

dr inż. Jerzy Kwiatkowski¹⁾*)
mgr inż. Olaf Dybiński²⁾
mgr inż. Łukasz Hada³⁾

Weryfikacja zamówionej mocy cieplnej za pomocą symulacji dynamicznych

Verification of the designed heat load using dynamic energy modelling

DOI: 10.15199/33.2019.01.04

Streszczenie. Moc cieplna zamówiona wyznaczona zgodnie z normą PN-EN 12831 okazuje się zbyt duża w późniejszej eksploatacji budynku. W artykule przedstawiono analizę obliczenia mocy do ogrzewania budynku domu studenckiego trzema metodami: zgodną z normą oraz wykorzystując symulacje dynamiczne z użyciem standardowych i zmienionych danych klimatycznych. Pokazano, że w porównaniu z metodą statyczną, zapotrzebowanie na moc jest o przeszło 20% mniejsze w przypadku analizy dynamicznej, gdy przyjęto stałą temperaturę powietrza zewnętrznego -20°C , oraz prawie 40% mniejsze w przypadku wykorzystania standardowych danych meteorologicznych.

Słowa kluczowe: budynek domu studenckiego; moc cieplna; norma PN-EN 12831; symulacje dynamiczne; koszty ogrzewania.

Abstract. The designed heat load is determined in accordance with the PN-EN 12831 standard, but in later operation it turns out that the power determined in this way is too high. The article presents an analysis of the calculation of heat load for heating in a dormitory building with three methods: compliant with the standard and using dynamic simulations using standard and changed climate data. It has been shown that compared to the static method, the heat load is more than 20% lower in the case of dynamic analysis with the use of a constant outside air temperature of -20°C , and nearly 40% lower when using standard meteorological data.

Keywords: dormitory building; heat load; PN-EN 12831 standard; dynamic modelling; heat cost.

Jednym z podstawowych kosztów związanych z użytkowaniem budynków jest koszt dostarczenia ciepła do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, uzależniony od zapotrzebowania na ciepło oraz jednostkowej ceny paliwa lub nośnika energii dostarczonego do źródła ciepła w budynku. W przypadku źródeł ciepła zasilanych z systemów sieciowych, takich jak sieć gazowa, elektroenergetyczna czy ciepłownicza, koszt dostarczenia ciepła zależy także od mocy zamówionej. W opłatach za ciepło sieciowe znajduje się stawka opłaty zmiennej, zależna od ilości zużytego ciepła i wyrażona w zł/GJ oraz stawka opłaty stałej, zależna od zamówionej mocy przyłączeniowej i wyrażona w zł/MW/m-c lub zł/MW/r. Zarówno w przypadku opłaty zmiennej, jak i stałej wyróżnia się stawkę za wytworzenie oraz przesył i dystrybucję ciepła. Wartości te mogą być różne w przypadku

poszczególnych przedsiębiorstw ciepłowniczych oraz zależne od klasyfikacji do grupy taryfowej.

W przypadku nowych budynków, przyłączonych do sieci ciepłowniczej już na etapie projektu budowlanego, występuje się do przedsiębiorstwa ciepłowniczego o warunki przyłączenia. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki [6], na odbiorcy spoczywa obowiązek ustalenia wielkości zamówionej mocy cieplnej. Najczęściej określana jest ona przez projektantów instalacji grzewczych i podawana w projekcie. Na tej podstawie występuje się o warunki przyłączenia i podpisuje umowę z przedsiębiorstwem ciepłowniczym.

W rzeczywistości okazuje się, że wielkość mocy zamówionej wpisana do umowy z przedsiębiorstwem ciepłowniczym praktycznie nie występuje, a szczytowe wartości zapotrzebowania na moc z pomiarów w węźle ciepłowniczym są dużo mniejsze. Wykonuje się wówczas audyt energetyczny mający na celu zweryfikowanie zamówionej mocy. W budynkach istniejących do tego celu można wykorzystać pomiary, ale w budynkach projektowanych i budowanych takiej możliwości nie ma. W artykule zaprezentowano, jak wyko-

rzystać symulacje dynamiczne do określenia mocy zamówionej na potrzeby ogrzewania budynku.

Obliczenie zapotrzebowania na moc do ogrzewania

Metoda obliczenia zapotrzebowania na moc do ogrzewania podana jest w PN-EN 12831-1:2017-08 [5]. Norma ta obejmuje metody obliczania projektowego obciążenia cieplnego pojedynczych pomieszczeń, części budynków i budynków, gdzie projektowe obciążenie cieplne definiowane jest jako ciepło dostarczane (moc) potrzebne do utrzymania wymaganej projektowej temperatury w przypadku projektowych warunków zewnętrznych. Uwzględnia też pokrycie strat ciepła na przenikanie przez obudowę budynku, wentylacyjnych strat ciepła, a także nadwyżkę mocy cieplnej, jeżeli w budynku będzie system grzewczy działający z osłabieniem np. nocnym lub weekendowym.

Obliczając zapotrzebowanie na moc cieplną do ogrzewania zgodnie z normą PN-EN 12831-1:2017-08, przyjmuje się następujące założenia, które później wpływają na różnicę między wartością obliczoną a rzeczywistą rejestrowaną w źródle ciepła:

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska

²⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

³⁾ Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A.

*) Adres do korespondencji: jerzy.kwiatkowski@pw.edu.pl

- równomierny rozkład temperatury wewnętrznej;
- przyjęcie takiej samej temperatury powietrza i temperatury operacyjnej;
- brak uwzględniania wewnętrznych zysków ciepła;
- brak uwzględniania słonecznych zysków ciepła;
- założenie stałej i niezmiennej temperatury powietrza zewnętrznego.

Szczególnie istotny jest brak uwzględniania jakichkolwiek zysków ciepła oraz przyjęcie stałej obliczeniowej temperatury powietrza zewnętrznego. W Polsce obliczeniowa temperatura powietrza zewnętrznego do wyznaczania mocy cieplnej do ogrzewania przyjmowana jest zgodnie z PN-B-03420 [4]. Formalnie norma ta została wycofana, jednak nie pojawiła się inna, która miałaby ją zastąpić. Zgodnie z wymienioną normą, obszar Polski podzielono na pięć stref klimatycznych z przyporządkowaną obliczeniową temperaturą powietrza zewnętrznego (rysunek 1).



Rys. 1. Podział obszaru Polski na strefy klimatyczne [8]
Fig. 1. The division of Poland on climatic zones [8]

Temperatura obliczeniowa w I strefie wynosi -16°C , w II -18°C , w III -20°C , w IV -22°C , a w V -24°C . W porównaniu z godzinowymi danymi klimatycznymi standardowego roku wartości te są bardzo niskie, np. najniższa temperatura w przypadku lokalizacji Warszawy (III strefa) zgodnie z danymi godzinowymi to $-12,3^{\circ}\text{C}$, ale w Suwałkach (V strefa) $-26,2^{\circ}\text{C}$, choć w całym roku kiedy temperatura jest niższa niż -20°C , to tylko 22 godziny.

Projektowana temperatura powietrza wewnętrznego przyjmowana jest zgod-

nie z dokumentacją projektową budynku, jednak wartości temperatury w poszczególnych pomieszczeniach nie mogą być niższe niż określone w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [7]. Jeśli chodzi o zyski ciepła, wewnętrzne i zewnętrzne, to w zależności od typu budynku są one w stanie pokryć od kilku do kilkudziesięciu procent całkowitego zapotrzebowania na ciepło [1].

Udział kosztów stałych w całkowitych kosztach zaopatrzenia budynku w ciepło

Całkowity koszt zaopatrzenia w ciepło budynku podłączonego do sieci ciepłowniczej można podzielić na **koszty zmienne** – zależne do ilości dostarczonego ciepła w ciągu roku oraz **stałe** – zależne od wielkości zamówionej mocy. Zapotrzebowanie na moc i energię do ogrzewania może być bardzo różne w różnych typach budynków [2, 3]. W tabeli 1 zestawiono dane trzech budynków biurowo-usługowych (B), jednego budynku handlowego (H) oraz trzech budynków mieszkalnych (M). W przypadku każdego obiektu podano powierzchnię użytkową, zmierzone roczne zapotrzebowanie na ciepło oraz wielkość mocy cieplnej zamówionej w przedsiębiorstwie ciepłowniczym.

W celu określenia udziału opłaty stałej w całkowitych kosztach dostarczania ciepła przyjęto taryfę ciepła sieciowego trzech przedsiębiorstw ciepłowniczych: Veolia Energia Warszawa S.A., Veolia Energia Łódź S.A., Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej S.A. w Krakowie. Grupy taryfowe każdego z przedsiębiorstw wybrano przy założeniu, że węzły ciepłownicze są własno-

Tabela 1. Rzeczywiste dane przykładowych budynków

Table 1. The real data of example buildings

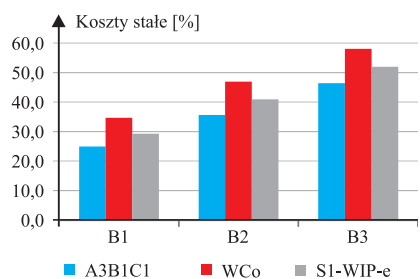
Budynek	Powierzchnia [m ²]	Moc [kW]	Ciepło [GJ/r]
B1	41 606	3 885	23 547
B2	21 102	1 130	4 111
B3	19 475	5 110	11 883
H1	63 363	6 500	9 365
M1	6 564	650	4 763
M2	3 056	383	2 189
M3	1 270	92	659

ścią przedsiębiorstwa ciepłowniczego. W tabeli 2 zestawiono wybrane grupy taryfowe oraz stawki opłat w każdej z taryf (wartości podane są w cenach netto, a stawki opłaty stałej i zmiennej są sumą wartości za wytworzenie oraz za przesył i dystrybucję ciepła). Korzystając z danych zawartych w tabeli 1 oraz 2, obliczono koszty zaopatrzenia w ciepło oraz określono udział procentowy kosztów stałych i zmiennych, a wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach 2 – 4.

Udział kosztów stałych zależy od zastosowanej taryfy oraz zmienia się w zależności od typu budynku. W budynkach biurowych udział ten wynosi

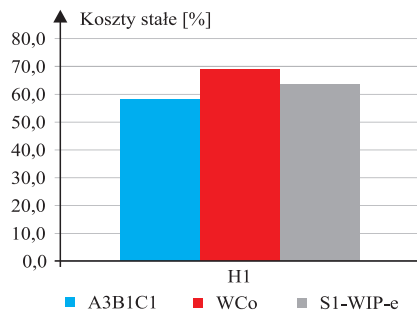
Tabela 2. Grupy taryfowe oraz stawki opłat
Table 2. Tariff groups and rates

Przedsiębiorstwo ciepłownicze	Taryfa	Stawka opłaty stałej [zł/MW/m-c]	Stawka opłaty zmiennej [zł/GJ]
Veolia Energia Warszawa S.A.	A3B1C1	6 436,41	38,3
Veolia Energia Łódź S.A.	WCo	9 902,86	36,9
MPEC S.A. Kraków	S1-WIP-e	8 727,01	41,64



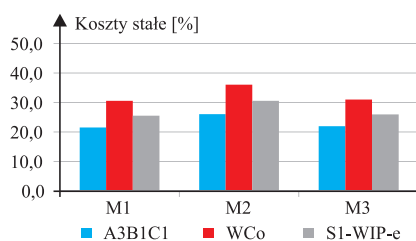
Rys. 2. Udział procentowy kosztów stałych przy różnych taryfach w przypadku budynków biurowych

Fig. 2. The percentage ratio of fixed cost of office buildings using different heat tariff



Rys. 3. Udział procentowy kosztów stałych przy różnych taryfach w przypadku budynku handlowego

Fig. 3. The percentage ratio of fixed cost of retail building using different heat tariff



Rys. 4. Udział procentowy kosztów stałych przy różnych taryfach w przypadku budynków mieszkalnych

Fig. 4. The percentage ratio of fixed cost of residential buildings using different heat tariff

25 ÷ 58%, w budynku handlowym 58 ÷ 69%, a w budynkach mieszkalnych 22 ÷ 36%. **Przewymiarowanie obliczeniowej mocy zamówionej może nieść za sobą dużo** większe koszty zaopatrzenia budynku w ciepło niż wynikające z rzeczywistego zużycia. Należy zatem zastanowić się, czy stosowanie metody zawartej w PN-EN 12831 nie powoduje zawyżania wartości mocy zamówionej i jak ten parametr można określić w inny sposób.

Charakterystyka analizowanego budynku

Obliczeniową moc cieplną na ogrzewanie określono na przykładzie budynku domu studenckiego, który ma mieć 7 kondygnacji naziemnych podzielonych na dwa skrzydła. Kondygnacja 0 przeznaczona będzie na lokale usługowe i dwie duże hale garażowe. Na kondygnacjach od +1 do +6 znajdować się będą pokoje mieszkalne oraz pomieszczenia pomocnicze, takie jak wspólne kuchnie, pomieszczenia do nauki, pralnie itp. Na poziomie +1 przewidziana jest duża powierzchnia wspólna. Budynek zlokalizowany ma być w III strefie klimatycznej, a temperaturę wewnętrzną przyjęto zgodnie z [7].

Współczynnik przenikania ciepła U przegród zewnętrznych wynosi w przypadku:

- fasady szklanej i okna (elementy przeziernie) $U = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- świetlików dachowych $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- ścian zewnętrznych $U = 0,208 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- dachu $U = 0,094 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- stropu nad nieogrzewanym garażem $U = 0,208 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Pokoje mieszkalne wyposażone są w instalację wentylacji wywiewnej.

Wywiew o wydatku $60 \text{ m}^3/\text{h}$ realizowany jest przez łązienki, a nawiew do każdego pokoju – przez dwa nawietrzaki podokienne, każdy o wydajności $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Pomieszczenia wspólne obsługiwane są przez centrale wentylacyjne nawiewno-wywiewne zlokalizowane na dachu. Centrale wyposażone są w odzysk ciepła z wymiennikiem krzyżowym lub obrotowym.

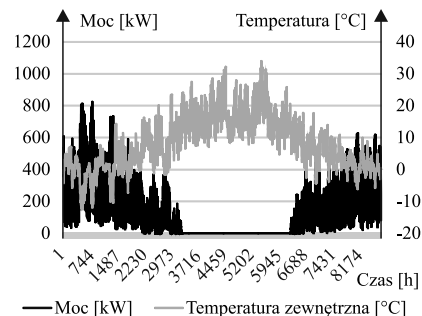
Wyznaczenie mocy cieplnej

Podstawą weryfikacji jest obliczenie, za pomocą symulacji dynamicznych, maksymalnej mocy grzewczej, jaka może wystąpić w rzeczywistym budynku (budynku zrealizowanym zgodnie z projektem) oraz zapotrzebowania na moc zgodnie z normą PN-EN 12831. [5] Porównanie uzyskanych wyników z wartościami projektowanymi pozwoli na ocenę możliwości zmniejszenia zamówionej mocy w budynku.

Symulacje energetyczne wykonane zostały w programie DesignBuilder wersja 4.7.0.027. Oprogramowanie to jest zgodne z wytycznymi CIBSE AM11 „Building energy and environmental modelling”. Obliczenie obciążenia cieplnego zgodnie z normą [5] przeprowadzono w programie Audytor OZC 6.9 Pro na podstawie stworzonego modelu budynku.

Analiza dynamiczna – standardowe dane meteorologiczne

Pierwsza analiza przeprowadzona została na przygotowanym modelu projektowanego budynku z wykorzystaniem standardowych danych meteorologicznych najbliższej stacji klimatycznej. Na podstawie symulacji energetycznych i uzyskanych danych godzinowych wyznaczono największe występujące zapotrzebowanie na moc cieplną budynku w przypadku minimalnej projektowej temperatury wewnętrznej. W analizowanym przypadku, maksymalne zapotrzebowanie na moc grzewczą wypada 3 lutego o godzinie 7:00, przy temperaturze powietrza zewnętrznego $-11,85^\circ\text{C}$ (rysunek 5). Maksymalne zapotrzebowanie na moc grzewczą w tym wariantcie wynosi $825,1 \text{ kW}$.



Rys. 5. Zapotrzebowanie na moc grzewczą oraz temperatura zewnętrzna w analizie dynamicznej z wykorzystaniem standardowych danych meteorologicznych

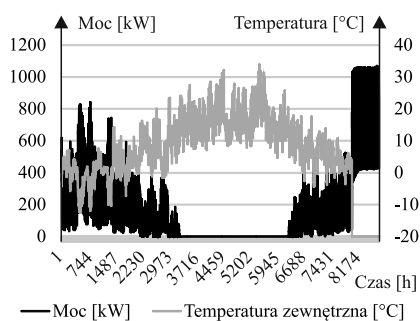
Fig. 5. Heat load and external temperature in dynamic analysis with the use of standard climatic data

Analiza dynamiczna – zmienione dane meteorologiczne

Druga analiza przeprowadzona została na modelu projektowanego budynku, przy zmienionych danych meteorologicznych. Zmiana polegała na wprowadzeniu stałej temperatury powietrza zewnętrznego -20°C dla okresu jednego miesiąca (31 dni). Łączny czas utrzymującej się w symulacjach temperatury zewnętrznej na poziomie -20°C wynosi zatem 744 godziny (bez przerwy). Zmieniona temperatura zewnętrzna wprowadzona została w ostatnim miesiącu roku, co gwarantuje stabilność funkcjonowania modelu w analizie dynamicznej.

Na podstawie symulacji energetycznych i uzyskanych danych godzinowych wyznaczono największe występujące zapotrzebowanie na moc cieplną budynku przy stałej temperaturze zewnętrznej wynoszącej -20°C w przypadku warunków, w których utrzymywane są wymagane parametry wewnętrzne w budynku, tzn. projektowa minimalna temperatura wewnętrzna. Na rysunku 6 przedstawiono wyniki w postaci godzinowego zapotrzebowania na moc grzewczą w zestawieniu z temperaturą zewnętrzną (temperatura -20°C utrzymuje się przez 31 dni w ostatnim miesiącu roku meteorologicznego).

W przypadku zmienionych danych pogodowych, czyli założonej stałej temperaturze powietrza zewnętrznego wynoszącej -20°C przez miesiąc (31 dni), maksymalne zapotrzebowanie na moc



Rys. 6. Zapotrzebowanie na moc grzewczą oraz temperatura zewnętrzna w analizie dynamicznej przy zmienionych danych meteorologicznych

Fig. 6. Heat load and external temperature in dynamic analysis with the use of changed climatic data

grzewczą wypada o godzinie 16:00 29 grudnia. Zbliżone zapotrzebowanie na moc maksymalną występuje w całej drugiej połowie grudnia w godzinach 15:00 – 16:00. Maksymalne zapotrzebowanie na moc grzewczą w tym wariancie wynosi 1 069,9 kW.

Analiza statyczna – obciążenie cieplne zgodne z PN-EN 12831

Trzecia analiza przeprowadzona została zgodnie z normą PN-EN 12831 [5]. Obliczono całkowite obciążenie cieplne budynku wynikające ze strat ciepła przez przegrody pomieszczeń ogrzewanych oraz spowodowane stratą wentylacyjną i infiltracją przez obudowę budynku. W celu obliczenia projektowanego obciążenia cieplnego stworzono model budynku w programie Audytor OZC 6.9 Pro. Zamodelowano wszystkie pomieszczenia w budynku, określono status każdej z tych przestrzeni (ogrzewana lub nieogrzewana) oraz wartości projektowej temperatury wewnętrznej. Do każdego pomieszczenia przyporządkowano odpowiedni system wentylacyjny oraz wprowadzono projektowe strumienie powietrza. W przypadku projektowej wentylacyjnej straty ciepła w przeprowadzonych obliczeniach uwzględniono również odzysk ciepła w instalacji nawiewno-wywiewnej. Wyniki poszczególnych obliczeń projektowego obciążenia cieplnego są następujące: strata ciepła przez przenikanie – 443,5 kW; wentylacyjna strata ciepła: wentylacja wywiewna w pokojach – 514,9 kW; wentylacja nawiewno-wy-

wiewna – 374,7 kW, infiltracja – 20,7 kW. Całkowite projektowe obciążenie cieplne budynku wynosi 1 353,8 kW.

Podsumowanie i wnioski

W tabeli 3 zestawiono uzyskane wyniki symulacji energetycznych oraz obliczeń zgodnych z normą PN-EN 12831 [5]. Największe obliczone zapotrzebowanie na moc do ogrzewania i wentylacji występuje w przypadku wykorzystania metody statycznej, czyli normy [5]. W przypadku **analizy dynamicznej** z przyjęciem stałej temperatury powietrza zewnętrznego -20°C jest ono o ok. 20% mniejsze, a w przypadku wykorzystania standardowych danych meteorologicznych o ok. 40% mniejsze.

Tabela 3. Wyniki obliczeń zapotrzebowania na moc ciepłą do ogrzewania analizowanego budynku domu studenckiego

Table 3. The results of heat load calculation of the analyzed dormitory building

Charakterystyka	Zapotrzebowanie na moc [kW]
Analiza dynamiczna – standardowe dane meteorologiczne	825,1
Analiza dynamiczna – zmienione dane meteorologiczne	1 069,9
Analiza statyczna – obciążenie cieplne zgodnie z PN-EN 12831	1 353,8

W ramach weryfikacji mocy grzewczej wykonano symulacje energetyczne modelu domu studenckiego, określając maksymalne zapotrzebowanie na moc grzewczą, jakie może wystąpić w rzeczywistym budynku (budyńku zrealizowanym zgodnie z projektem). Analiza obejmowała przeprowadzenie dwóch wariantów symulacji z wykorzystaniem metody dynamicznej i jednego z wykorzystaniem metody statycznej – zgodnie z normą PN-EN 12831 [5]. Całkowite obliczone zapotrzebowanie na moc wynosiło od 825,1 kW w metodzie dynamicznej z wykorzystaniem typowych danych meteorologicznych do 1 353,8 kW w metodzie statycznej. Metoda dynamiczna, przy zmienionych danych pogodowych zakładających stałą temperaturę powietrza zewnętrznego -20°C, wykazała zapotrzebowanie na moc grzewczą ok. 1 069,9 kW. Należy zwrócić uwagę, że w czasie użytkowania budynku mało prawdopodobne jest wystąpienie sytuacji, przy której wyznaczane jest normowe zapotrzebo-

wanie na ciepło do ogrzewania (brak zysków wewnętrznych i słonecznych oraz minimalna obliczeniowa temperatura powietrza zewnętrznego). A jeśli nawet taka sytuacja miałaby miejsce, to czas występowania tak niskiej temperatury powietrza zewnętrznego będzie wynosił do kilku godzin i nie powinno nastąpić wychłodzenie budynku. Z drugiej strony stosowanie standardowych danych klimatycznych do wyznaczania mocy zamówionej także wiąże się z błędem, gdyż najniższa temperatura tam zawarta jest dużo wyższa od rzeczywistej. Można zatem uznać, że połączenie obu metod, czyli analiza godzinowa z danymi klimatycznymi, ale przy założeniu obliczeniowej temperatury powietrza przez cały miesiąc będzie odpowiednim rozwiązaniem. Obliczenia te należy zweryfikować pomiarami w budynku. Taka analiza może być podstawą do ubiegania się o wpisanie mniejszej mocy zamówionej do ogrzewania przy podpisywaniu umowy z przedsiębiorstwem ciepłowniczym.

Literatura

[1] Jadwiszczak Piotr. 2013. „Ciepłota budynku energooszczędnego”. *Rynek Instalacyjny* (4): 29 – 32.

[2] Krajewska Magdalena, Natalia Kwiecińska, Jerzy Kwiatkowski. 2018. „Analiza zużycia energii w budynku biurowym na podstawie rzeczywistych pomiarów”. *Materiały Budowlane* 546 (2): 41 – 45. DOI 10.15199/33.2018.02.12.

[3] Kwiatkowski Jerzy, Joanna Rucińska. 2012. „Zużycie energii w centrach handlowych i możliwości jego ograniczenia”. *Materiały Budowlane* 473 (1): 63 – 65.

[4] PN-B-03420:1976 Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.

[5] PN-EN 12831-1:2017-08 Charakterystyka energetyczna budynków – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego – Część 1: Obciążenie cieplne, Moduł M3-3.

[6] Rozporządzenia Ministra Gospodarki z 15 stycznia 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemów ciepłowniczych (Dz.U. z 2007 r. nr 18, poz. 92).

[7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 02.75.690, z późniejszymi zmianami).

[8] Strzeszewski Michał, Piotr Wereszczyński. 2009. „Norma PN-EN 12831. Nowa metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego – Poradnik”. Retting Heating Sp. z o.o.

Przyjęto do druku: 18.12.2018 r.