

Relokacja strat ciepła pomiędzy mieszkaniami w przedwojennych kamienicach

Relocation of heat loss between apartments in pre-war tenements

MAŁGORZATA SZULGOWSKA-ZGRZYWA, AGNIESZKA CHMIELEWSKA, EWELINA STEFANOWICZ

DOI 10.36119/15.2025.3.3

W artykule rozważano zagadnienie relokacji strat ciepła pomiędzy mieszkaniami w przedwojennych budynkach wielorodzinnych. Badania in-situ stanowiące podstawę dalszych symulacji i rozważań analitycznych przeprowadzono w trzech mieszkaniach zlokalizowanych w kamienicy przedwojennej. Ustalono, że wartość luki energetycznej (ang. energy performance gap – EPG) w tych lokalach wyniosła +29%, –45% i –75%. Stwierdzono, że relokacja strat ciepła była istotnym jej komponentem i odpowiadała za wzrost zużycia ciepła o 49% w jednym z mieszkań oraz jego zmniejszenie w dwóch pozostałych o 25% i 47%. Drugim istotnym czynnikiem wpływającym na wartość EPG były inne niż założone do obliczeń warunki pogodowe, odpowiedzialne za 34% i 33% zmniejszenie zużycia ciepła do ogrzewania względem zużycia projektowego. Badaniom symulacyjnym poddano mieszkania w reprezentatywnej dla badanej tkanki miejskiej kamienicy przedwojennej, będącej w złym stanie technicznym. Stwierdzono, że zmiana wartości temperatury powietrza w czterech z dwudziestu mieszkań wpływa na bilans ciepła wszystkich lokali. W przypadku obiektu niepoddanego termomodernizacji, obniżenie temperatury w wybranych mieszkaniach do 16,5°C skutkuje spadkiem ich energochłonności od 69% do 90%. Odzwierciedla się to wzrostem zużycia ciepła w przyległych lokalach, wynoszącym od 12% do 44%. Analizy dla obiektu poddanego termomodernizacji wykazały, że ewentualne niedogrzewanie czterech lokali skutkuje zmniejszeniem ich energochłonności od 55% do 69%. Przekłada się to na mniejszy wzrost zapotrzebowania na ciepło w lokalach przyległych, wynoszący od 6% do 29%. W oparciu o przeprowadzone badania stwierdzono, że bez termomodernizacji obiektów skuteczne rozwiązanie problemu nadmiernego przepływu ciepła pomiędzy mieszkaniami w kamienicach przedwojennych będzie bardzo trudne, szczególnie jeśli w budynku znajdują się gospodarstwa domowe dotknięte ubóstwem energetycznym. Zmniejszenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania zwiększy bowiem szansę na utrzymanie przez mniej zamożnych mieszkańców wyższej temperatury w pomieszczeniach, a ewentualne przepływy ciepła pomiędzy mieszkaniami będą mniej obciążające dla sąsiadów.

Słowa kluczowe: wewnętrzny transfer ciepła, relokacja strat ciepła, luka energetyczna, ubóstwo energetyczne, kamienice przedwojenne, zużycie energii

The paper considers the issue of relocation of heat loss between apartments in pre-war multifamily buildings. The in-situ studies that form the basis for further simulations and analytical considerations were conducted in three apartments located in a pre-war tenement. It was found that the value of the energy performance gap (EPG) in these apartments was +29%, –45% and –75%. It was found that heat loss relocation was an important component of it, and was responsible for the increase in heat consumption by 49% in one of the apartments and its decrease in the other two by 25% and 47%. The second significant factor affecting the EPG value was weather conditions other than those assumed for the calculations, responsible for 34% and 33% reductions in heating consumption relative to design consumption. Simulation studies were carried out on apartments in a pre-war tenement house, representative of the urban fabric under study, being in poor technical condition. It was found that changing the air temperature parameters in four of the twenty apartments affects the heat balance of all units. In the case of a non-thermally upgraded building, lowering the temperature in the selected apartments to 16.5°C results in a decrease in their energy intensity from 69% to 90%. This is reflected in an increase in the heat consumption of adjacent apartments, ranging from 12% to 44%. Analyses for the thermo-modernized building showed that, if underheated, the four units result in a reduction in their energy intensity of 55% to 69%. This translates into a smaller increase in the heat demand of adjacent premises, ranging from 6% to 29%. Based on the study, it was concluded that without thermal modernization of the buildings, it will be very difficult to effectively solve the problem of excessive heat flow between apartments in pre-war tenements, especially if there are energy-poor households in the building. This is because reducing the energy demand for heating will increase the chances of less affluent residents maintaining higher indoor temperatures, and any heat flow between apartments will be less burdensome for neighbours.

Keywords: internal heat transfer, heat loss relocation, energy performance gap, energy poverty, pre-war tenements, energy consumption

Przyjęta w 2024 r. Dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków obliguje kraje Unii Europejskiej do przekształcenia istniejących budynków w budynki bezemisyjne [1]. Cel ten ma zostać osiągnięty do 2050 r., a jego realizacja będzie wymagała szeregu działań modernizacyjnych, zarówno po stronie dostawców energii, jak i po stronie jej odbiorców. W szczególności, w przypadku działań modernizacyjnych podejmowanych po stronie odbiorców, jakimi są budynki mieszkalne, konieczne jest uwzględnienie w tym procesie użytkownika budynku, jego potrzeb i możliwości w zakresie adaptacji do nowej rzeczywistości. Celem równoległym do osiągnięcia bezemisyjności budynków mieszkalnych, również wymienianym w Dyrektywie [1], jest bowiem ograniczenie ubóstwa energetycznego.

Całkowite zapotrzebowanie na energię budynku mieszkalnego obejmuje szereg składowych, tj.: energię niezbędną do ogrzewania, przygotowania c.w.u., gotowania, zasilania oświetlenia i innych urządzeń. W Polsce, ze względu na warunki klimatyczne i stan techniczny budynków istniejących, głównym problemem jest zbyt wysokie zużycie energii na cele ogrzewania budynków.

Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania zależy od szeregu czynników. Przede wszystkim jest to architektura, konstrukcja i stan techniczny budynku. Te stałe parametry wraz z założonymi do obliczeń warunkami klimatycznymi oraz warunkami eksploatacji budynku pozwalają określić jego projektowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania. Wśród czynników zmiennych w czasie, a mających kluczowy wpływ na rzeczywiste zużycie energii w budynkach mieszkalnych wymienia się czynniki naturalne, związane z parametrami pogodowymi oddziałującymi na budynek oraz czynniki społeczne [2].

Planowanie skutecznych działań zmierzających do zmniejszenia energochłonności budynków wymaga metod pozwalających na identyfikację wszystkich czynników warunkujących zapotrzebowanie na energię, zarówno na poziomie projektowym, jak i w trakcie użytkowania budynku. Dlatego, z jednej strony badacze skupiają się na analizie wpływu samej konstrukcji i struktury budynku na jego energochłonność, metod przewidywania zapotrzebowania na energię [3], a także analizują szczegółowo zapotrzebowanie na energię pojedynczych jednostek mieszkalnych w zależności od ich położenia w bryle budynku [4]. Z drugiej strony, coraz więcej prac porusza tematykę wpływu zarówno czynników naturalnych, jak i społecznych na rzeczywiste zapotrzebowanie na energię w budynkach [5–11].

Czynniki naturalne i społeczne, obok pewnych czynników technicznych, takich jak np. problemy eksploatacyjne i wynikające

z nich inna niż założona w obliczeniach sprawność instalacji wewnętrznych są odpowiedzialne za powstawanie różnicy między przewidywanym a rzeczywistym zapotrzebowaniem na energię w budynkach. Różnica ta określana jest w literaturze jako luka energetyczna (ang. energy performance gap – EPG). Jednym z czynników społecznych odpowiedzialnych za powstawanie luki energetycznej jest przyjęcie przez mieszkańców (dobrowolne lub wymuszone) innej niż zakładana w obliczeniach temperatury powietrza wewnętrznego. Rozbieżności w wartościach tych temperatur między mieszkańcami prowadzą do transferu ciepła między sąsiednimi mieszkaniami, a tym samym wpływają na ich rzeczywistą charakterystykę energetyczną [5].

W literaturze przedmiotu zagadnienia wewnętrznego transferu i relokacji strat ciepła pomiędzy mieszkańcami analizowane są przez badaczy w kontekście czynników wpływających na ich wielkość, wśród których należy wymienić:

- kształt geometryczny lokalu i budynku [12, 13],
- sposób rozliczania ciepła i efektywność energetyczna całego budynku [14],
- lokalizacja mieszkania w bryle budynku i budynku w terenie [4, 15],
- zachowania użytkowników, w tym: świadomość lub brak świadomości zachodzących zjawisk fizycznych, poczucie autonomii w zakresie komfortu cieplnego („sam decyduję o swoich potrzebach”) oraz ignorowanie sytuacji zachodzących w sąsiadujących lokalach [15, 16].

W szczególności wykazano, że tendencja do wykorzystania zysków ciepła z sąsiednich lokali jest większa w przypadku mieszkań zlokalizowanych w centralnej części budynku [12]. Mieszkania z dużym udziałem przegród zewnętrznych są narażone na znacznie większe straty ciepła do środowiska zewnętrznego, skutkiem czego utrzymanie w nich komfortu cieplnego wymaga wyłączenia wewnętrznego transferu ciepła, co zwykle jest niemożliwe. Zasadniczo, największy wpływ na relokację strat ciepła w budynku ma różnica temperatury powietrza wewnętrznego i izolacyjność cieplna przegród wewnętrznych między mieszkańcami [12, 17]. W teorii, wszystkie mieszkania powinny być ogrzewane do temperatury około 20°C, stąd ściany między lokalami zazwyczaj nie są izolowane cieplnie, nawet w nowym budownictwie. Wdrażanie tego typu działań w procesie termomodernizacji lub projektowania budynków jest trudne z dwóch względów. Po pierwsze zastosowanie termoizolacji ścian wewnętrznych skutkuje zmniejszeniem powierzchni użytkowej lokali. Po drugie izolowanie ścian wewnętrznych to działanie inwazyjne, wymagające generalnego remontu oraz wpływające na możliwość aranżacji przegrody.

Wymiana ciepła zachodząca między mieszkańcami wpływa na rzeczywiste zużycie ciepła do ogrzewania tych jednostek, a tym samym na wielkość i sprawliwość podziału opłat za ogrzewanie [14]. Izolacja przegród wewnętrznych jest najlepszym sposobem przeciwdziałania, jednak ze względu na swoją inwazyjność, często niemożliwa do przeprowadzenia. Jako alternatywę, powszechnie proponuje się zastosowanie systemu rozliczeń ciepła, którego mechanizm zapobiegać będzie relokacji kosztów energii. Wśród proponowanych metod rozliczania jest m.in. zwiększenie udziału opłaty stałej w kosztach ogrzewania, czy nakładanie kar pieniężnych na użytkowników nieogrzewanych lokali [12]. W publikacji [12] wykazano, że nakładanie wysokich kar jest skuteczniejsze, a działanie polegające na zwiększeniu udziału opłaty stałej w kosztach ogrzewania wymaga znacznego podnoszenia świadomości użytkowników na temat metod rozliczeniowych. Inną metodą rozwiązywania problemu proponowaną przez badaczy jest instalacja zaworu włącz/wyłącz na wejściu do każdego lokalu i określanie kosztów ogrzewania na podstawie skumulowanego czasu włączenia ogrzewania [18]. Badacze podkreślają również znaczenie wewnętrznego transferu ciepła pomiędzy mieszkańcami w kontekście definiowania maksymalnego i minimalnego kosztu zmiennego w instalacjach z podzielnikami kosztów [19] oraz opracowywania nowych metod rozliczeń indywidualnych kosztów ogrzewania [20, 21].

Badania nad przyczynami i skutkami relokacji strat ciepła, a tym samym kosztów ogrzewania są niezwykle istotne z perspektywy stale rosnących cen energii oraz przeciwdziałania zjawisku ubóstwa energetycznego. Zaproponowanie rozwiązań pozwalających na ograniczenie międzymieszkaniowej wymiany ciepła i sprawliwy podział kosztów ogrzewania mają kluczowe znaczenie szczególnie w budynkach z indywidualnym systemem rozliczania lub wyposażonych w indywidualne źródła ciepła. Istotę problemu podkreślają wyniki symulacji przeprowadzone przez badaczy, wykazujące, że wewnętrzny transfer ciepła może powodować zwiększenie kosztów energii w sąsiednich mieszkaniach nawet o 30% [14, 15].

W Polsce bardzo dużym wyzwaniem jest przeciwdziałanie relokacji strat ciepła w wielorodzinnych budynkach przedwojennych zasilanych zarówno z centralnych, jak i indywidualnych źródeł ciepła. Budynki te charakteryzują się bardzo dużym zapotrzebowaniem na energię do ogrzewania oraz niską izolacyjnością cieplną przegród wewnętrznych [22, 23]. Indywidualne systemy ogrzewania, w dużej mierze oparte o piece kaflowe bądź grzejniki elektryczne, w wielu przypadkach nie są w stanie zaspokoić potrzeb grzewczych użytkowników. Ponadto, piece kaflowe wymagają dużego zaangażowania

użytkowników w proces ogrzewania lokalu i ich obecności w ciągu dnia, by zapewnić ciągłość ogrzewania. Czynniki te powodują, że lokale te są stale niedogrzewane ze względów ekonomicznych lub organizacyjnych [23]. Dodatkowym problemem jest znaczna liczba niezamieszkałych lokali, które pozostają całkowicie nieogrzewane. Ich obecność jest przyczyną wzrostu kosztów ogrzewania mieszkań sąsiednich. Przykładowo, według danych GUS pustostany stanowią, aż 6% mieszkań należących do zasobu komunalnego we Wrocławiu, którego znaczna część zlokalizowana jest w przedwojennych kamienicach [24].

Pomimo wielu prac badawczych szczegółowa analiza zależności wpływających na wielkość relokacji strat ciepła pomiędzy mieszkaniami jest nadal wymagana [14]. Uwzględnienie różnicowania zużycia ciepła w mieszkaniach w zależności od ich lokalizacji w bryle budynku oraz bardziej szczegółowego wglądu w interakcje między mieszkaniami, związane z praktykami użytkowników poszczególnych lokali, w szczególności wewnętrzne transfery ciepła to zagadnienia istotne dla osiągnięcia celu, jakim jest znaczące ograniczenie zapotrzebowania na energię pierwotną budynków mieszkalnych jednocześnie z minimalizacją występowania problemu ubóstwa energetycznego. Stąd celem niniejszej publikacji jest zwrócenie uwagi na przyczyny i wpływ relokacji strat ciepła na wielkość powstającej luki energetycznej opisującej różnicę pomiędzy rzeczywistym a oczekiwanym zużyciem ciepła w mieszkaniach zlokalizowanych w szczególnie problematycznych obiektach jakimi są kamienice przedwojenne.

Badania in-situ, symulacje i analizy dla mieszkań w kamienicy przedwojennej

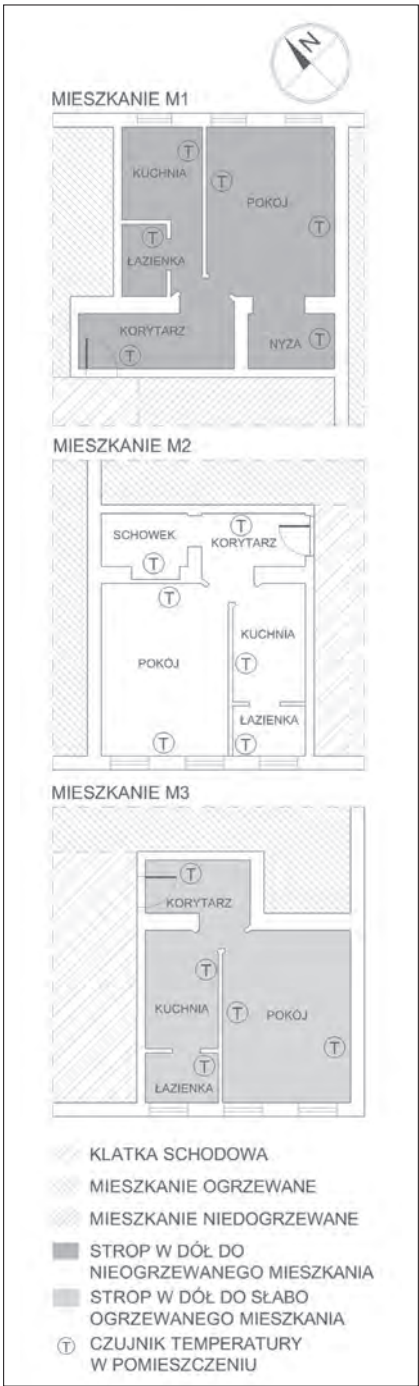
Opis badań

Badania będące podstawą niniejszego artykułu przeprowadzono w ramach projektu Divercity 4. Celem inicjatywy było zidentyfikowanie najefektywniejszych rozwiązań i stworzenie sieci współpracy oraz wymiana doświadczeń w temacie partycypacji społecznej w odnowie miast i poprawy środowiska miejskiego. W ramach tego projektu badaniem objęto 15 mieszkań zlokalizowanych w przedwojennych kamienicach. Lokale do badań typowano na podstawie badania pilotażowego, które przeprowadzono w 2018 r., obejmującego 410 lokali mieszkalnych. Takie podejście pozwoliło na wybór reprezentatywnej próby mieszkań o różnicowanym standardzie technicznym. W każdym lokalu przeprowadzono dokładną inwentaryzację oraz pozyskano dokumentację techniczną (zarówno od właścicieli lokali, jak i zarządców nieruchomości). W trakcie badań prowadzono pomiary: temperatur powietrza w pomieszczeniach, temperatur powierzchni przegród budowlanych, temperatur wody ciepłej oraz zimnej, stężenia dwutlenku węgla, wilgotno-

ści, temperatury powietrza zewnętrznego oraz zużycia paliw, energii elektrycznej i ciepła na cele ogrzewania, przygotowania c.w.u., gotowania, oświetlenia i innych urządzeń domowych. W ramach badań z użytkownikami mieszkań przeprowadzone zostały wywiady, ponadto użytkownicy mieszkań prowadzili dzienniki, dokumentując swoje zachowania, aktywności, subiektywne odczucia komfortu cieplnego oraz częstotliwość wentrowienia pomieszczeń. Analiza danych pomiarowych pozwoliła na pozyskanie informacji o zużyciu energii do ogrzewania, przygotowania ciepłej wody, gotowania i całkowitego zużycia energii elektrycznej w poszczególnych lokalach mieszkalnych dla okresu od 14.01.2020 r. do 9.03.2020 r. Brakujące informacje pomiarowe uzupełniono stosownymi modelami obliczeniowymi i danymi pozyskanymi podczas ankietyzacji [23]. Przeprowadzone badania stanowiły podstawę do oceny rzeczywistej energochłonności poszczególnych mieszkań, jak i analizy zachowań użytkowników oraz ich wpływu na zapotrzebowanie na energię. Wybrane analizy przedstawiono w poprzednich pracach, które dotyczą m.in. przyczyn powstawania luki energetycznej (ang. Energy Performance Gap; EPG) [5, 6]. W innym artykule przedstawiono wielokriterialną analizę scenariuszy zmiany źródeł ciepła w lokalach w przedwojennej tkance mieszkaniowej [25].

W niniejszym artykule zdecydowano się zaprezentować wybrane dane pomiarowe i analizy wykonane dla trzech lokali mieszkalnych znajdujących się w tym samym budynku – przedwojennej oficynie w bardzo złym stanie technicznym. Ich wybór podyktowany był szczegółowym celem tego opracowania, jakim jest przedstawienie rzeczywistej energochłonności lokali niedogrzewanych, nieogrzewanych oraz sąsiadujących z nimi. Obliczone na podstawie dokumentacji technicznej budynku oraz inwentaryzacji, średnie współczynniki przenikania ciepła zewnętrznych i wewnętrznych przegród lokali, a także informacje podstawowe o lokalach mieszkalnych i ich sąsiedztwie zawiera tabela 1.

Schematyczny układ lokali w bryle budynku oraz rodzaj środowiska otaczającego lokale przedstawiono na rysunku 1. Na rysunku tym oznaczono również lokalizację czujników temperatury powietrza w poszczególnych pomieszczeniach.



Rysunek 1. Schemat układu i otoczenia badanych lokali wraz z lokalizacją czujników temperatury powietrza wewnętrznego
Figure 1 Diagram of the layout and surroundings of premises with the location of indoor air temperature sensors

Tabela 1. Lokale mieszkalne – informacje podstawowe
Table 1. Residential units – basic informations

Mieszkanie	M1	M2	M3
Źródło ciepła	ogrzewanie elektryczne, piec kaflowy	piec kaflowy, dogrzewanie elektryczne	ogrzewanie elektryczne (taryfa dwustrefowa)
Powierzchnia	44,43 m ²	41,45 m ²	34,5 m ²
Kubatura	116,88 m ³	110,26 m ³	93,15 m ³
Wsp. kształtu	0,45	0,59	0,63
Średni wsp. przenikania ciepła dla przegród wewnętrznych	0,89 W/(m ² K)	1,01 W/(m ² K)	0,98 W/(m ² K)
Średni wsp. przenikania ciepła dla przegród zewnętrznych	1,01 W/(m ² K)	1,03 W/(m ² K)	0,92 W/(m ² K)
Stan ogrzewania sąsiednich lokali	nad – ogrzewany pod – pustostan obok – słabo ogrzewany	nad – ogrzewany pod – ogrzewany obok – słabo ogrzewany	nad – ogrzewany pod – słabo ogrzewany obok – ogrzewany

Czujniki zainstalowane były na wysokości około 1,5 m nad posadzką. Czujniki te rejestrowały wartości temperatury w kroku minutowym.

W analizowanej kamienicy prowadzono również pomiary temperatur powietrza w przestrzeniach nieogrzewanych: piwnicy oraz na klatce schodowej. Ze względu na specyfikę klatki schodowej zdecydowano się na montaż czujników temperatury na parterze oraz na IV piętrze budynku.

Pomiar zużycia energii końcowej na cele ogrzewania realizowany był różnymi metodami, w zależności od systemu grzewczego zainstalowanego w mieszkaniu.

Lokal M1 ogrzewany był głównie grzejnikami elektrycznymi zamontowanymi na stałe. W pokoju oraz kuchni grzejniki zlokalizowane były pod oknami, na ścianie zewnętrznej, a w przedpokoju na ścianie wewnętrznej. Na zasilaniu każdego z grzejników zamontowano licznik energii elektrycznej, który rejestrował dane o zużyciu w kroku minutowym. Poza grzejnikami elektrycznymi, lokal dogrzewany był piecem kaflowym (zasilanym głównie brykietem), zlokalizowanym w salonie, w centralnej części mieszkania. Pomiaru ilości zużytego paliwa użytkownicy dokonywali poprzez zapis w dzienniku ilości kostek brykietu zużytych w poszczególnych godzinach doby (zapisywano liczbę kostek brykietu oraz godzinę dołożenia ich do pieca).

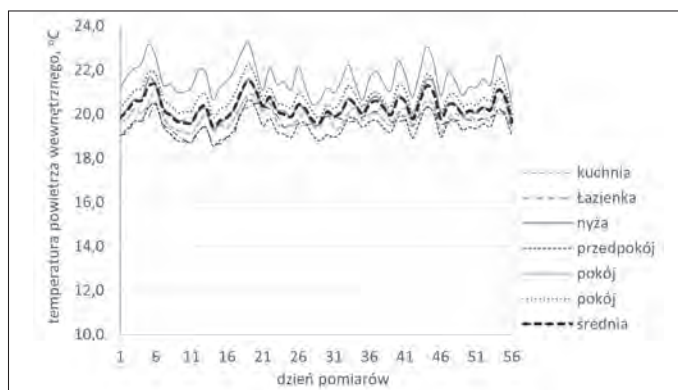
Lokal M2 ogrzewany był piecem kaflowym zlokalizowanym w salonie. Piec zasilany był głównie brykietem w kostkach. Pomiaru ilości zużytego paliwa użytkownicy dokonywali poprzez zapis w dzienniku ilości kostek brykietu zużytych w ciągu dnia oraz godziny ich dołożenia do pieca. Jeżeli do celów grzewczych wykorzystywane było inne paliwo np. drewno lub węgiel, dodatkowo dokonywano jego ważenia. Łazienka była dogrzewana, najczęściej w trakcie kąpieli, akumulacyjnym grzejnikiem olejowym, na zasilaniu którego zamontowano licznik energii elektrycznej, rejestrujący pomiary w kroku minutowym.

Lokali M3 ogrzewany był głównie piecem kaflowym z zamontowanymi trzema grzałkami elektrycznymi, każda o mocy 1 kW. Ze względu na brak możliwości montażu licznika energii elektrycznej w układzie trójfazowego zasilania grzałek elektrycznych, ilość i czas załączeń grzałek elektrycznych notowane były w dzienniku. Dodatkowo lokal wyposażony był w akumulacyjny grzejnik olejowy oraz farelkę elektryczną, które służyły do dogrzewania pomieszczeń i w trakcie pomiarów uruchamiane były sporadycznie. Na zasilaniu grzejnika olejowego oraz farelki zamontowano liczniki energii elektrycznej, które rejestrowały dane w kroku minutowym.

Wyniki pomiarów temperatury powietrza

Zmiany średniej dobowej wartości temperatury powietrza w lokalu M1 w okresie badań przedstawiono na rysunku 2. Średnia

Rysunek 2.
Temperatura powietrza w poszczególnych pomieszczeniach w lokalu M1 w trakcie badań: 14.01.2020 – 9.03.2020 r.
Figure 2. Air temperature in individual rooms in M1 during measurements: 14.01.2020 – 9.03.2020



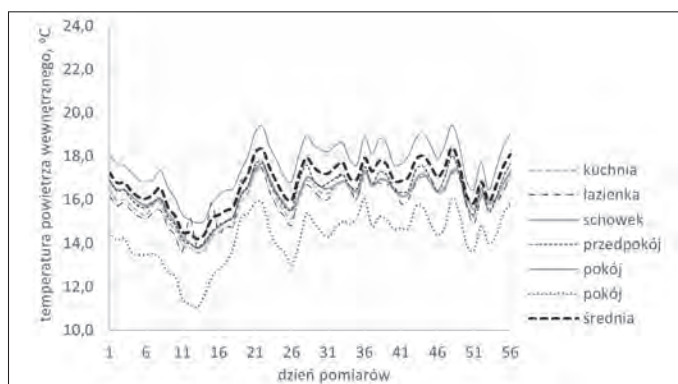
temperatura powietrza w mieszkaniu wyniosła w trakcie pomiarów 20,3°C. Różnica między maksymalną, a minimalną średnią dobową temperaturą w mieszkaniu nie przekraczała 2K. Użytkownicy utrzymywali w miarę podobną i stabilną temperaturę powietrza w całym mieszkaniu. Średnia temperatura w najcieplejszym pomieszczeniu (pokoju) wynosiła 21,6°C, a w najzimniejszym (przedpokoju) 19,5°C. Utrzymanie stabilnej i wysokiej temperatury było możliwe głównie dzięki grzejnikom elektrycznym zamontowanym w każdym pomieszczeniu pod oknami oraz okazjonalnej pracy pieca kaflowego. Mieszkańcy zgłaszali konieczność utrzymywania stale wysokiej temperatury w mieszkaniu w celu przeciwdziałania powstawaniu pleśni. Okresowe obniżenie temperatury powietrza w lokalu, w opinii użytkowników, wiąże się z dużym ryzykiem występowania wilgoci na przegrodach.

Przebieg zmian wartości średnich dobowych temperatur powietrza w lokalu M2 przedstawiono na rysunku 3. Temperatura średnia powietrza w tym mieszkaniu była znacznie niższa niż w lokalu M1 i wynosiła 16,7°C. Wartość ta mocno zmieniała się w czasie, co było wynikiem okresowej eks-

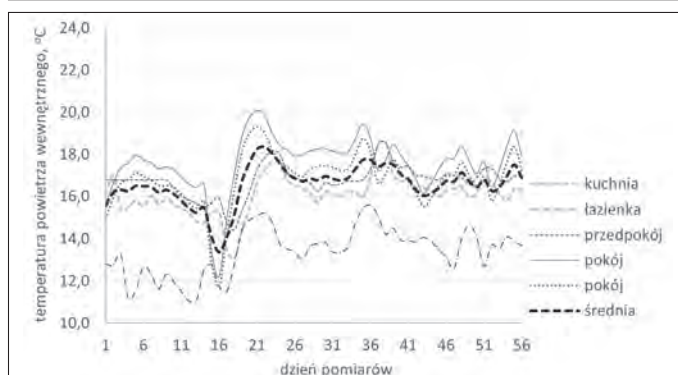
ploatacji źródła ciepła. Różnica między maksymalną, a minimalną średnią dobową temperaturą w mieszkaniu przekraczała 4K. Warto zauważyć że, wartości temperatury powietrza w mieszkaniu były mocno zróżnicowane. W salonie, czujnik umieszczony pod oknem wskazywał średnio 14,3°C, a czujnik w centralnej części pomieszczenia 17,6°C. Tak istotna różnica wartości temperatury powietrza w różnych miejscach tego samego pomieszczenia związana była z rodzajem zainstalowanego źródła ciepła tj. pieca kaflowego, który znajdował się w centralnej części mieszkania – przy ścianie do schowka. W lokalu M2 łazienka była jednym z zimniejszych pomieszczeń, jej średnia temperatura wyniosła 16,0°C, co było wynikiem odległość od pieca kaflowego i faktu, że grzejnik elektryczny w niej zamontowany uruchamiany był tylko w celu dogrzewania pomieszczenia w czasie kąpieli. Pomimo niedotrzymania wymaganych temperatur wewnętrznych, właścicielka twierdziła, że w mieszkaniu nie występuje problem z pleśnią i zawilgoceniem przegród.

Zmiany wartości średniej dobowej temperatury powietrza w lokalu M3 przedstawiono na rysunku 4. Jest to lokal, który

Rysunek 3.
Temperatura powietrza w poszczególnych pomieszczeniach w lokalu M2 w trakcie badań: 14.01.2020 – 9.03.2020 r.
Figure 3 Air temperature in individual rooms in M2 during measurements: 14.01.2020 – 9.03.2020



Rysunek 4.
Temperatura powietrza w poszczególnych pomieszczeniach w lokalu M3 w trakcie badań: 14.01.2020 – 9.03.2020 r.
Figure 4 Air temperature in individual rooms in M3 during measurements: 14.01.2020 – 9.03.2020



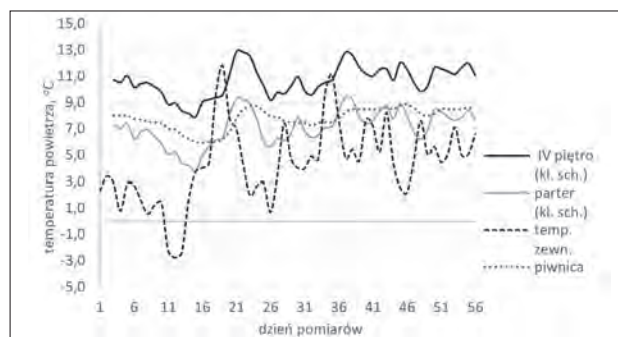
charakteryzował się najniższymi temperaturami powietrza wewnętrznego. Średnia wartość tej temperatury wyniosła $16,6^{\circ}\text{C}$, a jej wahania były największe. Różnica między maksymalną, a minimalną średnią dobową temperaturą w mieszkaniu wynosiła niemal 5K . Różnicowanie temperatur pomiędzy poszczególnymi pomieszczeniami również było najwyższe. Średnia temperatura w najcieplejszym pomieszczeniu (pokoju) wynosiła $17,6^{\circ}\text{C}$, a w najzimniejszym (łazience) $13,4^{\circ}\text{C}$. W przypadku łazienki najwyższa średnia dobową wartość temperatury powietrza wynosiła $15,6^{\circ}\text{C}$, co znacząco różni się od wymaganej wartości wynoszącej 24°C [26]. Pomieszczenie to, według właścicieli, jest sporadycznie dogrzewane za pomocą farelki elektrycznej w czasie kąpieli, jednak w okresie badań uruchomienia tego urządzenia grzewczego nie zarejestrowano. Tak niskie temperatury powietrza w pomieszczeniach lokalu M3 są wynikiem rodzaju zastosowanego źródła ciepła – pieca kaflowego z wbudowanymi grzałkami elektrycznymi i związanymi z tym wysokimi kosztami ogrzewania, których nie są w stanie ponosić mieszkańcy. Zbyt niska temperatura powietrza wewnętrznego przekłada się na istotne, zgłaszane przez użytkowników problemy z pleśnią oraz zawilgoceniem przegród budowlanych. Inwentaryzacja wykazała, że ślady pleśni i zawilgocenia były zauważalne jedynie w narożnikach ścian, natomiast na pozostałej powierzchni przegród problem ten nie występował.

Na podstawie danych pomiarowych wykazano, że średnia dobową temperatura wewnętrzną w okresie badań wynosiła w lokalu M1 od $19,4^{\circ}\text{C}$ do $21,5^{\circ}\text{C}$, w lokalu M2 od $14,2^{\circ}\text{C}$ do $18,4^{\circ}\text{C}$, a w lokalu M3 od $13,4^{\circ}\text{C}$ do $18,3^{\circ}\text{C}$. Warto zwrócić uwagę, że średnia temperatura powietrza wewnętrznego dwóch z trzech prezentowanych lokali (M2 i M3) wyniosła w okresie badań około $16,6^{\circ}\text{C}$, a najniższa stwierdzona średnia dobową temperatura w pojedynczym pomieszczeniu to zaledwie $11,0^{\circ}\text{C}$ (łazienka w lokalu M3).

W mieszkaniach ogrzewanych jednym piecem kaflowym zlokalizowanym w centralnej części mieszkania (zasilanym paliwem stałym lub energią elektryczną) profil temperatury wewnętrznej nie był poprawny, obserwowano wysokie jej wahania. W tym miejscu warto zaznaczyć, że sposób użytkowania lokali w okresie pomiarów, na podstawie opinii ich mieszkańców pozyskanej w trakcie przeprowadzonych wywiadów, należy uznać za typowy dla okresu zimowego.

Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania kształtowane jest nie tylko przez temperatury powietrza przestrzeni ogrzewanych, ale również przestrzeni nieogrzewanych (piwnic czy poddaszy) oraz na klatkach schodowych. Temperatury te, ze względu na specyfikę kamienic przedwojennych

Rysunek 5.
Temperatura powietrza w nieogrzewanej piwnicy, na klatce schodowej oraz powietrza zewnętrznego w trakcie pomiarów 14.01.2020 – 9.03.2020 r.
Figure 5 Air temperature in the unheated basement, staircase and outside air during measurements 14.01.2020 – 9.03.2020

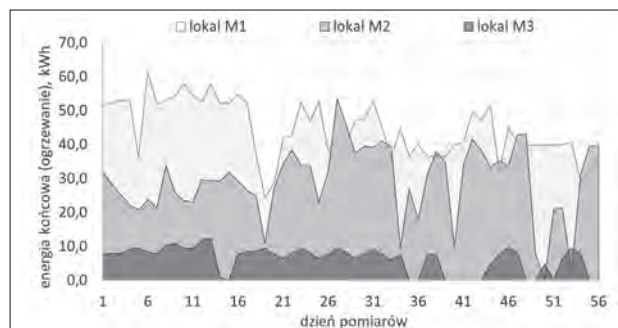


nych odbiegać mogą od wartości typowych dla lepiej zaizolowanych budynków. Wartości średniej dobowej temperatury powietrza w piwnicy i na klatce schodowej badanej kamienicy przedstawiono na rysunku 5. Ze względu na brak systemu ogrzewania na klatce schodowej, temperatura powietrza na poziomie parteru wyniosła średnio około $7,1^{\circ}\text{C}$. Tak więc, w warunkach stosunkowo wysokich temperatur powietrza zewnętrznego (średnio $4,4^{\circ}\text{C}$) wartość temperatury powietrza na klatce schodowej na parterze badanego obiektu spadała poniżej temperatury projektowej (wynoszącej 8°C dla temperatury powietrza zewnętrznego -18°C) [26]. Średnia temperatura powietrza na klatce schodowej na poziomie ostatniej kondygnacji osiągnęła wartość $10,6^{\circ}\text{C}$ (czyli około $3,5$ stopnia więcej niż na parterze). Średnia temperatura powietrza w piwnicy wyniosła około $7,8^{\circ}\text{C}$. W przypadku temperatury powietrza w piwnicy zaobserwowano nieco mniejszy niż w przypadku klatki schodowej wpływ wahań temperatury powietrza zewnętrznego na kształtowanie się temperatury powietrza w pomieszczeniu.

Analiza ankiet oraz wywiadów z mieszkańcami wskazały, że decyzja o obniżeniu temperatury wewnętrznej w lokalach mieszkalnych może mieć różne podstawy. Pomijając przyczynę, jaką jest trwałe lub tymczasowe opuszczenie lokalu użytkownicy decydują się na obniżenie temperatury pomieszczeń w wyniku:

- indywidualnych preferencji, wynikających z niższych warunków komfortu cieplnego;
- chęci zmniejszenia kosztów ogrzewania;
- braku funduszy na pokrycie kosztów ogrzewania;
- zbyt małej efektywności, mocy lub awarii indywidualnego systemu ogrzewania;

Rysunek 6.
Zużycie energii końcowej na cele ogrzewania poszczególnych mieszkań w trakcie badań: 14.01.2020 – 9.03.2020 r.
Figure 6 Final energy consumption for heating of individual apartments during the study: 14.01.2020 – 9.03.2020



- stanu zdrowia uniemożliwiającego ciągłą eksploatację źródła ciepła;
- braku możliwości logistycznych zapewnienia stałej temperatury w lokalu w ciągu doby, wynikającej z obowiązków służbowych lub prywatnych.

Pierwsze dwa czynniki skutkują podejmowaniem zamierzonych działań i zazwyczaj objawiają się jedynie niewielką korektą temperatury powietrza w pomieszczeniach. Kolejne czynniki wskazują natomiast na poważne problemy, w szczególności ubóstwo energetyczne. W budżecie domowym takich gospodarstw brak jest środków na zakup odpowiedniej ilości paliwa (ciepła) lub na dostosowanie źródła ciepła do potrzeb mieszkańców. Bez względu na przyczynę, ograniczenie temperatury powietrza w lokalu mieszkalnym ma wpływ na eksploatacyjną charakterystykę energetyczną zarówno lokalu niedogrzanego, jak i mieszkań sąsiednich. Poziom wpływ niedogrzewanych mieszkań na bilans energetyczny lokali sąsiednich może być bardzo zróżnicowany, a diagnoza problemu jest istotna z punktu widzenia wszelkich analiz bazujących na danych zużyciowych. Ta relokacja strat ciepła jest jedną z przyczyn szeroko omawianej w literaturze „luki energetycznej” (ang. energy performance gap – EPG) [5–7, 27].

Luka energetyczna i relokacja strat ciepła

W trakcie badań prowadzono pomiary zużycia energii końcowej na cele ogrzewania pomieszczeń. Wyniki tych pomiarów, obrazujące zużycie energii w kolejnych dobach w trzech omawianych lokalach mieszkalnych, zamieszczono na rysunku 6. Wartości całkowitego zużycia energii końcowej i odpowiadające temu zużyciu warunki

Tabela 2. Wyniki pomiarów zużycia energii końcowej i parametry użytkowania lokali w trakcie badań
Table 2. Results of measurements of final energy consumption and parameters of use of premises in the course of the study

Parametr charakterystyczny	Lokal M1	Lokal M2	Lokal M3
Energia końcowa do c.o. (Q_{rz})	2 770 kWh	1 481 kWh	360 kWh
Średnia temp. powietrza wew.	20,3°C	16,7°C	16,6°C
Krotność wymiany powietrza	0,55 1/n	0,46 1/n	0,25 1/n
Zyski wewnętrzne	3,4 W/m ²	2,7 W/m ²	5,2 W/m ²

w lokalach zestawiono w tabeli 2. Warunki w lokalach określono na podstawie informacji pozyskanych w trakcie badań [6, 23, 28]. Średnie wartość temperatury powietrza wewnętrznego obliczono na podstawie wyników pomiarów. Krotność wymiany powietrza oszacowano na podstawie pomiaru stężenia dwutlenku węgla, informacji o częstotliwości wietrzenia oraz informacji na temat organizacji wymiany powietrza w pomieszczeniach, tj. obecności kratek wentylacyjnych i nawiewników. Rzeczywiste zyski wewnętrzne określono na podstawie pozyskanych od mieszkańców szczegółowych informacji dotyczących czasu wykonywania podstawowych prac domowych, wyposażenia lokalu oraz harmonogramu użytkowania pomieszczeń.

Zużycie energii końcowej na cele ogrzewania lokalu M3 wyniosło w okresie prowadzenia pomiarów jedynie 360 kWh. W lokalu M2 zużycie tej energii wyniosło 1 481 kWh, czyli 411% zużycia energii w lokalu M3. W lokalu M1 zużycie energii końcowej do ogrzewania wyniosło 2 770 kWh, co stanowi 770% zużycia zmierzonego w lokalu M3.

Dalsze prace badawcze, polegające na ocenie wpływu poszczególnych zmiennych (tj.: temperatury powietrza zewnętrznego, zysków wewnętrznych, temperatury powietrza w lokalach, poziomu wentylacji oraz temperatury powietrza w przestrzeniach otaczających lokal) na bilans energii poszczególnych mieszkań miały formę symulacji, do których wykorzystano kalibrowane modele energetyczne mieszkań. Kalibrację tę przeprowadzono z użyciem danych pozyskanych w trakcie pomiarów oraz informacji pozyskanych w wyniku przeprowadzonych badań [5, 6], w tym podczas badań ankietowych, które umożliwiły analizę behawioralną użytkowników [23]. Na potrzeby symulacji wartości współczynników przenikania ciepła poszczególnych przegród obliczono na podstawie danych z dokumentacji technicznej oraz inwentaryzacji, przyjmując, że budynek wykonano zgodnie z projektem. Współczynniki te pozwoliły na określenie wielkości poszczególnych strumieni ciepła i jego zużycia.

Jako punkt odniesienia przyjęto tzw. warunki standardowe. Parametry charakterystyczne dla tych warunków przyjęto zgodnie

z polskimi przepisami [26, 29] i zestawiono w tabeli 3. Jako dane klimatyczne przyjęto dane dla miasta Wrocław zalecane do wykonywania obliczeń energetycznych budynków [30]. Wyniki symulacji zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania poszczególnych mieszkań w warunkach standardowych dla tego samego okresu w jakim prowadzono badania zawarto w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki symulacji zapotrzebowania na energię końcową i parametry użytkowania lokali dla warunków standardowych
Table 3. Simulation results of final energy demand and occupancy parameters of premises for standard conditions

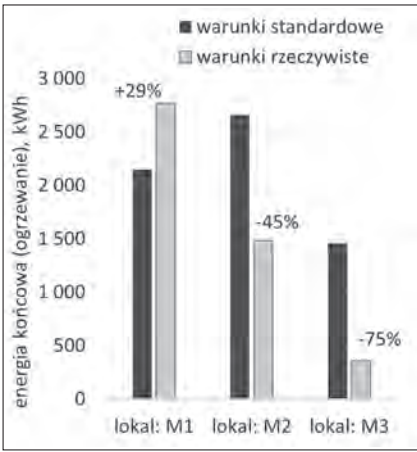
Parametr charakterystyczny	Lokal M1	Lokal M2	Lokal M3
Energia końcowa do c.o. (Q_{st})	2 150 kWh	2 663 kWh	1 460 kWh
Średnia temp. powietrza wew.	20,6°C	20,3°C	20,4°C
Krotność wymiany powietrza	0,64 1/n	0,63 1/n	0,63 1/n
Zyski wewnętrzne	7,1 W/m ²	7,1 W/m ²	7,1 W/m ²

Wykazano, że w warunkach standardowych lokal M3 wykazałby zużycie energii końcowej do ogrzewania w okresie analogicznym do tego, w którym prowadzono badania wynoszące 1 460 kWh. Mieszkanie M2 powinno zużyć 2 663 kWh, czyli 182% zużycia wykazanego w lokalu M3. Mieszkanie M1 powinno zużyć 2 150 kWh czyli 147% zużycia wykazanego w lokalu M3. Jak można zauważyć, wartości zużycia energii końcowej do ogrzewania i ich wzajemne relacje znacząco odbiegają od wartości i relacji wykazanych w tabeli 2. Rozbieżność pomiędzy zużyciem energii końcowej do ogrzewania w warunkach rzeczywistych (Q_{rz}) a zużyciem energii w warunkach standardowych (Q_{st}) oceniono za pomocą tzw. luki energetycznej (EPG), zdefiniowanej poniższym równaniem (1).

$$EPG = \frac{Q_{rz} - Q_{st}}{Q_{st}} \quad (1)$$

Wartość całkowitej luki energetycznej analizowanych lokali przedstawiono na rysunku 7. Jak można zauważyć zużycie energii końcowej do ogrzewania jest dla lokalu M1 wyższe o 29% od spodziewanego. Dla lokali M2 i M3 luka energetyczna przyjęła wartości ujemne i wyniosła odpowiednio -45% i -75%.

Celem badań było ukazanie stopnia wpływu poszczególnych zmiennych na wartość całkowitej luki energetycznej. Stąd też wyniki pomiarów i symulacje wykonane dla warunków standardowych uzupełniono obliczeniami zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania poszczególnych lokali, dla trzech innych wariantów użytkowania lokalu. Uzyskano łącznie 5 stanów zapotrzebowania na energię końcową w każdym z analizowanych lokali:



Rysunek 7. Całkowita luka energetyczna (EPG) w analizowanych lokalach mieszkalnych w trakcie badań: 14.01.2020 – 9.03.2020 r.
Figure 7. Total energy gap (EPG) in the analyzed residential units during the study: 14.01.2020 – 9.03.2020

- Q_{st} – wartość zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania wyznaczona dla warunków standardowych użytkowania lokalu, kWh
- Q_1 – wartość zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania wyznaczona dla rzeczywistych warunków pogodowych (pozostałe dane jak dla warunków standardowych), kWh
- Q_2 – wartość zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania wyznaczona dla rzeczywistych warunków pogodowych i rzeczywistych zysków wewnętrznych (pozostałe dane jak dla warunków standardowych), kWh
- Q_3 – wartość zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania wyznaczona dla rzeczywistych warunków pogodowych, rzeczywistych zysków wewnętrznych i temperatur powietrza wewnętrznego w przestrzeniach otaczających mieszkanie (pozostałe dane jak dla warunków standardowych), kWh
- Q_{rz} – wartość zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania zmierzona w warunkach rzeczywistych użytkowania lokalu, kWh

Znając powyższe wartości zapotrzebowania na energię określono cztery składowe całkowitej luki energetycznej: wpływ warunków pogodowych, wpływ zysków wewnętrznych, wpływ przestrzeni otaczających i wpływ warunków wewnętrznych w lokalu. Metodę wyznaczenia poszczególnych składowych opisano poniżej.

Różnica w zużyciu energii ($\Delta Q(1)$) i luka ($EPG(1)$) wynikająca z innych niż standardowe warunków pogodowych:

$$\Delta Q(1) = Q_1 - Q_{st} \quad (2)$$

$$EPG(1) = \frac{\Delta Q(1)}{Q_{st}} \quad (3)$$

Różnica w zużyciu energii ($\Delta Q(2)$) i luka ($EPG(2)$) wynikająca z innych niż standardowe wewnętrznych zysków ciepła w lokalu:

$$\Delta Q(2) = Q_2 - Q_1 \quad (4)$$

$$EPG(2) = \frac{\Delta Q(2)}{Q_{st.}} \quad (5)$$

Różnica w zużyciu energii ($\Delta Q(3)$) i luka ($EPG(3)$) wynikająca z innych niż standardowe wartości temperatury powietrza wewnętrznego w przestrzeniach otaczających mieszkanie:

$$\Delta Q(3) = Q_3 - Q_2 \quad (6)$$

$$EPG(3) = \frac{\Delta Q(3)}{Q_{st.}} \quad (7)$$

Różnica w zużyciu energii ($\Delta Q(4)$) i luka ($EPG(4)$) wynikająca z innych warunków w lokalu:

$$\Delta Q(4) = Q_{rz.} - Q_3 \quad (8)$$

$$EPG(4) = \frac{\Delta Q(4)}{Q_{st.}} \quad (9)$$

Wyniki tych analiz zamieszczono na rysunkach 8-10.

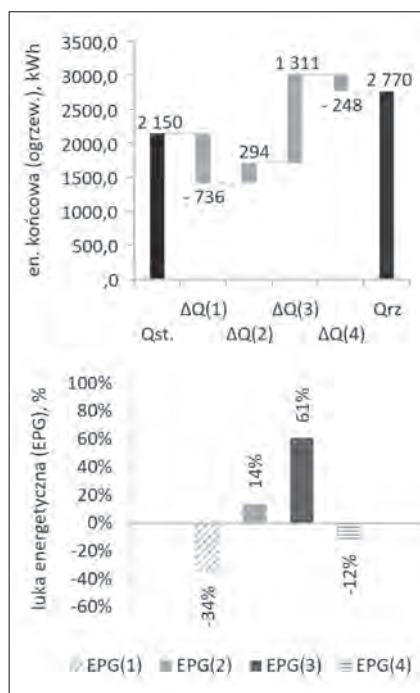
W lokalu M1 główną przyczyną luki energetycznej, w tym przypadku przejawiającej się zwiększonym zużyciem energii do ogrzewania względem warunków standardowych, jest odmienna od wymaganej temperatura przestrzeni otaczających. Zaniżona temperatura w sąsiednich, nieogrzewanych

lokalach oraz bardzo niska temperatura klatki schodowej powodują, że pomimo korzystniejszych warunków pogodowych lokal zużył więcej energii niż było to oczekiwane. Zwiększenie to, względem warunków obliczeniowych wynosi 29%. Sam zaś wpływ otoczenia to aż 61% względem zużycia energii, które wykazałby lokal gdyby otoczenie było ogrzewane do odpowiedniej temperatury. Sytuacja ta znajduje odzwierciedlenie w opiniach mieszkańców lokalu, którzy twierdzą, że pomimo starań i ponoszonych kosztów nie są w stanie dogrzeć swojego mieszkania. W ich odczuciu temperatura w lokalu powinna być wyższa niż obecnie. Ta nieco niższa od standardowej wartość jest przyczyną 12% oszczędności w zużyciu energii końcowej do ogrzewania, nie jest to jednak wynik chęci oszczędzania mieszkańców, a wynik braku odpowiedniej mocy grzewczej instalacji w lokalu mieszkalnym. Całkowita wartość luki energetycznej wynikającej z relokacji strat ciepła w tym lokalu wyniosła 49% ($EPG(3)+EPG(4)$).

W lokalu M2, oprócz rzeczywistych warunków pogodowych, stwierdzono dwie inne, bardzo istotne i przeciwstawne sobie składowe luki energetycznej. Przyczyną zwiększenia zużycia energii do ogrzewania względem warunków standardowych jest odmienna od wymaganej temperatura przestrzeni otaczających (szczególnie klatki schodowej). Wykazano wpływ przestrzeni otaczających lokal wynoszący 39%. Docelowo luka energetyczna przyjęła jednak dla

tego mieszkania wartość ujemną, wynoszącą aż -45%, co jest wynikiem wyższych niż standardowe temperatur powietrza zewnętrznego oraz istotnego obniżenia temperatury w mieszkaniu, z wartości 20,3°C do 16,5°C. Ten wpływ temperatury w mieszkaniu oceniono na -64%. W opinii mieszkanki lokalu temperatura, którą utrzymuje w mieszkaniu jest akceptowalna, a na utrzymanie wyższej z jednej strony jej nie stać, a z drugiej brakuje sił niezbędnych do przyniesienia paliwa składowanego w piwnicy budynku. Całkowita wartość luki energetycznej wynikającej z relokacji strat ciepła w tym lokalu wyniosła -25% ($EPG(3)+EPG(4)$).

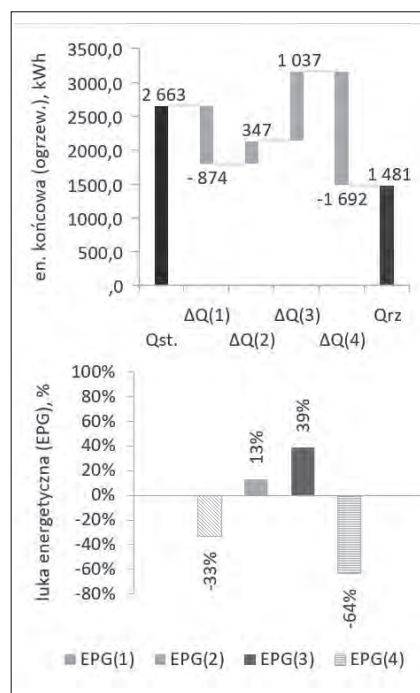
W lokalu M3 stwierdzono, że oprócz rzeczywistych warunków pogodowych, istotną składową całkowitej luki energetycznej są odmiennie od wymaganych wartości temperatury powietrza w mieszkaniu oraz poziom wentylacji. Inne niż projektowe warunki eksploatacji mieszkania spowodowały, że wartość składowej luki energetycznej związanej z tymi czynnikami przyjęła wartość ujemną i wyniosła -74%. Obniżenie temperatury w mieszkaniu, ograniczenie wentylacji, w połączeniu z wpływem warunków pogodowych przyniosło skutek w postaci ujemnej wartości luki energetycznej wynoszącej -75%, pomimo mniejszych zysków wewnętrznych i niższych temperatur otoczenia. W opinii mieszkańców lokalu temperatura powietrza w mieszkaniu nie jest wystarczająca, jednak brakuje środków



Rysunek 8.

Wpływ poszczególnych zmiennych na wartość zapotrzebowania na energię końcową oraz na wartość EPG w lokalu M1

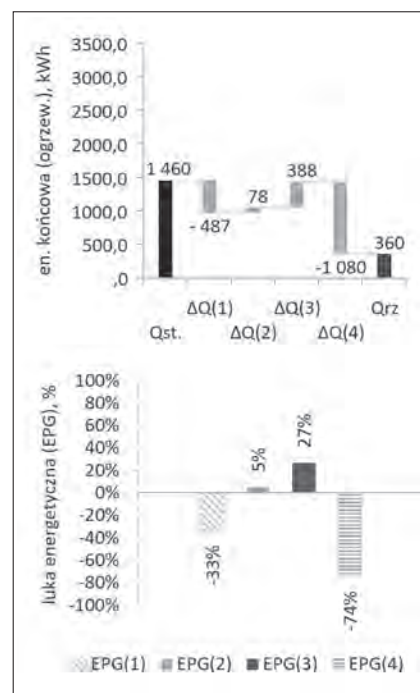
Figure 8. Influence of individual variables on the value of the final energy demand and the value of the EPG at premises M1



Rysunek 9.

Wpływ poszczególnych zmiennych na wartość zapotrzebowania na energię końcową oraz na wartość EPG w lokalu M2

Figure 9. Influence of individual variables on the value of the final energy demand and the value of the EPG at premises M2



Rysunek 10.

Wpływ poszczególnych zmiennych na wartość zapotrzebowania na energię końcową oraz na wartość EPG w lokalu M3

Figure 10. Influence of individual variables on the value of the final energy demand and the value of the EPG at premises M3

finansowych na to, aby utrzymywać wyższy komfort cieplny w mieszkaniu. Całkowita wartość luki energetycznej wynikającej z relokacji strat ciepła w tym lokalu wyniosła -47% (EPG(3)+EPG(4)).

Jak można zauważyć istotny wpływ na wartość luki energetycznej miały rzeczywiste warunki pogodowe. W trakcie badań były one przyczyną luki ujemnej (czyli zmniejszonego zużycia energii) wynoszącej odpowiednio -34% (lokal M1) i -33% (lokale M2 i M3). Warto podkreślić, że w ostatnich latach warunki pogodowe zazwyczaj są przyczyną powstawania ujemnej luki energetycznej; okresy grzewcze są cieplejsze niż przewidują to dane dla sezonu standardowego.

Wartość luki energetycznej związanej z wewnętrznymi zyskami ciepła okazała się w badanych lokalach najmniej istotna. Przyjęła ona wartości dodatnie i wyniosła 5% (lokal M3), 13% (lokal M2) i 14% (lokal M1). Warto podkreślić, że w żadnym z lokali nie stwierdzono poziomu zysków wewnętrznych zgodnego z warunkami standardowymi zalecanymi przez Rozporządzenie [29].

W badanych lokalach wartość luki energetycznej poszczególnych mieszkań związanej z rzeczywistą temperaturą powietrza panującą w sąsiednich pomieszczeniach okazała się jednym z kluczowych czynników warunkujących rzeczywiste zużycie energii końcowej do ogrzewania. W każdym z lokali otoczenie miało niekorzystny wpływ na wartość zużycia energii, dla wszystkich lokali wykazano lukę dodatnią, wynoszącą 27% (lokal M3), 39% (lokal M2) i 61% (lokal M1).

Wartość luki energetycznej związanej z warunkami wewnętrznymi panującymi w mieszkaniach (temperatura wewnętrzna i wentylacja) charakteryzuje się największymi rozbieżnościami pomiędzy poszczególnymi lokalami. Zasadniczo dla wszystkich mieszkań przyjęła ona wartość ujemną i wyniosła -74% (lokal M3), -64% (lokal M2) i -12% (lokal M1).

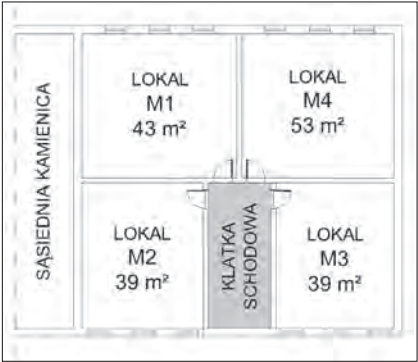
Jak można zauważyć na rysunkach 8-10 na wartość całkowitej luki energetycznej składa się szereg czynników. Ich dokładna identyfikacja ukazuje, że czynniki dla jednych lokali korzystne w innych skutkują zjawiskami niekorzystnymi. Dość często składowe dodatnie luki energetycznej (czyli prowadzące do zwiększenia zużycia energii do ogrzewania) kompensowane są składowymi ujemnymi. Zasadniczo, poza czynnikami związanymi z pogodą, wszystkie inne czynniki wykazały silne zróżnicowanie pomiędzy lokalami. Stwierdzono, że w badanych mieszkaniach relokacja strat ciepła, wynikająca z nietypowych wartości temperatur w mieszkaniach i otaczających przestrzeniach, miała istotny wpływ na całkowitą lukę energetyczną oraz prowadziła do niesprawiedliwości rozliczeń energii w obiekcie.

Symulacja strat ciepła i ich relokacji w kamienicy przedwojennej

Przedmiot analiz

Wnioski z badań in-situ oraz symulacji i analiz wykonanych dla trzech opisanych w pierwszej części artykułu lokali posłużyły do przyjęcia założeń do modelowania energochłonności przykładowej kamienicy. Celem było ukazanie relokacji strat ciepła pomiędzy mieszkaniami dla różnych scenariuszy ogrzewania poszczególnych lokali i przy różnym poziomie termomodernizacji budynku.

Analizę poziomu relokacji strat ciepła przeprowadzono dla przyjętej na podstawie wniosków z przeprowadzonych badań [6, 23], typowej dla danego obszaru kamienicy referencyjnej. Kamienica ta ma pięć kondygnacji mieszkalnych, z czterema lokalami mieszkalnymi na każdej z nich. Jest budynkiem kończącym pierzeję, o jednej ścianie przyległej do sąsiedniej kamienicy. Rysunek 11 przybliża układ mieszkań na kolejnych, powtarzalnych kondygnacjach. Podstawowe informacje dotyczące kamienicy referencyjnej zestawiono w tabeli 4.



Rysunek 11. Schemat powtarzalnej kondygnacji budynku
Figure 11. Diagram of a repetitive floor of a building

W celu wyznaczenia zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji dla poszczególnych mieszkań i całej kamienicy wykorzystano standardowe oprogramowanie komputerowe Audytor OZC. Procedura wyznaczenia zapotrzebowania na ener-

Tabela 4. Charakterystyka kamienicy referencyjnej
Table 4. Characteristics of the reference tenement

Parametr	Wartość	Jednostka
Liczba kondygnacji	5	-
Wysokość kondygnacji	3	m
Długość elewacji x szerokość budynku	15,8 x 15,1	m
Kubatura budynku	4294,44	m³
Współczynnik kształtu	0,32	1/m
Przeszklenie ścian zewnętrznych	18,3	%
Współczynnik n ₅₀	5	1/h

gię grzewczą budynków zgodna była z normą PN-EN ISO 13790 [31]. Obliczenia wykonano dla danych klimatycznych dla miasta Wrocław [30].

Koncepcja analiz

Analizę energochłonności całego budynku, jak i poszczególnych mieszkań w kamienicy prowadzono dla trzech scenariuszy:

- scenariusz 1: wszystkie mieszkania są ogrzewane do 21 °C;
- scenariusz 2: mieszkania M2_lp, M3_lp, M1_lIp i M1_lVp są ogrzewane do 16,5 °C;
- scenariusz 3: mieszkania M2_lp, M3_lp, M1_lIp i M1_lVp są nieogrzewane.

Dla każdego scenariusza wykonano obliczenia dla trzech stanów technicznych analizowanej kamienicy referencyjnej:

- stan techniczny 1: brak termomodernizacji kamienicy;
- stan techniczny 2: izolacja ścian wewnętrznych 5 cm styropianu;
- stan techniczny 3: pełna, możliwa technicznie, termomodernizacja budynku.

W każdym z analizowanych wariantów klatka schodowa przyjęta została jako pomieszczenie bez zainstalowanego systemu ogrzewania. Wartości współczynników przenikania ciepła przegród w budynku dla poszczególnych stanów technicznych obiektu przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych
Table 5. Heat transfer coefficients of building partitions

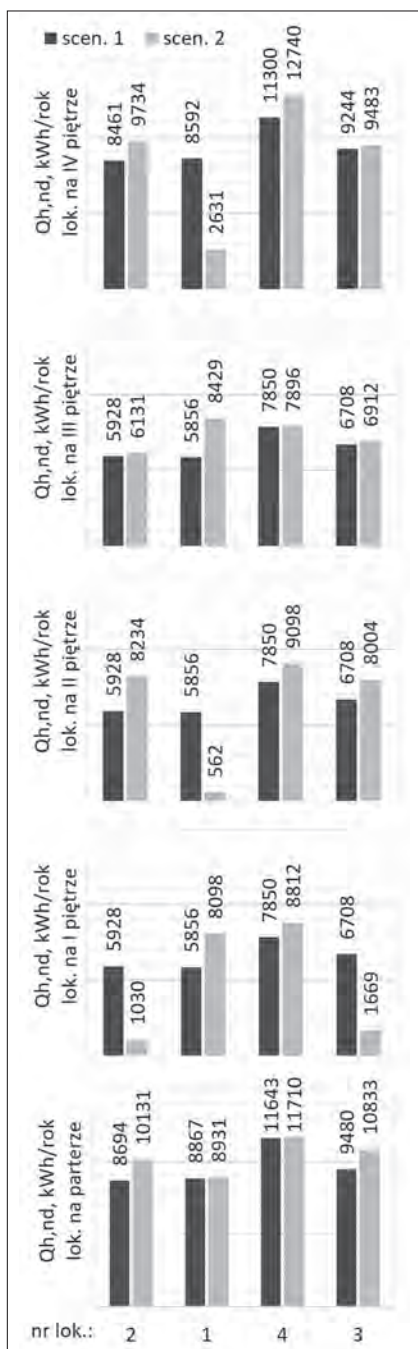
Przegroda	Współczynnik przenikania ciepła, W/(m²K)		
	Stan 1	Stan 2	Stan3
Strop wewnętrzny	↑0,75 ↓0,71	↑0,75 ↓0,71	↑0,36 ↓0,34
Strop pod poddaszem	0,54	0,54	0,25
Dach	3,00	3,00	3,00
Ściana zewnętrzna	1,01	1,01	0,64*
Strop nad piwnicą	0,98	0,98	0,25
Ściana wewnętrzna – dylatacja	0,90	0,90	0,70
Ściana wewnętrzna	1,60	0,50	0,50
Okna zewnętrzne	1,70**	1,70**	0,90***
Okna wewnętrzne w piwnicy	3,00**	3,00**	1,4**
Drzwi wewnętrzne	2,50	2,50	2,50
Drzwi zewnętrzne	3,50	3,50	1,30

* Uwzględnia izolację wewnętrzną płytami z gazobetonu (10 cm, ρ=600 kg/m³)
** g_{gl}=0,75
*** g_{gl}=0,70

Wyniki analiz

Stan 1 – brak termomodernizacji

Całkowite zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji (Q_{h,nd}) dla kamienicy, w której temperatura wewnętrzna wszystkich mieszkań wynosi 21 °C (scenariusz 1) wynosi 155 307 kWh/rok. Wyniki uzyskane dla poszczególnych



Rysunek 12.

Zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji w zależności od stopnia ogrzewania poszczególnych mieszkańców (scenariusz 1 i 2) dla stanu technicznego 1

Figure 12. Energy demand for heating and ventilation depending on the heating scenario of each apartment (scenario 1 and 2) for technical condition 1

mieszkań zawiera rysunek 12. Średni wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji wynosi dla mieszkańców w kamienicy 177,9 kWh/(m²rok). Jednostkowe zapotrzebowanie na energię najmniej energochłonnych lokali wynosi 136,2 kWh/m² (lokale M1_Ip, M1_Ilp i M1_Illp), a najbardziej energochłonnego 242,5 kWh/m² (lokal M3_P), czyli jest o 78% wyższe. Wyniki przeprowadzonych analiz podkreślają zasadność prowadzenia

działań termomodernizacyjnych w taki sposób, aby minimalizować nierówności w jednostkowym obciążeniu energetycznym lokali w tym samym budynku. Podobne badania przedstawione w publikacji [4] również wskazują na te nierówności, jednak w innej tkance budowlanej i warunkach klimatycznych nie wykazały one aż tak dużych różnic.

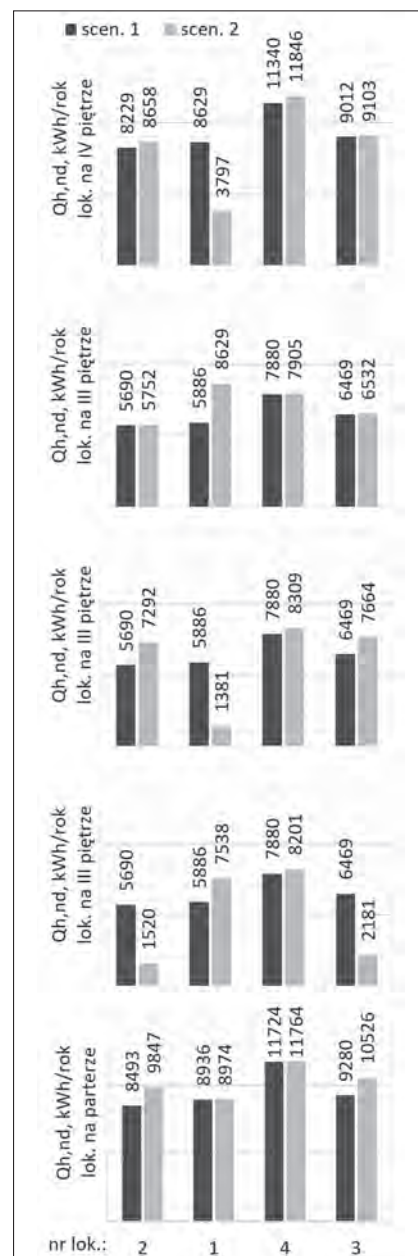
Wyniki symulacji dla scenariusza 2, w którym założono, że cztery lokale w kamienicy są niedogrzewane ukazują zjawisko relokacji strat ciepła (rysunek 12). Obniżenie temperatury w tych mieszkaniach w bardzo niewielkim stopniu wpływa na wartość zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji budynku, obniża je o 3%. Obniżenie energochłonności lokali niedogrzewanych jest znacznie większe i wynosi 69% (lokal M1_IVp), 75% (lokal M3_Ip), 83% (lokal M2_Ip) i 90% (lokal M1_Ilp). Tak duża redukcja jest wynikiem przepływu ciepła z lokali sąsiednich. Skutkiem tego wzrost zapotrzebowania na energię dla lokali z jedną wspólną ścianą wewnętrzną wyniósł między 12% a 16% (M4_Ip, M4_Ilp, M4_IVp i M2_IVp). Dla lokali z jednym wspólnym stropem wewnętrznym wykazano wzrost zapotrzebowania na energię wynoszący 14% (M3_P), 17% (M2_P) i 19% (M3_Ilp). Dla mieszkań ze wspólnymi jedną ścianą wewnętrzną i jednym stropem wewnętrznym uzyskano wzrost wynoszący około 38,5% (M1_Ip i M2_Ilp). Dla lokalu z dwoma wspólnymi stropami wewnętrznymi (M1_Illp) uzyskano najwyższy wzrost zapotrzebowania na energię wynoszący 44% względem scenariusza 1. W lokalach niemających przegrody wspólnej z mieszkaniem niedogrzanym zmiana wynosi od 1% do 3%. Mieszkania są w różnym stopniu obciążone na skutek relokacji strat ciepła, gdyż jej poziom zależy od powierzchni przegród sąsiadujących z nieogrzewanymi lokalami oraz ich parametrów fizycznych. Warto również zauważyć, że niedogrzewanie czterech z dwudziestu mieszkańców w kamienicy, powoduje wzrost zapotrzebowania na energię we wszystkich lokalach w budynku ze względu na kształtowanie się niższej temperatury na klatkę schodową.

Symulacja dla scenariusza 3, przewidującego występowanie w kamienicy czterech pustostanów wykazała, że ogólny bilans energii użytkowej do ogrzewania kamienicy obniża się jedynie o 4% (względem scenariusza 1). Pogłębiony zostaje w takiej sytuacji poziom relokacji strat ciepła. Dla lokali z jedną wspólną ścianą wewnętrzną wynosi on od 1% do 5%. Dla lokali z jednym wspólnym stropem wewnętrznym od 3% do 5%. Dla mieszkań ze wspólnymi jedną ścianą wewnętrzną i jednym stropem wewnętrznym od 4% do 5%. Dla lokalu z dwoma wspólnymi stropami wewnętrznymi uzyskano najwyższy wzrost zapotrzebowania na ciepło, wyno-

szący 10% w porównaniu do scenariusza 2. W lokalach niemających przegrody wspólnej z mieszkaniem niedogrzanym zmiana nie przekroczyła 1%.

Stan 2 – termomodernizacja ścian wewnętrznych

Wykonanie izolacji pionowych przegród wewnętrznych (5 cm styropianu) pomiędzy mieszkaniami oraz pomiędzy mieszkaniami i klatką schodową nie ma istotnego wpływu na wartość zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania całego budynku. Symulacja dla stanu technicznego 2



Rysunek 13.

Zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji w zależności od stopnia ogrzewania poszczególnych mieszkańców (scenariusz 1 i 2) dla stanu technicznego 2

Figure 13. Energy demand for heating and ventilation depending on the heating scenario of each apartment (scenario 1 and 2) for technical condition 2

wykazała, że jego wartość obniżyła się o 1% i wyniosła 153 418 kWh/rok. Wyniki uzyskane dla poszczególnych lokali dla scenariusza 1 przedstawiono na rysunku 13. Poziom zróżnicowania energochłonności jednostkowej lokali nie uległ istotnym zmianom względem analizy wykonanej dla stanu technicznego 1. Jednostkowe zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i wentylacji dla lokalu najbardziej obciążonego jest o 73% wyższe od zapotrzebowania dla mieszkania najmniej obciążonego.

Na rysunku 13 przedstawiono również wyniki analizy dla scenariusza 2. Obniżenie temperatury w czterech lokalach w bardzo niewielkim stopniu wpływa na wartość zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji całego obiektu, obniża je o 4%. Jak można jednak zauważyć, izolacja ścian wewnętrznych w sposób istotny wpływa na wewnętrzny transfer ciepła w budynku. Zmniejszenie energochłonności mieszkań ogrzewanych do niższej temperatury wynosi 56% (lokal M1_IVp), 66% (lokal M3_Ip), 73% (lokal M2_Ip) i 77% (lokal M1_Ilp) i jest niższe niż dla stanu technicznego 1 (czyli bez izolacji ścian wewnętrznych). Wzrost energochłonności pozostałych mieszkań zależy od liczby i rodzaju przegród wspólnych z mieszkaniami niedogrzewanymi. Dla lokali z jedną wspólną ścianą wewnętrzną wzrost ten wyniósł między 4% a 5% (M4_Ip, M4_Ilp, M4_IVp i M2_IVp). Dla lokali z jednym wspólnym stropem wewnętrznym wykazano wzrost zapotrzebowania na energię wynoszący 13% (M3_P), 16% (M2_P) i 18% (M3_Ilp). Dla mieszkań ze wspólnymi jedną ścianą wewnętrzną i jednym stropem wewnętrznym uzyskano wzrost wynoszący 28% (M1_Ip i M2_Ilp). Dla lokalu z dwoma wspólnymi stropami wewnętrznymi (M1_IIIP) uzyskano najwyższy wzrost zapotrzebowania na energię wynoszący 47% względem scenariusza 1. W lokalach niemających przegrody wspólnej z mieszkaniami niedogrzewanymi zmiana nie przekroczyła 1%. W przypadku niedogrzewanej części lokali (scenariusz 2) izolacja pionowych przegród wewnętrznych zasadniczo powoduje zmniejszenie poziomu relokacji strat ciepła do lokali przyległych. Wyjątkiem jest, w przypadku prezentowanej symulacji, lokal M1_IIIP, który został jeszcze mocniej obciążony stratami przez dwa stropy przyległe do lokali nieogrzewanych.

Wyniki analizy wykonanej dla scenariusza 3 wykazały pogłębienie opisanego powyżej stanu. Dla lokali z jedną wspólną ścianą wewnętrzną od 2% do 4%. Dla lokali z jednym wspólnym stropem wewnętrznym od 4% do 9%. Dla mieszkań ze wspólnymi jedną ścianą wewnętrzną i jednym stropem wewnętrznym od 8% do 9%. Dla lokalu z dwoma wspólnymi stropami wewnętrznymi (M1_IIIP) uzyskano najwyższy wzrost zapotrzebowania, wynoszący 23% w po-

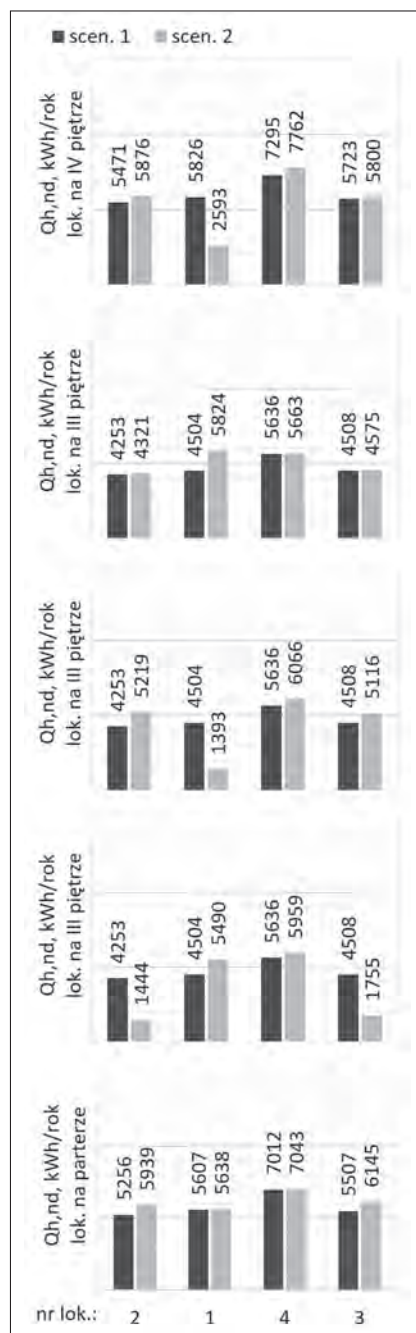
równaniu do scenariusza 2. W lokalach niemających przegrody wspólnej z mieszkaniami niedogrzewanymi zmiana nie przekroczyła 1%.

Podsumowując, należy stwierdzić, że termoizolacja wyłącznie pionowych wewnętrznych przegród budynku może mieć zarówno pozytywny, jak i negatywny wpływ na energochłonność mieszkańców sąsiadujących z mieszkaniami o niższej temperaturze. W lokalach oddzielonych od takich mieszkań nieogrzewanych niezaizolowanymi stropami następuje intensyfikacja relokacji strat ciepła, która staje się szczególnie problematyczna, gdy lokal ogrzewany graniczy z pustostanem. Wzrost zapotrzebowania na energię w lokalu z dwoma stropami sąsiadującymi z pustostanami określono na poziomie 70% względem scenariusza 1.

Stan 3 – pełna termomodernizacja budynku

Pełna termomodernizacja obejmowała możliwe technicznie ocieplenie wszystkich przegród otaczających pomieszczenia mieszkalne oraz wymianę okien i drzwi, zgodnie z danymi przedstawionymi w tabeli 5. Realizacja tych działań spowodowała zmniejszenie zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji budynku o 30% względem stanu technicznego 1, do wartości 104 400 kWh/rok. Energochłonność poszczególnych lokali w kamienicy referencyjnej dla stanu technicznego 3 przedstawiono na rysunku 14. Różnica w jednostkowym zapotrzebowaniu na energię najbardziej i najmniej energochłonnego lokalu wynosi 40%. W wyniku termomodernizacji wartość tego zróżnicowania zmniejszyła się prawie o połowę (przyp.: dla stanu technicznego 1 zróżnicowanie to wynosiło 78%). Stan taki jest dużo korzystniejszy ze względu na bardziej wyrównany udział poszczególnych mieszkań w całkowitych kosztach ogrzewania budynku.

Na rysunku 14 przedstawiono również wyniki analizy dla scenariusza 2. Obniżenie temperatury w czterech lokalach w bardzo niewielkim stopniu wpływa na wartość zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji kamienicy, obniża je o 5%. Zmniejszenie energochłonności mieszkań ogrzewanych do niższej temperatury wynosi 55% (lokal M1_IVp), 61% (lokal M3_Ip), 66% (lokal M2_Ip) i 69% (lokal M1_Ilp) i jest niższe niż dla stanu technicznego 1 i 2. Wzrost energochłonności pozostałych mieszkań zależy od liczby i rodzaju przegród wspólnych z mieszkaniami niedogrzewanymi. Dla lokali z jedną wspólną ścianą wewnętrzną wzrost ten wyniósł między 6% a 8% (M4_Ip, M4_Ilp, M4_IVp i M2_IVp). Dla lokali z jednym wspólnym stropem wewnętrznym wykazano wzrost zapotrzebowania na energię wynoszący od 12 do 13% (M3_P, M2_P i M3_Ilp). Dla miesz-



Rysunek 14. Zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji w zależności od stopnia ogrzewania poszczególnych mieszkań (scenariusz 1 i 2) dla stanu technicznego 3
Figure 14. Energy demand for heating and ventilation depending on the heating scenario of each apartment (scenario 1 and 2) for technical condition 3

kań ze wspólnymi jedną ścianą wewnętrzną i jednym stropem wewnętrznym uzyskano wzrost wynoszący średnio 22,5% (M1_Ip i M2_Ilp). Dla lokalu z dwoma wspólnymi stropami wewnętrznymi (M1_IIIP) uzyskano najwyższy wzrost zapotrzebowania na energię wynoszący 29% względem scenariusza 1. W lokalach niemających przegrody wspólnej z mieszkaniami niedogrzewanymi zmiana nie przekroczyła 2%. Zasadniczo, w wyniku termomodernizacji uzyskano

zmniejszenie poziomu relokacji strat ciepła do lokali przyległych.

Wyniki analizy wykonanej dla scenariusza 3 wykazały pogłębienie opisanego powyżej stanu. Dla lokali z jedną wspólną ścianą wewnętrzną od 3% do 6%. Dla lokali z jednym wspólnym stropem wewnętrznym od 6% do 9%. Dla mieszkań ze wspólnymi jedną ścianą wewnętrzną i jednym stropem wewnętrznym od 10% do 11%. Dla lokalu z dwoma wspólnymi stropami wewnętrznymi uzyskano najwyższy wzrost zapotrzebowania na energię, wynoszący 18% względem scenariusza 1. W lokalach niemających przegrody wspólnej z mieszkaniem niedoogrzewanym zmiana nie przekroczyła 2%.

Termomodernizacja budynku, jaką przewiduje stan techniczny 3 kamienicy skutkuje zmniejszeniem zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania w lokalach od 23% do 42% względem stanu technicznego 1. Ponieważ w ramach modernizacji przewidziano zarówno izolację przegród zewnętrznych, jak i wewnętrznych, to uzyskano znaczące zmniejszenie poziomu relokacji strat ciepła. Zasadniczo, nie wyeliminowano możliwości zaistnienia tego problemu całkowicie, jednak ryzyko zostaje znacząco obniżone. Prawdopodobnym jest, że ocieplenie budynku skłoniłoby użytkowników do utrzymywania wyższej temperatury w mieszkaniach (koszt ich ogrzewania do projektowej lub chociaż wyższej niż 16,5°C temperatury stałby się dla nich akceptowalny), skutkując złagodzeniem lub całkowitą eliminacją alokacji strat ciepła w obiektach.

Podsumowanie i wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań in-situ oraz wykonanych symulacji i analiz, stwierdzono, że całkowita wartość luki energetycznej w dwóch z analizowanych mieszkań przyjęła wartości ujemne, rzeczywiste zużycie ciepła do ogrzewania było o 44% (M2) i 75% (M3) mniejsze od spodziewanego. W jednym z mieszkań stwierdzono wzrost rzeczywistej energochłonności, wynoszący 29% (M1). Zdiagnozowano, że w jednym z lokali średnia temperatura wewnętrzna odpowiadała w przybliżeniu typowym warunkom komfortu cieplnego i wynosiła 20,3°C (M1). W dwóch lokalach jej wartość wynosiła 16,7°C (M2) i 16,6°C (M3), czyli znacząco mniej. W każdym z badanych mieszkań alokacja strat ciepła wynikała z wartości temperatury powietrza wewnętrznego oraz sąsiadowania z przestrzeniami o niskiej temperaturze. Niższa niż projektowa temperatura w mieszkaniach odpowiedzialna była za zmniejszenie energochłonności o 12% (M1), 64% (M2) i 74% (M3). Niższa niż projektowa temperatura powietrza w przestrzeniach otaczających lokale była odpowiedzialna za zwiększenie energochłonności o 61% (M1), 39% (M2) i 27% (M3). W lokalu M1 stwierdzono, że alokacja strat ciepła powoduje 49% wzrost zużycia ciepła. W lokalach M2 i M3 w wyniku alokacji strat stwierdzono

zmniejszenie zużycia ciepła o 25% (M2) i 47% (M3). Badania wykazały, że alokacja strat ciepła w tych mieszkaniach stanowi istotny element całkowitej luki energetycznej. Drugim istotnym czynnikiem wpływającym na jej wartość były inne, niż założone do obliczeń, warunki pogodowe, odpowiedzialne za 34% (M1) i 33% (M2 i M3) zmniejszenie zużycia ciepła do ogrzewania względem zużycia standardowego.

W badaniach in-situ nie stwierdzono przypadków celowego wykorzystywania ciepła przenikającego z sąsiednich lokali w celu ograniczenia własnego zużycia energii na ogrzewanie. Bezpośrednią przyczyną zbyt niskiej temperatury powietrza w dwóch opisanych w tym artykule lokalach (M2 i M3) było ubóstwo energetyczne, objawiające się brakiem środków na ogrzewanie lokalu do wymaganej temperatury lub brakiem środków na zainstalowanie źródła ciepła niewymagającego nakładu sił przekraczających możliwości mieszkańca. Nieco niższa od projektowej temperatura w lokalu M1 była wynikiem niewystarczającej mocy instalacji grzewczej, użytkownicy nie byli w stanie osiągnąć pełnego komfortu cieplnego.

Badania symulacyjne kamienicy przedwojennej, niepoddanej termomodernizacji, pozwoliły na stwierdzenie, że obniżenie temperatury w czterech z dwudziestu mieszkań do 16,5°C skutkuje spadkiem ich energochłonności od 69% do 90%. Odzwierciedla się to wzrostem zużycia ciepła w przyległych lokalach wynoszącym od 12% do 44%. W analizie zakładającej, że wybrane lokale mają status pustostanów, stwierdzono wzrost zapotrzebowania na energię w sąsiadujących mieszkaniach od 15% do 54%.

Stwierdzono, że w wyniku izolacji ścian wewnętrznych alokacja strat ciepła zmniejszyła się. Obniżenie zużycia ciepła w mieszkaniach niedoogrzewanych wyniosło od 56% do 77%, skutkiem czego w większości przypadków zmniejszył się również wzrost zużycia energii w lokalach przyległych, wyniósł on od 4% do 28%. W jednym z mieszkań stwierdzono wzrost względem stanu, gdzie ściany nie były zaizolowane z 44% do 47%. Lokal ten graniczył z niedoogrzewanymi mieszkaniem poprzez dwa stropy (niezaizolowane), skutkiem czego został dodatkowo dociżony stratami ciepła. W przypadku założenia, że wybrane lokale mają status pustostanów, stwierdzono wzrost zapotrzebowania na energię w sąsiadujących mieszkaniach od 6% do 70%.

W wyniku przeprowadzenia możliwej technicznie termomodernizacji budynku uzyskano obniżenie zapotrzebowania na energię do ogrzewania całego budynku o 33% oraz wyrównanie energochłonności poszczególnych lokali. Zróżnicowanie jednostkowego zapotrzebowania na energię wynikające z położenia lokalu w bryle budynku wynosiło w obiekcie pierwotnym nawet 78%. Po termomodernizacji różnice te nie przekraczają 40%. Ewentualne niedoogrzewanie czterech lokali skutkuje zmniejszeniem ich energo-

chłonności o 55% do 69%, a więc mniejszym niż dla stanu technicznego 1 i 2. Przekłada się to na mniejszy wzrost zapotrzebowania na ciepło w lokalach przyległych, wynoszący od 6% do 29%. Biorąc zaś pod uwagę, że projektowe zapotrzebowanie na ciepło mieszkań (w założeniu niedoogrzewanych) zmniejszyło się o 23% do 33%, prawdopodobnym wydaje się że, koszty eksploatacji dotychczas niedoogrzewanych lokali staną się akceptowalne dla ich mieszkańców, co skutkować będzie złagodzeniem lub eliminacją relokacji strat ciepła. Zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło budynku i izolacja przegród wewnętrznych nie wpłynęły bezpośrednio na usunięcie ewentualnych pustostanów. W takim przypadku stwierdzono wzrost zapotrzebowania na energię w sąsiadujących z nimi mieszkaniach o 11% do nawet 47%.

Problem relokacji strat ciepła pomiędzy mieszkaniami w przedwojennych kamienicach jest problemem złożonym. Jej przyczyny mają zazwyczaj głęboki kontekst społeczny, nacechowany ubóstwem energetycznym. Ubóstwo to objawia się zachowaniami użytkowników lokali zmierzającymi do zmniejszenia kosztów ogrzewania, do poziomu możliwego do poniesienia oraz brakiem podejmowania działań polegających na dostosowaniu systemu grzewczego do ich potrzeb. Obniżenie temperatury w mieszkaniach jest obok obniżania poziomu wentylacji jednym ze sposobów utrzymania kosztów eksploatacji na akceptowalnym poziomie. Ponadto, mieszkania w kamienicach często są wyposażone w indywidualne źródła ogrzewania, w tym piece kaflowe o niskiej efektywności, wymagające dużego zaangażowania użytkowników w celu utrzymania wymaganej mocy grzewczej. Mieszkańcy nie zawsze są w stanie utrzymać ciągłą pracę tych systemów, nie ze względu na koszty eksploatacji, a ze względu na stan zdrowia czy obowiązki zawodowe. Oddzielnym, poważnym problemem jest wpływ pustostanów, obecnych szczególnie w zasobie komunalnym, na straty ciepła mieszkań do nich przylegających.

Skutki obniżania temperatury w mieszkaniach są w kamienicach znacznie bardziej nasilone niż w nowszych budynkach. Związane jest to głównie z bardzo niskim stopniem izolacji termicznej przegród wewnętrznych (lub całkowitym brakiem izolacji), co powoduje intensywny przepływ ciepła pomiędzy lokalami mieszkalnymi. Nawet nieznaczna różnica temperatury w sposób znaczący może wpłynąć na energochłonność, a co za tym idzie koszty ogrzewania w poszczególnych mieszkaniach. W skrajnych przypadkach sytuacja niedoogrzewania pomieszczeń w sąsiednich lokalach mieszkalnych może prowadzić do niemożności utrzymania wymaganej temperatury wewnętrznej w przyległych mieszkaniach ogrzewanych. W aspekcie lokali w przedwojennych kamienicach jest to problem znacząco wpływający również na komfort cieplny mieszkańców.

Jednym z proponowanych w literaturze rozwiązań omawianego problemu jest

wdrożenie inteligentnych systemów zarządzania energią, które monitorują zużycie ciepła w każdym mieszkaniu i dynamicznie dostosowują jego rozdział. Dotyczą one jednak budynków wyposażonych w centralny system ogrzewania. Takie systemy mogą zapobiegać nadmiernemu przepływowi ciepła między lokalami i poprawiać efektywność energetyczną całego budynku. Drugą grupą metod zmniejszających relokację kosztów ogrzewania jest wprowadzenie zmian w modelach rozliczeń. Obecne systemy, oparte głównie na pomiarze dostarczanego ciepła, nie uwzględniają wewnętrznego transferu energii między lokalami, co prowadzi do niesprawiedliwego rozliczenia kosztów ogrzewania. Pomocne przy rozwiązaniu tego problemu może być zwiększenie udziału opłat stałych w rachunkach za ogrzewanie, co zniechęcałoby do celowego niedogrzewania mieszkań w celu oszczędności, a jednocześnie zapewniałoby bardziej sprawiedliwy podział kosztów.

Rozwiązanie problemu relokacji strat ciepła jedynie poprzez powyższe metody nie przyniesie rezultatów dla kamienic przedwojennych. Obiekty te mają tak wysokie zapotrzebowanie na ciepło, że bez względu na sposób rozliczeń część mieszkańców nie będzie w stanie ponieść narzuconych kosztów eksploatacji. Przeprowadzone badania pokazują, że rozwiązanie tego problemu w przedwojennych kamienicach, wymaga złożonego podejścia łączącego termomodernizację, pozwalającą na obniżenie kosztów eksploatacji do akceptowalnego przez użytkownika poziomu, nowoczesne systemy zarządzania energią oraz bardziej sprawiedliwe modele rozliczeń za ogrzewanie.

LITERATURA

- [1] Dziennik Unii Europejskiej: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1275 z dnia 24 kwietnia 2024 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
- [2] Baborska-Narożny, M., Szulgowska-Zgrzywa, M., Mokrzecka, M., Chmielewska, A., Fidorow-Kaprawy, N., Stefanowicz, E., Piechurski, K., Laska, M.: Climate justice: air quality and transitions from solid fuel heating. *Buildings and Cities*. 1, (2020). <https://doi.org/10.5334/bc.23>
- [3] Krajewska-Szkudlarek, J., Stańczyk, J., Domańska, M.: Modelowanie zużycia energii na cele c.o. i c.w. w budynkach wielorodzinnych na tle sytuacji meteorologicznej we Wrocławiu. *Instal.* 5, 10–16 (2024). <https://doi.org/10.36119/15.2024.5.2>
- [4] Ling, J., Li, Q., Xing, J.: The influence of apartment location on household space heating consumption in multi-apartment buildings. *Energy Build.* 103, 185–197 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.057>
- [5] Szulgowska-Zgrzywa, M., Stefanowicz, E., Chmielewska, A., Piechurski, K.: Detailed Analysis of the Causes of the Energy Performance Gap Using the Example of Apartments in Historical Buildings in Wrocław (Poland). *Energies* (Basel). 16, (2023). <https://doi.org/10.3390/en16041814>
- [6] Szulgowska-Zgrzywa, M., Stefanowicz, E., Piechurski, K., Chmielewska, A., Kowalczyk, M.: Impact of users' behavior and real weather conditions on the energy consumption of tenement houses in Wrocław, Poland: Energy per-

- formance gap simulation based on a model calibrated by field measurements. *Energies* (Basel). 13, (2020). <https://doi.org/10.3390/en13246707>
- [7] Zou, P.X.W., Xu, X., Sanjayan, J., Wang, J.: Review of 10 years research on building energy performance gap: Life-cycle and stakeholder perspectives. *Energy Build.* 178, 165–181 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.040>
- [8] Li, L., Sun, W., Hu, W., Sun, Y.: Impact of natural and social environmental factors on building energy consumption: Based on bibliometrics. *Journal of Building Engineering*. 37, 102136 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102136>
- [9] Gjorgievski, V.Z., Cundeva, S., Georgiou, G.E.: Social arrangements, technical designs and impacts of energy communities: A review. *Renew Energy*. 169, 1138–1156 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.078>
- [10] Yan, D., O'Brien, W., Hong, T., Feng, X., Burak Gunay, H., Tahmasebi, F., Mahdavi, A.: Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges. *Energy Build.* 107, 264–278 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.032>
- [11] Szalański, P., Kowalski, P., Cepirski, W., Kęskiewicz, P.: The Effect of Lowering Indoor Air Temperature on the Reduction in Energy Consumption and CO₂ Emission in Multifamily Buildings in Poland. *Sustainability* (Switzerland). 15, (2023). <https://doi.org/10.3390/su151512097>
- [12] Calise, F., Cappiello, F.L., Cimmino, L., Vicidomini, M.: Dynamic analysis of the heat theft issue for residential buildings. *Energy Build.* 282, 112790 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112790>
- [13] Calise, F., Cappiello, F.L., D'Agostino, D., Vicidomini, M.: A novel approach for the calculation of the energy savings of heat metering for different kinds of buildings. *Energy Build.* 252, 111408 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111408>
- [14] Xue, P., Yang, F., Zhang, Y., Zhao, M., Xie, J., Liu, J.: Quantitative study on adjacent room heat transfer: Heating load and influencing factors. *Sustain Cities Soc.* 51, 101720 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101720>
- [15] Gafsi, A., Lefebvre, G.: Stolen heating or cooling energy evaluation in collective buildings using model inversion techniques. *Energy Build.* 35, 293–303 (2003). [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00093-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00093-2)
- [16] Lukić, N., Nikolić, N., Timotijević, S., Tasić, S.: Influence of an unheated apartment on the heating consumption of residential building considering current regulations—Case of Serbia. *Energy Build.* 155, 16–24 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.006>
- [17] Mauri, L., Carnielo, E., Basilicata, C.: Assessment of the Impact of a Centralized Heating System Equipped with Programmable Thermostatic Valves on Building Energy Demand. *Energy Procedia*. 101, 1042–1049 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.132>
- [18] Liu, L., Fu, L., Jiang, Y., Guo, S.: Major issues and solutions in the heat-metering reform in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15, 673–680 (2011). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.08.009>
- [19] Szaflik, W., Stachel, A.A.: Określenie maksymalnego i minimalnego kosztu ciepła dostarczonego w sezonie grzewczym do lokalu wyposażonego w podzielniki kosztów ogrzewania. *Instal.* 7–8, 21–28 (2022). <https://doi.org/10.36119/15.2022.7-8.2>
- [20] Ciuman, H., Specjał, A.: Propozycja modyfikacji rozliczeń indywidualnych kosztów ogrzewania w budynkach wielorodzinnych. *Instal.* 1, 6–13 (2018)
- [21] Dzierżgowski, M.: Rozliczanie indywidualnych kosztów ogrzewania z uwzględnieniem międzymieszkaniowych przepływów ciepła. *Instal.* 1, 12–17 (2003)
- [22] Baborska-Narożny, M., Szulgowska-Zgrzywa, M., Chmielewska, A., Stefanowicz, E., Fidorow-Kaprawy, N., Piechurski, K., Laska, M.: Understanding residential fuel combustion challenge—real world study in Wrocław, Poland. *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 163, 747–757 (2020). https://doi.org/10.1007/978-981-32-9868-2_63
- [23] Baborska-Narożny, M., Laska, M., Fidorow-Kaprawy, N., Mokrzecka, M., Małyszko, M., Smektała, M., Stefanowicz, E., Piechurski, K.: Thermal comfort and transition from solid fuel heating in historical multifamily buildings — Real-world study in Poland. *Energy Build.* 248, (2021). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111178>
- [24] Główny Urząd Statystyczny, <https://stat.gov.pl/>
- [25] Szulgowska-Zgrzywa, M., Piechurski, K., Stefanowicz, E., Baborska-Narożny, M.: Multi-criteria assessment of the scenarios of changing the heating system in apartments in historical buildings in Wrocław (Poland) — Case study. *Energy Build.* 254, (2022). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111611>
- [26] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z Dnia 12 Kwietnia 2002 r. w Sprawie Warunków Technicznych, Jakim Powinny Odpowiadać Budynki i ich Usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690), <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20020750690>
- [27] Moeller, S., Weber, I., Schröder, F., Bauer, A., Harter, H.: Apartment related energy performance gap — How to address internal heat transfers in multi-apartment buildings. *Energy Build.* 215, 109887 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109887>
- [28] Baborska-Narożny, M., Laska, M., Fidorow-Kaprawy, N., Małyszko, M.: Circadian winter thermal profiles and thermal comfort in historical housing — Field study. In: *Journal of Physics: Conference Series*. Institute of Physics (2021)
- [29] 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, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20150000376>
- [30] Dane Do Obliczeń Energetycznych Budynków, <https://www.gov.pl/web/archiwum-inwestycje-rozwoj/dane-do-obliczen-energetycznych-budynkow>
- [31] PN-EN ISO 13790:2009 „Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia”, (2009)

Źródła finansowania

Badania zostały zrealizowane dzięki inicjatywie „DiverCITY 4 – polsko-norweska współpraca w zakresie kreowania nowoczesnych rozwiązań rozwojowych w miastach” korzystająca z dofinansowania w wysokości 300 000 euro, otrzymanego od Islandii, Liechtensteinu i Norwegii ze środków Funduszy norweskich i EOG w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej perspektywy 2014-21. Celem inicjatywy było zidentyfikowanie najefektywniejszych rozwiązań i stworzenie sieci współpracy oraz wymiana doświadczeń między samorządami polskimi i Państw-Darczyńców, ze szczególnym uwzględnieniem tematyki partycypacji społecznej w odnowie miast i poprawy środowiska miejskiego.