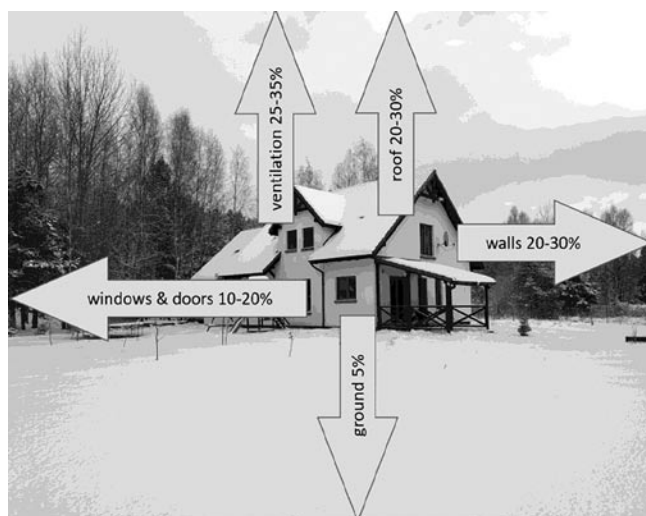


Analiza rzeczywistego i normowego zużycia energii cieplnej w budynkach

dr inż. Piotr Bogacz, Wydział Geoinżynierii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

1. Wprowadzenie

Budynki zużywają około 41% światowej energii pierwotnej. Jest ona potrzebna do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń (ok. 50–150 kWh/m²), przygotowania ciepłej wody użytkowej (ok. 30 kWh/m²) oraz wbudowanego oświetlenia (ok. 26 kWh/m²) [4]. W Polsce obliczenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej oblicza się zgodnie z normą PN-EN 12831. Porównując rzeczywiste (zmierzone) zużycie ciepła i wyliczone zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania, stwierdzono, że występują różnice pomiędzy tymi wartościami. W celu weryfikacji prowadzono wieloletnie obserwacje



Rys. 1. Podziały strat ciepła w budynkach (zdjęcie własne)

rzeczywistego i obliczonego zużycia energii. Zagadnienie pomiaru zużytej energii w odniesieniu do obliczeń według norm nie zostało dostatecznie opisane w literaturze. Dotychczasowe pomiary pozwoliły na wyznaczenie głównych kierunków przepływu energii [1], co pozwoliło skoncentrować dalsze obserwacje w zakresie rzeczywistego zużycia energii. Z kolei pomiary zużycia energii w biurowcu pozwoliły określić charakterystykę energetyczną na podstawie rzeczywistych pomiarów w odniesieniu do standardowych obliczeń [2].

Podobny charakter badań przeprowadzono w 2010 r., gdzie do analizy wybrano reprezentatywne mieszkania w budynku wielorodzinnym w celu sprawdzenia różnicy między rzeczywistym a teoretycznym zużyciem energii. Wyniki obserwacji wykazały istotne różnice pomiędzy rzeczywistym zużyciem energii a wartościami wyliczonymi na podstawie norm. Jako różnicę podano strumień powietrza wentylacyjnego, który w rzeczywistości był znacznie mniejszy niż zakładano w normie [3].

2. Metodyka badań

2.1. Warunki brzegowe

W celu porównania rzeczywistego i wyliczonego zapotrzebowania na energię pominięto energię potrzebną do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ciepła woda użytkowa we wszystkich budynkach była produkowana z innego źródła. W żadnym z budynków nie było klimatyzacji. Zatem zapotrzebowanie na energię w badanych budynkach obejmowało tylko energię potrzebną do ogrzewania. Jej zapotrzebowanie jest tak duże jak straty energii w budynku [6].

Straty energii cieplnej w budynku można podzielić na dwie główne części – straty przez przenikanie przez elementy mieszkalne oraz straty przez wentylację. Straty na obudowie obiektów wynikają głównie z zastosowanych materiałów oraz technologii wykonania. Z całkowitych strat przez przegrodę budynku około 20–30% generują ściany zewnętrzne, okna i drzwi od 10–20%, dach około 20–30%, podłogi na gruncie – około 5%. Doświadczenie pokazuje, że wentylacja ma największy udział w całkowitych stratach i może sięgać nawet 35% (rys. 1).

2.2. Przedmiot badań

Do badań wytypowano trzy obiekty budowlane, wzniesione w różnym okresie, ale wykonane w tej samej, tradycyjnej technologii – budynek mieszkalny jednorodzinny oraz dwa budynki mieszkalne o cechach przedstawionych w tabeli 1. Wszystkie badane obiekty miały wentylację.

Tabela 1. Analizowane budynki

Rodzaj budynku	Budynek jednorodzinny	Budynek wielorodzinny 1	Budynek wielorodzinny 2
Dane	Technologia: murowa Oddany do użytku: 2014 r. Ogrzewanie: ekogroszek (węgiel) Powierzchnia użytkowa: 165,2 m ² Powierzchnia zabudowy: 122,5 m ²	Technologia: murowa Oddany do użytku: 1962 r. Ogrzewanie: z ciepłowni miejskiej Powierzchnia użytkowa: 4981,25 m ² Powierzchnia zabudowy: 1172,0 m ²	Technologia: murowa Oddany do użytku: 2008 r. Ogrzewanie: gaz ziemny Powierzchnia użytkowa: 2970,55 m ² Powierzchnia zabudowy: 699,00 m ²
Zdjęcie			

Obserwacje i pomiary prowadzono od 01.01.2017 do 31.12.2019 roku.

Ciepłomierz ultradźwiękowy Supercal 749 wykorzystano do pomiaru ciepła pobieranego w budynku mieszkalnym jednorodzinny, natomiast ciepłomierz ultradźwiękowy Supercal 531 Static do pomiaru ciepła w budynkach wielorodzinnych. Charakterystykę urządzeń przedstawiono w tabeli 2.



W budynku mieszkalnym jednorodzinny zainstalowane źródło ciepła miało maksymalną moc 13 kW, co w stosunku do powierzchni budynku daje wartość 78 W/m². W mieszkalnym budynku z 1962 r. maksymalna moc zainstalowana wymiennika – 600 kW, co w stosunku do powierzchni budynku daje wartość ~150 W/m². W apartamentowcu z 2008 roku

maksymalna moc zainstalowana kotła gazowego – 290 kW, co w stosunku do powierzchni budynku daje wartość ~100 W/m².

2.3. Wartości obliczeniowe

Przed rozpoczęciem pomiarów wszystkie obiekty zostały zinwentaryzowane. Posłużyło to do przygotowania modelu BIM, który był źródłem obliczeń cieplnych w programie ArCadia Thermo-Cad. Algorytm programu jest zgodny z normą PN-EN 12831 oraz Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 6 września 2019 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2019 poz. 1829).

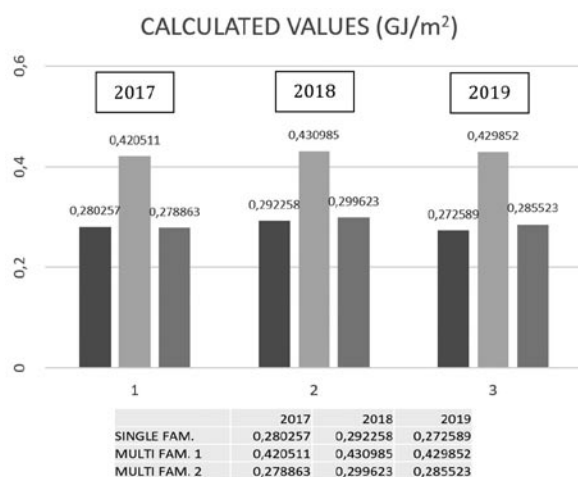
Tabela 2. Charakterystyka urządzeń wykorzystanych podczas badań (opracowanie własne)

Rodzaj budynku	Budynek jednorodzinny	Budynek wielorodzinny
Parametry	<ul style="list-style-type: none"> – Przepływ nominalny: 0,6-2,5 m³/h – Średnica nominalna: DN 15, 20 – Pomiar przepływu: static (oscillating) – Maksymalna temperatura pomiarowa: 90°C – Nominalne ciśnienie: 1,6 MPa – Czujniki temperatury: dwuprzewodowe Pt 1000 	<ul style="list-style-type: none"> – Przepływ nominalny: 0,6-2,5 m³/h – Średnica nominalna: DN 15 – 500 – Pomiar przepływu: static (oscillating) – Maksymalna temperatura pomiarowa: 0 ... 130°C – Nominalne ciśnienie: 1,6/2,5 MPa – Czujniki temperatury: dwuprzewodowe Pt 1000/Pt500
Zdjęcia		

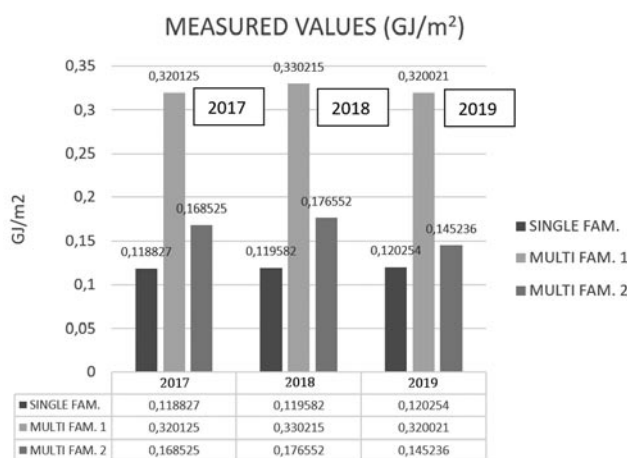
Wszystkie obiekty zlokalizowane są w województwie warmińsko-mazurskim i należą do IV strefy klimatycznej.

Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 2. Pierwszy słupek na schemacie obejmuje budynek jednorodzinny, środkowy słupek – budynek wielorodzinny z 1962 roku, a trzeci słupek – budynek wielorodzinny z 2008 roku. Uzyskane wartości są zbliżone, ale najstarszy budynek wygenerował największe zapotrzebowanie na ciepło.

Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 3. Podobnie jak na rysunku 1 – pierwszy słupek na schemacie obejmuje budynek jednorodzinny, słupek środkowy – budynek wielorodzinny z 1962 r.,



Rys. 2. Wartości obliczone [GJ/m²] (1 – wyniki z 2017 r., 2 – wyniki z 2018 r., 3 – wyniki z 2019 r.); opracowanie własne



Rys. 3. Zmierzone wartości [GJ/m²]; opracowanie własne

a słupek trzeci – budynek wielorodzinny z 2008 roku. Pomiary potwierdzają tendencję uzyskaną w obliczeniach – największe zużycie energii przez budynek wygenerował w 1962 roku. Warto zauważyć, że zmierzone wartości w stosunku do wartości obliczonych są znacznie niższe. Różnice w wartościach [GJ/m²] przedstawiono na rysunku 4, a udział [%] na rysunku 5. Największe różnice między wartościami obliczonymi a zmierzonymi dotyczą zabudowy jednorodzinnej i wynoszą ok. 55–59%. Najmniejsze różnice występują dla najstarszych z badanych obiektów z różnicą około 23–25%.

3. Dyskusja wyników

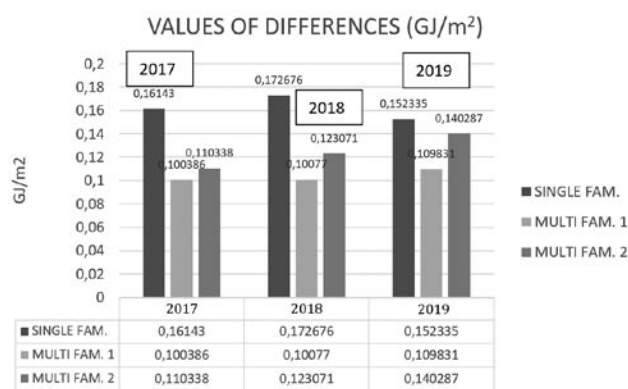
Procedura obliczeniowa zastosowana podczas obserwacji została oparta na rzeczywistych pomiarach zużycia energii. Obliczenia normowe zakładają stałą wartość tych parametrów, o której mowa dalej. Analizując otrzymane wyniki, zauważalne są znaczne różnice między obliczonymi wartościami zapotrzebowania

na ciepło a wartościami zmierzonymi. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy są różne warunki brzegowe przyjęte w obliczeniach i różne w pomiarach. Jak już wspomniano, zapotrzebowanie na ciepło to temperatura wewnętrzna wprost proporcjonalna do wielkości strat. Są one funkcją (równanie 1) temperatury zewnętrznej, wielkości strat wentylacyjnych, strat przegród zewnętrznych i zysków słonecznych, które częściowo kompensują straty. W obliczeniach wykonanych na podstawie normy PN-EN 12831 przyjmuje się, że temperatura zewnętrzna T_{ext} , ilość powietrza wentylacyjnego V oraz zyski słoneczne Q_{sol} są wartościami stałymi dla poszczególnych miesięcy [8]. Wartość współczynnika strat ciepła H_{tr} przez obudowę jest stała przez cały sezon grzewczy i nie ulega zmianie (PE-EN ISO 13789).

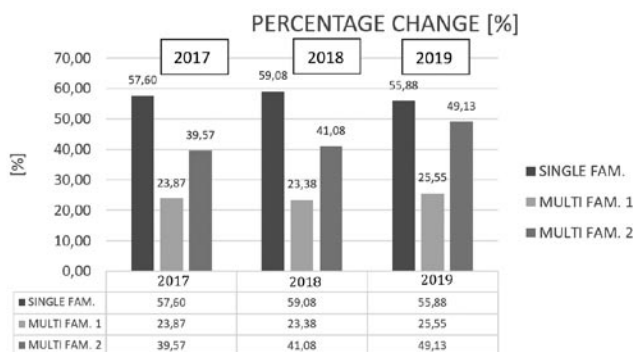
$$Q_H = f(T_{ext}, V, H_{tr}, Q_{sol}, T_{int}) \quad (1)$$

W rzeczywistości stałą wartością jest współczynnik strat ciepła przez obudowę. Pozostałe wartości – ilość powietrza wentylacyjnego, temperatura zewnętrzna i zyski słoneczne zmieniają się w jednostce czasu i generują różnice pomiędzy wartościami rzeczywistymi i obliczonymi [10].

Oczywiście ważne są również inne parametry wpływające na sposób użytkowania obiektu – takie jak



Rys. 4. Wartości różnic [GJ/m²]; opracowanie własne



Rys. 5. Procentowa zmiana [%]; opracowanie własne

przyzwyczajenia mieszkańców, zmienna liczba mieszkańców w czasie, różne czynności wykonywane w porównywanych przedziałach czasowych. Te wartości zostały pominięte we wstępnych wynikach.

Ważnym aspektem jest różnica między temperaturą standardową a temperaturą rzeczywistą. Ich wpływ na uzyskane wyniki będzie przedmiotem dalszej analizy.

Przyjęta liczba zmiennych obejmuje główne parametry, które mają największy wpływ na wielkość zużycia energii przez budynek. W kolejnych etapach badań należy uwzględnić większą liczbę parametrów i określić ich wpływ na uzyskiwane wyniki.

4. Podsumowanie

Na podstawie analizy uzyskanych wartości widać, że wartości obliczeniowe zapotrzebowania na ciepło w oparciu o normy są zawyżone. Dużo bardziej wiarygodne są wartości uzyskane w wyniku wieloletnich pomiarów rzeczywistego zużycia energii. Nie bez znaczenia jest podana w normie i w badaniach wartość temperatury wewnętrznej. Dla wszystkich analizowanych budynków średnia ważona temperatura wewnętrzna została wyznaczona na podstawie zaleceń normatywnych i wyniosła $T = 20,67^{\circ}\text{C}$. Na podstawie pomiarów cząstkowych obliczono wartość temperatury wewnętrznej na poziomie $T = 19,8^{\circ}\text{C}$. Ta różnica może mieć wpływ na uzyskane wyniki i będzie przedmiotem dalszych analiz. Duże różnice prawdopodobnie wynikają również ze stałych wartości wyjściowych temperatury zewnętrznej przez cały okres obliczeniowy, podczas gdy w rzeczywistości wartość ta zmienia się znacznie w czasie. Otrzymane wyniki są odniesieniem do porównania założeń poczynionych na etapie projektowania konstrukcji budowlanych z rzeczywistością. Warto wspomnieć, że wartość energii

cieplnej potrzebnej budynkowi przekłada się na parametr EP (energia pierwotna), który służy do weryfikacji zgodności z normami energetycznymi zgodnie z polskim prawodawstwem.

W trakcie eksploatacji należy dążyć do jak największego ograniczenia zużycia energii cieplnej przy zachowaniu komfortu cieplnego mieszkańców. Budynki starego typu, dla których zużycie energii jest wyższe, należy termomodernizować – głównie poprzez poprawę parametrów obudowy zewnętrznej. Obecnie trwa drugi etap analiz na innych obiektach – tym razem obiekt handlowy, biurowiec i magazyn.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Weber T., Analiza energochłonności różnych rodzajów budynków w Polsce, Materiały Budowlane 1/2010, str. 18–20
- [2] Krajewska M., Kwiecińska N., Kwiatkowski J., Analiza zużycia energii w biurcu na podstawie rzeczywistych danych pomiarowych, Materiały Budowlane 2/2018, str. 41–45
- [3] Alsabry A., Pigalski W., Maciejewski T., Teoretyczne a rzeczywiste zapotrzebowanie energetyczne na centralne ogrzewanie i wentylację mieszkań w budownictwie wielorodzinnym, Przegląd Budowlany 11/2010, str. 39–45
- [4] Bogacz P., Zabielski J., Effect of Refurbished Thermal Insulation of Exterior Partitions in a Building on the Primary Energy and the Air Pollutant Emission Factors, Technical Sciences 15(2)2012, str. 251–263
- [5] PN-EN 12831: Charakterystyka energetyczna budynków – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego
- [6] Żczyńska A., Cholewa T., Zmiany w wymaganiach dotyczących oszczędności energii i termoizolacji budynków w Polsce w latach 1974–2021, Budownictwo i Architektura 14/2015, str. 145–154
- [7] Rozporządzenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 6 września 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2019 poz. 1829)
- [8] Doodoo A., Gustavsson L., Sathre R., Primary energy implications of ventilation heat recovery in residential buildings, Energy and Buildings, tom 43, 7/2011, str. 1566–1572
- [9] PN-EN ISO 13789 Ciepłe właściwości użytkowe budynków – Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację
- [10] Krawczyk D., Analysis of Energy Consumption for Heating in a Residential House in Poland, Energy Procedia, tom 95, 9/2016, str. 216–222



PROJEKTOWANIE
PRZYSZŁOŚCI

KONFERENCJA PROJEKTOWANIE PRZYSZŁOŚCI – SIÓDMA EDYCJA 26-27 KWIETNIA, KRAKÓW

FORMUŁA HYBRYDOWA

KONFOTEKA i BIM KLASTER, po wymuszonej pandemią dwuletniej przerwie, zapraszają na siódmą edycję konferencji **PROJEKTOWANIE PRZYSZŁOŚCI**.

Konferencja podzielona będzie na dwie części: panelową i warsztatową. Część panelowa (26 kwietnia) odbędzie się w Budynku Krakowskiego Parku Technologicznego, ul. Podole 60, (ale możliwe będzie również uczestnictwo on-line). Część warsztatowa (27 kwietnia) zrealizowana zostanie wyłącznie w formule on-line.

Główne tematy tegorocznej konferencji: #BIM #Cyberbezpieczeństwo #Lean #GIS #CDE

PROJEKTOWANIE PRZYSZŁOŚCI było pierwszą konferencją poświęconą tematyce BIM, jaka odbyła się w Polsce. Dbamy o najwyższy poziom merytoryczny i organizacyjny wydarzenia. Uważnie słuchamy uwag i opinii naszych uczestników. Starannie dobieramy tematykę i prelegentów.

Koncentrujemy się na zagadnieniach praktycznych, istotnych w codziennej pracy projektantów, architektów, wykonawców. Pamięamy o tym, że byliśmy pionierami, i staramy się, aby **PROJEKTOWANIE PRZYSZŁOŚCI** z każdą edycją było jeszcze lepsze!

Szczegółowy program i warunki uczestnictwa na www.projektowanieprzyszlosci.pl.