

ZUŻYCIE ENERGII PRZEZ BUDYNEK MIESZKALNY – WYNIKI POMIARÓW I ANALIZ

Małgorzata BASIŃSKA, Halina KOCZYK

*Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Berdychowo 4, 90-965 Poznań,
e-mails: malgorzata.basinska@put.poznan.pl, halina.koczyk@put.poznan.pl*

Streszczenie: W pracy przedstawiono porównanie analitycznych metod szacowania zużycia energii z zużyciem na różne potrzeby. Analizy przeprowadzono dla budynku wielorodzinnego, cztero-kondygnacyjnego zlokalizowanego w Poznaniu. Obliczenia teoretyczne zweryfikowano poprzez pomiary zużycia ciepła, wody i energii elektrycznej w poszczególnych mieszkaniach. Zwrócono szczególną uwagę na wpływ sposobu użytkowania budynku przez mieszkańców.

Słowa kluczowe: ocena energetyczna budynku, zużycie ciepła, budynek wielorodzinny.

1. WPROWADZENIE

Polskie Prawo Budowlane [1] mówi, że obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy projektować i budować w taki sposób, aby były spełnione wymagania dotyczące bezpieczeństwa konstrukcji, pożarowe, użytkowe oraz zapewnione odpowiednie warunki higieniczne i zdrowotne. Należy także spełnić warunki użytkowe i związane z nimi zaopatrzenie w energię, ciepło, paliwo przy założeniu efektywnego wykorzystania tych czynników.

Do osłony bilansowej budynku mieszkalnego dostarczana jest energia na potrzeby ogrzewania, wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz na potrzeby energii pomocniczej koniecznej do pracy urządzeń technicznych (np. pompy obiegowe). Ocena ilości zużywanej energii na potrzeby ogrzewania jest trudnym zadaniem ze względu na złożoność oddziaływań między budynkiem a środowiskiem zewnętrznym. Ocena energii niezbędnej do przygotowania ciepłej wody użytkowej można w sposób bezpośredni skorelować z zużyciem ciepłej wody mierzonej na wodomierzu. Do oceny

energetycznej budynku można wykorzystywać szereg metod:

- obliczenia teoretyczne wg metodologii dotyczącej wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej [2, 3],
 - obliczenia wg metody stopniodni dynamicznych,
 - pomiary rzeczywistej zużywanej energii cieplnej.
- Do oceny wykorzystuje się wielkość wartości energii końcowej doprowadzonej do osłony bilansowej budynku na poszczególne cele $Q_{K,i}$ według ogólnej zależności (1).

$$Q_{K,i} = \frac{Q_{i,nd}}{\eta_{i,e} \cdot \eta_{i,d} \cdot \eta_{i,s} \cdot \eta_{i,g}} \quad (1)$$

gdzie:

- $Q_{i,nd}$ – zapotrzebowanie na energię użytkową na i-ty cel, kWh/a,
- $\eta_{i,e}$ – średnia sezonowa sprawność regulacji i wykorzystania ciepła w budynku,
- $\eta_{i,d}$ – średnia sezonowa sprawność dystrybucji nośnika ciepła,
- $\eta_{i,s}$ – średnia sezonowa sprawność akumulacji ciepła w Elementach pojemnościowych systemu grzewczego budynku,
- $\eta_{i,g}$ – średnia sezonowa sprawność wytworzenia nośnika ciepła z energii dostarczanej do granicy bilansowej budynku (energii końcowej).

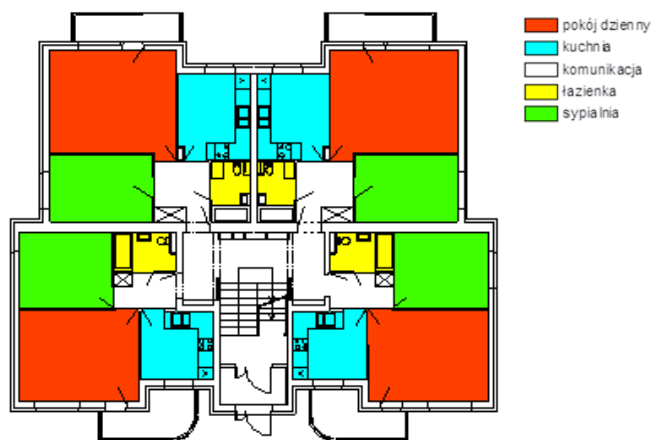
Przedstawione metody uwzględniają różne założenia początkowe, opierają się na różnych algorytmach obliczeniowych, a co za tym idzie otrzymane na ich podstawie wartości energii końcowej mogą być różne. Wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem do oceny energetycznej budynku byłoby wykorzystanie wartości energii końcowej z danych pomiarowych, która to wartość uwzględnia trudne do oszacowania w analizach teoretycznych zachowanie mieszkańców, ponieważ licznik

energii mierzy zużycie energii końcowej na potrzeby ogrzewania i wentylacji, za którą płaci bezpośrednio użytkownik.

W artykule przedstawiono analizę pomiarów mediów dostarczanych do budynku mieszkalnego w zabudowie wielorodzinnej i do poszczególnych mieszkań w budynku. Wyniki pomiarów porównano z wynikami uzyskanymi z analiz teoretycznych.

2. OPIS BUDYNKU

Cykliczne pomiary dostarczanych mediów do budynku i poszczególnych mieszkań prowadzono w budynku czterokondygnacyjnym z nieogrzewaną piwnicą zlokalizowanym w Poznaniu, o współczynniku zwartości $A/V_e=0,37 \text{ m}^{-1}$. W budynku w części ogrzewanej o regulowanej temperaturze $A_f=833 \text{ m}^2$ znajduje się 16 mieszkań wyposażonych w kuchnię i węzeł sanitarny o łącznej powierzchni $A_{\text{mieszkań}}=714 \text{ m}^2$. Klatka schodowa z przyległym wiatrołapem ma powierzchnię $A_{\text{klatki}}=119 \text{ m}^2$. Schemat rozmieszczenia pomieszczeń w budynku przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Układ funkcjonalny mieszkań.

Fig. 1. The functional arrangement of flats.

2.1. Charakterystyka budowlana i instalacyjna

Budynek wykonano w technologii tradycyjnej z 12 cm grubością izolacji termicznej. W budynku na cele c.o. oraz przygotowania c.w.u zamontowano grupowy węzeł cieplny obsługujący trzy budynki o mocy $Q_{co}=1860 \text{ kW}$, $Q_{cwu,śr}=530 \text{ kW}$. Na sieci rozdzielczej instalacji c.o. w pomieszczeniu węzła cieplnego zamontowano podliczniki ciepła osobno dla każdego z budynków. W budynku zastosowano układy mieszkaniowe umożliwiające rozliczanie mieszkańców z dostarczanych mediów. Na każdej kondygnacji, w każdym mieszkaniu zamontowano ciepłomierz oraz dwa wodomierze oraz licznik energii elektrycznej.

2.2. Profil użytkowania budynku

W budynku znajduje się 16 mieszkań o powierzchniach: $39,1 \text{ m}^2$ – 2 mieszkania, $45,1 \text{ m}^2$ – 6 mieszkań, $47,1 \text{ m}^2$ – 2 mieszkania, $51,7 \text{ m}^2$ – 6 mieszkań. Łącznie mieszka w budynku 39 osób. Przyjęto następujące założenia dotyczące rodzajów mieszkań: 4 mieszkania zamieszkałe przez małżeństwo bez dziecka, na emeryturze; 4 mieszkania zamieszkałe przez małżeństwo bez dziecka, oboje pracują; 3 mieszkania zamieszkałe przez małżeństwo z dzieckiem; 3 mieszkania zamieszkałe przez małżeństwo z dwójką dzieci, jedna osoba pracuje; 2 mieszkania zamieszkałe przez osobę samotną.

W budynku średnia wartość metrów kwadratowych przypadających na osobę to $22,2 \text{ m}^2/\text{osobę}$, co jest wartością zbliżoną do wartości statystycznej $25 \text{ m}^2/\text{osobę}$. Jednak dla mieszkania 2, 11 oraz 14 wskaźnik kształtuje się na poziomie poniżej $13 \text{ m}^2/\text{osobę}$.

3. OPIS METODY POMIAROWEJ

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów realizowanych w budynku wielorodzinnym w okresie zimowym 2011/2012 [4]. Cotygodniowe pomiary obejmowały:

- pomiar parametrów powietrza zewnętrznego (temperatura, prędkość wiatru, wilgotność, ciśnienie),
- odczyty z głównego ciepłomierza i podlicznika zamontowanego w węźle cieplnym (energia, przepływ, czas działania, temperatura zasilania i powrotu, różnica temperatur, moc, średnia wartość mocy, przepływ chwilowy, przepływ średni),
- pomiar parametrów wewnętrznych w węźle cieplnym (temperatura, wilgotność),
- odczyty z liczników znajdujących się w szachtach na klatce schodowej (dla każdego mieszkania na poszczególnych piętrach odczyt zużycia ciepła, zużycia energii elektrycznej, zużycia ciepłej i zimnej wody),
- pomiar parametrów wewnętrznych na każdym piętrze (temperatura, wilgotność).

Do pomiarów wykorzystano zainstalowane w instalacji c.o. dla każdego mieszkania ciepłomierze PICOTHERM w wersji KOMPAKT Dn R $\frac{1}{2}$ ", wodomierze skrzydełkowe JS 1-Dn40 POWOGAZ oraz liczniki energii elektrycznej.

4. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

4.1. Zużycie ciepła na cele c.o.

W analizie wykorzystano wyniki cotygodniowych pomiarów zużycia ciepła dla poszczególnych mieszkań w budynku wielorodzinnym oraz na podliczniku ciepła w węźle cieplnym. Celem analizy było ustalenie wskaźnika jednostkowych strat ciepła dystrybucji sieci rozdzielczej

przy przesyłce czynnika grzejącego od podlicznika ciepła w węźle cieplnym do mieszkaniowych liczników ciepła. W analizie uwzględniono energię dostarczaną do osłony bilansowej budynku przez nieopomiarowany grzejnik znajdujący się na klatce schodowej przy uwzględnieniu pomierzonej na węźle cieplnym temperaturze zasilania i powrotu. Na rys. 2 zaprezentowano średnie wartości jednostkowych strat ciepła w poszczególnych tygodniach okresu pomiarowego. Pierwszy tydzień obejmował okres od 26 października do 2 listopada, ostatni 34 tydzień – 13 do 20 czerwca.

Odnosząc straty dystrybucji do całkowitej energii końcowej pomierzonej na liczniku w węźle cieplnym pomniejszonej o wydajność cieplną grzejnika na klatce schodowej w tygodniu pomiarowym zgodnie ze wzorem (2) analiza pozwoliła na ustalenie współczynnika strat ciepła na poziomie:

- dla całego budynku w okresie ogrzewczym straty dystrybucji kształtowały się na poziomie 87 %,
- w 29 tygodniu pomiarowym przy temperaturze powietrza zewnętrznego na średnim poziomie 20°C straty dystrybucji osiągnęły wartość maksymalną 96,5 %,
- w 22 tygodniu pomiarowym przy temperaturze powietrza zewnętrznego na średnim poziomie 9,7°C straty dystrybucji osiągnęły wartość minimalną 72,8 %.

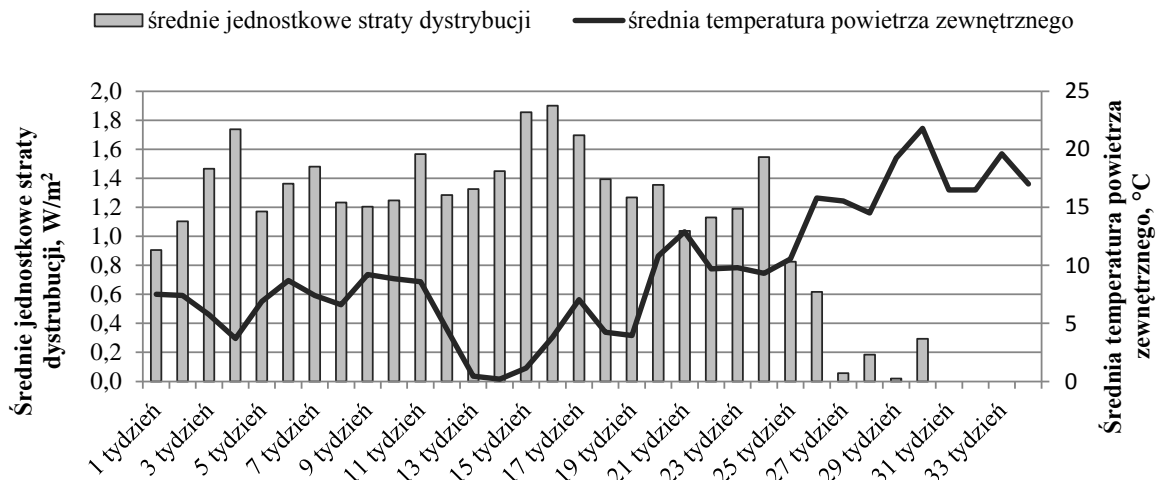
$$\eta_{H,d} = \frac{\sum_{i=1}^{16} Q_{K,H_i}}{Q_{K,H_{wc}} - Q_{grzejnika}} \quad (2)$$

gdzie:

- Q_{K,H_i} – energia końcowa na cele ogrzewania w i-tym mieszkaniu, kWh/tydzień,
- $Q_{K,H_{wc}}$ – energia końcowa na cele ogrzewania pomierzona na podliczniku w węźle cieplnym, kWh/tydzień,
- $Q_{grzejnika}$ – energia dostarczana przez grzejnik w analizowanym tygodniu.

Analizując jednostkowe zużycie ciepła przez mieszkaniowe liczniki ciepła odniesione do 1 m² powierzchni ogrzewanej w poszczególnych mieszkaniach, można zauważyć, że (tabela 1):

- największe zużycie zanotowano w lutym, średnia wartość dla budynku w miesiącu lutym kształtowała się na poziomie 14,8 kWh/m²/m-c,
- maksymalne zużycie ciepła notowano w lutym na najwyższej kondygnacji (27,0 kWh/m²/m-c), najniższe zużycie ciepła na parterze dla pomieszczenia znajdującego się bezpośrednio nad pomieszczeniem węzła cieplnego (1,7 kWh/m²/m-c),
- różnica wskazań zużycia ciepła w całym okresie pomiarowym między pomieszczeniem 15 (ostatnia kondygnacja) a 4 (mieszkanie nad węzłem cieplnym) wynosi 110,7 kWh/m²/a, co przy założeniu kosztu energii z węzła cieplnego na poziomie 0,28 PLN/kWh daje wzrost ceny dostarczonej energii o 31 PLN/m²/a czyli w całym sezonie grzewczym eksploatacja mieszkania znajdującego się na ostatniej kondygnacji jest wyższa o ok. 1460 PLN,
- średni wskaźnik potrzeb cieplnych w analizowanym okresie pomiarowym dla całego budynku wyniósł 6,6 kWh/m²/a.



Rys. 2. Średnie jednostkowe straty dystrybucji w okresie pomiarowym.
Fig. 2. Average unit distribution losses in the measurement period.

Tabela 1. Zużycie ciepła w mieszkaniach w analizowanych miesiącach, kWh/m².
Table 1. The heat consumption in flats in the analyzed months, kWh/m².

Mieszkanie																	
Miesiąc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
X	3,5	1,7	2,2	0,1	0,9	2,1	1,1	2,9	4,4	0,2	0,2	2,2	2,1	4,7	5,8	4,4	
XI	10,5	6,6	6,4	0,7	4,7	7,0	4,4	10,5	10,8	2,4	2,4	4,5	8,6	13,6	16,9	14,3	
XII	9,4	7,6	6,5	0,5	6,8	7,0	5,3	10,2	10,8	2,9	2,9	7,9	11,5	16,2	18,6	17,0	
I	10,5	9,3	8,2	1,1	8,0	8,0	5,1	10,0	10,4	3,7	3,7	8,6	10,9	15,3	18,4	15,8	
II	18,5	13,7	12,4	1,7	14,8	12,5	13,2	16,4	15,8	7,3	7,3	13,1	16,2	23,5	27,0	23,5	
III	7,3	6,0	5,1	0,2	2,8	5,0	3,9	6,3	6,1	0,5	0,5	3,7	6,2	12,4	16,3	12,5	
IV	3,8	3,9	2,7	0,0	2,2	3,7	2,0	4,1	1,1	0,3	0,3	0,0	4,1	7,2	9,1	7,9	

4.2. Zużycie ciepłej i zimnej wody

Analiza zużycia wody ciepłej i zimnej pomierzonej na mieszkaniowych wodomierzach pozwoliła na ustalenie jednostkowych wskaźników poboru na poziomie (rys.3):

- dla ciepłej wody średnie dobowe zużycie dla mieszkań kształtowało się na poziomie 14÷71 dm³/os/dobę, wartość średnia dla całego budynku wyniosła 37 dm³/os/dobę,
- dla zimnej wody średnie dobowe zużycie dla mieszkań kształtowało się na poziomie 16÷90 dm³/os/dobę, wartość średnia dla całego budynku wyniosła 49 dm³/os/dobę.

Analizując zużycie wody w przeliczeniu na m² powierzchni mieszkania uzyskano jednostkowe wskaźniki poboru na poziomie:

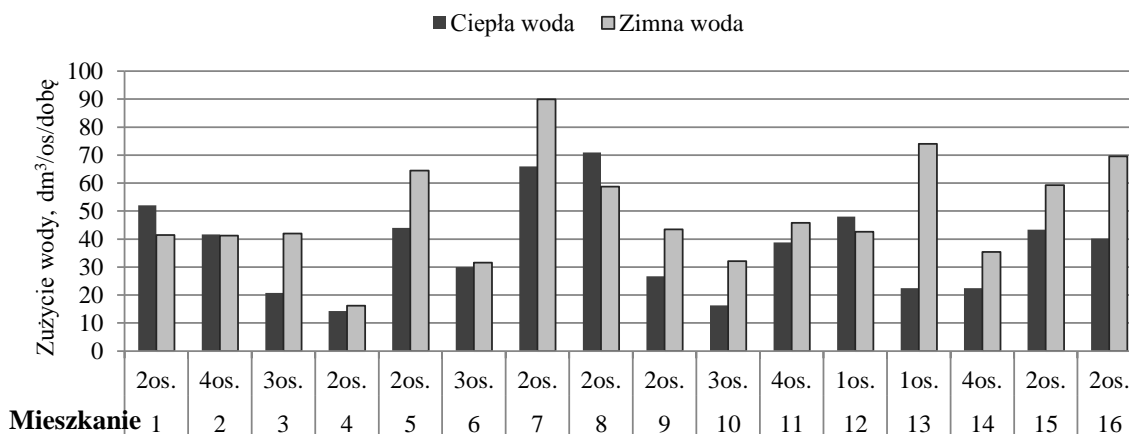
- dla ciepłej wody użytkowej średni jednostkowy wskaźnik zużycia wody dla mieszkań wyniósł

0,57÷3,22 dm³/m²/dobę, wartość średnia dla całego budynku wyniosła 1,83 dm³/m²/dobę,

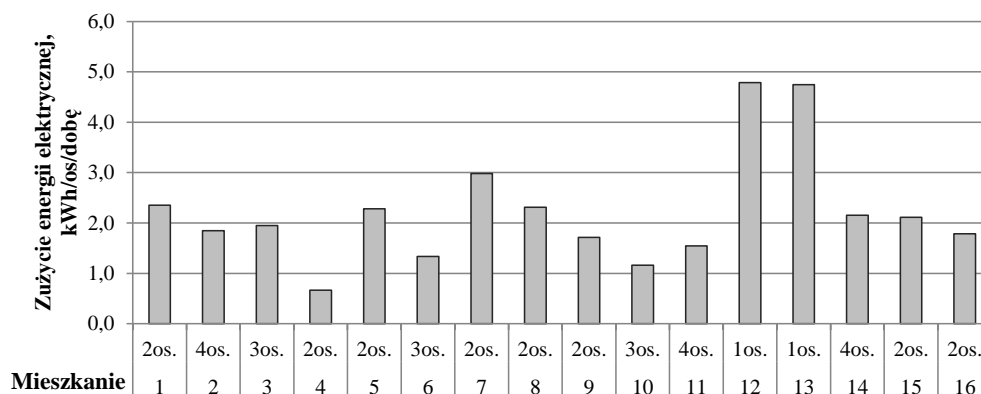
- dla zimnej wody średni jednostkowy wskaźnik zużycia wody dla mieszkań wyniósł 0,72÷3,56 dm³/m²/dobę, wartość średnia dla całego budynku wyniosła 2,39 dm³/m²/dobę.

4.3. Zużycie energii elektrycznej

Wykonane pomiary oraz ich analiza wykazały dużą rozbieżność zużycia energii elektrycznej w przeliczeniu na osobę. Zauważalne są jednak zbliżone wartości w przypadku mieszkań z tą samą liczbą lokatorów. Nie potwierdzają powyższego wyniki dla mieszkania 4. Duża rozbieżność w stosunku do pozostałych 2-osobowych mieszkań wynika z oszczędnego trybu życia lokatorów tego mieszkania lub częściej ich nieobecności, co zauważono również dla zużycia wody.



Rys. 3. Zużycie wody w poszczególnych mieszkaniach.
Fig. 3. Water consumption in individual flats.



Rys. 4. Zużycie energii elektrycznej w poszczególnych mieszkaniach.
Fig. 4. Electricity consumption in individual flats.

Analiza zużycia energii elektrycznej pozwoliła na ustalenie jednostkowych wskaźników poboru na poziomie (rys.4):

- średni wskaźnik zużycia energii elektrycznej przez budynek w całym okresie pomiarowym kształtował się na poziomie 67 kWh/os/m-c oraz 3,1 kWh/m²/m-c,
- pobór energii elektrycznej wzrasta w okresie zimowym (71,6 kWh/os/m-c, 3,3 kWh/m²/m-c) i spada w okresie letnim (57,8 kWh/os/m-c, 2,6 kWh/m²/m-c),
- przeliczenie zużycia prądu na osobę wykazało zależność większego poboru wraz z mniejszą liczbą osób, np. lokal nr 12 i 13 zamieszkuje 1 osoba i jednostkowy pobór energii elektrycznej na osobę jest największy, podczas gdy w mieszkaniu nr 11 zamieszkanym przez 4 osoby zużycie jest trzykrotnie mniejsze.

5. CHARAKTERYSTYKA TEORETYCZNA

Obliczenia teoretyczne charakterystyki energetycznej budynku na potrzeby ogrzewania i wentylacji zostały wykonane zgodnie z rozporządzeniami dotyczącymi metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej. Obliczenia wykonano dla czterech wariantów różniących się założeniami początkowymi dotyczącymi wentylacyjnych strat ciepła oraz zysków wewnętrznych odpowiednio wg [2, 3].

5.1. Założenia

Do analizy teoretycznej założono:

- charakterystykę budowlaną budynku zgodną z projektem wykonawczym, liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego, przyjęty wg katalogu Wärmebrückenatlas [5],

- charakterystykę potrzeb wentylacyjnych wariantowo zmienną, zgodnie z tabelą 1,
- zyski wewnętrzne wariantowo zmienne, zgodnie z tabelą 1,
- współczynnik zacienienia na poziomie 0,95 zgodnie z analizą zacienienia wykonaną za pomocą programu Google Sketchup 8 [6],
- zmienność danych klimatycznych na podstawie rzeczywistych danych pomiarowych [7],
- obliczenia dla okresów tygodniowych, zgodnych z wykonywanymi pomiarami,
- sprawność dystrybucji według rzeczywistych pomiarów

W tabeli 2 zestawiono założenia analizowanych wariantów. Warianty 1-wsze zgodne są z założeniami do rozporządzenia w sprawie wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej obowiązującej do 1 października 2014 roku [2]. Dla wentylacji w 16 mieszkaniach założono strumień powietrza wentylowanego dla każdej kuchni na poziomie 70 m³/h i dla łazienek 50 m³/h. Dla zysków wewnętrznych przyjęto średnią wartość z zakresu $q_{int}=3,2\div 6,0$ W/m². Warianty 2-gie zgodne są z założeniami rozporządzenia obowiązującego od 2 października 2014 roku [3].

Tabela 2. Opis przyjętych założeń początkowych.
Table 2. Description of the initial assumptions

Wentylacja		Zyski wewnętrzne	
W-1	0,70 m ³ /s	Z-1	4,6 W/m ²
W-2	0,24 m ³ /s	Z-2	6,2 W/m ²

Zgodnie z nim wartości strumienia powietrza oraz zysków wewnętrznych zostały odniesione do m² powierzchni mieszkania i klatki schodowej.

Poziom wentylacji w lokalach mieszkalnych i wentylacji ciągłej przyjęto $V_{ve,1s}=0,32\cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$, dla klatki schodowej z wiatrolapem $V_{ve,1s}=0,07\cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Zyski wewnętrzne odpowiednio $7,1 \text{ W}/\text{m}^2$ i $1,0 \text{ W}/\text{m}^2$. Średnie zyski ciepła z pomiarów wyznaczone według zużycia energii elektrycznej i średniego czasu użytkowania przez ludzi można oszacować na poziomie $6,7 \text{ W}/\text{m}^2$.

5.2. Charakterystyka teoretyczna a wyniki pomiarów

Rzeczywiste zużycie ciepła w istniejącym budynku może odbiegać od przewidywanego z następujących powodów:

- innej niż założona w obliczeniach intensywność wentylacji pomieszczeń i temperatury wewnętrznej,
- niekontrolowanego zachowania użytkowników, np. otwieranie okien przy jednoczesnej dostawie ciepła do pomieszczeń ogrzewanych.

Wykonane pomiary oraz ich analiza wykazały dużą rozbieżność wyników otrzymanych z obliczeń teoretycznych z wynikami pomiarów zużycia energii (rys.5). Zauważalne są jednak zbliżone wartości w przypadku założenia poziomu wentylacji i zysków wewnętrznych zgodnie z nowymi wymaganiami dotyczącymi świadectw charakterystyki energetycznej [3]. Oszacowanie dla budynku mieszkalnego przy tych założeniach można ocenić jako dobre. Na podstawie wykonanych pomiarów zużycia ciepła na podliczniku c.o. zużycie ciepła w okresie pomiarowym wynosiło $54 \text{ kWh}/\text{m}^2$,

dla wariantu W-1_Z-1 odpowiednio $126 \text{ kWh}/\text{m}^2$,

dla wariantu W-1_Z-2 – $119 \text{ kWh}/\text{m}^2$,

dla wariantu W-2_Z-1 – $74 \text{ kWh}/\text{m}^2$,

dla wariantu W-2_Z-2 – $67 \text{ kWh}/\text{m}^2$.

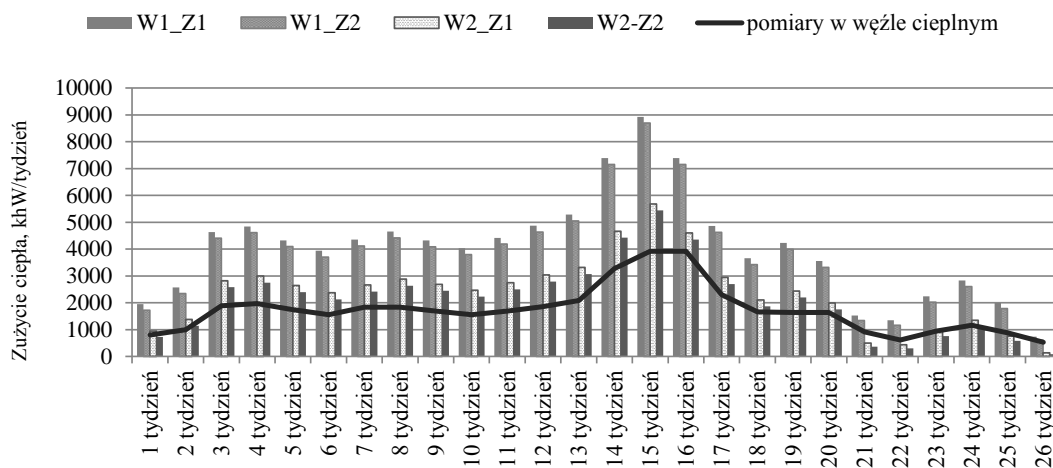
ENERGY CONSUMPTION IN RESIDENTIAL BUILDING – RESULTS OF MEASUREMENT AND ANALYSIS

Summary: The paper presents a comparison of analytical methods for estimating the finale energy consumption for different needs. Analyses were performed for multi-family building, four-storey located in Poznań.

Theoretical calculations were verified by measurements of consumption of heat, water and electricity by each apartment. Special attention was paid to the impact of usage of the building depends on the habits of the inhabitants.

Literatura

- [1] Dz. U. nr 89, poz.414, (1994), Prawo budowlane, z późniejszymi zmianami.
- [2] Dz.U. nr 201, poz.1240, (2008), Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.
- [3] Dz.U. poz.888, (2014), Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.
- [4] Czechowska N., Analiza zużycia ciepła w budynku mieszkalnym wielorodzinnym. Praca magisterska pod kierunkiem dr inż. M. Basińskiej, 2012.
- [5] Energie schweiz: *Wärmebrückenatlas*.
- [6] Google SketchUp: www.sketchup.google.com.
- [7] Dane klimatyczne Politechnika Poznańska.



Rys. 5. Porównanie zużycia energii końcowej w analizowanych tygodniach.

Fig. 5. Comparison of finale energy consumption in the analyzed weeks.