

Charakterystyka energetyczna budynków użyteczności publicznej w perspektywie wymagań 2017–2021

Energy performance of public buildings with respect to the requirements in years 2017–2021

Niniejsze opracowanie stanowi trzecią część serii artykułów poświęconych analizie charakterystyki energetycznej budynków w perspektywie wymagań lat 2017–2021. Poprzednie dotyczyły budynków mieszkalnych wielorodzinnych [15] oraz budynków zamieszkania zbiorowego [16]. W artykule skupiono się na budynkach użyteczności publicznej o funkcji biurowej. Każdy z rozważanych obiektów charakteryzuje się jednakową tradycyjną konstrukcją, lecz innym profilem użytkowania i odrębnymi wymaganiami przepisów prawnych. Podstawowe założenia i rozwiązania techniczne są analogiczne, a różnice wynikają ze specyfiki funkcjonalno-użytkowej budynku.

Od czasu wcześniejszej analizy charakterystyki energetycznej budynku biurowego wykonanej przez autorkę w początkach certyfikacji energetycznej w Polsce [14] nastąpiło wiele istotnych zmian, w tym w zakresie metodologii obliczeń [11] oraz standardów ochrony cieplnej [4]. Sformułowane w poprzedniej pracy wnioski ogólne pozostają słuszne, jednak aktualne wymagania w zakresie maksymalnego oczekiwanego zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej są bardziej rygorystyczne. Wprowadzone od początku 2017 r. wymagania są przejściowym etapem na drodze do osiągnięcia charakterystyki „budynek o niskim zużyciu energii” [13], zdefiniowanego standardem obowiązującym od 2021.

Założenia i metodyka obliczeń

W budynkach użyteczności publicznej wartość wskaźnika EP [kWh/(m² rok)] określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną stanowi sumę cząstkowych wartości maksymalnych na potrzeby ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej (EP_{H+W}), chłodzenia (ΔEP_C) oraz oświetlenia wbudowanego (ΔEP_L). W tabeli 1 podano maksymalne wartości składowych wskaźnika EP wymagane przepisami techniczno-budowlanymi [4] dla budynków użyteczności publicznej innych niż budynki opieki zdrowotnej. W dyskusji wyników oznaczono je odpowiednio: EP_{H+W,max}, EP_{C,max}, EP_{L,max}. Wśród wartości wymienionych w tabeli 1 zwraca uwagę istotne zaostrzenie wymagań obowiązujących w 2021 r. względem wymagań dla roku 2017: o 25% dla

wskaźnika EP_{H+W} oraz o 50% dla wskaźnika ΔEP_L. Wymagania w zakresie instalacji chłodzenia pozostają na niezmiennym poziomie od 2014 r. Standardom ochrony cieplnej wprowadzonym w kolejnych latach i oznaczonym odpowiednio WT2014, WT2017, WT2021 odpowiadają przyjęte do obliczeń maksymalne wartości współczynników przenikania ciepła przezroczystych i nieprzezroczystych przegród budowlanych określone w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [4].

Podstawowe założenia metodyki obliczeń zgodne z rozporządzeniem w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku omówiono w pierwszej części cyklu artykułów [15]. Przedmiotem

obecnych rozważań jest budynek biurowy o architekturze i charakterystyce budowlanej analogicznej do analizowanego uprzednio budynku mieszkalnego wielorodzinnego [15] oraz hotelowego [16]. Ogólną charakterystykę budynku podano w tabeli 2. Przyjęta do obliczeń w wariancie podstawowym temperatura 24°C mieści się w zakresie optymalnych wartości temperatury obliczeniowej w strefie chłodzonej, wynoszącym latem 23–26°C przy małej aktywności fizycznej według PN-B-03421 [6]. Maksymalna wartość z podanego przedziału jest również rekomendowana normą PN-EN 15251 w budynkach o wymaganiach standardowych [9].

Liczba użytkowników budynku biurowego wynosi 85, co odpowiada jednostkowej powierzchni użytkowej ok. 15 m² na osobę.

Streszczenie

Artykuł zawiera analizę charakterystyki energetycznej przykładowego budynku użyteczności publicznej o funkcji biurowej przeprowadzoną w perspektywie wymagań 2017–2021. Rozważono w nim wybrane elementy mające wpływ na zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej i chłodzenia budynku. Wskazano rozwiązania przyczyniające się do poprawy charakterystyki energetycznej i warunkujące osiągnięcie maksymalnych wartości referencyjnych.

Abstract

The aim of the paper is an analysis of the energy performance of a sample office building from a perspective of the national regulatory requirements in years 2017–2021. There were considered the selected items that influence non-renewable primary energy demand for heating, ventilation, tap hot water and cooling of the building. The paper indicates the options to improve energy performance of the building and meet the maximum reference values.

► Profil użytkowania obiektu określa 10 godzin na dobę przez 250 dni roboczych w ciągu roku.

Według rozporządzenia [11] podstawowy strumień wentylacji w okresie użytkowania budynku wynosi $0,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{s m}^2)$. Zakładając, że strumień ten odnosi się do pomieszczeń o funkcji biurowej, zapewnia on 85 użytkownikom minimalny normatywny strumień powietrza świeżego wynoszący $30 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobę w pomieszczeniach klimatyzowanych o nieotwieranych oknach i przy zakazie palenia [7]. Zalecany przez inną normę [1, 9] minimalny strumień zapewniający wysoki standard jakości powietrza w budynkach o wysokich wymaganiach wynosi $36 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobę. Wówczas przywołany wskaźnik byłby właściwy przy zatrudnieniu nie więcej niż 70 pracowników. Z uwagi na przerwy w użytkowaniu uwzględniono dodatkową pracę wentylacji w normalnym trybie przez jedną godzinę przed i po użytkowaniu [4].

W obliczeniach wyznaczono odrębnie strumienie powietrza wentylacyjnego dla pomieszczeń higieniczno-sanitarnych. Budynek został wyposażony w 10 misek ustępowych oraz 5 pisuarów, dla których minimalne wymagane strumienie powietrza wentylacyjnego określono na podstawie przepisów bhp [3]. Wynoszą one odpowiednio $50 \text{ m}^3/\text{h}$ na miskę ustępową oraz $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na pisuar. Założono ponadto, że w budynku nie przeprowadzono próby szczelności. W takim przypadku krotkość wymiany powietrza w budynku przy różnicy ciśnienia 50 Pa wynosi $n_{50} = 4 \text{ h}^{-1}$ [11]. Średnia roczna sprawność odzysku ciepła w systemie wentylacji nawiewno-wywiewnej wynosi $\eta_{oc} = 0,5$.

Zyski ciepła obejmują zyski od następczenia i zyski wewnętrzne. Dla wymagań WT2014 i WT2017 przyjęto okna podwójnie szklone o współczynniku przepuszczalności energii promieniowania słonecznego $g_n = 0,75$ wraz z białymi żaluzjami nastawnymi o współczynniku redukcji $f_c = 0,46$. W przypadku WT2021 zastosowano okna potrójnie szklone o współczynniku $g_n = 0,7$ wraz z białymi żaluzjami lub kolorowymi zasłonami o współczynniku $f_c = 0,5$ [4, 10]. Zapewnienie maksymalnego wymaganego przepisami [4] współczynnika przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego w okresie letnim (0,35) można także osiągnąć przez zastosowanie oszklęcia z powłoką selektywną w połączeniu z odpowiednio dobranymi ruchomymi zasłonami. Przyjęto, że okna w okresie zimowym są odsłonięte, a latem zasłonięte. Obciążenie cieplne pomieszczeń wewnętrznymi zyskami ciepła wynosi $5,7 \text{ W/m}^2$ [11]. Uwzględniono je

tylko w części biurowej, która stanowi 60% całkowitej powierzchni użytkowej budynku.

Zgodnie z metodologią wyznaczania charakterystyki energetycznej [11] jednostkowe dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę w budynku biurowym wynosi $0,35 \text{ dm}^3/(\text{m}^2 \text{ d})$, a współczynnik korekcyjny uwzględniający przerwy w użytkowaniu wynosi 0,7. W rozważanym budynku odpowiada to średniemu zużyciu przez każdego użytkownika $5,3 \text{ dm}^3/\text{d}$ wody o temperaturze 55°C .

Analizie poddano sześć prostych systemów technicznych oraz dwa złożone, analogiczne do rozwiązań rozważanych w pierwszej [15] i drugiej części [16] cyklu artykułów. Wyszczególnienie przyjętych wariantów źródeł ciepła podano w tabeli 3. Poszczególne źródła są zasilane nieodnawialnymi paliwami kopalnymi (węgiel, gaz ziemny), ciepłem

sieciowym z kogeneracji, paliwami odnawialnymi (biomasa, biogaz), energią słoneczną lub energią elektryczną z sieci elektroenergetycznej systemowej w przypadku sprężarkowej pompy ciepła.

Rozwiązania w zakresie wyposażenia instalacji ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej odpowiadają systemom zastosowanym w budynku mieszkalnym wielorodzinnym i opisanym w opracowaniu [15]. Sprawność przesyłu ciepła do punktów czerpalnych w systemie ciepłej wody użytkowej wynosi w rozważanym budynku biurowym 80% [11]. Sprawności całkowite podano w tabeli 4 wraz ze wskaźnikami nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_p .

Wyposażenie instalacji chłodzenia budynku jest zróżnicowane i dostosowane do rodzaju systemu wentylacji mechanicznej.

Od 1 stycznia 2014 r. (WT2014)	Od 1 stycznia 2017 r. (WT2017)	Od 1 stycznia 2021 r. ^{*)} (WT2021)
Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP_{H+W} na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej [kWh/(m² rok)]		
65	60	45
Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_C na potrzeby chłodzenia [kWh/(m² rok)]		
$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{tC}/A_T$	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{tC}/A_T$	$\Delta EP_C = 25 \cdot A_{tC}/A_T$
Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia [kWh/(m² rok)]		
dla $t_0 < 2500$: $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$: $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 < 2500$: $\Delta EP_L = 50$ dla $t_0 \geq 2500$: $\Delta EP_L = 100$	dla $t_0 < 2500$: $\Delta EP_L = 25$ dla $t_0 \geq 2500$: $\Delta EP_L = 50$
gdzie: A_T – powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku, m ² ; A_{tC} – powierzchnia użytkowa chłodzona budynku, m ² ; t_0 – czas działania oświetlenia w ciągu roku, h/rok.		
*) Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będących ich własnością.		

Tabela 1. Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP [4]

Wyszczególnienie	Jednostka	Wartość
Liczba kondygnacji nadziemnych	–	5
Powierzchnia ogrzewana/chłodzona	m ²	1280
Kubatura budynku (o regulowanej temperaturze powietrza)	m ³	3072
Temp. wewnętrzna w budynku (średnia) w sezonie ogrzewczym	°C	20
Temp. wewnętrzna w budynku (średnia) w sezonie chłodniczym	°C	24

Tabela 2. Ogólna charakterystyka budynku

Wariant	Opis wariantu
KW	kotłownia węglowa (ekogroszek)
KGK	kotłownia gazowa kondensacyjna (gaz ziemny)
KB	kotłownia na biogaz (z oczyszczalni ścieków lub biogazowni rolniczej)
KD	kotłownia na drewno (pelety)
PC	sprężarkowa pompa ciepła glikol/woda z gruntowym wymiennikiem ciepła
WC	węzeł ciepłowniczy zasilany z elektrociepłowni na węgiel/gaz
KGK+KS ₅₀	kotłownia gazowa kondensacyjna oraz kolektory słoneczne w systemie przygotowania ciepłej wody użytkowej (pokrycie 50% zapotrzebowania rocznego)
PC+KS ₅₀	sprężarkowa pompa ciepła glikol/woda z gruntowym wymiennikiem ciepła oraz kolektory słoneczne w systemie przygotowania ciepłej wody użytkowej (pokrycie 50% zapotrzebowania rocznego)

Tabela 3. Zestawienie wariantów wyposażenia budynku w źródła ciepła

W budynku z wentylacją mechaniczną wywiewną przewidziano system chłodzenia zdecentralizowanego z klimatyzatorami w układzie multisplit ze zmiennym przepływem czynnika o średnim współczynniku efektywności energetycznej wytwarzania

chłodu $SEER_{ref} = 4,1$ [11]. W przypadku mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej zastosowano agregat do chłodzenia cieczy ze skraplaczem chłodzonym powietrzem, dla którego średni współczynnik $SEER_{ref} = 3,8$ [11]. Odbiorniki końcowe stanowią belki chłodzące.

Całkowita sprawność systemu chłodzenia centralnego wynosi 3,308.

Zapotrzebowanie na energię pierwotną dla oświetlenia wbudowanego określono w oparciu o metodykę rozporządzenia [11] oraz normy [8]. Przy założonym profilu użytkownika liczba godzin użytkowania oświetlenia w dzień wynosi 2500, a w nocy 250. Przy braku możliwości regulacji automatycznej jednostkowa moc oświetlenia nie może przekraczać $11,5 \text{ W/m}^2$, jeżeli mają być spełnione wymagania WT2014 i WT2017 ($\Delta EP_L = 100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$). Odpowiadające przyjętym założeniom zapotrzebowanie na energię końcową wyrażone liczbowym wskaźnikiem energii oświetlenia LENI wynosi $33,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$. Równoważne warunki zapewnia układ sterowania ze względu na nieobecność użytkowników, wykorzystanie światła dziennego oraz obniżenie natężenia oświetlenia (współczynniki redukcyjne równe 0,9 każdy) przy maksymalnej mocy jednostkowej ok. 15 W/m^2 . W odniesieniu do wymagań wprowadzanych w 2019/2021 konieczne będzie zastosowanie istotnych działań energooszczędnych. Szczegóły tych rozwiązań nie były w artykule rozpatrywane; w wariantach WT2021 przyjęto maksymalną wymaganą wartość wskaźnika $\Delta EP_L = 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ rok})$.

Dla każdego standardu ochrony cieplnej, wariantu źródła ciepła wymienionego w tabeli 4, przyjętego systemu chłodzenia i oświetlenia rozważano wyszczególnione w tabeli 5 warianty w zakresie wentylacji, chłodzenia i lokalizacji budynku.

Dyskusja wyników

Wartość całkowitego wskaźnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/(m² rok)] pozwala na ogólną ocenę budynku. Obliczeniowe i maksymalne wartości EP wyznaczone dla przykładowego budynku

Rodzaj źródła ciepła	Sprawność całkowita systemu		Współczynnik nakładu [11]
	ogrzewanie i wentylacja	ciepła woda użytkowa	
	$\eta_{H,tot}$	$\eta_{W,tot}$	w_i
Kotłownia węglowa (ekogroszek)	0,732	0,544	1,1
Kotłownia kondensacyjna na gaz ziemny	0,848	0,598	1,1
Kotłownia na biogaz	0,848	0,598	0,5
Kotłownia na drewno (pelety)	0,759	0,544	0,2
Węzeł ciepłowniczy zasilany z elektrociepłowni na węgiel/gaz (ciepło sieciowe)	0,875	0,776	0,8
Sprężarkowa pompa ciepła (glikol/woda)	2,969	2,040	3,0
Kolektory słoneczne	–	0,680	0,0

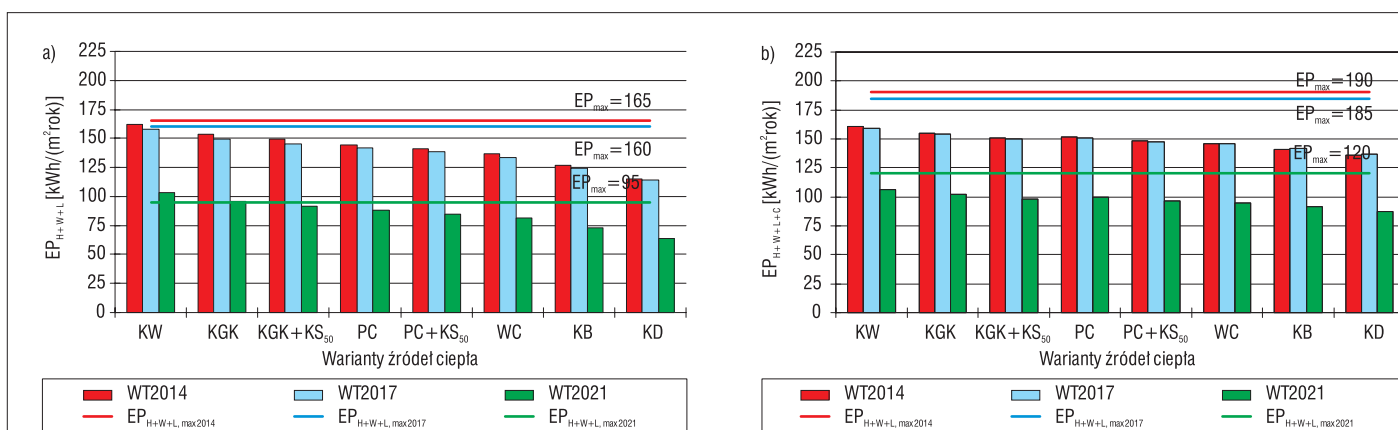
Tabela 4. Zestawienie wartości sprawności całkowitej systemów technicznych oraz współczynników nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej

Opis wariantu	Wariant wyjściowy	Pozostałe warianty
Warianty w zakresie wentylacji budynku		
System wentylacji	grawitacyjna (WGr)	mechaniczna wywiewna (WW); mechaniczna nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła (WNW _{oc}), $\eta_{oc} = 0,5$
Krotność wymiany powietrza n_{50}	4,0 h ⁻¹	
Warianty w zakresie chłodzenia		
Temperatura w strefie chłodzonej	24°C	22°C; 26°C
Efektywność wytworzenia chłodu w systemie scentralizowanym	SEER = 3,31	SEER = 3,44
Warianty w zakresie lokalizacji budynku		
Strefa klimatyczna ^{*)}	I	III; V
Stacja meteorologiczna ^{**)}	Gdańsk – Port Północny	Warszawa; Zakopane

^{*)} zgodnie z PN-B-02403 [5];

^{**)} zgodnie z danymi Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa [12].

Tabela 5. Zestawienie wariantów w zakresie wentylacji, chłodzenia i lokalizacji budynku



Rys. 1. Wartości wskaźnika EP w zależności od źródła ciepła i standardu ochrony cieplnej: przy wentylacji grawitacyjnej w budynku bez chłodzenia (a), przy wentylacji nawiewno-wywiewnej w budynku z chłodzeniem (b)

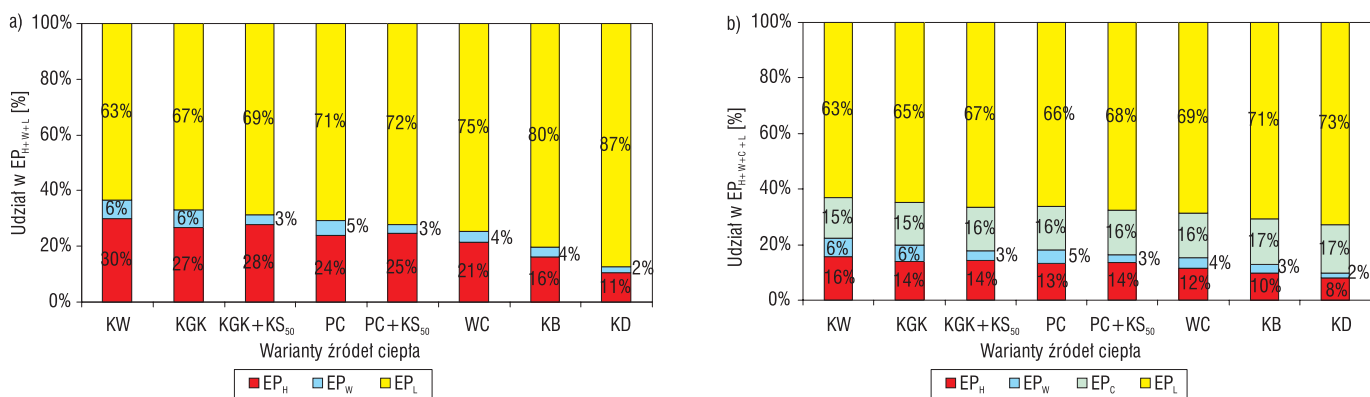
► biurowego pokazano na **rys. 1**. Wybrane do rozważań źródła ciepła (oznaczenia wg **tabeli 3**) zostały uszeregowane malejąco, odrębnie dla każdego standardu ochrony cieplnej: WT2014, WT2017, WT2021. Różnica między aktualnym a ustępującym standardem jest niewielka; dopiero rok 2021 przynosi wyraźną zmianę wartości EP. Zarówno wyposażenie budynku w instalację wentylacji grawitacyjnej, bez chłodzenia (**rys. 1a**), jak i mechaniczną wentylację nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła o średniorocznej skuteczności 50%, w opcji z chłodzeniem (**rys. 1b**) zapewniło dostosowanie do wymagań przepisów techniczno-budowlanych [4] niezależnie od zastosowanego źródła ciepła. Jedynie dwa przypadki zasilania systemów technicznych z kotłowni na paliwa konwencjonalne (KW, KGK) są niezgodne ze znacząco zaostrzonymi wymaganiami WT2021 (**rys. 1a**). Jest to sytuacja, która już na pierwszy rzut oka odróżnia budynki użyteczności publicznej od mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego o jednakowej, tradycyjnej konstrukcji (porównaj: [15, 16]).

Ostateczną ocenę trafności przyjętych rozwiązań technicznych można jednak podać po sprawdzeniu składowych wskaźnika EP.

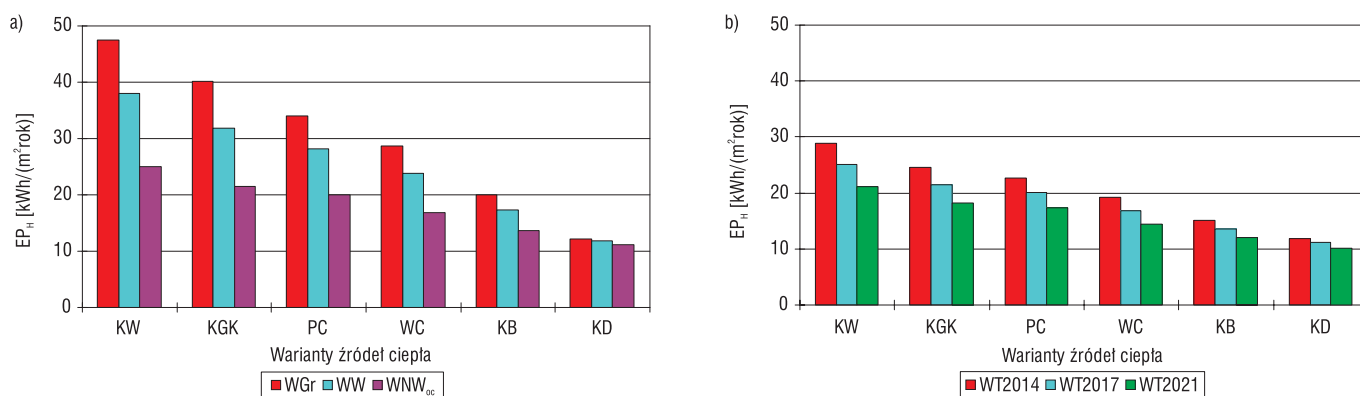
Strukturę globalnego wskaźnika EP budują wskaźniki cząstkowe uwzględniające zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji EP_H , przygotowania ciepłej wody użytkowej EP_w , chłodzenia EP_c oraz oświetlenia EP_L . Pokazane na **rys. 2** udziały poszczególnych składowych w obliczeniowych wartościach EP odpowiadają wartościom przedstawionym na **rys. 1** dla standardu ochrony cieplnej WT2017. W każdym rozważanym wariantcie dominującą rolę odgrywa oświetlenie wbudowane, z udziałem 63–87%. W budynku z wentylacją grawitacyjną, w którym nie przewidziano chłodzenia, drugie miejsce zajęły ogrzewanie i wentylacja z udziałem 11–30% (**rys. 2a**). W przypadku budynku z wentylacją mechaniczną nawiewno-wywiewną oraz instalacją chłodzenia potrzeby ogrzewania i wentylacji oraz chłodzenia wynoszą odpowiednio 8–16 oraz 15–17% (**rys. 2b**). Potrzeby energetyczne

związane z przygotowaniem ciepłej wody użytkowej są w budynku biurowym drugorzędne i tylko w 2–6% kształtują całkowity wskaźnik EP. Jest to kolejna zasadnicza różnica między budynkami użyteczności publicznej a budynkami mieszkalnymi wielorodzinnymi i zamieszkania zbiorowego. Z uwagi na radykalne obniżenie maksymalnej wartości EP_L w 2021 r. udział oświetlenia w EP zmniejszy się o kilkanaście procent.

Wpływ sytemu wentylacji oraz standardu ochrony cieplnej na zapotrzebowanie na energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji EP_H pokazano na **rys. 3**. Zróżnicowanie między wartościami EP_H przy wentylacji grawitacyjnej (WGr), mechanicznej wywiewnej (WW) i mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła (WNW_{oc}) zależy od zastosowanego źródła ciepła (**rys. 3a**). Przy wymaganiach WT2017 zmiana wentylacji grawitacyjnej na mechaniczną wywiewną spowodowała w rozważanym budynku zmniejszenie wskaźnika EP_H o 2–21%. Kolejna zmiana z wentylacji mechanicznej wywiewnej na nawiewno-wywiewną



Rys. 2. Udział poszczególnych systemów technicznych w całkowitym zapotrzebowaniu na nieodnawialną energię pierwotną dla standardu WT2017: przy wentylacji grawitacyjnej w budynku bez chłodzenia (a), przy wentylacji nawiewno-wywiewnej w budynku z chłodzeniem (b)



Rys. 3. Wartości wskaźnika EP_H odpowiadające różnym systemom wentylacji w standardzie WT2017 (a) oraz różnym standardom ochrony cieplnej przy wentylacji nawiewno-wywiewnej WNW_{oc} (b), przy wybranych źródłach ciepła

przyniosła redukcję o 6–34%. Największa poprawa widoczna jest w przypadku źródeł zasilanych paliwami kopalnymi. Rozważając wpływ standardu ochrony cieplnej, ustalono, że największe zmiany są widoczne w przypadku wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła (rys. 3b). Przy takim systemie wskaźnik EP_{H+W} obniżył się o 6–13% przy zmianie wymagań z WT2014 na WT2017. Porównywalna redukcja (9–15%) towarzyszyła zmianie standardu WT2017 na WT2021.

Ze względu na mało istotny udział przygotowania ciepłej wody użytkowej w kształtowaniu charakterystyki energetycznej budynku biurowego można oczekiwać, że wpływ systemu wentylacji na skumulowany wskaźnik EP_{H+W} będzie na podobnym poziomie jak wskaźnik EP_H . Poprawa wskaźnika EP_{H+W} towarzysząca zmianie wentylacji grawitacyjnej (WGr) na mechaniczną wywiewną (WW) sięgnęła 19% w standardzie WT2017 i 20% w standardzie WT2021. Przy zmianie wentylacji mechanicznej wywiewnej na nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła (WNW_{oc}) wyniosła maksymalnie odpowiednio 28 i 31% (rys. 4). Wymagania WT2017 zostały spełnione przy każdym przyjętym wariantcie źródła ciepła i wentylacji (rys. 4a). Zainteresowani inwestorzy mogliby przyjąć inne kryteria oceny i wyboru rozwiązań technicznych – ekonomiczne lub ekologiczne. Przy standardzie WT2021 tylko kotłownie opalane paliwami konwencjonalnymi (KW, KGK) w budynku wyposażonym w wentylację grawitacyjną nie mogłyby być zastosowane (rys. 4b). Wymagania względem budynków biurowych o tradycyjnej konstrukcji i typowym profilu użytkowania są mniej rygorystyczne w porównaniu z wymaganiami, którym muszą sprostać budynki użytkowane całodobowo, charakteryzujące się dużym zużyciem ciepłej wody użytkowej, takie jak

mieszkalne wielorodzinne i zamieszkania zbiorowego (porównaj: [15, 16]).

Należy jednocześnie zaznaczyć, że przyjęty do obliczeń podstawowy strumień powietrza wentylacyjnego w okresie użytkowania budynku biurowego zapewnia jedynie minimalny strumień normatywny wymagany ze względów higieniczno-sanitarnych. W praktyce projektowej strumienie powietrza wentylacyjnego są zwykle większe, tak aby zapewnić komfort cieplny i jakość powietrza przy stosunkowo niskim odsetku potencjalnie niezadowolonych użytkowników. Oszczędności uzyskiwane kosztem pogorszenia warunków środowiska wewnętrznego mogą prowadzić do problemów zdrowotnych oraz uszkodzenia konstrukcji i wyposażenia budynku [2].

Instalację wody chłodzącej rozpatrywano jedynie w budynku wyposażonym w wentylację mechaniczną. Zgodnie z założeniami przewidziano system zdecentralizowany z klimatyzatorami przy wentylacji wywiewnej ($SEER = 4,1$) oraz centralny agregat sprężarkowy ze skraplaczem chłodzonym powietrzem zasilający belki chłodzące przy wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła ($SEER = 3,3$). W pierwszym przypadku uzyskano zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do chłodzenia EP_C dużo niższe niż wymagane: 9–10 kWh/(m² rok) przy różnych standardach ochrony cieplnej. W drugim przypadku wartości te mieściły się w przedziale 20–26 kWh/(m² rok), przekraczając wartość maksymalną w standardzie WT2021. Wyższe wartości uzyskane przy wentylacji nawiewno-wywiewnej w porównaniu z wentylacją wywiewną wynikają nie tylko z niższego wskaźnika efektywności wytworzenia chłodu $SEER$ w przyjętych systemach chłodzenia. Wzrost wartości obliczeniowych EP_C towarzyszył także wzrostowi wymagań

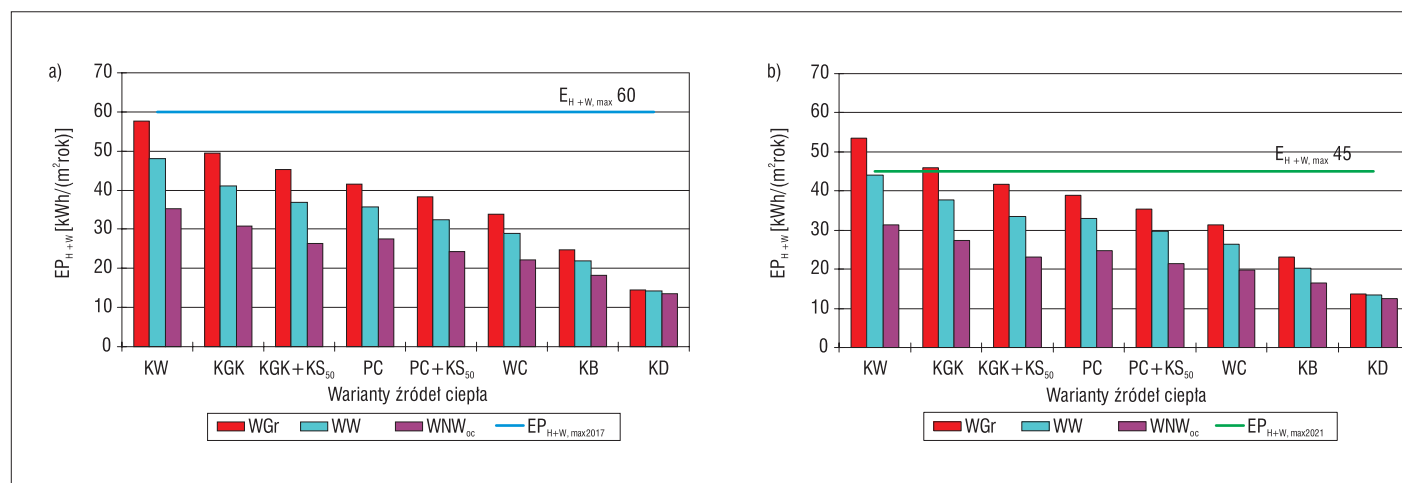
w zakresie ochrony cieplnej budynku. Prawdopodobnie ta jest związana z mniejszymi stratami ciepła (odpowiednio wentylacyjnymi lub przenikania przez przegrody), wyższym zapotrzebowaniem na chłód użytkowy, wydużeniem sezonu chłodniczego i w konsekwencji wyższym zapotrzebowaniem na energię końcową do chłodzenia.

Zapotrzebowanie na energię użytkową EU_C , energię końcową EK_C i energię pierwotną EP_C do chłodzenia analizowanego budynku z wentylacją nawiewno-wywiewną, przy różnych temperaturach w strefie chłodzenia i standardzie WT2021, pokazano na rys. 5. Poprawę wskaźnika EP_C uzyskano przez podniesienie temperatury w strefie chłodzenia powyżej założonej wartości równej 24°C. Alternatywne zastosowanie opcji freecooling powodującej wzrost efektywności wytworzenia chłodu o ok. 4%, tj. do wartości 3,44, pozwoliło także na osiągnięcie wymaganego przepisami pułapu.

Bardziej niekorzystnych warunków można się spodziewać przy całkowicie przeszklonej konstrukcji budynku biurowego, wymagającej skuteczniejszej ochrony przed promieniowaniem słonecznym.

Dotychczasowe rozważania dotyczyły budynku położonego w Gdańsku. Wpływ lokalizacji budynku rozpatrywano pod względem zróżnicowania warunków klimatycznych. Poza Gdańskiem do obliczeń wybrano Warszawę i Zakopane, czyli miasta położone odpowiednio w I, III i V strefie klimatycznej [5]. Każdemu wariantowi przyporządkowano właściwą stację meteorologiczną [12] wraz z odpowiadającymi jej wartościami średniej miesięcznej temperatury powietrza oraz sumy strumieni energii promieniowania słonecznego.

Ze względu na niższe temperatury powietrza zewnętrznego w okresie zimowym ▶▶



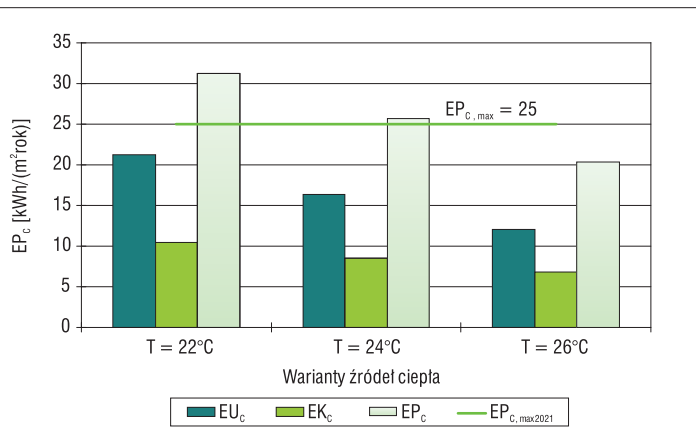
Rys. 4. Wartości wskaźnika EP_{H+W} odpowiadające różnym sposobom wentylacji, przy wybranych źródłach ciepła oraz przy standardzie ochrony cieplnej odpowiadającym wymaganiom: WT2017 (a), WT2021 (b)

► (sezonie ogrzewczym) straty ciepła budynku położonego w III i V strefie klimatycznej są coraz wyższe w porównaniu z budynkiem położonym w I strefie. Jednocześnie zyski ciepła wynikające z nasłonecznienia są wyższe w Zakopanem niż w Warszawie, a te z kolei wyższe niż w Gdańsku. Bilans strat i zysków ciepła jest jednak niekorzystny w sezonie

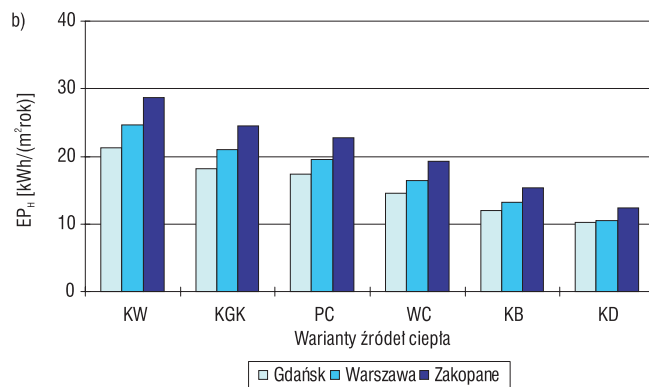
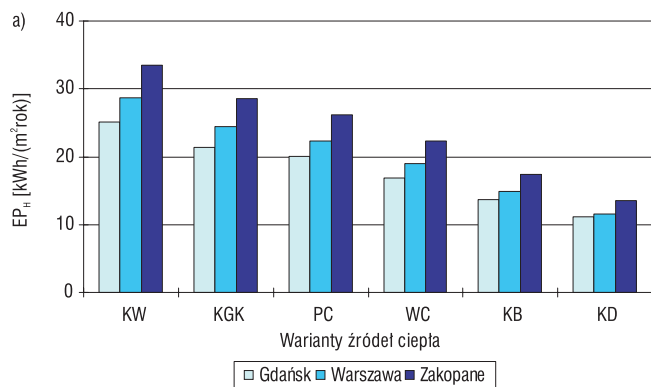
ogrzewczym, stąd zapotrzebowanie na energię użytkową EU_H do ogrzewania i wentylacji budynku jest wyższe w porównaniu z I strefą: o 13–28% dla strefy III i o 37–49% dla strefy V, w zależności od systemu wentylacji i standardu ochrony cieplnej. Przy wyznaczaniu wskaźnika EP_H wartości EU_H zostały skorygowane odpowiednio do stosunku wskaźnika w , do

względem Gdańska o 3–16% w przypadku Warszawy oraz 21–35% w przypadku Zakopanego. Najmniejsze różnice występują dla kotłowni na biomasę, a największe dla kotłowni węglowej.

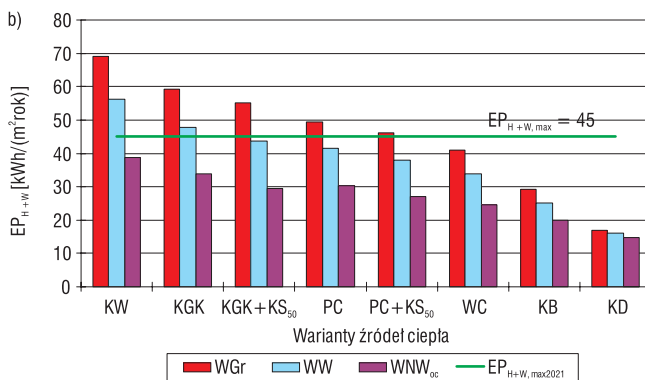
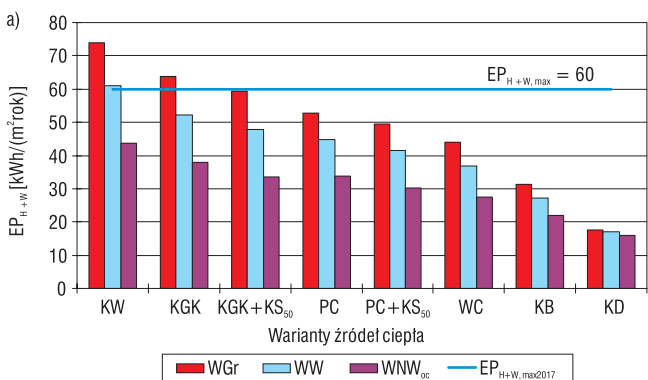
Na rys. 7 pokazano obliczeniowe wartości wskaźnika EP_{H+W} budynku położonego w V strefie klimatycznej odpowiadające różnym sposobom wentylacji, przy różnych źródłach ciepła oraz przy standardzie ochrony cieplnej odpowiadającym wymaganiom WT2017 (rys. 7a) oraz WT2021 (rys. 7b). Sporządzono je przy założeniach analogicznych do przykładów pokazanych na rys. 4 dla budynku z I strefy klimatycznej. Wartości referencyjne zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną są niezależne od lokalizacji budynku. Niektóre rozwiązania instalacyjne, które sprawdziły się w Gdańsku, nie są odpowiednie dla Zakopanego. Na przykład w standardzie WT2017 (a), WT2021 (b). Zróżnicowanie położenia geograficznego spowodowało wzrost zapotrzebowania na energię pierwotną



Rys. 5. Wartości wskaźników EU_c , EK_c i EP_c odpowiadające różnym temperaturom w strefie chłodzenia



Rys. 6. Wartości wskaźnika EP_H odpowiadające różnej lokalizacji budynku wyposażonego w wentylację nawiewno-wywiewną, przy wybranych źródłach ciepła, w standardzie: WT2017 (a), WT2021 (b)



Rys. 7. Wartości wskaźnika EP_{H+W} odpowiadające różnym sposobom wentylacji, przy różnych źródłach ciepła oraz przy standardzie ochrony cieplnej odpowiadającym wymaganiom: WT2017 (a), WT2021 (b) budynku położonego w V strefie klimatycznej

byłaby także wentylacja mechaniczna wywiewna (rys. 7b). Wentylacja grawitacyjna została zdyskwalifikowana przy większości źródeł ciepła, poza węzłem ciepłowniczym i kotłownią na biogaz/biomasę.

Wzrost zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji budynku związany z mniej korzystnym położeniem geograficznym może w pewnych konfiguracjach systemów technicznych warunkować uzyskanie referencyjnego poziomu wskaźnika EP_{H+W} budynku.

W okresie chłodzenia (latem) występują inne relacje zysków i strat ciepła pomiędzy rozważanymi lokalizacjami budynku. Warunki meteorologiczne w Zakopanem charakteryzują najniższe średnie miesięczne temperatury powietrza atmosferycznego, podczas gdy najwyższe występują w Warszawie. Zyski ciepła od nasłonecznienia są najwyższe w Warszawie, a najniższe w Gdańsku. W efekcie zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do chłodzenia EP_C budynku położonego w Warszawie było w rozważanym obiekcie wyższe o 6–19% w porównaniu do Gdańska. Jednak dla Zakopanego wyniki były korzystniejsze niż dla Gdańska, a EP_C niższe o 25–46%. Niższe wartości z podanych przedziałów odnoszą się do mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej, a wyższe do mechanicznej wentylacji wywiewnej.

Wnioski

Przedmiotem rozważań na temat charakterystyki energetycznej był przykładowy budynek użyteczności publicznej o funkcji biurowej, tradycyjnej konstrukcji i typowym profilu użytkownika. Przeprowadzona analiza wykazała szeroką rozpiętość uzyskiwanych wyników w zależności od przyjętych rozwiązań technicznych oraz założeń do obliczeń. Ogólne wnioski wypływające z tej analizy mają jednak charakter uniwersalny oraz pokazują generalne zależności i trendy.

Aktualne wymagania dla budynków użyteczności publicznej tylko nieznacznie różnią się od wymagań obowiązujących w latach 2014–2016. Istotne zmiany w zakresie zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia wbudowanego dotyczą okresu od 2019/2021 r.

W strukturze bilansu energii pierwotnej budynku biurowego dominuje zapotrzebowanie na energię do oświetlenia, a zaostżone wymagania 2021 r. wymuszają wprowadzenie istotnych działań energooszczędnych. Udział zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji oraz chłodzenia można uznać za

porównywalny, a przygotowanie ciepłej wody użytkowej za mało znaczące w kształtowaniu wskaźnika EP budynku.

Za istotny należy uznać wpływ systemu wentylacji budynku na wskaźnik EP_{H+W} , obejmujący ogrzewanie, wentylację i przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Zmiana wentylacji grawitacyjnej na mechaniczną wywiewną poprawiła ten wskaźnik maksymalnie o ok. 20%, natomiast zmiana mechanicznej wentylacji wywiewnej na nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła o kolejne ok. 30%. Bezdyskusyjny pozostaje wpływ rodzaju zastosowanego źródła ciepła. Najlepsze rezultaty (najniższe zapotrzebowanie) osiągnięto dzięki źródłom o wąskim zakresie zastosowań (kotłownia na biogaz/biomasę), jednak korzystne były również rozwiązania hybrydowe, łączące źródła konwencjonalne z odnawialnymi, lub kogeneracja (ciepło sieciowe). Dla rozważanego budynku położonego w Gdańsku uzyskano zgodność z wymaganiami standardu 2017 r. niezależnie od zastosowanego źródła ciepła i systemu wentylacji. W perspektywie wymagań 2021 r. wentylacja grawitacyjna nie sprawdziła się w konfiguracji z kotłowniami na paliwa konwencjonalne. Kolejne zmiany standardu ochrony cieplnej spowodowały redukcję wskaźnika EP_{H+W} o 8–12% w zależności od systemu wentylacji.

Przy zastosowaniu typowych rozwiązań chłodzenia centralnego i zdecentralizowanego spełnione zostały wymagania przepisów w zakresie wskaźnika EP_C . Możliwości poprawy zapotrzebowania na energię do chłodzenia kryją się w wysokiej sprawności całkowitej systemu chłodzenia oraz dopasowaniu temperatury chłodzenia z zachowaniem wymagań komfortu cieplnego.

Wartości referencyjne zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną są niezależne od położenia geograficznego budynku w przeciwieństwie do wartości obliczeniowych, które są związane z lokalnymi warunkami klimatycznymi. Położenie budynków może w pewnych konfiguracjach systemów technicznych (wentylacji i źródeł ciepła) warunkować osiągnięcie wymaganego poziomu zapotrzebowania na energię do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Niektóre rozwiązania, które sprawdziły się w budynku zlokalizowanym w I strefie klimatycznej, nie były odpowiednie dla budynku położonego w III lub V strefie klimatycznej. Uzyskiwane wyniki zależą od relacji strat i zysków ciepła, stąd w okresie chłodzenia sytuacja może się odwrócić i budynek ze strefy I będzie miał wyższe wymagania w zakresie chłodzenia w porównaniu z budynkiem z V strefy.

Wymagania względem oczekiwanej charakterystyki energetycznej budynków użyteczności publicznej o funkcji biurowej, tradycyjnej konstrukcji i typowym profilu użytkownika są mniej rygorystyczne w porównaniu z wymaganiami, którym muszą sprostać budynki użytkowane całodobowo, charakteryzujące się znaczącym zużyciem ciepłej wody użytkowej, takie jak mieszkalne wielorodzinne i zamieszkania zbiorowego. W efekcie pojawia się większa swoboda wyboru rozwiązań technicznych i kryteriów ich oceny.

Literatura

1. Nowak B., *Wentylacja w budynkach niemieszkalnych wg PN-EN 15251*, „Rynek Instalacyjny” nr 4/2008, s. 90.
2. Nowak B., *Efektywność energetyczna a komfort wg PN-EN 15251*, „Rynek Instalacyjny” nr 6/2008, s. 44.
3. Obwieszczenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 sierpnia 2003 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (DzU nr 169/2003, poz. 1650).
4. Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU 2015, poz. 1422).
5. PN-B-02403:1982 *Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne*.
6. PN-B-03421:1978 *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*.
7. PN-B-03430:1983/Az3:2000 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania*.
8. PN-EN 15193:2010 *Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia*.
9. PN-EN 15251:2012 *Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę*.
10. PN-EN ISO 13790:2009 *Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia*.
11. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (DzU 2015, poz. 376).
12. *Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków*, http://mib.gov.pl/2-Wskazniki_emisji_wartosci_opalowe_paliwa.htm
13. Uchwała nr 91 Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii” (MP 2015, poz. 614).
14. Zaborowska E., *Analiza zapotrzebowania na energię pierwotną budynków użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego*, „Instal” nr 2/2011, s. 52.
15. Zaborowska E., *Charakterystyka energetyczna budynków mieszkalnych wielorodzinnych w perspektywie wymagań 2017–2021*, „Rynek Instalacyjny” nr 1–2/2017, s. 52.
16. Zaborowska E., *Charakterystyka energetyczna budynków zamieszkania zbiorowego w perspektywie wymagań 2017–2021*, „Rynek Instalacyjny” nr 3/2017, s. 74.