



DOI: 10.17512/bozpe.2019.1.04

Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym
Construction of optimized energy potential

ISSN 2299-8535 e-ISSN 2544-963X



Projektowa i rzeczywista energochłonność ogrzewania budynków edukacyjnych, identyfikacja różnic

Anna Lis¹ (orcid id: 0000-0001-9497-5754)

Piotr Lis² (orcid id: 0000-0002-5310-0895)

¹ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa

² Politechnika Częstochowska Wydział Infrastruktury i Środowiska

Streszczenie: Przedstawiono wybrane wyniki badań związanych z rocznym zużyciem energii C_H i rocznym zapotrzebowaniem na energię końcową $Q_{k,H}$ do ogrzewania budynków, przeprowadzonych w grupie budynków edukacyjnych. Przedstawiona analiza i jej wyniki dotyczą grupy obejmującej 46 z 50 budynków edukacyjnych, które tworzą miejską grupę budynków tego typu i w których znajdują się instytucje edukacyjne. Celem zaprezentowanej analizy było stwierdzenie występowania różnic pomiędzy rocznym zużyciem energii C_H i rocznym zapotrzebowaniem na energię końcową $Q_{k,H}$ dla ogrzewania badanych budynków. Realizacja tego celu stanowi podstawę do dalszych badań i analiz pozwalających wskazać dominujące przyczyny wspomnianych różnic, ustalić ich poziom i zaproponować obliczeniową metodę zmniejszania niezgodności między rzeczywistymi wartościami obrazującymi potrzeby energetyczne budynków edukacyjnych (zużycie energii C_H) a teoretycznymi wartościami uzyskanymi z obliczeń (końcowe zapotrzebowanie na energię $Q_{k,H}$).

Słowa kluczowe: budynki edukacyjne, ogrzewanie, zużycie energii do ogrzewania, zapotrzebowanie na energię do ogrzewania

Użytkowanie treści artykułu tylko w oparciu o licencję Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0

Proszę cytować ten artykuł w następujący sposób:

A. Lis, P. Lis, Projektowa i rzeczywista energochłonność ogrzewania budynków edukacyjnych, identyfikacja różnic, Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, vol. 8, 1, 2019, 37-45, DOI: 10.17512/bozpe.2019.1.04

Wprowadzenie

Metody obliczeniowe mające zastosowanie w różnych dziedzinach techniki są zazwyczaj pewnego rodzaju teoretycznym przybliżeniem rzeczywistości. Zasadni-

czym, występującym tutaj, problemem jest stopień zgodności teoretycznego opisu jakiegoś zjawiska lub procesu z rzeczywistymi warunkami jego przebiegu.

Odstępstwa od pełnej zgodności pomiędzy warunkami rzeczywistymi i teoretycznymi założeniami projektowymi występują również w przypadku ogrzewania budynku rozpatrywanego jako budowlano-instalacyjna całość, stanowiącego zespół wielu cech instalacyjnych, architektoniczno-budowlanych, materiałowo-konstrukcyjnych i eksploatacyjnych mających bezpośredni lub pośredni związek z jego ogrzewaniem. Pojawiające się rozbieżności są widoczne chociażby przy ilościowej charakterystyce ogrzewania, czyli ilości ciepła teoretycznie potrzebnego i rzeczywiście zużytego do tego celu.

Obecnie podczas wykonywania świadectwa charakterystyki energetycznej budynku jedną z podstawowych obliczanych wielkości jest roczne zapotrzebowanie na energię końcową $Q_{k,H}$ dla ogrzewania. Jeszcze niedawno jednymi z podstawowych wielkości obliczanych w projektach systemów grzewczych były moc cieplna q i sezonowe zapotrzebowanie na ciepło Q w standardowym sezonie grzewczym. Kilka lat temu wartość mocy cieplnej q została zastąpiona przez tzw. projektowe obciążenie cieplne, które jest obliczane zgodnie z PN EN ISO 12831. Pomimo różnic występujących w interpretacji fizycznej i metodzie obliczania tych wielkości, wszystkie z nich można uznać za teoretyczne - projektowe, w przeciwieństwie do, mającego również zastosowanie w charakterystyce energetycznej budynku, rocznego zużycia energii C_H na ogrzewanie. Ilość tego zużycia została określona przez pomiar i w tym w sensie opisuje rzeczywiste warunki ogrzewania. Poprawnie stworzona metodyka obliczania wartości projektowych, pomimo zastosowanych uproszczeń, powinna w jak największym stopniu uwzględniać warunki realne. W efekcie projektowe i rzeczywiste wartości powinny być ze sobą w jak największym stopniu skorelowane (Corgnati i in., 2008; Kasperkiewicz, 2006).

1. Cel, definicje i metodyka

Celem przeprowadzonej analizy, której wybrane wyniki przedstawiono w niniejszym artykule, było porównanie projektowych i rzeczywistych ilości ciepła wykorzystywanych do ogrzewania budynków edukacyjnych i identyfikacja ewentualnych różnic.

W artykule główną uwagę poświęcono ogrzewaniu budynku. Z tego powodu podstawową wielkością, od której rozpoczęto rozważania, jest $Q_{p,H}$ - roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną dla systemu ogrzewania. Wielkość ta występuje w Polsce w rozporządzeniu ministra infrastruktury i rozwoju w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju, 2015). Jest ona obliczana z uwzględnieniem współczynnika nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii do ogrzewania w_H . Wartość tego współczynnika w dużym stopniu zależy od polityki energetycznej państwa i zniekształca

fizyczny wymiar wielkości $Q_{p,H}$. W warunkach polskich wartości współczynnika nakładu w_H mieszczą się w granicach od 0,0 dla źródeł energii odnawialnej, poprzez 1,1-1,3 dla węgla kamiennego, aż do 3,0 dla systemowej sieci elektroenergetycznej (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju, 2015). Z tego powodu nie można porównywać obliczonej wielkości $Q_{p,H}$ ze zmierzonym zużyciem energii do ogrzewania C_H . Mając to na uwadze, zdecydowano, że w rozpatrywanym przypadku najbardziej odpowiednią do wykorzystania w analizowanych porównaniach będzie wielkość oznaczana w metodyce charakterystyki energetycznej budynków jako $Q_{k,H}$. Jest to roczne zapotrzebowanie na energię końcową dostarczaną do budynku lub jego części dla systemu ogrzewania w kWh/rok, które uwzględnia jego sprawność. Przy tej okazji należy zauważyć, że odpowiednio stworzona metodologia obliczeń powinna maksymalnie zbliżać teorię do rzeczywistości ogrzewania budynków. Wynika stąd wniosek, że prawidłowo obliczone wartości rocznego zapotrzebowania $Q_{k,H}$ powinny być jak najbardziej zbliżone do wartości rocznego zużycia energii C_H (Lis i Lis, 2013; Lis i Lis, 2018; Lis i Piesyk, 2017).

Badaniami objęto 50 budynków edukacyjnych wzniesionych w latach 1913-1992, tworzących pełną miejską zbiorowość tego typu obiektów oświatowych. Badania statystyczne pełne były realizowane etapowo we współpracy z Urzędem Miasta. W niniejszej pracy zaprezentowany materiał dotyczy 46 spośród 50 budynków edukacyjnych (dane dla 4 obiektów budziły wątpliwości autorów w odniesieniu do wykorzystywanych akurat w tym przypadku danych wyjściowych). Ich podstawową charakterystykę przedstawiono w tabeli 1. Opis statystyczny tej grupy nie odbiega istotnie od opisu pełnej zbiorowości 50 budynków.

Tabela 1. Wybrane miary opisu statystycznego dla wielkości charakteryzujących 46 z 50 budynków edukacyjnych tworzących miejską zbiorowość tego typu obiektów

Wielkość	Wybrane miary opisu statystycznego			
	Wartość średnia x_{sr}	Odchylenie standard. $s(x)$	Granice typowości x_{typ}	Współczynnik zmienności $V_k(x)$, %
Kubatura V , m ³	14682	9675	5008-24357	65,9
Pow. użytkowa A_u , m ²	3194	2161	1033-5356	67,7
Roczne zużycie ciepła do ogrzewania w standardowym sezonie grzewczym C_H , GJ/rok	1996,5	1266,1	730,4-3262,7	63,4
Wskaźnik rocznego zużycia ciepła do ogrzewania 1 m ³ kubatury w standard. sezonie C_H/V , GJ/(m ³ rok)	138,4	39,3	99,1-177,6	28,4

Wartości $Q_{k,H}$ obliczono z wykorzystaniem metodologii stosowanej do wyznaczania charakterystyki energetycznej budynków (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju, 2015). Przed obliczeniami badane budynki były sortowane od najmniejszego do największego rocznego zużycia energii na ogrzewanie z uwagi

na fakt, że zużycie energii do ogrzewania budynku jest silnie związane z jego wielkością. Badane budynki posiadały systemy wentylacji grawitacyjnej. Obliczenia, specjalnie dla potrzeb analizy, wykonano w programie komputerowym Arkadia, gdzie wentylacja budynku jest opisana liczbą wymian powietrza n . Wartość n może wynosić: 1, 2 lub 3. Obliczenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania $Q_{k,H}$ przeprowadzono przy założeniu wartości ekstremalnych. Roczne końcowe zapotrzebowanie na energię $Q_{k,H}$ dla ogrzewania obliczono dla $n = 1 \text{ h}^{-1}$ i $n = 3 \text{ h}^{-1}$.

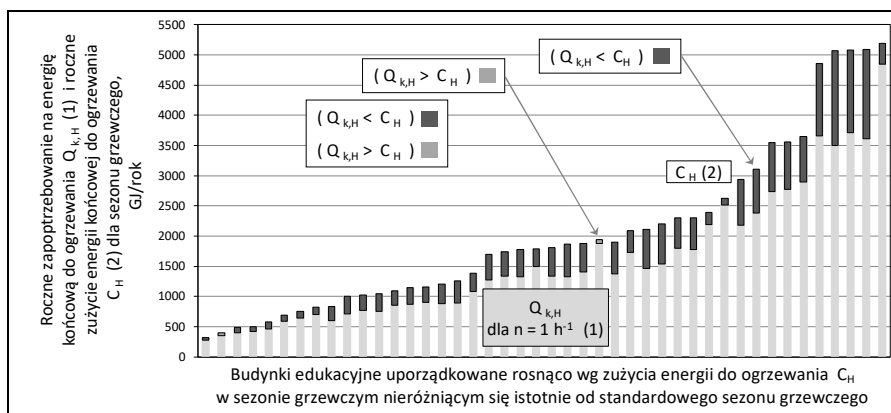
Wartości C_H pochodzą z pomiarów bezpośrednich lub pośrednio na podstawie ilości zużytego paliwa. Wykonano je w dwojaki sposób w zależności od źródła zasilania w ciepło instalacji centralnego ogrzewania. W budynkach ze zdalczynnymi systemami centralnego ogrzewania rzeczywiste zużycie ciepła C_H określono na podstawie odczytów z zainstalowanych liczników ciepła o dokładności pomiaru nie mniejszej od 2%. W przypadku własnych kotłowni gazowych lub węglowo-koksowych wartość C_H obliczono na podstawie informacji o zużyciu opału w bazowym sezonie grzewczym, rodzaju stosowanego paliwa i jego wartości opałowej, średniej sprawności nominalnej i oszacowanej średniej sprawności użytkowej kotłów centralnego ogrzewania oraz rodzaju strat w procesie wytwarzania ciepła i ich przeciętnego poziomu dla różnych rodzajów kotłów. Analiza zależności zmierzonych i pośrednio obliczonych wartości C_H od mocy szczytowej q do ogrzewania dla badanych budynków charakteryzuje się współczynnikiem korelacji na poziomie 0,9, co pośrednio wskazuje na prawidłowość pomiarów i obliczeń. Uwzględniony w tym przypadku sezon grzewczy charakteryzował się średnią temperaturą powietrza na zewnątrz dla rozpatrywanego okresu i dla określonego obszaru (miasta) $T_{e,av} = +2,9^\circ\text{C}$ i czasem trwania $L_d = 230$ dni. Sezon ten można uznać za typowy pod względem statystycznym dla okresu wieloletniego (min. 30 lat), co potwierdzono pozytywnym wynikiem testowania hipotezy o jego statystycznej typowości (Lis, 2013). Pomiędzy badanymi budynkami szkół nie występowały istotne różnice temperatur w ogrzewanych pomieszczeniach i warunki komfortu cieplnego, co mogłoby znacząco wpłynąć na analizowane wartości C_H (Lis, 2013).

2. Wyniki badań i analiz

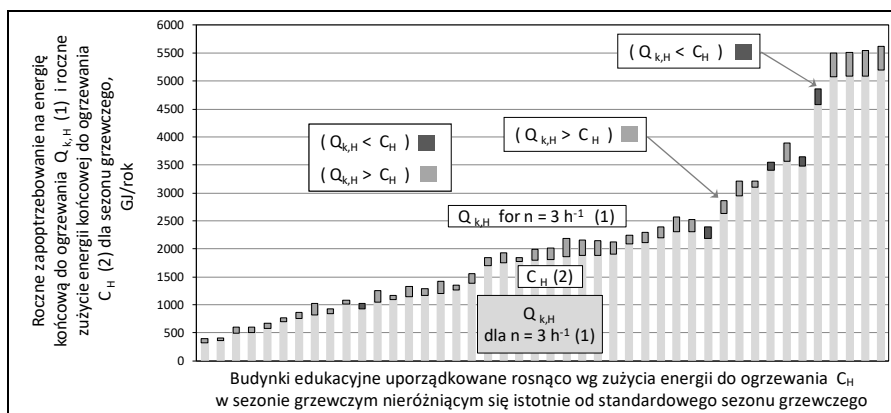
Podczas realizacji celu artykułu pojawiły się następujące ważne pytania:

- 1) Czy występują rozbieżności między rzeczywistymi i teoretycznymi warunkami ogrzewania analizowanych budynków, które są ilościowo charakteryzowane przez odpowiednie wartości?
- 2) Jaki jest ilościowy zakres możliwych rozbieżności?
- 3) Jakie mogą być przyczyny takiej sytuacji?

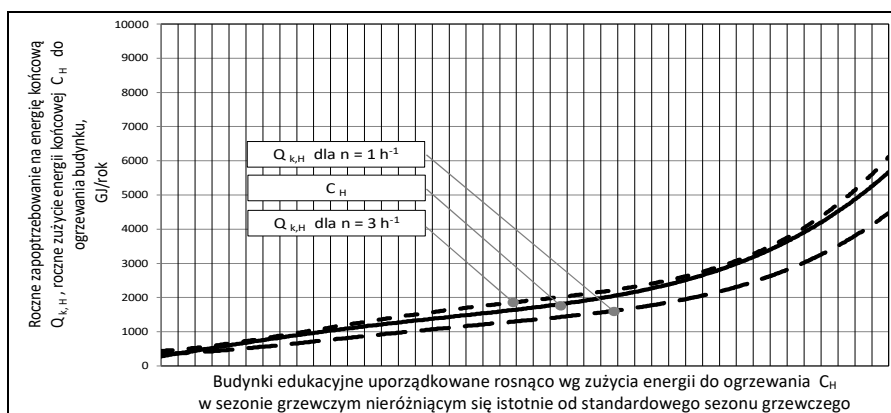
Aby udzielić odpowiedzi na pierwsze pytanie, roczne zapotrzebowanie na energię końcową $Q_{k,H}$ dla ogrzewania porównano graficznie z rocznym zużyciem energii C_H na ogrzewanie (rys. 1 i 2). Porównano również tendencje zmian tych wartości (linie trendu) (rys. 3).



Rys. 1. Wartości $Q_{k,H}$ dla $n = 1$ (1) i C_H (2) w sezonie grzewczym nieodbiegającym istotnie od standardowego sezonu grzewczego, GJ/rok (opracowanie własne)



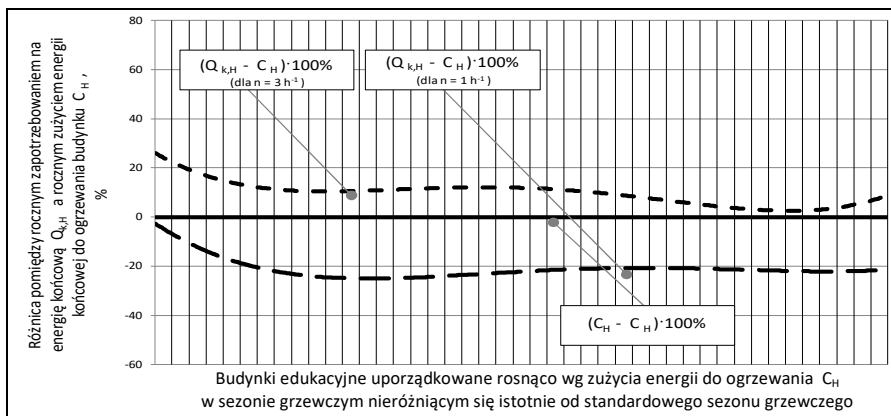
Rys. 2. Wartości $Q_{k,H}$ dla $n = 3$ (1) i C_H (2) w sezonie grzewczym nieodbiegającym istotnie od standardowego sezonu grzewczego, GJ/rok (opracowanie własne)



Rys. 3. Tendencja zmian wartości $Q_{k,H}$ dla $n = 1$, $Q_{k,H}$ dla $n = 3$ i C_H w sezonie grzewczym nieodbiegające od standardowego sezonu grzewczego, GJ/rok (opracowanie własne)

Aby odpowiedzieć na drugie pytanie, obliczono różnicę między wartościami teoretycznymi - rocznym zapotrzebowaniem na energię końcową $Q_{k,H}$ dla ogrzewania - i wartościami rzeczywistymi - rocznym zużyciem energii C_H dla ogrzewania i przedstawiono w postaci tendencji (linie trendu) zmian różnic między rocznym końcowym zapotrzebowaniem na energię a rocznym zużyciem energii na ogrzewanie $(Q_{k,H} - C_H) \cdot 100\%$. Należy jednak pamiętać, że wykresy zostały sporządzone dla grupy budynków zróżnicowanych pod względem właściwości, które znacząco wpływają na ilość ciepła zużywanego do ogrzewania.

Analiza obliczonych wartości i wykresów (rys. 1-4) ujawnia różnice między rocznym zużyciem energii (C_H) dla ogrzewania a obliczonym rocznym końcowym zapotrzebowaniem na energię ($Q_{k,H}$).



Rys. 4. Różnice - linie trendu - między $Q_{k,H}$ dla $n = 3$ i C_H w sezonie grzewczym nieodbiegające od standardowego sezonu grzewczego, % (opracowanie własne)

Obliczone roczne zapotrzebowanie na energię końcową $Q_{k,H}$ dla $n = 3 \text{ h}^{-1}$ jest większe średnio o 11,4% i 192,2 GJ od rzeczywistego zużycia energii do ogrzewania C_H . Natomiast końcowe zapotrzebowanie energii $Q_{k,H}$ dla $n = 1 \text{ h}^{-1}$ jest mniejsze średnio o 20,9% i 450,0 GJ od rzeczywistego zużycia energii do ogrzewania C_H . W niewielu budynkach sytuacja jest odwrotna.

Jak wynika z analizy rysunków 1-3, przebieg wartości i tendencji ich zmian dla wielkości teoretycznej - projektowej $Q_{k,H}$ oraz rzeczywistego zużycia energii do ogrzewania C_H jest podobny. W każdym z przypadków kierunki wspomnianych tendencji zmian dla analizowanych wartości są mniej lub bardziej rozbieżne (rys. 3). Oznacza to, że wzrost obliczonej wartości $Q_{k,H}$ jest szybszy niż wzrost rzeczywistego zużycia energii do ogrzewania C_H . Jednocześnie powoduje to wzrost wartości różnic $(Q_{k,H} - C_H)$ dla tych obiektów (rys. 3 i 4).

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań zidentyfikowano występowanie różnic między rocznym zużyciem energii (C_H) i rocznym zapotrzebowaniem na energię

końcową ($Q_{k,H}$) do ogrzewania budynków, obliczonym zgodnie z metodyką wykonywania charakterystyki energetycznej budynków, która obowiązuje w Polsce. Poziom ilościowy ($Q_{k,H} - C_H$) jest różny w analizowanych budynkach edukacyjnych. Nie wynika to jedynie z różnic między metodyką obliczeń $Q_{k,H}$ a rzeczywistym procesem ogrzewania, generującym roczne zużycie energii C_H do ogrzewania badanych obiektów oświatowych. Jeśli tak, to wydaje się, że punkty danych dla poszczególnych budynków powinny pokrywać się z trendem zmian wartości $Q_{k,H}$ i C_H (rys. 1-3).

Dla kilku budynków zaobserwowano zjawisko znacznego zróżnicowania wartości rocznego końcowego zapotrzebowania na energię ($Q_{k,H}$) i rocznego zużycia energii (C_H) do ogrzewania w stosunku do jego średniego poziomu. Uzyskane wyniki mogą świadczyć o:

- niepoprawnym sporządzeniu świadectwa charakterystyki energetycznej i błędnych założeniach przy obliczaniu wartości rocznego zapotrzebowania na energię końcową $Q_{k,H}$ dla części obiektów. Takie błędy mogą być przyczyną niewystarczającego ogrzewania budynków edukacyjnych i nieodpowiednich warunków komfortu cieplnego;
- niewłaściwym funkcjonowaniu systemu wentylacji grawitacyjnej i nieodpowiedniej wentylacji pomieszczeń, co zawsze wiąże się z kubaturą badanych budynków.

Proponowane porównanie wartości teoretycznych ($Q_{k,H}$) i rzeczywistych (C_H) oraz zastosowanie metod graficznych w prezentowanej analizie można skutecznie wykorzystać w celu określenia zakresu takich rozbieżności w analizie ogrzewania podobnych grup budynków edukacyjnych, a również jako narzędzie pomocnicze w dostarczaniu innych informacji związanych ze specyfiką ogrzewania takich obiektów. Relacja wartości różnicy ($Q_{k,H} - C_H$) do wartości C_H wyrażona w procentach jest również zróżnicowana w poszczególnych obiektach.

Podane powyżej wartości mają pewną wspólną właściwość, która pozostaje w bezpośrednim lub pośrednim związku z wielkością badanych budynków. W latach 1913-1992, kiedy projektowano i wznoszono analizowane obiekty, obserwuje się tendencję do budowy coraz większych obiektów edukacyjnych. Skłania to do stwierdzenia, że przedstawione relacje są w większym lub mniejszym stopniu zdeterminowane wielkością badanych obiektów, która jest opisana ilościowo przez ich kubaturę V i wielkości z nią związane. Tak więc kubatura badanych obiektów ma znaczący i często dominujący wpływ na analizowane zależności. Z pewnością dokładne określenie działania systemu wentylacyjnego budynku jest bardzo ważne dla poprawności jego charakterystyki energetycznej. Przyjęcie w obliczeniach niewłaściwej ilości powietrza wentylacyjnego spowoduje otrzymanie wyniku w postaci zbyt niekorzystnej lub zbyt korzystnej w stosunku do rzeczywistej charakterystyki energetycznej analizowanego budynku. Takie przypadki często pojawiają się przy wykonywaniu świadectw charakterystyki energetycznej przez osoby z niewielkim doświadczeniem zawodowym. W tym kontekście najlepiej byłoby dokonać pomiarów umożliwiających pośrednie lub bezpośrednie określenie

rzeczywistego działania systemu wentylacji. Takie pomiary należy wykonać przed obliczeniami związanymi z charakterystyką energetyczną budynku.

Czy ta różnorodność zależy od innych określonych czynników charakteryzujących wybrane obiekty, takich jak między innymi architektoniczne ukształtowanie budynku czy grubość i jakość warstw termoizolacyjnych przegród zewnętrznych budynku? Odpowiedzi na to pytanie będą przedmiotem dalszych badań i analiz mających na celu określenie kluczowych przyczyn różnic pomiędzy wartościami zużycia energii C_H charakteryzującego potrzeby ciepło-energetyczne budynków edukacyjnych i projektowego zapotrzebowania na energię końcową $Q_{k,H}$, ustalenie ich poziomu i zaproponowanie obliczeniowej metody zmniejszania tych różnic.

Podziękowania

Material został przygotowany w ramach badań statutowych Politechniki Częstochowskiej BS/PB-407-302/11, zadanie 6.

Bibliografia

- Corgnati S.P., Corrado V. & Filippi M. (2008) *A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools*. Energy and Buildings, 40, 801-809.
- Karperkiewicz K. (2006) *Ocena potrzeb ciepłych budynku na podstawie monitoringu dostarczonej energii*. Czasopismo Techniczne - Budownictwo, 5-B. Kraków, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 251-258.
- Lis P. (2013) *Cechy budynków edukacyjnych a zużycie ciepła do ogrzewania*. Seria Monografie nr 263. Częstochowa, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 362 s.
- Lis P. & Lis A. (2014) *The seasonal heat demand for heating, calculated on the basis of peak power values in educational buildings*. Czasopismo Techniczne - Budownictwo, 3-B. Kraków, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 281-289.
- Lis P. & Lis A. (2018) *Energy characteristics of building heating - theory and reality on the example of educational buildings*. MATEC Web of Conferences 174, 01018, Opole, 3rd Scientific Conference Environmental Challenges in Civil Engineering (ECCE), eISSN: 2261-236X, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817401018>.
- Lis P. & Piesyk J. (2017) *Energy consumption and final energy demand for heating in educational buildings - identification of the problem*. Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, IX, 3, 19-26.
- Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego (2015) w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej. Dz.U. 2015, poz. 376 (z późniejszymi zmianami).
-

Design and actual energy consumption of heating educational buildings, identification of differences

Abstract: This work presents the selected results of examinations connected with an annual energy consumption C_H and annual final energy demand $Q_{k,H}$ for heating and conducted on the group of educational buildings. The presented analysis and its results regard the group

including 46 of 50 educational buildings, which form a municipal group of the buildings of this type and in which the educational institutions are located. The purpose of presented analysis was to examine the influence of possible occurrence and level of differences between the annual energy consumption C_H and annual final energy demand $Q_{k,H}$ for heating of examined buildings. The realization of this purpose is the basis for further research and analysis aimed at determining the dominant reasons of mentioned differences, establishing their level and propose a calculative method for reducing the differences between the values “picturing” the thermal needs of educational buildings in actual (energy consumption C_H) and theoretical (final energy demand $Q_{k,H}$) conditions.

Keywords: educational buildings, heating, annual energy consumption for heating, annual final energy demand for heating