



Analiza porównawcza zapotrzebowania na energię końcową i zużycia energii dla wybranej grupy budynków

Anna Lis¹

STRESZCZENIE:

Wartość zużycia energii w rozpatrywanej grupie budynków edukacyjnych zlokalizowanych na terenie miasta Częstochowa różniła się od wyznaczonego obliczeniowego zapotrzebowania na energię końcową do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej. W artykule przedstawiono analizę czynników, które mają wpływ na kształtowanie się zarówno jednej, jak i drugiej wielkości. Spośród parametrów mających wpływ na rzeczywiste i obliczeniowe wartości strat i zysków ciepła w analizie uwzględniono wskaźniki odnoszące się do powierzchni okien, współczynniki przenikania ciepła dla przegród, zawartość bryły budynku, zacienienie i osłonięcie elewacji, usytuowanie budynku w stosunku do stron świata, ilość powietrza wymienianego w procesie wentylacji oraz liczba osób przebywających w pomieszczeniach. Przedstawiono zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami a zapotrzebowaniem i zużyciem energii do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody.

SŁOWA KLUCZOWE:

zużycie energii; zapotrzebowanie na energię końcową; budynki edukacyjne

1. Wprowadzenie

W poszczególnych budynkach wartość zużycia energii do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej często różni się od wyznaczonego na te cele zapotrzebowania na energię końcową. Głównym powodem jest różnica pomiędzy wartościami parametrów kształtującymi się w trakcie eksploatacji budynku a wartościami przyjętymi do obliczeń zapotrzebowania na energię. Niebagatelne znaczenie mają tu przyzwyczajenia osób przebywających w budynkach co do preferowanych wartości parametrów mikroklimatu wewnątrz, warunków komfortu cieplnego i sposobu użytkowania pomieszczeń [1, 2]. Równie ważna jest rzeczywista długość trwania sezonu grzewczego i warunki klimatu miejscowego panujące w trakcie jego trwania. Podczas gdy do obliczeń przyjmowane są średnie wartości temperatury powietrza na zewnątrz wyznaczane na podstawie obserwacji wieloletnich, zużycie ciepła opiera się na występujących wartościach chwilowych. Związek między analizowanymi wartościami zapotrzebowania i zużycia powinien być tym silniejszy, im wierniej metoda prowadzonych obliczeń oddaje warunki i specyfikę ogrzewania eksploatowanego obiektu. Jest to ważne, szczególnie w przypadku budynków użyteczności publicznej, które charakteryzują się okresowym sposobem użytkowania całego budynku i poszczególnych pomieszczeń. Określone parametry w różnym stopniu wpływają na wartość zużycia energii i zapotrzebowania na energię. Celem analizy jest wyznaczenie parametrów wpływających na zapotrzebowanie i zużycie energii oraz oszacowanie ich wpływu na rozbieżności pomiędzy tymi wielkościami [3, 4].

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42–218 Częstochowa, e-mail: alis@bud.pcz.pl, orcid id: 0000-0001-9497-5754

2. Charakterystyka analizowanych budynków

Badania przeprowadzono w kilkunastu dwupiętrowych budynkach edukacyjnych, wzniesionych w latach 1950–1992 w technologii tradycyjnej i prefabrykowanej. Ponad połowa budynków była całkowicie podpiwniczona. Średnia powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze wynosiła $A_f = 1082 \text{ m}^2$, a powierzchnia okien $A_{OK} = 250 \text{ m}^2$ (tab. 1). Elewacje z maksymalnym przeszkleniem były usytuowane głównie na południe i zachód, a z minimalnym na północ.

Tabela 1

Wybrane parametry analizowanej grupy budynków

Miara	A	A_{OK}	A_f	A/V_e	$A_{OK}/A_{\acute{S}c}$	A_{OK}/A_f
	[m ²]			1/[m]	-	
Średnia arytmetyczna	2091,4	250,0	1082,3	0,44	0,29	0,23
Odchylenie standardowe	755,3	115,1	456,3	0,08	0,05	0,05

Budynki przyjęte do analizy wybudowano w różnych latach, w związku z tym mają różne charakterystyki cieplno-energetyczne. W budynkach nie były prowadzone prace termomodernizacyjne, dlatego też wartości współczynników przenikania ciepła poszczególnych przegród znacznie przekraczały zalecane warunkami technicznymi wartości (tab. 2).

Tabela 2

Współczynniki przenikania ciepła przegród w analizowanej grupie budynków

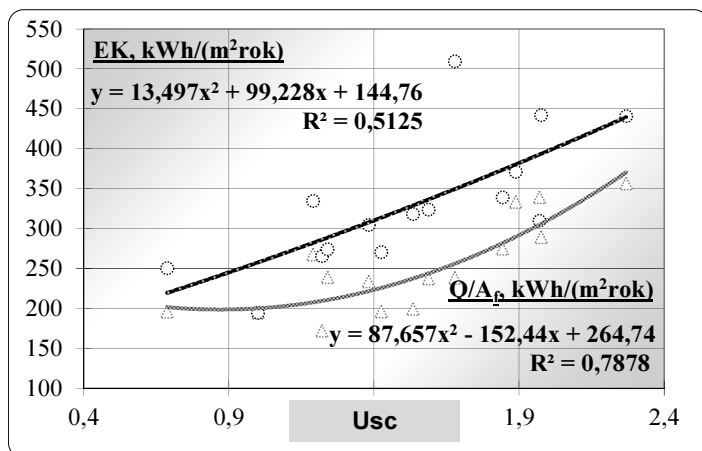
Miara	$U_{\acute{S}c}$	U_w	U_{STD}	U_{SNP}	U_{PNG}
	[W/(m ² K)]				
Średnia harmoniczna	1,52	2,4	0,98	1,00	0,77
Odchylenie standardowe	0,42	0,2	0,21	0,13	0,14

Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową wyniósł $EK = 329,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$ przy odchyleniu standardowym $82,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$. Wskaźnik rocznego zużycia energii wyniósł $Q/A_f = 250,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$ przy odchyleniu standardowym $57,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$. W budynkach zasilanych z PEC-u zużycie ciepła określono na podstawie odczytów z zainstalowanych liczników, w budynkach z własnymi kotłowniami wyznaczono je na podstawie zużycia opału oraz informacji o jego wartości opałowej i sprawności poszczególnych składników systemu.

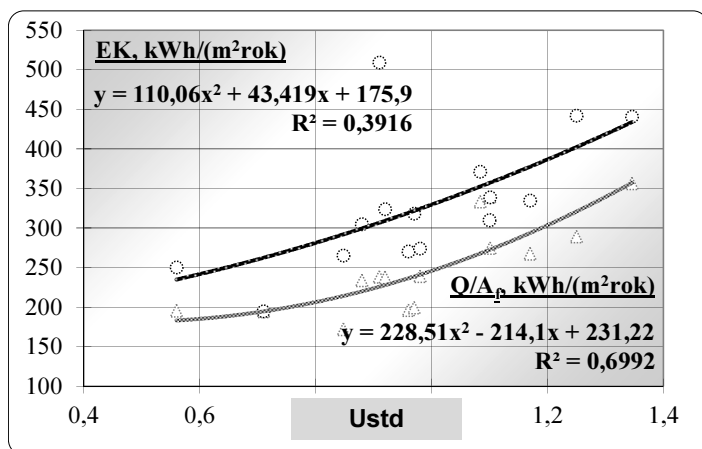
3. Analiza zapotrzebowania na energię końcową i zużycia energii

W większości budynków stwierdzono różnicę pomiędzy wartościami zużycia i zapotrzebowania na energię. Analizę przeprowadzono, porównując zapotrzebowanie na energię końcową EK i zużycie energii do ogrzewania budynków i przygotowania ciepłej wody użytkowej w przeliczeniu na jednostkę powierzchni o regulowanej temperaturze Q/A_f (rys. 1–6). Spośród parametrów mających wpływ na straty bądź zyski ciepła analizie poddano zwartość bryły budynku, czyli stosunek powierzchni przegród, przez które traci się ciepło do ogrzewanej kubatury budynku A/V_e , współczynniki przenikania ciepła ścian $U_{\acute{S}c}$, okien U_w , stropodachów U_{STD} , stropów nad piwnicami U_{SNP} oraz podłóg na gruncie U_{PNG} , przeszklenie elewacji $A_{OK}/A_{\acute{S}c}$, czyli stosunek powierzchni okien do powierzchni ścian, wskaźnik powierzchni okien A_{OK} do powierzchni o regulowanej temperaturze A_f , osłonięcie i zacinienie elewacji, usytuowanie budynku w stosunku do stron świata, a także ilość powietrza wymienianego w procesie wentylacji i ilość osób przebywających w pomieszczeniach.

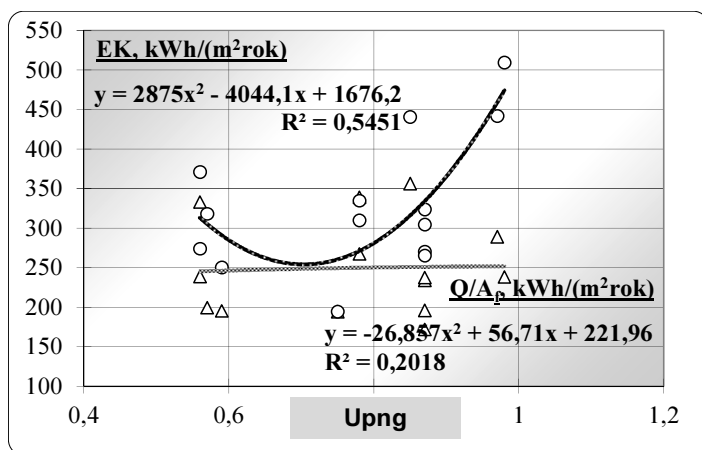
Rysunki 1–6 przedstawiają kształtowanie się wartości zapotrzebowania na energię i zużycia energii w zależności od zmiany wartości wybranych parametrów oraz wyznaczone dla tych zależności współczynniki determinacji R^2 .



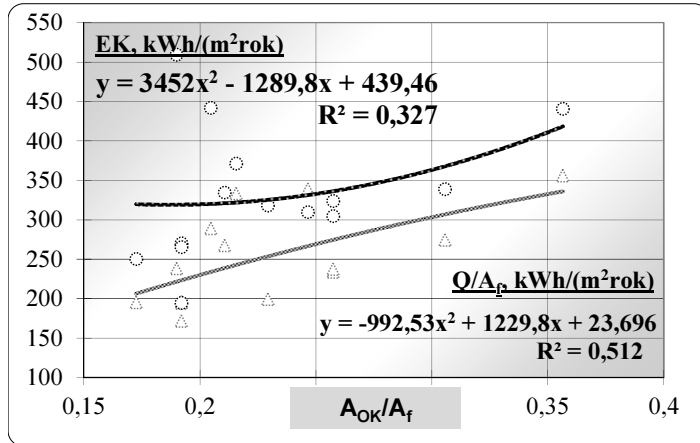
Rys. 1. Wpływ współczynnika przenikania ciepła ściany na EK i Q/A_p



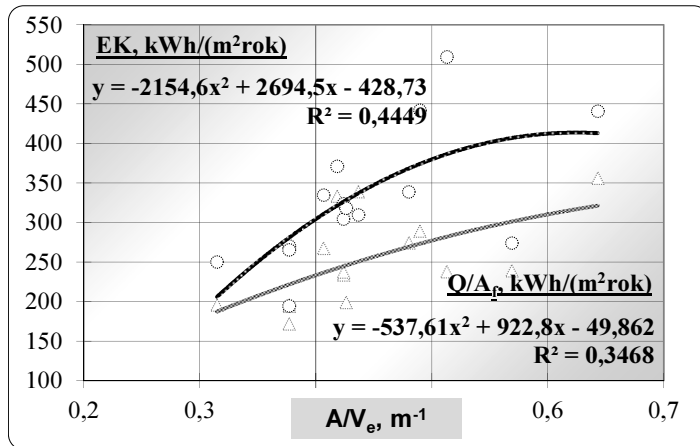
Rys. 2. Wpływ współczynnika przenikania ciepła stropodachu na EK i Q/A_p



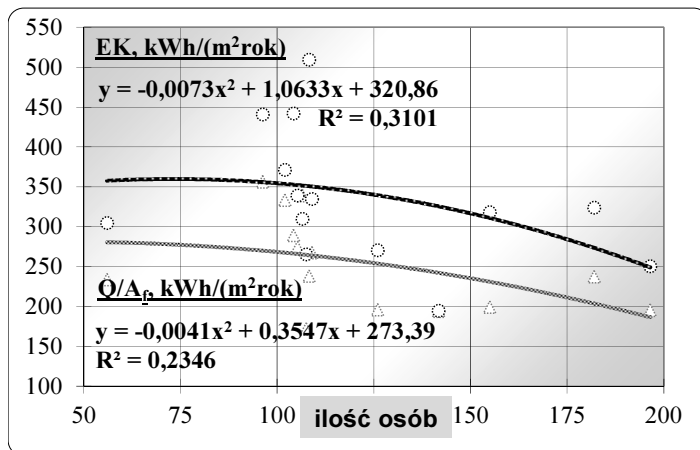
Rys. 3. Wpływ współczynnika przenikania podłogi na gruncie na EK i Q/A_p



Rys. 4. Wpływ powierzchni okien do powierzchni o regulowanej temperaturze na EK i Q/A_f



Rys. 5. Wpływ współczynnika zwartości na EK i Q/A_f



Rys. 6. Wpływ ilości osób w pomieszczeniach na EK i Q/A_f

Przegrody w budynkach charakteryzowały się niskim poziomem izolacyjności cieplnej. Liczne usterki w strukturze ścian oraz stropodachów oraz ich miejscowe zawilgocenie skutkowało wzrostem rzeczywistych wartości współczynników przenikania ciepła w stosunku do obliczonych, na co wskazuje wyższy współczynnik determinacji w przypadku zużycia ciepła (tab. 3). Straty ciepła przez podłogę na gruncie, gdzie mostki cieplne są trudne do wyeliminowania [5], mają duży wpływ na wyznaczoną wartość zapotrzebowania na energię, jednak w przypadku zużycia ciepła wpływ innych elementów okazał się bardziej istotny.

Charakterystyczną cechą budynków edukacyjnych jest zwykle znaczne przeszklenie elewacji, zwłaszcza w salach lekcyjnych. Średnio dla całego budynku wynosiło ono 0,29, natomiast w salach 0,39, a maksymalnie nawet 0,79. Wysokie wartości współczynników przenikania ciepła dla okien oraz sposób ich umieszczenia w murze, tworzący mostek cieplny o znacznym liniowym współczynniku przenikania ciepła [6], wydatnie zwiększały wartość zapotrzebowania na energię. Niestaranne, w wielu przypadkach, zamontowanie okien zwiększało dodatkowo straty ciepła. Wielkość powierzchni okien w odniesieniu do powierzchni o regulowanej temperaturze miała znacznie większy wpływ na zużycie ciepła niż sama wartość przeszklenia. Generowana ilość zysków ciepła od promieniowania słonecznego jest związana z wielkością przeszklenia oraz odpowiednią lokalizacją budynku w stosunku do stron świata. Wpływ usytuowania budynku względem stron świata na wyznaczoną wartość zapotrzebowania na energię był analizowany poprzez stopniowe obracanie budynku o 45° w stosunku do pierwotnej lokalizacji, przy której najniższe przeszklenie elewacji występowało na kierunku północnym, a najwyższe na południowym. Uzyskano wysoki współczynnik determinacji na poziomie 0,78. Zgodnie z oczekiwaniami, maksymalna wartość przeszklenia na elewacji południowej powoduje spadek zapotrzebowania na energię. Zacienienie elewacji zmniejsza zyski od promieniowania słonecznego jednocześnie jednak stanowi osłonięcie elewacji od wiatru. W rozpatrywanej grupie budynków zacienienie stanowiły drzewa, głównie liściaste, umiejscowione prawidłowo od strony południowej, co maksymalizuje zyski w okresie grzewczym, a ogranicza przegrzewanie pomieszczeń w okresie letnim.

Budynki przedstawione do analizy cechowała znaczna zwartość bryły. Uzyskano zależność na średnim poziomie, przy czym zwartość budynku miała istotniejsze znaczenie w przypadku wyznaczania zapotrzebowania na energię (rys. 5, tab. 3).

Tabela 3

Porównanie współczynników determinacji

Parametr	Współczynnik determinacji R^2	
	EK	Q/A_f
U_{SC}	0,51	0,79
U_{STD}	0,39	0,70
U_{PNG}	0,55	0,20
U_{SNP}	0,15	0,23
U_{OK}	0,32	0,43
A_{OK}/A_f	0,33	0,51
A_{OK}/A_{SC}	0,43	0,24
A/V_e	0,45	0,35
strumień wentylacji	0,32	0,37
liczba osób	0,31	0,24

Nieszczelności okien, jak również realizowanie potrzeb wentylacyjnych częściowo przez ich otwieranie, przyczyniły się do większego rzeczywistego strumienia wentylacji w stosunku do jego ilości przyjętej do obliczeń. Nie spowodowało to jednak znacznego wzrostu współczynnika determinacji w przypadku zużycia ciepła (tab. 3). W rzeczywistości analizowane budynki były wykorzystywane przez mniejszą liczbę osób, niż zakładano.

4. Podsumowanie

Zużycie energii w rozpatrywanej strukturze budynków było niższe od wyznaczonej wartości zapotrzebowania na energię. Analizując wpływ zmian wybranych parametrów na zapotrzebowanie na energię oraz na jej zużycie w odniesieniu do powierzchni o regulowanej temperaturze, wyznaczono wartości współczynników determinacji, które generalnie utrzymywały się na średnim poziomie. Dla większości parametrów uzyskano wyższe wartości współczynników w przypadku ich wpływu na zużycie ciepła. Kształt budynku ma bezpośredni wpływ na zapotrzebowanie na energię do jego ogrzewania. Ze względu na prawidłowe zarządzanie energią korzystniejsza jest większa zwartość bryły budynku. Budynki poddane analizie cechowała znaczna zwartość bryły, co wpłynęło na uzyskaną wartość współczynnika determinacji, niższą w przypadku zużycia energii. Wartości współczynników przenikania ciepła dla przegród w budynkach przekraczały obowiązujące obecnie wartości maksymalne dla tego parametru. W analizowanej strukturze izolacyjność termiczna ścian i stropodachów, ze względu na usterki i częściowe zawilgocenie niższa z pewnością od przyjętej do obliczeń, miała większy wpływ na zużycie energii niż izolacyjność pozostałych przegród. Zwiększanie grubości izolacji przyczynia się wyraźnie do zmniejszania strat ciepła z budynku, jednak po osiągnięciu określonej wartości dalszy wzrost grubości izolacji nie powoduje zauważalnych efektów energetycznych. Pokazna wielkość powierzchni przeszklonych jest w większym stopniu źródłem zwiększenia strat ciepła niż wskaźnikiem przyczyniającym się do jego zysków. Szczególnie w lecie jest przyczyną przegrzewania pomieszczeń i utraty komfortu cieplnego przebywających w nich osób. Kierowanie maksymalnej wielkości przeszklenia w kierunku północnym spowodowało około 3% wzrost zapotrzebowania na energię. Zła jakość powietrza w pomieszczeniach i konieczność dodatkowej wentylacji realizowanej poprzez otwieranie okien powodowały wzrost zużycia energii.

Literatura

- [1] Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P., Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- [2] Budownictwo ogólne, Fizyka budowlanej, Tom drugi, red. P. Klemm, Arkady, Warszawa 2014.
- [3] Eckiert W., Mrowczyńska M., Bazan-Krzywoszańska A., Skiba M., Realizacja nowych wymagań UE dotyczących wzrostu efektywności energetycznej dla budynków użyteczności publicznej w Polsce na przykładzie Zielonej Góry, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2017, seria Budownictwo 23, 56–68.
- [4] Blukacz A., Ujma A., Możliwości realizacji pasywnego budynku agroturystycznego na terenie Jury Krakowsko-Częstochowskiej, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2016, seria Budownictwo 22, 15–26.
- [5] Pawłowski K., Projektowanie ciepło-wilgotnościowe przegród zewnętrznych i ich złączeń, Materiały Budowlane 2018, 6, 48–51.
- [6] Pawłowski K., Dybowska M., Józefiak K., Minimalizacja wpływu mostków cieplnych na izolacyjność przegrody, Izolacje 2014, 3, 15–21.

Comparative analysis of the final energy demand and energy consumption for a selected group of buildings

ABSTRACT:

The paper presents energy consumption for heating and domestic hot water preparation in educational buildings located in the city of Częstochowa. Because the value of energy consumption in buildings is different from the calculated final energy demand for heating, ventilation and domestic hot water preparation, the factors which have an impact of both of these parameters were analysed. Among the indicators affecting the actual and calculated values of heat losses and gains, the analysis includes indicators referring to the window area, heat transfer coefficients for partitions, the shape factor of the building, facade-shading, shielding the facade from the wind, location of the building in relation to the sides of the world, amount of air exchanged in the ventilation process and the number of people staying in the rooms. The relationships between selected parameters and the demand and energy consumption for heating, ventilation and hot water preparation are presented.

KEYWORDS:

energy demand; energy consumption; educational buildings