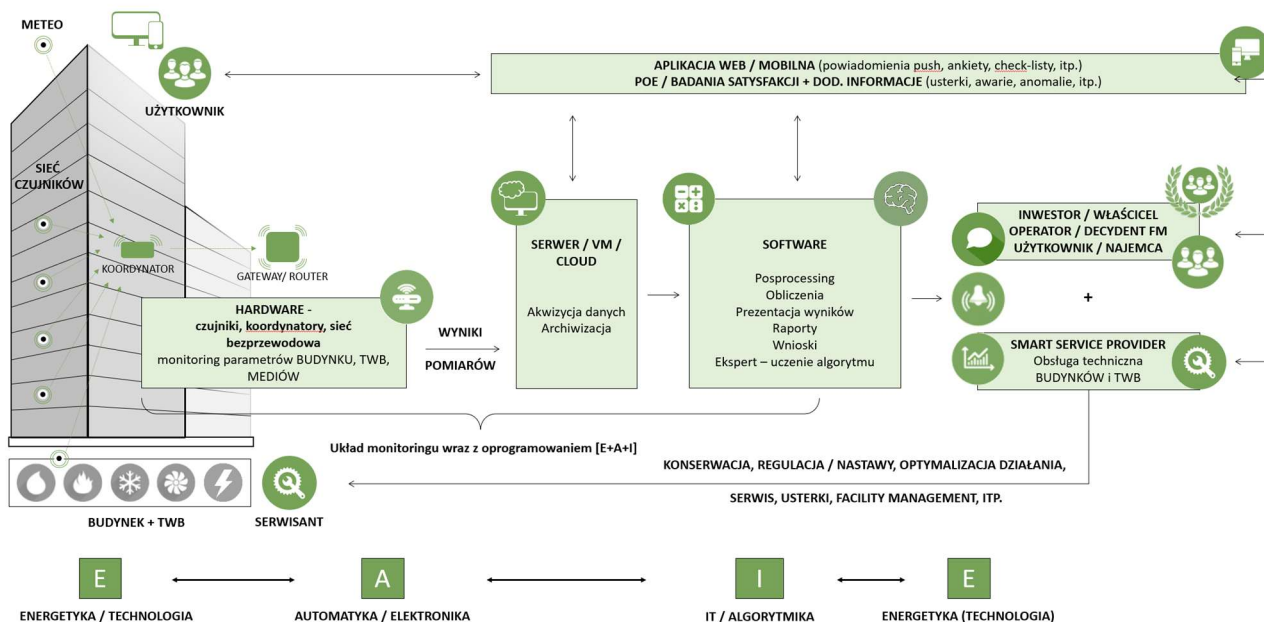
¹ dr inż., Ecoterm Complex Sp. z o.o., btms.poznan@gmail.com (* autor do korespondencji)

² mgr inż., Ecoterm Complex Sp. z o.o., biuro@ecotermcomplex.pl

³ dr inż., Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Poznańska, karol.bandurski@put.poznan.pl

Usługa kompleksowa ETCheck składa się z następujących komponentów:

- platformy sprzętowej (czujniki, telefony komórkowe, sieć, serwer),
- oprogramowania specjalistycznego (zbieranie, porządkowanie, prezentacja danych, raportowanie, optymalizacja, komunikacja z użytkownikami),
- eksperckiej usługi doradczej (konfiguracja, wnioskowanie, wytyczne i zalecenia),
- usługi serwisowej (konserwacja, utrzymanie ruchu, usuwanie usterek itp.).



Rysunek 1: Schemat ideowy usługi ETCheck

2.4 Cel stosowania usługi

Do najistotniejszych celów stosowania usługi ETCheck należą:

- określenie rzeczywistej charakterystyki energetycznej budynku i TWB (optymalizacja, egzekwowanie wymaganych parametrów obiektu, predykcja zdarzeń, planowanie),
- obniżenie energochłonności, kosztów eksploatacji i emisji CO₂,
- dwukierunkowa komunikacja z użytkownikiem i serwisem (aplikacja mobilna, raportowanie),
- wiedza o obiekcie i planowanie (wspomaganie decyzji w procesie inwestycyjnym),
- poprawa obsługi serwisowej (szybkość działania, oparcie na procedurach, podniesienie bezpieczeństwa i niezawodności TWB),
- zdrowie ludzi i ochrona środowiska (poprawa świadomości użytkowników budynku, edukacja),
- otwarty proces optymalizacji (stopniowe podnoszenie poziomu technicznego budynku, reagowanie na zmiany rynku, możliwość wprowadzenia nowych funkcjonalności systemu).

3 Podsumowanie

Autorzy zidentyfikowali potrzebę rynkową w zakresie odpowiedniego (prostego, świadomego i niedrogiego) projektowania, nadzorowania i eksploatacji budynków użyteczności publicznej, ze szczególnym uwzględnieniem efektywności energetycznej, potrzeb użytkowników, kosztów i niezawodności eksploatacji.

Przedmiotem projektu ETCheck było opracowanie i przebadanie w warunkach rzeczywistych nowej, kompleksowej usługi, polegającej na monitorowaniu charakterystycznych parametrów budynków przy aktywnym udziale ich użytkowników w kształtowaniu istotnych zmiennych operacyjnych.

Projekt realizowany w ramach programu NCBiR „Szybka Ścieżka” - Poddziałanie 1.1.1 „Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa” POIR.

Bibliografia

- [1] Szymański M., Witkowska M.: „ETCheck - usługa optymalizacyjna i serwisowa dla budynków z wykorzystaniem systemu monitoringu charakterystycznych parametrów, zapotrzebowania energii, analizy danych i zachowań użytkowników”, XVI Międzynarodowa Konferencja Air, Heat and Energy, Politechnika Wrocławska, 2023 r.

Bezpieczeństwo pożarowe systemów ETICS – balans między efektywnością energetyczną a ochroną życia

mgr inż. Milena Firlit, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, milena.firlit@icimb.lukasiewicz.gov.pl

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, chemia budowlana, efektywność energetyczna, ETICS

1 Wprowadzenie

Rosnące wymagania związane z efektywnością energetyczną budynków sprawiają, że systemy ETICS stają się kluczowym narzędziem w procesie termomodernizacji i realizacji założeń Fali Renowacji. Ich powszechne stosowanie rodzi jednak istotne pytanie o bezpieczeństwo pożarowe. Właściwości materiałów izolacyjnych, sposób montażu oraz dobór komponentów systemowych mają bezpośredni wpływ na ryzyko rozprzestrzeniania się ognia na elewacjach. [1], [2]

Balans między efektywnością energetyczną a ochroną życia wymaga wdrażania rozwiązań systemowych, a nie jedynie materiałowych. Innowacyjna chemia budowlana, nowe technologie zapraw i tynków, powłoki ogniowe oraz odpowiednie projektowanie detali konstrukcyjnych pozwalają ograniczyć to ryzyko. [3]

2 Podsumowanie

Analiza zagadnienia prowadzi do wniosku, iż skuteczna implementacja systemów ETICS wymaga podejścia zintegrowanego, w którym efektywność energetyczna i bezpieczeństwo pożarowe traktowane są jako równoważne priorytety. Osiągnięcie tego celu możliwe jest wyłącznie poprzez stosowanie rozwiązań systemowych, a nie ograniczanie się do doboru pojedynczych materiałów izolacyjnych. Rozwój innowacyjnych technologii oraz precyzyjne projektowanie detali konstrukcyjnych powinny być wspierane przez odpowiednie regulacje techniczne i standardy projektowe.

W perspektywie długoterminowej integracja kryteriów energooszczędności i ochrony przeciwpożarowej wpisuje się w założenia zrównoważonego rozwoju oraz zapewnia bezpieczeństwo użytkowników przy jednoczesnym spełnieniu celów środowiskowych. Tym samym systemy ETICS należy postrzegać nie tylko jako narzędzie poprawy efektywności energetycznej, ale również jako element wymagający dalszych badań, standaryzacji i doskonalenia w kontekście bezpieczeństwa pożarowego.

Bibliografia

- [1] Cost-benefit analysis in fire safety engineering: State-of-the-art and reference methodology, Ruben Van Coile, Andrea Lucherini, Ranjit Kumar Chaudhary, Shuna Ni, David Unobe, Thomas Gernay, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106326>
- [2] Quantitative integration of fire risk with life cycle analysis of building: The case of thermal insulation, Rocco di Filippo, Luca Possidente, Nicola Tondini, Oreste S. Bursi, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107124>
- [3] Fire Safety of External Thermal Insulation Systems (ETICS) in the Aspect of Sustainable Use of Natural Resources, Małgorzata Niziurska, Michał Wieczorek, Klaudiusz Borkowicz, <http://dx.doi.org/10.3390/su14031224>

Wpływ zastosowania zdecentralizowanych układów wentylacyjnych na parametry powietrza wewnętrznego w budynku przedszkola

Małgorzata Basińska^{1*}, Dobrosława Kaczorek²

Słowa kluczowe: jakość powietrza, pomiary, przedszkole, systemy wentylacyjne

1 Wprowadzenie

Ludzie od 60 do 90% swojego życia spędzają w pomieszczeniach zamkniętych. Dzieci podczas pracy rodziców przebywają w żłobkach, przedszkolach lub w szkołach, od godzin porannych do popołudniowych. W budynkach przeznaczonych do opieki nad dziećmi, w celu zapewnienia dobrej jakości powietrza stosowane są wymogi dotyczące wietrzenia pomieszczeń [1]. W budynkach, w których była możliwość techniczna i finansowa na zastosowanie wentylacji mechanicznej jakość powietrza powinna być utrzymywana na dobrym poziomie. Jednak, w sytuacji gdy układy wentylacyjne nie są obsługiwane w sposób świadomy lub wystąpienia awarii systemu możemy mieć do czynienia z pogorszeniem jakości powietrza. W pracy przedstawiono analizę porównawczą badań parametrów powietrza wewnętrznego przeprowadzonych w dwóch salach budynku przedszkola. W obu pomieszczeniach, zastosowano zdecentralizowane układy wentylacyjne o projektowym strumieniu powietrza 360 m³/h, analizowano zmienność: CO₂, RH, t_{int} , PM. W wyniku awarii w jednej z sal układ wentylacyjny pozostawał wyłączony, co skutkowało znacznym pogorszeniem jakości powietrza w pomieszczeniu.

2 Badania

Badanie jakości powietrza przeprowadzono w dwóch salach przebywania dzieci w budynku przedszkolnym zlokalizowanym przy drodze wojewódzkiej o wysokim natężeniu ruchu. Obie sale: S1 na parterze oraz S2 na piętrze, z oknami skierowanymi na ogród z dużą ilością drzew, mają porównywalną powierzchnię (61 m²) i system wentylacji N-W o takiej samej charakterystyce (360 m³/h). Pomiary przeprowadzono w miesiącu marcu 2024 roku. Obejmowały one pomiary IAQ i OAQ wykonywane z częstotliwością 10 minut. Do pomiarów IAQ wykorzystano rejestrator NEMo XT mini firmy Ethera, który mierzy następujące parametry: temperaturę, RH, CO₂, LVOC, PM₁, PM_{2.5}, PM₄, PM₁₀, CO oraz NO₂. Zakres dokładności pomiarowej dla ditlenku węgla wynosi +/- 50 ppm, dla temperatury +/- 2°C, dla wilgotności względnej +/- 3%RH. Do pomiarów OAQ wykorzystano rejestrator NEMo Outdoor.

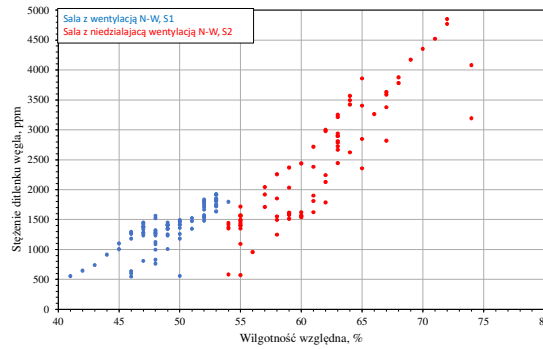
3 Wyniki

W celu oceny jakościowej powietrza wewnętrznego w analizowanych salach pomiarowych na rysunku (rys. 1) przedstawiono zmienność CO₂ i RH w dwóch dniach pomiarowych 12-13 marca 2024 roku w godzinach od 8:00 do 14:00. W salach w tym czasie przebywało: S1 – 15 dzieci i 2 opiekunów, S2 odpowiednio – 20 i 19 dzieci i 2 opiekunów. W sali S1 działała instalacja N-W, która 12 marca została po otwarciu okien wyłączona od 11:00 do 11:15, a 13 marca od godziny 14:00. W sali S2 wentylacja N-W nie działała, opiekunowie dzieci zdecydowali się na otwarcie okien 12 marca od godziny 13:00, a 13 marca od 11:00.

W analizowanych dniach w godzinach użytkowania pomieszczenia średnie stężenie CO₂ w sali S2 przekraczało poziom zalecany przez WHO i wynosiło 2384 ppm z SD=1012 ppm. Wartość maksymalna na poziomie 4851 ppm została zanotowana w sali po 4 godzinach przebywania w niej dzieci. W sali z działającą wentylacją N-W (S1) średnie stężenie CO₂ w tym samym okresie pomiarowym wynosiło 1346 ppm z SD=336 ppm. 15-to minutowe otwarcie okien nie spowodowało znacznego obniżenia poziomu stężenia ditlenkiem węgla, które w czasie drzemki dzieci (12:00-13:00) w dniu 12 marca było na poziomie ±1800 ppm. Natomiast dla średniej wilgotności względnej w powietrzu zewnętrznym na poziomie 76%, w pomieszczeniu z działającą instalacją N-W (S1) poziom jej był niższy i wynosił 49% z SD=2,7%, w sali S2 – 61% z SD=5,1%.

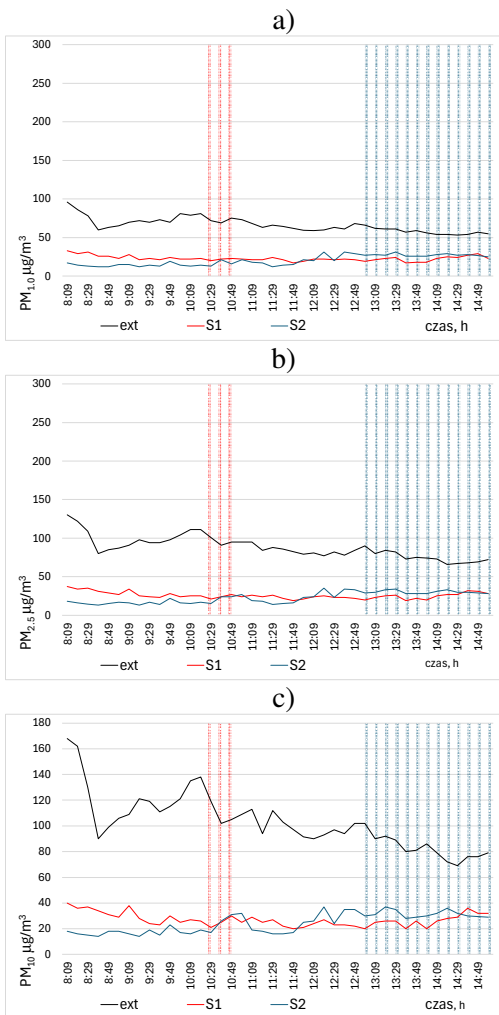
¹ dr hab. inż., Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Poznańska malgorzata.basinska@put.poznan.pl
(* autor do korespondencji)

² dr inż., Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie, d.kaczorek@itb.pl



Rysunek 1: Zmienność CO_2 i RH w salach przedszkola w godzinach od 8:00 – 14:00 w dniach 12-13 marca

Do oceny fizycznej jakości powietrza w analizowanych salach wykorzystano masową w czasie zmienność pyłu zawieszonego w zależności od wielkości frakcji (PM) (rys. 2).



Rysunek 2: Zmienność stężenia masowego pyłu zawieszonego w salach przedszkola w godzinach od 8:00 – 15:00 w dniu 12 marca dla: a) $PM_{1.0}$, b) $PM_{2.5}$, c) PM_{10}

Ze względu na niewielkie zanieczyszczenie powietrza zewnętrznego wpływ otwarcia okien na wzrost zanieczyszczenie pyłem powietrza wewnętrznego jest mało zauważalny. Zmienność stężenia pyłu w czasie w analizowanych salach w danym dniu związana jest bardziej z aktywnością przebywających w sali dzieci.

4 Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych analiz widać, że sposób użytkowania pomieszczeń ma decydujący wpływ na wewnętrzną jakość powietrza w odniesieniu do PM, CO_2 i RH. W zależności od jakości powietrza zewnętrznego podczas awarii systemu wentylacyjnego i otwartych oknach ulega poprawie IAQ oceniana przez CO_2 . Dostarczanie jednak do pomieszczenia stałego strumienia powietrza nawiewanego i brak sterowania instalacją N-W w zależności od stężenia CO_2 powoduje przekroczenie stężenia ditlenku węgla w pomieszczeniu. Zaobserwowano także różnice w poziomie wilgotności względnej w sali z działającym systemem wentylacyjnym wynosiła ona średnio 49%, podczas gdy w sali bez nawiewu osiągała 61%, co potwierdza wpływ instalacji N-W na warunki mikroklimatyczne. Wyniki badań wskazują jednoznacznie, że zapewnienie odpowiedniej jakości powietrza w przedszkolach wymaga stosowania zdecentralizowanych układów wentylacyjnych z możliwością regulacji wydajności w zależności od aktualnych stężeń zanieczyszczeń wewnętrznych.

Bibliografia

- [1] Dz.U. 72, 2018, Obwieszczenie w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej sprawie wymagań lokalowych i sanitarnych jakie musi spełniać lokal, w którym ma być prowadzony żłobek lub klub dziecięcy

Odzysk ciepła z technologii kuchennej w jadalni i jego zagospodarowanie

Janusz Stępnia^{1*}, Krzysztof Tadeusz², Marcin Stachowiak³

Słowa kluczowe: odzysk ciepła odpadowego kuchni, wymiennik ciepła ścieki-woda

1 Wprowadzenie

W ciągu kilku ostatnich lat nastąpił drastyczny wzrost cen nośników energii.

Spowodowało to wielkie trudności między innymi w funkcjonowaniu lokali gastronomicznych, często prowadzących do ich zamknięcia.

Tematem niniejszego opracowania jest opisanie zadania polegającego na zwiększeniu efektywności wykorzystania energii użytkowanej w lokalu gastronomicznym obsługującym kilkuset klientów dziennie.

1.1 Uzasadnienie dla podejmowanego zadania

Jest ono zawarte w liczbach pokazujących ilość energii przepływającej przez lokal, a szczególnie aspekt kosztowy tego przepływu.

W czasie pełnego roku jest to:

- energia elektryczna - 104 438 kWh

- gaz ziemny - 15 835 m³ czyli ok. 141 438 kWh (przy współcz. przelicz. 8,824 do 9,018)

Łącznie jest **245 827 kWh/rok** i **828 kWh/(m²*rok)** całk. powierzchnia lokalu – **297 m²**

W tej ilości zawarta jest energia wykorzystywana do przygotowania potraw, podgrzewania wody użytkowej, oświetlenia, ogrzewania i chłodzenia przestrzeni lokalu.

Energia odpadowa tych procesów była do tej pory całkowicie tracona wraz usuwanymi oparami i ściekami.

1.2 Cel podjętego zadania

Ponowne wykorzystanie energii usuwanej wraz z powietrzem wentylacyjnym i w ściekach dla ogrzewania pomieszczeń lokalu i wstępnego podgrzewania wody użytkowej.

2 Charakterystyka obiektu w stanie przed podjęciem zadania

Przedmiotowy lokal gastronomiczny został urządzony w budynku byłej osiedlowej kotłowni węglowej. Budynek jest jednokondygnacyjny, z nieocieplonymi posadzkami, miernie ocieplonymi ścianami zewnętrznymi i równie miernie ocieplonym dachem, a nad pomieszczeniami łazienek (ok. 50 m²) z całkowitym brakiem ocieplenia.

Obiekt wyposażono w fatalnie działającą wentylację mechaniczną kuchni, pozostałe pomieszczenia tylko wentylacja wywiewna.

Ogrzewanie Sali konsumpcyjnej oraz łazienek były realizowane odpowiednio przez klimatyzatory typu Split oraz grzejniki elektryczne.

Efektem działania tego systemu były notorycznie zawilgocone wszystkie pomieszczenia lokalu, przez cały rok, przegrzane lub zbyt zimne pomieszczenia Sali konsumpcyjnej i łazienek (czasami lodowato zimnych), notoryczny niedostatek świeżego powietrza.

3 Charakterystyka zastosowanego systemu odzysku ciepła

Zastosowany system składa się z następujących podsystemów:

A. Pracujący na powietrzu wentylacyjnym:

1. Wentylacja kuchenna wewnętrzna (system powietrze/woda)

1.1. dwustopniowy odzysk ciepła: 1 stopień – wymienniki podokapowe (najwyższa temperatura

¹inż. Janusz Stępnia, Polski Instytut Budownictwa Pasywnego, j.stepniak@gmx.co.uk (* autor do korespondencji)

²mgr inż. Krzysztof Tadeusz, Projektowanie i Nadzory Budowlane, krzysztof.tadeusz@hotmail.com

³ Marcin Stachowiak, Cromca Bistro, Wolsztyn

powietrza (nawet $>50^{\circ}\text{C}$), częściowe przechwycenie oparów tłuszczów), 2 stopień (dochłodzenie, oczyszczenie z reszty oparów tłuszczu, wilgoci i sadzy)

1.2. Niezależna od systemu 1.1. wentylacja z odzyskiem ciepła

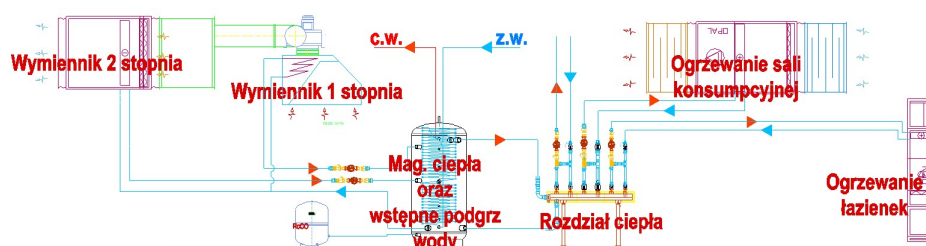
2. System wentylacji z odzyskiem ciepła dla sali konsumpcyjnej, łazienek i pomieszczeń socjalnych.

3. Ogrzewanie typu powietrze/woda (z powodu braku możliwości zastosowania bardziej efektywnych systemów ogrzewania powierzchniowego).

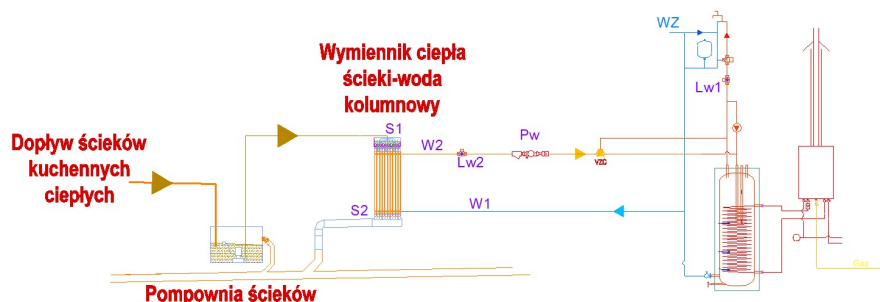
4. Magazynowanie ciepła w buforze wodnym (o pojemności 2000 L i z wężownicą do podgrzewania wody użytkowej)

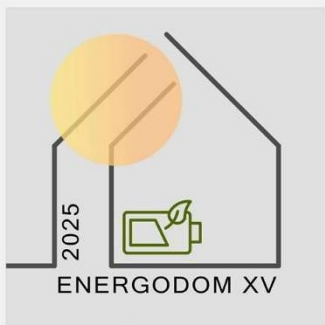
5. Dystrybucja ciepła za pomocą wody grzewczej

Schemat systemu pracującego na powietrzu wentylacyjnym (bez uwzględnienia wentylacji ogólnej):



B. Odzyskujący ciepło ze ścieków kuchennych





ENERGOPOL 2025

XV KONFERENCJA NAUKOWO - TECHNICZNA

Fala Renowacji strategią osiągnięcia
standardu Net Zero w budownictwie

Politechnika Krakowska

23 - 24 października 2025



SESJA V

BUDYNKI NISKOENERGETYCZNE - PROJEKT, MATERIAŁY, BADANIA, cz. I

- Budynek wielorodzinny NF40 - standard projektowany i rzeczywisty - M. Wesołowska, P. Szczepaniak.
- Wpływ materiału zmiennofazowego na rozkład temperatury w przegrodzie kolektorowo-akumulacyjnej - J. Krasoń, A. Starakiewicz, P. Miąsik, L. Lichołai.
- Zastosowanie materiałów pochodzenia roślinnego jako izolacji cieplnych budynków - P. Kosiński.
- Wybrane aspekty ocieplenia elewacji budynków wzniesionych metodą prefabrykacji przed 1990 rokiem - S. Choromański, S. Firląg.

Budynek wielorodzinny NF40 – standard projektowany i rzeczywisty

Maria Wesolowska^{1*}, Paula Szczepaniak²

Słowa kluczowe: budynek nZEB, energooszczędność, badania in-situ

1 Wprowadzenie

Program Priorytetowy NFOSiGW dopłat do kredytów na budowę domów energooszczędnych był pierwszym krokiem przygotowania rynku budowlanego do spełnienia wymagań dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [1]. Narzucone w programie restrykcyjne standardy energetyczne budynków [2] wymagały nie tylko zintegrowanych rozwiązań projektowych [3], ale również zmiany podejścia do realizacji budynków niskoenergetycznych. Wymierną korzyścią dla Inwestorów miało być obniżenie kosztów eksploatacyjnych oraz poprawa komfortu użytkowania mieszkań. Jednak doświadczenia z eksploatacji tego typu budynku wskazują na wyższe niż założone w projekcie zużycie energii. Przedmiotem analizy są czynniki decydujące o stwierdzonych różnicach. Podstawą analizy były założone parametry cieplne i energetyczne budynku oraz uzyskane na podstawie pomiarów rzeczywistych.

2 Badany obiekt

Przedmiotem badań jest wielorodzinny budynek mieszkalny, zaprojektowany w standardzie NF40, zlokalizowany w Bydgoszczy, który został oddany do użytkowania pod koniec 2019 roku. W budynku zaprojektowano przegrody i detale budowlane spełniające wymagania standardu w zakresie współczynnika przenikania ciepła U_c i liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_e [2]. Zastosowano wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła na poziomie 73,2%, zasilaną wspólną energią elektryczną. Budynek jest również wyposażony w kolektory słoneczne wspomagające przygotowania ciepłej wody użytkowej. Na etapie projektowania założono wartość szczelności obudowy równą $n_{50}=1,0$. Na etapie oddania do użytkowania, zgodnie z wymaganiami programu, wykonano próbę szczelności $n_{50}=0,63$. Dla tych wartości uzyskano wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową [4] równy 17,40 kWh/(m²·rok). Budynek jest wyposażony w węzeł cieplny podłączony do miejskiej sieci ciepłowniczej. Opomiarowana jest dostarczana ilość ciepła sieciowego ciepłomierzem głównym (na wejściu do węzła), ilość energii przekazywanej do instalacji co za węzłem oraz ilość energii dostarczana z instalacji kolektorów słonecznych.

3 Procedura badań

Odczyty z opomiarowania budynku zestawiono w latach 2020-2024. Rzeczywiste wskaźniki energetyczne (EK_{co}, EU_{co}) określono stosując wartości sprawności cząstkowych systemu grzewczego: sprawność wytwarzania 0,99, sprawność regulacji 0,89, sprawność przesyłu 0,90, sprawność akumulacji 1,0 (brak bufora w systemie grzewczym).

Biorąc pod uwagę, że obliczenia cieplne i energetyczne dla budynku są wykonywane dla warunków normatywnych (referencyjnych) założono, że rzeczywiste zużycie energii w budynku może odbiegać od zużycia planowanego. Wpływ na taki stan rzeczy mają:

- zmienne warunki atmosferyczne i związana z tym liczba stopniodni sezonu grzewczego,
- sposób i intensywność użytkowania pomieszczeń, budynków, które mogą wynikać np. ze zmiany liczby i rodzaju użytkowników.

Liczbę stopniodni dla sezonu standardowego [5] i okresu pomiarowego określono na podstawie projektu budowlanego w odniesieniu do temperatur użytkowych w poszczególnych pomieszczeniach i strefach budynku jako średnią ważoną po powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze, dla których określono powierzchnię o regulowanej temperaturze A_f . Standaryzowanie zużycia energii polegało na przeliczeniu rzeczywistego zużycia na warunki sezonu standardowego wg wzoru (1) [6].

¹ dr hab. inż., prof. PBS, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Bydgoska, maria.wesolowska@pbs.edu.pl (* autor do korespondencji)

² dr inż., Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Bydgoska, paula.szczepaniak@pbs.edu.pl

$$Q_{K,H} = \frac{Std_0}{Std_{pom}} \cdot Q_{Kpom} \quad (1)$$

Gdzie:

$Q_{K,H}$ – zapotrzebowanie na energię końcową w sezonie standardowym,

Std_0 – liczba stopniogrzewalności w standardowym sezonie grzewczym,

Std_{pom} – liczba stopniogrzewalności w okresie pomiarowym,

Q_{Kpom} – rzeczywiste zużycie energii końcowej w okresie pomiarowym.

Wyniki pomiarów i wskaźniki energetyczne zestawiono w tab. 1.

4 Wyniki badań i dyskusja

Tablica 1: Wskaźniki energetyczne budynku wg metody zużyciowej

Okres	Całkowite zużycie Zużycie CO	EK EKco	EP EPco	EU EUco	S_{td}	EUco po S_{td}
	GJ	kWh/(m ² ·rok)			(dzień·K)/rok	kWh/(m ² ·rok)
2024	1 396,4	61,77	49,41	43,68		
	855,1	37,82	30,26	26,75	3156,60	31,36
2023	1 393,8	61,65	49,32	43,60		
	813,7	35,99	28,79	25,45	3039,40	30,99
2022	1 538,7	68,06	54,45	48,13		
	963,4	42,62	34,09	30,13	3062,30	36,41
2021	1 657,6	73,32	58,66	51,85		
	1 136,3	50,26	40,21	35,54	3768,80	34,90
2020	1 490,2	65,92	52,73	46,61		
	959,5	42,44	33,95	30,01	3370,30	32,95
$A_f = 6310,6 \text{ m}^2$; $\eta_{H,g} = 0,99$; $\eta_{H,e} \cdot \eta_{H,d} \cdot \eta_{H,s} = 0,89$						

Standaryzowane zużycia energii różnią się w poszczególnych latach. Różnica wynosi do 20%. Otrzymana różnica wynika z przejrzystych warunków klimatycznych. To zużycie energii jest znacznie wyższe od zapotrzebowania wyliczonego wg metody obliczeniowej, $EUco = 17,40 \text{ kWh/(m}^2 \text{ rok)}$ dla typowych warunków meteorologicznych i sposobu użytkowania. W przypadkach, gdy zużycie obliczeniowe różni się o więcej niż 15% z ustandaryzowanym zużyciem rzeczywistym należy poszukać przyczyny rozbieżności. Mogą to być np.: błędy w obliczeniach energetycznych (nieprawidłowo przyjęta szczelność budynku, brak uwzględnienia mostków termicznych), błędy wykonawcze budynku (np.: błędy w montażu izolacji termicznej). Analiza zapotrzebowania na energię była poprzedzona badaniami in-situ na obiekcie. Pomierzono wartość współczynnika przenikania ciepła ściany zewnętrznej w losowo wybranym miejscu. Uzyskano wartość $0,20 \text{ W/(m}^2 \text{K)}$ odpowiadającą wartości projektowanej. Dla wybranych węzłów wykonano pomiary kamerą termowizyjną. Uzyskany obraz nie odbiega od rozkładów określonych z analizy numerycznej na etapie projektowania. Po zrealizowaniu obiektu wykonano próbę szczelności, która wykazała niższe wartości n_{50} od założonych w projekcie. Źródłem rozbieżności może być też niestandardowe zachowanie mieszkańców, np.: wietrzenie budynku z rekuperacją czy też przegrzewanie pomieszczeń.

Badania in-situ na obiekcie potwierdziły prawidłowość wykonania obudowy. W związku z powyższym przeprowadzono symulacje zakładające inny niż typowy dla tego budynku sposób użytkowania pomieszczeń, tj:

- temperatura wewnętrzna wyższa od standardowej
- dodatkowy strumień wentylacyjny spowodowany rozszczelnieniem/otwieraniem okien.

W Tablicy 2 przedstawiono obliczone wartości wskaźnika $EUco$ dla temperatur $20,3\text{--}27,0 \text{ }^\circ\text{C}$ oraz wymian powietrza wentylacyjnego od $1,0 \text{ 1/n}$ do $5,2 \text{ 1/n}$. Pogrubieniem oznaczono zakres który odpowiada wskaźnikom uzyskanym z pomiarów.

Otrzymane wyniki uprawdopodobniają to jak duży wpływ ma sposób użytkowania, szczególnie gdy dotyczy to budynków niskoenergetycznych. Należy zauważyć, że pomimo znaczonego przekroczenia

wskaźników projektowanych, nadal są to wartości poniżej granicznych dla tego standardu a inwestor nie ma zastrzeżeń do funkcjonowania tego budynku.

Tablica 2: Wskaźnik EUco dla różnych wartości temperatury wewnętrznej i strumienia wentylacyjnego

n_{50} [1/h]	t_i , [°C]							
	20,3°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C
1	17.4	19.22	21.93	24.75	27.66	30.73	33.97	37.38
1,2	18.28	20.16	22.94	25.85	28.85	32.03	35.38	38.9
1,4	19.17	21.1	23.96	26.96	30.06	33.34	36.8	40.43
1,6	20.07	22.05	24.99	28.08	31.28	34.67	38.24	41.97
1,8	20.97	23.03	26.03	29.21	32.51	36.01	39.69	43.51
2	21.88	23.98	27.08	30.36	33.76	37.36	41.15	45.06
2,2	22.8	24.95	28.14	31.51	35.02	38.73	42.61	46.61
2,4	23.72	25.93	29.21	32.68	36.29	40.1	44.08	48.17
2,6	24.65	26.92	30.29	33.86	37.57	41.49	45.56	49.73
2,8	25.59	27.92	31.38	35.05	38.86	42.88	47.04	51.29
3	26.53	28.92	32.48	36.24	40.16	44.28	48.52	52.85
3,2	27.48	29.93	33.59	37.45	41.46	45.68	50.01	54.42
3,4	28.44	30.96	34.7	38.66	42.78	47.09	51.5	55.99
3,6	29.4	31.99	35.83	39.88	44.1	48.5	52.99	57.56
3,8	30.38	33.02	36.96	41.11	45.43	49.91	54.49	59.13
4	31.36	34.07	38.1	42.35	46.76	51.33	55.99	60.71
4,6	34.34	37.24	41.55	46.1	50.78	55.6	60.49	65.48
5	36.35	39.38	43.88	48.62	53.47	58.45	63.51	68.69
5,2	37.37	40.46	45.06	49.89	54.83	59.88	65.02	70.31

5 Podsumowanie i wnioski

Obiekt został zaprojektowany prawidłowo, zgodnie z wytycznymi programu, co umożliwiło uzyskanie o około połowę niższego zapotrzebowania na energię użytkową. Natomiast uzyskane z 5-letnich pomiarów wskaźniki są około dwa razy większe niż projektowane. Świadczy to o tym, że projektanci i wykonawcy są w stanie zrealizować budynek o tak wysokich standardach, ale nie jest to jednoznaczne z rzeczywistym zużyciem. Jak wykazano, duży wpływ na wskaźniki energetyczne mają także mieszkańcy i ich zachowanie.

Bibliografia

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [2] Program Priorytetowy „Efektywne wykorzystanie energii”. Część 3: Dopłaty do kredytów na budowę domów energooszczędnych, www.nfosigw.gov.pl
- [3] Domy energooszczędne. Podręcznik dobrych praktyk, przygotowany na podstawie opracowania Krajowej Agencji Poszanowania Energii S.A., listopad 2012, www.nfosigw.gov.pl.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej z późn. zm.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego z późn. zm.
- [6] Wesołowska M.: „Audyt energetyczny budynku i termomodernizacja”, Wydawnictwo Uczelniane PBS, 2025r.

Wpływ materiału zmiennofazowego na rozkład temperatury w przegrodzie kolektorowo-akumulacyjnej

Joanna Krasoń^{1*}, Aleksander Starakiewicz², Przemysław Miąsik³, Lech Licholai⁴

Słowa kluczowe: materiał zmiennofazowy, ściana kolektorowo-akumulacyjna, temperatura, przepływ ciepła, promieniowanie słoneczne

1 Wprowadzenie

Niniejsze opracowanie ma na celu przedstawienie wpływu materiału zmiennofazowego (PCM) na rozkład wartości temperatury w przegrodzie kolektorowo-akumulacyjnej, w zależności od ustalonej jego konfiguracji w przegrodzie. Przegroda kolektorowo-akumulacyjna należy do rozwiązań systemów pasywnych wykorzystujących energię promieniowania słonecznego. Energia promieniowania słonecznego nie jest przekazywana bezpośrednio do pomieszczenia, lecz przechodzi przez warstwę akumulacyjną znajdującą się za przeszkleniem. W tradycyjnej konstrukcji, za powierzchnią przeszklenia znajduje się absorber, którego zadaniem jest pochłonięcie jak największej ilości energii promieniowania słonecznego i przekazanie jej w postaci ciepła do warstwy akumulacyjnej. Zadaniem warstwy akumulacyjnej jest magazynowanie pozyskanej energii i przekazywanie jej w dłuższym okresie czasu do wnętrza pomieszczenia. Dzięki temu energia jest przekazywana z mniejszym natężeniem, ale w dłuższym okresie czasu. Zastosowanie materiałów zmiennofazowych w przegrodach budowlanych ma na celu zwiększenie zdolności akumulacji ciepła elementów konstrukcyjnych i okładzinowych. Wprowadzenie PCM jako dodatkowej warstwy lub jego bezpośrednie wkomponowanie w strukturę warstwy murowej może poprawić pojemność akumulatora ściennego i zwiększyć jego bezwładność [1,2]. Umieszczenie warstwy PCM w przegrodzie ma istotny wpływ na wartość zakumulowanego ciepła oraz uzyskany rozkład natężenia strumienia ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody. Celem opracowania jest między innymi porównanie wartości temperatur w wybranych punktach przekroju przegród w zależności od rozmieszczenia PCM i ocenę stanu przemiany fazowej materiału zmiennofazowego w zależności od warunków zewnętrznych.

2 Metodyka badawcza

2.1 Stanowisko badawcze

Analiza dotyczy czterech rodzajów przegród kolektorowo-akumulacyjnych, w których z trzech z nich został wkomponowany PCM. Czwarta przegroda, jako referencyjna, nie posiadała dodatkowej warstwy materiału zmiennofazowego. Badania zostały przeprowadzone w zewnętrznych komorach helioenergetycznych w ciągu całego roku kalendarzowego (Rys.1).



Rysunek 1: Komory helioenergetyczne

¹ dr inż., Wydział, Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska, jkras@prz.edu.pl (* autor do korespondencji)

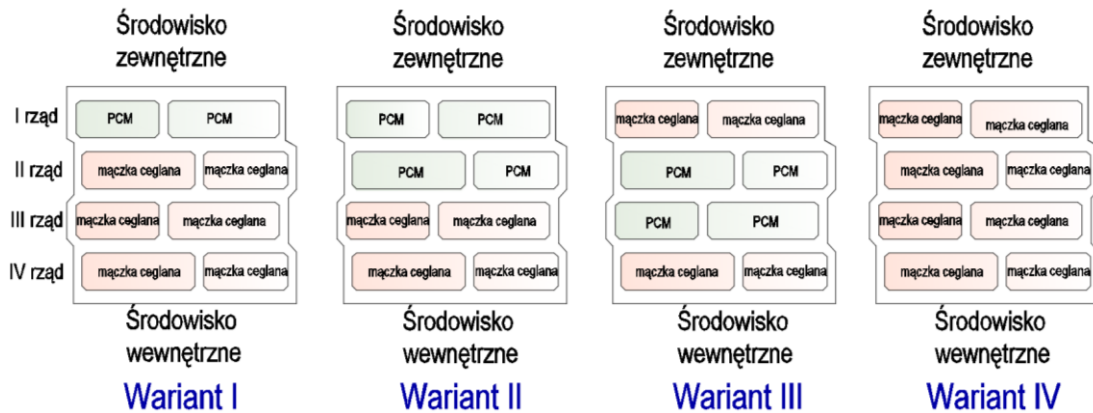
² dr inż., Wydział, Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska, olekstar@prz.edu.pl

³ dr inż., Wydział, Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska, pmiasik@prz.edu.pl

⁴ prof. dr hab. inż., Wydział, Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska, lechlich@prz.edu.pl

2.2 Materiały

Ściany akumulacyjne składały się z warstwy muru wykonanego z pustaków ceramicznych, w których otwory wypełnione zostały PCM [3] i mączką ceglana, w zależności od wariantu oraz kolektora (rama kolektora i zestawu szyb zespolonych o założonych parametrach technicznych). Rozmieszczenie materiału zmiennofazowego przedstawiono na Rysunku 2.

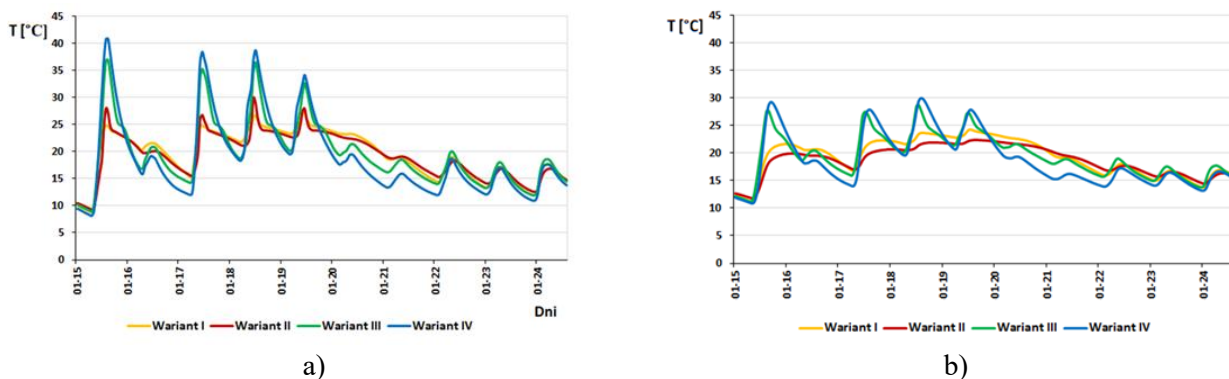


Rysunek 2: Warianty rozmieszczenia PCM w warstwie murowej

Czujniki temperatury zostały umieszczone w każdym otworze pustaka ceramicznego oraz w pozostałych charakterystycznych punktach ściany kolektorowo-akumulacyjnej. Do analizy wybrano przedziały czasowe, które reprezentowały wszystkie cztery pory roku, z uwzględnieniem dni słonecznych i pochmurnych.

2.3 Wyniki

Rysunek 3 przedstawia przykładowy rozkład temperatury w dwóch punktach przegród dla wszystkich czterech wariantów ściany kolektorowo-akumulacyjnej. Przyjęty został przedział czasowy, występujący w miesiącu styczniu, który charakteryzował się największą liczbą godzin usłonecznienia w dniach 15,17,18 stycznia.



Rysunek 3: Dekadowy rozkład wartości temperatur dla badanych wariantów przegród: a) w I rzędzie otworów warstwy murowej; b) w II rzędzie otworów warstwy murowej

W I rzędzie warstwy murowej, wyraźnie widoczny wzrost wartości temperatury występuje szczególnie w przegrodach bez znajdującego się w nich PCM. Osiągnięcie wyższej temperatury w I rzędzie w wariantcie III pozwoliło na osiągnięcie temperatury w warstwie PCM, który znajdował się w II rzędzie. W przypadku wariantów, w których znajduje się PCM od strony środowiska zewnętrznego, w dniach występowania nasłonecznienia, wartości temperatury przekroczyły temperaturę topnienia zastosowanego PCM (temp. topnienia PCM wynosi 25°C [3]). W drugim rzędzie temperatura w wariantcie II nie osiągnęła temperatury topnienia, czyli nie doszło całkowitej przemiany fazowej. W wariantcie III temperatura osiągnęła powyżej temperatury topnienia PCM.

3 Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników w analizowanych przedziałach czasowych, można stwierdzić, że PCM ma wpływ na występujące wartości temperatury w przegrodzie. Aby osiągnąć temperaturę topnienia zastosowanego PCM, musi wystąpić odpowiednia liczba godzin usłonecznienia w ciągu dnia, aby mogła

nastąpić przemiana fazowa w całej objętości PCM. Ponadto, uzyskana niższa temperatura na powierzchni absorbera zmniejsza różnicę temperatur pomiędzy nim a temperaturą za przeszkleniem, co może wpłynąć na zmniejszenie strat ciepła w kierunku środowiska zewnętrznego.

W zależności od przyjętych rozwiązań i oczekiwanych efektów, należy dobrać odpowiedni rodzaj PCM, aby uzyskać jak największy efekt akumulacji ciepła pozyskanego z zewnętrznego źródła ciepła.

Bibliografia

- [1] Kośny, J. K., Kossecka, E., Brzezinski, A., Tleoubaev, A., Yarbrough, D. W.: Dynamic thermal performance analysis of fiber insulations containing bio-based phase change materials (PCMs). *Energy Build.* 52, 122–131. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.05.021>
- [2] Wang, X., Li, W., Luo, Z., Wang, K., Shah, S. P.: A critical review on phase change materials (PCM) for sustainable and energy efficient building: Design, characteristic, performance and application. *Energy Build.* 260, 111923. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111923>
- [3] <https://www.rubitherm.eu/en/productcategory/organische-pcm-rt> (uzyskano dostęp: 22 wrzesień 2025)

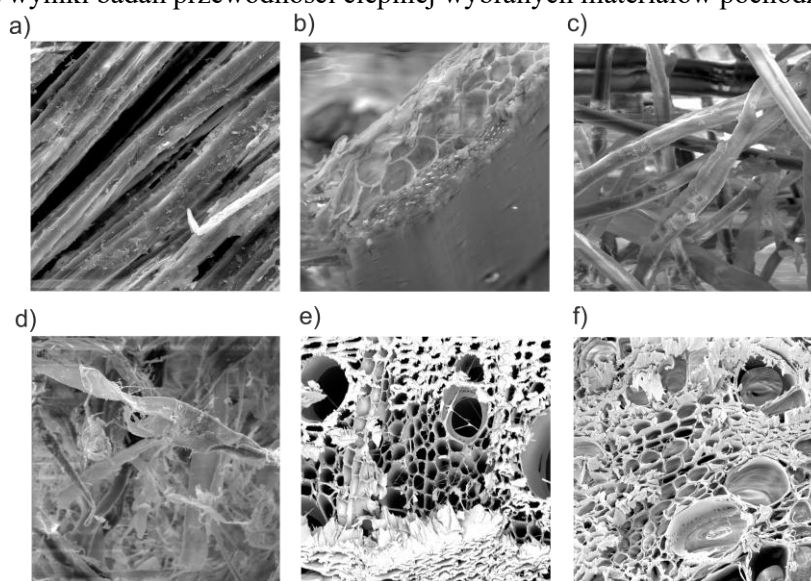
Zastosowanie materiałów pochodzenia roślinnego jako izolacji cieplnych budynków

Piotr Kosiński¹

Słowa kluczowe: niska emisja, zrównoważone budownictwo, przewodność cieplna, gęstość nasypowa, materiały luźne

1 Wprowadzenie

Współczesne materiały budowlane to produkty w większości wysoko przetworzone, których wytwarzanie pochłania duże ilości energii. Wśród materiałów pozostawiających największy ślad w środowisku są materiały termoizolacyjne. Materiały pochodzenia naturalnego mogą stanowić alternatywę dla wysoko przetworzonych izolacji. Jak wykazały badania przeprowadzone w laboratorium fizyki budowli UWM w Olsztynie, materiały naturalne cechuje nie tylko zbliżona przewodność cieplna do popularnych termoizolacji, ale również możliwość akumulowania wilgoci. Właściwości cieplno-wilgotnościowe tych materiałów wynikają z ich unikatowej budowy włókien. Uwidacznia się ona w obserwacjach przy użyciu mikroskopu elektronowego (rysunek 1). W odróżnieniu od wysoko przetworzonych materiałów włóknistych stosowanych w budownictwie, np. wełny mineralnej, materiały organiczne cechują się otwartością kapilarną, i stosunkowo dużymi średnicami włókien. Porowata struktura wewnętrzna materiałów pochodzenia organicznego ma znaczenie przy oznaczaniu ich cech transportowych. Z uwagi na możliwość domykania porów, wszystkie cechy transportowe tych materiałów zależą od ich gęstości nasypowej. W artykule przedstawione zostaną wyniki badań przewodności cieplnej wybranych materiałów pochodzenia naturalnego.



Rysunek 1: Mikroskopowe powiększenie materiałów pochodzenia organicznego, a) włókna konopne (754x), b) słoma zbożowa (766x), c) wełna drzewna (784x), d) włókna celulozowe (732x), e) paździerz konopne (1000x), f) paździerz lniane (1000x)

2 Badania przewodzenia ciepła materiałów pochodzenia naturalnego

2.1 Badany materiał

Badaniu poddano próbki luźnych materiałów, tj. wełny drzewnej (WD), celulozy (C), włókien konopnych (WK), paździerzy konopnych (PK) oraz paździerzy lnianych (PL). Dodatkowo zbadano próbki luźnej wełny mineralnej (WM) traktując ją jako materiał referencyjny.

2.2 Przygotowanie próbek

Próbki przed badaniami wysuszono w temperaturze 105°C, za wyjątkiem wełny drzewnej którą suszono w temperaturze 70°C z uwagi na zachodzącą w wyższej temperaturze karmelizację. Materiał umieszczano

¹ dr hab. inż., prof. UWM. Wydział Geoinżynierii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, piotr.kosinski@uwm.edu.pl

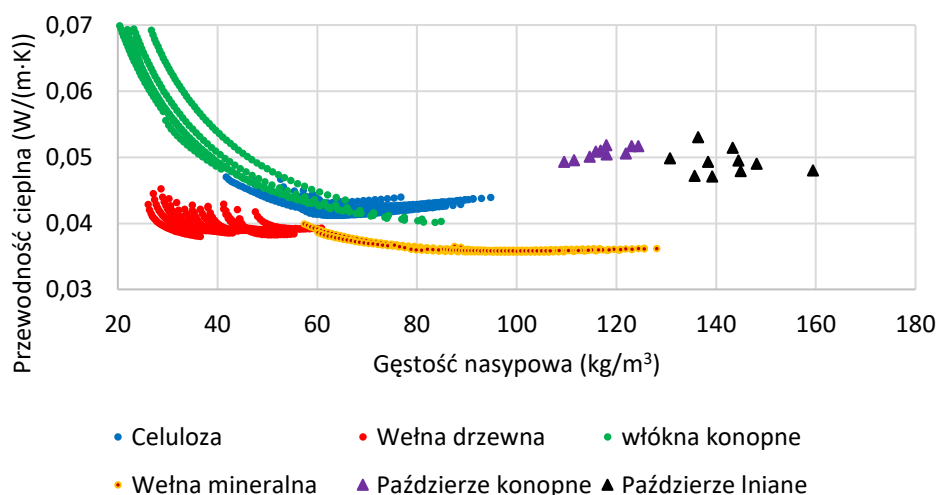
w ramach wykonanych z miękkiej wełny mineralnej umożliwiającej ich kompresję. Intencją badania była ocena wpływu gęstości materiału na współczynnik przewodzenia ciepła. W przypadku paździerzy, z uwagi na ich dużą sztywność, umieszczano je w sztywnych ramach wykonanych z PIR i badano przy stałej gęstości. Próbkę formowano umieszczając w ramach rozdrobniony materiał pobierany w sposób losowy, zachowując jego równomierne rozłożenie, a przez to stałość cech w obrębie próbki. Zakres badanych gęstości materiałów: C 42-94 kg/m³, WD 26-60 kg/m³, WK 20-84 kg/m³, WM 57-128 kg/m³, PK 109-124 kg/m³, PL 130-159 kg/m³. Najmniejsze wartości to minimalne gęstości przy których możliwe było uformowanie próbki.

2.3 Metoda badawcza

Badania współczynnika przewodzenia ciepła przeprowadzono przy użyciu aparatu płytowego HFM, FOX 602 produkcji LaserComp. Badana próbka umieszczana była w komorze urządzenia. Pomiar przeprowadzono przy temperaturze 20°C na płycie górnej oraz 0°C na płycie dolnej. Łącznie wykonano po 10 próbek każdego materiału. Dla każdej próbki wykonano co najmniej 12 pomiarów.

2.4 Wyniki badań

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła badanych materiałów. W przypadku włókien miękkich, tj. C, WD, WK, WM, widoczne są duże zakresy badanej gęstości. Dla tych materiałów, poza WK, wyznaczono jakim gęstościom odpowiada najmniejsza przewodność cieplna. C oraz WD, mimo wstępnego rozdrobnienia wykazywały dużą zdolność do zbrylania w trakcie badań. Stąd ich wyniki nie układają się w tak uporządkowany sposób jak dla WM i WK. Minimalne osiągnięte wartości przewodności cieplnej to dla C 0,041 W/mK, WD 0,038 W/mK, WK 0,040 W/mK, WM 0,036 W/mK. W przypadku paździerzy najmniejsze wartości zmierzonej przewodności cieplnej to 0,049 W/mK w przypadku konopnych oraz 0,047 W/mK w przypadku lnianych. Paździerze mając wyższą niż włókna miękkie, minimalną osiąganą gęstość, charakteryzują się również wyższą przewodnością cieplną.



Rysunek 2: Zmierzone wartości przewodności cieplnej badanych materiałów [1, 2]

3 Podsumowanie

Wyniki badań przewodności cieplnej analizowanych materiałów wskazują na ich zdolności termoizolacyjne. Materiały włókniste w postaci luźnej wymagają zagęszczania podczas tworzenia z nich warstw termoizolacyjnych. W przypadku paździerzy gęstość odgrywa mniejszą rolę. Wełna mineralna traktowana tu jako materiał referencyjny ma najmniejszą przewodność cieplną w porównaniu z badanymi materiałami organicznymi. Warto jednak zauważyć, że badane izolacje pochodzenia roślinnego, a szczególnie włókna i paździerze konopne i lniane są tańsze w produkcji, przez co mogą stanowić realną konkurencję dla popularnych materiałów termoizolacyjnych. Materiały pochodzenia organicznego zyskują na popularności. Od kilku lat można zaobserwować rosnącą liczbę publikacji im poświęconych, liczniejsze wystąpienia na konferencjach, coraz częściej pytają o nie inwestorzy. Autor kontynuuje badania właściwości cieplno-wilgotnościowych materiałów pochodzenia organicznego.

Bibliografia

- [1] Kosiński P., „Moisture Transport in Loose Fibrous Insulations under Steady-State Boundary Conditions”. *Materials* 16(24), 2023
- [2] Kosiński P., Brzyski P., Tunkiewicz M., Nagy B., Gotkowska-Płachta A. Moisture Properties, Microstructural and Microbiological Characteristics of Flax and Hemp Shives Used in Construction Industry. *Journal of Natural Fibers* 21(1), 2024

Wybrane aspekty ocieplenia elewacji budynków wzniesionych metodą prefabrykacji przed 1990 rokiem

Stanisław Choromański^{1*}, Szymon Firląg²

Słowa kluczowe: termomodernizacja, diagnostyka techniczna, efektywność energetyczna, elewacja

1 Wprowadzenie

Społeczeństwo dąży do poprawy efektywności energetycznej istniejących budynków, m.in. poprzez termomodernizację ścian zewnętrznych. Skuteczność tych działań wymaga nie tylko odpowiedniego finansowania i rzetelnych przetargów, lecz przede wszystkim projektowania opartego na diagnostyce technicznej oraz kompleksowych analizach i obliczeniach. Właściwy dobór rozwiązań renowacyjnych jest możliwy dopiero po zebraniu i zweryfikowaniu danych o obiekcie; braki lub błędy na etapie przygotowania mogą prowadzić do nietrafionych wariantów termomodernizacji lub zaniżonych kosztorysów, skutkując efektami przeciwnymi do zakładanych.

2 Stan obecny

Raport „10 milionów szans, czyli jak termomodernizować budynki z wielkiej płyty w Polsce” [1] wskazuje, że większość budynków wielkopłytowych zostało w ostatnich dwudziestu latach poddane procesowi ich termomodernizacji. Niestety działania te miały okazać się niewystarczające w aspekcie aktualnych cen energii i współczesnych regulacji. Autorzy podkreślają, że liczne ocieplenia wykonano nieprawidłowo i wymagają demontażu przed dalszymi pracami. Raport podaje, że budynki tego typu zamieszkiwane są przez około 25% społeczeństwa w Polsce. Zwróćmy uwagę, iż wiele obiektów wzniesionych w ubiegłym wieku pozostaje bez dodatkowego ocieplenia elewacji od czasu oddania do użytkowania, a stosowane ówczesnie warstwy izolacyjne charakteryzują wady mogące dyskwalifikować przed zabudowaniem podczas termomodernizacji [2].

3 Zidentyfikowane problemy z ociepleniem ścian zewnętrznych

3.1 Niekorzystne uwarunkowania pierwotne

Ówczesne budynki mieszkalne wznoszono głównie metodą prefabrykacji w technologii wielkopłytowej, wieloblokowej lub szkieletowej (ramy H). Zewnętrzne osłony wykonywano z nienośnych murów gazobetonowych (wykańczanych tynkami grubowarstwowymi, płytami betonowymi bądź izolacjami typu lekka-sucha i ciężka-mokra) lub trójwarstwowych ściany ZWS/ZWO [3].

W płytach trójwarstwowych warstwa fakturowa grubości ok. 50–60 mm jest zawieszona na kotwach przechodzących przez izolację i zakotwionych w warstwie nośnej 80–150 mm; wady produkcji (np. braki izolacji po naparzeniu) pogarszają izolacyjność, a niewystarczające kotwienie generuje rysy i ryzyko odspojenia, wymagając wzmocnień kotwami i zaprawami naprawczymi zgodnie z ekspertyzą. Ocieplenia ETICS wprowadzają ciężar powierzchniowy rzędu ok. 0,2–0,6 kN/m², który historycznie nie był uwzględniany w projektowaniu mocowania warstw fakturowych. W przypadku wątpliwości lub wskazań z odpowiedniej ekspertyzy technicznej należy zastosować zabiegi wzmacniające z użyciem specjalnych kotew oraz zapraw naprawczych [4] albo zastosować je profilaktycznie przed robotami ocieplającymi [5].

3.2 Nieprawidłowości systemu ocieplenia

W przypadku obiektu już ocieplonego należy w pierwszej kolejności wykluczyć wady okładziny uniemożliwiające ponowne docieplenie. Weryfikacji podlega wtedy kompletny układ warstw ETICS oraz podłoże, z wykorzystaniem oględzin i badań technicznych. Kluczowe dla bezpieczeństwa jest ustalenie przyczepności układu do pierwotnego podłoża oraz potencjalnej przyczepności międzywarstwowej [6].

W ramach badań przeprowadzono analizę porównawczą wyników inspekcji technicznych elewacji sześciu budynków mieszkalnych wielorodzinnych, zlokalizowanych w różnych regionach Polski. Obiekty wzniesiono przed 1990 r. i ocieplono od strony zewnętrznej przegrody. W pięciu przypadkach ocieplenie wykonano w technologii ETICS (dawniej „lekka-mokra”), a w jednym w nieużywanej współcześnie

¹ mgr inż., Sto Sp. z o.o., s.choromanski@sto.com (* autor do korespondencji)

² dr hab. inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, szymon.firlag@pw.edu.pl

technologii „ciężkiej-mokrej”.

Wyniki oględzin wskazały na zły stan ogólny elewacji we wszystkich obiektach. Stwierdzono zarysowania i/lub odspojenia wyprawy wierzchniej, a ponadto powszechne zabrudzenia, naloty i wykwyty odpowiadające porażeniu biologicznemu, szczególnie na elewacjach północnych i zachodnich. Na części fasad uwidocznił się punktowy efekt „biedronki”, związany z mostkami termicznymi na łącznikach mechanicznych oraz lokalnym różnicowaniem zawilgocenia powierzchni.

Odkrywki systemów ociepleniowych i badania uzupełniające potwierdziły, że we wszystkich przypadkach występują wady wykonawcze istotnie obniżające parametry mechaniczne i trwałościowe układu. Do najczęstszych i najpoważniejszych nieprawidłowości należały: zbyt niska efektywna powierzchnia klejenia płyt izolacyjnych (poniżej wymaganych 40%), niewystarczająca przyczepność warstwy klejowej do podłoża (przełomy adhezyjne na styku klej-podłoże), a także zbyt mała grubość warstwy zbrojonej (często 1–2 mm zamiast ok. 3–5 mm).

Przeprowadzono również szacunkową kalkulację porównawczą, ilustrującą wpływ na koszt przedsięwzięcia dwóch wariantów: rozbiórki i utylizacji istniejącego ocieplenia versus pozostawienia istniejącego układu z zastosowaniem zabiegów wzmacniających (m.in. iniekcje kleju i zwiększenie kotwienia). Wykazano, że koszt rozbiórki i utylizacji jest zauważalnie wyższy dopiero przy grubościach pierwotnej izolacji powyżej 8 cm. W relacji do całości nakładów, różnica ta wynosi od 0 do 10 p.p., co często uzasadnia kompleksową wymianę systemu zamiast jego ryzykownej naprawy.

4 Podsumowanie

Doświadczenia z oględzin i badań potwierdzają liczne błędy wykonawcze, które w wielu przypadkach wymuszają demontaż i utylizację istniejącego systemu przed montażem nowego ocieplenia spełniającego współczesne wymagania izolacyjności i trwałości; krytyczne są: przyczepność do podłoża, efektywna powierzchnia klejenia, prawidłowe kotwienie mechaniczne oraz właściwa grubość i pozycjonowanie siatki w warstwie zbrojonej. Precyzyjna diagnostyka techniczna jest niezbędna przed termomodernizacją przez ocieplenie lub ponowne docieplenie w technologii ETICS, z uwzględnieniem prób *pull-off*, odkrywek, weryfikacji nośności podłoża i zamocowań oraz identyfikacji błędów wykonawczych i materiałowych. Rozważania i wnioski odniesiono do budynków mieszkalnych wzniesionych metodą prefabrykacji przed 1990 r., dla których przytoczono wybrane przykłady badań stanu technicznego istniejących ociepleń.

Błędna lub pominięta ocena stanu technicznego prowadzić może do nietrafionego doboru wariantu i technologii termomodernizacji, co skutkuje niedokładnym oszacowaniem nakładów inwestycyjnych oraz komplikacjami wykonawczymi, obniżającymi efektywność przedsięwzięcia remontowego w całym cyklu realizacji.

Bibliografia

- [1] Dmochowska A., Guzał J., Nędzyński K.: *10 milionów szans, czyli jak termomodernizować budynki z wielkiej płyty w Polsce*, Polska Izba Budownictwa, 2024
- [2] Krause P.: „Ocena stanu technicznego izolacji termicznych na modernizowanych elewacjach”, *Izolacje*, 3, s. 68-75, 2018
- [3] Ligęza W.: „Synteza zagadnień technicznych w rewitalizacji budynków wielkopłytowych”, *Przegląd budowlany*, 6, s. 60-66, 2016
- [4] Piotrowski J.Z., Radosław Zaborek R.: „Program prac remontowych budownictwa systemowego na przykładzie budynków W-70”, *Budownictwo i Architektura*, 3, s. 41-48, 2014
- [5] Wójtowicz M.: „Czy celowe jest badanie wieszaków ścian Trójwarstwowych docieplanych budynków?”, *XIV Konferencja Naukowo-Techniczna „Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego”*, s. 325-331, 2016
- [6] Choromański S.: „Termomodernizacja ścian zewnętrznych o niedostatecznej izolacyjności termicznej Wstęp do diagnostyki technicznej”, *Izolacje*, 11/12, s. 116-118 oraz 120-124, 2024



ENERGOPOL 2025

XV KONFERENCJA NAUKOWO - TECHNICZNA

Fala Renowacji strategią osiągnięcia standardu Net Zero w budownictwie

Politechnika Krakowska

23 - 24 października 2025



SESJA VI

BUDYNKI NISKOENERGETYCZNE - PROJEKT, MATERIAŁY, BADANIA, cz. II

- Analiza rzeczywistego zużycia energii i warunków wewnętrznych w jednorodzinny budynku pasywnym - S. Firląg, A. S. Baig, A. D. Koc.
- SCHE, PSCH. Obliczanie QH,nd - modyfikacja wytycznych – K. Tadeusz.
- Wpływ zacienienia pobliskich budynków na zapotrzebowanie na energię i obliczenia obciążenia w historycznych centrach miast na przykładzie Krakowa - A. Sadłowska-Sałęga, K. Wąs.
- Analiza wpływu lokalizacji powietrznego GWC na jego efektywność - M. Dechnik, K. Pawłowski, M. Cisak.

Analiza rzeczywistego zużycia energii i jakości środowiska wewnętrznego w jednorodziennym budynku pasywnym

Szymon Firlag^{1*}, Abdullah Sikander Baig², Abdullah Dariusz Koc³

Słowa kluczowe: rzeczywiste zużycie energii, komfort cieplny, budynek pasywny, ryzyko przegrzewania

1 Wprowadzenie

Celem niniejszych badań było przeprowadzenie analizy historycznego, rzeczywistego zużycia energii i oceny warunków panujących wewnątrz jednorodziennego budynku pasywnego położonego w pobliżu Warszawy. Ocenie poddano 5-letni okres od 2018 do 2022 roku. Badania obejmowały:

- Zebranie i weryfikację danych dotyczących zużycia energii i temperatury powietrza wewnętrznego,
- Analizę zmienności temperatury, w ramach której przeprowadzono dwie oceny:
 - Ocena ogólna: dokonano klasyfikacji jakości środowiska wewnętrznego na podstawie pomiarów temperatury powietrza w pomieszczeniach w ciągu całego roku wg normy EN 16798-1:2019 [1],
 - Ocena szczegółowa: przeprowadzona dla dwutygodniowych okresów ekstremalnych zarówno w sezonie grzewczym, jak i chłodniczym. Okresy ekstremalne obejmowały najniższe i najwyższe temperatury zewnętrzne zaobserwowane w ciągu analizowanego roku.
- Porównanie rzeczywistego zużycia energii z wymaganiami. Analiza obejmowała zużycie energii na potrzeby ogrzewania, oświetlenia zewnętrznego, oświetlenia wewnętrznego, wentylacji i podgrzewania ciepłej wody użytkowej. Budynek był wyposażony w kominek opalany drewnem.

2 Metodyka i wyniki

2.1 Budynek

Budynek został wybudowany w 2016 roku w pobliżu Warszawy, w miejscowości Babice Stare, w ramach projektu demonstracyjnego realizowanego we współpracy z KAPE, Saint Gobain Polska oraz prywatnym inwestorem. Od 2016 roku korzysta z niego czteroosobowa rodzina. Budynek został w całości zaprojektowany przez KAPE i wyposażony w rozbudowany system monitoringu. Rysunek 1 przedstawia ogólny widok budynku.



Rysunek 1: Widok ogólny budynku, elewacja południowa i zachodnia, źródło: KAPE

2.2 Dane pomiarowe

Analiza rzeczywistego zużycia energii i jakości środowiska w pomieszczeniach została przeprowadzana z krokiem godzinowym. Oryginalne dane pomiarowe były zapisywane w odstępach 10-minutowych, jednak zawierały one pewne braki. Aby ograniczyć ich wpływ na wyniki, przyjęto podejście oparte na średnich godzinowych.

2.3 Kryteria

Zastosowano następujące kategorie jakości środowiska wewnętrznego odnoszące się do następujących

¹ dr hab. inż., prof. uczelni, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, szymon.firlag@pw.edu.pl (* autor do korespondencji)

² mgr inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, abdullahsikanderbaig94@gmail.com

³ mgr inż., Krajowa Agencja Poszanowania Energii, dkoc@kape.gov.pl

wartości temperatur:

- IEQ I: pomieszczenia o wysokich wymaganiach, zalecane dla osób bardzo wrażliwych (niepełnosprawnych, małych dzieci, osób starszych), z temperaturą operatywną $\geq 21,0$ °C w sezonie grzewczym i temperaturą operatywną $\leq 25,5$ °C w sezonie chłodniczym,
- IEQ II: pomieszczenia o średnich wymaganiach (nowe i zmodernizowane budynki) z temperaturą operatywną $\geq 20,0$ °C w sezonie grzewczym i temperaturą operatywną $\leq 26,0$ °C w sezonie chłodniczym,
- IEQ III: pomieszczenia o umiarkowanym poziomie wymagań (istniejące budynki) z temperaturą operatywną $\geq 18,0$ °C w sezonie grzewczym i temperaturą operatywną $\leq 27,0$ °C w sezonie chłodniczym,
- IEQ IV: pomieszczenia o niskim poziomie wymagań (akceptowane przez ograniczoną część roku) z temperaturą operatywną $\leq 18,0$ °C w sezonie grzewczym i temperaturą operatywną $\geq 27,0$ °C w sezonie chłodniczym.

2.4 Wyniki dla roku 2018

Wyniki pomiarów ze wszystkich pomieszczeń porównano z wyżej wymienionymi kryteriami. Wyniki dla całego roku podzielono na sezon chłodniczy i grzewczy. Wyniki dla przykładowego roku 2018 zamieszczono w Tablicy 1.

Tablica 1: Klasyfikacja jakości środowiska wewnętrznego na podstawie pomiaru temperatury powietrza

Pomieszczenie	Klasyfikacja							
	Sezon grzewczy				Sezon chłodniczy			
	IEQ I	IEQ II	IEQ III	IEQ IV	IEQ I	IEQ II	IEQ III	IEQ IV
Przedsiónek	78,4%	19,2%	2,4%	0,0%	95,9%	3,0%	1,1%	0,0%
Kuchnia + jadalnia	80,8%	17,5%	1,6%	0,0%	90,5%	8,2%	1,3%	0,0%
Pokój dzienny	77,7%	20,2%	2,1%	0,1%	97,1%	2,0%	0,8%	0,0%
Biuro	79,3%	18,9%	1,8%	0,0%	93,5%	5,5%	1,1%	0,0%
Toaleta	73,7%	24,7%	1,7%	0,0%	96,7%	3,3%	0,0%	0,0%
Sypialnia dziecięca	80,2%	18,0%	1,8%	0,0%	99,0%	0,8%	0,2%	0,0%
Sypialnia gościnna	66,2%	31,6%	2,2%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Sypialnia główna	74,0%	12,9%	13,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Pokój dziecięcy 16	79,3%	18,7%	2,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Pokój gościnny	91,7%	6,8%	1,5%	0,0%	94,3%	5,7%	0,0%	0,0%
Pokój dziecięcy 18	78,2%	19,7%	2,1%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%

2.5 Zużycie energii

Wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania zmieniał się w zakresie od 9,3 do 19,4 kWh/(m²·rok) w ciągu analizowanych lat. Wskazuje to na niewielkie odchylenie od wymagań dotyczących budynków pasywnych. Zużycie energii elektrycznej było bardzo małe, a wyniki zależą głównie od ilości drewna spalane w kominku. Zużycie nieodnawialnej energii pierwotnej zmieniało się w zakresie od 55,1 do 93,5 kWh/(m²·rok). Obejmowało ono ogrzewanie, przygotowanie c.w.u., oświetlenie wewnętrzne i pracę wentylacji mechanicznej.

3 Podsumowanie

Wyniki badań pokazują, że budynek zapewnia wysoką jakość środowiska w ciągu całego roku, ponieważ temperatura wewnętrzna mieści się głównie w pierwszej kategorii komfortu, IEQ I. Nie wystąpiły problemy związane z przegrzaniem lub niedograniem, nawet podczas ekstremalnych warunków pogodowych. Zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania pozostało bardzo zbliżone do standardu pasywnego, czyli 15 kWh/(m²·rok). Całkowite zużycie nieodnawialnej energii pierwotnej na ogrzewanie, ciepłą wodę i energię elektryczną spełnia wymaganą wartość 120 kWh/(m²·rok). Ponadto wykazano, że możliwe jest utrzymanie komfortowej temperatury powietrza w pomieszczeniach (nawet przy temperaturze powietrza zewnętrznego sięgającej 35 °C) bez klimatyzacji lub systemów chłodzenia. Integracja systemu PV stanowi realną drogę do przekształcenia budynku w obiekt o zerowym zużyciu energii w bilansie rocznym, przyczyniając się do realizacji celów zrównoważonego rozwoju i redukcji emisji dwutlenku węgla.

Bibliografia

- [1] EN 16798-1:2019, *Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6*

SCHE, PSCHE. Obliczanie $Q_{H,nd}$ – modyfikacja wytycznych

Krzysztof Tadeusz Projektowania i Nadzory Budowlane Krzysztof Tadeusz, Jaromierz 35, 64-225 Kopanica, krzysztof.tadeusz@hotmail.com

Słowa kluczowe: obciążenie grzewcze, zapotrzebowanie na ciepło i chłód

1 Przyczyny wprowadzania zmian do obliczeń dla parametru $Q_{H,nd}$

Przyczyny wprowadzania zmian do metodologii obliczeń wynika z faktu dużych rozbieżności pomiędzy tym, co zostało obliczone a tym co zostało pomierzone podczas eksploatacji budynku. Rozbieżności te wahają się od 10-20 kWh/m²*rok w zależności od gabarytów budynku i są one zaniżone, a więc jesteśmy po tej „niebezpiecznej” stronie barykady.

Dla przykładu : budynek mieszkalny jednorodzinny pod Piłą. Powierzchnia użytkowa 233m². Według polskiej metodologii w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej wynik $Q_{H,nd}$ wyniósł 8kWh/m²*rok. Z kolei według metodologii Passive House Institute w Darmstadt wynik wyszedł na poziomie 28 kWh/m²*rok. Obliczeniowy wynik na poziomie 8kWh/m²*rok jest wynikiem zbyt optymistycznym.

2 Propozycja zmian.

2.1 W celu lepszego zrozumienia trudności z projektowaniem budynków do najwyższych standardów energetycznych przedkładam propozycję klasyfikacji budynków :

- a) standard pasywny : 0- 15 kWh/m²*rok
- b) budynki wysoce energooszczędne : 16-30 kWh/m²*rok
- c) budynki energooszczędne : 31-50 kWh/m²*rok
- d) budownictwo tradycyjne > 51 kWh/m²*rok

2.2 Zmiany dotyczące nasłonecznienia

Ilość zysków wewnętrznych od nasłonecznienia jest znacząca. Dla przykładu lokalizacja : Poznań / Piła.

Tablica 1: Zestawienie dla wszystkich kierunków stron świata przy nachyleniu 90°

	Obecnie obowiązująca metodologia	PHI Darmstadt
północ	643	291
południe	860	890
wschód	771	633
zachód	732	640

2.3 Zyski wewnętrzne [1]

Przyjmowanie zryczałtowanych zysków wewnętrznych dla budynków mieszkalnych jednorodzinnych jest dużym błędem. Na chwilę obecną mamy 6,8W/m². Wynika z tego, że wielkość budynku nie gra roli i zyski wewnętrzne są stałe. Dla budynku analizowanego mamy 2,3 W/m². Wiedząc jakie mamy sprzęty RTV, AGD, oraz oświetlenie jesteśmy w stanie dużo precyzyjniej policzyć zyski wewnętrzne.

Tablica 2: Zyski wewnętrzne vs $Q_{H,nd}$

Zyski wewnętrzne [W/m ²]	$Q_{H,nd}$
1,50	28
6,80	7,6

2.4 Wysokość nad poziomem morza

Uwzględniając zero budynku względem wysokości nad poziomem morza urealniamy temperatury obliczeniowe na zewnątrz o każde 0,6°C na 100m różnicy wysokości względem stacji meteo, z której jest pobierany pomiar. Dzięki temu skorygujemy temperatury obliczeniowe i unikniemy specyficznych miejsc, które są np. w dolinach a stacja meteo znajduje się dużo wyżej (np. rejon Zakopanego, czy Zielonej Góry).

2.5 Szczelność powietrzna budynku [2]

Jest to jeden z najważniejszych parametrów jakie powinniśmy założyć do obliczeń oraz weryfikować przy odbiorach budynku. Nie da się przewidzieć „na oko” jaka będzie dokładnie szczelność powietrzna budynku uwzględniając tylko nieszczelności przez stolarkę okienną. Ponadto zgodnie z załącznikiem nr 2 do rozporządzenia [2] stolarka okienna oraz drzwiowa powinna być całkowicie szczelna na przenikanie powietrza. Wykonując obliczenia dla projektowanych świadectw charakterystyki energetycznej budynku powinniśmy założyć odpowiednią szczelność powietrzną budynku. Z kolei przy odbiorach budynków powinniśmy bezwzględnie tę szczelność zmierzyć.

Tabela 3. Różnice w obliczeniach z uwagi na różne parametry n₅₀

n ₅₀	Wyniki [kWh/m ² *rok]
0,1	26
0,6	28
1,5	30
3,0	35

Jak widać przyjmując „z palca” szczelność powietrzną można popełnić spory błąd. W przypadku analizowanego budynku błąd wynosi 9 [kWh/m²*rok] x 233 [m²] = 2097 [kWh/rok]

2.6. Ciepła woda użytkowa.

Zyski wewnętrzne od strat w przypadku ciepłej wody użytkowej oraz jego magazynowania powinny być wliczane do bilansu energetycznego. Ponadto powinien również ulec zmianie sposób liczenia Eu_{cwu} z uwzględnieniem zużycia ilości wody na prysznic, wannę, mycie naczyń, zmywarkę, pralkę itp. a nie w uwzględnieniu na m² powierzchni mieszkalnej. Jest to analogiczna sytuacja do zysków wewnętrznych z pkt. 2.3. W celu obliczeń EU dla CWU proponuje się rozwiązanie :

- a) n – ilość osób
- b) k – ilość użyć na dzień
- c) w – ilość pobranej wody do użycia*
- d) ΔT – temperatura ciepłej wody (45°C) – temperatura zimnej wody (10°C)
- e) c_w – ciepło właściwe wody

$$EU = n * k * 365 * w * c_w * \Delta T / 3600 \quad (1)$$

3 Podsumowanie

Celem niniejszych zmian jest uświadomienie uczestnikom procesu budowlanego tj. Inwestorom, projektantom, kierownikom budów, że obliczanie zapotrzebowania na ciepło $Q_{H,nd}$ jest procesem, w którym należy podchodzić w indywidualny sposób. Przedstawione powyżej zmiany nie są żadną rewolucją a jedynie kosmetycznymi zmianami, dzięki którym urealnimy wyniki.

Ponadto zyski wewnętrzne powinny być pokazywane w świadectwie charakterystyki energetycznej, aby można było w łatwy sposób wyłapać ewentualne naciągania wyników. To ważne w szczególności kiedy pojawią się klasy energetyczne budynków.

Bibliografia

- [1] Prof. dr hab. inż. Edward Szczechowiak : Artykuł „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” 54/10, 2024
- [2] Rozporządzenie dotyczące warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2022 poz. 1225)

Wpływ zacienienia pobliskich budynków na zapotrzebowanie na energię i obliczenia obciążenia w historycznych centrach miast na przykładzie Krakowa

Agnieszka Sadłowska-Sałęga^{1*}, Krzysztof Wąs²

Słowa kluczowe: budynki zabytkowe, efekt zacienienia, modernizacja, zapotrzebowanie na energię

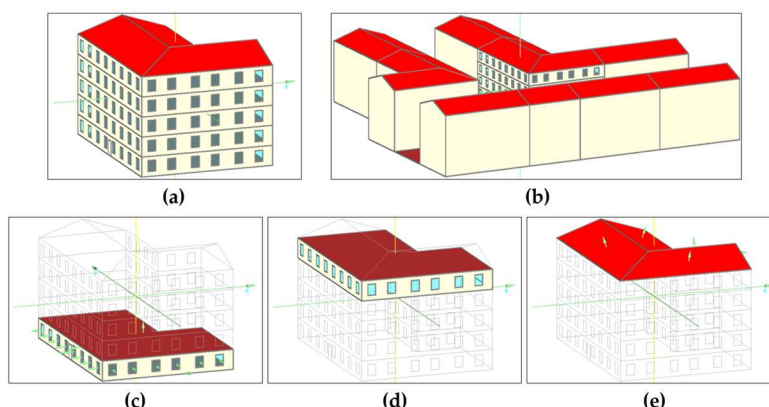
1 Wprowadzenie

Przepisy UE wymuszają wprowadzenie szeregu działań mających na celu redukcję zużycia energii w sektorze budowlanym. Redukcja ta powinna zostać osiągnięta poprzez termomodernizację budynków o najniższej efektywności energetycznej. W przypadku miast takich jak Kraków oznacza to konieczność modernizacji konstrukcji, jak i wdrożenia nowoczesnych systemów HVAC, zabytkowych budynków. Jak wiadomo morfologia miasta jest czynnikiem wpływającym na charakterystykę energetyczną budynków, a tym samym miast. Kwantytatywne określenie wpływu zacienienia od sąsiednich budynków w przypadku historycznych centrów miast stanowi wyzwanie, ze względu na fakt, że większość budynków należy traktować jako studium przypadku. Oprócz parametrów wskaźnikowych i układów budynków [1] [2] głównym czynnikiem wpływającym na wpływ zacienienia budynku jest klimat. Większość badań w tej dziedzinie dotyczy klimatu ciepłego lub obszarów z nowoczesną zabudową (np. [3]). Dlatego celem badania było zbadanie wpływu zacienienia ze strony pobliskich budynków na zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia oraz obciążenia cieplne i chłodnicze (dla całego budynku i poszczególnych pięter budynku traktowanych jako odrębne strefy obliczeniowe) w klimacie umiarkowanym Europy Środkowej w przypadku historycznych centrów miast, na przykładzie Krakowa.

2 Materiał i metody

Analizę opiero o symulacje kształtowania się mikroklimatu oraz cieplno-wilgotnościowych parametrów przegród wielorodzinnej kamienicy mieszkalnej.

Do analizy zysków i strat ciepła stworzono (programie WUFI®Plus) generyczny model budynku oraz fragment typowego układu urbanistycznego. Ostateczny model budynku przedstawiono na rysunku 1. Należy zaznaczyć, że obliczenia zostały wykonane w dwóch wariantach: bez uwzględnienia zacienienia oraz z uwzględnieniem zacienienia od sąsiadujących budynków.



Rysunek 1: Model analizowanego budynku w WUFI®plus: bez sąsiednich budynków (a) i z sąsiednimi budynkami (b) oraz podział budynku na strefy: parter (c), piąte piętro (d) i nieużywane poddasze (e)

Modelowany budynek ma 5 kondygnacji nadziemnych o wysokości pomieszczeń 3,7 m. Każda kondygnacja ma powierzchnię 672 m², co daje łączną powierzchnię zabudowy 3360 m². Kamienica ma kształt litery L o wymiarach 27 × 36 m i wysokości 23 m. Budynek znajduje się w południowo-zachodnim narożniku kwartału kamienicy, wśród innych budynków o tej samej wysokości. Model podzielono łącznie na siedem stref

¹ dr inż., Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, agnieszka.sadlowska@urk.edu.pl (* autor do korespondencji)

² dr inż., Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Krzysztof.was@urk.edu.pl

obliczeniowych: 5 kondygnacji zamieszkałych (każda traktowana jako osobna strefa), nieużywane poddasze oraz budynki sąsiednie połączone w jedną strefę (począwszy od parteru Z_1 do Z_5). Każda kondygnacja została podzielona na 5 mieszkań i klatkę schodową. Przegrody wewnętrzne uwzględniono w modelu jako tzw. komponenty niewizualizowane wpływające jednak na pojemność akumulacyjną budynku.

Aby zminimalizować możliwość dokonania błędnego wyboru warunków brzegowych przyjęto trzy klimaty statystyczne oparte na danych z różnych okresów [4]: 2004 do 2018, 2007 do 2021 oraz 2009 do 2023. W obliczeniach uwzględniono wewnętrzne zyski ciepła. Przyjęto profile dobowe z bazy danych programu WUFI (dla rodziny 4-osobowej).

Aby określić zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i chłodzenia, w obliczeniach przyjęto pracę idealnych (o nieskończonej mocy) systemów ogrzewania i chłodzenia. Dla zapewnienia komfortu cieplnego użytkowników minimalną dopuszczalną temperaturę ustalono na 20°C, a maksymalną na 26°C.

3 Wyniki

W wyniku przeprowadzonych obliczeń określono zyski ciepła od promieniowania słonecznego. W przypadku obliczeń nieuwzględniających zacielenia, dla każdej kondygnacji (strefy obliczeniowej) maksymalne godzinowe zyski ciepła słonecznego wyniosły 13 kW dla TMY_1 oraz 14 kW dla TMY_2 i TMY_3. Przebiegi zmienności dla poszczególnych stref są niemal identyczne (w obrębie poszczególnych TMY) – z odchyleniem standardowym 3,65 kW. W przypadku wariantów, w których uwzględniono zacielenie, zyski ciepła słonecznego różnią się w zależności od strefy/piętra. Dla tego przypadku różnice w maksymalnych godzinowych zyskach ciepła wyniosły 3,1 kW (dla TMY_1 i TMY_2) oraz 1,5 kW (dla TMY_3). Zaobserwowano również zależność, że im niższe piętro tym większa zmienność zysków ciepła od promieniowania słonecznego.

W omawianym przypadku roczne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, po uwzględnieniu zacielenia, wzrosło o 7% dla TMY_1 (25793 kWh) oraz o 8% (27505 kWh) dla TMY_2 i TMY_3 (27726 kWh). Biorąc pod uwagę podział budynku na strefy, obliczenia pokazują, że wzrost zapotrzebowania na energię do ogrzewania zależy również od kondygnacji. Wynosi on:

- dla TMY_1: 11% dla Z_1, 7% dla Z_2, 5% dla Z_3, 2% dla Z_4 i 9% dla Z_5,
- dla TMY_2: 10% dla Z_1, 8% dla Z_2, 6% dla Z_3, 3% dla Z_4 i 10% dla Z_5,
- dla TMY_3: 10% dla Z_1, 8% dla Z_2, 7% dla Z_3, 3% dla Z_4 i 10% dla Z_5.

W przypadku zapotrzebowania na energię do chłodzenia, jak można było się spodziewać, po uwzględnieniu zacielenia odnotowano spadek: 50% dla TMY_1 (3302 kWh), 49% dla TMY_2 (2645 kWh) i ostatecznie 53% dla TMY_3 (3871 kWh). Podobnie jak w przypadku ogrzewania, w tym przypadku wystąpiły różnice dla stref:

- dla TMY_1: 99% dla Z_1, 73% dla Z_2, 59% dla Z_3, 41% dla Z_4 i 24% dla Z_5,
- dla TMY_2: 92% dla Z_1, 70% dla Z_2, 57% dla Z_3, 38% dla Z_4 i 24% dla Z_5,
- dla TMY_3: 95% dla Z_1, 82% dla Z_2, 63% dla Z_3, 39% dla Z_4 i 26% dla Z_5.

4 Podsumowanie

Uwzględnienie zacielenia ze strony pobliskich budynków w obliczeniach energetycznych budynków może znacząco wpłynąć na wyniki w klimatach umiarkowanych. W przypadku typowej 5-kondygnacyjnej kamienicy mieszkalnej z przełomu XIX i XX wieku oszacowano 8% wzrost zapotrzebowania na energię do ogrzewania i 50% spadek zapotrzebowania na energię do chłodzenia. Analiza pokazuje również, że podział budynków na poszczególne piętra jest równie ważny. Dokładność obliczeń wpływa nie tylko na wielkość systemu, ale także na wydajność budynku w dłuższej perspektywie, ponieważ systemy HVAC o zbyt dużych lub zbyt małych rozmiarach mogą działać nieoptymalnie [5].

Bibliografia

- [1] Liu H.; Pan Y.; Yang Y.; Huang Z. „Evaluating the impact of shading from surrounding buildings on heating/ cooling energy demands of different community forms”. *Build. Environ.* 2021, 206, 108322
- [2] Wen J. et al. „Study of surrounding buildings’ shading effect on solar radiation through,” *Sustainable Cities and Society*, 2022, 86, 104143
- [3] Natanian J. i Wortmann T. „Simplified evaluation metrics for generative energy-driven urban design: A morphological study of residential blocks in Tel Aviv”, *Energy and Buildings*, 2021, 240, 110916.
- [4] Repository of Building Simulation Climate Data Available online: <https://climate.onebuilding.org/> (01.06.2025).
- [5] Mao C.; Baltazar J.; Haberl J. (2018). Comparison of ASHRAE peak cooling load calculation methods,” *Science and Technology for the Built Environment*, 25(2), 189–208

Analiza wpływu lokalizacji powietrznego GWC na jego efektywność

Mirosław Dechnik^{1*}, Krzysztof Pawłowski², Mirosław Cisak³

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, gruntowy powietrzny wymiennik ciepła, zintegrowane systemy sterowania

1 Wprowadzenie

Budownictwo o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię (nZEB) obowiązuje jako standard projektowania i realizacji zarówno w przypadku nowych jak i termomodernizowanych budynków od 2021 roku. Nowy standard budynków nZEB polega na holistycznym podejściu do procesu projektowania, z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii do produkcji energii cieplnej i elektrycznej. Pozyskiwanie energii z odnawialnych źródeł energii w aspekcie różnych zastosowań jest tematem nowym dla sektora budownictwa i wymaga wielu prac badawczych nad optymalizacją wydajności systemów [1]. W artykule autorzy skupili się nad analizą zastosowania powietrznego gruntowego wymiennika ciepła, stanowiącego źródło wstępnego ogrzewania/chłodzenia powietrza wentylacyjnego. Badania „in situ” zostały wykonane na przykładzie systemu wentylacji mechanicznej w eksperymentalnym budynku laboratorium Małopolskiego Centrum Budownictwa Energooszczędnego (LMCBE), zlokalizowanym na terenie kampusu Politechniki Krakowskiej. Badania objęły pomiary temperatur powietrza w rurach gruntowego wymiennika ciepła oraz gruntu wokół instalacji GWC. Badania przeprowadzone w sezonie zimowym obejmowały system GWC ułożony w gruncie wokół budynku (standardowe rozwiązanie) oraz w gruncie pod budynkiem MCBE. Uzupełnieniem badań „in situ” są analizy numeryczne. Celem badania było wykazanie różnic wpływu temperatury gruntu na ogrzewanie powietrza zewnętrznego zaciąganego do systemu wentylacyjnego dla dwóch odmiennych lokalizacji systemu GWC (grunt obok budynku oraz grunt pod budynkiem).

2 Metoda badawcza

Badania zostały przeprowadzone w budynku eksperymentalnym LMCBE zlokalizowanym na terenie Politechniki Krakowskiej. Budynek jest położony w ścisłym centrum Krakowa w gęstej zabudowie. Na rys. 1 przedstawiono widok budynku, a na rys. 2 pokazano jego lokalizację.



Rys. 1. Widok budynku LMCBE



Rys. 2. Lokalizacja LMCBE [3]

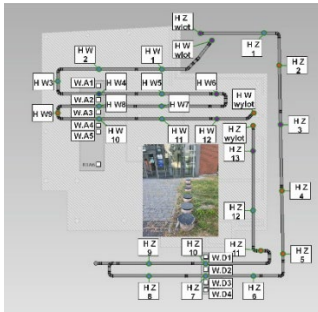
Laboratorium MCBE to obiekt składający się z 5 kondygnacji oraz 14 stref klimatycznych i „energetycznych”. Poszczególne strefy są wyposażone w zróżnicowane systemy klimatyzacyjno-wentylacyjne, sterowane w sposób niezależny według zapotrzebowania. Budynek LMCBE zapewnia możliwość badania i oceny obiektu w naturalnej skali „in situ”. Analizowane w artykule badania związane są porównywaniem różnych systemów powietrznych gruntowych wymienników ciepła. Eksperymentalny system GWC w LMCBE składa się z dwóch niezależnych wymienników – jednego ułożonego pod budynkiem i drugiego poza jego obrysem – a także z bypassu oraz układu sterowania wyborem czepni. Każdy z wymienników jest wyposażony w czujniki temperatury i wilgotności względnej przepływającego przez kanał

¹ dr inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska; mirosław.dechnik@pk.edu.pl (* autor do korespondencji)

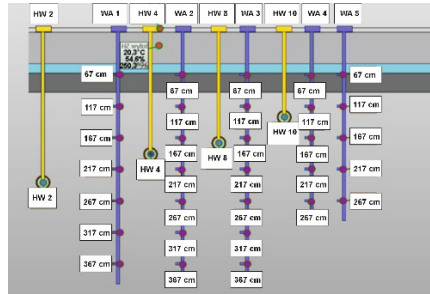
² dr inż. prof. PB, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Bydgoska, krzypaw@pbs.edu.pl

³ mgr inż., Energy Consulting Mirosław Cisak, mirocisak@gmail.com

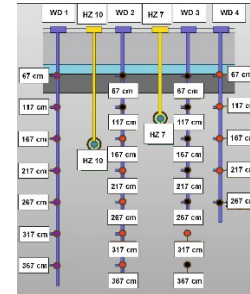
powietrza, a w przyległym do kanałów gruncie rozmieszczono dwie siatki czujników temperatur. Dokładność pomiarów w kanałach wymienników wynosiła dla temperatury $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ w zakresie $-25^{\circ}\text{C} \div 0^{\circ}\text{C}$ oraz $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ w zakresie $0^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$, a dla wilgotności względnej $\pm 3\%$ w zakresie $10\% \div 90\%$. Dla pomiarów temperatury w gruncie $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ w zakresie $-10^{\circ}\text{C} \div 30^{\circ}\text{C}$. Układ systemów GWC oraz punkty pomiarowe przedstawiono na rys. 3 i rys. 4 a i b. Pomiary wykonano w okresie 1 – 8.01.2017, z 20-minutowym krokiem rejestracji danych.



Rys. 3. Układ GWC



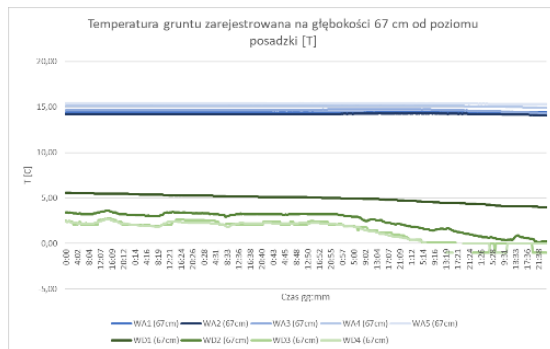
Rys. 4a. Opomiarowanie wew. GWC



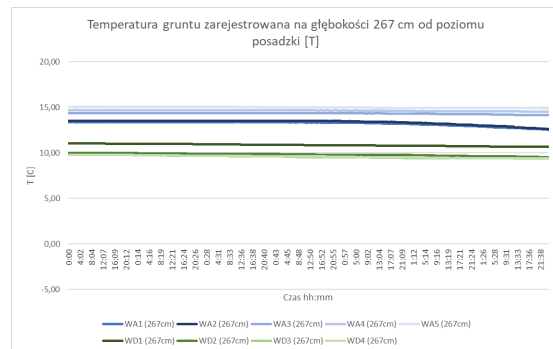
Rys. 4b. Opomiar. zew. GWC

3 Rezultaty

Na wykresie 5a przedstawiono zarejestrowaną temperaturę gruntu wokół rur GWC na głębokości 67 cm od poziomu posadzki. Na wykresie 5b przedstawiono zarejestrowaną temperaturę gruntu wokół rur GWC na głębokości 267 cm od poziomu posadzki.



Rys. 5a Zarejestrowana temperatura gruntu wokół rur GWC na głębokości 67 cm



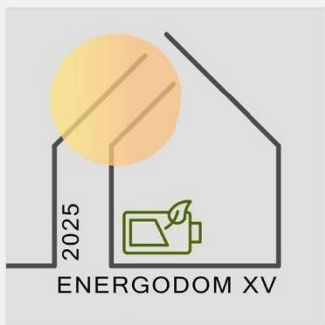
Rys. 5b Zarejestrowana temperatura gruntu wokół rur GWC na głębokości 267 cm

4 Wnioski

Przykładowe wykresy oparte o pomiary gruntu wokół powietrznych wymienników ciepła wykazują znaczącą różnicę temperatury zarejestrowaną na poziomie 67 cm od poziomu posadzki LMCBE. Dla GWC umieszczonego bezpośrednio pod budynkiem temperatura utrzymywała się w przedziale $14,07^{\circ}\text{C} \div 15,40^{\circ}\text{C}$. Dla linii GWC poprowadzonej wokół budynku na poziomie 67 cm temperatura mieściła się w przedziale $-1,07^{\circ}\text{C} \div 5,59^{\circ}\text{C}$ i cechowała się wyższą zmiennością. Temperatury gruntu na poziomie 267 cm od poziomu posadzki LMCBE (rys. 5b) wykazują dużo większą zbieżność. Dla GWC umieszczonego bezpośrednio pod budynkiem temperatura utrzymywała się w przedziale $12,53^{\circ}\text{C} \div 15,06^{\circ}\text{C}$. Dla linii GWC poprowadzonej wokół budynku temperatura mieściła się w przedziale $9,31^{\circ}\text{C} \div 11,03^{\circ}\text{C}$. Na podstawie pomiarów i wybranych przebiegów temperatur, można zauważyć, że budynek oddaje ciepło stabilizując i podnosząc temperaturę gruntu, co, w warunkach zimowych, zapewnia korzystniejsze warunki pracy wymiennika usytuowanego pod budynkiem względem wymiennika ułożonego w sposób standardowy - w gruncie obok budynku. Wyższa temperatura otaczającego gruntu pozwala wymiennikowi osiągać większą wydajność wstępnego podgrzewania powietrza wentylacyjnego. W kolejnych pracach planowana jest analiza całłościowego bilansu energetycznego budynku z tego typu wymiennikiem, a także porównanie obu układów wymienników w pozostałych sezonach roku.

Bibliografia

- [1]. Romańska-Zapała A., Bomberg M., Fedorczyk-Cisak M., Furtak M., Yarbrough D., Dechnik M. "Buildings with Environmental Quality Management (EQM) Part 2: Integration of Hydronic Heating/Cooling with Thermal Mass". *J Build Phys* 2018.
- [2]. Interaktywna Mapa Kampusów Politechniki Krakowskiej | Enhanced Reader (accessed on 31 August 2025).



ENERGOPOL 2025

XV KONFERENCJA NAUKOWO - TECHNICZNA

Fala Renowacji strategią osiągnięcia standardu Net Zero w budownictwie

Politechnika Krakowska

23 - 24 października 2025



SESJA POSTEROWA

- Faktyczne właściwości izolacji refleksyjnych – T. Kisilewicz, M. Golec
- Możliwości pomiarów właściwości akustycznych materiałów wykończeniowych w komorach pogłosowych wykonanych w skali: praktyczne zastosowanie i dokładność wyników – A. Szelaąg, A. Kłosać, B. Ziarko, K. Baruch-Mazur
- Wpływ rozwiązania mocowania na przemieszczenia warstw ETICS dla modeli ocieplenia na ociepleniu – A. Byrdy, M. Golec
- Pomiar sztywności dynamicznej elastomerów – problemy pomiarowe i podejście alternatywne – K. Nering, K. Nering
- HBIM – Integracja Fotogrametrii i Skaningu Laserowego 3D jako Nowego Narzędzia Renowacji i Digitalizacji Dziedzictwa Kulturowego – Ł. Łukaszewski, H. Łukaszewska
- Aktualne metody budowania z konopi przemysłowych w Unii Europejskiej – M. Kamieniarz
- Wnętrze krajobrazowe, a parametry energetyczne budynku – J. Gintowt, S. Kuc, A. Ozimek

Faktyczne właściwości izolacji refleksyjnych

Tomasz Kisilewicz^{1*}, Michał Golec²

Słowa kluczowe: izolacja refleksyjna, izolacja termiczna, promieniowanie długofalowe, emisyjność.

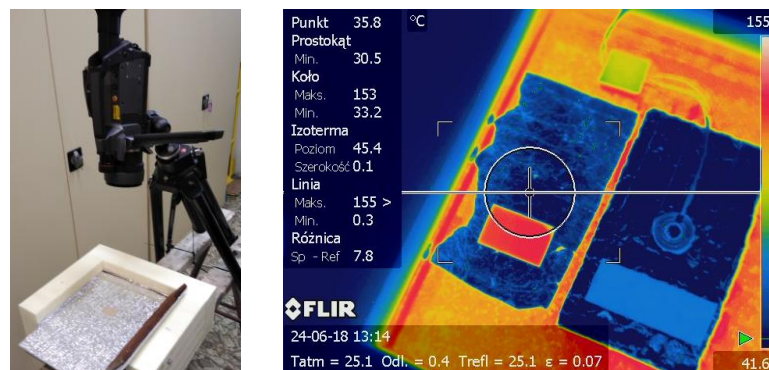
1 Wprowadzenie

Idea ograniczania transportu ciepła poprzez skuteczne odbijanie lub niskie emitowanie promieniowania długofalowego jest znana i stosowana już od dawna. Jednym z ciekawych przykładów praktycznego rozwiązania bazującego na tym zjawisku jest patent nr 9848, wydany przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej w roku 1929, a dotyczący użycia kombinacji cienkich „płatów metalowych” i warstw powietrza do izolowania przegród oraz przewodów rurowych. Stosowane obecnie rozwiązania to zwykle wielowarstwowa kombinacja materiałów o wysokich zdolnościach refleksyjnych, porowatych materiałów o niskiej przewodności cieplnej oraz szczelin powietrznych.

Sposób działania izolacji refleksyjnej, choć nie jest skomplikowany pod względem fizycznym, to nie jest powszechnie rozumiany, nie tylko przez użytkowników, ale nawet przez dystrybutorów tych materiałów. To z kolei stwarza okazję do nieporozumień, dziwnych interpretacji zjawisk fizycznych i niestety także do nieprawdziwych deklaracji. Celem przeprowadzonych badań oraz powstałego na ich bazie artykułu jest próba uporządkowania faktów oraz opinii na temat niektórych produktów oferowanych na rynku budowlanym.

2 Emisyjność długofalowa

Kluczowa właściwość materiału stosowanego jako izolacja refleksyjna to wartość jego współczynnika emisji/absorpcji ε w zakresie promieniowania długofalowego. Współczynnik ten określa się poprzez porównanie właściwości konkretnego materiału do ciała doskonale czarnego o idealnych (100%) zdolnościach do emisji oraz do absorpcji w tym zakresie promieniowania. Wartość tego współczynnika dla znakomitej większości materiałów budowlanych jest wysoka i sięga 70-90 %. Inne właściwości mają natomiast metale, które w przypadku czystej chemicznie i wypolerowanej powierzchni mogą mieć emisyjność na poziomie kilku lub kilkunastu procent w stosunku do ciała doskonale czarnego. W zastosowaniach budowlanych najczęściej stosuje się w tym celu folię aluminiową. Poważnym problemem praktycznym jest utrzymanie czystości powłoki refleksyjnej w warunkach długotrwałej eksploatacji obiektu. Bezpośredni pomiar emisyjności wymaga specjalnej aparatury laboratoryjnej. Można ją również określać stosując przybliżoną metodę porównawczą, z użyciem kamery termowizyjnej i materiału wzorcowego, w formie np. cienkiej taśmy o certyfikowanej emisyjności długofalowej, naklejonej na badaną powierzchnię. Tę metodę zastosowano do badań w Laboratorium Fizyki Budowli Katedry Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli PK, (rys. 1).



Rysunek 1: Sposób porównawczego pomiaru długofalowej emisyjności powierzchni izolacji refleksyjnej

Po lewej stronie rysunku pokazano stanowisko pomiarowe. Badana próbka leży na podgrzanej i trójkrotnie izolowanej masywnej płycie marmurowej, utrzymującej stałą temperaturę podczas pomiaru. Po stronie prawej pokazano termogram badanych materiałów z widocznym w części centralnej prostokątnym kawałkiem certyfikowanej taśmy o wysokiej emisyjności (95%).

¹ dr hab. inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, tkisilew@pk.edu.pl (* autor do korespondencji)

² mgr inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, michal.golec@pk.edu.pl

Metodą porównawczą wykonano badania emisyjności powierzchni zewnętrznej kilku materiałów dostępnych na rynku z warstwami refleksyjnymi na obydwu brzegach. W tab. 1 zestawiono uzyskane w ten sposób wyniki badań.

Material	Emisyjność długofalowa [%]
folia Aluthermo	8
folia z pianką PU	68
folia pęcherzykowa	59
folia kuchenna (strona z połyskiem)	5

Tylko dwa spośród badanych materiałów mają faktyczne właściwości refleksyjne w zakresie promieniowania długofalowego. Dwa pozostałe, mimo srebrzystego wyglądu, sugerującego czystą aluminiową warstwę refleksyjną, takich właściwości praktycznie nie mają. Niskoemisyjne właściwości aluminium mogły zostać utracone poprzez powierzchnię cienką warstwę tworzywa sztucznego.

3 Izolacyjność termiczna warstwowych materiałów refleksyjnych

Niezależnie od zdolności emisyjnych poszczególnych warstw izolacji refleksyjnej, główna informacja handlowa dla użytkownika to oczekiwany opór cieplny złożonego produktu. Podstawowa metoda badania doświadczalnego to pomiary prowadzone w komorze klimatycznej (Hot Box) przy ułożeniu badanego materiału zgodnie z jego stosowaniem. Dopuszczane są także pomiary oporu cieplnego izolacji refleksyjnej w aparacie płytowym, służącym zwykle do pomiaru przewodności cieplnej materiałów. W przypadku materiałów z refleksyjnymi zewnętrznymi okładzinami konieczne jest utworzenie szczelin powietrznych wokół brzegów, aby uwzględnić ich opór w pomiarze. Na rys. 2 pokazano sposób przygotowania do pomiaru w aparacie płytowym Fox 314 próbki izolacji refleksyjnej. Materiał izolacyjny umieszczono pomiędzy dwiema ramkami z ekstrudowanego polistyrenu, zamykając obydwie szczeliny płytą pilśniową i uszczelniając cały układ taśmą. Uszczelnienie próbki ma na celu odseparowanie zjawisk konwekcyjnych w obydwu szczelinach.



Rysunek 2: Sposób przygotowania izolacji refleksyjnej do badania w aparacie płytowym

Informacje techniczne podawane przez producentów izolacji refleksyjnych mają różne formy. Podawany może być opór cieplny samej izolacji lub ze szczelinami wokół niej, zastępcza przewodność cieplna całego układu lub też równoważna grubość tradycyjnej izolacji termicznej.

W laboratorium PK przeprowadzono m.in. pomiar oporu cieplnego złożonej izolacji refleksyjnej Aluthermo QUATTRO. Na stronie producenta podano, że przy grubości 10 mm i dwóch szczelinach powietrznych, produkt ten uzyskuje obliczeniowy opór cieplny $5.70 \text{ m}^2\text{K/W}$, albo też jest „do 13% bardziej efektywny niż 200 mm wełny mineralnej”. Ten sam materiał uzyskał KOT, wydaną przez ITB. Wg tej oceny opór cieplny układu folii termoizolacyjnej i dwóch szczelin powietrznych wynosi $0.878 \text{ m}^2\text{K/W}$ i jest 6.5 razy mniejszy niż podawany w innym miejscu. W wyniku badań przeprowadzonych w aparacie płytowym PK, opór cieplny izolacji z dwiema szczelinami powietrznymi o grubości 19 mm, przy przepływie ciepła z dołu do góry, wyniósł $0.847 \text{ m}^2\text{K/W}$. Przy odwróconym przepływie ciepła uzyskano opór cieplny $1.084 \text{ m}^2\text{K/W}$. Opór cieplny samej izolacji Aluthermo wyniósł zaledwie $0.316 \text{ m}^2\text{K/W}$.

4 Podsumowanie

Złożony transport ciepła w izolacjach refleksyjnych nastręcza trudności z oceną i pomiarem ich właściwości. To może prowadzić do podawania informacji niesprawdzonych i daleko odbiegających od wartości realnych. Niezbędna jest więc w projektowaniu ostrożność przy ich doborze, szukanie wiarygodnych informacji i ew. skrupulatna weryfikacja pomiarowa oczekiwanych właściwości izolacyjnych.

Możliwości pomiarów właściwości akustycznych materiałów wykończeniowych w komorach pogłosowych wykonanych w skali: praktyczne zastosowanie i dokładność wyników

Agata Szeląg¹*, Andrzej Kłosak², Bartłomiej Ziarko³, Katarzyna Baruch-Mazur⁴

Słowa kluczowe: izolacyjność akustyczna, pochłanianie dźwięku, rozpraszanie dźwięku, komory pogłosowe, pomiary akustyczne,

Materiały i konstrukcje stosowane jako elementy wykończeniowe w pomieszczeniach, w których akustyka wnętrz odgrywa kluczową rolę, wymagają określenia określonych parametrów akustycznych, takich jak pochłanianie dźwięku, rozpraszanie dźwięku i izolacyjność. Pomiary tych parametrów przeprowadza się zazwyczaj w warunkach laboratoryjnych na specjalnie przygotowanych próbkach. Badania takie są kosztowne i skomplikowane logistycznie ze względu na konieczność dostępu do specjalistycznych laboratoriów akustycznych, konieczność przygotowania wielkogabarytowych próbek pomiarowych i ich transportu na miejsce badań. Dlatego w środowisku naukowym coraz częściej wykonuje się tego typu badania pod kątem określonych zastosowań na próbkach wykonanych w znacznie mniejszej skali, co wiąże się również z koniecznością skalowania całego stanowiska pomiarowego. Badania akustyczne z wykorzystaniem próbek i stanowisk pomiarowych o małej skali nie zostały jeszcze skomercjalizowane, chociaż ich wyniki i potencjalne zastosowania są bardzo obiecujące.

Stanowisko do badania pochłaniania dźwięku



Rysunek 1: Stanowisko pomiarowe do badań pochłaniania dźwięku: widok komory od zewnątrz przed zamontowaniem elementów rozpraszających dźwięk (z lewej), widok komory od wewnątrz po zamontowaniu elementów rozpraszających dźwięk (z prawej)- stanowisko pomiarowe stworzone na potrzeby realizacji projektu POIR.01.01.01-00-0965/18 pt. „Opracowanie technologii zintegrowanych elementów modyfikacji akustycznej” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

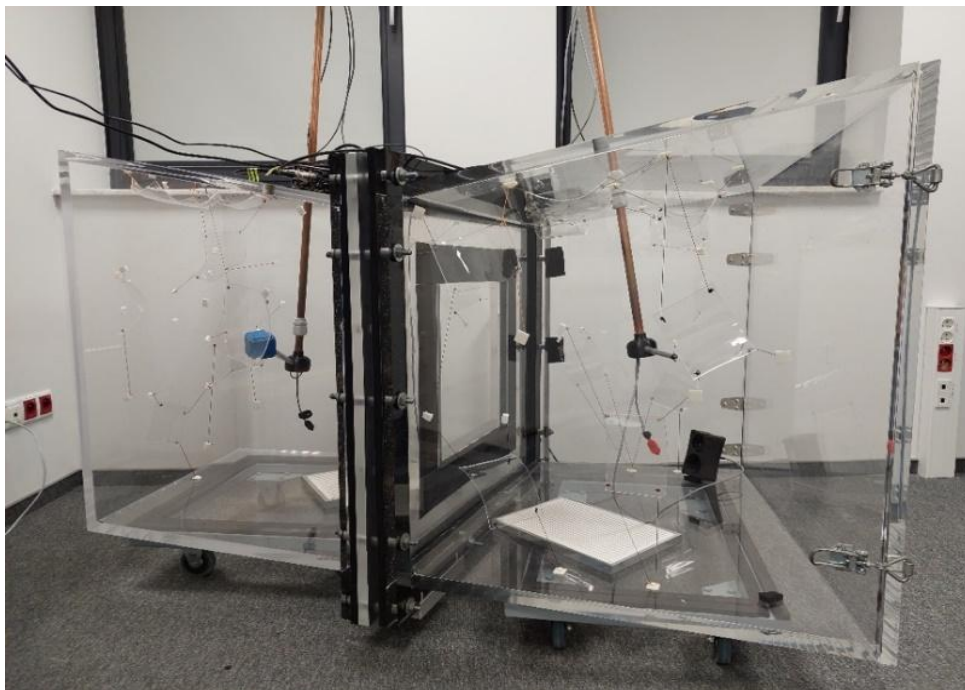
¹) dr inż. Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, aszelag@pk.edu.pl (autor do korespondencji)

²) dr hab. inż. arch. Prof. PK, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, aklosak@pk.edu.pl

³) dr inż. Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, bartlomiej.ziarko@pk.edu.pl

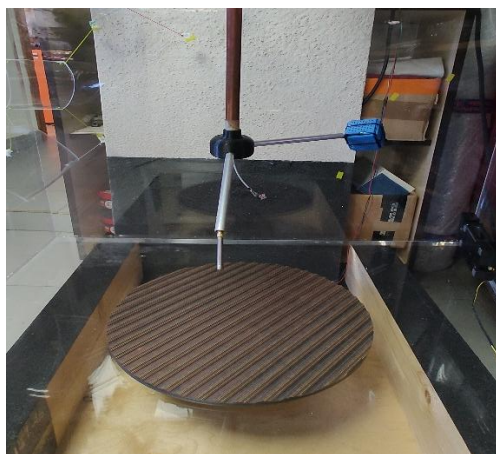
⁴) dr inż. Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, katarzyna.baruch@pk.edu.pl

Stanowisko do badań izolacyjności akustycznej



Rysunek 2: Stanowisko pomiarowe do badań izolacyjności akustycznej, tj. sprężone komory pogłosowe wraz z aparaturą - Stanowisko pomiarowe stworzone na potrzeby realizacji projektów: MINIATURA pt. „Wpływ parametrów geometrycznych i strukturalno-materiałowych modeli eksperymentalnych w skali na zjawisko transmisji i promieniowania dźwięku strukturalnego” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki i LIDER pt. „Innowacyjne okładziny metamateriałowe zwiększające izolacyjność akustyczną przegród poprzez redukcję pasm rezonansowych” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Stanowisko do badań rozpraszania dźwięku



Rysunek 3: Stanowisko pomiarowe do badań rozpraszania dźwięku: widok komory od zewnątrz (z prawej), widok komory od wewnątrz z próbką zamocowaną na stole obrotowym (z lewej) - Stanowisko pomiarowe utworzone na potrzeby realizacji projektu POIR.01.01.01-00-0257/21 pt. „Opracowanie technologii redukcji hałasu na obszarach miejskich w postaci wielofunkcyjnego hybrydowego systemu okładzin zewnętrznych o zmaksymalizowanych funkcjach rozpraszania i pochłaniania dźwięku” finansowanego ze środków finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Wpływ rozwiązywania mocowania na przemieszczenia warstw ETICS dla modeli ocieplenia na ociepleniu

Aleksander Byrdy^{1*}, Michał Golec²

Słowa kluczowe: ETICS, mocowania mechaniczne, renowacja ocieplenia.

Abstrakt

Wyzwaniem współczesnego budownictwa jest dostosowanie istniejących budynków do współczesnych wymagań ochrony cieplnej przy zastosowaniu technologii ograniczających zużycie surowców odnawialnych, zapewniających recykling materiałów lub ponowne ich użycie. Technologia, która jest bardzo dobrze dopasowana do tych wymagań jest technika dociepleń polegająca na mocowaniu nowych warstw ocieplenia na warstwy istniejących ociepleń w technologii ETICS. Płyty izolacji termicznej (najczęściej EPS), są mocowane do podłoża mechanicznie. W opracowaniu przeprowadzono analizę MES pracy statycznej łączników mechanicznych mocujących warstwy dodatkowego docieplenia dla typowych kombinacji obciążeń i rozwiązań materiałowych stosowanych w budynkach. Podstawą do wykonania analiz były badania laboratoryjne próbek modeli wtórnego docieplenia poddanych obciążeniom statycznym.

¹ dr inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, abyrdy@pk.edu.pl (* autor do korespondencji)

² mgr inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, michal.golec@pk.edu.pl

Pomiar sztywności dynamicznej elastomerów – problemy pomiarowe i podejście alternatywne

Krzysztof Nering^{1*}, Konrad Nering²

Słowa kluczowe: badania laboratoryjne, moduł Younga, współczynnik Poissona, symulacje MES, tłumienie

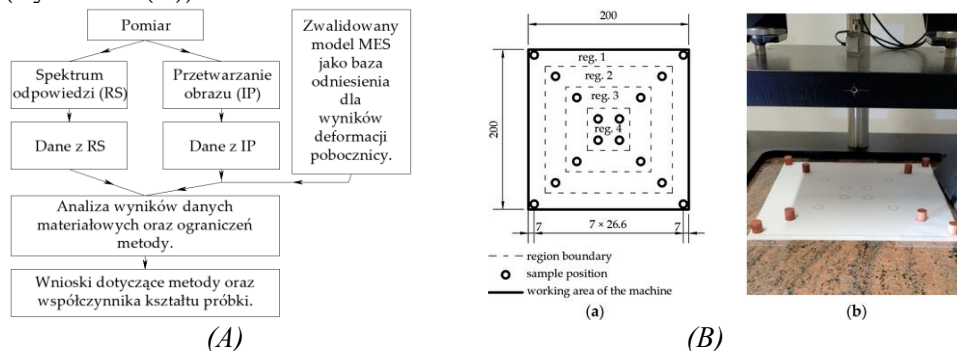
1 Wstęp

Podczas renowacji nie tylko zachodzi konieczność termomodernizacji, ale również dopasowania budynku do obowiązujących norm dotyczących ochrony przed hałasem i drganiami. Jednym z kluczowych elementów ochrony wibroakustycznej jest właściwe projektowanie układów izolacji drgań, co wymaga znajomości rzeczywistych właściwości mechanicznych stosowanych materiałów elastycznych.

Zaprezentowano metodę badawczą umożliwiającą wyznaczenie parametrów materiałowych kauczuku metylowinylosilikonowego (VMQ), niezbędnych do symulacji z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES), takich jak moduł Younga, współczynnik Poissona oraz parametry tłumienia. Opracowana metoda stanowi oryginalne połączenie analizy widma odpowiedzi dynamicznej z techniką przetwarzania obrazu, pozwalającą określić odkształcenia próbki pod obciążeniem.

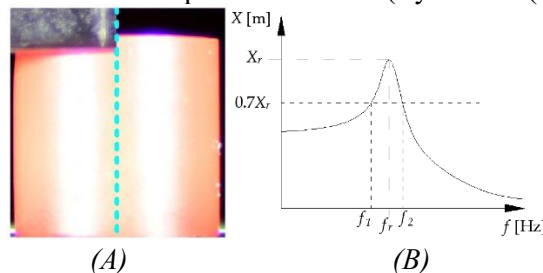
2 Założenia i metoda badawcza

W celu wyznaczenia parametrów mechanicznych kauczuku metylowinylo-silikonowego (VMQ) wykonano badania próbek walcowych o różnych współczynnikach kształtu (1–0,25), obciążanych normalnym naciskiem w zakresie 64–255 kPa. Schemat ideowy badania przedstawiono na Rysunku 1 (A). Próby realizowano na jednym stanowisku umożliwiającym jednoczesny pomiar siły, przemieszczeń i odpowiedzi dynamicznej (Rysunek 1 (B)).



Rysunek 1: (A) Schemat ideowy badania. (B) Układ próbek podczas badania: (a) plan rozmieszczenia próbek na płycie maszyny z zaznaczeniem obszarów, w których umieszczano je kolejno (wymiary w milimetrach); (b) zdjęcie próbek o wymiarach $r = 5 \text{ mm}$, $h = 10 \text{ mm}$, 8 szt. (obciążone obszary 1 i 2).

Odkształcenia próbki określano metodą przetwarzania obrazu (Rysunek 2 (A)), natomiast parametry tłumienia wyznaczano na podstawie widma odpowiedzi układu (Rysunek 2 (B)).

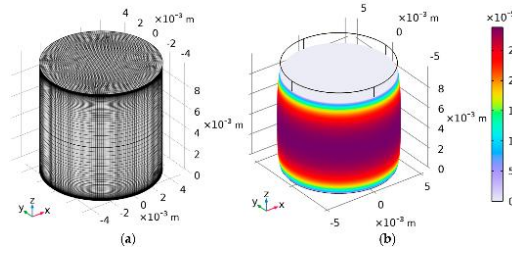


Rysunek 2: (A) Próbka sprężona (po lewej), próbka nieobciążona (po prawej). Wymiary próbki: $r = 5 \text{ mm}$, $h = 10 \text{ mm}$; liczba próbek w trakcie badania: 4. (B) Schematyczne przedstawienie metody połowy mocy z wykorzystaniem widma przemieszczeń.

¹ dr inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, krzysztof.nering@pk.edu.pl (*korespondencja)

² dr inż., Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska, konrad.nering@pk.edu.pl

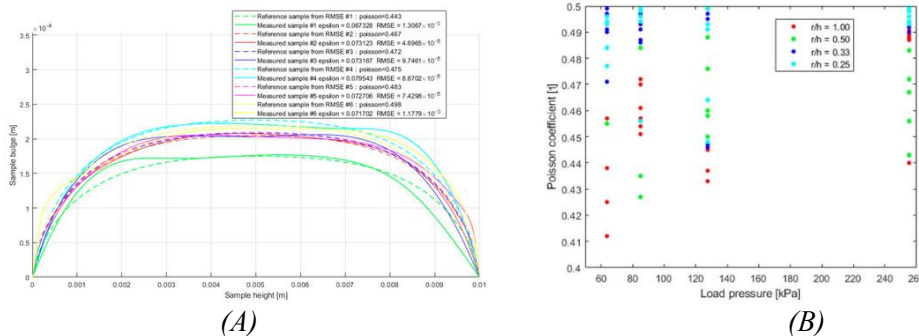
Uzyskane wyniki posłużyły do określenia modułu Younga, współczynnika Poissona i parametrów tłumienia z pomocą zwalidowanego modelu MES (Rysunek 3).



Rysunek 3: a) Siatka MES dla jednego z modeli o stosunku $r/h = 0,5$ ($r = 5$ mm, $h = 10$ mm). (b) Wynik naprężeń von Misesa przy odkształceniu $\epsilon_z = 10\%$ i $\nu = 0,48$.

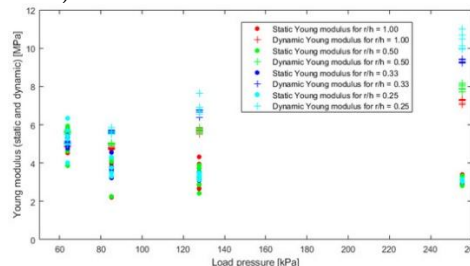
3 Wyniki analiz

W wyniku przeprowadzonych analiz uzyskano dopasowanie kształtu odkształconej próbki VMQ pomiędzy wynikami pomiarów a modelem MES (por. Rysunek 4 (A)). Dopasowanie przeprowadzono z wykorzystaniem kryterium najmniejszego błędu średniokwadratowego (RMSE), co pozwoliło określić współczynnik Poissona dla każdej próbki i poziomu obciążenia (por. Rysunek 4 (B)).



Rysunek 4: (A) Zestaw wyników dla $r/h=0,5$ dopasowania kształtu wybrzuszenia mierzonego (measured) do modelowanego MES (reference) z wykorzystaniem kryterium najmniejszego błędu średniokwadratowego (RMSE). (B) Współczynnik Poissona wyznaczony na podstawie dopasowania krzywej o najmniejszym błędzie średniokwadratowym (RMSE) dla każdego obciążenia i próbki.

Na tej podstawie porównano wartości modułu Younga wyznaczone metodą statyczną (analiza obrazu). Dane z analizy spektrum odpowiedzi umożliwiły wyznaczenie dynamicznego modułu Younga. Uzyskane wyniki wykazały zgodność między wartościami modułu statycznego i dynamicznego próbek w zakresie niskich naprężeń (<80 kPa) oraz występowanie przeszywnienia dynamicznego przy wyższych wartościach naprężeń (>120 kPa) (por. Rysunek 5).



Rysunek 5: Porównanie statycznego i dynamicznego modułu Younga przy założeniu $E_a/E = 1,03$ dla $r/h = 0,25$. Połączone rezultaty z analizy obrazu (statyczny moduł Younga), danych spektrum odpowiedzi (dynamiczny moduł Younga)

4 Podsumowanie

Metoda umożliwia wyznaczenie istotnych parametrów wibroizolacji na przykładzie VMQ (E , ν , tłumienie) do symulacji MES układów wibroizacyjnych.

Najbardziej stabilne wyniki uzyskano dla próbek płaskich ($r/h = 0,25$); zbyt smukłe ($r/h \approx 1,0$) dają duże rozbieżności ze względu na zbyt niską deformację pobocznicy.

Przy niskich obciążeniach $E_{dyn} \approx E_{stat}$, przy wyższych przeszywnienie dynamiczne staje się istotne.

HBIM – Integracja Fotogrametrii i Skaningu Laserowego 3D jako Nowego Narzędzia Renowacji i Digitalizacji Dziedzictwa Kulturowego

Łukasz Łukaszewski^{1*}, Hanna Łukaszewska²

Słowa kluczowe: HBIM, digitalizacja, skaningu laserowy, fotogrametria, BIMchain, BIM.

Abstrakt

Współczesna ochrona i renowacja dziedzictwa architektonicznego wymaga coraz precyzyjniejszych narzędzi łączących naukową dokładność z możliwościami cyfrowego zarządzania informacją. Integracja fotogrametrii i skaningu laserowego 3D w ramach Heritage Building Information Modeling (HBIM) sprzyja powstawaniu innowacyjnych narzędzi do digitalizacji i renowacji zabytków. Obiekty historyczne charakteryzują się złożoną geometrią, brakiem prostych powierzchni oraz różnorodnością materiałową, przy ograniczonej dostępności danych technicznych. Tradycyjne metody — pomiary geodezyjne czy rysunkowa inwentaryzacja — nie pozwalają uchwycić tych złożoności w stopniu wystarczającym dla współczesnych procesów projektowych i konserwatorskich. Dynamiczny rozwój technologii, algorytmów obliczeniowych oraz narzędzi matematycznych umożliwia przeniesienie tradycyjnych technik dokumentacyjnych w środowisko cyfrowe. W niniejszym opracowaniu przedstawiono przegląd przypadków i rozwiązań HBIM stosowanych w architekturze, konserwacji i renowacji dziedzictwa, z oceną ich efektywności w praktyce dokumentacyjnej. Powstające narzędzia baz danych wsparte technologią BIMchain stają się nowoczesną, „piątą formą” ochrony dziedzictwa.

¹ dr inż. arch., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, llukaszewski@pk.edu.pl (* osoba do kontaktu)

² mgr inż. arch., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, hanna.pacyno@doktorant.pk.edu.pl

Aktualne metody budowania z konopi przemysłowych w Unii Europejskiej

Marek Kamieniarz ^{1*}

Słowa kluczowe: konopie przemysłowe, prefabrykacja, systemy wznoszenia

1 Podstawowa charakterystyka konopi

Konopia to niezwykle wszechstronna roślina, która odgrywa istotną rolę w rolnictwie od wieków. W dobie globalnych wyzwań, takich jak zmiany klimatyczne, zanieczyszczenie środowiska i rosnące zapotrzebowanie na żywność, rolnictwo musi dostosować się, szukając innowacyjnych i zrównoważonych rozwiązań. Najważniejsze jej cechy to:

- jest w pełni biodegradowalna,
- stanowi materiał odnawialny, który może przyczynić się do zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko naturalne,
- przywraca go gleby brakującą w niej próchnicę, powodując długofalowo zatrzymywanie w glebie wody opadowej i roztopowej oraz niezbędnych do życia związków mineralnych,
- posiada niskie zapotrzebowanie na wodę w uprawach oraz możliwość regeneracji gleby,
- ma potencjał rośliny do usuwania zanieczyszczeń z gleby i wód podziemnych za pomocą żywych mikroorganizmów, które mogą przydać się np. na terenach popowodziowych czy poprzemysłowych.

2 Systemy prefabrykacji w budownictwie konopnym

Ostatnie lata pokazały duży deficyt pracowników na rynku budowlanym w całej Europie, dlatego w budownictwie szuka się coraz to bardziej ekonomicznych rozwiązań. Rozwiązaniem takim może być proces prefabrykacji, który zdecydowanie wymaga mniejszych nakładów finansowych niż zastosowanie tradycyjnych rozwiązań. Konopie włókniste używane do produkcji prefabrykatów budowlanych mogą stanowić alternatywę dla tradycyjnych surowców. Wyroby te wpisują się w obecne globalne trendy w zakresie ochrony środowiska oraz zmniejszania śladu węglowego w przemyśle. Jednakże ich wykorzystanie, np. w produkcji kompozytów konopnych i materiałów izolacyjnych, wciąż jest na wczesnym etapie rozwoju.

3 Systemy wznoszenia obiektów budowlanych z konopi przemysłowych

a) Metoda formowania elementów z betonu konopnego – dla pasjonatów.

- jedną z powszechnie stosowanych technik jest warstwowe układanie mieszanki w deskowaniu,
- kolejną metodą konstruowania ściany zewnętrznej jest lokalizacja ramy drewnianej od strony wewnętrznej z przymocowanym do niej deskowaniem traconym, stanowiącym okładzinę wewnętrzną
- następna metoda jest metoda natryskowa - aplikacji mieszanki w deskowanie. W tej metodzie, przy użyciu sprężonego powietrza podawane są oddzielnie wszystkie składniki, osobnymi przewodami: paździerz, suche spoiwo oraz woda.
- możliwe jest również wykonywanie ścian z bloczków uformowanych z kompozytu wapienno- konopnego

b) Metody przemysłowe wykorzystywane obecnie w Europie.

- system konstrukcji monolitycznej
- system konstrukcji drewnianej
- system konstrukcji stalowej

4 Podsumowanie

W czasach, gdy nasza planeta wyczerpuje zasoby energii, a kryzys energetyczny jest coraz większy, wybór materiałów budowlanych ma ogromne znaczenie. Wpływ na środowisko i zdrowie mieszkańców, parametry techniczne, łatwość użytkowania będą decydować coraz częściej o wyborze materiałów do budowania. Zalety ścian z bloczków konopnych w różnych systemach budowlanych są widoczne i doceniane w Europie.

¹ dr inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, marek.kamieniarz@pk.edu.pl

Wnętrze krajobrazowe a parametry energetyczne budynku

Jolanta Gintowt¹, Sabina Kuc², Agnieszka Ozimek³

Słowa kluczowe: optymalizacja wielokryterialna, wnętrze krajobrazowe, energooszczędność

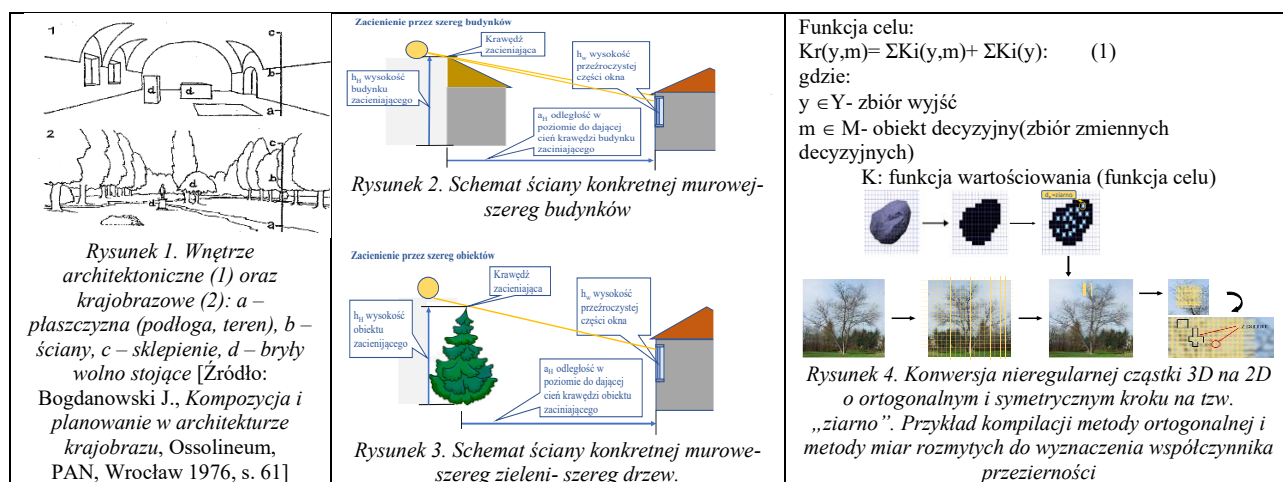
1 Wstęp

Otoczenie budynku jako kryterium w ocenach wielokryterialnych LEED Leadership in Energy and Environmental Design, BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method, DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. Ocenie podlegają elementy środowiska wewnętrznego oraz zewnętrznego. Elementami tymi są czynniki środowiskowe i czynniki socjologiczne. Planowanie zieleni, jako otoczenia architektonicznego wnętrza krajobrazowego, w “procedurach zrównoważonych” ujęte jest w punktach kryterialnych. Relacja budynku ze środowiskiem naturalnym oraz relacja budynku z innymi obiektami, czy to wybudowanymi przez człowieka czy wkomponowanymi w środowisko (np. drzewami), znacząco wpływa na komfort cieplny pomieszczeń, a tym samym – na warunki pracy lub bytowe rezydentów.

Podjęto badania mierzące do określenia zależności pomiędzy wybranymi elementami przyrodniczymi architektury krajobrazu a budynkiem, rozumianymi jako wpływ projektu zieleni na zapotrzebowanie ciepłe budynku w funkcji czasu, zależne od rodzaju drzewostanu i jego wieku. Wprowadzono pojęcie współczynnika przezierności- JOLI Factor- Joined Optimization of Landscape Interior Factor. Przedmiotem analizy były: odległość drzew od budynków jednorodzinnych parterowych wolnostojących, typ i pokrój drzewa, jego wzrost w czasie oraz usytuowanie względem stron świata. Określono wskaźniki przezierności dla wybranych gatunków drzew oraz wskazano narzędzia do zintegrowanego projektowania wybranych drzewostanów towarzyszących budynkowi i jego bilansem cieplnym odniesionym do czasu użytkowania budynku.

2 Założenia i metoda badawcza

W celu optymalizacji zużycia energii i komfortu cieplnego pomieszczeń budynków do wyznaczenia wpływu zieleni, jako elementu wnętrza krajobrazowego (rysunek 1,2,3) zastosowano optymalizację wielokryterialną i wielopoziomową (z dekompozycją zadania- wzór 1). Determinantą rodzaju zadrzewienia był pokrój i współczynnik przezierności. Wprowadzenie współczynnika przezierności umożliwia projektowanie zintegrowane. Określenie współczynnika przezierności metodą projekcyjną na płaszczyznę odwzorowuje stan rzeczywisty z wystarczającą dokładnością (rysunek 4). Do badania stanu drzew „in situ” zastosowano dokumentację fotograficzną (zdjęcie 1, 2) i skaning (zdjęcie 3 i 4). Autorskie oprogramowanie JFP – Joli Factor Programming, Camos- Computer Aided Multicriterion Optimization. Zmienne dotyczące drzew to: odległość od budynku, wysokość, rodzaj drzewa (liściaste i iglaste), zwartość ściany wnętrza krajobrazowego, przezierność (rysunek 5).



¹ dr inż., Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, jolanta.gintowt@pk.edu.pl

² Prof. dr hab. inż. arch., Wydział Architektury, Politechnika Krakowska, sabina.kuc@pk.edu.pl

³ dr hab. inż. arch., prof. PK, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska, agnieszka.ozimek@pk.edu.pl

Godz. 6.00 Godz. 9.00 Godz. 11 Godz. 12 Godz. 13	
Godz. 9.00 Godz. 10.00 Godz. 11.00 Godz. 12.00	Rysunek 5. Kształtowanie elementów przyrodniczych krajobrazu dla wariantów ze zmiennymi : odległością od budynku, przeziernością, wysokością drzew i długością szpaleru drzew, gatunkami drzew.

Zdjęcie 3. Scanning	Zdjęcie 4. Scanning- obróbka danych.

3 Wyniki analiz

Analizy przeprowadzono dla dwóch etapów:
Tabela 1.

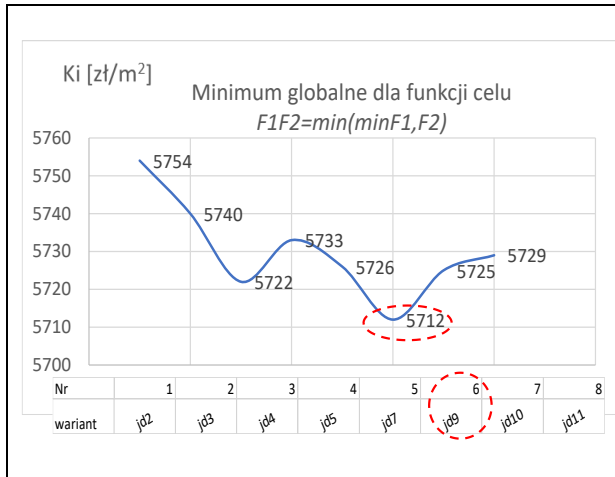
Budynek jednorodzinny	
Pierwszy poziom	
Metody obliczeniowe	optymalizacja wielopoziomowa i wielokryterialna
podział na poziomy optymalizacji	pierwszy poziom: optymalizacja budynku drugi poziom: otoczenie budynku-drzewa
Podstawa obliczeń	twierdzenie Kuhna -Tuckera zasada Pareto
Funkcja celu	mnożniki Lagrange`a
	funkcja podwójnego minimum
	minimum kosztu budowy minimum energii użytkowej do celów ogrzewania budynku
zmienne decyzyjne	opór cieplny ściany
	wielkość przeszklenia na elewacji
	wschodniej
	południowej
	zachodniej
ograniczenia	północnej
	pole podstawy budynku
	nierównościowe nałożone na:
	kres dolny i górny oporu cieplnego ściany
	kres górny i dolny wielkości przeszkleń na poszczególnych elewacjach
sposób wyboru rozwiązania optymalnego	kres dolny i kres górny simplex`u boków podstawy budynku
	warunek konieczny: stała wartość objętości budynku
	punkt siodłowy

Tabela 2.

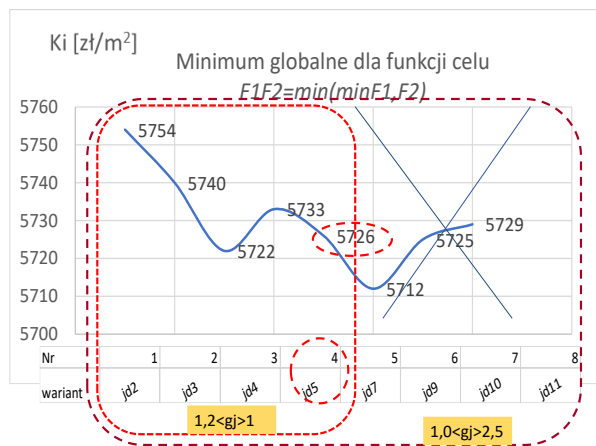
Budynek jednorodzinny i jego najbliższe otoczenie	
Drugi poziom	
otoczenie budynku	zieleni wysoka- drzewa
autorska metoda	wykreowanie współczynnika przezierności
autorska metoda	zbieranie danych i obliczanie współczynnika przezierności
zbieranie danych	skanowanie
	fotografia
środowisko opracowania i weryfikacji danych	oprogramowanie dedykowane do skanera Rigel
	excel
	DesignBuilder
obliczanie zapotrzebowania energii użytkowej	Ecotech
	excel, Ecotech, obowiązujące normy i przepisy*

Tabela 1. Metody obliczeniowe, kryteria przyjęte do optymalizacji kształtu i min. energii użytkowej do ogrzewania, min koszt inwestycji. Tabela 2. Narzędzia, metody i środowisko obliczeń energii użytkowej do celów ogrzewania dla autorskiej metody włączającej drzewa do bilansu wieloletniego.

W wyniku przeprowadzonych analiz uzyskano:



Rysunek 6. Minimum globalne dla funkcji celu. Zależność funkcji celu $F1F2$ od proporcji boków podstawy $x(6)$ i wielkości przeszklenia na $x(1)$, $x(2)$, $x(3)$, $x(4)$ na elewacjach

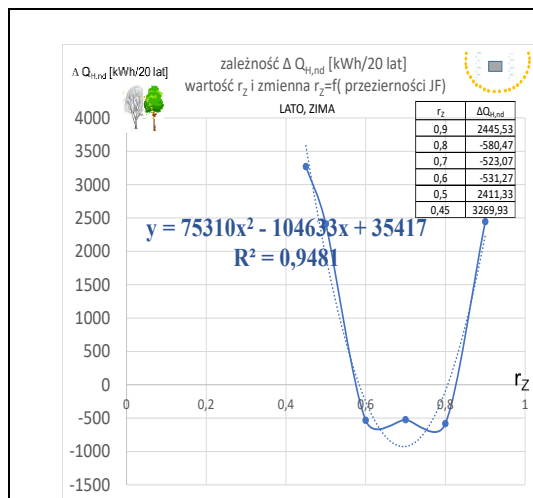


Rysunek 1. Zależność minimum globalnego od warunków ograniczających i ich kresu górnego.

Tak więc minimum globalne zachodzi dla wariantu nr 6 oznaczonego jd9.

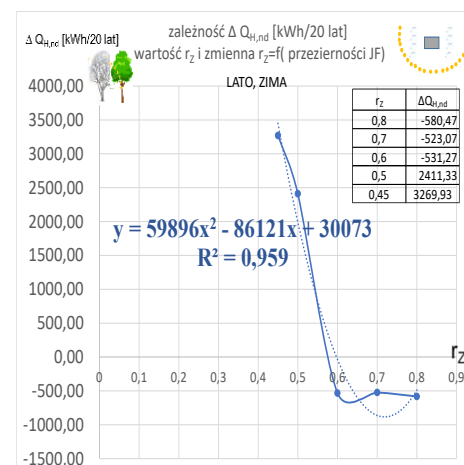
Oznacza to że dla zaplanowanych wariantów optymalna proporcja boków podstawy wynosi 1,2.

Krzywe korelacji dla poszczególnych przedziałów zacielenia oraz współczynnika JOLI Factor przedstawione są na rysunkach 8 i 9



Rysunek 8. Oszacowana wartość współczynnika przezierności dla drzew liściastych, $r_z < 0,9 > 0,45$, w przedziale czasu od 1 roku do 20 lat. Zależność $Q_{H,nd}$ [kWh/20lat] dla stałej wartości r_z i zmiennej r_z ze zróżnicowaną wartością JF dla r_z lato i r_z zima

Zależność dla przedziału $0,9 < r_z > 0,45$, miara dopasowania modelu: $R^2 = 0,9481$



Rysunek 9. Oszacowana wartość współczynnika przezierności dla drzew liściastych, $r_z < 0,8 > 0,45$, w przedziale czasu od 1 roku do 20 lat. Zależność $Q_{H,nd}$ [kWh/20lat] dla stałej wartości r_z i zmiennej r_z ze zróżnicowaną wartością JF dla r_z lato i r_z zima

Zależność dla przedziału $0,9 < r_z > 0,45$, miara dopasowania modelu: $R^2 = 0,9481$

Zależność dla przedziału $0,9 < r_z > 0,45$, miara dopasowania modelu: $R^2 = 0,9481$

Zależność dla przedziału $0,8 < r_z > 0,45$, miara dopasowania modelu: $R^2 = 0,959$

Wydaje się iż dla węższego przedziału można uzyskać większą miarę dopasowania modelu, tak więc wydaje się iż wyniki można przyjąć za poprawne.

4 Podsumowanie

Projekt ogrodu wpływa na parametry energetyczne budynku i zależy od rodzaju, sposobu realizacji wypełnienia ściany wnętrza krajobrazowego. Próba opisanie wpływu projektu ogrodu na parametry energetyczne budynku zależnością matematyczną została zrealizowana przez zaproponowanie współczynnika przezierności JF- JOLI Factor (Joined Optimisation of Landscape Interior) i określenie dla niego wartości.

Temat podjęty w niniejszej dysertacji jest nowatorski, a badania naukowe nad tematem: *wnętrze krajobrazowe a parametry energetyczne budynku* pozwolą na opracowanie teoretycznych podstaw dla określenia przestrzennych i czasowych uwarunkowań, w skali działki i jej bezpośredniego otoczenia w korelacji z bryłą budynku, wpływających na dobór, aranżację oraz zagospodarowanie wnętrza krajobrazowego zielenią- drzewami. Wydaje się iż proponowane zagadnienie może wpłynąć na rozwój metod kształtowania zespołów wnętrz architektoniczno-krajobrazowych.

W literaturze z dziedziny architektury krajobrazu nie znaleziono odwołania do takiego jej kształtowania, które uwzględniłoby jej wpływ na zapotrzebowanie cieplne dla budynków oraz na komfort cieplny pomieszczeń.

Wobec braku wytycznych dotyczących dokładnego obrazowania zacienienia elewacji budynku przez korony drzew zaproponowano wprowadzenie nowego pojęcia, takiego jak „współczynnik przezierności”.

Wyniki badań mogą być bardzo przydatnym narzędziem, służącym architektom krajobrazu do projektowania otoczenia budynków zintegrowanego z bilansem energetycznym budynku.

Wydaje się iż uzyskane wyniki mogą być wykorzystywane w szerszej skali - do tworzenia planów zagospodarowania przestrzennego.

Uzyskane wyniki mogą wpłynąć na kształtowanie Modelowania Informacji o Krajobrazie (LIM).