

Charakterystyka energetyczna budynków zamieszkania zbiorowego w perspektywie wymagań 2017–2021

Energy performance of hotel type residential buildings with respect to the requirements in years 2017–2021

Poniższe opracowanie stanowi drugą część serii artykułów poświęconych analizie charakterystyki energetycznej budynków w perspektywie wymagań 2017–2021. Pierwsza część dotyczyła budynków mieszkalnych wielorodzinnych [13], natomiast część trzecia będzie poświęcona budynkom użyteczności publicznej. Analizą objęto budynki zamieszkania zbiorowego o funkcji hotelowej. Każdy z rozważanych przykładowych obiektów ma taką samą charakterystykę architektoniczno-budowlaną, lecz pełni inną funkcję i podlega odrębnym wymaganiom przepisów prawnych. Podstawowe założenia i rozwiązania techniczne są analogiczne, a różnice wynikają ze specyfiki funkcji pełnionej przez budynek.

Wiele istotnych zmian nastąpiło od czasu wcześniejszej analizy zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP budynku hotelowego, wykonanej przez autorkę w początkowej fazie wdrażania krajowego systemu oceny energetycznej budynków [12]. Obejmują one zarówno metodologię obliczeń [9], jak i standardy ochrony cieplnej [2]. Sformułowane w poprzednim artykule ogólne wnioski i kierunki zmian w zakresie systemów technicznych budynków pozostają słuszne, jednak aktualne wymagania dotyczące maksymalnych wartości EP są bardziej rygorystyczne i trudniejsze do spełnienia. Wdrożone z początkiem bieżącego roku wymagania są krótkim etapem na drodze do osiągnięcia charakterystyki „budynku o niskim zużyciu energii” [11], zdefiniowanego standardem obowiązującym od 2021 r.

Założenia i metody obliczeń

Maksymalna wartość wskaźnika EP [kWh/(m² rok)] określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną stanowi sumę częściowych wartości maksymalnych na potrzeby ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej (EP_{H+W}), chłodzenia (ΔEP_C) oraz oświetlenia wbudowanego (ΔEP_L). W dyskusji wyników przyjęto oznaczenia odpowiednio: EP_{H+W,max}, EP_{C,max}, EP_{L,max}. Obowiązujące wartości składowych wskaźnika EP zgodne z warunkami technicznymi [2] dla budynków zamieszkania zbiorowego podano w tabeli 1.

Redukcja maksymalnego wskaźnika EP_{H+W} następuje stopniowo o ok. 10% w ko-

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)]		
95	85	75
Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_C na potrzeby chłodzenia [kWh/(m² rok)]		
ΔEP _C = 25 · A _{tC} /A _t	ΔEP _C = 25 · A _{tC} /A _t	ΔEP _C = 25 · A _{tC} /A _t
Częstkowe maksymalne wartości wskaźnika ΔEP_L na potrzeby oświetlenia [kWh/(m² rok)]		
dla t ₀ < 2500: ΔEP _L = 50 dla t ₀ ≥ 2500: ΔEP _L = 100	dla t ₀ < 2500: ΔEP _L = 50 dla t ₀ ≥ 2500: ΔEP _L = 100	dla t ₀ < 2500: ΔEP _L = 25 dla t ₀ ≥ 2500: ΔEP _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 [2]

Streszczenie

Opracowanie zawiera analizę charakterystyki energetycznej przykładowego budynku zamieszkania zbiorowego o funkcji hotelowej przeprowadzoną w perspektywie wymagań 2017–2021. Rozważano w niej wybrane elementy mające wpływ na zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej i chłodzenia budynku. Wskazano na przyczyny rozbieżności między wartościami obliczeniowymi a referencyjnymi oraz zaproponowano usprawnienia pozwalające na poprawę charakterystyki energetycznej i umożliwiające osiągnięcie wartości wskaźników EP zgodnych z obowiązującym i przyszłym standardem.

Abstract

The aim of the paper is an analysis of the energy performance of a sample hotel 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 issues that contribute to the difference between the calculated and the reference values, as well as the options to improve energy performance of the building and meet the maximum EP values with respect to the actual and future standards.

lejnych latach i jest mniejsza w porównaniu do budynków mieszkalnych wielorodzinnych. Wymagania w zakresie instalacji chłodzenia pozostają niezmiennione od 2014 r. Jedynie wskaźnik ΔEP_L ulega radykalnemu obniżeniu o 50% w 2021 r. Standardom ochrony cieplnej obowiązującym w kolejnych latach i oznaczonym odpowiednio WT2014, WT2017, WT2021 odpowiada przyjęte do obliczeń maksymalne wartości współczynników przenikania ciepła przezroczystych i nieprzezroczystych przegród budowlanych według rozporządzenia [2].

Podstawowe założenia metodyki obliczeń zgodne z rozporządzeniem w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku omówiono w pierwszej części serii [13]. Przedmiotem dalszych rozważań jest budynek hotelowy (część noclegowa, bez gastronomii) o architekturze i charakterystyce budowlanej analogicznej do analizowanego uprzednio budynku mieszkalnego wielorodzinnego (porównaj: [13]). Budynki te różni wyposażenie w instalację chłodzenia. Według PN-B-03421 optymalne wartości temperatury obliczeniowej w strefie chłodzonej wynoszą latem 23–26°C przy małej aktywności fizycznej [4]. Górna granica przedziału jest także zgodna z zaleceniami normy PN-EN 15251 [7]. Podstawową charakterystykę budynku podano w tabeli 2.

Hotel ma 32 pokoje dwuosobowe z łazienkami. Maksymalna liczba gości hotelowych wynosi 64, co odpowiada jednostkowej powierzchni użytkowej budynku 20 m² na osobę. Obiekt jest wykorzystywany 365 dni w roku.

Przy wentylacji grawitacyjnej, mechanicznej wywiewnej, a także mechanicznej nawiewno-wywiewnej działającej ze stałym strumieniem powietrza zewnętrznego podstawowy strumień wentylacji odniesiony do powierzchni strefy ogrzewanej/chłodzonej według rozporządzenia [9] wynosi $0,42 \cdot 10^{-3}$ m³/(s m²). Wyznaczony na tej podstawie strumień powietrza w budynku zapewnia 64 użytkownikom ilość świeżego powietrza wynoszącą 30 m³/h na osobę, odpowiadającą wymaganiom normy PN-B-03430 [5]. W pokoju dwuosobowym strumień wynoszący 60 m³/h jest także wystarczający do wentylacji indywidualnej łazienki. Zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 15251 minimalny strumień powietrza wentylacyjnego dla każdej osoby wynosi 25 m³/h przy wymaganiach standardowych oraz 36 m³/h przy wymaganiach podwyższonych [1, 7]. W odniesieniu do tego drugiego przypadku ilość powietrza wyznaczona na podstawie wskaźnika rozporządzenia [9] byłaby niewystarczająca w czasie obec-

ności założonej liczby użytkowników. Przyjęty sposób eksploatacji instalacji wentylacyjnej odpowiada profilowi użytkownika budynku. W wariancie wyjściowym przyjęto działanie wentylacji 24 h/d bez możliwości regulacji strumienia powietrza. Założono, że w budynku nie przeprowadzono próby szczelności, stąd krotność wymiany powietrza przy różnicy ciśnienia 50 Pa wynosi $n_{50} = 4 \text{ h}^{-1}$ [9]. Średnia roczna sprawność odzysku ciepła w systemie wentylacji nawiewno-wywiewnej wynosi $\eta_{oc} = 0,5$.

Zyski ciepła obejmują zyski od nasłonecznienia i zyski wewnętrzne. Zgodnie z wymaganiami przepisów techniczno-budowlanych [2] współczynnik przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego wyznaczony jako iloczyn współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia (g_n) oraz współczynnika redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne (f_c) w okresie letnim nie może być większy niż 0,35. Dla wymagań WT2014 i WT2017 przyjęto okna podwójnie szklone o współczynniku $g_n = 0,75$ wraz z białymi żaluzjami nastawnymi o współczynniku $f_c = 0,46$ [2, 8]. Warunki takie mogą być także zapewnione przez okna podwójnie szklone z powłoką selektywną o współczynniku $g_n = 0,67$ wraz z kolorowymi zastonami o współczynniku f_c nie większym niż

0,52. W celu spełnienia wymagań WT2021 zastosowano okna potrójnie szklone o współczynniku $g_n = 0,7$ wraz z białymi żaluzjami lub kolorowymi zastonami o współczynniku $f_c = 0,5$ [2, 8]. Równoważne warunki zapewni okno potrójnie szklone z powłoką selektywną o współczynniku przepuszczalności $g_n = 0,5$ w połączeniu z białymi zastonami lub żaluzjami o współczynniku redukcji $f_c = 0,7$. Obciążenie cieplne pomieszczeń wewnętrznymi zyskami ciepła wynosi 6 W/m² w okresie użytkowania i 2 W/m² poza okresem użytkowania [9].

Zgodnie z metodologią wyznaczania charakterystyki energetycznej [9] jednostkowe dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę wynosi 3,75 dm³/(m² d), a współczynnik korekcyjny uwzględniający przerwy w użytkowaniu wynosi 0,6. W rozważanym budynku odpowiada to zużyciu przez każdego użytkownika 75 dm³/d wody o temperaturze 55°C.

Analizowano sześć prostych systemów technicznych oraz dwa złożone. Są to rozwiązania analogiczne do pierwszej części serii [13]. Wyszczególnienie rozważanych wariantów źródeł ciepła podano w tabeli 3. Poszczególne źródła są zasilane nieodnawialnymi paliwami kopalnymi, ciepłem sieciowym z kogeneracji, paliwami odnawialnymi, energią słoneczną lub energią elektryczną z sieci elektroenergetycznej systemowej w przypadku sprężarkowej pompy ciepła.

Wyszczególnienie	Jednostka	Wartość
Liczba kondygnacji nadziemnych	–	5
Powierzchnia ogrzewana/chłodzona	m ²	1280
Kubatura budynku (o regulowanej temperaturze powietrza)	m ³	3072
Średnia temp. wewnętrzna w budynku w sezonie ogrzewczym	°C	20
Średnia temp. wewnętrzna w budynku w sezonie chłodniczym	°C	26
Lokalizacja budynku	Gdańsk – I strefa klimatyczna ^{*)}	
Stacja meteorologiczna	Gdańsk – Port Północny ^{**)}	

^{*)} zgodnie z PN-B-02403 [3];

^{**)} zgodnie z danymi Ministerstwa Infrastruktury i Budownictwa [10].

Tabela 2. Ogólna charakterystyka analizowanego 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

Rozwiązania instalacyjne w zakresie ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej odpowiadają rozwiązaniom zastosowanym w budynku mieszkalnym wielorodzinnym i opisanym w poprzednim artykule [13]. Wyznaczone sprawności całkowite podano w tabeli 4

wraz ze wskaźnikami nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej w_i .

Instalacja chłodzenia budynku ma różne wyposażenie w zależności od systemu wentylacji mechanicznej. 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 $SEER_{ref} = 4,1$ [9]. W przypadku mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej zastosowano agregat do chłodzenia cieczy ze skraplaczem chłodzonym powietrzem, dla którego średni współczynnik $SEER_{ref} = 3,8$ [9]. Odbiornikami chłodu są chłodnice w centralach wentylacyjnych. Całkowita sprawność systemu chłodzenia scentralizowanego wynosi 3,223.

Obliczenia zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną dla oświetlenia wbudowanego zostały przeprowadzone w oparciu o rozporządzenie [9] oraz metodykę normy PN-EN 15193 [6]. Roczna liczba godzin użytkowania oświetlenia w dzień wynosi 755, a w nocy 3260, przy średnim czasie wykorzystania pokoi 11 h/d. Uwzględniono sterowanie ze względu na nieobecność użytkowników (włączanie oświetlenia podczas pobytu gości hotelowych w pokoju za pomocą karty-kłucza). Przy założeniu braku możliwości regulacji automatycznej w zakresie wykorzystania światła dziennego i obniżenia natężenia jednostkowa moc oświetlenia nie może przekraczać $12,3 \text{ W/m}^2$, jeżeli mają zostać spełnione wymagania WT2014 i WT2017 ($\Delta EP_L = 100 \text{ kWh/(m}^2 \text{ rok)}$). Odpowiadający przyjętym założeniom liczbowy wskaźnik energii oświetlenia LENI wynosi $33,3 \text{ kWh/(m}^2 \text{ rok)}$. W odniesieniu do zmian obowiązujących od 2021 r. wymagane będzie wdrożenie istotnych działań energooszczędnych. Szczegóły tych rozwiązań nie były w pracy rozpatrywane; w wariancie WT2021 przyjęto maksymalną wymaganą wartość wskaźnika $\Delta EP_L = 50 \text{ kWh/(m}^2 \text{ rok)}$.

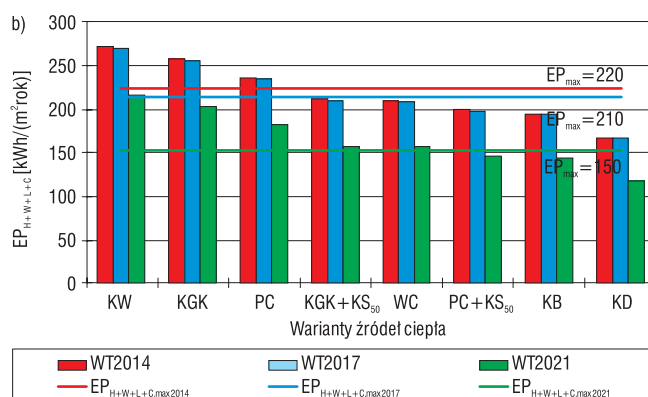
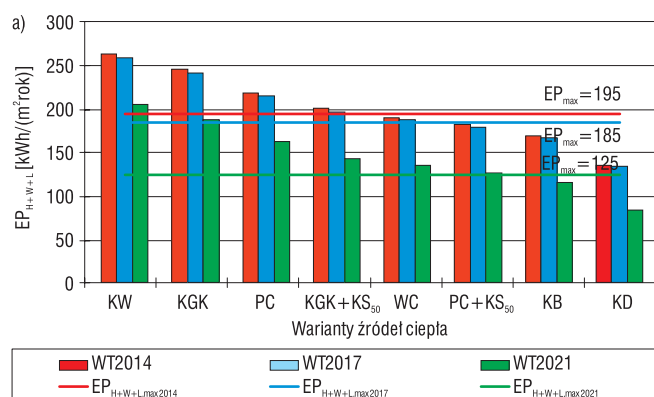
Dla każdego standardu ochrony cieplnej, wariantu źródła ciepła wymienionego w tabeli 4, przyjętego systemu chłodzenia i oświet-

Rodzaj źródła ciepła	Sprawność całkowita systemu		Współczynnik nakładu [9]
	ogrzewanie i wentylacja	ciepła woda użytkowa	
	$\eta_{H,tot}$	$\eta_{W,tot}$	w_i
Kotłownia węglowa (ekogroszek)	0,732	0,476	1,1
Kotłownia kondensacyjna na gaz ziemny	0,848	0,524	1,1
Kotłownia na biogaz	0,848	0,524	0,5
Kotłownia na drewno (pelety)	0,759	0,476	0,2
Wężel ciepłowniczy zasilany z elektrociepłowni na węgiel/gaz (ciepło sieciowe)	0,875	0,679	0,8
Sprężarkowa pompa ciepła (glikol/woda)	2,969	1,785	3,0
Kolektory słoneczne	–	0,595	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 (WNV _{OC})
Krotność wymiany powietrza n_{50}	4,0 h ⁻¹	1,5 h ⁻¹
Sprawność odzysku ciepła η_{OC} w systemie wentylacji nawiewno-wywiewnej	0,5	0,7
Warianty w zakresie systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej		
Sprawność przesyłu ciepłej wody	0,7	0,85
Profil użytkowania budynku		
Czas użytkowania	24 h/d ^{*)} ; 365 d/rok	11 h/d ^{**)} ; 365 d/rok
*) wentylacja działająca 24 h/d ze stałym strumieniem powietrza; **) wentylacja mechaniczna o regulowanym strumieniu, sterowana obecnością użytkowników.		

Tabela 5. Zestawienie wariantów w zakresie chłodzenia i wentylacji 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)

lenia rozważano wyszczególnione w **tabeli 5** warianty w zakresie wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej i profilu użytkownika budynku.

Dyskusja wyników

Całkowite roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną opisanego wyżej budynku hotelowego pokazano na **rys. 1**. Pozwala ono w sposób ogólny ocenić charakterystykę energetyczną budynku i jej dopasowanie do wymagań przepisów techniczno-budowlanych [2]. Wartości obliczeniowe wskaźnika EP odpowiadające różnym źródłom ciepła (opisanym w **tabeli 3**) i różnym standardom ochrony cieplnej uszeregowano malejąco. Linie ciągłe reprezentują graniczne wartości skumulowanego wskaźnika EP obowiązujące w kolejnych latach (patrz: **tabela 1**). Poszczególne rysunki przedstawiają dwa standardy wyposażenia budynku obejmujące instalację wentylacji grawitacyjnej i brak chłodzenia (**rys. 1a**) oraz instalację wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła o sprawności 50% wraz z systemem chłodzenia (**rys. 1b**). W obu przypadkach widoczne są niewielkie zmiany zarówno w zakresie wartości obliczeniowych, jak i wymagań pomiędzy WT2014 a WT2017 oraz istotna redukcja tych wartości w standardzie WT2021. Jak wykazano we wstępie, największy wpływ na tę zmianę ma wskaźnik określający wymagania w zakresie oświetlenia. Najniższe wartości EP uzyskane przy kotłowni na biomasę drzewną (KD) są niższe od wartości najwyższych przy kotłowni na węgiel (KW) o 48–59% w przypadku (a) oraz o 38–46% w przypadku (b). Wskazuje to na podstawowe znaczenie zastosowanego źródła energii. Poza kotłowniami na paliwa odnawialne (KB, KD) oraz pompami ciepła wspomaganymi kolektorami słonecznymi (PC+KS₅₀) pozostałe

warianty nie sprostają wymaganiom rozporządzenia [2] w budynku wyposażonym w wentylację grawitacyjną. W przypadku wentylacji nawiewno-wywiewnej z chłodzeniem aktualne standardy spełnił także węzeł ciepłowniczy (WC) oraz kondensacyjna kotłownia gazowa z kolektorami słonecznymi (KGK+KS₅₀).

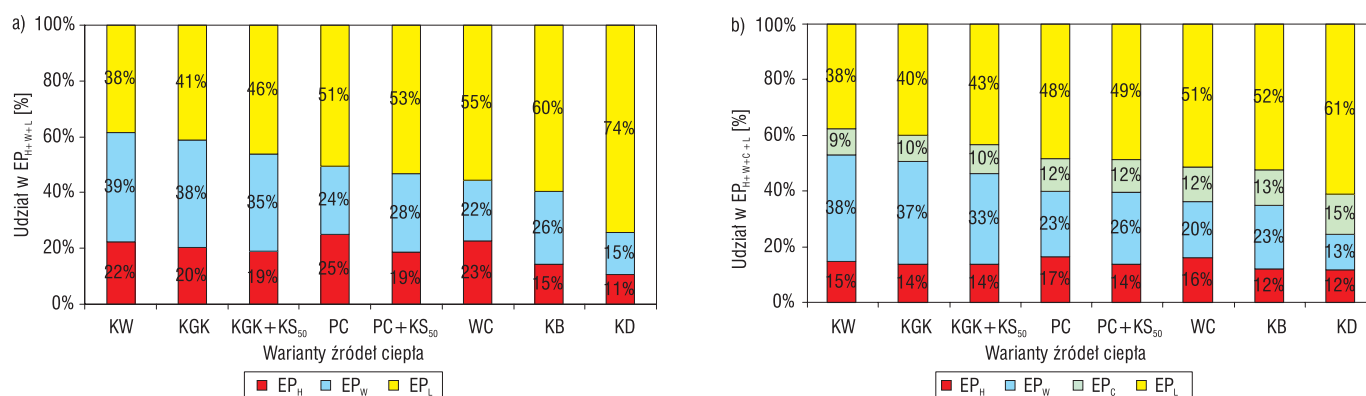
Znalezienie przyczyn przekroczenia skumulowanych wartości maksymalnych oraz sposobów poprawy wymaga analizy składowych wskaźnika EP, obejmujących zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji EP_H, przygotowania ciepłej wody użytkowej EP_W, chłodzenia EP_C oraz oświetlenia EP_L. Dla rozwiązań pokazanych na **rys. 1** określono udziały poszczególnych systemów technicznych w całkowitym zapotrzebowaniu na energię pierwotną budynku. Przykładowe wyniki odpowiadające standardowi wymagań WT2017 pokazano na **rys. 2**. W większości wariantów dominuje oświetlenie z udziałem w zakresie 38–74%, rosnącym wraz ze wzrostem udziału energii odnawialnej lub kogeneracji w źródłach ciepła. Znaczący wpływ na kształtowanie całkowitego wskaźnika EP ma również przygotowanie ciepłej wody użytkowej z udziałem wynoszącym 13–39%, malejącym wraz z większym wykorzystaniem odnawialnych źródeł ciepła. Udział potrzeb związanych z ogrzewaniem i wentylacją budynku wynosi maksymalnie

25% przy wentylacji grawitacyjnej oraz 17% przy wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła i chłodzeniem. W tym ostatnim przypadku pokrycie potrzeb związanych z chłodzeniem mieści się w zakresie 9–15%. Opisana sytuacja zmieni się wraz z wprowadzeniem wymagań WT2021. Udział oświetlenia straci na znaczeniu i będzie wynosił 24–60% przy wentylacji grawitacyjnej oraz 23–43% przy wentylacji nawiewno-wywiewnej z układem chłodzenia, podczas gdy udział przygotowania ciepłej wody użytkowej sięgnie nawet 50%.

Przygotowanie ciepłej wody użytkowej stanowi dominujący składnik bilansu ciepła budynku zamieszkania zbiorowego. Jak podano w **tabeli 6**, udział wskaźnika zapotrzebowania na energię użytkową na potrzeby ciepłej wody EU_W wynosi 53–76% łącznego zapotrzebowania na energię wraz z ogrzewaniem i wentylacją EU_{H+W}, w zależności od zastosowanego systemu wentylacji i standardu ochrony cieplnej. Jednostkowe zużycie ciepłej wody jest stosunkowo wysokie w budynkach zamieszkania zbiorowego i wyższe niż w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Wzrost izolacyjności cieplnej przegród budowlanych poprawia bilans ciepła do ogrzewania budynku, przy niezmienionych potrzebach w zakresie ciepłej wody użytkowej. Udział EP_W w EP_{H+W} wynosił w omawianym obiekcie 49–75% i miał tendencję rosnącą wraz z wpro-

System wentylacji	Udział EU _W w EU _{H+W} [%]		
	WT2014	WT2017	WT2021
Wentylacja grawitacyjna	53	55	57
Wentylacja mechaniczna wywiewna	61	63	66
Wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła	70	73	76

Tabela 6. Udział przygotowania ciepłej wody użytkowej EU_W w zapotrzebowaniu na energię użytkową EU_{H+W}



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)

wadzanymi usprawnieniami i oszczędnością energii w systemie wentylacji.

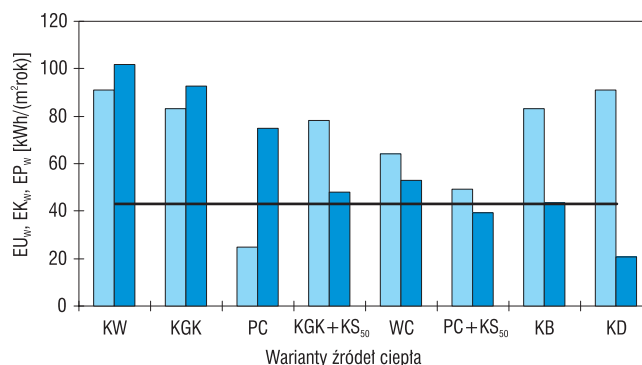
Najbardziej istotny wpływ na zapotrzebowanie na energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody ma rodzaj źródła ciepła. Sprawność systemu przygotowania ciepłej wody zmienia znacząco zapotrzebowanie na energię końcową E_{Kw} , a wskaźnik nakładu w_i zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP_w . Jak pokazano na **rys. 3**, najniższym zapotrzebowaniem na energię końcową charakteryzuje się sprężarkowa pompa ciepła (PC), jednak w zakresie energii pierwotnej najkorzystniejsza jest kotłownia na biomasę drzewną (KD). Zastosowanie odnawialnych źródeł energii lub kogeneracji zdecydowanie poprawia wskaźnik EP_w . Przykładowo zainstalowanie kolektorów słonecznych pokrywających 50% rocznego zapotrzebowania na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej wraz z kotłownią gazową kondensacyjną (KGK + KS_{50}) spowodowało obniżenie wskaźnika EP_w o 48% w porównaniu z rozwiązaniem z samą kotłownią (KGK). Oszczędności energii pierwotnej na poziomie 17% może przynieść poprawa sprawności przesyłu ciepłej wody z 70 na 85%, jeżeli taką efektywność udało by się potwierdzić szczegółowymi obliczeniami.

Cząstkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania i wentylacji EP_H jest kształtowane przez system wentylacji budynku oraz standard ochrony cieplnej (**rys. 4**). Najbardziej niekorzystne warunki występują przy pozbawionej możliwości regulacji wentylacji grawitacyjnej (WGr). Zmiana wentylacji grawitacyjnej na mechaniczną wywiewną (WW) spowodowała w rozważanym budynku zmniejszenie wskaźnika EP_H o 10–21% przy wymaganiach WT2017 (**rys. 4a**). Wraz ze zmianą mechanicznej wentylacji wywiewnej na nawiewno-wy-

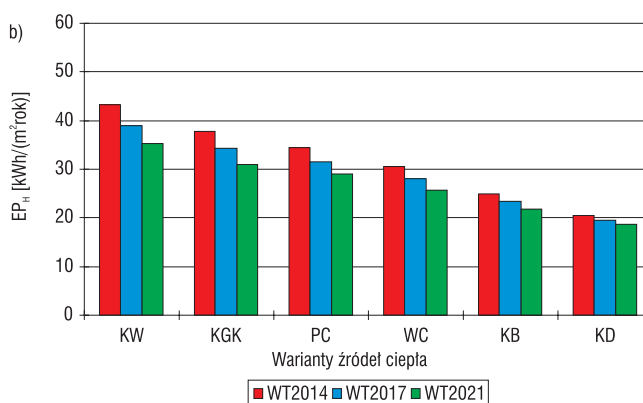
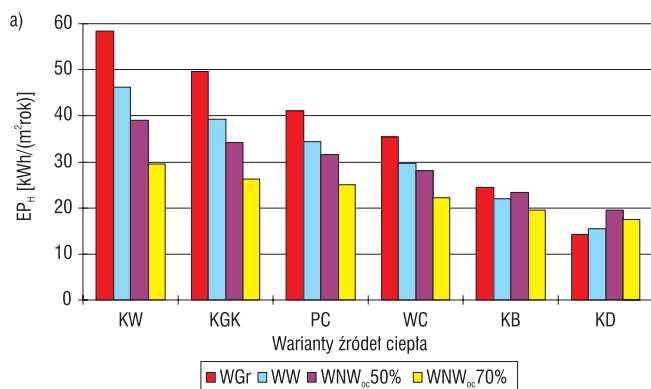
wiewną z odzyskiem ciepła o średniorocznej sprawności 50% ($WNW_{oc50\%}$) EP_H zostało zredukowane o 8–16%. Wzrost średniorocznej efektywności odzysku ciepła do 70% przyniósł kolejne 11–25% zysku ($WNW_{oc70\%}$). Wyjątek od ogólnej reguły stanowią kotłownie na biogaz/drewno (KB/KD), przy których bilans zapotrzebowania na energię pierwotną był w niektórych przypadkach ujemny z uwagi na wpływ energii pomocniczej dostarczanej z sieci elektroenergetycznej przy wentylacji mechanicznej. Wpływ standardu ochrony cieplnej pokazano na przykładzie wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła o skuteczności 50%. Wraz z każdą zmianą wymagań postawionych w warunkach technicznych [2] nastąpiła w analizowanym budynku poprawa wskaźnika EP_H o 4–10% (**rys. 4b**). Porównywalne zmiany wystąpiły przy innych systemach wentylacji.

Wpływ systemu wentylacji na łączne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej EP_{H+W}

pokazano na **rys. 5**. Został on częściowo zniwelowany z uwagi na znaczący udział ciepłej wody użytkowej w kształtowaniu tego wskaźnika. Zastąpienie wentylacji grawitacyjnej (WGr) mechaniczną wentylacją wywiewną (WW) spowodowało redukcję zapotrzebowania o 3–11% w zależności od źródła ciepła, w obu standardach ochrony cieplnej (**rys. 5**). Redukcja zapotrzebowania towarzysząca zmianie mechanicznej wentylacji wywiewnej na nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła o skuteczności 50% ($WNW_{oc50\%}$) wyniosła w rozważanym obiekcie 4–5%. Zwiększenie efektywności odzysku ciepła z 50 do 70% przyczyniło się do poprawy o kolejne 5–10%. Wyjątek stanowią kotłownie na biogaz/biomasę (KB/KD), przy których występował wzrost wskaźnika EP_{H+W} spowodowany nakładem pomocniczej energii elektrycznej potrzebnej do napędu wentylatorów. Zróżnicowanie wskaźników EP_{H+W} pomiędzy wariantami WT2017 i WT2021 wynosi 2–4%. Przy wykorzystaniu kotłowni zasilanych paliwami konwencjonalnymi (KW, KGK) oraz sprężarkowej



Rys. 3. Wartości wskaźników cząstkowych EUW, EKw i EPw przy zasilaniu instalacji ciepłej wody użytkowej z wybranych źródeł ciepła



Rys. 4. Wartości wskaźnika EP_H przy wybranych źródłach ciepła, odpowiadające różnym systemom wentylacji w standardzie WT2017 (a) oraz różnym standardom ochrony cieplnej przy mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej (b)

pompy ciepła (PC) nie zapewniono wymaganej wartości EP_{H+W} w budynku hotelowym wybudowanym w aktualnym standardzie WT2017 (rys. 5a). Ponadto przy kotłowni gazowej wspomaganej kolektorami słonecznymi (KGK+KS₅₀) oraz węźle ciepłowniczym (WC) nie byłoby możliwe zastosowanie wentylacji grawitacyjnej. W warunkach zastrzonych wymagań WT2021 wystąpiły przekroczenia $EP_{H+W,max}$ nawet w przypadku źródeł wykorzystujących energię odnawialną lub kogenerację (KGK+KS₅₀, WC, PC+KS₅₀), przy różnych wariantach wentylacji (rys. 5b). Wyniki te są bardziej niekorzystne w porównaniu z analogicznym budynkiem pełniącym funkcję mieszkalnego wielorodzinnego (porównaj: [13]) i wskazują na konieczność zastosowania dodatkowych usprawnień.

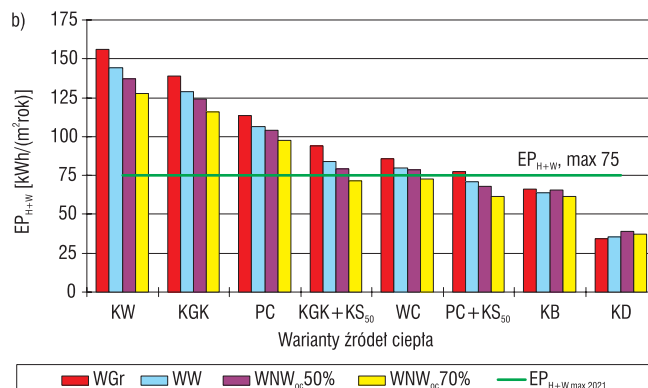
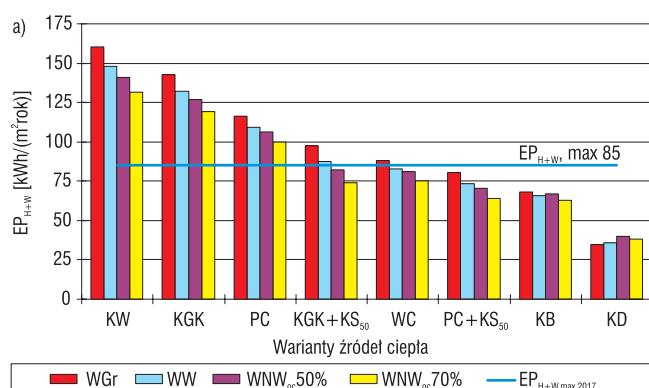
Jednym z usprawnień zyskującym na popularności jest zapewnienie wysokiej szczelności budynku, potwierdzonej przeprowadzoną próbą. W wariancie wyjściowym zastosowano krotność wymian $n_{50} = 4 \text{ h}^{-1}$, natomiast wyniki na rys. 6 pokazują wartości odpowiadające $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$. Dzięki temu zabiegowi

uzyskano poprawę wskaźnika EP_{H+W} o 1–10% w zależności od systemu wentylacji i źródła ciepła. W efekcie można by zarekomendować więcej konfiguracji systemów technicznych spełniających wymagane standardy. Jednak tylko źródła ciepła wspomagane przynajmniej energią odnawialną lub kogeneracją byłyby akceptowalne. Pozostałe niewielkie deficyty widoczne w niektórych rozwiązaniach mogłyby zostać wyrównane przez wspomaganie energii pomocniczej zasilaniem z systemów fotowoltaicznych.

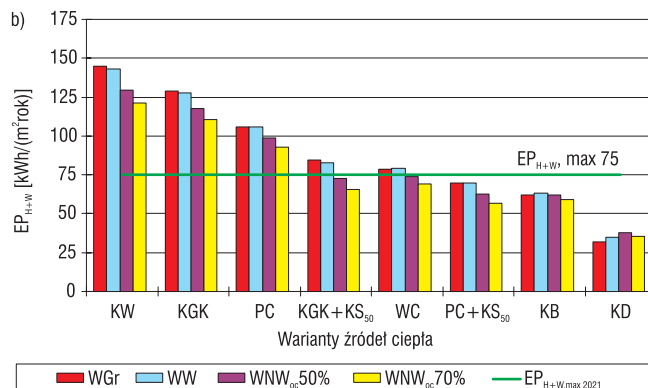
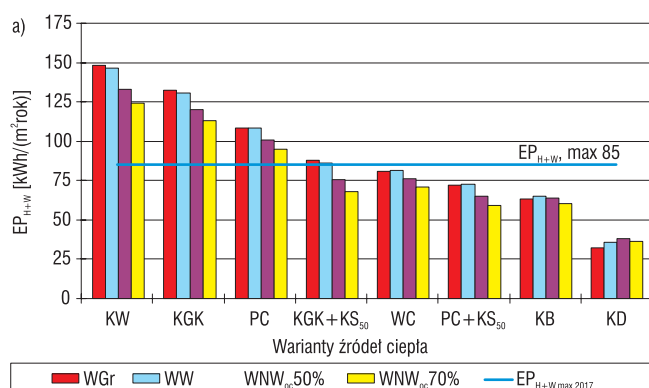
Skumulowany wpływ usprawnień polegających na zastosowaniu wysokiej szczelności budynku ($n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$), wysokiej efektywności odzysku ciepła w systemie wentylacji ($\eta_{oc} = 70\%$) oraz wysokiej sprawności przesyłu ciepłej wody użytkowej ($\eta_{W,d} = 85\%$) znacząco poprawił zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną EP_{H+W} w stosunku do wartości pokazanych na rys. 5. Wszystkie źródła ciepła na rys. 7 poza kotłownią na węgiel (KW), kotłownią gazową kondensacyjną (KGK) i pompą ciepła (PC) jako samodzielnym źródłem spełniły wymagania przepisów techniczno-

-budowlanych [2], niezależnie od systemu wentylacji. W aktualnym standardzie WT2017 odpowiednia byłaby także sprężarkowa pompa ciepła w konfiguracji z wentylacją nawiewno-wywiewną z wysokosprawnym odzyskiem ciepła.

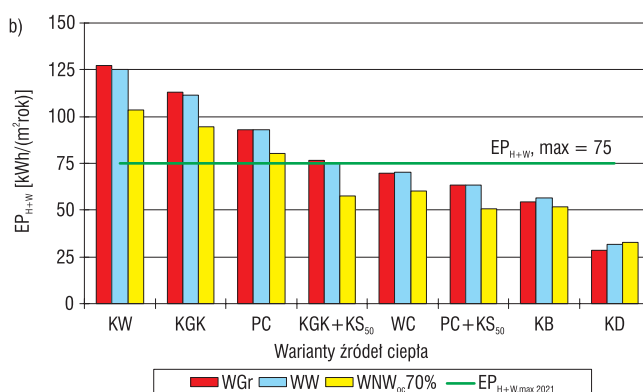
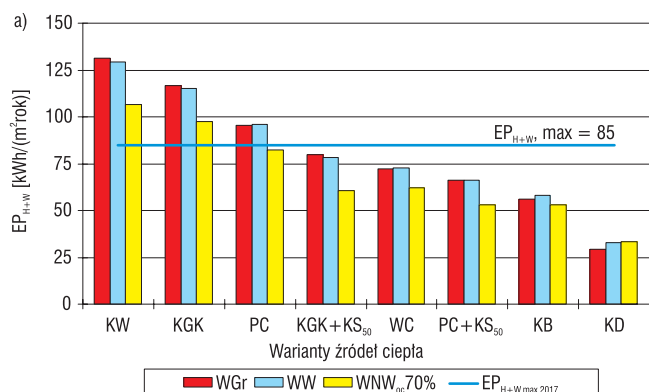
W dotychczasowych rozważaniach zakładano, że wentylacja mechaniczna działa ze stałym strumieniem 24 h/d, niezależnie od obecności użytkowników. Zastosowanie wentylacji mechanicznej stwarza jednak możliwości sterowania i dostosowania do sposobu użytkowania budynku. W budynkach hotelowych wyposażonych w wentylację mechaniczną wywiewną standardowym rozwiązaniem jest włączanie jej wraz z oświetleniem w łazience. Przy wentylacji mechanicznej z nawiewem w pokojach i wywiewem w łazienkach istnieje podobna możliwość, w tym z zastosowaniem indywidualnego sterowania przez użytkownika. Zakładając średnie wykorzystanie pokoi 11 h/d oraz średnie obciążenie pokoi 0,6 (analogicznie do współczynnika nierównomierności użytkowania instalacji ciepłej wody użytkowej), przy niezmiennych pozostałych założeniach wy-



Rys. 5. Wartości wskaźnika EP_{H+W} odpowiadające różnym systemom wentylacji, przy wybranych źródłach ciepła oraz standardzie ochrony cieplnej zgodnie z wymaganiami: WT2017 (a), WT2021 (b)



Rys. 6. Wartości wskaźnika EP_{H+W} przy $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$, wybranych źródłach ciepła oraz standardzie ochrony cieplnej odpowiadającym wymaganiom: WT2017 (a), WT2021 (b)



Rys. 7. Wartości wskaźnika EP_{H+W} przy $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$, $\eta_{OC} = 70\%$, $\eta_{Wd} = 85\%$, przy wybranych źródłach ciepła oraz standardzie ochrony cieplnej odpowiadającym wymaganiom: WT2017 (a), WT2021 (b)

ściowych, uzyskano wyniki bardziej korzystne w porównaniu z wynikami pokazanymi na rys. 5. Zobrazowano je na rys. 8 dla przypadku mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła o skuteczności 50% i regulowanym strumieniu powietrza. Aktualne wymagania zgodne ze standardem WT2017 spełniły wszystkie źródła ciepła poza kotłowniami na paliwa konwencjonalne (KW, KGK). Natomiast wymagań budynku o niskim zużyciu energii (WT2021) nie udało się dodatkowo spełnić samodzielnej sprężarkowej pompy ciepła (PC).

Porównywalne wyniki dotyczą mechanicznej wentylacji wywiewnej. Warunkiem zastosowania takiego rozwiązania jest zapewnienie przynajmniej minimalnego strumienia powietrza świeżego wymaganego ze względów higieniczno-sanitarnych w okresie użytkowania pokoi, z ograniczeniem tego strumienia poza tym okresem. Nadmierne oszczędności w zakresie wentylacji mogą bowiem prowadzić do pogorszenia warunków

mikroklimatu pomieszczeń z negatywnymi skutkami dla użytkowników i budynku.

Instalację wody chłodzącej uwzględniono tylko w budynku wyposażonym w wentylację mechaniczną. Zakładana temperatura w strefie chłodzenia wynosiła 26°C . Przewidziano system zdecentralizowany z klimatyzatorami przy wentylacji wywiewnej ($SEER = 4,1$) oraz centralny agregat sprężarkowy ze skraplaczem chłodzonym powietrzem zasilaający chłodnice w centralach przy wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła ($SEER = 3,2$). Przy podstawowym profilu użytkowania (24 h/d) uzyskano w pierwszym przypadku dużo niższe niż wymagane zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do chłodzenia EP_C : 8–9 kWh/(m² rok) przy różnych standardach ochrony cieplnej. W drugim przypadku wartości te mieściły się w przedziale 23–26 kWh/(m² rok), przekraczając w standardzie WT2021 wartość maksymalną równą 25 kWh/(m² rok).

Wyższe wartości uzyskane przy wentylacji nawiewno-wywiewnej w porównaniu z wentylacją wywiewną są tylko częściowo wynikiem niższego wskaźnika efektywności wytworzenia chłodu $SEER$ w przyjętych systemach chłodzenia. O wyniku decyduje bowiem bilans strat i zysków ciepła. Wzrost wartości obliczeniowych EP_C towarzyszył także wzrostowi wymagań w zakresie ochrony cieplnej budynku. Prawidłowość ta jest związana z mniejszymi stratami ciepła (wentylacyjnymi/przenikania przez

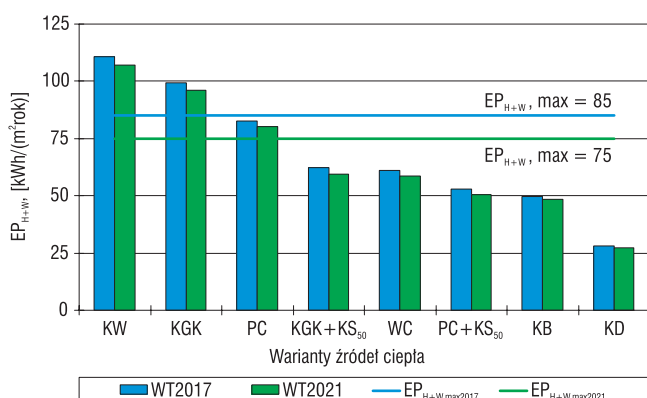
przegrody), wyższym zapotrzebowaniem na chłód użytkowy, wydłużeniem sezonu chłodniczego i w konsekwencji wyższym zapotrzebowaniem na energię końcową do chłodzenia. Zastosowanie opcji free cooling powodującej wzrost efektywności wytworzenia chłodu lub elementów zacieniających o niższym współczynniku redukcji promieniowania słonecznego pozwala na zniwelowanie niewielkiego przekroczenia wskaźnika EP_C .

Wnioski

Opracowanie stanowi studium przypadku budynku zamieszkania zbiorowego o funkcji hotelowej i tradycyjnej konstrukcji. Charakterystyka energetyczna budynku ma charakter indywidualny i zależy od przyjmowanych założeń, jednak generalne wnioski, zależności i trendy można uznać za uniwersalne i reprezentatywne dla tej grupy budynków.

Strukturę zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną budynku hotelowego kształtuje w dużym stopniu oświetlenie wbudowane z udziałem rosnącym wraz ze wzrostem wykorzystania energii odnawialnej w źródłach ciepła. W warunkach zastrzonych wymagań 2021 r. konieczne będzie wprowadzenie istotnych działań energooszczędnych. Drugim ważnym składnikiem bilansu jest ciepła woda użytkowa. Jej znaczenie rośnie szczególnie przy zasilaniu ze źródeł konwencjonalnych, a także przy wprowadzaniu usprawnień w systemie wentylacji budynku. Ogrzewanie i wentylacja z najmniejszym udziałem w całkowitym bilansie energii pierwotnej daje najwięcej możliwości poprawy.

O wynikach osiągniętych w systemie przygotowania ciepłej wody użytkowej decyduje przede wszystkim źródło ciepła. Wspomaganie źródeł konwencjonalnych energią odnawialną lub kogeneracją daje znaczące oszczędności,



Rys. 8. Wartości wskaźnika EP_{H+W} przy wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła i regulowanym strumieniem powietrza, wybranych źródeł ciepła oraz standardach ochrony cieplnej WT2017 i WT2021

które warto połączyć z wysoką sprawnością przesyłu i akumulacji ciepłej wody.

Wpływ systemu wentylacji na zapotrzebowanie na energię pierwotną budynku jest największy przy źródłach zasilanych energią konwencjonalną. Znaczący udział przygotowania ciepłej wody użytkowej redukuje wpływ działań przynoszących oszczędności w systemie wentylacji na wskaźnik EP_{H+W} obejmujący ogrzewanie, wentylację i przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Daje się także zauważyć negatywny wpływ zapotrzebowania na energię pomocniczą. Każda zmiana polegająca na zastąpieniu wentylacji grawitacyjnej mechaniczną wywiewną, a tej z kolei wentylacją nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła pozwalała na stopniowe obniżanie zapotrzebowania, maksymalnie o 10%. Podobną poprawę uzyskano dzięki podwyższeniu szczelności budynku.

Uzyskanie wartości EP_{H+W} zgodnych z przepisami techniczno-budowlanymi okazało się trudnym zadaniem przy zastosowaniu typowych rozwiązań źródeł ciepła. W rozważanym obiekcie konieczne było połączenie różnych usprawnień obejmujących wysoką szczelność budynku, wysoką skuteczność odzysku ciepła i wysoką sprawność przesyłu ciepłej wody użytkowej. Alternatywnie znaczącą redukcję zapotrzebowania na energię pierwotną uzyskano przy zastosowaniu wentylacji mechanicznej o regulowanym strumieniu powietrza, dostosowanym do obecności użytkowników, przy zachowaniu właściwych warunków środowiska wewnętrznego. W każdym proponowanym

wariantcie niezbędny był udział odnawialnych źródeł energii lub kogeneracji.

Przy zastosowaniu typowych rozwiązań chłodzenia centralnego i zdecentralizowanego nie stwierdzono istotnych problemów ze spełnieniem wymagań przepisów w zakresie wskaźnika EP_C . Możliwości poprawy zapotrzebowania na energię do chłodzenia kryją się w wysokiej sprawności całkowitej systemu chłodzenia, ograniczeniu dostępu promieniowania słonecznego oraz dopasowaniu temperatury w strefie chłodzenia, z zachowaniem wymagań komfortu cieplnego.

Przepisy prawne stawiają wysokie wymagania użytkowanim i wentylowanym całodobowo budynkom charakteryzującym się jednocześnie znaczącym zużyciem ciepłej wody użytkowej. Budynki zamieszkania zbiorowego już obecnie wymagają zastosowania wielu usprawnień w celu utrzymania na właściwym poziomie zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Warunki te są trudniejsze do spełnienia w porównaniu do analogicznych budynków mieszkalnych wielorodzinnych. Standard budynku o niskim zużyciu energii stanowi kolejne poważne wyzwanie stawiające charakterystykę energetyczną jako nadrzędne kryterium w wyborze rozwiązań technicznych.

Literatura

1. Nowak B., *Kryteria środowiska wewnętrznego wg PN-EN 15251*, „Rynek Instalacyjny” nr 3/2008, s. 32–38.
2. 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).

3. PN-B-02403:1982 *Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne*.
4. PN-B-03421:1978 *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*.
5. PN-B-03430:1983/Az3:2000 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania*.
6. PN-EN 15193:2010 *Charakterystyka energetyczna budynków. Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia*.
7. PN-EN 15251:2012 *Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę*.
8. PN-EN ISO 13790:2009 *Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia*.
9. 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).
10. *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.
11. 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).
12. Zaborowska E., *Analiza zapotrzebowania na energię pierwotną budynków użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego*, „Instal” nr 2/2011, s. 52–57.
13. Zaborowska E., *Charakterystyka energetyczna budynków mieszkalnych wielorodzinnych w perspektywie wymagań 2017–2021*, „Rynek Instalacyjny” nr 1–2/2017, s. 52–59.