



Polskie Stowarzyszenie
Producentów Styropianu

KORZYŚCI ZE STOSOWANIA PŁYT STYROPIANOWYCH W OCIEPLENIACH BUDYNKÓW



Oszczędność
energii



Szybki zwrot
kosztów
inwestycji



Brak szkodliwych
emisji do
pomieszczeń



Ograniczenie
emisji do
powietrza



Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.
Warszawa, styczeń 2023

AUTORZY:

Arkadiusz Węglarz

Karolina Junak

Dariusz Koc

Wioleta Krekora

Robert Mizieliński

Anne-Claire Burchiellaro

Michał Pierzchalski

Anna Wierzchołowska-Dziedzic

Joanna Ogrodniczuk

KORZYŚCI ZE STOSOWANIA PŁYT STYROPIANOWYCH W OCIEPLENIACH BUDYNKÓW

Analiza ekonomicznych i środowiskowych korzyści jakie w cyklu użytkowania budynku przyniesie inwestorom, użytkownikom i środowisku ocieplenie przegród budynku z zastosowaniem płyt styropianowych w sposób zapewniający uzyskanie standardów, które obowiązują od 31 grudnia 2020 r., zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U.2002 nr 75, poz. 690) z późn.zm.

SPIS TREŚCI

1.	Wstęp.....	6
1.1.	Przedmiot i zakres pracy.....	6
1.2.	Metodologia wykonania pracy.....	7
1.3.	Podstawowe definicje.....	8
2.	Opis budynków modelowych.....	16
3.	Szczegółowy opis założeń obliczeniowych.....	22
3.1.	Geometria budynku.....	22
3.2.	Rozwiązania w zakresie ochrony cieplnej budynków.....	23
3.3.	Rozwiązania w zakresie technik instalacyjnych.....	23
3.4.	Rozwiązania w zakresie zastosowania odnawialnych źródeł energii.....	24
3.5.	Opis standardowych warunków i sposobu użytkowania budynków.....	24
3.6.	Opis innych niezbędnych założeń obliczeniowych.....	26
4.	Właściwości i zalety płyt styropianowych.....	27
4.1.	Ekonomiczne korzyści z wyboru płyt styropianowych.....	33
4.2.	Wpływ na środowisko stosowania izolacji z płyt styropianowych.....	34
5.	Szczegółowy opis metody obliczeniowej wykorzystanej w symulacjach.....	38
6.	Wpływ zastosowanej technologii ocieplenia przegród oraz sposobu dostarczania ciepła na zmianę zapotrzebowania na ciepło.....	41
7.	Wycena kosztów związanych ze zmianami standardu ochrony cieplnej.....	54
8.	Wyniki symulacji zmian zapotrzebowania na energię oraz kosztów energii i całkowitych kosztów użytkowania.....	58
9.	Zasady doboru optymalnej grubości ocieplenia.....	69
10.	Ocena korzyści dla inwestora.....	79
11.	Ocena korzyści dla społeczeństwa.....	82
12.	Opis oraz ocena wpływu na wyniki optymalizacji standardu ochrony cieplnej budynku tzw. kosztów zewnętrznych	104
13.	Podsumowanie i wnioski.....	117

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot i zakres pracy

Przedmiotem opracowania jest analiza ekonomicznych i środowiskowych korzyści jakie w cyklu użytkowania budynku przyniesie inwestorom, użytkownikom i środowisku ocieplenie przegród budynku z zastosowaniem płyt styropianowych w sposób zapewniający uzyskanie standardów, które obowiązują od 31 grudnia 2020 r. zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz. U. 2002 nr 75, poz. 690) z późn. zm.

Możliwości spełnienia obowiązujących wymagań w zakresie ochrony cieplnej budynków i skutki wzrostu standardu energetycznego oceniono analizując efektywność ekonomiczną i ekologiczną różnych wariantów rozwiązań w zakresie ochrony cieplnej, technik instalacyjnych i źródeł energii dla poszczególnych typów budynków (biurowy, mieszkalny jednorodzinny, mieszkalny wielorodzinny).

Optymalizację standardu energetycznego budynków oraz doboru optymalnej grubości i parametrów ocieplenia przeprowadzono metodą szacowania kosztu w cyklu życia obiektu (LCC, Life Cycle Cost) z uwzględnieniem albo nieuwzględnieniem tzw. kosztów zewnętrznych, która polegała na:

1. Zdefiniowaniu trzech standardów energetycznych dla nowych budynków na potrzeby wykonania porównań i oceny opłacalności realizacji budynków w poszczególnych standardach zależnych głównie od izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych.
2. Określeniu modeli obliczeniowych w zakresie określenia zapotrzebowania na ciepło i dla poszczególnych standardów energetycznych i rodzajów budynków z różnymi nośnikami energii.
3. Określeniu niezbędnych dla poszczególnych standardów energetycznych budynków poziomów izolacyjności cieplnej przegród (grubości ociepleń przegród ze styropianu).
4. Określeniu dla poszczególnych wariantów kosztów realizacji inwestycji polegającej na budowie nowego budynku oddzielnie dla każdego rodzaju budynku, jego standardu energetycznego oraz zastosowanego nośnika energii (łącznie 90 wariantów).
5. Określeniu dla poszczególnych wariantów zdyskontowanych (analiza w bieżącej wartości pieniądza) dla okresu 20-letniego kosztów eksploatacyjnych budynków (głównie kosztów energii).
6. Obliczenie wielkości LCC dla wszystkich wariantów celem porównania ich między sobą i dokonania oceny opłacalności wzrostu standardu energetycznego tych budynków w zależności od zastosowanego nośnika energii.

Zaproponowana metodyka jest praktycznie jedyną obiektywną, dającą miarodajne i obiektywne wyniki umożliwiające wskazanie rozwiązania najkorzystniejszego z ekonomicznego punktu widzenia.

Zakres niezbędnych na potrzeby analizy prac obejmował:

1. Przyjęcie rodzajów budynków do analizy.
2. Przyjęcie i zdefiniowanie porównywanych standardów energetycznych (zależnych głównie od izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych).
3. Opracowanie i zbudowanie modeli energetycznych umożliwiających wykonanie symulacji zapotrzebowania na ciepło dla poszczególnych standardów.
4. Przyjęcie rodzajów (listy) nośników energii, od których zależą rozwiązania instalacyjne.
5. Określenie kosztów realizacji inwestycji dla poszczególnych rodzajów budynków, standardów energetycznych i nośników energii (90 wariantów) jako podstawowego składnika kosztu LCC.
6. Określenie kosztów eksploatacji (głównie energii) dla poszczególnych wariantów j.w. na potrzeby obliczenia kolejnego składnika kosztu LCC.
7. Zdyskontowanie kosztów eksploatacji dla założonego okresu, jako kolejnego składnika kosztu LCC.
8. Obliczenie kosztów LCC dla poszczególnych wariantów.
9. Analiza i porównanie kosztu LCC dla poszczególnych wariantów oraz sformułowanie wniosków.
10. Ocenę wpływu na środowisko dla poszczególnych wariantów i standardów energetycznych (redukcji emisji zanieczyszczeń).

Przyjęta metoda analizy w oparciu o porównanie LCC dla poszczególnych wariantów daje możliwość nie tylko jednoznacznej oceny ich opłacalności i wyboru rozwiązania najkorzystniejszego, ale (z uwagi na zmienność dynamiki cen materiałów i wykonawstwa oraz nośników energii) stanowić wytyczne w zakresie wyboru rozwiązania optymalnego.

1.2 Metodologia wykonania pracy

Na potrzeby analizy możliwych rozwiązań technicznych i standardów ochrony cieplnej, w tym różnej grubości ociepleń o różnych parametrach zapewniających spełnienie co najmniej wymagań WT 2021 zdefiniowano trzy typy budynków modelowych (referencyjnych):

- a. biurowego,
- b. mieszkalnego wielorodzinnego,
- c. mieszkalnego jednorodzinного (około 150 m² p. u.)

Przeprowadzono porównawczą symulację efektów zastosowania możliwych rozwiązań, która obejmowała następujące założenia obliczeniowe:

- a. geometrię budynku,
- b. rozwiązania w zakresie ochrony cieplnej,
- c. rozwiązania w zakresie technik instalacyjnych,
- d. rozwiązania w zakresie zastosowania odnawialnych źródeł energii,

- e. opis standardowych warunków i sposobu użytkowania budynków,
- f. opis innych niezbędnych założeń obliczeniowych.

Przeanalizowano właściwości i obiektywne zalety płyt styropianowych do poszczególnych zastosowań w budownictwie w szczególności wpływające na: (1) uzyskanie przez budynek wysokiego standardu ochrony cieplnej, (2) ekonomiczne i korzyści z ich wyboru i zastosowania dla inwestora lub użytkownika budynku oraz (3) korzyści z ich wyboru i zastosowania dla środowiska.

Symulacje i analizy zmian zapotrzebowania na ciepło wykonano dla trzech wariantów obejmujących wzrost standardu ochrony cieplnej – w zależności od zmian izolacyjności cieplnej przegród oraz zastosowania dostępnych technologii energooszczędnych z uwzględnieniem możliwości dojścia do standardu pasywnego.

W drodze symulacji przeanalizowano również zmiany zapotrzebowania na energię oraz kosztów energii i całkowitych kosztów użytkowania z uwzględnieniem zmiennych kosztów serwisu dla wariantów obejmujących zmianę podstawowych nośników energii (węgiel, ciepło sieciowe, gaz ziemny, olej opałowy, LPG) oraz obliczenia zmiany zdyskontowanych kosztów w cyklu użytkowania budynków (w tym np. całkowitego wydatku mieszkaniowego dla budynków mieszkalnych).

Wycenę kosztów związanych ze zmianami standardu ochrony cieplnej dla poszczególnych wariantów ocieplenia przegród zewnętrznych – ściany, podłoga na gruncie, dach albo stropodach, przeprowadzono w oparciu o dane SEKOCENBUD oraz o rynkowe wyceny prac dla rozwiązań niestandardowych.

Zasady doboru optymalnej grubości ocieplenia określono metodą szacowania kosztu cyklu życia (LCC, Life Cycle Cost).

Ocenę korzyści dla inwestora i użytkownika przeprowadzono w oparciu o kryteria ekonomiczne oraz użytkowe systemów grzewczych.

Ocenę korzyści dla społeczeństwa i środowiska przeprowadzono w oparciu o dane dotyczące wielkości redukcji: CO₂, NO_x, SO₂, pyłów dla poszczególnych wariantów budynków i wariantów ocieplenia.

1.3 Podstawowe definicje

Poniżej podano definicje podstawowych pojęć stosowanych w opracowaniu, związanych z wdrażaniem Dyrektywy 31/2010/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, opracowane przez Komisję Europejską oraz Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U.2002 nr 75, poz. 690) z późn.zm.:

Standard energetyczny budynku - określa maksymalną dopuszczalną wielkość zużycia przez budynek energii pierwotnej, końcowej albo użytkowej, wyrażoną najczęściej w kWh/(m²·rok). Standardy mogą być narzucone prawnie (Rozporządzenie Ministra właściwego ds. budownictwa w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i usytuowanie, Dyrektywa EPBD) lub zostać stworzone przez twórców technologii. W niniejszym opracowaniu analizom

poddano trzy rodzaje budynków modelowych: jednorodzinny, wielorodzinny oraz biurowy, każdy w trzech standardach energetycznych: w standardzie niskoenergetycznym (WT2021), podwyższonym standardzie EU20 i standardzie pasywnym.

Budynek niskoenergetyczny – jest to budynek odpowiadający standardom Warunków Technicznych 2021, czyli wskaźnik EP oraz izolacyjność cieplna przegród nie może przekroczyć wartości dla danej kategorii.

Tabela 1. Maksymalną wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/(m²*rok)]

Rodzaj budynku	Maksymalna wartość wskaźnika EP [kWh/(m ² *rok)] od 1 stycznia 2021 r.
Budynek mieszkalny jednorodzinny	70
Budynek mieszkalny wielorodzinny	65
Budynek biurowy lub administracyjny	95

Źródło: rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz. U. 2002 nr 75, poz. 690) z późn. zm.

Tabela 2. Wybrane wartości współczynnika przenikania ciepła U_c

Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_c(\max)$ [W/(m ² *K)]
Ściany zewnętrzne: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,20
Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,15
Podłogi na gruncie: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,30
Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,25

Źródło: rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz. U. 2002 nr 75, poz. 690) z późn. zm.

Tabela 3. Wybrane wartości współczynnika przenikania ciepła U

Okna, drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne	Współczynnik przenikania ciepła $U(\max)$ [W/(m ² *K)]
Okna (z wyjątkiem okien połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,90
Okna połaciowe: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	1,10
Drzwi w przegrodach zewnętrznych lub w przegrodach między pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi	1,30

Źródło: rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz. U. 2002 nr 75, poz. 690) z późn. zm.

Budynek o podwyższonym standardzie EU20 – jest to budynek ze współczynnikiem EU_{co} (zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji) o wartości maksymalnej 20 kWh/(m²*rok), wykorzystujący energię odnawialną.

Budynek netto zero energetyczny (nZEB) – jest to budynek o bardzo wysokiej efektywności energetycznej zazwyczaj podłączony do systemu elektroenergetycznego. W bilansie energii

pierwotnej budynku netto zero energetycznego ilość energii (odniesionej do energii pierwotnej) dostarczanej z sieci zewnętrznych równa jest ilości energii (odniesionej do energii pierwotnej) wyeksportowanej do sieci. Roczny bilans energii pierwotnej na poziomie 0 kWh/(m²·a) prowadzi do sytuacji, w której znaczna część energii wyprodukowanej na miejscu będzie dostarczana do zewnętrznej sieci elektroenergetycznej. Wynika to z charakterystyki budynku netto zero energetycznego, w którym produkcja energii odbywa się w odpowiednich warunkach, a gdy one nie występują, wykorzystywana jest energia dostarczana z zewnętrznych sieci. Warto dodać, że z koncepcją budynku netto zero energetycznego wiąże się koncepcja smart grid (inteligentnych sieci energetycznych) z uwagi na potrzebę prawidłowegoysterowania i optymalizacji pracy sieci w obliczu powszechnie występujących małych źródeł energii rozproszonej.

Budynek niemal netto zero energetyczny (nnZEB) – budynek określony przy wykorzystaniu reguły krajowego kosztu optymalnego zużywający więcej niż 0 kWh/(m²·a) energii pierwotnej.

Uwaga 1) Nie wszystkie technologie wykorzystujące energię odnawialną wykorzystane w budynkach o niemal zerowym zużyciu energii muszą być opłacalne, jeśli nie zostaną zastosowane odpowiednie zachęty finansowe.

Budynek pasywny – to budynek o bardzo niskim zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania – 15 kWh/(m²/rok), w którym komfort cieplny zapewniony jest dzięki wykorzystaniu pasywnych źródeł ciepła (mieszkańcy, urządzenia elektryczne, zyski słoneczne) oraz dzięki radykalnemu zmniejszeniu strat ciepła przez przenikanie i na wentylację (odzysk ciepła w systemie wentylacji). Dzięki temu budynek nie potrzebuje konwencjonalnych grzejników, a niezbędna ilość ciepła jest dostarczana przez dogrzewanie powietrza wentylacyjnego.

Tabela 4. Wymagania dla budynku pasywnego

Wymogi	Wartości
1. Zapotrzebowanie na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji budynku	≤ 15 kWh/m ² /rok
2. Maksymalne zapotrzebowanie na moc do ogrzewania budynku	≤ 10 W/m ²
3. Współczynnik przenikania ciepła przegród zewnętrznych	≤ 0,15 W/(m ² ·K)
4. Współczynnik przenikania ciepła przez okna przy współczynniku przepuszczalności energii słonecznej:	≤ 0,8 W/(m ² ·K) ≥ 50-60%
5. Szczelność powietrzna budynku n50	≤ 0,6 wym. /h
6. Sprawność rekuperatora przy poborze energii elektrycznej:	≥ 75%
oraz dopuszczalnym poziomie hałasu	≤ 0,45 Wh /m ³ dostarczanej objętości powietrza wentylacyjnego
7. Zużycie energii pierwotnej do zaspokojenia wszystkich potrzeb energetycznych domu	≤ 120 kWh/(m ² ·rok)
8. Brak mostków termicznych	Ψ ≤ 0,01 W/ m·K

Źródło: Instytut domów Pasywnych w Darmstadt

Budynek plus energetyczny – to budynek o dodatnim bilansie energii, co oznacza, że w bilansie rocznym budynek więcej energii produkuje niż sam zużywa. Dom taki może być zintegrowany ze stacją ładowania samochodów elektrycznych lub inteligentną siecią energetyczną.

Charakterystyka energetyczna budynku (EN 15316-1:2007) – jest to obliczona lub zmierzona ilość dostarczonej i wyeksportowanej energii aktualnie zużywana lub oszacowana na potrzeby zaspokojenia różnych potrzeb związanych ze standardowym użytkowaniem budynku, które może obejmować m.in.: energię na ogrzewanie, chłodzenie, wentylację, ciepłą wodę i oświetlenie.

Uwaga 1) Zgodnie z dyrektywą EPBD, charakterystyka energetyczna budynku powinna zostać wyrażona przez wskaźnik energii pierwotnej, określony na podstawie wartości współczynników nakładu energii pierwotnej dla poszczególnych nośników energii, wyznaczonych w oparciu o roczne średnie ważone krajowe lub regionalne, albo wartości szczegółowe dla produkcji energii w danym miejscu.

Uwaga 2) Sprzęt elektroenergetyczny jest uwzględniony w oryginalnej definicji z normy EN 15316-1:2007.

Energia dostarczona (PN-EN ISO 52000-1:2017-10) – energia odniesiona do danego nośnika energii, dostarczana do systemów technicznych budynku spoza granicy bilansowej, niezbędna do zaspokojenia potrzeb (np. ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, przygotowania ciepłej wody, oświetlenia, urządzeń itp.) lub do produkcji energii elektrycznej.

Energia wyeksportowana (EN 15603:2008) – energia odniesiona do danego nośnika energii, dostarczana przez systemy techniczne budynku poza granicę bilansową i zużywana poza nią.

Energia dostarczona netto (EN 15603:2008) – różnica pomiędzy energią dostarczoną a wyeksportowaną, wyrażona w odniesieniu do nośnika energii.

Energia pierwotna (wg Ustawy o efektywności energetycznej¹) – energia zawarta w pierwotnych nośnikach energii, pozyskiwanych bezpośrednio ze środowiska, w szczególności: węgla kamiennym energetycznym (łącznie z węglem odzyskanym z hałd), węgla kamiennym koksowym, węgla brunatnym, ropie naftowej (łącznie z gazoliną), gazie ziemnym wysokometanowym (łącznie z gazem z odmetanowania kopalń węgla kamiennego), gazie ziemnym zaazotowanym, torfie do celów opałowych oraz energię: wody, wiatru, słoneczną, geotermalną - wykorzystywane do wytwarzania energii elektrycznej, ciepła lub chłodu, a także biomasę w rozumieniu art. 2 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz. U. Nr 169, poz. 1199, z późn. zm.);

Energia finalna (końcowa) (wg Ustawy o efektywności energetycznej²) – energia lub paliwa w rozumieniu art. 3 pkt 3 ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. - Prawo energetyczne, z wyłączeniem paliw lotniczych i paliw w zbiornikach morskich, zużyte przez odbiorcę końcowego;

Energia użytkowa (wg metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej³) oznacza

- a. w przypadku ogrzewania budynku lub części budynku – energię przenoszoną z budynku lub części budynku do jego (jej) otoczenia przez przenikanie lub z powietrzem wentylacyjnym, pomniejszoną o zyski ciepła,

1 Dz. U. z 2020 r. poz. 264

2 Dz. U. z 2020 r. poz. 264

3 Dz. U. z 2015 r. poz. 376

- b. w przypadku chłodzenia budynku lub części budynku – zyski ciepła pomniejszone o energię przenoszoną z budynku lub części budynku do jego (jej) otoczenia przez przenikanie lub z powietrzem wentylacyjnym,
- c. w przypadku przygotowania ciepłej wody użytkowej – energię przenoszoną z budynku lub części budynku do jego (jej) otoczenia ze ściekami;

EP - wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną,

EK - wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową,

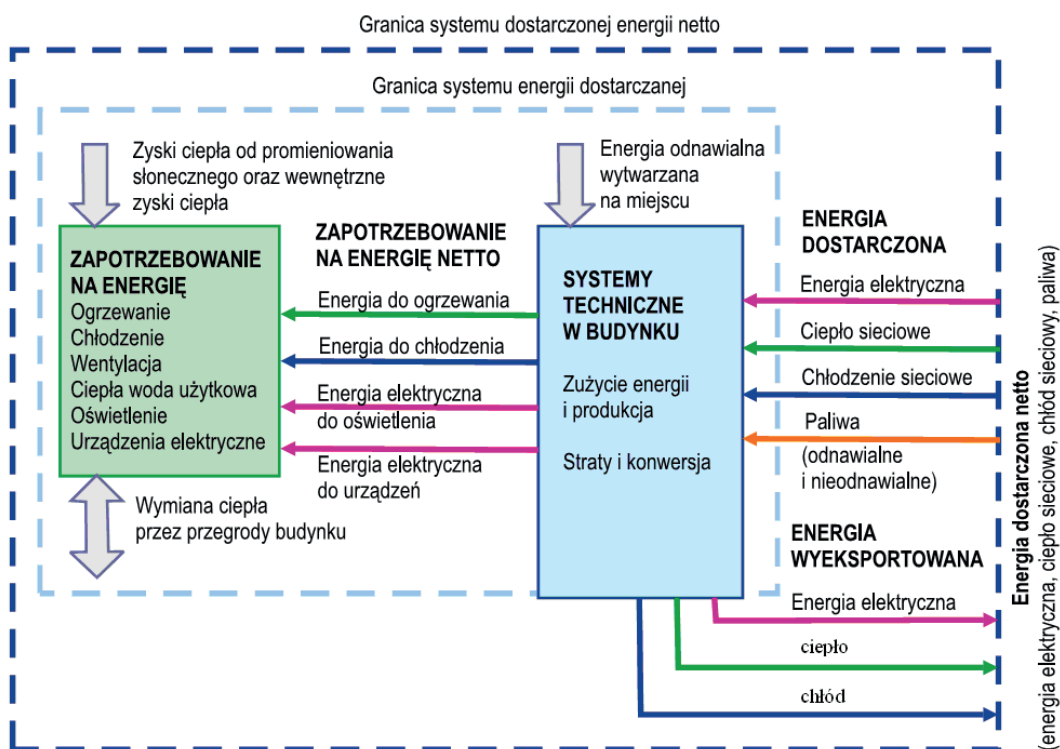
EU - wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową

Współczynnik emisji CO₂ (EN 15603:2008) – dla danego nośnika energii, ilość CO₂ emitowanego do atmosfery na jednostkę energii dostarczonej.

Uwaga 1) Współczynnik emisji CO₂ może również zawierać równoważną emisję innych gazów cieplarnianych (np. metanu).

Granica systemu (EN 15603:2008) – granica zawierająca wszystkie obszary związane z budynkiem (zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz budynku), gdzie zużywana lub produkowana jest energia. Pojęcie granicy systemu ilustruje rysunek 1.

Uwaga 1) Wszystkie obszary związane z budynkiem zazwyczaj oznaczają budynek i przynależną do niego działkę.



Rysunek 1 Pojęcie granicy systemu
Źródło: *Energia i Budynek 6/11*

Koszty [C] – suma początkowych kosztów inwestycyjnych i rocznych kosztów eksploatacyjnych wraz z okresowymi kosztami wymiany z powodu zmiany/naprawy części lub elementów budynku i ewentualnie koszty utylizacji występujące w danym roku.

Koszt globalny [C_g] – suma wartości bieżących wszystkich kosztów (w odniesieniu do roku początkowego) m.in. początkowych kosztów inwestycji, sumy kosztów eksploatacyjnych oraz kosztów wymiany pod koniec okresu obliczeniowego, a także w razie potrzeby kosztów usuwania oraz pozostałych wartości składników/elementów budynku/budynków jakie powinny być brane pod uwagę przy ustalaniu kosztu końcowego.

Uwaga 1) W przypadku budynków istniejących, obliczenia kosztów globalnych obejmują tylko dodatkowe koszty, które są bezpośrednio związane z działaniami zwiększającymi efektywność energetyczną wykraczającymi poza minimalne wymagania charakterystyki energetycznej i/lub cechy budynku referencyjnego. Prace remontowe i inwestycyjne nie dotyczące energii, takie jak np. remonty konstrukcji nośnych i komponentów budynku, które nie mają znaczącego wpływu na poprawę efektywności energetycznej, normalne prace konserwacyjne, koszty zastosowania rusztowań, uzyskania pozwolenia na wykonanie remontu nie zostały uwzględnione w kalkulacji kosztów w przypadku budynków istniejących. Składniki pełniące podwójną funkcję (np. materiał wykończeniowy na ścianach zewnętrznych, który znacząco przyczynia się do zwiększenia oporu cieplnego ściany w porównaniu do technologii budynku referencyjnego) poniesione w kosztach modernizacji należy uwzględnić proporcjonalnie, czyli jako koszt marginalny.

W przypadku nowych budynków (zarówno mieszkalnych jak i niemieszkalnych) dla których nie ma zdefiniowanych budynków referencyjnych, ale należy stosować te same kategorie, ocena kosztów optymalnych nowych budynków powinna być oparta na kalkulacji całkowitych kosztów działań na rzecz efektywności energetycznej i zastosowania odnawialnych źródeł energii. W odniesieniu do wymagań charakterystyki energetycznej, aktualnie obowiązujące wymagania dla budynków i ich elementów odnoszą się do minimalnego ich poziomu.

Przy określaniu globalnych kosztów działania, uwzględnione są koszty ponoszone przez inwestorów, w tym wszystkie należne podatki, ale bez dopłat. Koszty mają być oceniane na poziomie krajowym.

Globalne koszty budynków i elementów budynków są obliczane przez zsumowanie różnego rodzaju kosztów oraz stosowana jest stopa dyskontowa, w celu odniesienia ich do roku początkowego, następnie dodawane są koszty inwestycyjne.

Zrealizowane oszczędności energii w istniejących budynkach nie powinny być odnoszone do całkowitych kosztów wszystkich działań modernizacyjnych tylko do prognozowanych i ograniczone do dodatkowych, kosztów poprawy efektywności energetycznej istniejących budynków i elementów budowlanych.

Koszty utylizacji są zawarte w odpowiednich przypadkach i można je odjąć lub dodać do wartości końcowej zgodnie z % kosztów zawartych w załączniku A CEN 15459 do normy PN-EN 15459-1:2017.

Zaleca się stosowanie trzydziestoletniego okresu obliczeniowego w przypadku budynków mieszkalnych, a trzydziestopięcioletniego okresu obliczeniowego do budynków handlowych oraz budynków niemieszkalnych.

Pod koniec okresu obliczeniowego, koszty unieszkodliwiania lub wartości pozostałych komponentów i elementów budynku będą brane pod uwagę w celu ustalenia ostatecznych kosztów

ponad szacunkowy ekonomiczny cykl życia budynku.

Początkowe koszty inwestycyjne $[C_i]$ – wszystkie koszty, gdy budynek lub konkretny element budynku jest dostarczany do klienta i gotowy do użycia. Koszty te obejmują projektowanie, zakup systemów i komponentów, połączenie z dostawcami, montaż i uruchomienie procesów i kosztów przedstawionych przez klienta.

Koszty energii $[C_e]$ – roczne koszty energii oraz opłaty stałe za energię.

Koszty operacyjne $[C_o]$ – roczne koszty zarządzania.

Koszty utrzymania $[C_m]$ – roczne koszty działań konserwacyjnych i przywrócenia pożądanej jakości instalacji. Obejmują roczne koszty kontroli, czyszczenia, regulacji, napraw w ramach konserwacji oraz materiałów niezbędnych podczas eksploatacji.

Pozostałe koszty $[C_{oth}]$ – roczne koszty ubezpieczenia, inne opłaty stałe, podatki, w tym podatki ekologiczne za energię.

Koszty eksploatacyjne $[C_e]$ – roczne koszty utrzymania, koszty operacyjne, koszty energii i inne koszty.

Koszty utylizacji – koszty na koniec okresu eksploatacji budynku, obejmujące demontaż, transport i recykling.

Roczny koszt $[Ca(i)]$ – suma kosztów eksploatacyjnych i kosztów okresowych bądź koszty wymiany opłaconych w roku i .

Koszty dodatkowe $[C_{add}]$ – część kosztów poniesionych ze względu na wymagania wyższej wydajności energetycznej w porównaniu z minimalnymi wymaganiami prawnymi w miejsce gruntownych remontów istniejących budynków lub wymiany/poprawy/zastąpienia elementu budowlanego. Nie obejmują kosztów remontu, które nie wpływają na charakterystykę energetyczną i/lub są spowodowane remontem samym w sobie.

Okresowe koszty w roku i $[Cp(i)]$ – koszty niezbędne ze względu na zużycie poszczególnych elementów (obejmują koszty wymiany części/elementów budynku, zgodnie z oszacowanym ekonomicznym cyklem życia).

Stopa inflacji – oznacza roczny wzrost poziomu cen wyrażony w %.

Stopa dyskontowa – określona wartość w porównaniu z wartością pieniądza w różnych okresach, odniesiona do wartości bieżącej.

Rynkowa stopa procentowa – stawka odsetek ustalona przez kredytodawcę wyrażona w %.

Realna stopa procentowa – oznacza stopę procentową rynku dostosowaną do stopy inflacji.

Rok początkowy – rok, w oparciu o który wykonana jest kalkulacja.

Okres obliczeniowy – okres uwzględniony w obliczeniach.

Ekonomicznie oszacowana długość życia budynku, elementu budynku – czas eksploatacji budynku, elementu budynku lub składnika, zazwyczaj wyrażony w latach.

Wartość rezydualna – wartość składnika i/lub budynku, na koniec okresu obliczeniowego.

Kształtowanie cen – wzrost cen energii, produktów, budowy systemów, usług, pracy, konserwacji i inne koszty, które mogą być różne od ogólnego wskaźnika inflacji.

Przedsięwzięcie zwiększające efektywność energetyczną – możliwe rozwiązanie technolo-

giczne prowadzące do oszczędności energii, które powoduje zmniejszenie zapotrzebowania energii pierwotnej i końcowej budynku. Przedsięwzięciem zwiększającym efektywność energetyczną może być pojedyncze działanie lub zespół działań.

Komponent – element budynku, dla którego formułuje się wymagania.

Podkategorie budynków – dalsze uszczegółowienie typologii budynków, w zależności od ich wielkości, wieku, materiałów budowlanych, sposobu użytkowania, strefy klimatycznej itp.

Powierzchnia użytkowa – powierzchnia ogrzewana/chłodzona/klimatyzowana.

Operator – zarządca budynku.

Energia dostarczona – całkowita energia, w przeliczeniu na nośnik energii, dostarczona do systemów technicznych budynku przez granicę systemu, niezbędna do zaspokojenia potrzeb (ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, ciepłej wody użytkowej, oświetlenia, urządzeń elektrycznych itp.) lub produkcji energii elektrycznej. W przypadku aktywnych systemów energetyki słonecznej i systemów energetyki wiatrowej promieniowanie słoneczne wykorzystywane do produkcji energii oraz energia kinetyczna wiatru nie jest częścią bilansu energetycznego budynku.

Granica bilansowa budynku niemal netto zero energetycznego (nnZEB) – wyznaczona jest poprzez połączenie budynku z sieciami energetycznymi. Energia dostarczona netto jest różnicą pomiędzy energią dostarczaną do budynku $E_{del,i}$ a energią wyeksportowaną do systemu $E_{exp,i}$, uwzględniając każdy nośnik energii. Energia pierwotna E określona jest jako iloczyn energii dostarczanej netto i wskaźników nakładu energii pierwotnej f_i (te same wskaźniki dotyczą energii dostarczonej do budynku i wyeksportowanej do systemu), szczegóły opisane są w przedstawionym równaniu.

Energia pierwotna może być obliczona zgodnie z równaniem:

$$E = \sum_i (E_{del,i} \cdot f_{del,i}) - \sum_i (E_{exp,i} \cdot f_{exp,i})$$

gdzie:

$E_{del,i}$ – energia dostarczona z danego nośnika energii i ;

$E_{exp,i}$ – energia wyeksportowana z danego nośnika energii i ;

$f_{del,i}$ – współczynnik nakładu na energię pierwotną dla energii dostarczonej z danego nośnika energii i ;

$f_{exp,i}$ – współczynnik nakładu na energię pierwotną dla energii wyeksportowanej z danego nośnika energii i .

2. OPIS BUDYNKÓW MODELOWYCH

2.1.1. Wybór budynków modelowych

Według danych statystycznych w 2020 roku najwięcej transakcji kupna/sprzedaży na rynku nieruchomości odbyło się w województwie Mazowieckim (15,3%), gdzie jednocześnie oddano do użytkowania najwięcej mieszkań w Polsce (46 638 mieszkań, co stanowiło 21,1 % ogółu nowo powstałych lokali mieszkalnych)¹, dlatego do obliczeń przyjęto, że budynki znajdują się w Warszawie (III strefa klimatyczna). 90,6% budynków zostało wybudowanych za pomocą metody tradycyjnej udoskonalonej (w której konstrukcją nośną są ściany wykonane z cegły, bloczków lub pustaków o ciężarze i wymiarach umożliwiającym ich ręczne wbudowywanie)². Dla budynku biurowego przyjęto typowy 3 kondygnacyjny budynek na planie prostokąta. Zdecydowana większość budynków mieszkalnych wielorodzinnych znajduje się w kategorii średniowysokich (ponad 12 m do 25 m włącznie nad poziomem terenu lub mieszkalne o wysokości ponad 4 do 9 kondygnacji nadziemnych włącznie), po budownictwie jednorodzinnym najwięcej mieszkań w 2020 roku zostało oddanych w budynkach o 8 lub więcej kondygnacjach³, dlatego przyjęto model o wysokości 8 kondygnacji o mieszkaniach 1-,2- i 3-pokojowych. Dla budownictwa jednorodzinnego największy udział mają budynki 2-kondygnacyjne i 1-kondygnacyjne o przeciętnej powierzchni użytkowej wynoszącej 133,2 m², stąd przyjęto budynek parterowy z poddaszem użytkowym o łącznej p.u 144,22 m².

2.1.2. Budynek biurowy

Poniżej przedstawiono widok (Ilustracja 1) oraz szczegółowy opis budynku biurowego przyjętego do analiz. Jest to budynek administracyjno-gospodarczy użyteczności publicznej, niepodpiwniczony. Wejście główne do budynku znajduje się od strony południowej, od strony zachodniej – wyjście ewakuacyjne z klatki schodowej, od strony północnej do części gospodarczej. Zaprojektowano również wejście do kotłowni od strony południowej.

Parter budynku zaprojektowano 30 cm powyżej istniejącego poziomu terenu. Część północna jest dwukondygnacyjna, a część południowa trzykondygnacyjna z poddaszem użytkowym włącznie. Przekrycie dachów jest dwuspadowe o spadku 8%.

Budynek został podzielony na różne funkcje. Na parterze znajduje się część ogólnodostępna dla interesantów z biurami obsługi klienta i zapleczem sanitarnym, pokoje biurowe dla pracowników z zapleczem sanitarnym oraz część gospodarcza w północnej części budynku z szatniami, umywalniami, zapleczem sanitarnym i socjalnym, pomieszczeniem technicznym i magazynem. Pierwsze piętro obejmuje pokoje biurowe dla pracowników z zapleczem sanitarnym i socjalnym, salę konferencyjną oraz serwerownię. Natomiast na poddaszu zaprojektowano pomieszczenia archiwum,

4 Główny Urząd Statystyczny, Obrót nieruchomościami w 2020 roku

5 Główny Urząd Statystyczny, Budownictwo mieszkaniowe I–III kwartał 2018 r.

6 Główny Urząd Statystyczny, Efekty działalności budowlanej w 2020 r.

pomieszczenie mieszczące systemy wentylacyjne i pomieszczenia gospodarcze.

Budynek zasilany jest ze źródeł mieszanych – kolektory słoneczne, panele fotowoltaiczne oraz energia z krajowego systemu elektroenergetycznego.

Ogrzewanie powietrzne i produkcja ciepłej wody użytkowej odbywa się za pomocą pompy ciepła woda/woda, napędzanej elektrycznie.



Ilustracja 1 Wizualizacja budynku biurowego
Źródło: materiały własne KAPE SA

Tabela 5. Zestawienie przegród budynku biurowego

Przegrody	Opis
Podłoga na gruncie	Warstwy od góry: Posadzka gr. 2 cm Jastrych cementowy zbrojony gr. 5 cm Folia PE gr. 0,2 mm Warstwa termoizolacji Płyta fundamentowa żelbetowa gr 40 cm Jastrych zabezpieczający gr. 3 cm Folia PE gr. 0,2 mm Warstwa termoizolacji Hydroizolacja – 2 warstwy elastomerobitumicznej zgrzewalnej papy podkładowej gr. 2x4 mm Beton C8/10 gr.8 cm Podbudowa zasadnicza gr. 15 cm Podbudowa pomocnicza gr. 15 cm Grunt stabilizowany cementem gr. 15 cm
Strop nad parterem	Warstwy od góry: Warstwa wykończeniowa gr. 1,0 cm Jastrych cementowy 5,0 cm Folia PE warstwa termoizolacji Strop żelbetowy gr.22,0 cm
Strop nad piętrem	Warstwy od góry: Warstwa wykończeniowa gr. 1,0 cm Jastrych cementowy 5,0 cm Folia PE warstwa termoizolacji Strop żelbetowy gr.24,0 cm
Dach nad archiwum	Warstwy (od zewnątrz): Hydroizolacja z folii FPO jednowarstwowo gr. 1,2 mm warstwa termoizolacji Paroizolacja folia PE gr. 0,2 mm Roztwór gruntujący Płyta żelbetowa w spadku 8% gr. 17,0 cm
Dach nad salą konferencyjną	Hydroizolacja z folii FPO jednowarstwowo gr. 1,2 mm warstwa termoizolacji Paroizolacja folia PE gr. 0,2 mm Blacha trapezowa konstrukcyjna T50 gr. 0,88 mm ze stali S320GD Płatwie stalowe IPE140 co ~2,0 m Dźwigar stalowy kratowy Sufit podwieszany rozwiązanie systemowe EI3 0 warstwa termoizolacji Paroizolacja Płyty gipsowo-kartonowe mocowane na konstrukcji krzyżowej dwupoziomowej z profili CD 60

Przegrody	Opis
Ściana zewnętrzna	Warstwy (od zewnątrz): Tynk cienkowarstwowy na warstwie zbrojonej siatką warstwa termoizolacji Bloczki silikatowe gr.24,0 cm Tynk cementowo wapienny
Ściana wewnętrzna	Tynk wewnętrzny gipsowy układany na mokro bloczki silikatowe gr. 24 cm tynk wewnętrzny gipsowy układany na mokro

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

2.1.3. Budynek wielorodzinny

Poniżej przedstawiono widok budynku oraz szczegółowy opis budynku wielorodzinnego (ilustracja 2).



Ilustracja 2 Wizualizacja budynku wielorodzinnego
Źródło: materiały własne KAPE SA

Przedstawiony powyżej model budynku wielorodzinnego to budynek 8-kondygnacyjny mieszkalny, składający się z 7 kondygnacji mieszkalnych i 1 kondygnacji (ósmej, ostatniej) technicznej. Na kondygnacji 1, czyli na parterze budynku znajduje się strefa wejściowa, pomieszczenia pomocnicze i techniczne, komórki lokatorskie oraz 8 lokali mieszkalnych. Każde z mieszkań znajdujących się na parterze posiada ogródek. Wejście do budynku zaprojektowano w zachodniej części obiektu, poprzez reprezentacyjny hol z pomieszczeniem ochrony. W obrębie holu wejściowego umieszczono dwa pomieszczenia gospodarcze oraz pomieszczenie głównej rozdzielni budynku.

Na kondygnacjach 2-7 zaprojektowano lokale mieszkalne o ilości pokoi od 1 do 3. Każde z mieszkań na kondygnacjach powyżej parteru jest wyposażone w przynajmniej jeden balkon. Jeden lokal mieszkalny znajdujący się na trzecim piętrze posiada dodatkowo taras.

Na kondygnacji 8 zaprojektowano pomieszczenia techniczne. Na tym piętrze znajdują się dwa ogólnodostępne wyjścia na tarasy zlokalizowane nad niższą kondygnacją.

Budynek zasilany jest gazem ziemnym oraz energią elektryczną z krajowego systemu energoelektrycznego. Ogrzewanie wodne i produkcja ciepłej wody użytkowej odbywają się za pomocą kotła na gaz ziemny.

Tabela 6. Zestawienie przegród budynku wielorodzinnego

Przegrody	Opis
Ściana fundamentowa (garaż)	<ul style="list-style-type: none"> warstwa termoizolacji hydroizolacja ściana żelbetowa (beton wodoszczelny C30/37) gr. 25 cm
Strop nad garażem	Warstwy od góry: Posadzka 2,5 cm Wylewka betonowa zbrojona gr. 5,5 Folia PE 0,2 mm Warstwa termoizolacji Strop żelbetowy wg projektu konstrukcji 25,0 cm Warstwa termoizolacji
Podłoga garaż	Płyta żelbetowa zacierana, wg projektu konstrukcji min. 82,0 cm
Strop międzykondygnacyjny	Warstwy od góry: Posadzka 2,5 cm Wylewka betonowa zbrojona gr. 5,5 Folia PE 0,2 mm Warstwa termoizolacji Strop żelbetowy wg projektu konstrukcji 25,0 cm Warstwa termoizolacji
Dach	Warstwy (od zewnątrz): Papa wierzchniego krycia zgrzewalna 0,5 cm Papa podkładowa mocowana mechanicznie 0,4 cm Przekładka ochronna z papy min 33cm w miejscach montażu podpór Warstwa spadkowa (zmienna) Warstwa termoizolacji Paroizolacja bitumiczna 0,4 cm Warstwa gruntująca strop żelbetowy 24,0 cm Tynk gipsowy 1,5cm
Ściana zewnętrzna 1	Warstwy (od zewnątrz): Tynk elewacyjny cienkowarstwowy na warstwie zbrojonej siatką 0,2-0,5 cm Warstwa termoizolacji Pustaki ceramiczne gr. 24 cm Tynk wewnętrzny gr. 1,5 cm
Ściana zewnętrzna 2	Warstwy (od zewnątrz): Tynk elewacyjny cienkowarstwowy na warstwie zbrojonej siatką 0,2-0,5 cm Warstwa termoizolacji Ściana żelbetowa gr 24 cm Tynk wewnętrzny gr. 1,5 cm
Ściana wewnętrzna 1	Tynk wewnętrzny 1,5 cm Pustaki ceramiczne gr. 24 cm Tynk wewnętrzny 1,5 cm
Ściana wewnętrzna 2	Tynk wewnętrzny 1,5 cm Ściana żelbetowa gr. 24 cm Tynk wewnętrzny 1,5 cm
Ściana wewnętrzna 3	Tynk wewnętrzny 1,5 cm Bloczek silikatowy gr. 12 cm Tynk wewnętrzny 1,5 cm

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

2.1.4. Budynek jednorodzinny

Poniżej przedstawiono widok budynku oraz szczegółowy opis budynku jednorodzinny (ilustracja 3).

Zaprezentowany poniżej budynek jednorodzinny wolnostojący ma około 150 m² p. u. jest niepodpiwniczony z poddaszem użytkowym oraz dachem dwuspadowym. Wejście do budynku znajduje się od strony wschodniej oraz południowej działki. Od strony wschodniej zaprojektowano fragment budynku w postaci zadaszenia pełniącego rolę otwartego garażu.

Na parterze budynku znajduje się otwarta przestrzeń ze schodami na poddasze. Przestrzeń ta pełni funkcję dzienną: znajduje się w niej przestronna kuchnia na południu z jadalnią usytuowaną we wschodniej części budynku, pozostała część salonu znajduje się w zachodnio-północnej części domu.

Na poddaszu budynku, od strony południowej, znajduje się sypialnia z częścią gabinetową. Garderoba usytuowana jest przy pomieszczeniu kąpielowym zlokalizowanym w północnej części poddasza. Zaprojektowano przeszklenie od strony południowej i zachodniej wraz z zacieniającym tarasem.

Budynek zasilany jest energią elektryczną z krajowego systemu energoelektrycznego. Wytwarzanie ciepła dla ogrzewania podłogowego odbywa się za pomocą podgrzewacza elektrotermicznego, Do instalacji ciepłej wody użytkowej wykorzystano pompę ciepła powietrze/woda napędzaną elektrycznie.



Ilustracja 3 Wizualizacja budynku jednorodzinny
Źródło: materiały własne KAPE SA

Tabela 7. Zestawienie przegród budynku jednorodzinnego

Przegrody	Opis
Podłoga na gruncie	Warstwy od góry: 2-6 mm posadzka z żywicy epoksydowej Grunt 4,4-4,8 cm – jastrych zbrojony zbrojona siatką z drutu stalowego 4 mm (10x10 cm) zatarta na gładko / ogrzewanie podłogowe – kable elektryczne, powyżej samopoziomujący podkład Folia PE Warstwa termoizolacji Płyta fundamentowa żelbetowa gr. 25 cm Folia PE gr 0,5 mm Warstwa termoizolacji Hydroizolacja Chudy beton 10cm Pospółka zagęszczana mechanicznie warstwami gr. 40 cm zagęszczoną do $Is=0,98$
Strop nad parterem	Warstwy od góry: 2-6 mm posadzka z żywicy epoksydowej Grunt 4,4-4,8 cm – jastrych zbrojony siatką z drutu stalowego 4 mm (10x10 cm) zatarta na gładko / ogrzewanie podłogowe – kable elektryczne, powyżej samopoziomujący podkład Warstwa oddzielająca np. folia Warstwa termoizolacji Strop monolityczny żelbetowy gr. 18 cm Tynk wewnętrzny gipsowy układany na mokro
Dach	Warstwy (od zewnątrz): Blacha tytanowo-cynkowa gr. 0,8 mm na pojedynczy rąbek – spadek 45% Deskowanie gr. 24 mm Szczelina wentylacyjna gr. 40 mm / kontrłaty 4x6 cm Membrana wysokoparoprzepuszczalna Krokwie drewniane / warstwa termoizolacji (zmienna) Ruszt stalowy / warstwa termoizolacji Paroizolacja 2x płyta g-k
Ściana zewnętrzna	Warstwy (od zewnątrz): Blacha tytanowo-cynkowa w kolorze ciemno-szarym na pojedynczy rąbek gr. 0,8mm Deskowanie gr. 24 mm Prześroń wentylacyjna gr. 20 mm/ podkonstrukcja Membrana wysokoparoprzepuszczalna zgodna z PN EN 13859-1 Warstwa termoizolacji Bloczki silikatowe gr. 18 cm Tynk wewnętrzny gipsowy układany na mokro
Ściana wewnętrzna	Tynk wewnętrzny gipsowy układany na mokro Bloczki silikatowe gr. 18 cm Tynk wewnętrzny gipsowy układany na mokro

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

3. SZCZEGÓŁOWY OPIS ZAŁOŻEŃ OBLICZENIOWYCH

3.1. Geometria budynku

3.1.1. Budynek biurowy

W tabeli poniżej (Tabela 8) przedstawiono dane geometryczne analizowanego budynku biurowego.

Tabela 8. Opis geometrii budynku biurowego

Lp.	Opis	Jedn.	Wartość
1	Powierzchnia zabudowy	m ²	1513,00
2	Powierzchnia użytkowa	m ²	1187,91
3	Wysokość pomieszczeń	m ²	2,5
4	Liczba kondygnacji	m ²	3 i 2
5	Kubatura brutto	m ²	5294,0
6	Kubatura pomieszczeń ogrzewanych	m ²	3276,8
7	Powierzchnia ścian zewnętrznych (ocieplonych)	m ²	899,42
8	Powierzchnia stolarki okiennej i drzwiowej	m ²	134,78
9	Powierzchnia dachów i stropodachów	m ²	565,89
10	Powierzchnia podłóg na gruncie/stropów nad piwnicami nieogrzewanymi	m ²	496,03/0
11	Pracownicy	osób	50
12	Średni strumień powietrza wentylacyjnego	m ³ /h	7835,6
13	Współczynnik kształtu A/V	-	0,29

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

3.1.2. Budynek wielorodzinny

W tabeli poniżej (Tabela 9) przedstawiono dane geometryczne analizowanego budynku wielorodzinnego.

Tabela 9. Opis geometrii budynku wielorodzinnego

Lp.	Opis	Jedn.	Wartość
1	Powierzchnia zabudowy	m ²	745,72
2	Powierzchnia użytkowa	m ²	3911,14
3	Wysokość pomieszczeń	m ²	2,67
4	Liczba kondygnacji	m ²	8
5	Kubatura brutto	m ²	24943,6
6	Kubatura pomieszczeń ogrzewanych	m ²	24943,6
7	Powierzchnia ścian zewnętrznych (ocieplonych)	m ²	2682,92
8	Powierzchnia stolarki okiennej i drzwiowej	m ²	1107,33
9	Powierzchnia dachów i stropodachów	m ²	777,84
10	Powierzchnia podłóg na gruncie/stropów nad piwnicami nieogrzewanymi	m ²	745,72/0
11	Mieszkańcy	osób	240
12	Średni strumień powietrza wentylacyjnego	m ³ /h	11951,4
13	Współczynnik kształtu A/V	-	0,14

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

3.1.3. Budynek jednorodzinny

W tabeli poniżej (Tabela 10) przedstawiono dane geometryczne analizowanego budynku jednorodzinnego.

Tabela 10. Opis geometrii budynku jednorodzinnego

Lp.	Opis	Jedn.	Wartość
1	Powierzchnia zabudowy	m ²	164,3
2	Powierzchnia użytkowa	m ²	144,22
3	Wysokość pomieszczeń	m ²	2,74
4	Liczba kondygnacji	m ²	1,5
5	Kubatura brutto	m ²	469,4
6	Kubatura pomieszczeń ogrzewanych	m ²	469,4
7	Powierzchnia ścian zewnętrznych (ocieplonych)	m ²	172,47
8	Powierzchnia stolarki okiennej i drzwiowej	m ²	37,07
9	Powierzchnia dachów i stropodachów	m ²	175,12
10	Powierzchnia podłóg na gruncie/stropów nad piwnicami nieogrzewanymi	m ²	79,82/6,04
11	Mieszkańcy	osób	2 (4)
12	Średni strumień powietrza wentylacyjnego	m ³ /h	174,0
13	Współczynnik kształtu A/V	-	0,35

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

3.2. Rozwiązania w zakresie ochrony cieplnej budynków

Rozwiązania w zakresie ochrony cieplnej przyjęto adekwatnie do standardu energetycznego modelowanych budynków. Dobrano odpowiednie grubości ocieplenia, typy okien oraz centrale wentylacyjne o odpowiedniej sprawności i źródła ciepła w 9 wariantach.

Do analiz kosztowych przyjęto izolacje cieplne wykonane ze styropianu. Dla rozwiązania z pompą ciepła zasilaną energią elektryczną z Krajowego systemu energetycznego (KSE) obok izolacji ze styropianu przeanalizowano izolacje z:

- wełny mineralnej,
- pianki poliuretanowej
- aerożelu.

Przyjęto do obliczeń, że budynki charakteryzują się szczelnością na poziomie odpowiadającym budynkom pasywnym. Wyniki analiz zamieszczono w Rozdziale 9.

3.3. Rozwiązania w zakresie technik instalacyjnych

Dla budynków w standardzie WT 2021 i budynków o podwyższonym standardzie EU20 przyjęto klasyczne, najczęściej stosowane rozwiązania instalacyjne, czyli wodne instalacje centralnego ogrzewania z konwektorowymi grzejnikami i kotłami na węgiel, gaz ziemny, olej opałowy, LPG, biomasę, energię elektryczną, pompę ciepła (z PV lub zasilaną z KSE) oraz zastosowanie węzła cieplnego wraz z przyłączem do sieci ciepłowniczej.

Dla budynków pasywnych przyjęto: energię elektryczną, pompę ciepła (z PV lub zasilaną z KSE) oraz zastosowanie węzła cieplnego wraz z przyłączem do sieci ciepłowniczej.

Przewidziano zastosowanie wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła o sprawności dla budynków o:

- standardzie WT2021 i budynku o podwyższonym standardzie EU20 – 60%,
- wysokim standardzie (pasywnym) EU15 o sprawności 85%.

3.4. Rozwiązania w zakresie zastosowania odnawialnych źródeł energii

Dla wszystkich analizowanych budynków modelowych przewidziano zastosowanie ogniw fotowoltaicznych o następujących powierzchniach:

- budynek biurowy: 93,30 m²
- budynek mieszkalny wielorodzinny: 67,90 m²
- budynek mieszkalny jednorodzinny: 27,20 m²

3.5. Opis standardowych warunków i sposobu użytkowania budynków

W tabeli poniżej (Tabela 11) przedstawiono liczbę użytkowników oraz czas przebywania w zależności od rodzaju budynku.

Tabela 11. Liczba użytkowników oraz czas przebywania w zależności od rodzaju budynku

Lp.	Opis	Jedn.	Wartość
1	Liczba użytkowników – budynek jednorodzinny	-	2
2	Czas przebywania – budynek jednorodzinny	h	16
3	Liczba użytkowników – budynek wielorodzinny	-	240
4	Czas przebywania – budynek wielorodzinny	h	16
5	Liczba użytkowników – budynek biurowy	-	50
6	Czas przebywania – budynek biurowy	h	8

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

3.5.1. Budynek biurowy

W tabeli poniżej (Tabela 12) przedstawiono przyjęte temperatury wewnętrzne dla poszczególnych rodzajów pomieszczeń modelowanego budynku biurowego:

Tabela 12. Przyjęte temperatury wewnętrzne dla poszczególnych rodzajów pomieszczeń w budynku biurowym

Lp.	Opis	Jedn.	Wartość
1	Przedsiónek	°C	16
2	Klatka schodowa	°C	16
3	Komunikacja	°C	16
4	Magazyn	°C	16
5	Pomieszczenie gospodarcze	°C	16
6	Poczekalnia	°C	20
7	Pokój biurowy	°C	20
8	Archiwum	°C	20
9	WC D/M/NP	°C	20

Lp.	Opis	Jedn.	Wartość
10	Aneks kuchenny	°C	20
11	Jadalnia	°C	20
12	Sala konferencyjna	°C	20
13	Sekretariat	°C	20

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

3.5.2. Budynek wielorodzinny

W tabeli poniżej (Tabela 13) przedstawiono przyjęte temperatury wewnętrzne dla poszczególnych rodzajów pomieszczeń modelowanego budynku wielorodzinnego.

Tabela 13. Przyjęte temperatury wewnętrzne dla poszczególnych rodzajów pomieszczeń w budynku wielorodzinnym

Lp.	Opis	Jedn.	Wartość
1	Klatka schodowa	°C	8
2	Pomieszczenie pomocnicze z oknem/bez okna	°C	16/8
3	Komunikacja	°C	16
4	Salon/Salon z aneksem kuchennym	°C	20
5	Sypialnia/pokój	°C	20
6	Przedpokój	°C	20
7	Kuchnia	°C	20
8	WC	°C	20
9	Łazienka	°C	24

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

3.5.3. Budynek jednorodzinny

W tabeli poniżej (Tabela 14) przedstawiono przyjęte temperatury wewnętrzne dla poszczególnych rodzajów pomieszczeń modelowanego budynku jednorodzinnego.

Tabela 14. Przyjęte temperatury wewnętrzne dla poszczególnych rodzajów pomieszczeń w budynku jednorodzinny

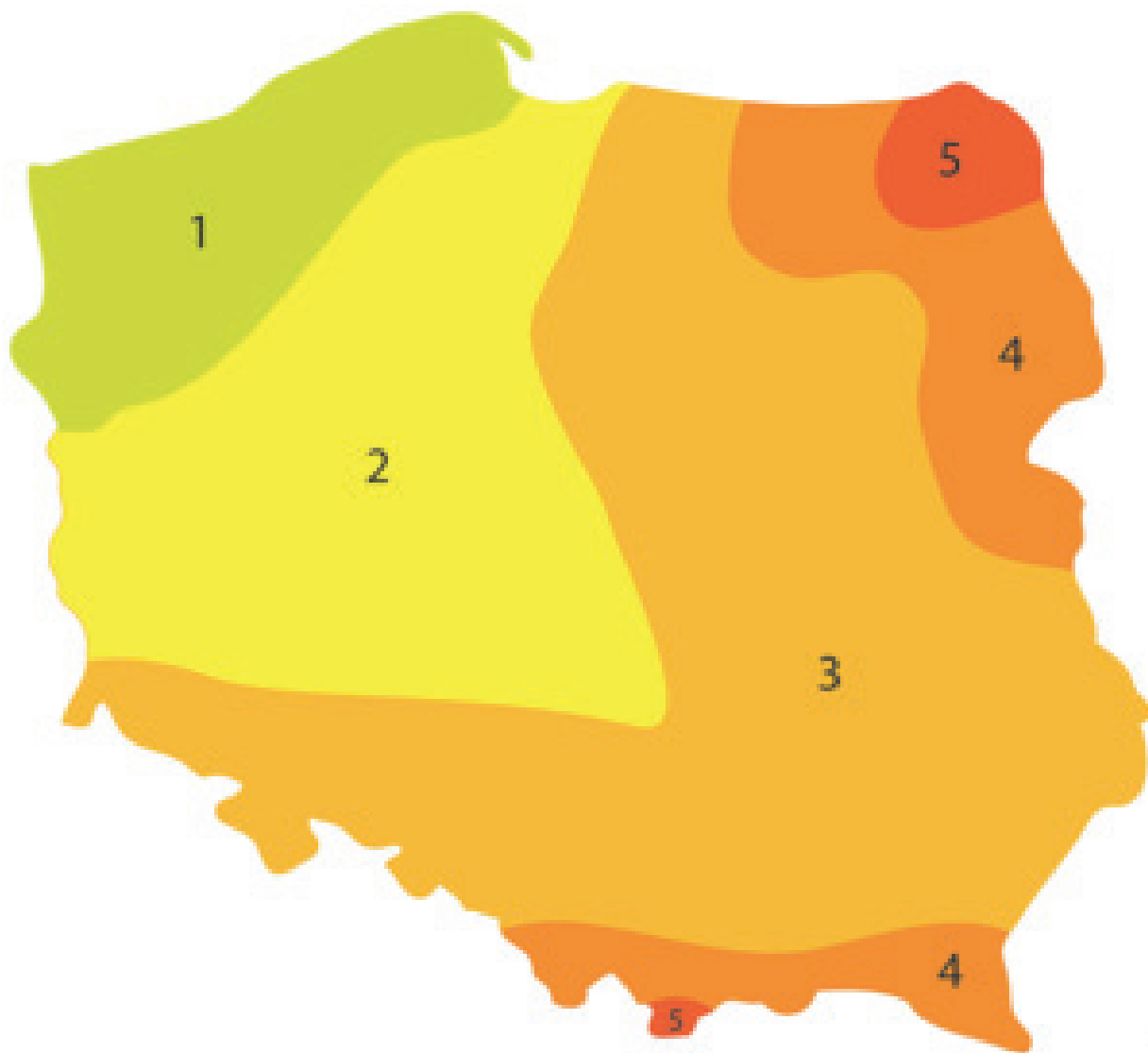
Lp.	Opis	Jedn.	Wartość
1	Pomieszczenie gospodarcze	°C	18
2	Pokój/salon	°C	20
3	Łazienka z oknem/bez okna	°C	24

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

3.6. Opis innych niezbędnych założeń obliczeniowych

Założono, że wszystkie budynki znajdują się w III strefie klimatycznej, dane dotyczące temperatur zewnętrznych pobrano ze stacji meteorologicznej „Warszawa Okęcie”. Klasy osłonięcia budynków określono jako „średnie osłonięcie” i jako posiadające jedną lub więcej nieosłoniętych fasad, co przekłada się na strumienie powietrza infiltrującego pomieszczenia. Dodatkowo w każdym bu-

dynku założono wentylację nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła o sprawności systemu odzysku ciepła na poziomie 70%. Uwzględniono w obliczeniach mostki termiczne.



Rysunek 2 Podział terytorium polski na strefy klimatyczne na podstawie PN-EN 12831
Źródło: Strona internetowa Ciepło systemowe, IGCP, <https://www.cieplosystemowe.pl/cieplo-systemowe/ciepla-strona-zycia/inne/polska-wielu-klimatow/>, dostęp: 26.06.2022 r.

4. WŁAŚCIWOŚCI I ZALETY PŁYT STYROPIANOWYCH

„Styropian” jest polską nazwą handlową polistyrenu ekspandowanego (spienionego), w skrócie EPS od Expanded Polystyrene. Znakomite właściwości izolacyjne i mechaniczne styropianu sprawiają, że płyty styropianowe są najpopularniejszym materiałem do izolacji cieplnej przegród, stosowanym w budownictwie od blisko 70 lat. Głównym zastosowaniem płyt styropianowych jest izolacja termiczna i akustyczna budynków. Prawidłowo zainstalowane płyty styropianowe są wodoodporne, trwałe pod względem właściwości izolacyjnych, konstrukcyjnych i wymiarowych. Ponadto, są odporne na biologiczną korozję i efekty działania mikroorganizmów oraz na większość substancji chemicznych. Przy prawidłowym zastosowaniu, trwałość robocza izolacji styropianowej jest równa czasowi istnienia budynku. Zastosowanie płyt styropianowych w budownictwie pozytywnie wpływa na efektywność energetyczną budynków przez cały okres ich użytkowania.

Właściwości użytkowe produktów styropianowych sprawiają, że nadają się one do wielu zastosowań w budownictwie, w szczególności do izolacji ścian zewnętrznych, jako składnik systemu ociepleń (ETICS), izolacja ścian szczelinowych, izolacji podłóg, izolacji dachów płaskich, skośnych, izolacja stropów i stropodachów, podłóg na gruncie, fundamentów, a także izolacja wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych. Są również stosowane jako rdzeń izolacyjno-konstrukcyjny w budowlanych płytach warstwowych.

Metody produkcji. Dostępne na rynku płyty styropianowe do ocieplania budynków można podzielić na dwa rodzaje: cięte z większych bloków oraz produkowane pojedynczo w specjalnych formach (tzw. agregatowe). Płyty cięte mają najczęściej gładką, jednolitą powierzchnię. Płyty produkowane w formach mogą mieć różne faktury (tzw. dreny) i stosuje się je najczęściej do izolacji fundamentów.

Wymiary. Standardowe wymiary płyt to: 100 x 50 cm. Płyty występują w zasadzie w każdych grubościach od 1 do nawet 50 cm.

Krawędzie. Płyty styropianowe mogą mieć krawędzie proste bądź frezowane – umożliwiające ich łączenie na zakład.

Kolory. Najbardziej popularne są stosowane od wielu lat białe płyty styropianowe. Nowsze, opracowane przy wykorzystaniu innowacyjnych technologii i specjalnych dodatków pochłaniających i odbijających promieniowanie podczerwone, są szare płyty styropianowe. Szare odmiany styropianu charakteryzują się obniżonym współczynnikiem przewodzenia ciepła, dzięki czemu ich zastosowanie umożliwia uzyskanie tego samego efektu izolacyjnego przy niższych niż białe odmiany grubościach płyt. Styropiany kolorowe – najczęściej błękitne, zielone bądź różowe – wyróżniają się obniżoną nasiąkliwością i używane są przede wszystkim do izolacji fundamentów.

Izolacyjność termiczna. Wartości współczynników przewodzenia ciepła dla dostępnych na rynku odmian styropianu zawierają się w przedziale od 0,045 do 0,036 W/(m·K) – styropiany białe i 0,030-0,033 W/(m·K) – styropiany szare. Korzystna cena płyt styropianowych sprawia, że rozwiązanie to zapewnia najlepszą dostępną na rynku izolacji relację ceny do parametrów izolacyjnych.

Odporność na działanie wody. Niska chłonność styropianu sprawia, że płyty styropianowe są naturalnie odporne na działanie największego wroga termoizolacji – wody. Wbudowane w ścia-

nę zewnętrzną nie chłoną wilgoci, co ma duże znaczenie dla tworzenia dobrego mikroklimatu wewnątrz pomieszczenia oraz zdrowia jego użytkowników. Niska chłonność styropianu ma również znaczenie dla warunków potrzebnych do przechowywania styropianu oraz wykonywania prac ociepleniowych. Stosując styropian, nie trzeba za każdym razem na koniec dnia roboczego zabezpieczać izolacji przed ewentualnymi opadami, czy wilgocią. Dzięki temu oszczędza się cenny czas oraz obniża koszty robocizny.

Wysoka odporność mechaniczna. Doskonałe parametry mechaniczne płyt styropianowych takie jak:

- 1. Naprężenie ściskające przy 10% odkształceniu względnym** – w kodzie wyrobu określana wartością za symbolem CS(10), (np. CS(10)80 kPa, gdzie 80 oznacza zdolność do przenoszenia obciążeń użytkowych do 2,4 t/m², jako max. 30 % deklarowanych naprężeń ściskających). Zgodnie z normą PN-EN 13163 wartości CS(10) dla płyt styropianowych mogą być deklarowane od 30 do 250 wzwyż, deklarowane co 10 kPa. Najczęściej występujące na rynku wyroby posiadają wytrzymałość na ściskanie w przedziale CS(10)70 - CS(10)200 kPa;
 - 2. Wytrzymałość na zginanie** – w kodzie wyrobu określana wartością za symbolem BS. Zgodnie z normą PN-EN 13163 wartości BS dla płyt styropianowych mogą być deklarowane od 50 do 350 kPa wzwyż, deklarowane co 5 kPa. Najczęściej występujące na rynku wyroby posiadają wytrzymałość na zginanie w przedziale 75-250 kPa;
 - 3. Wytrzymałość na rozciąganie** - w kodzie wyrobu oznaczana wartością za symbolem TR. Zgodnie z normą PN-EN 13163 wartości TR dla płyt styropianowych mogą być deklarowane od 20 kPa wzwyż, deklarowane co 10 kPa. Najczęściej występujące na rynku wyroby posiadają wytrzymałość na rozrywanie w przedziale 80 -150 kPa.
- sprawiają, że wykonane z nich ocieplenie jest odporne na eksploatację (przemieszczanie się osób a nawet ruch kołowy) i warunki pogodowe (opady deszczu, śniegu, złogi lodu, silne wiatry, grad, zróżnicowane temperatury). Odpowiadają także za trwałość ich zastosowania. Płyty styropianowe są znacznie twardsze niż płyty z wełny mineralnej, a przy tym nawet kilkukrotnie od nich lżejsze, dzięki czemu zapewniają odporność ocieplonej przegrody na uszkodzenia mechaniczne nie obciążając jej pond miarę. Np. w izolacji ścian zewnętrznych (zastosowaniach pionowych) kluczowa jest odporność na rozrywanie prostopadłe do powierzchni czołowych (TR). Dla styropianu w systemach ociepleń (ETICS) parametr ten nie może być niższy niż 80 kPa. Dla porównania, najniższa wymagana odporność na rozrywanie płyt z wełny mineralnej stosowanych w ETICS to zaledwie 7,5 kPa. Pomimo tych właściwości ETICS nadal wymaga mocowania mechanicznego. Zdolność przenoszenia bardzo dużych naprężeń przekłada się na możliwości zastosowania płyt styropianowych nie tylko w budownictwie mieszkalnym czy też użyteczności publicznej, ale również w budownictwie przemysłowym.

Odporność chemiczna. Styropian nie jest rozpuszczalny w wodzie, nie ulega pęcznieniu i nie wchłania wody. Jest także odporny na działanie wodnych roztworów soli, kwasów i zasad. Styropian jest też odporny na działanie cementu. Szczególnej uwagi i ostrożności wymaga stosowanie

w obecności styropianu niektórych rozpuszczalników organicznych (acetonu, octanu etylu, benzenu, ksylenu, trójchloroetyleny, czterochlorometanu, terpentyny), oleju parafinowego, wazeliny, oleju napędowego, benzyny, produktów ze smoły, bitumicznej masy szpachlowej z rozpuszczalnikiem oraz nasyconych węglowodorów alifatycznych (cykloheksan, benzyna oczyszczona, benzyna lakowa). W prawidłowo ułożonej izolacji właściwości fizyko-chemiczne styropianu pozostają niezmiennione z upływem czasu. Styropian nie starzeje się, nie butwieje i nie gnije, a tym samym nie stwierdzono zjawiska zanikania styropianu w czasie eksploatacji ocieplenia, w wyniku naturalnego starzenia materiału.

Bezpieczeństwo pożarowe. Do zastosowań w budownictwie stosuje się wyłącznie styropian samogasnący o klasie reakcji na ogień E. Oznacza to, że styropian nie zapala się od iskry lub papierosa, a pod wpływem płomienia topi się i zwęglą z niewielką prędkością. Po odjęciu płomienia przestaje się palić i ponownie nie zapala. Płomień może pojawić się dopiero przy dłuższym działaniu ognia. Płyty styropianowe zastosowane w ociepleniach ścian zewnętrznych to rozwiązanie bezpieczne pożarowo, a systemy ociepleń ETICS z ich zastosowaniem, uzyskują klasyfikację nierozprzestrzeniania ognia (NRO), zgodnie z Polską Normą PN-B-02687. Klasyfikacje NRO uzyskiwane są każdorazowo dla maksymalnej grubości i gęstości płyt styropianowych przewidzianych w danym systemie ociepleń. Najczęściej maksymalna gęstość płyt styropianowych wynosi 20 kg/m³ a grubość płyt 30 cm choć występują również systemy z grubością płyt sięgająca 50 cm. Ocieplenia ze styropianem pozytywnie przechodzą także stosowane w niektórych krajach i uznawane za najbardziej rygorystyczne badania nierozprzestrzeniania ognia w tzw. dużej skali wg metody brytyjskiej BS 8414-1:2020.

Bezpieczeństwo dla zdrowia podczas wykonawstwa i użytkowania. Płyty styropianowe są bezpieczne dla zdrowia mieszkańców ocieplonych nimi budynków oraz środowiska. Skład i budowa płyt styropianowych sprawia, że na żadnym etapie cyklu życia nie emitują one pyłów czy niebezpiecznych substancji w szkodliwych dla zdrowia wartościach. Płyty styropianowe są również łatwe i bezpieczne w montażu. Podczas cięcia, szlifowania i bezpośredniego kontaktu z tym materiałem nie występują żadne zagrożenia związane z pyleniem i wdychaniem drobin materiału. Kontakt z nim nie powoduje oparzeń rąk czy podrażnień skóry i błon śluzowych oraz nie wywołuje innych, szkodliwych dla zdrowia skutków. To dlatego praca ze styropianem nie wymaga stosowania żadnych środków ochrony osobistej typu rękawice, maski przeciwpyłowe, ubrania i okulary ochronne.

Szybki zwrot kosztów inwestycji. Bardzo istotną zaletą styropianu jest też jego niska cena. Korzystna relacja ceny do parametrów izolacyjnych płyt styropianowych oraz niższe ceny wykonawstwa w porównaniu do innych termoizolacji to gwarancja szybkiego zwrotu nakładów inwestycyjnych związanych z ociepleniem budynku.

Oszczędność energii i ochrona środowiska. Dobranie odpowiedniego rodzaju płyt styropianowych oraz grubości izolacji pozwoli zmniejszyć zapotrzebowanie na energię cieplną budynku o ok. 30-40% oraz spełnić wymagania dotyczące izolacji cieplnej stawiane przed nowymi budynkami w wymaganiach standardu WT 2021. Przekłada się to nie tylko na niższe koszty eksploatacji budynku ale również na wkład w ochronę środowiska naturalnego. Odpowiednia izolacja budynku z

zastosowaniem płyt styropianowych pozwala ograniczać emisję szkodliwych substancji do atmosfery związanych z wytwarzaniem energii potrzebnej do ogrzewania budynku zimą czy chłodzenia latem przez cały okres jego użytkowania.

Wpływ ocieplenia ze styropianu na wymianę powietrza przez przegrodę. Styropian posiada duży opór dyfuzyjny, jednak warto podkreślić, że wbrew obiegowym opiniom zwiększenie oporu dyfuzyjnego przegrody zewnętrznej poprzez dodanie warstwy izolacji termicznej nie wpływa w istotny sposób na odprowadzanie strumienia pary wodnej z pomieszczenia, a co za tym idzie na pogorszenie się jego komfortu. Wynika to z faktu nikłego udziału dyfuzyjnego przepływu pary wodnej (ok 3% w przypadku niezaizolowanej przegrody zewnętrznej) w usuwaniu wilgoci eksploatacyjnej z pomieszczenia, a więc nie istnienia zjawiska określanego potocznie jako tzw. oddychanie ścian.

Na rynku występuje wiele rodzajów płyt styropianowych. Norma produktu PN EN 13163 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie Specyfikacja dzieli płyty na cztery typy związane z zamierzonym zastosowaniem:

1. EPS_i: do zastosowań przenoszących obciążenia, gdzie i oznacza wartość deklarowaną (wrażoną poprzez naprężenie ściskające przy 10 % odkształceniu).

Płyty z polistyrenu ekspandowanego tego typu, mogą być stosowane w budownictwie jako izolacja cieplna, w zestawach wyrobów do wykonywania ociepleń np. dachów, podłóg i ścian, w których potwierdzono przydatność wyrobu o właściwościach techniczno-użytkowych, przywołanych w kodzie tych produktów. Aplikacje, w których od płyty styropianowej wymaga się umiejętności przeniesienia obciążenia wynikającego z układu warstw, w którym jest zabudowa, lub ze sposobu użytkowania tego układu warstw. Zazwyczaj na rynku można spotkać odmiany tego typu styropianu jako EPS 50, EPS 60, EPS 70, EPS 80, EPS 100, EPS 120, EPS 150 i EPS 200. Im wyższa wartość liczbowa, tym większe obciążenia ma zdolność przenieść płyta styropianowa. Płyty tego rodzaju są przeważnie stosowane na przegrodach poziomych taki jak: podłoga, strop, stropodach, dach ale również do izolacji ścian, gdy przewiduje się pracę płyt EPS_i w zakresie ściskania.

Przykład. Przyjmuje się, że płyty EPS 80 przenoszą obciążenia użytkowe do 2,4 t/m². Aplikacje, w których najczęściej stosowane są tego typu płyty EPS to:

- izolacja termiczna podłóg na gruncie
- izolacja termiczna stropodachów pełnych i wentylowanych wykonanych w tradycyjnym układzie warstw
- izolacja termiczna tarasów i balkonów
- izolacja termiczna stropów pod podkładem betonowym gdzie obciążenie użytkowe nie przekroczy wartości podanej przez producenta
- izolacja termiczna fundamentów i ścian piwnic z izolacją przeciwwodną
- izolacja termiczna nakrokwiowa
- izolacja termiczna w prefabrykowanych płytach warstwowych

2. EPS S: do zastosowań nie przenoszących obciążeń.

Płyty z polistyrenu ekspandowanego tego typu, zaleca się stosować w budownictwie jako izolacja termiczna, w zestawach wyrobów do wykonywania ociepleń przegród, w których potwierdzono przydatność wyrobu o właściwościach techniczno-użytkowych przywołanych w kodzie tych produktów. Płyty tego typu, które mają zadeklarowany parametr wytrzymałości na rozciąganie, na poziomie nie mniejszym niż 80 kPa, są stosowane w zewnętrznych zespolonych systemach ocieplania ścian zewnętrznych (ETICS).

Aplikacje, w których najczęściej stosowane są tego typu płyty EPS to:

izolacja termiczna zewnętrznych w zespolonych systemach ocieplenia ETICS (metoda – lekka mokra)

- izolacja termiczna wieńców wykonana jako szalunek tracony
- izolacja termiczna nadproży i ościeży
- izolacja termiczna stropów od spodu w ETICS
- izolacja termiczna w prefabrykowanych płytach warstwowych
- izolacja termiczna ścian trójwarstwowych
- izolacja termiczna ścian z okładziną
- izolacja termiczna podłóg między legarami
- izolacja termiczna międzykrokwiowa
- izolacja termiczna w stropach wentylowanych

3. EPS SD: do zastosowań nie przenoszących obciążeń, o właściwościach akustycznych.

Płyty z polistyrenu ekspandowanego tego typu, zaleca się stosować w budownictwie jako izolacja o właściwościach akustycznych, w zestawach wyrobów do wykonywania izolacji przegród (poza podłogami pływającymi),

w których potwierdzono przydatność wyrobu o właściwościach techniczno-użytkowych przywołanych w kodzie tych produktów. Płyty tego typu, które mają zadeklarowany parametr wytrzymałości na rozciąganie, na poziomie nie mniejszym niż 80 kPa, są stosowane w zewnętrznych zespolonych systemach ocieplania ścian zewnętrznych (ETICS) jako izolacja termiczna i akustyczna ścian zewnętrznych.

4. EPS T: do zastosowań w podłogach pływających

Płyty z polistyrenu ekspandowanego tego typu, zaleca się stosować w budownictwie jako izolacja o właściwościach akustycznych, w zestawach wyrobów do wykonywania izolacji stropów w układzie podłogi pływającej, w których potwierdzono przydatność wyrobu o właściwościach techniczno-użytkowych przywołanych w kodzie tych produktów. W stropach międzykondygnacyjnych, gdzie różnica temperatur użytkowania nie przekracza 5 st. C zasadniczą rolę pełni izolacja akustyczna. Płyty EPS T to izolacja akustyczna stropów od tzw. dźwięków uderzeniowych, zabudowana w układzie podłogi pływającej, pod podkładem betonowym, w których obciążenie użytkowe nie przekroczy wartości podanej przez producenta.

Grubość termoizolacji

Osiągnięcie parametrów izolacyjności przegród budynków wynikające z wymagań WT 2021 można zrealizować albo poprzez zwiększenie grubości stosowanej termoizolacji albo poprawę parametrów cieplnych instalowanych wyrobów izolacyjnych. Z wielu względów to drugie rozwiązanie jest bardziej korzystne. Termoizolacja o nadmiernej grubości może wzmacniać obciążenie mechaniczne zarówno ocieplenia, jak i samej ściany, co wiąże się z ryzykiem uszkodzeń czy awarii. Problemem bywa też ograniczenie dostępu światła dziennego do wnętrza budynku przez okna i oszklone drzwi. Ponadto cieńsza warstwa ocieplenia oznacza ogólnie mniejsze zużycie (a więc i niższe koszty) materiałów.

Powyższe sprawia, że coraz bardziej popularnym rodzajem płyt styropianowych jest **styropian szary (grafitowy)**.

W poniższej tabeli zestawiono minimalną grubość ocieplenia ścian dla wybranych rozwiązań konstrukcyjnych zgodną z aktualnie obowiązującymi wymaganiami, które weszły w życie od roku 2021. Z wyliczeń tych wynika, że zastosowanie szarego styropianu pozwala wyraźnie, bo o kilka centymetrów, zredukować grubość niezbędnej termoizolacji.

Tabela 15. Minimalna grubość ocieplenia ścian dla wybranych rozwiązań konstrukcyjnych zgodna z wymaganiami WT 2021 w zakresie U_c

Rodzaj styropianu	Materiał konstrukcyjny ściany	Wymaganie WT 2021 dla ściany [W/(m ² K)]	Minimalna grubość izolacji styropianowej [cm]
Styropian biały $\lambda = 0,040 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Beton komórkowy, gr. 24 cm, gęstość 500 kg/m ³ , $\lambda = 0,14 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	$U_c = 0,20$; z uwzględnieniem poprawki na niedokładności wykonania i łączniki mechaniczne): $\Delta U = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $U_c = U + \Delta U$	13
	Pustak ceramiczny, gr. 25 cm, $\lambda = 0,313 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$		17
Styropian grafitowy $\lambda = 0,031 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Beton komórkowy, gr. 24 cm, gęstość 500 kg/m ³ , $\lambda = 0,14 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$		10
	Pustak ceramiczny, gr. 25 cm, $\lambda = 0,313 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$		13

Źródło: Obliczenia własne KAPE S.A

Wyniki obliczeń minimalnej grubości ocieplenia przegrody budowlanej (ściany zewnętrznej) wykonanego z różnych rodzajów styropianów, pokazuje, że w zależności od tego, jakiego rodzaju styropian zostanie zastosowany, jego wymagana grubość, w celu zapewnienia możliwości spełnienia wymagań określonych w przepisach budowlanych, wynosi od 10 do 17 cm. Należy zdawać sobie sprawę, że grubość ocieplenia zależy od rodzaju użytego materiału oraz od tego, z czego jest wykonana podstawowa konstrukcja przegrody. Na etapie planowania budowy analizowanie takich możliwości daje zatem istotne możliwości optymalizacji kosztów wykonania przegród zewnętrznych budynków. Analizy takie powinni wykonywać projektanci i inni eksperci, którzy znają zagadnienia fizyki budowli oraz złożoność metody określania współczynników przenikania ciepła U .

Termoizolacją często myloną ze styropianem jest tzw. polistyren ekstrudowany, czyli wyciskany

(XPS), potocznie i błędnie nazywanym styrodurem (zarejestrowana nazwa wyrobu niemieckiej firmy BASF) albo styropianem ekstrudowanym. XPS może osiągać lepsze właściwości izolacyjne od styropianu ale jest też od niego znacznie droższy. Ze względu na małą nasiąkliwość stosuje się go w miejscach narażonych na działanie wody takich jak izolacja od zewnątrz ścian piwnicznych i fundamentowych.

4.1 Ekonomiczne korzyści z wyboru płyt styropianowych

Dobrze zaprojektowane ocieplenie budynku z wykorzystaniem materiałów o optymalnych parametrach fizycznych i termicznych jest jednym z kluczowych aspektów decydujących o oszczędnościach finansowych uzyskiwanych w całym procesie jego użytkowania. Poniżej przedstawiono analizę korzyści ekonomicznych na przykładzie modelowego domu jednorodzinnego opisanego w rozdziale 10. Przyjęto dom jednorodzinny ponieważ tych budynków jest około 6,5 mln. Większość z nich jest nieocieplonych lub słabo ocieplonych, a głównym źródłem ciepła w tych budynkach jest kocioł na paliwo stałe (węglowy kociuch).

Dla modelowego domu jednorodzinnego z kotłem węglowym i wentylacją grawitacyjną przy pomocy programu Audytor OZC wykonano dwa Świadectwa charakterystyki energetycznej. Pierwsze dla budynku bez izolacji termicznej, drugie dla budynku z styropianowymi izolacjami termicznymi wszystkich przegród o grubości takiej aby budynek spełniał wymagania dla EP na poziomie WT2021 czyli $EP=70 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$.

Budynek nieocieplony posiadał następujące wartości parametrów:

- $EP= 441,2 \text{ kWh/ m}^2/\text{rok}$,
- $EK= 390,5 \text{ kWh/ m}^2/\text{rok}$.
- $EU= 264,4 \text{ kWh/ m}^2/\text{rok}$.

Budynek ocieplony:

- Podłoga: 20 cm styropianu o $\lambda=0,038 \text{ W/mK}$, $U=0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Dach: 30 cm styropianu o $\lambda= 0,038 \text{ W/mK}$, $U=0,126 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- Ściany zewnętrzne: 22 cm styropianu o $\lambda=0,038 \text{ W/mK}$, $U=0,158 \text{ W/m}^2\text{K}$,

posiadał następujące wartości parametrów:

- $EP= 43,6 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$,
- $EK= 62,5 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$.
- $EU= 66,3 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$.

Kluczowy z punktu widzenia właściciela budynku jest parametr EK, czyli wskaźnik zużycia energii końcowej. W wyniku ocieplenia jego wartość spadła o 85% z $390,5 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$, na $62,5 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$, co dało oszczędności w wysokości $328 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$, a przeliczając na złotówki $75,4 \text{ zł/m}^2/\text{rok}$. Wiedząc, że budynek ma powierzchnię użytkową równą $144,2 \text{ m}^2$ i koszt ocieplenia według cen z 2020 roku wynosi około 75.920 zł to prosty okres zwrotu nakładów wynosi: 7,1 roku. Jak widać inwestycja zwróci się bardzo szybko, więc korzyści ekonomiczne z zastosowania ocieplenia z płyt styropianowych są znaczne. Więcej takich przykładów zostało opisanych w Rozdziale 10.

4.2 Wpływ na środowisko stosowania izolacji z płyt styropianowych

Produkty wytwórców zrzeszonych w Polskim Stowarzyszeniu Producentów Styropianu posiadają Deklarację Środowiskową Produktu Typu III (EPD) opartą na normie EN 15804 i zweryfikowaną zgodnie z ISO 14025 przez zewnętrznego audytora. Dokument zawiera informacje o oddziaływaniu deklarowanych wyrobów budowlanych na środowisko i potwierdza, że płyty styropianowe posiadają bardzo korzystną charakterystykę środowiskową. Gama produktów objętych dokumentem EPD jest wykorzystywana w zastosowaniach takich jak izolacja ścian, izolacja podłóg, izolacja dachów płaskich, skośnych, kompletne systemy ociepleń (ETICS), izolacja ścian szczelinowych, izolacja stropów i stropodachów, podłóg na gruncie, fundamentów, izolacja wyposażenia budynków i instalacji przemysłowych. Deklaracja EPD ma zastosowanie do jednorodnych produktów EPS, nie zawierających dodatkowych materiałów wsadowych. Jeszcze bardziej korzystne wyniki w tym zakresie uzyskują produkty o zwiększonym udziale składników pochodzących z recyklingu. Badania, które traktują temat oceny oddziaływań i aspektów środowiskowych wyrobów do izolacji szerzej, tj. w kontekście złożonych zestawów izolacji cieplnej ETICS (pełnego zestawu produktów składających się na ocieplenie) dowodzą, że układy ze styropianem stanowią niższe obciążenie dla środowiska niż np. układy z wełną mineralną i to praktycznie we wszystkich analizowanych wskaźnikach charakterystyk środowiskowych¹

4.2.1 Produkcja

Biorąc pod uwagę gęstość oraz masę wyrobów do izolacji stosowanych na rynku, w procesie produkcji płyt styropianowych zużywa się o blisko 1/3 mniej energii w porównaniu z produkcją wełny mineralnej o podobnych parametrach izolacyjnych, a więc podobnej skuteczności w zakresie termoizolacji przegrody. Przekłada się to na mniejszą emisję szkodliwych związków do atmosfery. Przykładowo:

- gęstość najbardziej popularnego i najpowszechniej stosowanego **styropianu fasadowego** o współczynniku przewodzenia ciepła 0,040 W/(m K) to **ok. 13,5 kg/m³**, co w przeliczeniu na jednostkę masy wg danych dot. skumulowanego zużycia energii na wytworzenie wyrobu² (EPS 82 MJ/kg) daje wartość: **1107 MJ/m³**;
- gęstość porównywalnej w zakresie parametrów izolacyjnych do ww. styropianu **fasadowej skalnej wełny mineralnej** to **min. 80 kg/m³**, co w przeliczeniu na jednostkę masy wg danych dot. skumulowanego zużycia energii na wytworzenie wyrobu (MW 20,75 MJ/kg) daje wartość: **1660 MJ/m³**.

Produkcja płyt styropianowych nie niszczy warstwy ozonowej, ponieważ na żadnym jej etapie nie używa się trwałych związków chemicznych (np. szkodliwego dla atmosfery freonu), a jedynie pentan. Jest to węglowodór prosty, który szybko ulega rozkładowi i nie przedostaje się do stratosfery.

1 J. Górzyński, Efektywność energetyczna w działalności gospodarczej, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2017.

2 Sebastian Czernik, Marta Marcinek, Bartosz Michałowski, Michał Piasecki, Justyna Tomaszewska, Jacek Michałak, Charakterystyka środowiskowa złożonych zestawów izolacji cieplnej (ETICS) z płytami z ekspandowanego polistyrenu i wełny mineralnej, Materiały Budowlane 3/2021 (nr 583)

Styropian jest zatem całkowicie neutralny dla środowiska, a także bezpieczny dla zdrowia. Pentan nie jest szkodliwy dla ochronnej warstwy ozonowej, bo ze względu na swoją niewielką trwałość nie dociera do wysokich warstw atmosfery. Pentan ulega szybkiemu rozkładowi również w gruncie i wodzie. W efekcie więc, pentan nie tylko nie obciąża środowiska, ale nawet jest dla niego korzystny ponieważ prowadzi do zmniejszenia stężenia CO₂ w atmosferze.

4.2.2 Oszczędności na ogrzewaniu

Z każdym litrem ropy naftowej, który jest wykorzystywany przy produkcji styropianu, można zaoszczędzić 100 litrów oleju opałowego niezbędnego do ogrzania budynku. Jest to naprawdę imponujący bilans zwłaszcza, że sektor budowlany, według danych Komisji Europejskiej, pochłania prawie 40% finalnego zużycia energii elektrycznej w Unii Europejskiej. Dobrze zaizolowany dom wolniej nagrzewa się latem i wychładza zimą. Eksperti twierdzą, że dzięki przemyślanym decyzjom i właściwym doborze styropianu można zaoszczędzić na ogrzewaniu nawet do 80% kosztów.

4.2.3 Energia wbudowana w materiał

Ilość energii, jaka potrzebna jest do wyprodukowania jednego metra sześciennego styropianu, łącznie z energią potrzebną na pozyskanie surowców i ich transport, wynosi zależnie od gęstości produktu 150 do 270 kWh.

4.2.4 Obróbka

Procesy obróbki spienionego polistyrenu nie stwarzają żadnego zagrożenia dla zdrowia ludzkiego. Na miejscu budowy, podczas cięcia, piłowania czy wiercenia w tym materiale nie występują żadne zagrożenia związane z pyleniem i wdychaniem drobin materiału lub innymi podrażnieniami. Płyty styropianowe i różnego rodzaju pianki styropianowe są produkowane i wykorzystywane do wielu zastosowań, także w branży spożywczej. Kilkadziesiąt lat doświadczeń ze styropianem pozwala wyciągnąć wniosek, że to materiał bezpieczny, trwały i przyjazny dla ludzi.

4.2.5 Promieniotwórczość naturalna

Styropian, w przeciwieństwie do niektórych mineralnych materiałów budowlanych, nie emituje żadnego promieniowania radioaktywnego typu alfa, beta czy gamma. Oprócz tego nie zawiera on żadnych mierzalnych ilości radu w swoich porach i nie jest źródłem emisji radonu do powietrza.

4.2.6 Użytkowanie

Badania laboratoryjne przeprowadzone przez ITB w roku 2020 na płytach styropianowych nie wykazały emisji LZO w stężeniach przekraczających zalecane progi zdrowotne (UE-LCI), w szczególności szkodliwych dla zdrowia formaldehydów występujących w innych termoizolacjach, co czyni je wyrobami przyjaznymi do stosowania we wnętrzach budynków.

4.2.7 Trwałość

Styropian jest stosowany na świecie od 1954 roku. Wieloletnie badania oraz obserwacja zachowania tego materiału, wbudowanego w przegrody budynku, potwierdziły, że żadne jego właściwości techniczne nie ulegają zmianom w czasie. Prawidłowo zainstalowane płyty styropianowe są wodoodporne, trwałe pod względem właściwości izolacyjnych, konstrukcyjnych i wymiarowych. Ponadto, są odporne na biologiczną korozję i efekty działania mikroorganizmów oraz na większość substancji chemicznych (nie należy jednak dopuszczać do kontaktu styropianu z rozpuszczalnikami organicznymi). Powyższe potwierdza pełną przydatność styropianu jako materiału izolacyjnego w najróżniejszych obszarach zastosowań, dla całego praktycznie okresu życia technicznego obiektu.

4.2.8 Spalanie

W przypadku pożaru i spalania się styropianu nie należy się obawiać zagrożenia gazami powstającymi w tym procesie ani też skażenia gruntu lub wody. Spaliny można porównywać z tymi, jakie powstają podczas spalania drewna. Rodzaj substancji, jakie powstają podczas rozkładu styropianu, zależy w istotny sposób od warunków pożarowych. W celu oceny gazowych produktów rozpadu styropianu w porównaniu do różnych od dawna stosowanych materiałów budowlanych sformułowano specjalną metodę badawczą. Liczne badania nad inhalacyjną toksycznością spalin wykazały, że o szkodliwości decyduje głównie sam tlenek węgla, a także, że stężenie tlenu węgla w spalinach po styropianie jest mniejsze niż w badanych przykładowo spalinach drewna, płyt pilśniowych czy korkowych. Wpływ innych gazów na toksyczność spalin jest, przy ustalonych wg badań stężeniach, znikomym. Spaliny po styropianie nie stanowią również żadnego szczególnego zagrożenia dla środowiska i nie są żadnym czynnikiem korozyjnym dla budynku i jego konstrukcji. Trwałe produkty spalania styropianu nie wymagają żadnego specjalnego trybu usuwania lub składowania. Powinny być one np. przekazane do zakładu termicznego unieszkodliwiania odpadów lub na komunalne składowisko. Nie są one szkodliwymi substancjami ani dla powietrza, ani też dla gleby lub wód gruntowych.

4.2.9 Ponowne użycie materiału

Materiał uzyskany z płyt styropianowych może być na różne sposoby ponownie wykorzystywany. W zakładach produkcyjnych odpady powstające podczas przycinania styropianu są bezpośrednio zwracane do wcześniejszych etapów produkcji materiału i tam wprost wykorzystywane ponownie.

Podczas procesów chemicznych możliwe jest ponowne użycie jako surowców wyjściowych odpadów tworzyw sztucznych. Poprzez pirolizę i uwodornienie możliwe jest odzyskanie surowców, które są następnie ponownie używane do produkcji jako pełnowartościowe substancje produkcyjne. Rozdrobnione odpady styropianowe są stosowane również w budownictwie, przy wytwarzaniu różnych lekkich materiałów budowlanych o izolacyjnych właściwościach. Poprzez domieszkę granulatu styropianowego do betonu powstaje styrobeton. Wykonuje się z niego m.in. elementy ścienne, klasyfikowane jako materiał niepalny i spełniające wysokie wymagania w zakresie izola-

cyjności termicznej i akustycznej. Styrobeton jest również stosowany jako warstwa chroniąca przed mrozem głębiej położone warstwy dróg. Mielony styropian jest także stosowany jako dodatek do poryzowanych wyrobów ceramicznych. Wykonane w ten sposób cegły albo pustaki łączą w sobie jednocześnie cechy dużej wytrzymałości mechanicznej i izolacyjności termicznej. Drobne frakcje granulatu styropianowego dodane do zapraw i tynków pozwalają wyeliminować lub zmniejszyć wpływ mostków termicznych, a także podwyższyć ogólną izolacyjność termiczną przegrody. Zużyte wyroby styropianowe i odpady mogą być niszczone w zakładach termicznego unieszkodliwiania odpadów, ich spalanie odbywa się łatwo i bez pozostałości. Podczas tego procesu styropian może zastępować olej opałowy, używany do podtrzymywania spalania, 1 kg styropianu pozwala zaoszczędzić 1,3 l oleju.

4.2.10 Składowanie odpadów

Tam, gdzie ponowne użycie styropianu nie jest możliwe, składowuje się go jako odpad na składowiskach. Odpady styropianowe są materiałem obojętnym pod względem biologicznym i chemicznym, nie powodują one skażenia wód powierzchniowych ani powietrza. Obecność styropianu sprzyja lepszej wentylacji składowiska, co w efekcie przyspiesza rozpad substancji organicznych, redukując w ten sposób emisję zapachów i możliwość samozapłonu składowiska.

5. SZCZEGÓŁOWY OPIS METODY OBLICZENIOWEJ WYKORZYSTANEJ W SYMULACJACH

Jedną z metod analizy korzyści wynikających z zastosowanych w budynku rozwiązań, w tym technologii i parametrów materiału użytego do ocieplenia jego przegród, jest analiza zapotrzebowania budynku na energię. Zapotrzebowanie budynku na energię obejmuje zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej, oświetlenia oraz zasilanie urządzeń gospodarstwa domowego i innego wyposażenia (np. urządzenia pomocnicze). Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania stanowi różnicę pomiędzy stratami ciepła przez przegrody zewnętrzne i wentylację, a zyskami ciepła od promieniowania słonecznego oraz wewnętrznymi zyskami ciepła.

W systemie oświetlenia i do zasilania urządzeń niezbędna jest energia elektryczna dostarczona z Krajowego Systemu Energetycznego lub lokalnej instalacji fotowoltaicznej.

Systemy technicznego wyposażenia budynku mają za zadanie dostarczenie ciepła na wszystkie potrzeby oraz energii elektrycznej. Przy dostarczeniu do systemu odpowiedniej ilości energii w systemach technicznych w budynku występują straty ciepła i energii elektrycznej, a niektóre rodzaje nośników energii muszą zostać w systemach tych zamienione (np. konwersja energii elektrycznej w ciepło w pompach ciepła). Energia zużywana na poszczególne potrzeby w budynku pochodzi z nośników energii dostarczonej do budynku oraz energii wytworzonej na miejscu ze źródeł odnawialnych (bez zastosowania paliw konwencjonalnych).

5.1.1 Metoda obliczeniowa

Zapotrzebowanie na energię użytkową do celów ogrzewania i wentylacji określa się, jako bilans energetyczny pomieszczeń, stref i części ogrzewanych obiektu w podziale wynikającym z konieczności uwzględnienia różnic w przeznaczeniu części obiektu i sposobu użytkowania.

Obliczenia zapotrzebowania na energię użytkową wykonuje się wg metody miesięcznej zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015 poz. 376). Do wykonania takich obliczeń można używać szeroko dostępne na rynku specjalistyczne oprogramowanie.

Obliczenia zapotrzebowania na energię użytkową do celów ogrzewania i chłodzenia wykonuje się na podstawie statystycznych danych klimatycznych (w niniejszym opracowaniu Warszawy) opublikowanych na stronie internetowej Ministerstwa Rozwoju i Technologii. Powyższe dane klimatyczne wykorzystuje się również do obliczenia wewnętrznych zysków ciepła od nasłonecznienia. Sprawność układów technologicznych i instalacji do wytwarzania i transportu ciepła/energii należy określać z uwzględnieniem wszystkich składowych sprawności w granicach bilansowych obiektu projektowanego wg:

- metodyki podanej w rozporządzeniu dotyczących wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej budynków lub
- metodyki podanej w rozporządzeniu dotyczących wykonywania świadectw charakterystyki

energetycznej budynków z uwzględnieniem danych i wytycznych szczegółowych udostępnionych przez producentów i dostawców urządzeń i technologii lub

- w oparciu o udokumentowaną wiedzę techniczną.

Pozostałe, niezbędne dane i wymagania mające wpływ na wielkość zapotrzebowania na energię końcową można przyjmować na podstawie:

- norm i wytycznych obowiązujących w projektowaniu, określonych na podstawie przepisów odrębnych,
- materiałów informacyjnych oraz dokumentów dostawców i producentów materiałów, urządzeń i technologii.

W bilansie energetycznym określającym zapotrzebowanie na ciepło użytkowe pomieszczeń, stref i części budynków należy uwzględnić wewnętrzne zyski ciepła i zyski ciepła od nasłonecznienia.

Aby wyznaczyć poziom wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej budynku (wartość maksymalna parametru E_k) dla określonych obiektów (budynek wielorodzinny, biurowy, jednorodzinny) przeprowadzono symulację wyznaczającą optymalny pod względem kosztów punkt równowagi między wymaganymi nakładami i kosztami energii zaoszczędzonymi podczas cyklu życia budynku, przy następujących założeniach.

- Budynek powinien być zaprojektowany w sposób zapewniający możliwość uzyskania minimalnego zdyskontowanego kosztu całkowitego w dwudziestoletnim okresie użytkowania, przy stopie dyskonta 3%. Zdyskontowany koszt całkowity obejmuje całkowite koszty budowy budynku i całkowite koszty eksploatacji (wszystkich mediów sieciowych i paliw) w założonym okresie.
- Zdyskontowany koszt całkowity KCZ został określony jako suma całkowitego kosztu budowy KB poszczególnych rodzajów budynków (budynek wielorodzinny, biurowy, jednorodzinny) poniesionego w roku zero ze współczynnikiem dyskontującym równym 1 oraz kosztów energii powiększonych o koszty eksploatacji KEN+EKSP w kolejnych 20 latach eksploatacji wymnożonych przez współczynnik dyskontujący określony dla kolejnych lat z zależności $d_j = 1/(1+i)^j$, gdzie $j=1, \dots, 20$, $i = 0,02$ odpowiada wielkości stopy dyskonta. W obliczeniach uwzględniono wskaźnik wzrostu cen energii średnio w wysokości 2% ponad poziom inflacji rok do roku w dwudziestoletnim okresie eksploatacji oraz wskaźnik inflacji w wysokości 2,42% rocznie w odniesieniu do kosztów serwisów i przeglądów. Wartość wskaźnika wzrostu cen energii ponad poziom inflacji rok do roku w dwudziestoletnim okresie eksploatacji oraz wartość wskaźnik inflacji w wysokości 2,42% rocznie zostały przyjęte w wyniku analizy historycznych wartości tych wskaźników analizy trendów makroekonomicznych w okresie za lata 2010 – 2021. Uzyskane wskaźniki wzrostu cen energii przedstawione zostały w poniższej tabeli.
- Cykl życia budynków przyjęto na poziomie 20 lat. W zaleceniach Komisji Europejskiej przyjmuje się czas życia budynku na około 30 lat. Autorzy niniejszego opracowania skrócili ten

okres do 20 lat biorąc pod uwagę techniczny czas życia urządzeń wykorzystywanych w budownictwie energooszczędnym oraz konieczność przeprowadzenia po 20 latach użytkowania remontu kapitalnego budynku.

- Wartości kosztów inwestycyjnych odniesionych do 1 m² powierzchni użytkowej poszczególnych rodzajów budynków (budynki wielorodzinny, biurowy, jednorodzinny) przyjęto na poziomie cen dla Warszawy w III kwartale 2022 r. na podstawie szczegółowych kosztorysów wykonanych przez zawodowego kosztorysanta przy pomocy programu Norma.

Tabela 16. Wyniki analizy cen energii w latach 2010 - 2020

Inflacja ¹ = 1,89%	Energia elektryczna ²	Gaz ziemny ³	LPG ⁴	Węgiel ⁵	Ciepło sieciowe ⁶	Olej opałowy ⁷	Pellet ⁸
Średni współczynnik wzrostu cen	2,91%	7,16%	4,45%	13,27%	6,83%	12,85%	12,25%
Średni współczynnik wzrostu cen pomniejszony o wartość inflacji	0,49%	4,74%	2,03%	10,85%	4,52%	9,95%	9,84%

Źródło: Opracowanie własne KAPE

- 1 Średni współczynnik inflacji w latach 2010 – 2022 na podstawie <https://www.finanse.mf.gov.pl/web/wp/pp/kalkulatory/kalkulator-inflacji>
- 2 Średni wzrost cen energii elektrycznej w latach 2010 – 2022 na podstawie <https://ec.europa.eu/eurostat>
- 3 Średni wzrost cen gazu ziemnego w latach 2010 – 2022 na podstawie <https://ec.europa.eu/eurostat>
- 4 Średni wzrost cen LPG w latach 2010 – 2022 na podstawie cen rynkowych <https://www.bankier.pl/gospodarka/wskazniki-makroekonomiczne/lpg-pol>
- 5 Średni wzrost cen detalicznych węgla kamiennego na podstawie „Komunikatów Prezesa Głównego Urzędu Statystycznego w sprawie przeciętnej średniorocznej ceny detalicznej 1000 kg węgla kamiennego w latach 2010 – 2022”
- 6 Średni wzrost cen ciepła sieciowego w latach 2010 - 2022 na podstawie „Średnie ceny sprzedaży ciepła [w zł/GJ] dla jednostek wytwórczych niebędących jednostkami kogeneracji opalanych paliwami węglowymi URE”
- 7 Średni wzrost cen Oleju opałowego w latach 2010 – 2022 na podstawie cen rynkowych https://www.lotos.pl/145/type,oil_rgterm/dla_biznesu/hurtowe_ceny_paliw/archiwum_cen_paliw
- 8 Średni wzrost cen pelletu na podstawie wartości rynkowych w latach 2010, 2016, 2018, 2020 oraz 2022 przyjętych jako średnia ze skrajnych cen w poszczególnych latach <https://magazynbiomasa.pl/ceny-pelletu-sa-obecnie-naprawde-korzystne-sprawdz/>

6. WPŁYW ZASTOSOWANEJ TECHNOLOGII OCIEPLENIA PRZEGRÓD ORAZ SPOSOBU DOSTARCZANIA CIEPŁA NA ZMIANĘ ZAPOTRZEBOWANIA NA CIEPŁO

Analizę zmian zapotrzebowania na ciepło dla 3 typów budynków (jednorodzinny, wielorodzinny, biurowy) oraz 3 wariantów obejmujących wzrost standardu ochrony cieplnej (w zależności od zmian izolacyjności cieplnej przegród) i zastosowania dostępnych technologii energooszczędnych z uwzględnieniem możliwości dojścia do standardu pasywnego wykonano na podstawie wyników obliczeń programem Audytor OZC. Obliczenia ograniczono jedynie do budynków z izolacją cieplną wszystkich przegród nieprzezroczystych wykonaną ze styropianu. Oceniano wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej. Wyniki obliczeń dla wszystkich wariantów danych przeznaczonych do symulacji zmian zapotrzebowania na energię oraz kosztów energii i całkowitych kosztów użytkowania, czyli 3 typów budynków, 3 typów standardów energetycznych oraz 9 źródeł ciepła:

- kocioł węglowy (wyprodukowany po 2000 r.),
- kocioł na gaz ziemny (kondensacyjny 70/55°C),
- kocioł na LPG(kondensacyjny 70/55°C),
- kocioł na olej opałowy(kondensacyjny 70/55°C),
- pompa ciepła (woda/woda 55/45°C), zasilana energią elektryczną z KSE,
- pompa ciepła (woda/woda 55/45°C), zasilana energią elektryczną z lokalnej instalacji PV,
- urządzenia oporowe zasilane energią elektryczną z KSE,
- węzeł cieplny (kompaktowy z obudową) – sieć ciepłownicza Warszawa.
- kocioł na biomasę (automatyczny) - pellet.

Tabela 17 przedstawia wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku biurowego.

Tabela 18 przedstawia wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC , wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku wielorodzinnego.

Tabela 19 przedstawia wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku jednorodzinnego.

Tabela 17. Wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku biurowego

Standard energetyczny budynku	Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 95 [kWh/m ² /rok])						EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach ¹	Ściany zew. ²	Okna o współczynniku przenikania ciepła [W/(m ² K)]	Rodzaj materiału ocieplenia przegrod zew.	Lambda =			
Budynek istniejący	12 cm i 20 cm U=0,090	25 cm U=0,086 / 25 cm i 5 cm U=0,077	35 cm U=0,094	0,8	Styropian		14,9	26,5	60,1
Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	0,8	Styropian	0,035	25,00	49,10	62,90
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	0,7	Styropian	0,038	24,00	47,80	61,50
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	0,5	Styropian	0,033	20,70	43,60	56,90
Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	0,8	Styropian		25,00	50,60	64,50
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	0,7	Styropian	0,038	24,00	49,30	63,10
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	0,5	Styropian	0,033	20,70	45,10	58,50
Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	0,8	Styropian		25,00	51,00	65,00
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	0,7	Styropian	0,038	24,00	49,70	63,50
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	0,5	Styropian	0,033	20,70	44,80	58,20

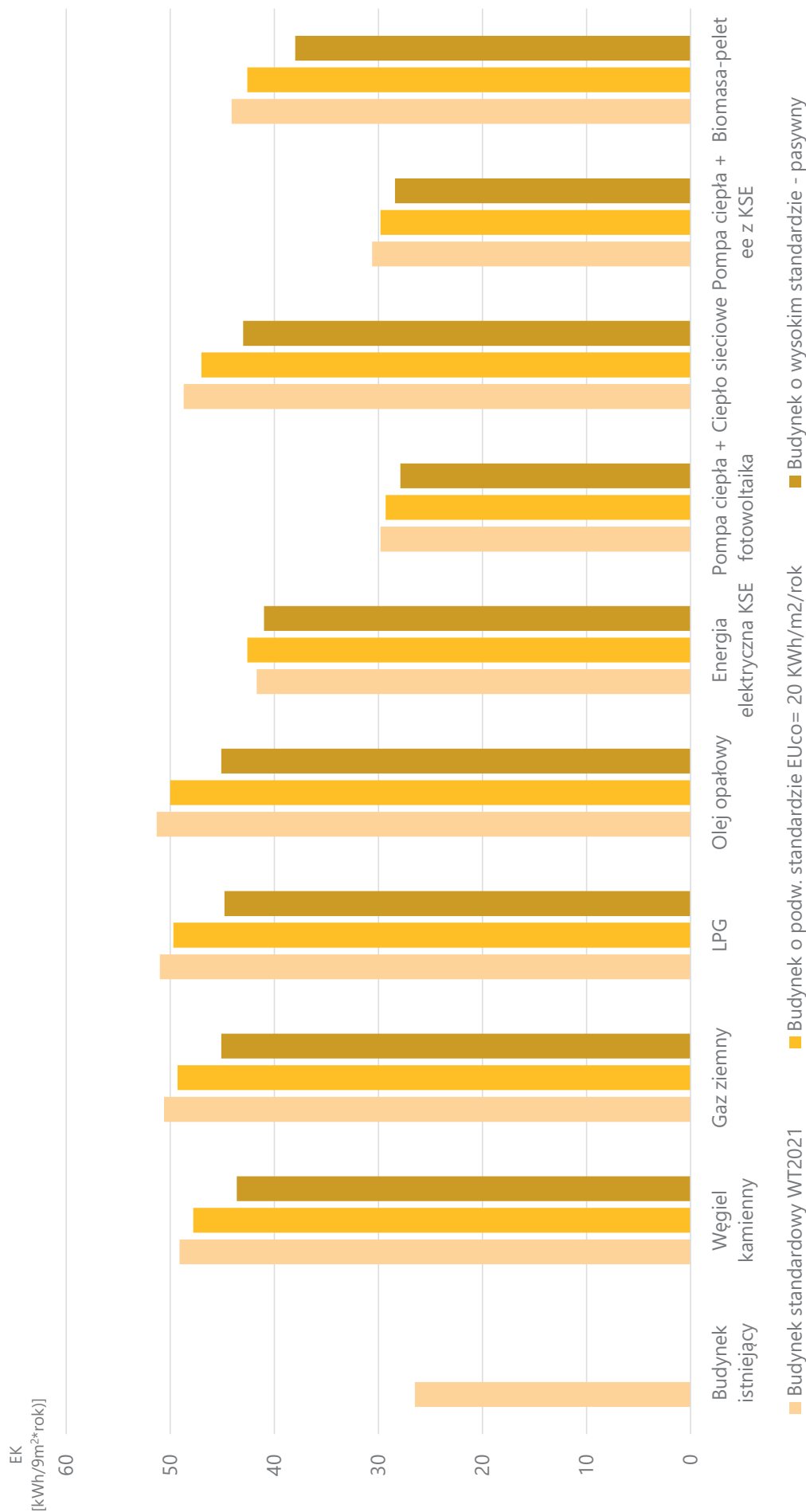
- 1 Więcej niż jedna wartość danych w danym wierszu wskazuje na to, że występowały różne rodzaje dachów albo stropodachów o różnych wartościach grubości izolacji przegrod.
- 2 Więcej niż jedna wartość danych w danym wierszu wskazuje na to, że występowały różne rodzaje ścian o różnych wartościach grubości izolacji przegrod.

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 95 [kWh/m ² /rok])									
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła [W/(m ² K)]	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]	
	Podłoga	Dach albo stropodach ¹	Ściany zew. ²						
Olej opałowy	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	0,8	Styropian Lambda= 0,038	25,00	51,30	65,30
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,00	50,00	63,90
Oleja KSE	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	0,5	Styropian Lambda= 0,031	20,70	45,10	58,50
	Budynek standardowy WT2021	10 cm i 5 cm U=0,151	30 cm U=0,123 / 20 cm i 10 cm U=0,121	30 cm U=0,118/0,121	0,8	Styropian Lambda= 0,038	21,70	41,70	101,20
Energia elektryczna	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	10 cm i 5 cm U=0,138	30 cm U=0,107 / 20 cm i 10 cm U=0,106	30 cm U=0,103/0,106	0,7	Styropian Lambda= 0,033	20,50	42,60	100,40
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 10 cm U=0,109	30 cm U=0,101 / 20 cm i 10 cm U=0,100	30 cm U=0,097/0,100	0,5	Styropian Lambda= 0,031	19,20	41,00	95,80
Pompa ciepła + fotowoltaika	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	0,8	Styropian Lambda= 0,038	25,00	29,80	21,80
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,00	29,30	21,50
Ciepło sieciowe	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	0,5	Styropian Lambda= 0,031	20,70	27,90	20,50
	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	0,8	Styropian Lambda= 0,038	25,00	48,70	53,30
Ciepło sieciowe	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,00	47,00	52,00
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	0,5	Styropian Lambda= 0,031	20,70	43,00	48,90

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 95 [kWh/m ² /rok])									
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła [W/(m ² K)]	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]	
	Podłoga	Dach albo stropodach ¹	Ściany zew. ²						
Pompa ciepła + ee z KSE	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	0,8	Styropian Lambda= 0,038	25,5	30,6	91,7
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,1	29,8	89,5
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	0,5	Styropian Lambda= 0,031	21,5	28,4	85,1
Biomasa-pellet	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	0,8	Styropian Lambda= 0,038	25,00	44,10	31,00
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,00	42,60	30,80
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	0,5	Styropian Lambda= 0,031	20,70	38,00	29,90

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Rysunek 3. Wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku biurowego



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 18. Wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku wielorodzinnego

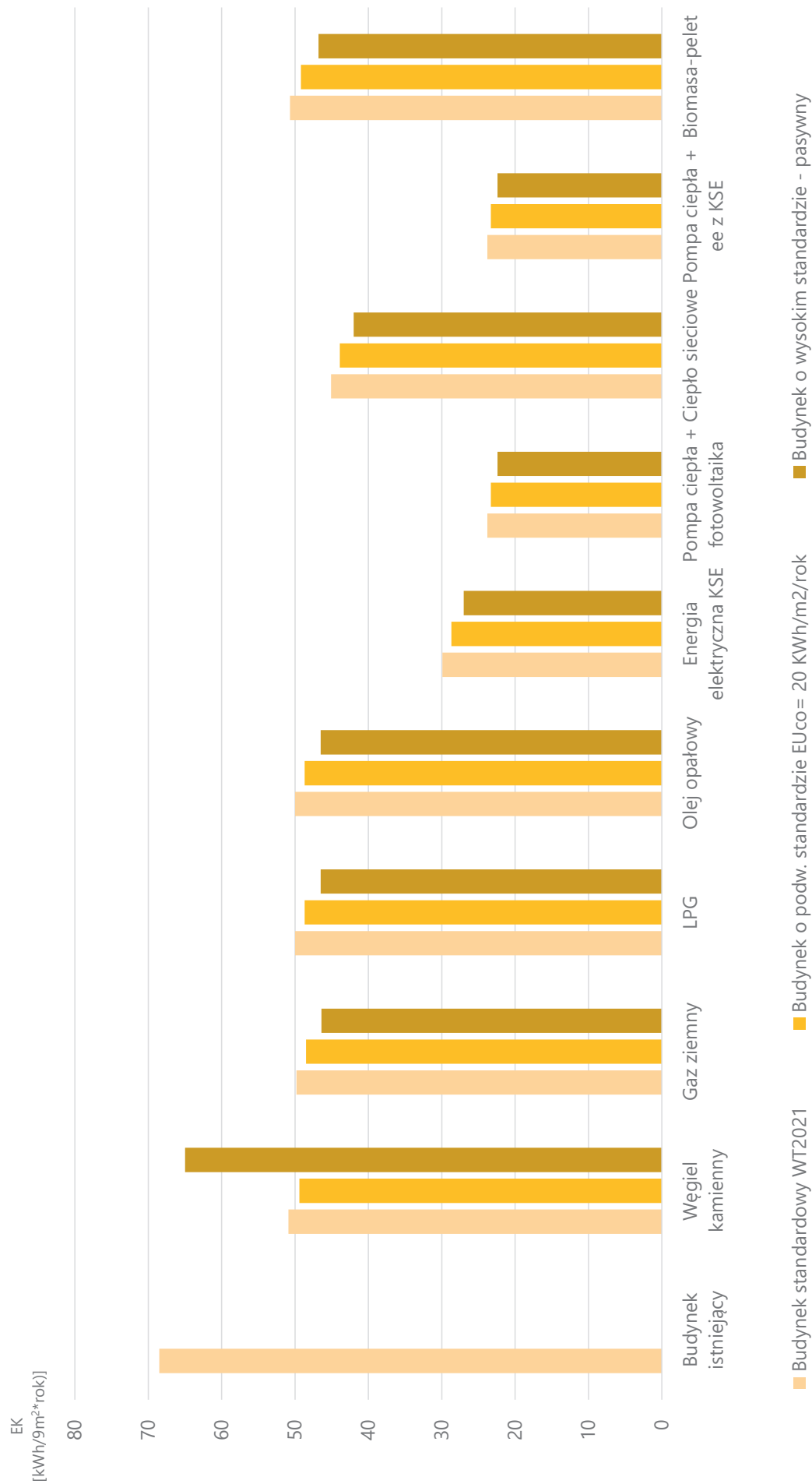
Standard energetyczny budynku	Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 95 [kWh/m ² /rok])						EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]
	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła [W/(m ² K)]	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	Lambda			
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.						
Budynek istniejący	10 cm U=0,429	24 cm U=0,288	18 cm U=0,150	1,1	Styropian		33,9	68,50	95,00
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,092	40 cm U=0,086	30 cm U=0,113	0,8	Styropian	0,036	25,60	50,90	65,00
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,086	40 cm U=0,104	30 cm U=0,104	0,7	Styropian	0,033	24,50	49,40	63,30
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,082	40 cm U=0,074	30 cm U=0,098	0,5	Styropian	0,031	22,90	46,90	60,40
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,092	40 cm U=0,086	30 cm U=0,113	0,8	Styropian	0,036	25,60	49,80	63,80
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,086	40 cm U=0,104	30 cm U=0,104	0,7	Styropian	0,033	24,50	48,50	62,30
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,082	40 cm U=0,074	30 cm U=0,098	0,5	Styropian	0,031	22,90	46,40	59,80
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	0,8	Styropian	0,038	25,60	50,00	64,00
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	0,7	Styropian	0,033	24,50	48,70	62,50
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	0,5	Styropian	0,031	22,90	46,50	60,00

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 95 [kWh/m ² /rok])									
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła [W/(m ² K)]	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]	
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.						
Olej opałowy	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	0,8	Styropian Lambda= 0,036	25,60	50,00	64,00
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,50	48,70	62,50
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	0,5	Styropian Lambda= 0,031	22,90	46,50	60,00
Energia elektryczna KSE	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	0,8	Styropian Lambda= 0,036	25,60	29,90	89,6
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,50	28,70	86,20
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	0,5	Styropian Lambda= 0,031	22,90	27,00	80,90
Pompa ciepła + fotowoltaika	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	0,8	Styropian Lambda= 0,036	25,60	23,80	17,90
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,50	23,30	17,80
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	0,5	Styropian Lambda= 0,031	22,90	22,40	17,60
Ciepło sieciowe	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	0,8	Styropian Lambda= 0,036	25,60	45,10	63,00
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,50	43,90	62,30
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	0,5	Styropian Lambda= 0,031	22,90	42,00	60,60

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 95 [kWh/m ² /rok])									
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła [W/(m ² K)]	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]	
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.						
Pompa ciepła + ee z KSE	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	0,8	Styropian Lambda= 0,036	25,60	23,80	71,40
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,50	23,30	69,80
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	0,5	Styropian Lambda= 0,031	22,90	22,40	67,30
Biomasa-pellet	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	0,8	Styropian Lambda= 0,036	25,60	50,70	23,40
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	0,7	Styropian Lambda= 0,033	24,50	49,20	23,00
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	0,5	Styropian Lambda= 0,031	22,90	46,80	22,30

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Rysunek 4. Wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźników EK ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku wielorodzinnego



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 19. Wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku jednorodzinnego

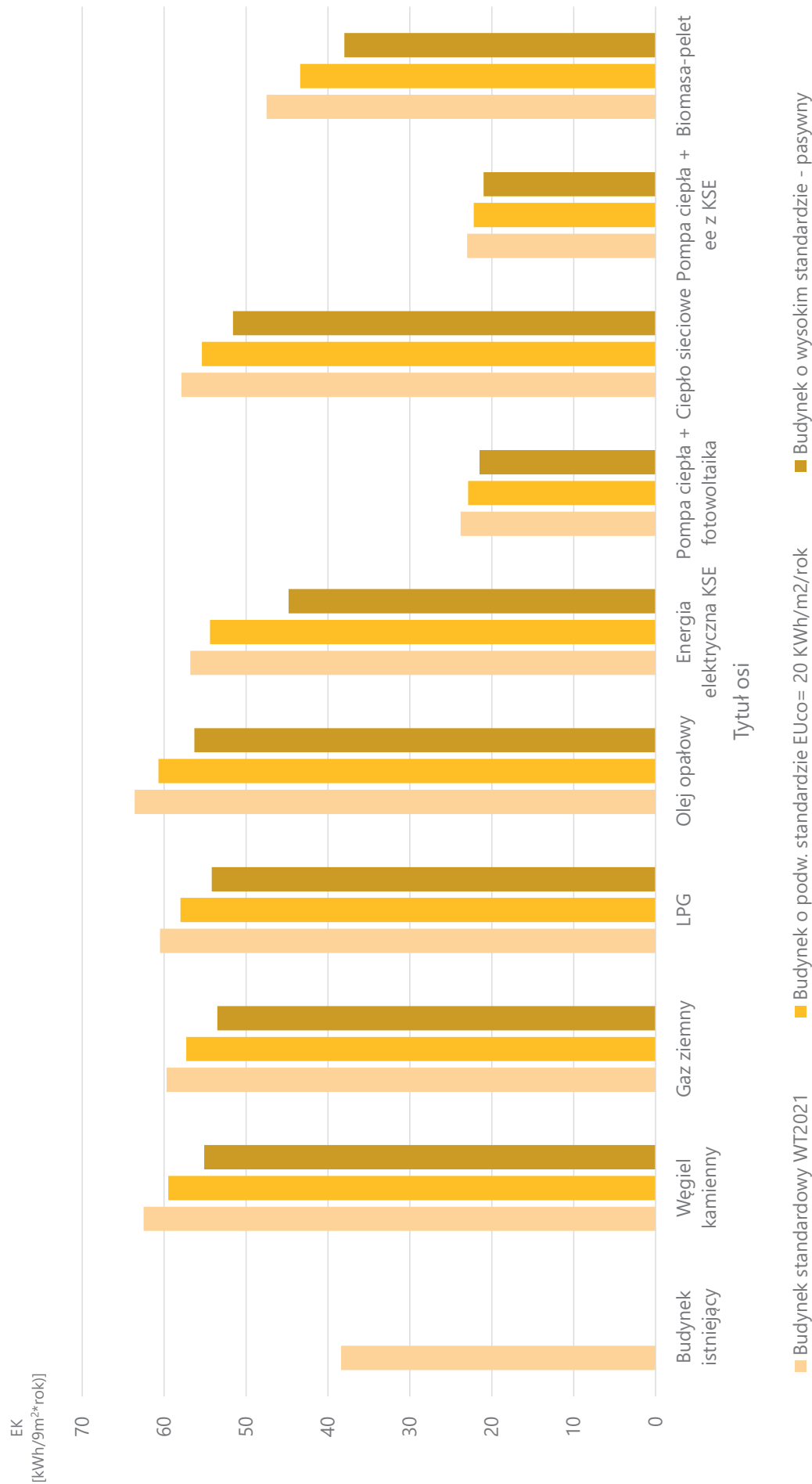
Standard energetyczny budynku	Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 95 [kWh/m ² /rok])						EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]
	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła [W/(m ² K)]	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	Lambda			
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.						
Budynek istniejący	28 cm U=0,105	30 cm U=0,113	38 cm U=0,087	0,9	Styropian		41,70	38,40	115,10
Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	0,8	Styropian	0,038	43,60	62,50	66,30
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	0,7	Styropian	0,033	41,3 EUco= 17,2	59,50	63,00
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	0,5	Styropian	0,031	37,9 EUco= 13,7	55,10	58,20
Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	0,8	Styropian	0,038	43,60	59,70	63,20
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	0,7	Styropian	0,033	41,3 EUco= 17,2	57,30	60,60
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	0,5	Styropian	0,031	37,7 EUco= 13,6	53,50	56,40
Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	0,8	Styropian	0,038	43,60	60,50	64,10
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	0,7	Styropian	0,033	41,30 EUco= 17,2	58,00	61,40
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	0,5	Styropian	0,031	37,70 EUco= 13,6	54,20	57,20

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 95 [kWh/m ² /rok])									
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła [W/(m ² K)]	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]	
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.						
Olej opałowy	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	0,8	Styropian Lambda= 0,036	43,60	63,60	67,50
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	0,7	Styropian Lambda= 0,033	41,3 EUco=17,2	60,70	64,30
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	0,5	Styropian Lambda= 0,031	37,70 EUco=13,6	56,30	59,40
Energia elektryczna KSE	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	0,8	Styropian Lambda= 0,036	43,70	56,80	170,30
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	0,7	Styropian Lambda= 0,033	41,4 EUco=22,2	54,40	163,10
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,086	30 cm U=0,107	20 cm U=0,098	0,5	Styropian Lambda= 0,031	33,6 EUco=9,5	44,80	124,20
Pompa ciepła + fotowoltaika	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	0,8	Styropian Lambda= 0,036	43,70	23,80	11,30
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	0,7	Styropian Lambda= 0,033	41,4 EUco=17,3	22,90	11,30
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	0,5	Styropian Lambda= 0,031	37,8 EUco=13,7	21,50	11,30
Ciepło sieciowe	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	0,8	Styropian Lambda= 0,036	43,70	57,90	45,70
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	0,7	Styropian Lambda= 0,033	41,4 EUco=17,3	55,40	43,70
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	0,5	Styropian Lambda= 0,031	37,8 EUco=13,7	51,60	40,70

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 95 [kWh/m ² /rok])									
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła [W/(m ² K)]	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]	
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.						
Pompa ciepła + ee z KSE	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	0,8	Styropian Lambda= 0,036	41,80	23,00	69,00
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	0,7	Styropian Lambda= 0,033	39,7 EUco=15,8	22,20	66,60
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	0,5	Styropian Lambda= 0,031	36,6 EUco=12,5	21,00	63,00
Biomasa-pellet	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	0,8	Styropian Lambda= 0,036	43,60	47,50	21,80
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	0,7	Styropian Lambda= 0,033	41,0 EUco=16,9	43,40	20,90
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	0,5	Styropian Lambda= 0,031	37,7 EUco=13,60	38,00	9,80

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Rysunek 5. Wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźnika EK ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku jednorodzinnego



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Dokładne analizowanie i optymalizacja grubości ociepleń przegród są istotne w przypadku budynków o zróżnicowanym (zmiennym w czasie) charakterze i intensywności użytkowania oraz w budynkach o większych (powyżej 0,5) współczynnikach kształtu A/V. Potwierdza to większe (jakkolwiek niewiele) zróżnicowanie zapotrzebowania na energię końcową dla poszczególnych standardów w budynku biurowym oraz jeszcze większe zróżnicowanie w budynku jednorodzinnym (w stosunku do budynku wielorodzinnego). W tego typu budynkach na pewno warto analizować możliwość zwiększenia grubości ociepleń ponad wymagane standardy, bo może prowadzić to istotnego obniżenia zapotrzebowania na energię końcową. W budynku wielorodzinnym, głównie z uwagi na bardziej zwartą bryłę, wpływ ten jest mniejszy. Główne możliwości dalszych usprawnień tkwią w ograniczaniu strat ciepła na wentylację i optymalizacji wykorzystania wewnętrznych zysków bytowych i zysków od promieniowania słonecznego. Ma to zresztą odzwierciedlenie w rzeczywistości. Deweloperów np. bardzo trudno skłonić do stosowania ponadstandardowych rozwiązań, co na szczęście nie pociąga za sobą istotnych, niekorzystnych skutków dla mieszkańców tych budynków.

Przykłady optymalizacji grubości ocieplenia przedstawiono w rozdziale 9.

7. WYCENA KOSZTÓW ZWIĄZANYCH ZE ZMIANAMI STANDARDU OCHRONY CIEPLNEJ

W celu oszacowania wielkości kosztów w cyklu życia LCC dla budynków w poszczególnych wariantach należy znać co najmniej koszty inwestycyjne dla wszystkich analizowanych wariantów techniczno-materiałowych oraz koszty eksploatacyjne. Koszty remontów oraz koszty rozbiórki pominięto ze względu na przyjęty 20-letni okres analizy LCC przy przyjętym okresie użytkowania budynków minimum 50 lat. Można również założyć, że dla wszystkich wariantów koszty te będą na zbliżonym poziomie, co nie wpłynie na jakościową ocenę wyników analiz.

Wycenę kosztów inwestycyjnych budowy 3 typów budynków w 3 standardach energetycznych i 9 sposobach wytwarzania ciepła na potrzeby budynków wykonał profesjonalny kosztorysant przy pomocy programu Norma w oparciu o bazę danych skojarzoną z tym programem oraz o rynkowe wyceny prac dla rozwiązań niestandardowych. Wyniki tych obliczeń zawierają: tabela 21 dla budynku biurowego, tabela 22 dla budynku wielorodzinnego, tabela 23 dla budynku jednorodzinnego.

W kosztach inwestycyjnych znajdują odzwierciedlenie zarówno zróżnicowanie standardu energetycznego budynków w poszczególnych wariantach, jak również rodzaje wewnętrznych instalacji grzewczych w zależności od przyjętego nośnika ciepła. Koszty inwestycyjne oraz koszty eksploatacyjne dla poszczególnych wariantów mają istotny wpływ na obliczenie kosztów LCC i na tej podstawie dokonanie wyboru wariantu optymalnego.

Dla uproszczenia analiz koszty eksploatacyjne ograniczono jedynie do kosztów zakupu nośników ciepła. Koszty nośników energii oszacowano na podstawie analizy najbardziej aktualnych informacji od dostawców i dystrybutorów nośników energii. W tabeli poniżej (Tabela 20) podano aktualne koszty nośników energii końcowej. Źródła informacji o cenach zawierają odnośniki do tabeli.

Grubości izolacji oraz rodzaje styropianu dla poszczególnych standardów energetycznych budynków podano dla poszczególnych typów budynków w tabelach od 17 do 19.

Wyniki analiz cen jednostkowych energii na cele ogrzewania dla poszczególnych nośników energii wskazują, że obecnie najdroższym nośnikiem jest energia elektryczna. Dużą konkurencyjność wykazują, i są na zbliżonym poziomie, ceny ciepła sieciowego, gazu ziemnego i ciepła z pompy ciepła. Ciepło z paliw płynnych i biomasy charakteryzuje się znacząco wyższym kosztem i jest mniej konkurencyjne.

Tabela 20. Koszty wytwarzania ciepła z nośników energii

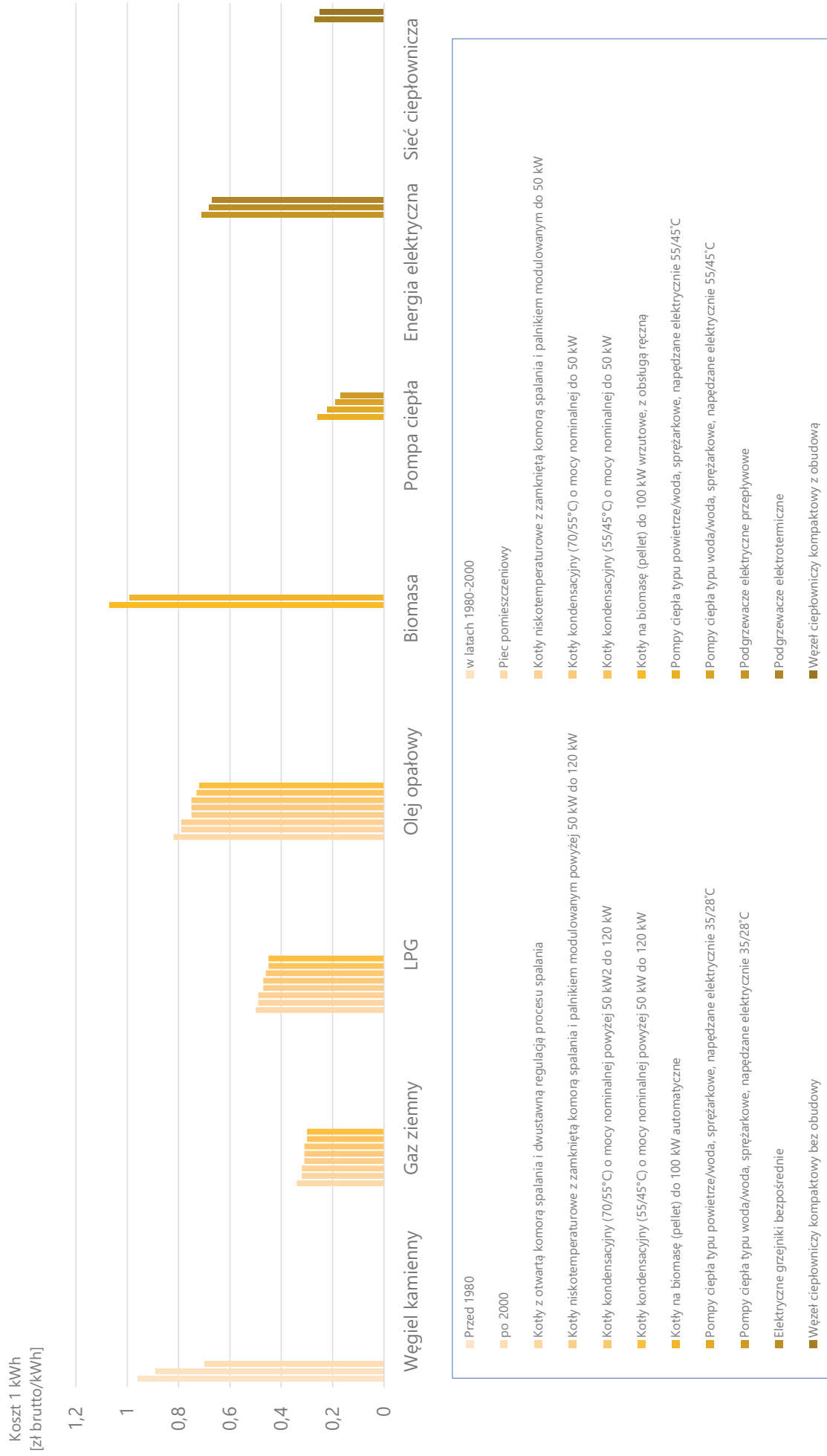
Paliwo/ energia	Charakterystyka	Koszt paliwa		Wartość opałowa				Sprawność		Koszt 1 kWh
		(całkowity, brutto)								[zł brutto/ kWh]
Węgiel	Rok produkcji kotła									
	<i>przed 1980 r.</i>	3 600,00 zł	[zł/tonę]	22,42	[MJ/kg]	6,23	[kWh/kg]	60	[%]	0,96
	<i>w latach 1980 - 2000</i>	3 600,00 zł	[zł/tonę]	22,42	[MJ/kg]	6,23	[kWh/kg]	65	[%]	0,89
	<i>po 2000 r.</i>	3 600,00 zł	[zł/tonę]	22,42	[MJ/kg]	6,23	[kWh/kg]	82	[%]	0,70
Gaz ziemny	Piec pomieszczeniowy	2,86 zł	[zł/m ³]	36,54	[MJ/m ³]	10,15	[kWh/kg]	84	[%]	0,34
	Kotły z otwartą komorą spalania i dwustawną regulacją procesu spalania	2,86 zł	[zł/m ³]	36,54	[MJ/m ³]	10,15	[kWh/kg]	87	[%]	0,32
	Kotły niskotemperaturowe z zamkniętą komorą spalania i palnikiem modułowym									
	<i>do 50kW</i>	2,86 zł	[zł/m ³]	36,54	[MJ/m ³]	10,15	[kWh/kg]	87	[%]	0,32
	<i>powyżej 50 do 120 kW</i>	2,86 zł	[zł/m ³]	36,54	[MJ/m ³]	10,15	[kWh/kg]	91	[%]	0,31
	Kotły kondensacyjny (70/55°C) o mocy nominalnej									
	<i>do 50kW</i>	2,86 zł	[zł/m ³]	36,54	[MJ/m ³]	10,15	[kWh/kg]	91	[%]	0,31
	<i>powyżej 50 do 120 kW</i>	2,86 zł	[zł/m ³]	36,54	[MJ/m ³]	10,15	[kWh/kg]	92	[%]	0,31
	Kotły kondensacyjny (55/45°C) o mocy nominalnej									
	<i>do 50kW</i>	2,86 zł	[zł/m ³]	36,54	[MJ/m ³]	10,15	[kWh/kg]	94	[%]	0,30
<i>powyżej 50 do 120 kW</i>	2,86 zł	[zł/m ³]	36,54	[MJ/m ³]	10,15	[kWh/kg]	95	[%]	0,30	
LPG	Piec pomieszczeniowy	3,13 zł	[zł/litr]	47,3	[MJ/kg]	13,14	[kWh/kg]	84	[%]	0,50
	Kotły z otwartą komorą spalania i dwustawną regulacją procesu spalania	3,13 zł	[zł/litr]	47,3	[MJ/kg]	13,14	[kWh/kg]	87	[%]	0,49
	Kotły niskotemperaturowe z zamkniętą komorą spalania i palnikiem modułowym									
	<i>do 50kW</i>	3,13 zł	[zł/litr]	47,3	[MJ/kg]	13,14	[kWh/kg]	87	[%]	0,49
	<i>powyżej 50 do 120 kW</i>	3,13 zł	[zł/litr]	47,3	[MJ/kg]	13,14	[kWh/kg]	91	[%]	0,47
	Kotły kondensacyjny (70/55°C) o mocy nominalnej									
	<i>do 50kW</i>	3,13 zł	[zł/litr]	47,3	[MJ/kg]	13,14	[kWh/kg]	91	[%]	0,47
	<i>powyżej 50 do 120 kW</i>	3,13 zł	[zł/litr]	47,3	[MJ/kg]	13,14	[kWh/kg]	92	[%]	0,46
	Kotły kondensacyjny (55/45°C) o mocy nominalnej									
	<i>do 50kW</i>	3,13 zł	[zł/litr]	47,3	[MJ/kg]	13,14	[kWh/kg]	94	[%]	0,45
<i>powyżej 50 do 120 kW</i>	3,13 zł	[zł/litr]	47,3	[MJ/kg]	13,14	[kWh/kg]	95	[%]	0,45	

Paliwo/ energia	Charakterystyka	Koszt paliwa		Wartość opałowa				Sprawność		Koszt 1 kWh
		(całkowity, brutto)								[zł brutto/ kWh]
Olej opałowy	Piec pomieszczeniowy	6,88 zł	[zł/litr]	43	[MJ/kg]	11,94	[kWh/kg]	84	[%]	0,82
	Kotły z otwartą komorą spalania i dwustawną regulacją procesu spalania	6,88 zł	[zł/litr]	43	[MJ/kg]	11,94	[kWh/kg]	87	[%]	0,79
	Kotły niskotemperaturowe z zamkniętą komorą spalania i palnikiem modulowanym									
	do 50kW	6,88 zł	[zł/litr]	43	[MJ/kg]	11,94	[kWh/kg]	87	[%]	0,79
	powyżej 50 do 120 kW	6,88 zł	[zł/litr]	43	[MJ/kg]	11,94	[kWh/kg]	91	[%]	0,75
	Kotły kondensacyjny (70/55°C) o mocy nominalnej									
	do 50kW	6,88 zł	[zł/litr]	43	[MJ/kg]	11,94	[kWh/kg]	91	[%]	0,75
	powyżej 50 do 120 kW	6,88 zł	[zł/litr]	43	[MJ/kg]	11,94	[kWh/kg]	92	[%]	0,75
	Kotły kondensacyjny (45/55°C) o mocy nominalnej									
	do 50kW	6,88 zł	[zł/litr]	43	[MJ/kg]	11,94	[kWh/kg]	94	[%]	0,73
powyżej 50 do 120 kW	6,88 zł	[zł/litr]	43	[MJ/kg]	11,94	[kWh/kg]	95	[%]	0,72	
Biomasa	Kotły na biomase (pellet) do 100kW									
	wrzutowe, z obsługą ręczną	3 000,00 zł	[zł/tonę]	15,6	[MJ/kg]	4,33	[kWh/kg]	65	[%]	1,07
	automatyczne	3 000,00 zł	[zł/tonę]	15,6	[MJ/kg]	4,33	[kWh/kg]	70	[%]	0,99
Pompa ciepła	Pompy ciepła typu powietrze/woda, sprężarkowe, napędzane elektrycznie									
	55/45°C	0,67 zł	[zł/kWh]					260	[%]	0,26
	35/28°C	0,67 zł	[zł/kWh]					300	[%]	0,22
	Pompy ciepła typu woda/woda, sprężarkowe, napędzane elektrycznie									
	55/45°C	0,67 zł	[zł/kWh]					360	[%]	0,19
35/28°C	0,67 zł	[zł/kWh]					400	[%]	0,17	
Energia elek- tryczna	Podgrzewacze elektryczne przepływowe	0,67 zł	[zł/kWh]					94	[%]	0,71
	Elektryczne grzejniki bezpośrednie	0,67 zł	[zł/kWh]					99	[%]	0,68
	Podgrzewacze elektrotermiczne	0,67 zł	[zł/kWh]					100	[%]	0,67
Sieć ciepłowni- czna	Węzeł ciepłowniczy kompaktowy									
	bez obudowy	67,00 zł	[zł/GJ]					91	[%]	0,27
	z obudową	67,00 zł	[zł/GJ]					98	[%]	0,25

Źródło: opracowanie własne KAPE SA na podstawie źródeł¹

¹ Gaz ziemny - średnia cena detaliczna stan na 09.2022 <http://www.cena-pradu.pl/gaz.html>
LPG - średnie ceny dla woj. Mazowieckiego 09.2022 https://www.wnp.pl/nafta/ceny_paliw/
Olej opałowy - średnia cena detaliczna stan na 09.2022 <https://www.cdc24.pl/srednie-ceny-detaliczne>
Pellet - średnia cena peletu drzewnego Pellet drzewny CP Perfect Premium, stan na 09.2022 <https://pellet4future.com/pl/blog/post/ceny-pelletu-drzewnego-we-wrzesniu-2022>
Energia elektryczna - Średnia cena prądu w taryfie G11 stan na 09.2022
Wg Urzędu Regulacji Energetyki średnia cena ciepła z sieci ciepłowniczej wynosiła wraz z opłatą przesyłową w sumie 67 zł/1Gj
<https://www.ure.gov.pl/urzad/informacje-ogolne/edukacja-i-komunikacja/ure-w-mediach-1/10539,Ustawa-o-cieploe-moze-nie-zatrzymac-wszystkich-podwyzek.html>
-Decyzja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki nr DRE.WRC.4210.38.2022.170.XIX.RWy z dnia 23 września 2022 r.
* - Wartość opałowa: Strona producenta źródła ciepła lub KOBIZE - Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO2 (WE) w roku 2019 do raportowania w ramach Systemu Handlu Upewnieniami do Emisji za rok 2022
Założenia: 1 kg LPG = 1,78 litra LPG | 1 kg Oleju opałowego = 0,84 litra oleju opałowego
Źródła dla ceny węgla (ekogroszek 26MJ): Porównano cenę z 5 hurtowni („PUH Marmix s.c.”, „Bartex Węgiel”, „Pan Groszek”, „Grzeje mnie to”, „Najlepszy Ekogroszek”) średnia cena na 19.10.2022 – 3600 zł/tona

Rysunek 6. Koszty wytworzenia ciepła z nośników energii



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

8. WYNIKI SYMULACJI ZMIAN ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ORAZ KOSZTÓW ENERGII I CAŁKOWITYCH KOSZTÓW UŻYTKOWANIA

Określenie w wyniku symulacji zmian zapotrzebowania na energię oraz kosztów energii i całkowitych kosztów użytkowania z uwzględnieniem zmiennych kosztów serwisu dla wariantów obejmujących zmianę podstawowych nośników energii (węgiel, ciepło sieciowe, gaz ziemny, olej opałowy, LPG, energia elektryczna z OZE i KSE) oraz obliczenia zmiany zdyskontowanych kosztów w cyklu użytkowania budynków wykonano w arkuszach programu Excel, opracowanych zgodnie z metodologią opisaną w punkcie 5. Arkusze Excela stanowią załączniki do niniejszego opracowania od nr 1 do nr 6. Natomiast w poniższych tabelach (Tabela 21, Tabela 22, Tabela 23) oraz w tabelach w rozdz. 12 (Tabela 42, Tabela 43, Tabela 44) przedstawiono:

- Tabela 21 – wyniki analiz metodą LCC bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych dla budynku biurowego.
- Tabela 22 – wyniki analiz metodą LCC bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych dla budynku wielorodzinnego.
- Tabela 23 przedstawia – wyniki analiz metodą LCC bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych dla budynku jednorodzinne.

Tabela 21. Wyniki analiz metodą LCC bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych dla budynku biurowego

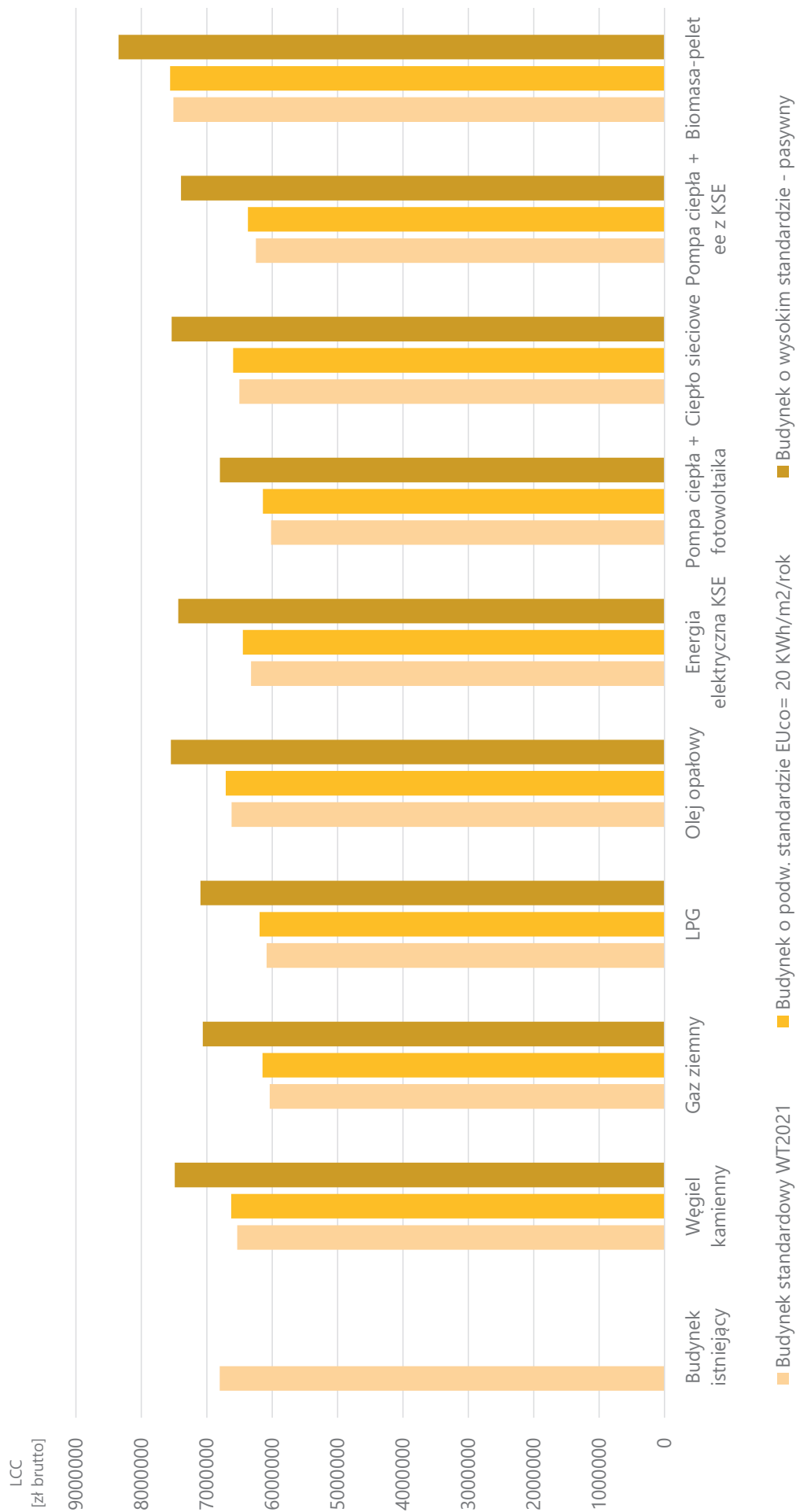
Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 120 [kWh/m ² /rok])						
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]		Ścianyzew. ²	Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]	Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]
	Podłoga	Dach albo stropodach ¹				
Budynek istniejący	12 cm i 20 cm U=0,090	25 cm U=0,086 / 25 cm i 5 cm U=0,077	35 cm U=0,094	5 775 798	22 765	6 803 140
Węgiel kamienny	Budynek standardowy Wt2021	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 428 148	43 240	6 534 662
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 551 346	42 063	6 627 406
Gaz ziemny	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 511 037	38 257	7 488 709
	Budynek standardowy Wt2021	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 443 148	23 133	6 037 686
LPG	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 566 346	22 665	6 147 120
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 526 037	21 154	7 062 342
Olej opałowy	Budynek standardowy Wt2021	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 443 148	29 212	6 084 898
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 566 346	28 550	6 192 924
Olej opałowy	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 526 038	26 054	7 095 432
	Budynek standardowy Wt2021	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 443 148	42 766	6 620 406
Olej opałowy	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 566 346	41 668	6 711 142
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 526 037	37 531	7 548 478

1 Więcej niż jedna wartość danych w danym wierszu wskazuje na to, że występowały różne rodzaje dachów albo stropodachów o różnych wartościach grubości izolacji przegród.

2 Więcej niż jedna wartość danych w danym wierszu wskazuje na to, że występowały różne rodzaje ścian o różnych wartościach grubości izolacji przegród.

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 120 [kWh/m ² /rok])									
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Ścianyzew. ²	Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]	Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]		
	Podłoga	Dach albo stropodach ¹							
Energia elektryczna KSE	Budynek standardowy WT2021	10 cm i 5 cm U=0,151	30 cm U=0,123 / 20 cm i 10 cm U=0,121	30 cm U=0,118/0,121	5 664 677	33 189	6 323 161		
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	10 cm i 5 cm U=0,138	30 cm U=0,107 / 20 cm i 10 cm U=0,106	30 cm U=0,103/0,106	5 791 305	33 109	6 448 211		
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 10 cm U=0,109	30 cm U=0,101 / 20 cm i 10 cm U=0,100	30 cm U=0,097/0,100	6 789 895	32 632	7 437 326		
Pompa ciepła + fotowoltaika	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 847 798	8 563	6 017 684		
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 972 334	8 536	6 141 688		
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 630 797	8 461	6 798 662		
Ciepło sietciowe	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 705 148	21 234	6 502 865		
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 828 346	20 677	6 597 914		
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 833 537	19 368	7 536 872		
Pompa ciepła + ee z KSE	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 764 375	24 355	6 247 579		
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 900 334	23 718	6 370 906		
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 945 626	22 604	7 394 090		
Biomasa-pellet	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 713 048	38 656	7 511 653		
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 837 584	37 300	7 562 096		
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 852 126	33 140	8 349 419		
Minimum - wariant optymalny							6 017 684		
Maximum - największe koszty							8 349 419		

Rysunek 7. Wyniki analiz metodą LCC bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych dla budynku biurowego



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 22. Wyniki analiz metodą LCC bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych dla budynku wielorodzinnego

Standard energetyczny budynku	Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 120 [kWh/m ² /rok])						Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]
	Grubość izolacji przegród [cm]		Ścianyzew.	Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]	Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]	
	Podłoga	Dach albo stropodach					
Budynek istniejący	10 cm U=0,429	24 cm U=0,288	18 cm U=0,150	23 876 902	75 980	25 384 381	
Wągiel kamienny	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	23 697 021	151 832	33 056 524	
Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 027 560	147 358	33 111 243	
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	28 600 930	139 900	37 224 912	
Gaz ziemny	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	23 937 021	65 322	25 872 458	
Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 267 560	63 617	26 152 473	
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	28 840 930	60 863	30 644 228	
LPG	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	23 937 021	93 406	26 081 686	
Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 267 560	90 977	26 356 464	
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	28 840 931	86 867	30 835 469	
Oil opałowy	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	23 937 021	144 578	28 217 414	
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 267 560	140 819	28 436 663	
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	28 840 930	134 458	32 821 696	

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 120 [kWh/m ² /rok])							Koszty całkowite LCC - 20 lat
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Koszt inwestycyjny	Koszty eksploatacyjne	[zł]	[zł]
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.	[zł]	[zł/rok]		
Energia elektryczna KSE	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	24 520 743	78 352	26 075 278
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 851 282	75 207	26 343 428
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	29 424 652	70 753	30 828 413
Pompa ciepła + fotowoltaika	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	25 042 432	4 989	25 141 423
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	25 372 971	4 885	25 469 883
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	29 944 852	4 696	30 038 020
Ciepło siewicowe	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	24 493 779	49 396	26 968 148
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 821 480	48 081	27 230 012
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	29 394 850	46 000	31 699 140
Pompa ciepła + ee z KSE	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	24 720 743	26 399	25 244 510
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	25 051 282	25 844	25 564 045
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	29 624 652	24 846	30 117 609
Biomasa-pellet	Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	191 055	38 656	35 144 805
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	185 403	37 300	35 160 641
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	176 359	33 140	39 235 028
Minimum - wariant optymalny							25 141 423
Maximum - największe koszty							39 235 028

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

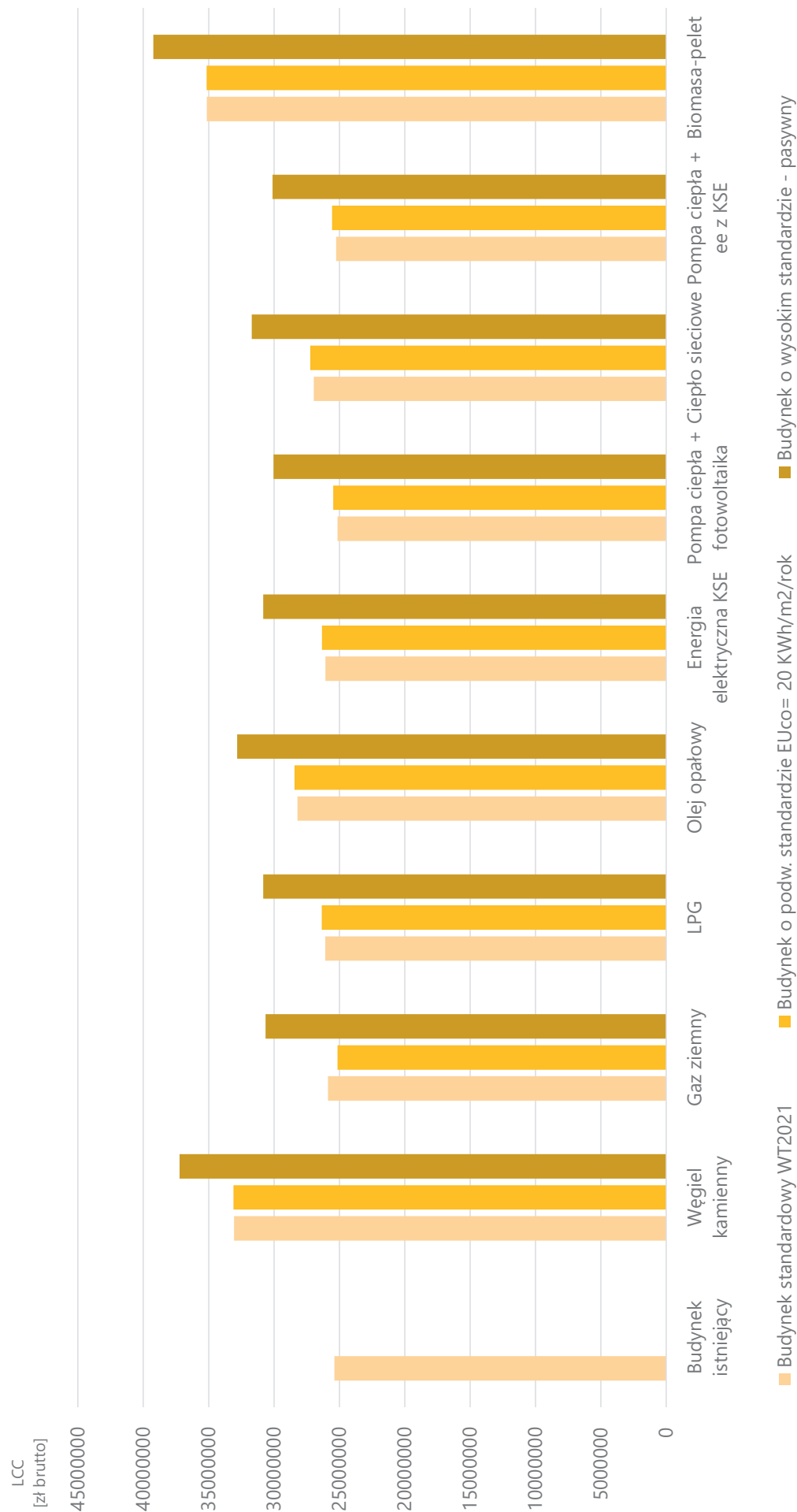
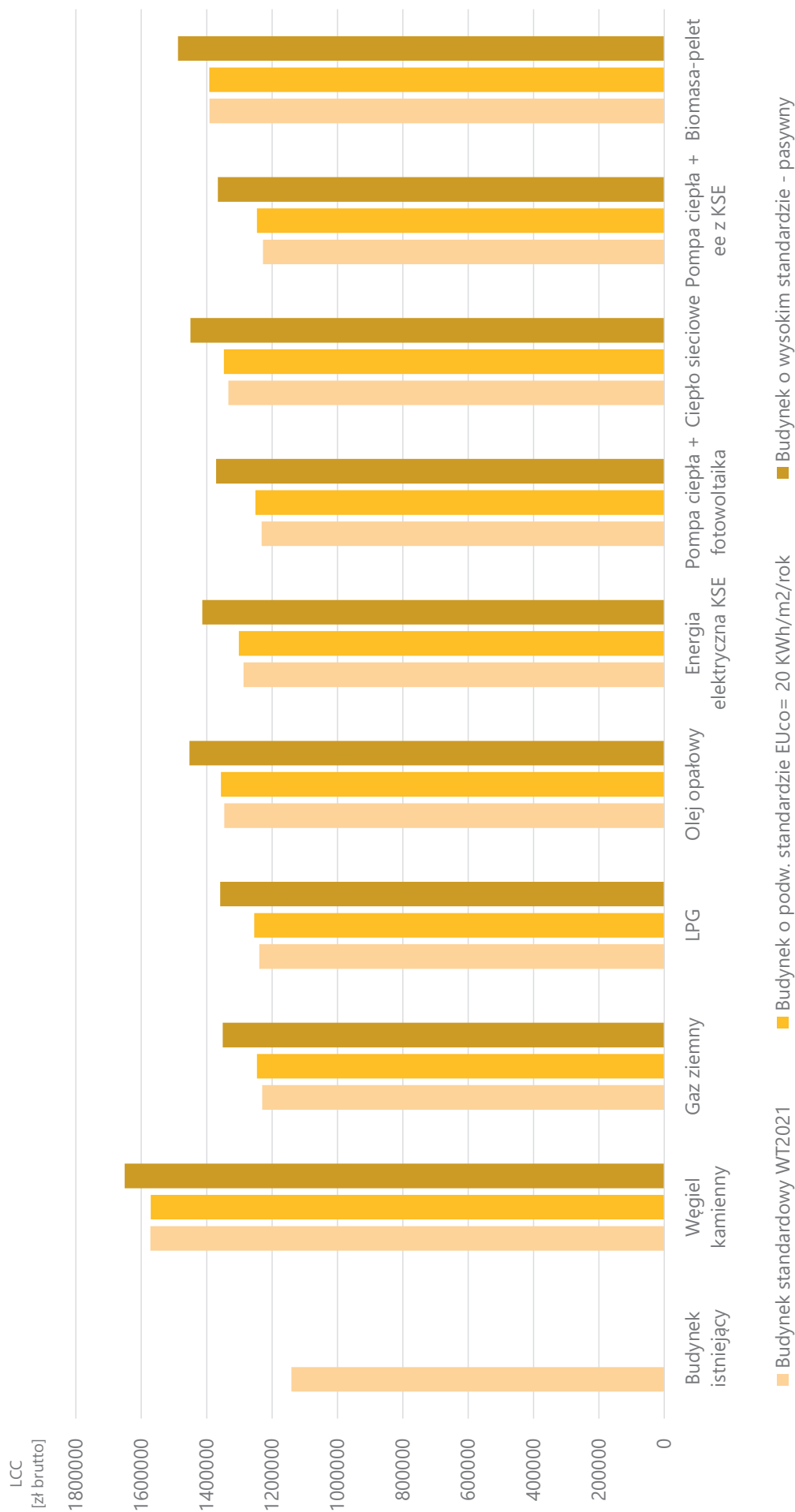
Rysunek 8. Wyniki analiz metodą LCC bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych dla budynku wielorodzinnego

Tabela 23. Wyniki analiz metodą LCC bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych dla budynku jednorodzinnego

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 120 [kWh/m ² /rok])						
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]		Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]	Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]	
	Podłoga	Dach albo stropodach				Ścianyzew.
Budynek istniejący	28 cm U=0,105	30 cm U=0,113	38 cm U=0,087	1 076 698	1 195	1 140 802
Węgiel kamienny	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 148 447	6 875	1 572 223
Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 167 395	6 545	1 570 831
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 277 003	6 061	1 650 605
Gaz ziemny	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 153 447	2 608	1 230 186
	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 172 395	2 503	1 246 050
	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 282 003	2 337	1 350 774
LPG	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 153 447	3 741	1 239 166
	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 172 395	3 586	1 254 573
	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 282 004	3 351	1 358 798
Oil opałowy	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 153 447	6 519	1 346 255
	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 172 395	6 222	1 356 412
	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 282 003	5 771	1 452 681

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 120 [kWh/m ² /rok])							Koszty całkowite LCC - 20 lat
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]		Ściany zew.	Koszt inwestycyjny	Koszty eksploatacyjne	[zł]	
	Podłoga	Dach albo stropodach		[zł]	[zł/rok]		
Energia elektryczna KSE	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 178 447	5 488	1 287 340
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 197 395	5 257	1 301 687
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,086	30 cm U=0,107	30 cm U=0,098	1 327 280	4 329	1 413 167
Pompa ciepła + fotowoltaika	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 213 447	184	1 232 097
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 232 395	177	1 250 907
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 353 003	166	1 371 301
Ciepło sieciowe	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 218 447	2 300	1 333 417
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 237 395	2 201	1 347 401
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 347 003	2 050	1 449 464
Pompa ciepła + ee z KSE	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 213 447	716	1 227 650
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 232 395	691	1 246 104
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 353 003	654	1 365 971
Biomasa-pelet	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 106 462	5 215	1 391 315
	Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 131 748	4 765	1 392 014
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 260 222	4 172	1 488 105
					Minimum - wariant optymalny		1 140 802
					Maximum - największe koszty		1 650 605

Rysunek 9. Wyniki analiz metodą LCC bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych dla budynku jednorodzinnego



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Podsumowanie i wnioski

Opłacalność dla poszczególnych standardów, mierzona kosztem całkowitym LCC, zależy przede wszystkim od kosztów inwestycji (budowy nowego budynku). Praktycznie dla każdego rodzaju nośnika energii podnoszenie standardu energetycznego budynku ponad obowiązujące wymagania WT 2021 okazuje się być nieopłacalne i nieuzasadnione ekonomicznie. Wniosek taki dotyczy niestety w obecnych warunkach wszystkich nośników energii niezależnie od standardu energetycznego budynku.

Z analizy wynika wprost, że jej wyniki i wskazania zależą w zakresie rozwiązania optymalnego przede wszystkim od kosztów inwestycyjnych i od kosztów energii. Nadal istotna pozostaje relacja pomiędzy cenami energii (oraz dynamiką tych zmian) oraz kosztami realizacji inwestycji. Wyniki analizy się nie zmieniają, jeżeli tempo wzrostu cen nośników energii będzie podobne jak tempo wzrostu cen materiałów i robót budowlanych. Jeśli dynamika wzrostu cen nośników energii będzie większa od dynamiki wzrostu cen materiałów i robót budowlanych, to koszty LCC dla wariantów bardziej energooszczędnych o wyższym standardzie energetycznym będą niższe od kosztów LCC dla wariantów o niższym standardzie energetycznym. Sytuacja taka pokaże zasadność i opłacalność ekonomiczną dla podnoszenia standardu energetycznego budynków nowych na etapie ich planowania.

Analizę w tak szerokim i wielowariantowym zakresie wykonano również w celu umożliwienia inwestorowi podejmowanie świadomej decyzji inwestycyjnej. Często się zdarza, że inwestorzy są skłonni ponieść większe koszty inwestycyjne jeżeli będą świadomi wielkości tych dodatkowych kosztów oraz korzyści z tego wynikających. Analiza kosztu LCC umożliwia dostarczenie takiej informacji inwestorom zainteresowanym bardziej zaawansowanymi i bardziej kosztownymi budynkami o ile będzie to miało wpływ np. na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego, kosztów eksploatacji, czy zmniejszenie oddziaływania na środowisko naturalne. Budynki energooszczędne i pasywne lepiej spełniają tego typu kryteria i oczekiwania inwestorów niż budynki standardowe, a wykonane w niniejszym opracowaniu analizy, a również w dalszej części analizy emisji zanieczyszczeń dla poszczególnych typów i standardów energetycznych budynków uzupełniają wiedzę potrzebną do przekazania potencjalnemu inwestorowi, niezbędną do podjęcia decyzji inwestycyjnej zgodnie z jego oczekiwaniami.

9. ZASADY DOBORU OPTYMALNEJ GRUBOŚCI OCIEPLENIA

W celu doboru optymalnej grubości ocieplenia wykorzystano metodę szacowania kosztu cyklu życia (LCC, Life Cycle Cost). Zgodnie z przyjętymi kryteriami wyboru wariantu optymalnego wskazano, że wartości o optymalnej grubości izolacji zostaną przyjęte dla wariantu techniczno-materiałowego o najniższym koszcie w cyklu życia budynku. Szczegółowe analizy wykonano jedynie dla izolacji ze styropianu.

Dla budynku biurowego optymalnym pod względem kosztów w cyklu życia budynku bez kosztów zewnętrznych jest obiekt wykonany w standardzie WT2021 z kotłem na węgiel (patrz tabela 21). Wówczas optymalne grubości izolacji cieplnej na:

- ścianach zewnętrznych to: 18 cm styropianu o $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$,
- podłodze na gruncie to: 10 cm styropianu o $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$,
- dachu to: 25 cm styropianu o wartości $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$.

Dla budynku wielorodzinnego optymalnym pod względem kosztów w cyklu życia budynku bez kosztów zewnętrznych jest obiekt wykonany w standardzie WT2021 z kotłem na gaz ziemny (patrz tabela 22). Wówczas optymalne grubości izolacji cieplnej na:

- ścianach zewnętrznych to: 30 cm styropianu o $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$,
- podłodze na gruncie to: 30 cm styropianu o $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$,
- dachu to: 40 cm styropianu o $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$.

Dla budynku jednorodzinnego optymalnym pod względem kosztów w cyklu życia budynku bez kosztów zewnętrznych jest obiekt wykonany według oryginalnego pierwotnego projektu (patrz tabela 23). Wówczas optymalne grubości izolacji cieplnej na:

- ścianach zewnętrznych to: 38 cm styropianu o $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$,
- podłodze na gruncie to: 28 cm styropianu o $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$,
- dachu to: 30 cm styropianu o $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$.

Należy pamiętać, że rozwiązania te są wynikiem pewnego iteracyjnego procesu, który polega na doborze wielu parametrów budynku jednocześnie w taki sposób, żeby spełnić wymagania założone dla trzech analizowanych standardów energetycznych budynków (standardowy, energooszczędny i pasywny). Jako optymalne wskazano rozwiązanie charakteryzujące się najniższym kosztem LCC. Należy pamiętać, że proces sprawdzenia i potwierdzenia spełnienia wymagań obejmuje wiele zagadnień jednocześnie i zależy jednocześnie od wielu czynników w budynku. Wymagania muszą być spełnione zarówno w zakresie minimalnych wymagań cząstkowych dla izolacyjności cieplnej przegród, ale również w zakresie maksymalnej wartości współczynnika zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną, a wpływ na tę ostatnią wartość ma poza izolacyjnością przegród wiele czynników takich jak rodzaj wentylacji, mostki cieplne, rodzaj ogrzewania, możliwości wykorzystania energii słonecznej, itp. Najczęściej jest tak, że nie da się spełnić wymagania dla całego budynku spełniając jedynie wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej przegród. Często widać to w analizowanych przykładach, kiedy współczynniki przenikania ciepła U dla przegród muszą mieć niższe od wymaganych wartości.

Wskazane, optymalne (lub wymagane) parametry izolacyjności cieplnej przegród dla poszczególnych rodzajów budynków można uzyskać na wiele sposobów w zależności od tego, jakiego rodzaju styropian i o jakiej grubości zostanie użyty do ocieplenia przegród budynku i jaka jest konstrukcja przegrody. W każdym przypadku rodzaj tego materiału powinien zostać dobrany w taki sposób, żeby zapewnić bezpieczeństwo i trwałość przegrody i mieć parametry mechaniczne i fizyczne odpowiednie do przeznaczenia i rodzaju przegrody.

Poniżej w tabelach 24-32 podano kilka przykładów przegród, które w zależności od rodzaju zastosowanego styropianu będą w stanie spełnić wymagania dla budynków o optymalnym standardzie. Dla porównania pokazano również parametry izolacyjności cieplnej i sposób ich uzyskania dla przegród w budynku o standardzie energooszczędnym i pasywnym. Trzeba sobie jednak zdawać sprawę, że w budynku o standardzie pasywnym istotnych staje się wiele innych czynników, takich jak sposób montażu stolarki okiennej i drzwiowej, odpowiednie zaprojektowanie i kształtowanie przeszkleń pod kątem maksymalizacji słonecznych zysków ciepła, szczegółowe zaprojektowanie detali architektonicznych w celu eliminacji mostków cieplnych, czy nawet bardzo dokładne i precyzyjne zaprojektowanie wewnętrznych instalacji grzewczych i wentylacyjnych w celu zapewnienia minimalnego zużycia energii elektrycznej do napędu pomp, wentylatorów, czy układów sterowania i automatyki. W związku z tym koszty budowy budynku pasywnego są ciągle istotnie wyższe niż budynku standardowego.

Tabela 24. Współczynnik U dla budynku biurowego dla podłogi na gruncie (szczegółowy opis warstw w Tabeli 2 i wymaganych wartości U w Tabeli 22)

Wymagana wartość U przegrody	Sposób wykonania ocieplenia (podłoga na gruncie) ze styropianu								
	λ W/(m ² K)	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
0,188 (budynek standardowy)	wymagana grubość (cm)	9	9	9	9	10	10	10	10
0,175 (budynek energooszczędny)		10	10	10	11	11	11	12	12
0,133 (budynek pasywny)		15	16	16	17	17	18	18	19

Tabela 25. Współczynnik U dla budynku biurowego dla dachu lub stropodachu (szczegółowy opis warstw w Tabeli 2 i wymaganych wartości U w Tabeli 22)

Wymagana wartość U przegrody	Sposób wykonania ocieplenia (dach lub stropodach) ze styropianu								
	λ W/(m ² K)	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
0,144 (budynek standardowy)	wymagana grubość (cm)	21	22	22	23	24	24	25	25
0,126 (budynek energooszczędny)		24	25	25	26	27	28	29	29
0,119 (budynek pasywny)		25	26	27	28	29	30	30	31

Tabela 26. Współczynnik U dla budynku biurowego dla ściany zewnętrznej (szczegółowy opis warstw w Tabeli 2 i wymaganych wartości U w Tabeli 22)

Wymagana wartość U przegrody	Sposób wykonania ocieplenia (ściana zewnętrzna) ze styropianu								
	λ W/(m ² K)	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
0,188 (budynek standardowy)	wymagana grubość (cm)	15	16	16	17	17	18	18	18
0,184 (budynek energooszczędny)		16	16	16	17	17	18	18	19
0,142 (budynek pasywny)		20	21	22	22	23	24	24	25

Tabela 27. Współczynnik U dla budynku wielorodzinnego dla podłogi na gruncie (szczegółowy opis warstw w Tabeli 2 i wymaganych wartości U w Tabeli 22)

Wymagana wartość U przegrody	Sposób wykonania ocieplenia (podłoga na gruncie) ze styropianu								
	λ W/(m ² K)	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
0,092 (budynek standardowy)	wymagana grubość (cm)	26	27	28	29	30	30	31	32
0,086 (budynek energooszczędny)		29	30	30	31	32	33	34	35
0,082 (budynek pasywny)		30	31	32	33	34	35	36	37

Tabela 28. Współczynnik U dla budynku wielorodzinnego dla dachu lub stropodachu (szczegółowy opis warstw w Tabeli 2 i wymaganych wartości U w Tabeli 22)

Wymagana wartość U przegrody	Sposób wykonania ocieplenia (dach lub stropodach) ze styropianu								
	λ W/(m ² K)	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
0,086(budynek standardowy)	wymagana grubość (cm)	35	36	37	38	39	40	42	43
0,084 (budynek energooszczędny)		38	39	40	42	43	44	45	47
0,074 (budynek pasywny)		40	42	43	44	46	47	48	50

Tabela 29. Współczynnik U dla budynku wielorodzinnego dla ściany zewnętrznej (szczegółowy opis warstw w Tabeli 2 i wymaganych wartości U w Tabeli 22)

Wymagana wartość U przegrody	Sposób wykonania ocieplenia (ściana zewnętrzna) ze styropianu								
	λ W/(m ² K)	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
0,113 (budynek standardowy)	wymagana grubość (cm)	26	27	28	29	30	30	31	32
0,104 (budynek energooszczędny)		29	30	30	31	32	33	34	35
0,098 (budynek pasywny)		30	31	32	33	34	35	36	37

Tabela 30. Współczynnik U dla budynku jednorodzinnego dla podłogi na gruncie (szczegółowy opis warstw w Tabeli 2 i wymaganych wartości U w Tabeli 22)

Wymagana wartość U przegrody	Sposób wykonania ocieplenia (podłoga na gruncie) ze styropianu								
	λ W/(m ² K)	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
0,164 (budynek standardowy)	wymagana grubość (cm)	17	17	18	18	19	19	20	20
0,156 (budynek energooszczędny)		15	15	15	16	16	17	17	18
0,149 (budynek pasywny)		15	16	16	17	17	18	18	19

Tabela 31. Współczynnik U dla budynku jednorodzinnego dla dachu lub stropodachu (szczegółowy opis warstw w Tabeli 2 i wymaganych wartości U w Tabeli 22)

Wymagana wartość U przegrody	Sposób wykonania ocieplenia (dach lub stropodach) ze styropianu								
	λ W/(m ² K)	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
0,126 (budynek standardowy)	wymagana grubość (cm)	25	26	27	27	28	29	30	30
0,113 (budynek energooszczędny)		29	30	30	31	32	33	34	35
0,107 (budynek pasywny)		30	31	32	33	34	35	36	37

Tabela 32. Współczynnik U dla budynku wielorodzinnego dla dachu lub stropodachu (szczegółowy opis warstw w Tabeli 2 i wymaganych wartości U w Tabeli 22)

Wymagana wartość U przegrody	Sposób wykonania ocieplenia (ściana zewnętrzna) ze styropianu								
	λ W/(m ² K)	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
0,158 (budynek standardowy)	wymagana grubość (cm)	18	19	20	20	21	21	22	22
0,152 (budynek energooszczędny)		19	20	20	21	22	22	23	24
0,143 (budynek pasywny)		20	21	22	22	23	24	24	25

Warto jednak zwrócić uwagę, że jeśli chodzi o same izolacje cieplne, to przyrost kosztów ich wykonania w budynku pasywnym jest niewielki w stosunku do budynku standardowego. Wzrost kosztu jednostkowego wykonania izolacji cieplnej na przegrodzie budynku nowego przy zwiększeniu grubości izolacji o 1 cm, to nie więcej niż ok. 3 zł/m². Dla budynku jednorodzinnego przyjętego w niniejszym opracowaniu np. koszt zwiększenia izolacji cieplnej ścian zewnętrznych o 5 cm (a więc istotnie więcej), to ok. 5200 zł. Byłby to przykładowy, niewielki wzrost kosztów, a efekt w postaci zmniejszenia zużycia i kosztów energii byłby uzyskiwany corocznie w nawet 50 – letnim okresie użytkowania. W perspektywie wzrostu cen nośników energii opcję podniesienia standardu energetycznego niezależnie od wymagań zawsze warto rozważyć. Warto też zauważyć, większa grubość ocieplenia o 5 cm to wg przeprowadzonych symulacji wystarczający poziom zwiększenia izolacji umożliwiający zakwalifikowanie budynku standardowego do wyższej klasy energetycznej (energooszczędnego lub pasywnego), oczywiście oprócz innych zabiegów i modyfikacji, które

należałoby wprowadzić w budynku.

Nieco inne wyniki uzyskano wykonując analizy z uwzględnieniem tak zwanych kosztów zewnętrznych. Definicję kosztów zewnętrznych oraz wyniki analiz LCC opisano w rozdziale 12.

W celu porównania grubości izolacji termicznych wykonanych ze styropianu z grubościami izolacji wykonywanych z innych materiałów izolacyjnych (wełna mineralna, pianka poliuretanowa, aerożel), w poniższych tabelach przedstawiono podobne obliczenia wykonane dla tych materiałów, w podobnym do wcześniejszego układzie, dla takich samych budynków i standardów energetycznych.

Oczywistym jest, że wyniki obliczeniowych grubości ociepleń mogą się różnić, czasem bardzo istotnie, w zależności od rodzaju materiału ociepleniowego. O ostatecznym wyborze rodzaju tego materiału decyduje wiele czynników, w tym najczęściej kwestie kosztów i opłacalności. Przeprowadzone obliczenia wymaganych grubości ociepleń dla tych materiałów będą ułatwiały ocenę opłacalności ich zastosowania, po ustaleniu ich ceny (uzyskaniu oferty).

Dla standardów energetycznych budynków modelowych przyjęto rozwiązania w zakresie izolacyjności przegród (standardu energetycznego budynku) opisane w tabelach poniżej (Tabela 34-42).

Poniżej w tabeli 33 przykładowo pokazano grubości ocieplenia dla budynku jednorodzinego dla różnych materiałów izolacyjnych i różnych wartości parametrów λ [W/(m²K)].

Tabela 33. Współczynnik U dla budynku jednorodzinego dla dachu lub stropodachu (szczegółowy opis warstw w Tabeli 2 i wymaganych wartości U w Tabeli 22)

Wymagana wartość $U = 0,126$ (budynek standardowy)	Sposób wykonania ocieplenia (dach lub stropodach) z różnych materiałów izolacyjnych								
Styropian	λ [W/(m ² K)]	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
	grubość [cm]	25	26	27	27	28	29	30	30
Wełna mineralna	λ [W/(m ² K)]	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
	grubość [cm]	25	26	27	27	28	29	30	30
Pianka poliuretanowa	λ [W/(m ² K)]	0,016	0,017	0,018	0,019	0,02	0,021	0,022	0,023
	grubość [cm]	13	14	15	15	16	17	18	19
Aerożel	λ [W/(m ² K)]	0,01	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017
	grubość [cm]	8	9	10	11	12	12	13	14
Wymagana wartość $U = 0,107$ (budynek pasywny)	Sposób wykonania ocieplenia (dach lub stropodach) z różnych materiałów izolacyjnych								
Styropian	λ [W/(m ² K)]	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
	grubość [cm]	30	31	32	33	34	35	36	37
Wełna mineralna	λ [W/(m ² K)]	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038
	grubość [cm]	30	31	32	33	34	35	36	37
Pianka poliuretanowa	λ [W/(m ² K)]	0,016	0,017	0,018	0,019	0,02	0,021	0,022	0,023
	grubość [cm]	12	13	14	15	15	16	17	17
Aerożel	λ [W/(m ² K)]	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017
	grubość [cm]	10	11	12	13	14	15	16	17

W tabelach 34-42 pokazano rozwiązania w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego, jednorodzinego i wielorodzinnego w zależności od rodzaju materiału izolacyjnego i standardu energetycznego.

Tabela 34. Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (Budynek standardowy WT2021) w zależności od rodzaju materiału

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (Budynek standardowy WT2021)								
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w $W/(m^2 K)$	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach ¹	Ściany zew. ²					
Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	0,9	Styropian	25,5	30,6	91,7
					Lambda= 0,038			
Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,191	26 cm U=0,145 / 20 cm 5 cm U=0,148	20 cm U=0,175/0,191	0,9	Wełna mineralna	25,1	30,4	91,1
					Lambda= 0,039			
Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,142	16 cm U=0,139 / 10 cm i 5 cm U=0,145	12 cm U=0,172/0,179	0,9	Pianka poliuretanowa	24,2	29,9	89,6
					Lambda= 0,023			
Budynek standardowy WT2021	3 cm i 3 cm U=0,144	10 cm U=0,135 / 6 i 5 cm U=0,122	7 cm U=0,179/0,187	0,9	Areożel	23,9	29,7	89,1
					Lambda= 0,014			

- Więcej niż jedna wartość danych w danym wierszu wskazuje na to, że występowały różne rodzaje dachów albo stropodachów o różnych wartościach grubości izolacji przegród.
- Więcej niż jedna wartość danych w danym wierszu wskazuje na to, że występowały różne rodzaje ścian o różnych wartościach grubości izolacji przegród.

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 35. Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (Budynek o podw. Standardzie EUco= 20 kWh/m²/rok) w zależności od rodzaju materiału

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego biurowego (Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok)								
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w $W/(m^2 K)$	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	0,7	Styropian	24,1	29,8	89,5
					Lambda= 0,033			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	24 cm U=0,133 / 18 cm i 5 cm U=0,137	18 cm U=0,166/0,172	0,7	Wełna mineralna	24,1	29,8	89,5
					Lambda= 0,033			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	7 cm i 5 cm U=0,127	17 cm U=0,131 / 12 cm i 5 cm U=0,129	14 cm U=0,150 / 0,155	0,7	Pianka poliuretanowa	22,2	28,8	86,3
					Lambda= 0,023			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	4 cm i 4 cm U=0,119	10 cm U=0,135 / 6 i 5 cm U=0,122	8 cm U=0,159/0,165	0,7	Areożel	22,4	28,8	86,5
					Lambda= 0,014			

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 36. Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (Budynek o wysokim standardzie - pasywny) w zależności od rodzaju materiału

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (Budynek o wysokim standardzie - pasywny)								
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w $W/(m^2 K)$	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kwh/m ² /rok]	EK [kwh/m ² /rok]	EP [kwh/m ² /rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	20 cm U=0,142/ 0,147	0,5	Styropian	21,5	28,4	85,1
					Lambda= 0,031			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	5 cm i 10 cm U=0,138	26 cm U=0,123 / 20 cm i 5 cm U=0,126	24 cm U=0,127/0,131	0,5	Wełna mineralna	21	27,7	83
					Lambda= 0,033			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	5 cm i 8 cm U=0,120	18 cm U=0,124 / 14 cm i 5 cm U=0,116	16 cm U=0,133 /0,137	0,5	Pianka poliuretanowa	20,8	27,5	82,6
					Lambda= 0,023			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	4 cm i 5 cm U=0,102	10 cm U=0,135 / 7 i 5 cm U=0,112	10 cm U=0,129 /0,133	0,5	Areożel	20,4	27,3	81,9
					Lambda= 0,014			

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 37. Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku wielorodzinnego (Budynek standardowy WT2021) w zależności od rodzaju materiału

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku wielorodzinnego (Budynek standardowy WT2021)								
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w $W/(m^2 K)$	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kwh/m ² /rok]	EK [kwh/m ² /rok]	EP [kwh/m ² /rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,092	40 cm U=0,086	30 cm U=0,113	0,8	Styropian	27,9	21,6	64,9
					Lambda= 0,036			
Budynek standardowy WT2021	27 cm U=0,098	37 cm U=0,090	27 cm U=0,122	0,8	Wełna mineralna	28	21,6	64,9
					Lambda= 0,035			
Budynek standardowy WT2021	10 cm U=0,145	27 cm U=0,081	16 cm U=0,134	0,8	Pianka poliuretanowa	27,9	21,6	64,9
					Lambda= 0,023			
Budynek standardowy WT2021	11 cm U=0,096	12 cm U=0,110	12 cm U=0,110	0,8	Areożel	28	21,6	64,9
					Lambda= 0,014			

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 38. Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku wielorodzinnego (Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m²/rok) w zależności od rodzaju materiału

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku wielorodzinnego (Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok)								
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w W/(m ² K)	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kwh/m ² /rok]	EK [kwh/m ² /rok]	EP [kwh/m ² /rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,086	40 cm U=0,084	30 cm U=0,104	0,7	Styropian	27,7	21,6	64,7
					Lambda= 0,033			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	27 cm U=0,093	37 cm U=0,085	27 cm U=0,115	0,7	Wełna mineralna	27,8	21,6	64,7
					Lambda= 0,033			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	11 cm U=0,137	28 cm U=0,079	18 cm U=0,120	0,7	Pianka poliuretanowa	27,8	21,6	64,7
					Lambda= 0,023			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	12 cm U=0,09	13 cm U=0,102	13 cm U=0,102	0,7	Areożel	27,7	21,5	64,6
					Lambda= 0,014			

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 39. Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku wielorodzinnego (Budynek o wysokim standardzie - pasywny) w zależności od rodzaju materiału

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku wielorodzinnego (Budynek o wysokim standardzie - pasywny)								
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w W/(m ² K)	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kwh/m ² /rok]	EK [kwh/m ² /rok]	EP [kwh/m ² /rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,082	40 cm U=0,074	30cm U=0,098	0,5	Styropian	27,6	21,5	64,5
					Lambda= 0,031			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,082	40 cm U=0,074	30 cm U=0,098	0,5	Wełna mineralna	27,7	21,5	64,6
					Lambda= 0,031			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	12 cm U=0,129	30 cm U=0,074	20 cm U=0,109	0,5	Pianka poliuretanowa	27,6	21,5	64,5
					Lambda= 0,023			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	13 cm U=0,085	14 cm U=0,095	15 cm U=0,089	0,5	Areożel	27,5	21,5	64,5
					Lambda= 0,014			

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 40. Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinnego (Budynek standardowy WT2021) w zależności od rodzaju materiału

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinnego (Budynek standardowy WT2021)								
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w $W/(m^2 K)$	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kwh/m ² /rok]	EK [kwh/m ² /rok]	EP [kwh/m ² /rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,164	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	0,8	Styropian	41,80	23,00	69,00
					Lambda= 0,038			
Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,143	30 cm U=0,129	22 cm U=0,162	0,8	Wełna mineralna	42,30	23,20	69,60
					Lambda= 0,039			
Budynek standardowy WT2021	8 cm U=0,209	25 cm U=0,113	14 cm U=0,151	0,8	Pianka poliuretanowa	42,20	23,10	69,40
					Lambda= 0,023			
Budynek standardowy WT2021	8 cm U=0,133	9 cm U=0,142	8 cm U=0,160	0,8	Areożel	42,60	23,30	69,90
					Lambda= 0,014			

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 41. Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinnego (Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m²/rok) w zależności od rodzaju materiału

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinnego (Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok)								
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w $W/(m^2 K)$	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kwh/m ² /rok]	EK [kwh/m ² /rok]	EP [kwh/m ² /rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	0,7	Styropian	39,7 EUco=15,8	22,20	66,60
					Lambda= 0,033			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	16 cm U=0,186	0,7	Wełna mineralna	42,1 EUco=18,00	23,10	69,30
					Lambda= 0,033			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	10 cm U=0,189	25 cm U=0,113	14 cm U=0,151	0,7	Pianka poliuretanowa	40,4 EUco=16,3	22,50	67,40
					Lambda= 0,023			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	8 cm U=0,133	9 cm U=0,142	8 cm U=0,160	0,7	Areożel	41,5 EUco=17,4	22,90	68,60
					Lambda= 0,014			

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 42. Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinne (Budynek o wysokim standardzie - pasywny) w zależności od rodzaju materiału

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinne (Budynek o wysokim standardzie - pasywny)								
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w $W/(m^2 K)$	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kwh/ m^2 /rok]	EK [kwh/ m^2 /rok]	EP [kwh/ m^2 /rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm $U=0,149$	30 cm $U=0,107$	20 cm $U=0,143$	0,5	Styropian	36,6 $EU_{co}=12,5$	21,0	63,00
					$\lambda=0,031$			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	20 cm $U=0,126$	30 cm $U=0,113$	22 cm $U=0,139$	0,5	Wełna mineralna	36,1 $EU_{co}=12,00$	20,80	62,40
					$\lambda=0,033$			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	12 cm $U=0,142$	25 cm $U=0,113$	16 cm $U=0,134$	0,5	Pianka poliuretanowa	36,1 $EU_{co}=12,00$	20,80	62,40
					$\lambda=0,023$			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm $U=0,112$	9 cm $U=0,142$	10 cm $U=0,130$	0,5	Areożel	36,5 $EU_{co}=12,5$	21,00	62,90
					$\lambda=0,014$			

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

10. OCENA KORZYŚCI DLA INWESTORA

Nieuchronny wzrost cen nośników energii i coraz niższa niezawodność dostaw i pogorszenie bezpieczeństwa energetycznego, powinny zachęcać do podnoszenia standardu energetycznego.

Analizy w rozdziale 4.1. wykazują, że koszty wykonania ocieplenia budynków istniejących są opłacalne do poziomu zgodnego z wymaganiami dla budynków nowych. Po uwzględnieniu mostków cieplnych wymaga to obecnie ociepleń ścian zewnętrznym w istniejących budynkach grubością co najmniej 20 cm, a dachów i stropodachów 25 – 30 cm. Grubości ociepleń powinny być duże z uwagi na to, że koszt materiału izolacyjnego (styropianu) ma znikomy udział w koszcie całego przedsięwzięcia.

Obecnie najbardziej opłacalny standard docieplenia (dla okresu 20 letniego eksploatacji) jest zgodny z wymaganiami (najniższy możliwy).

Pomiędzy poszczególnymi standardami są płytkie granice. Niewielka zmiana relacji pomiędzy cenami nośników energii oraz cen materiałów i robót budowlanych może spowodować możliwość budowy budynków w standardzie energooszczędnym lub pasywnym.

Niewielka zachęta w dofinansowaniu budynku nowego (dotacji) mogłaby spowodować większą opłacalność budowy budynków energooszczędnych i pasywnych.

Analiza kosztów LCC wskazuje, że najkorzystniejszymi nośnikami energii obecnie to gaz ziemny i ciepło sieciowe. Potem paliwa płynne. Na samym końcu energia elektryczna i węgiel. Węgiel zresztą będzie tracił na atrakcyjności z uwagi na szkodliwe oddziaływanie na środowisko naturalne.

Zastosowanie odpowiednio wysokiego standardu izolacyjności ciepłej budynku powoduje poprawę komfortu użytkowania pomieszczeń oraz zimniejsza oddziaływanie obiektu na środowisko, co z kolei wpływa na ogólny poziom zdrowia mieszkańców.

W celu wskazania korzyści ekonomicznych z zastosowania optymalnych grubości izolacji termicznych prowadzących do wysokich standardów energetycznych budynków wykonano Świadectwa charakterystyki energetycznej budynków dla budynków. Zestawienia głównych parametrów ŚCHE (EU, EK, EP..) zawierają poniższe tabele.

Tabela 43. Wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku biurowego bez izolacji termicznej

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = [kWh/m ² /rok])									
	Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w W/(m ² K)	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]
		Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Węgiel kamienny	Budynek standardowy WT2021	0 cm U= 0,373	0 cm U= 4,167	0 cm U= 1,718/2,825	0,8	-	231,9	332,6	398,1
Gaz ziemny	Budynek standardowy WT2021	0 cm U= 0,373	0 cm U= 4,167	0 cm U= 1,718/2,825	0,8	-	231,9	290,5	351,7
Ciepło sieciowe	Budynek standardowy WT2021	0 cm U= 0,373	0 cm U= 4,167	0 cm U= 1,718/2,825	0,8	-	231,9	279,2	261,1

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 44. Wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku wielorodzinnego bez izolacji termicznej

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku wielorodzinnego (EP max = [kWh/m ² /rok])									
	Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w W/(m ² K)	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]
		Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Węgiel kamienny	Budynek standardowy WT2021	0 cm U= 1,783	0 cm U=2,742	0 cm U= 0,727	0,8	-	54,7	93,3	112,4
Gaz ziemny	Budynek standardowy WT2021	0 cm U= 1,783	0 cm U=2,742	0 cm U= 0,727	0,8	-	54,7	85,3	103,7
Ciepło sieciowe	Budynek standardowy WT2021	0 cm U= 1,783	0 cm U=2,742	0 cm U= 0,727	0,8	-	54,7	78,4	90,8

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 45. Wyniki obliczeń przy pomocy programu Audytor OZC wartości wskaźników EP, EK, EU ze świadectwa charakterystyki energetycznej dla budynku jednorodzinny bez izolacji termicznej

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinny (EP max = [kWh/m ² /rok])									
	Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Okna o współczynniku przenikania ciepła w W/(m ² K)	Rodzaj materiału ocieplenia przegród zew.	EU [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]
		Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Węgiel kamienny	Budynek standardowy WT2021	0 cm U=0,616	0 cm U=2,492	0 cm U=1,895	0,8	-	264,2	390,50	441,2
Gaz ziemny	Budynek standardowy WT2021	0 cm U=0,616	0 cm U=2,492	0 cm U=1,895	0,8	-	264,4	345,80	392,0
Ciepło sieciowe	Budynek standardowy WT2021	0 cm U=0,616	0 cm U=2,492	0 cm U=1,895	0,8	-	264,4	328,90	277,4

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Niskie wartości w budynku wielorodzinnym wynikają z materiałów użytych do budowy przegród zewnętrznych – ściany w budynku wielorodzinnym zostały wykonane z materiału o dużo niższej lambdzie niż w budynku jednorodzinny i biurowym.

Porównując wartości parametru EK dla styropianu z tabel w rozdziale 9 z analogicznymi wartościami EK w powyższych tabelach (43, 44, 45) określono oszczędności energii końcowej oraz kosztów energii (według cen jednostkowych w 2022 roku).

Tabela 46. Porównanie modelowego budynku biurowego z ociepleniem i bez ocieplenia

Nośnik energii	EK bez ocieplenia	EK z ociepleniem	Oszczędność EK	Oszczędność kosztów	Redukcja emisji CO ₂
	[kWh/m ² /rok]	[kWh/m ² /rok]	[kWh/m ² /rok]	zł/m ² /rok	kg CO ₂ /m ² /rok
Węgiel	332,6	49,1	283,5	198,5	97,0
Gaz ziemny	290,5	50,6	239,9	74,4	47,3
Ciepło sieciowe	279,2	48,7	230,5	62,2	80,0

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 47. Porównanie modelowego budynku jednorodzinnego z ociepleniem i bez ocieplenia

Nośnik energii	EK bez ocieplenia	EK z ociepleniem	Oszczędność EK	Oszczędność kosztów	Redukcja emisji CO ₂
	[kWh/m ² /rok]	[kWh/m ² /rok]	[kWh/m ² /rok]	zł/m ² /rok	kg CO ₂ /m ² /rok
Węgiel	390,5	62,5	328	229,6	112,2
Gaz ziemny	345,8	59,7	286,1	88,7	56,4
Ciepło sieciowe	328,9	57,9	271	73,2	94,0

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 48. Porównanie modelowego budynku wielorodzinnego z ociepleniem i bez ocieplenia

Nośnik energii	EK bez ocieplenia	EK z ociepleniem	Oszczędność EK	Oszczędność kosztów	Redukcja emisji CO ₂
	[kWh/m ² /rok]	[kWh/m ² /rok]	[kWh/m ² /rok]	zł/m ² /rok	kg CO ₂ /m ² /rok
Węgiel	93,3	50,9	42,4	29,7	14,5
Gaz ziemny	85,3	49,8	35,5	11,0	7,0
Ciepło sieciowe	78,4	45,1	33,3	9,0	11,6

Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

11. OCENA KORZYŚCI DLA SPOŁECZEŃSTWA

Kluczowymi z punktu widzenia społeczeństwa korzyściami wynikającymi z wdrażania budownictwa energooszczędnego zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju są znaczne redukcje zanieczyszczeń pyłowych i gazowych do powietrza.

W niniejszej pracy poddano analizie wielkości emisji: CO₂, NO_x, SO₂, oraz pyłów – TSP w fazie eksploatacji dla poszczególnych wariantów budynków, systemów grzewczych i wariantów ocieplenia styropianem. Aby określić wartości tych emisji trzeba znać wielkości współczynników emisji dla poszczególnych paliw. Niezbędne do analiz dane zestawiono w tabelach poniżej (Tabela 49 – Tabela 58), a wyniki analiz zestawiono w tabelach kolejnych (Tabela 59, Tabela 60, Tabela 61).

Tabela 49. Wartości opałowe wybranych paliw

Rodzaj paliwa	WO [MJ/kg]	WO [kWh/kg]
węgiel kamienny	22,42	6,23
koks	28,2	7,83
drewno	15,6	4,33
lekki olej opałowy	43	11,94
ciężki olej opałowy	40,4	11,22
olej napędowy	43	11,94
pellet	15	4,17
	WO [MJ/m ³]	WO [MJ/m ³]
gaz ziemny	36,54	10,15

Źródło: Opracowanie własne na podstawie KOBIZE - Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2017 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2020 .

Tabela 50. Emisja zanieczyszczeń ze spalania węgla kamiennego w kociach do 5MW

Jednostka [g/kWh]	Ruszt stały				Ruszt mechaniczny
	<0,5 MW	>0,5 - <5MW	<0,5 MW	>0,5 - <5MW	>0,5 - <5MW
	ciąg naturalny		ciąg sztuczny		
CO ₂	297,06	321,14	297,06	321,14	342,02
NO _x	0,353	0,161	0,321	0,482	0,514
SO ₂ ¹	2,132	2,132	2,132	2,132	2,132
TSP ²	1,927	2,890	2,890	2,890	3,854

Źródło: Opracowanie własne na podstawie KOBIZE - Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw, kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW

- 1 Przyjęto średnią zawartość siarki 0,83%
- 2 Przyjęto średnią zawartość popiołu 12%

Tabela 51. Emisja zanieczyszczeń ze spalania koksu w kotłach do 5MW

Jednostka [g/kWh]	Ruszt stały			
	<0,5 MW		>0,5 - <5MW	
	ciąg naturalny	ciąg sztuczny	ciąg naturalny	ciąg sztuczny
CO ₂	301,28	301,28	301,28	301,28
NOx	0,064	0,128	0,064	0,128
SO ₂ ¹	1,695	1,695	1,695	1,695
TSP ²	1,532	2,298	1,532	2,298

Źródło: Opracowanie własne na podstawie KOBIZE - Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw, kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW

- 1 Przyjęto średnią zawartość siarki 0,83%
2 Przyjęto średnią zawartość popiołu 12%

Tabela 52. Emisja zanieczyszczeń ze spalania drewna w kotłach do 5MW

Jednostka [g/kWh]	Ruszt stały		Ruszt mechaniczny
	<1,0 MW	>1,0 - <5MW	<5MW
	ciąg naturalny	ciąg sztuczny	ciąg naturalny
CO ₂	276,92	276,92	306,92
NOx	0,231	0,219	0,185
SO ₂	0,025	0,025	0,005
TSP ¹	0,346	0,346	0,577

Źródło: Opracowanie własne na podstawie KOBIZE - Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw, kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW

- 1 Przyjęto średnią zawartość popiołu 1%

Tabela 53. Emisja zanieczyszczeń ze spalania paliw płynnych w kotłach do 5MW

Jednostka [g/kWh]	Lekki olej opałowy	Ciężki olej opałowy	Olej napędowy
CO ₂	276,92	276,92	306,92
NOx	0,231	0,219	0,185
SO ₂ ¹	0,025	0,025	0,005
TSP	0,346	0,346	0,577

Źródło: Opracowanie własne na podstawie KOBIZE - Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw, kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW

- 1 Przyjęto średnią zawartość siarki 0,1% dla lekkiego oleju opałowego, 1% dla ciężkiego oleju opałowego oraz 0,002% dla oleju napędowego

Tabela 54. Emisja zanieczyszczeń ze spalania pelletu

Jednostka [g/kWh]	Pellet
CO ₂	319,2
NOx	0,192
SO ₂	0,005
TSP	0,600

Źródło: <http://www.nie-truje.pl/baza-wiedzy/zagrozenia-dla-zdrowia/co-emitujemy-podczas-spalania/>, dostęp: 26.02.2021

Tabela 55. Emisja zanieczyszczeń ze spalania gazu ziemnego w kotłach do 5MW

Jednostka [g/kWh]	<0,5 MW	>0,5 – <5MW
CO ₂	197,04	197,04
NO _x	0,150	0,172
SO ₂ ¹	0,008	0,008
TSP	0,00005	0,00005

Źródło: Opracowanie własne na podstawie KOBIZE - Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw, kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW

1 Przyjęto średnią zawartość siarki 40mg/m³

Tabela 56. Emisja zanieczyszczeń ze spalania gazu płynnego w kotłach do 5MW

Jednostka [g/kWh]	Propan	Propan-butan (LPG)
	< 5 MW	
CO ₂	230,40	227,16
NO _x	0,216	0,140
SO ₂	0,004	0,001
TSP	0,002	0,011

Źródło: Opracowanie własne na podstawie KOBIZE - Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw, kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW

Tabela 57. Emisja zanieczyszczeń z produkcji energii elektrycznej

Jednostka [g/kWh]	Energia elektryczna
CO ₂	719
NO _x	0,576
SO ₂	0,511
TSP	0,029

Źródło: KOBIZE - Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2019 rok

Tabela 58. Emisja zanieczyszczeń z produkcji ciepła systemowego

Jednostka [g/kWh]	System ciepłowniczy
CO ₂	347,40
NO _x	0,47
SO ₂	0,58
TSP	0,07

Źródło: Materiały własne KAPE SA

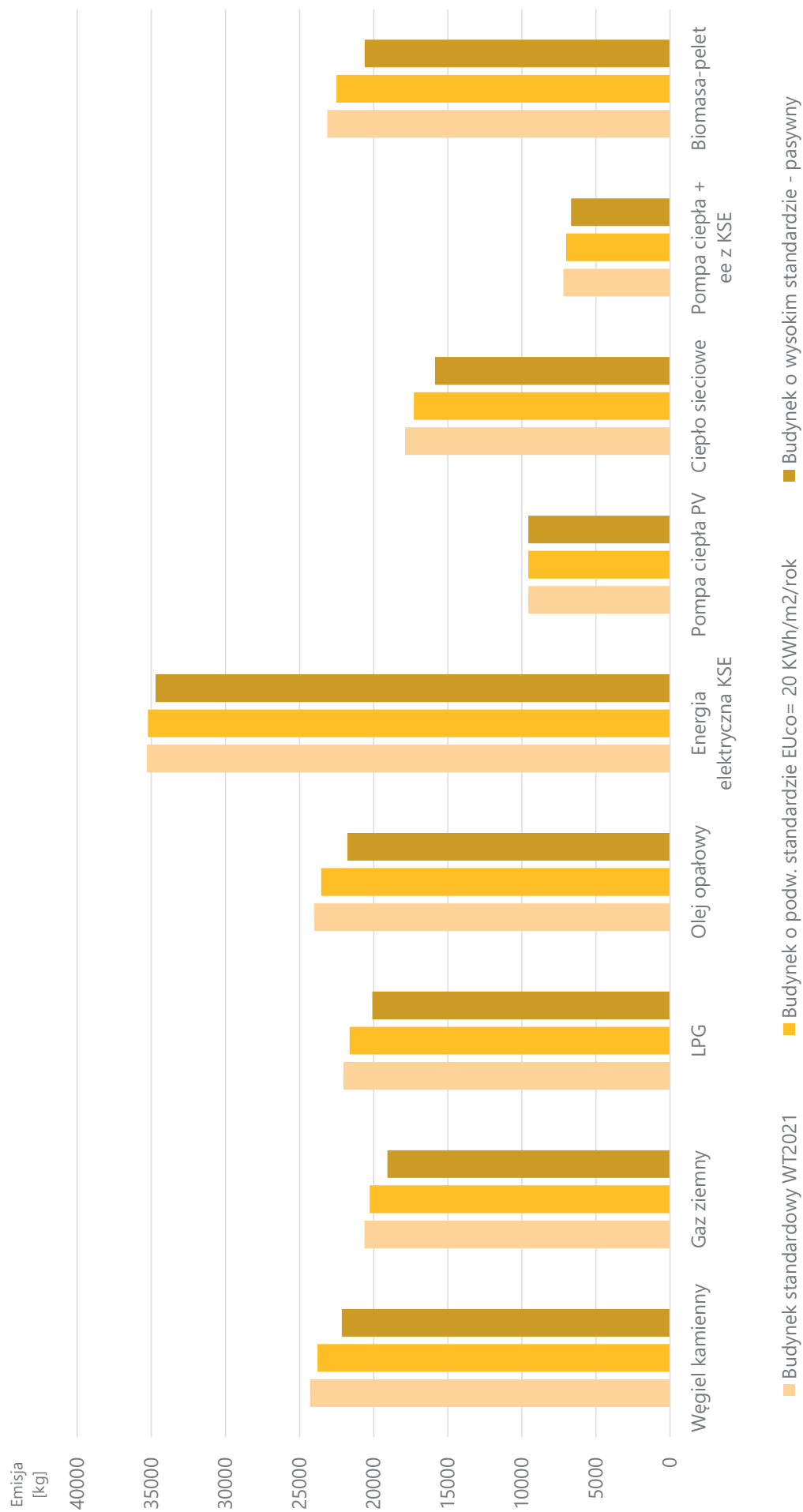
Tabela 59. Emisje zanieczyszczeń z budynku biurowego

	Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 120 [kWh/m ² /rok])				EMISJE [kg]				
	Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegrod [cm]		EP [kWh/m ² /rok]	EK [kWh/m ² /rok]	CO ₂	NOx	SO ₂	PYŁY
		Podłoga	Dach albo stropodach ¹						
Węgiel kamienny	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	49,10	24 297,29	22,87	95,96	118,87
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	47,80	23 790,77	22,35	92,90	114,80
Gaz ziemny	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	43,60	22 154,32	20,66	82,99	101,63
	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	50,60	20 622,77	16,18	9,03	0,50
LPG	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	49,30	20 257,14	15,89	8,96	0,49
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	45,10	19 075,85	14,99	8,72	0,48
Olej opałowy	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	51,00	22 030,79	15,84	8,76	0,97
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	49,70	21 622,73	15,58	8,69	0,95
Olej opałowy	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	44,80	20 084,66	14,57	8,45	0,88
	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	51,30	24 012,69	18,53	16,11	1,97
Olej opałowy	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	50,00	23 543,28	18,18	15,81	1,92
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	45,10	21 773,96	16,84	14,67	1,73

- Więcej niż jedna wartość danych w danym wierszu wskazuje na to, że występowały różne rodzaje dachów albo stropodachów o różnych wartościach grubości izolacji przegrod.
- Więcej niż jedna wartość danych w danym wierszu wskazuje na to, że występowały różne rodzaje ścian o różnych wartościach grubości izolacji przegrod.

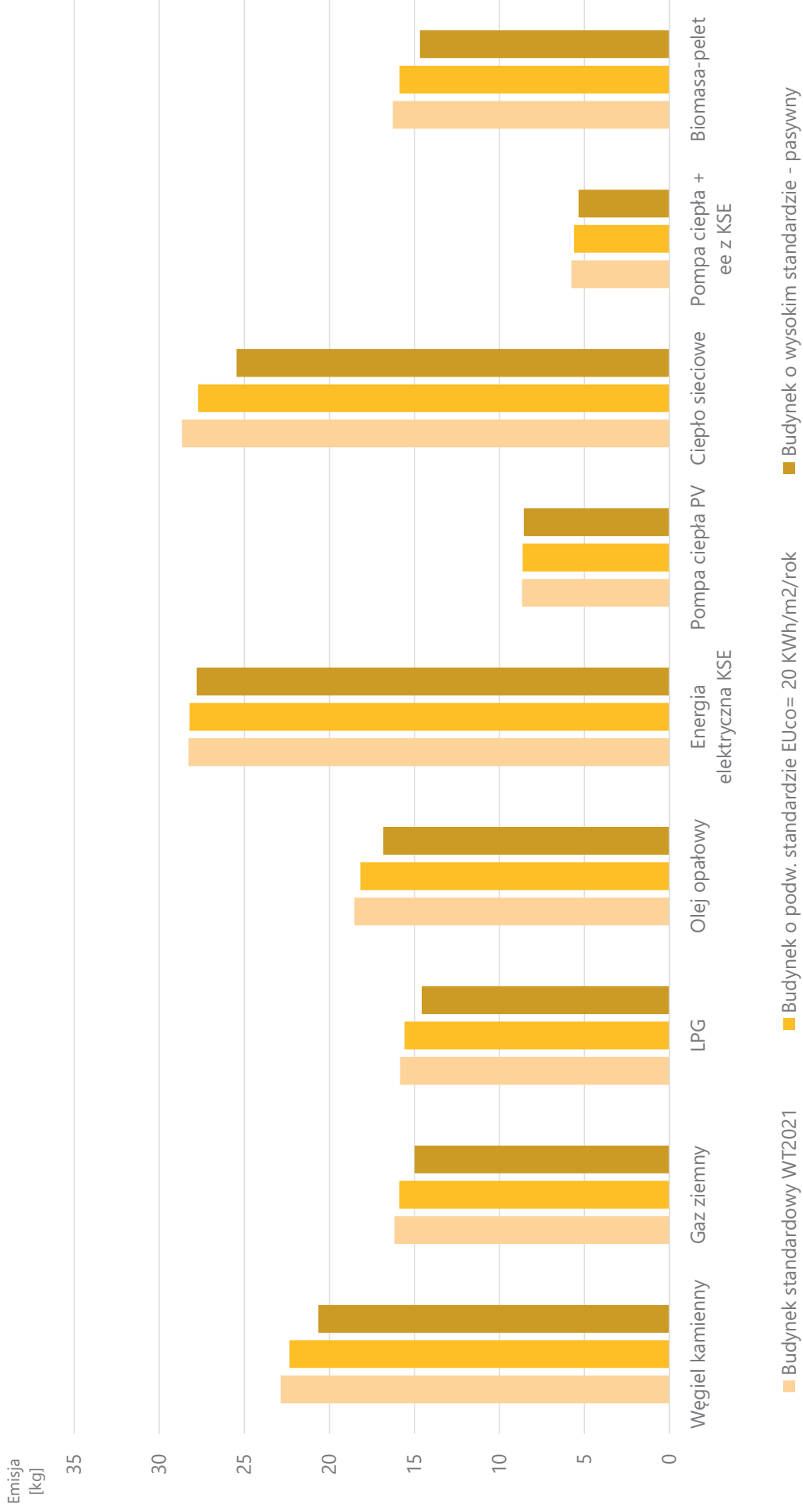
Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego (EP max = 120 [kWh/m ² /rok])				EMISJE [kg]						
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]	CO ₂	NOx	SO ₂	PYŁY	
	Podłoga	Dach albo stropodach ¹	Ściany zew. ²							
Energia elektryczna KSE	Budynek standardowy WT2021	10 cm i 5 cm U=0,151	30 cm U=0,123 / 20 cm i 10 cm U=0,121	30 cm U=0,118/0,121	41,70	101,20	35 313,15	28,29	25,10	1,42
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	10 cm i 5 cm U=0,138	30 cm U=0,107 / 20 cm i 10 cm U=0,106	30 cm U=0,103/0,106	41,60	100,40	35 228,47	28,22	25,04	1,42
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 10 cm U=0,109	30 cm U=0,101 / 20 cm i 10 cm U=0,100	30 cm U=0,097/0,100	41,00	95,80	34 720,37	27,81	24,68	1,40
	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	29,80	21,80	9 571,01	8,67	7,69	0,44
Pompa ciepła PV	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	29,30	21,50	9 570,97	8,64	7,67	0,44
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	27,90	20,50	9 570,84	8,57	7,60	0,43
	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	48,70	53,30	17 886,25	28,66	31,94	3,41
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	47,00	52,00	17 283,40	27,71	30,80	3,27
Pompa ciepła + ee z KSE	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	43,00	48,90	15 864,93	25,46	28,11	2,95
	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	30,6	91,7	7 198,12	5,77	5,12	0,29
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	29,8	89,5	7 009,94	5,62	4,98	0,28
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	28,4	85,1	6 680,61	5,35	4,75	0,27
Biomasa-pellet	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	44,10	31,00	23 136,16	16,27	7,92	12,40
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 / 0,192	42,60	30,80	22 515,72	15,88	7,90	12,20
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142 / 0,147	38,00	29,90	20 613,05	14,67	7,84	11,58

Rysunek 10. Emisje CO₂ z budynku biurowego

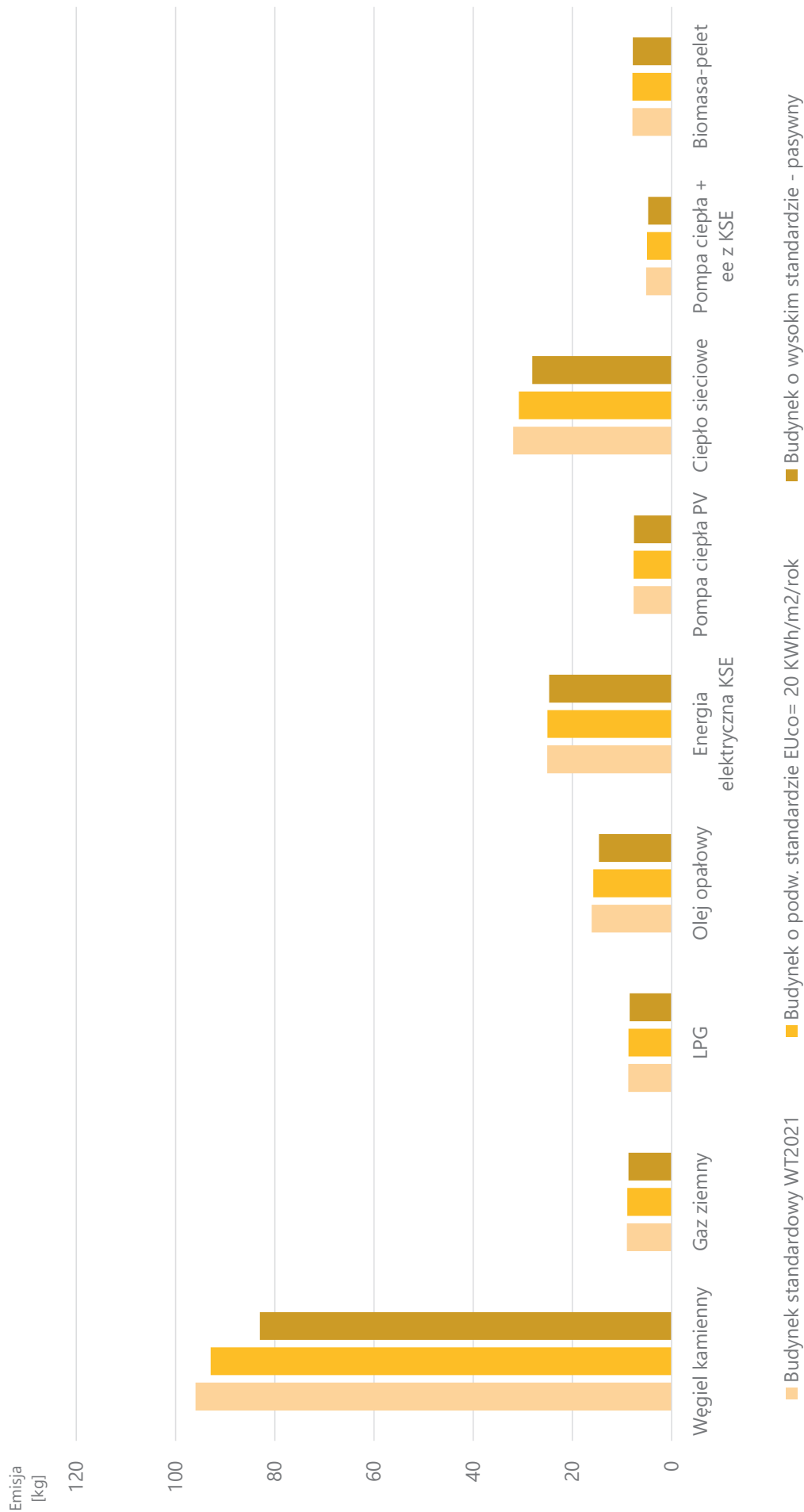


Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Rysunek 11. Emisje NOx z budynku biurowego



Rysunek 12. Emisje SO₂ z budynku biurowego



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

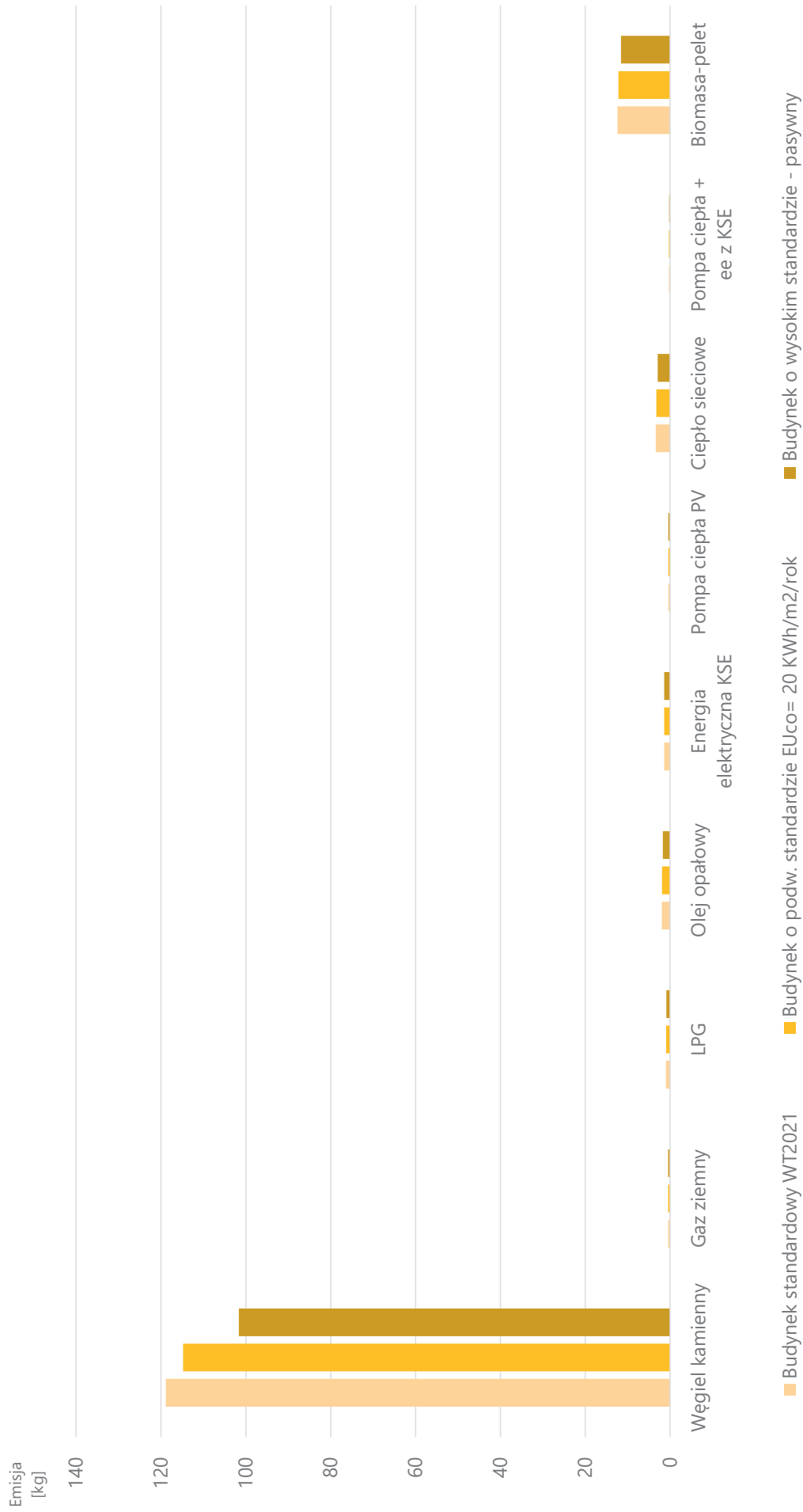
Rysunek 13. Emisje pyłów zawieszonych z budynku biurowego

Tabela 60. Emisje zanieczyszczeń z budynku wielorodzinnego

Standard energetyczny budynku	Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku wielorodzinnego (EP max = 65,0 [kWh/m ² /rok])			EMISJE [kg]				
	Grubość izolacji przegród [cm]			EP [kWh/m ² /rok]	CO ₂	NOx	SO ₂	PYŁY
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.					
Węgiel kamienny								
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	50,90	59137,03	63,904	424,432	575,333
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	49,40	57394,28	62,021	411,924	558,378
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	46,90	54489,71	58,882	391,078	530,120
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	49,80	38379,20	29,216	1,558	0,010
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	48,50	37377,33	28,454	1,518	0,009
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	46,40	35758,93	27,222	1,452	0,009
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	50,00	44422,73	27,378	0,196	2,151
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	48,70	43267,74	26,666	0,190	2,095
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	46,50	41313,14	25,462	0,182	2,001
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	50,00	52939,82	39,307	33,245	6,649
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	48,70	51563,39	38,285	32,380	6,476
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	46,50	49234,03	36,555	30,918	6,184
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	29,90	84082,08	67,359	59,758	3,391
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	28,70	80707,55	64,656	57,360	3,255
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	27,00	75926,96	60,826	53,962	3,062

Energia elektryczna KSE

Oil opatowy

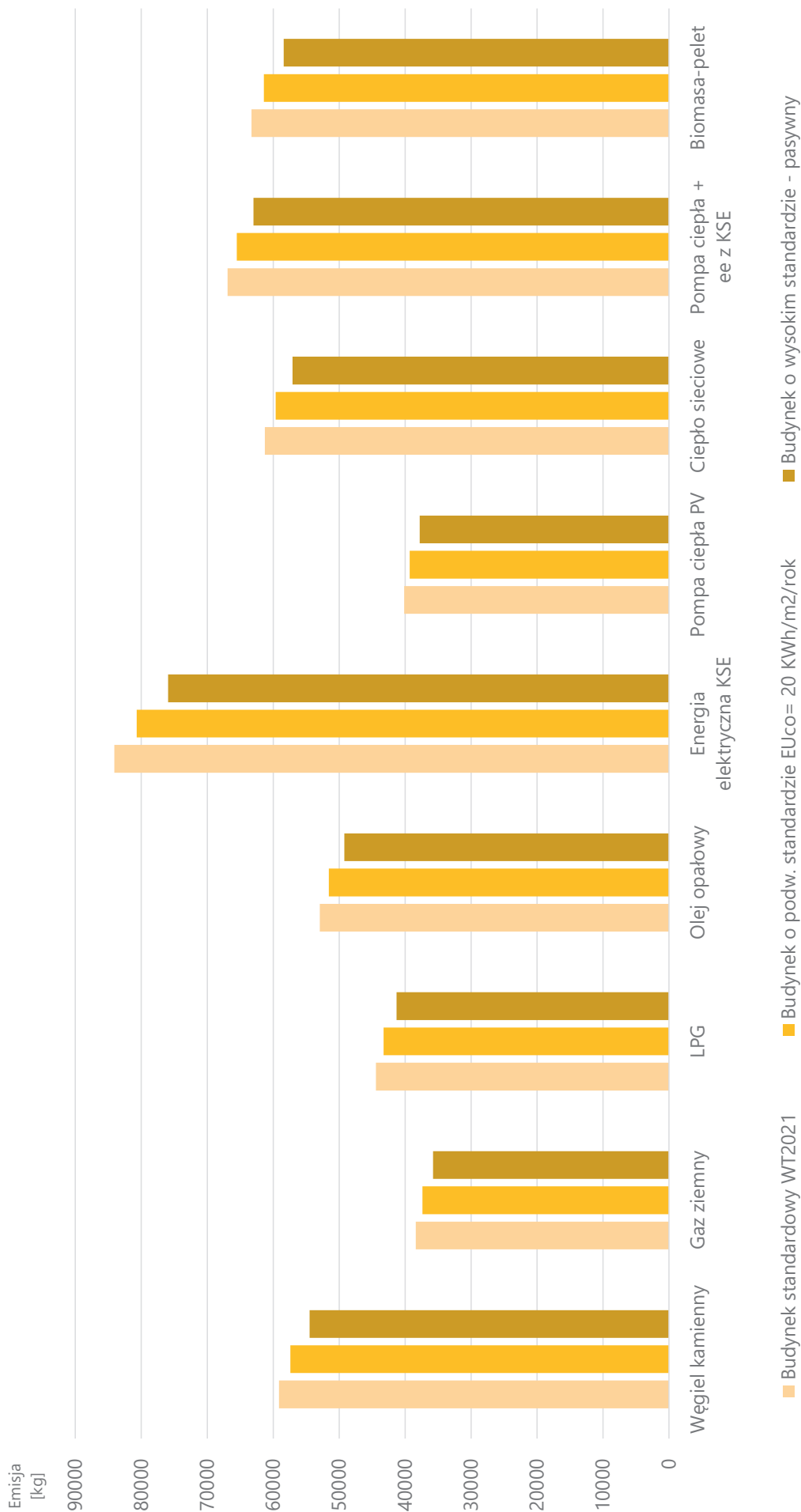
LPG

Gas ziemny

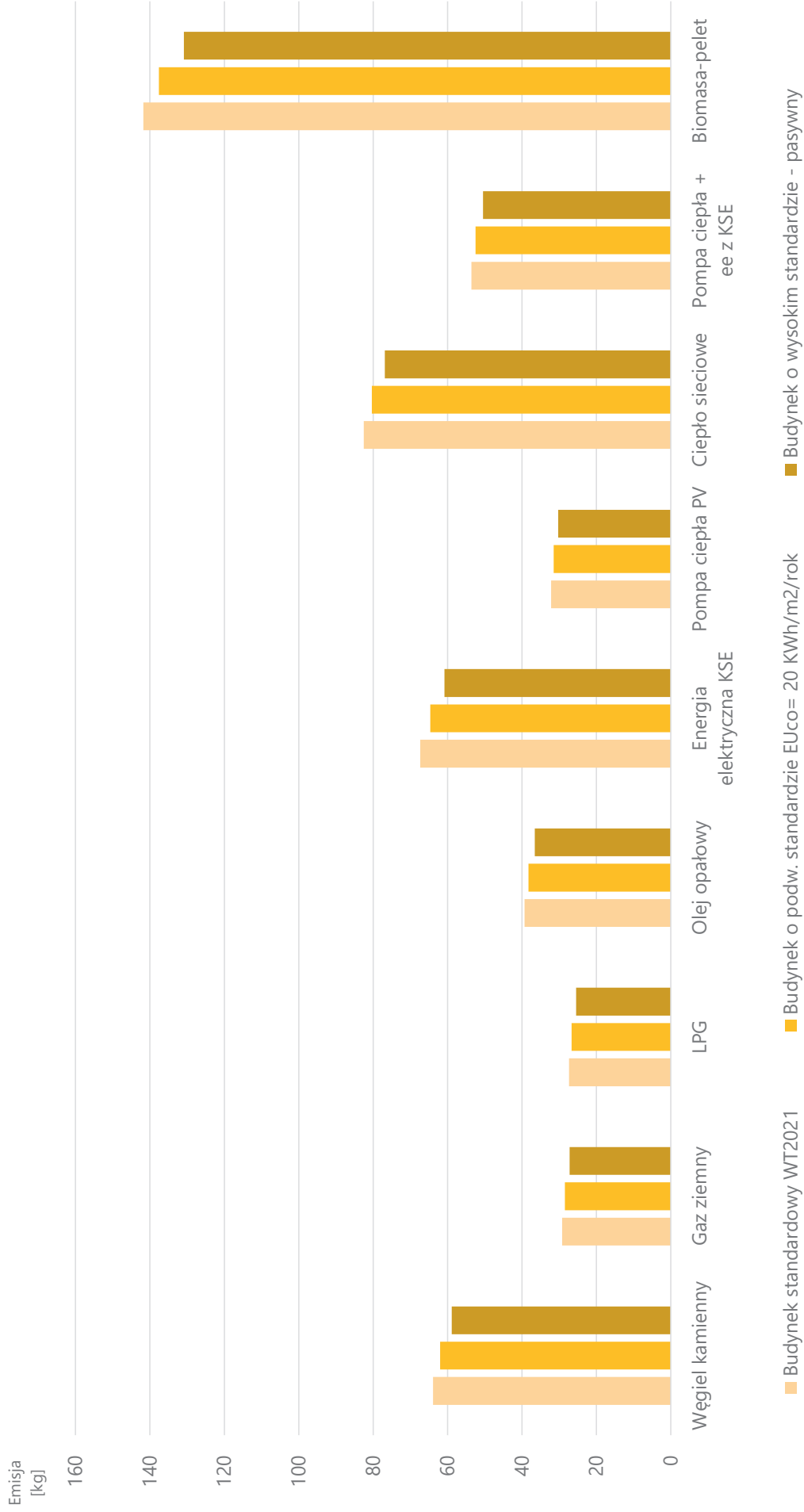
Węgiel kamienny

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku wielorodzinnego (EP max = 65,0 [kWh/m ² /rok])				EMISJE [kg]					
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]	CO ₂	NOx	SO ₂	PYŁY
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.						
Pompa ciepła PV									
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	23,80	17,90	40156,93	32,170	28,540	1,620
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	23,30	17,80	39313,29	31,494	27,940	1,586
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	22,40	17,60	37794,75	30,278	26,861	1,524
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	45,10	63,00	61278,72	82,552	101,602	12,700
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	43,90	62,30	59648,25	80,355	98,899	12,362
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	42,00	60,60	57066,66	76,877	94,618	11,827
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	23,80	71,40	66928,21	53,617	47,567	2,699
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	23,30	69,80	65522,16	52,491	46,567	2,643
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	22,40	67,30	62991,26	50,463	44,768	2,541
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	50,70	23,40	63295,70	141,766	0,952	28,834
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	49,20	23,00	61423,05	137,572	0,924	27,981
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30cm U=0,090	46,80	22,30	58426,80	130,861	0,879	26,616
Biomasa-pellet									

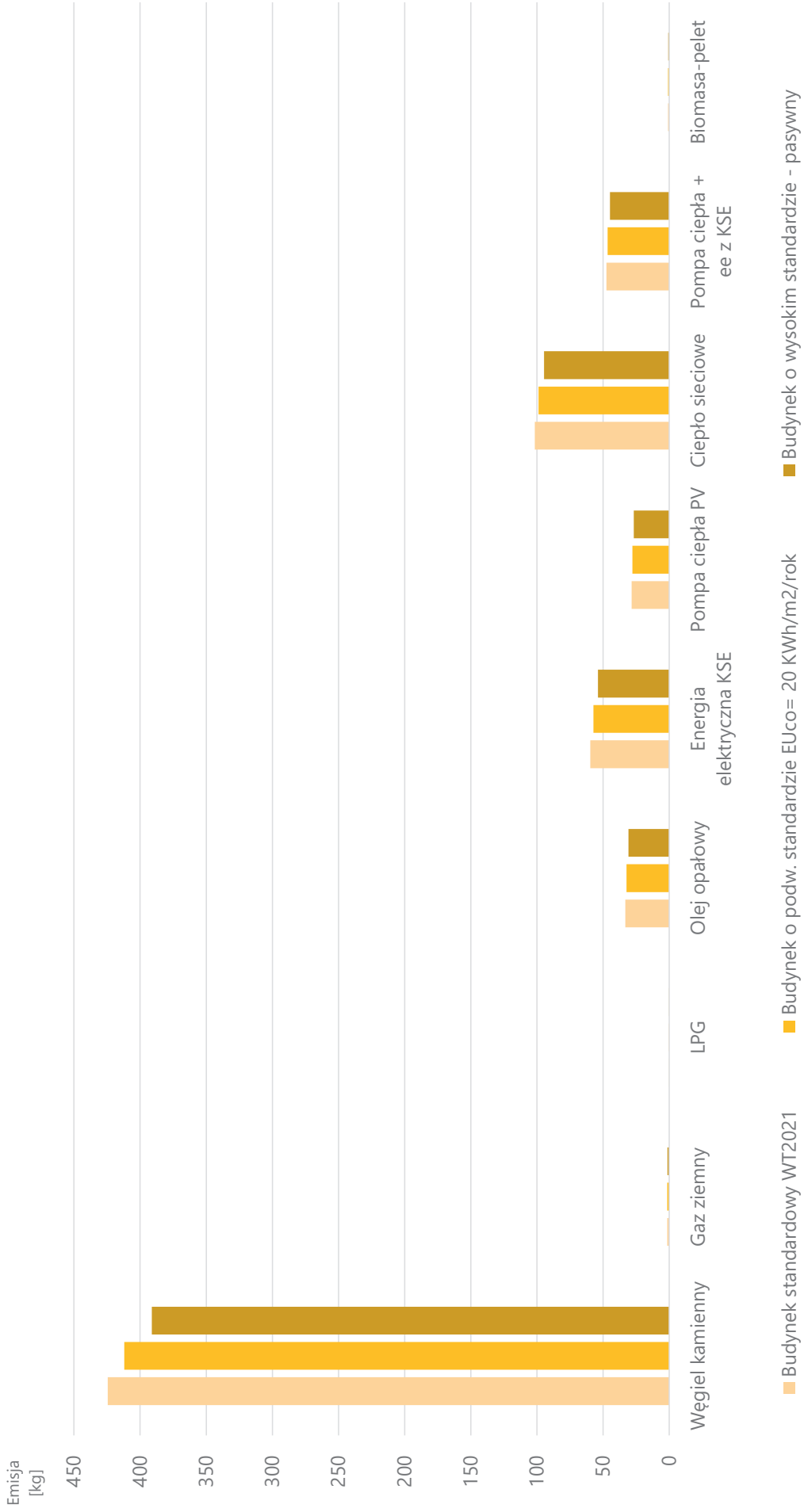
Rysunek 14. Emisje CO₂ z budynku wielorodzinnego



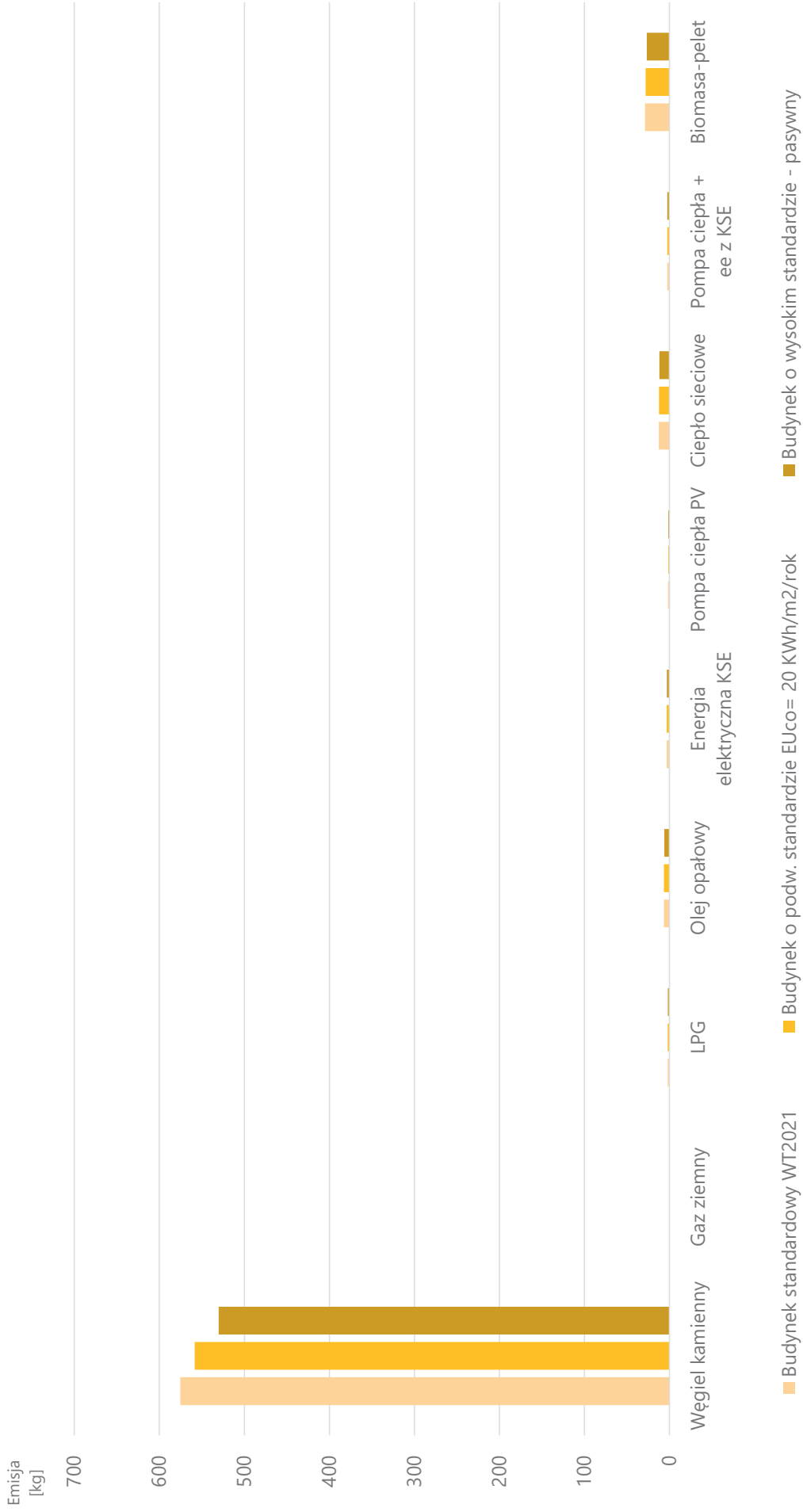
Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Rysunek 15. Emisje NOx z budynku wielorodzinnego

Rysunek 16. Emisje SO_x z budynku wielorodzinnego



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Rysunek 17. Emisje pyłów zawieszonych z budynku wielorodzinnego

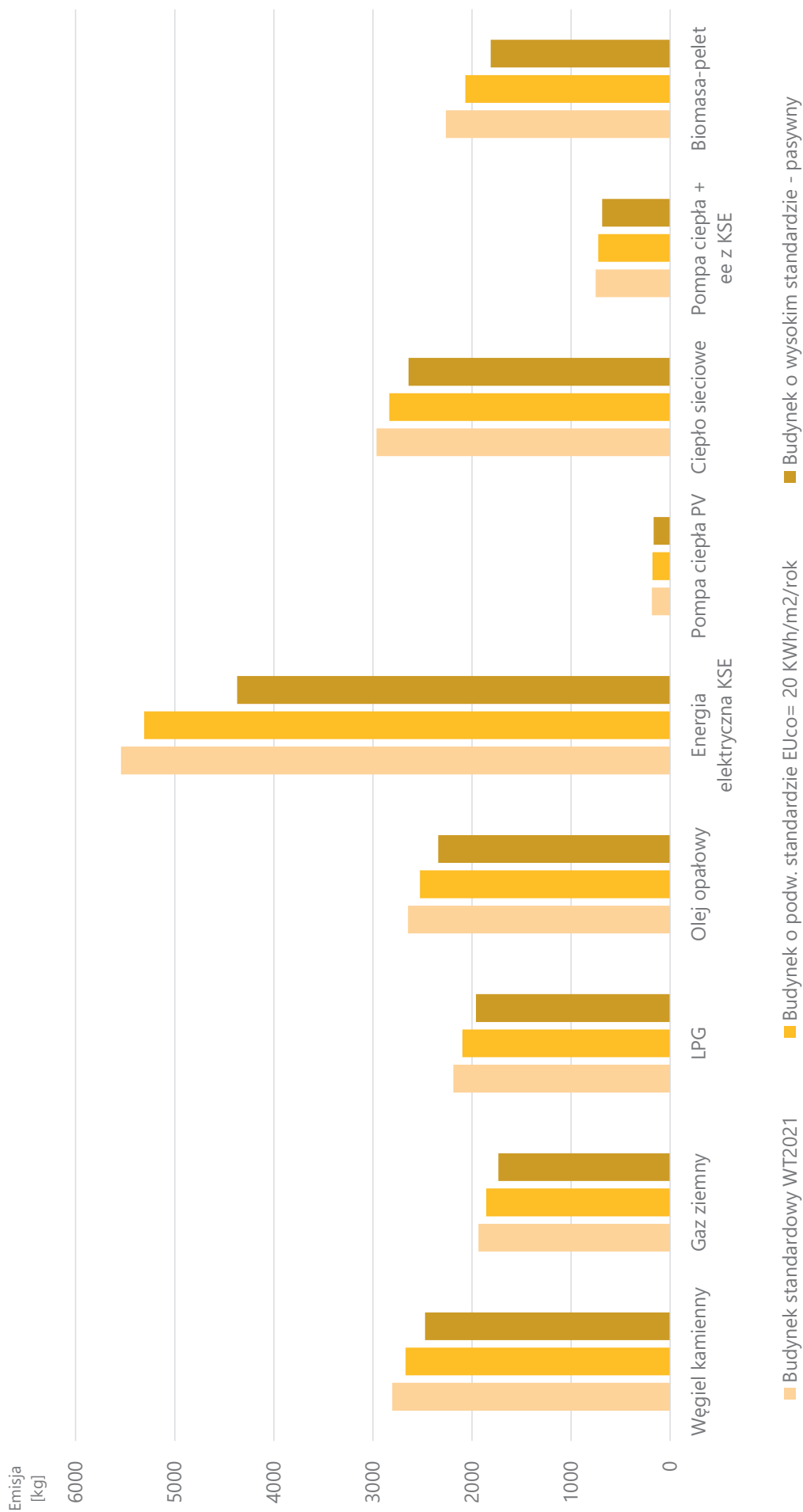
Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 61. Emisje zanieczyszczeń z budynku jednorodzinnego

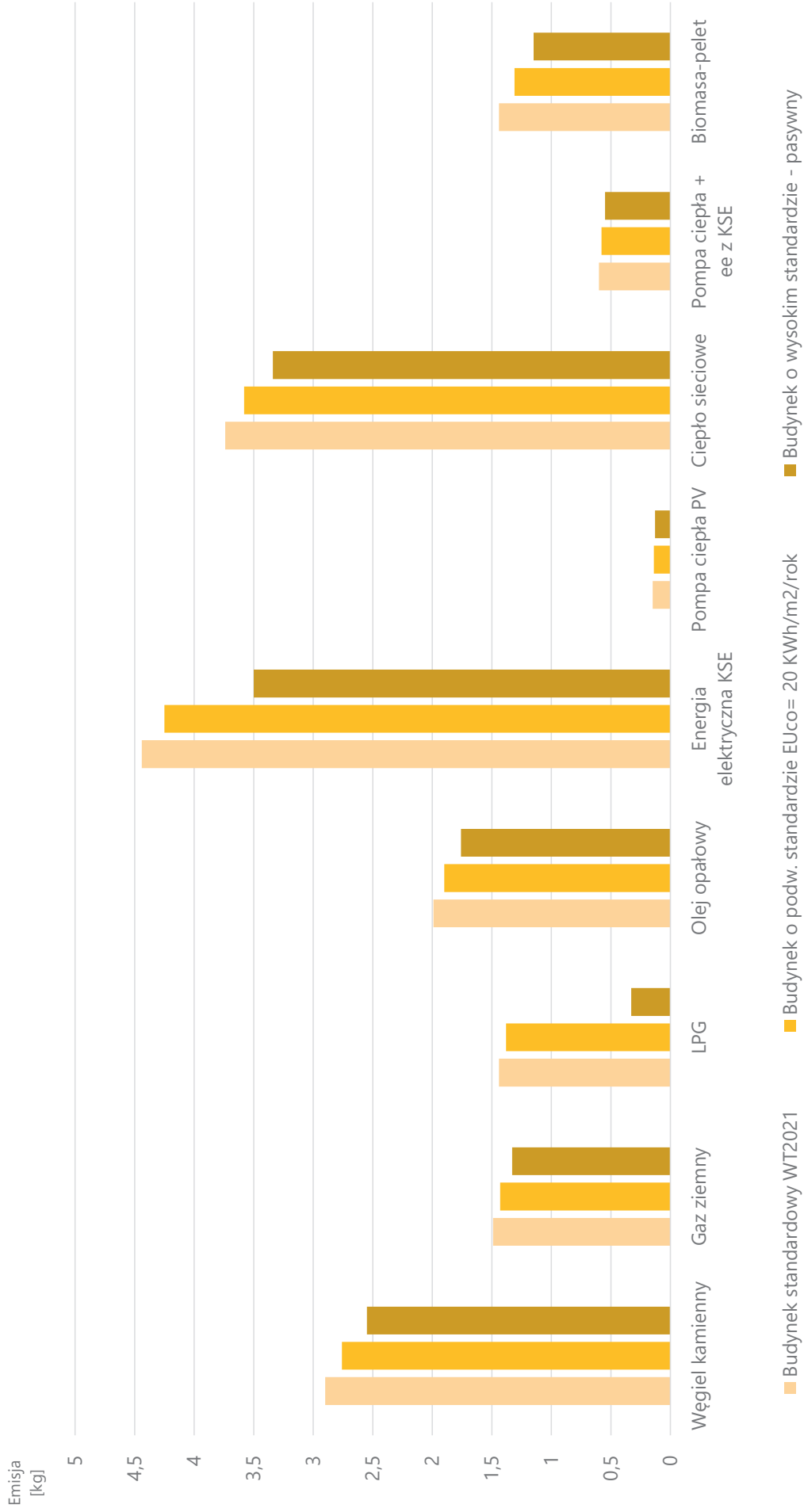
	Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinnego (EP max = 70 [kWh/m ² /rok])						EMISJE [kg]				
	Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]				EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]	CO ₂	NOx	SO ₂	PYŁY
		Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.							
Węgiel kamienny	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158		62,50	66,30	2 805,70	2,90	16,99	22,57
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152		59,50	63,00	2 671,02	2,76	16,17	21,49
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143		55,10	58,20	2 473,50	2,55	14,97	19,90
Gaz ziemny	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158		59,70	63,20	1 934,59	1,49	0,39	0,02
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152		57,30	60,60	1 856,82	1,43	0,37	0,02
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143		53,50	56,40	1 733,68	1,33	0,35	0,02
LPG	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158		60,50	64,10	2 187,98	1,44	0,34	0,10
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152		58,00	61,40	2 097,57	1,38	0,33	0,10
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143		54,20	57,20	1 960,14	1,29	0,31	0,09
Olej opałowy	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158		63,60	67,50	2 645,91	1,99	1,71	0,29
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152		60,70	64,30	2 525,27	1,90	1,63	0,28
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143		56,30	59,40	2 342,21	1,76	1,51	0,26
Energia elektryczna KSE	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158		56,80	170,30	5 541,88	4,44	3,94	0,22
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152		54,40	163,10	5 307,72	4,25	3,77	0,21
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,086	30 cm U=0,107	30 cm U=0,098		44,80	124,20	4 371,06	3,50	3,11	0,18

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinnego (EP max = 70 [kWh/m ² /rok])		Grubość izolacji przegród [cm]				EMISJE [kg]				
		Standard energetyczny budynku	Podłoga	Dach albo stropodach	Ściany zew.		EK [kWh/m ² /rok]	EP [kWh/m ² /rok]	CO ₂	NOx
Pompa ciepła PV	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	23,80	11,30	185,77	0,15	0,13	0,01
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	22,90	11,30	178,75	0,14	0,13	0,01
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	21,50	11,30	167,82	0,13	0,12	0,01
Ciepło sieciowe	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	57,90	45,70	2 963,11	3,74	4,01	0,54
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	55,40	43,70	2 835,17	3,58	3,84	0,52
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	51,60	40,70	2 640,70	3,34	3,58	0,48
Pompa ciepła + ee z KSE	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	23,00	69,00	753,01	0,60	0,54	0,03
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	22,20	66,60	726,82	0,58	0,52	0,03
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	21,00	63,00	687,53	0,55	0,49	0,03
Biomasa-pellet	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	47,50	21,80	2 263,64	1,44	0,29	3,57
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	43,40	20,90	2 068,26	1,31	0,27	3,26
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	38,00	9,80	1 810,92	1,15	0,23	2,86

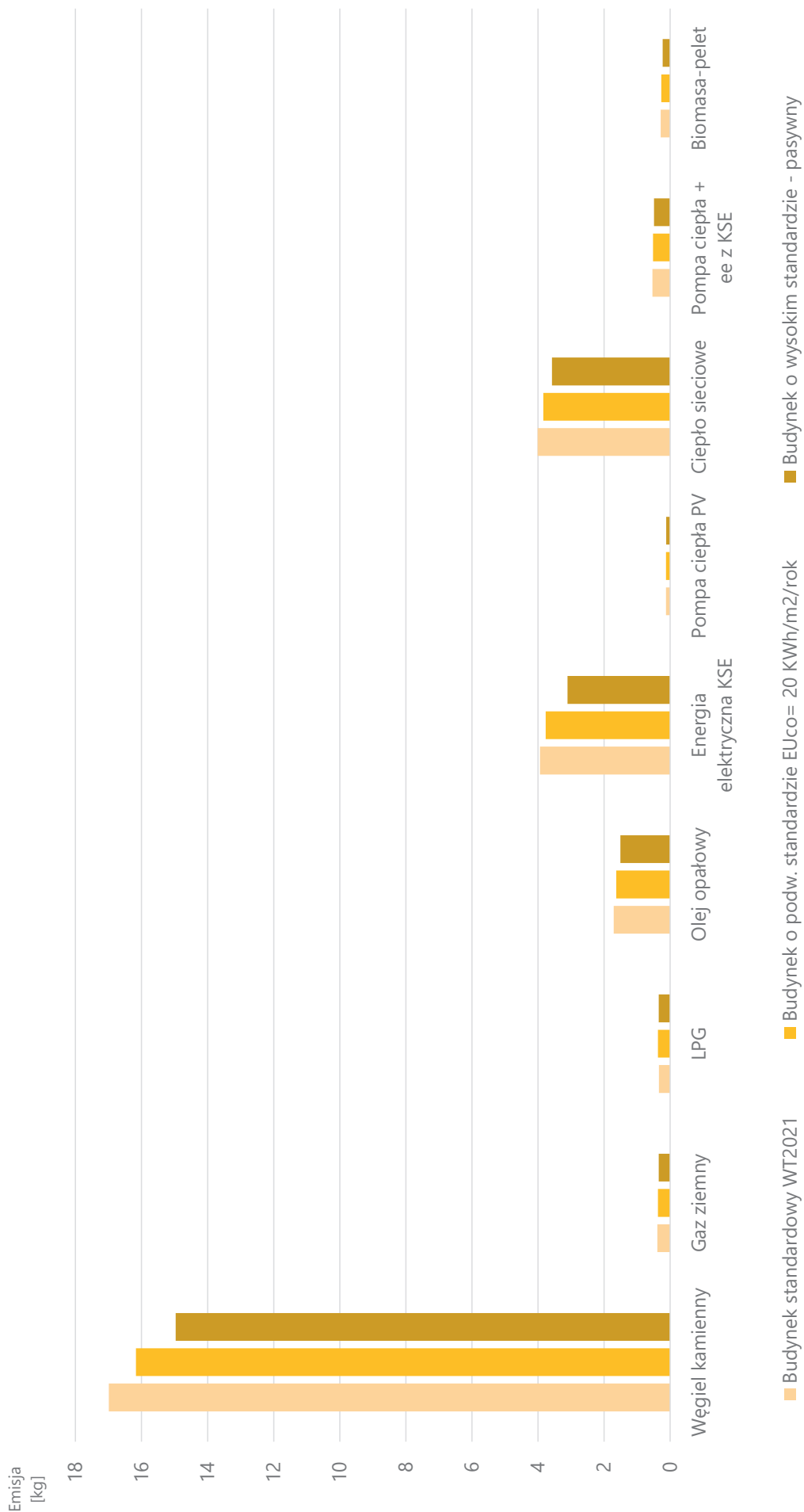
Rysunek 18. CO₂ z budynku jednorodzinnego



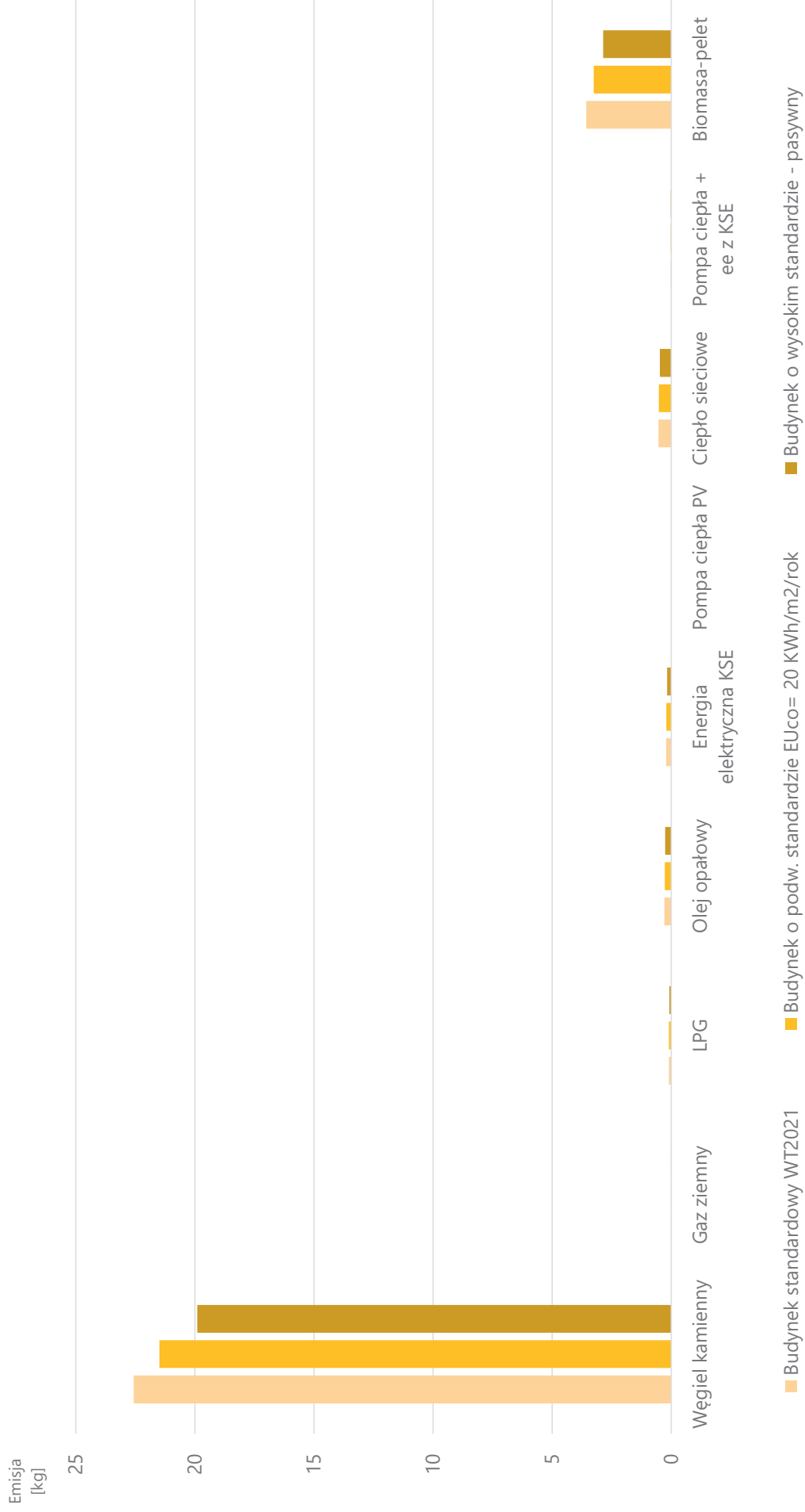
Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Rysunek 19. Emisje NOx z budynku jednorodzinnego

Rysunek 20. Emisje SOx z budynku jednorodzinnego



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Rysunek 21. Emisje pyłów zawieszonych z budynku jednorodzinnego

Analizy powyższych tabel pokazują, że najbardziej korzystne z punktu widzenia społeczeństwa są budynki o wysokich standardach energetycznych, do których ciepło dostarczane jest ze źródeł odnawialnych np. przy pomocy pompy ciepła zasilanej energią elektryczną z instalacji fotowoltaicznej. Emisje wszystkich ocenianych substancji (CO₂, SO₂, NO_x, TPS) są wówczas zerowe. Niestety z punktu widzenia oceny LCC bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych te rozwiązania nie są optymalne z ekonomicznego punktu widzenia.

W zakresie korzyści dla społeczeństwa kluczowe znaczenie oprócz grubości ocieplenia ma rodzaj zastosowanego materiału izolacyjnego.

Biorąc pod uwagę kryterium korzyści dla społeczeństwa można stwierdzić że styropian jest materiałem:

- stosunkowo tanim,
- powszednie dostępnym,
- łatwym w obróbce i niewymagającym specjalistycznych narzędzi do jego montażu,
- o znanych technologiach montażu wśród ekip budowlanych,
- podający się recyklingowi (np. można z odpadów styropianowych na budowie łatwo wyprodukować folię w płynie – np. Styrozol lub lekki beton,
- lekkim co pozwala na stosowanie większych grubości płyt bez użycia specjalnych dźwigów i uniknięcie szybkiego męczenia się robotników.

Ponadto systemy ociepleń oparte na styropianie mają dobrą charakterystykę środowiskową III typu (śląd węglowy, energię wbudowaną) biorąc pod uwagę materiały nieodnawialne.

Niestety parametry środowiskowe są zależne od miejsca produkcji danego materiału i np. styropian wyprodukowany w kraju gdzie prawie cała energia pierwotna pochodzi z OZE ma oczywiście znacznie lepsze parametry środowiskowe niż np. ten wyprodukowany w kraju o gospodarce opartej na paliwach kopalnych.

Podsumowując należy stwierdzić, że zastosowanie styropianu w ociepleniach budynków, ze względu na koszt, powszechną dostępność i cechy środowiskowe tego wyrobu, pozytywnie wpływa na powszechność poprawy standardu energetycznego budynków, a co za tym idzie skalę redukcji pochodzących z nich zanieczyszczeń pyłowych i gazowych do powietrza.

12. OPIS ORAZ OCENA WPŁYWU NA WYNIKI OPTIMALIZACJI STANDARDU OCHRONY CIEPLNEJ BUDYNKU TZW. KOSZTÓW ZEWNĘTRZNYCH

Koszty zewnętrzne wytwarzania energii elektrycznej są obecnie najważniejszymi kryteriami środowiskowymi kształtującymi decyzje inwestycyjne w obszarze systemu energetycznego. Odnoszą się do ogółu negatywnych efektów związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła we wszystkich etapach technicznego procesu.

Jedną z najbardziej kompleksowych prób określenia kosztów zewnętrznych powodowanych przez punktowe źródła zanieczyszczeń była opracowana w 2005 roku metodyka ExternE. Metodyka ta jest powszechnie wykorzystywaną w szacowaniu kosztów zewnętrznych technologii energetycznych. Ogranicza się ona do szacunku kosztów powodowanych przez emisję zanieczyszczeń gazowych w takich kategoriach oddziaływania, jak: zdrowie ludzkie, materiały, uprawy rolne. Wpływ poszczególnych zanieczyszczeń na rodzaj ponoszonych strat przedstawiono w tabeli poniżej (Tabela 62).

Tabela 62. Niekorzystne efekty zewnętrzne związane z emisją zanieczyszczeń gazowych.

Obszar oddziaływania	Polutant	Efekt zewnętrzny
Zdrowie ludzkie	PM, SO ₂ , NO _x , O ₃ , NH ₃ , NMVOC, Cd, As, Ni, Pb, Hg, Cr, dioksyny	zmniejszenie długości życia ludzkiego, leczenie szpitalne związane z chorobami sercowo-naczyniowymi, oddechowymi itd.
Szkody materiałowe	SO ₂ , NO _x	korozja metali, niszczenie elewacji budynków, ubytki materiałów itp.
Szkody w zbiorach	SO ₂ , NO _x	zmniejszenie produktywności plonów rolnych, straty leśne, konieczność zwiększenia azotowania gleb
Utrata bioróżnorodności	NH ₃ , SO ₂ , NO _x , NMVOC	zachwianie równowagi biologicznej
Globalne ocieplenie	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	zagrożenie życia, powodzie, straty w rolnictwie, turystyce itp.

Źródło: ExternE – Externalities of Energy, 2005

Metodyka ta była rozwijana i wykorzystywana w wielu europejskich projektach m.in. W projekcie NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability). Z projektu tego pochodzą wykorzystane w poniższej analizie koszty zewnętrzne zanieczyszczeń emitowanych do powietrza z podziałem na koszty związane z utratą zdrowia, utratą bioróżnorodności, zniszczeniami upraw oraz stratami materialnymi. Koszty zewnętrzne emisji wybranych polutantów zestawione zostały w tabeli poniżej (Tabela 63).

Tabela 63. Koszty zewnętrzne emisji [euro]

Jednostka [euro/t]	Zdrowie	Bioróżnorodność	Uprawy	Zniszczenie materialne
CO ₂	19	-	-	-
NO _x	5 722	942	328	71
SO ₂	6 348	184	-39	259
PM _{2,5}	1 327	-	-	-
PM ₁₀	24 570	-	-	-
TSP*	8 299,9	-	-	-

Źródło: NEEDS, New Energy Externalities 2009

Ze względu na długi czas, który upłynął od wyznaczenia powyższych wartości i spadek wartości pieniądza, który nastąpił w tym okresie, koszty zewnętrzne emisji zostały zaktualizowane o wartość inflacji w okresie 01.01.2009 – 01.01.2022 w Polsce. Koszty zewnętrzne emisji wybranych polutantów z uwzględnieniem wartości inflacji w Polsce w podanym okresie wynoszącą 33,63% i przedstawione zostały w tabeli poniżej (Tabela 64).

Tabela 64. Koszty zewnętrzne emisji z uwzględnieniem inflacji [euro]

Jednostka [euro/t]	Zdrowie	Bioróżnorodność	Uprawy	Zniszczenie materialne
CO ²	25,39	-	-	-
NO _x	7 646,31	1 258,79	438,31	94,88
SO ₂	8 482,83	245,88	-52,12	346,10
PM _{2,5}	23 515,00	-	-	-
PM ₁₀	25,39	-	-	-
TSP*	7 646,31	1 258,79	438,31	94,88

Źródło: Opracowanie własne na podstawie NEEDS, *New Energy Externalities 2009*

W celu określenia kosztów zewnętrznych zgodnie z metodyką ExternE konieczne jest oszacowanie wielkości emisji zanieczyszczeń emitowanych przez dane źródło. Zależy to od zastosowanej technologii energetycznej i typu paliwa. Wyrażana jest najczęściej w jednostkach fizycznej emisji przypadającej na jednostkę masy, objętości lub energii paliwa. Wartość emisji zanieczyszczeń ze spalania poszczególnych paliw zostały zaczerpnięte z raportów KOBIZE¹. Jako zanieczyszczenia powietrza powstałe podczas spalania paliw oraz produkcji energii elektrycznej KOBIZE podaje CO₂, NO_x, SO₂ oraz TSP² (total suspended particulate). Poniższa analiza skupia się na określeniu kosztów zewnętrznych wynikłych z ich emisji. Wartości emisji użyte do przeprowadzenia analizy podane zostały w rozdziale 11 „Ocena korzyści dla społeczeństwa”. Na podstawie powyższych informacji wyliczone zostały koszty zewnętrzne emisji dla spalania poszczególnych paliw przypadające na 1 MWh.

Tabela 66 przedstawia wyniki analiz metodą LCC dla budynku biurowego, Tabela 67 – dla budynku wielorodzinnego, a Tabela 68 – dla budynku jednorodzinnego.

1 „Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw, kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW”, 2015. oraz „Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i pyłu całkowitego dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2019 rok”

2 TSP określone zostało jako 70% PM_{2,5} oraz 30% PM₁₀

Tabela 65. Koszty zewnętrzne spalania paliw przypadające na 1 MWh

Lp.	MWh	Paliwo	Ruszt	Nominalna moc	Ciąg	Zdrowie	Bioróżnorodność	Uprawy	Zniszczenie materialne	RAZEM
1	1	Węgiel kamienny	Stały	<0,5 MW	naturalny	344,64 zł	4,53 zł	0,20 zł	3,61 zł	352,99 zł
2	1	Węgiel kamienny	Stały	<0,5 MW	sztuczny	449,52 zł	4,35 zł	0,14 zł	3,60 zł	457,60 zł
3	1	Węgiel kamienny	Stały	>0,5 - <5MW	naturalny	446,64 zł	3,40 zł	-0,19 zł	3,53 zł	453,37 zł
4	1	Węgiel kamienny	Stały	>0,5 - <5MW	sztuczny	458,13 zł	5,29 zł	0,47 zł	3,67 zł	467,56 zł
5	1	Węgiel kamienny	Mechaniczny	>0,5 - <5MW	-	567,78 zł	5,48 zł	0,53 zł	3,68 zł	577,48 zł
6	1	Koks	Stały	<0,5 MW	naturalny	273,97 zł	2,33 zł	-0,28 zł	2,77 zł	278,79 zł
7	1	Koks	Stały	<0,5 MW	sztuczny	273,97 zł	2,33 zł	-0,28 zł	2,77 zł	278,79 zł
8	1	Koks	Stały	>0,5 - <5MW	naturalny	360,55 zł	2,70 zł	-0,15 zł	2,80 zł	365,91 zł
9	1	Koks	Stały	>0,5 - <5MW	sztuczny	360,55 zł	2,70 zł	-0,15 zł	2,80 zł	365,91 zł
10	1	Drewno	Stały	<1,0 MW	naturalny	80,27 zł	1,39 zł	0,47 zł	0,14 zł	82,26 zł
11	1	Drewno	Stały	>1,0 - <5MW	sztuczny	79,85 zł	1,32 zł	0,44 zł	0,14 zł	81,75 zł
12	1	Drewno	Mechaniczny	< 5MW	naturalny	106,75 zł	1,09 zł	0,38 zł	0,09 zł	108,31 zł
13	1	Pellet	Mechaniczny	-	sztuczny	111,02 zł	1,14 zł	0,39 zł	0,09 zł	112,64 zł
14	1	lekki olej opałowy	-	-	-	49,86 zł	1,38 zł	0,37 zł	0,37 zł	51,97 zł
15	1	ciężki olej opałowy	-	-	-	162,08 zł	6,89 zł	1,15 zł	3,48 zł	173,60 zł
16	1	olej napędowy	-	-	-	48,93 zł	2,97 zł	1,03 zł	0,23 zł	53,16 zł
17	1	gaz ziemny	-	<0,5 MW	-	29,09 zł	0,89 zł	0,31 zł	0,08 zł	30,37 zł
18	1	gaz ziemny	-	>0,5 - <5MW	-	29,90 zł	1,02 zł	0,35 zł	0,09 zł	31,37 zł
19	1	propan	-	< 5MW	-	35,45 zł	1,28 zł	0,44 zł	0,10 zł	37,27 zł
20	1	propan - butan	-	< 5MW	-	33,29 zł	0,83 zł	0,29 zł	0,06 zł	34,47 zł
21	1	energia elektryczna	-	-	-	129,52 zł	3,98 zł	1,06 zł	1,08 zł	135,65 zł
22	1	sieć ciepłownicza	-	-	-	24,671 zł	0,950 zł	0,228 zł	0,317 zł	26,166 zł

Źródło: Opracowanie własne KAPE SA

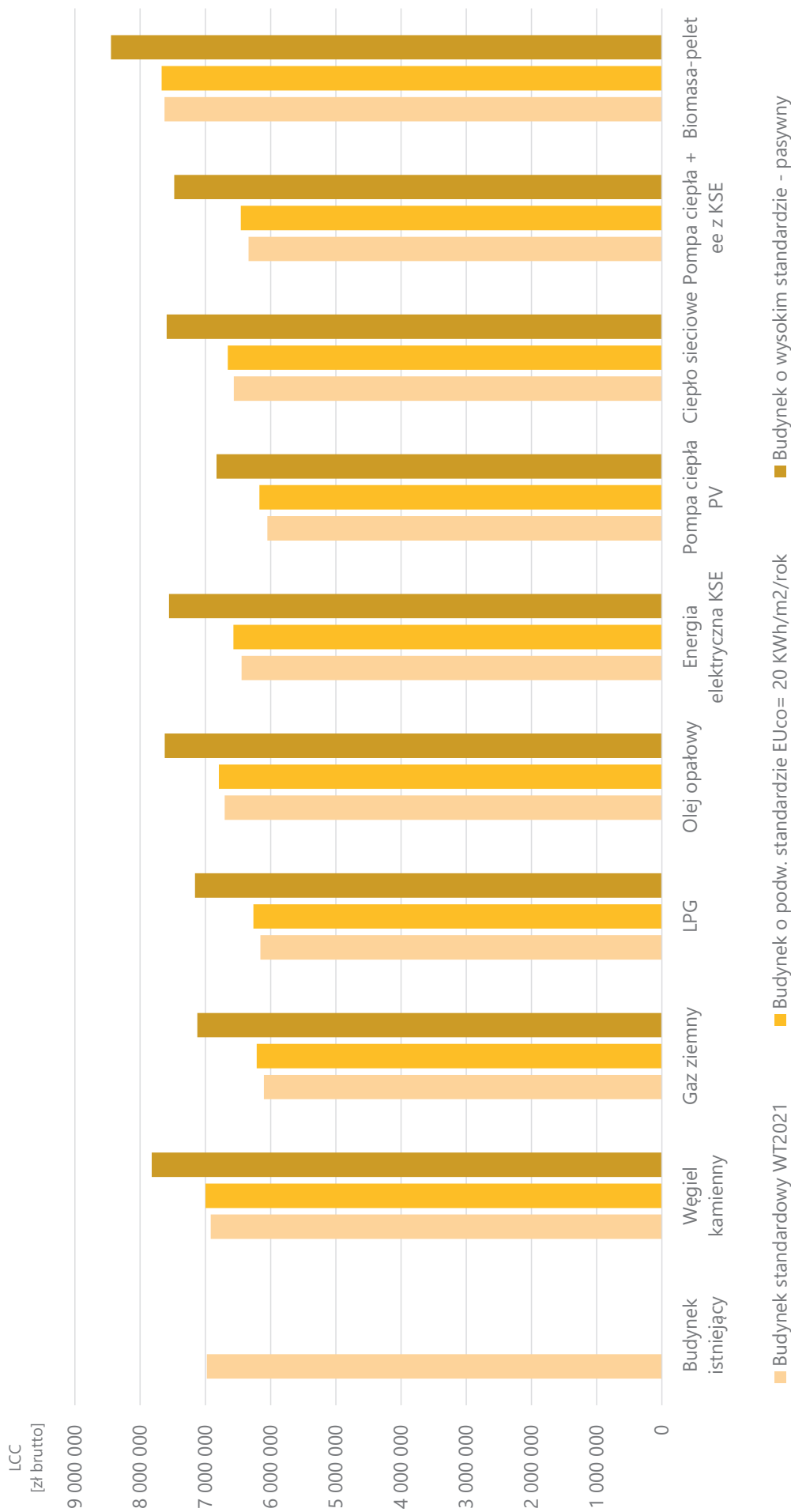
Tabela 66. Wyniki analizy metodą LCC z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych dla budynku biurowego

Budynek istniejący	Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego									
	Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Ścianyzew. ²	Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]	Koszty zewnętrzne [zł/rok]	Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]	
		Podłoga	Dach albo stropodach ¹							
Węgiel kamienny	Budynek standardowy WT2021	12 cm i 20 cm U=0,090	25 cm U=0,086 / 25 cm i 5 cm U=0,077	35 cm U=0,094	5 775 798	31 993	9 228	6 977 164		
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 428 148	63 591	20 351	6 918 449		
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 551 346	61 773	19 711	6 999 127		
	Budynek standardowy WT2021	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 511 037	55 901	17 644	7 821 447		
Gaz ziemny	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 443 148	26 658	3 525	6 104 172		
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 566 346	26 132	3 467	6 212 496		
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 526 037	24 431	3 277	7 124 134		
	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 443 148	33 001	3 789	6 156 357		
LPG	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 566 346	32 272	3 722	6 263 122		
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 526 038	29 524	3 470	7 160 876		
	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	18 cm U=0,188/0,196	5 443 148	47 187	4 421	6 703 787		
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	16 cm U=0,184 /0,192	5 566 346	46 003	4 334	6 792 884		
Olej opałowy	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	24 cm U=0,142/ 0,147	6 526 037	41 538	4 007	7 624 041		

- 1 Więcej niż jedna wartość danych w danym wierszu wskazuje na to, że występowały różne rodzaje dachów albo stropodachów o różnych wartościach grubości izolacji przegród.
- 2 Więcej niż jedna wartość danych w danym wierszu wskazuje na to, że występowały różne rodzaje ścian o różnych wartościach grubości izolacji przegród.

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku biurowego										
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegrod [cm]			Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]	Koszty zewnętrzne [zł/rok]	Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]	Standard energetyczny budynku	Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]
	Podłoga	Dach albo stropodach ¹	Ścianyzew. ²							
Energia elektryczna KSE	Budynek standardowy WT2021	10 cm i 5 cm U=0,151	30 cm U=0,123 / 20 cm i 10 cm U=0,121	5 664 677	39 636	6 447	6 444 734	Budynek standardowy WT2021	5 664 677	39 636
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	10 cm i 5 cm U=0,138	30 cm U=0,107 / 20 cm i 10 cm U=0,106	5 791 305	39 541	6 431	6 569 492	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 791 305	39 541
Pompa ciepła PV	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 10 cm U=0,109	30 cm U=0,101 / 20 cm i 10 cm U=0,100	6 789 895	38 970	6 338	7 556 858	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	6 789 895	38 970
	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	5 847 798	10 226	1 663	6 049 049	Budynek standardowy WT2021	5 847 798	10 226
Ciepło sieciowe	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	5 972 334	10 194	1 658	6 172 955	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 972 334	10 194
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	6 630 797	10 104	1 643	6 829 654	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	6 630 797	10 104
Pompa ciepła + ee z KSE	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	5 705 148	24 469	3 236	6 563 883	Budynek standardowy WT2021	5 705 148	24 469
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	5 828 346	23 845	3 168	6 657 656	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 828 346	23 845
Biomasa-pelet	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	6 833 537	22 377	3 009	7 593 611	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	6 833 537	22 377
	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	5 764 375	29 085	4 731	6 336 791	Budynek standardowy WT2021	5 764 375	29 085
Pompa ciepła	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	5 900 334	28 325	4 607	6 457 785	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 900 334	28 325
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	6 945 626	26 994	4 390	7 476 888	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	6 945 626	26 994
Biomasa-pelet	Budynek standardowy WT2021	5 cm i 5 cm U=0,188	25 cm U=0,147 / 20 cm i 5 cm U=0,144	5 713 048	44 683	6 026	7 625 303	Budynek standardowy WT2021	5 713 048	44 683
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 cm i 5 cm U=0,175	25 cm U=0,128 / 20 cm i 5 cm U=0,126	5 837 584	43 130	5 831	7 672 056	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	5 837 584	43 130
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	10 cm i 5 cm U=0,133	20 cm U=0,149 / 20 cm i 5 cm U=0,119	6 852 126	38 370	5 231	8 448 060	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	6 852 126	38 370
	Minimum - wariant optymalny							6 049 049	Maximum - największe koszty	
							8 448 060			

Rysunek 22. Wyniki analiz metodą LCC z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych dla budynku biurowego



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Tabela 67. Wyniki analiz metodą LCC z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych dla budynku wielorodzinnego

Standard energetyczny budynku	Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku wielorodzinnego				Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]	Koszty zewnętrzne [zł/rok]	Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]
	Grubość izolacji przegród [cm]			Ścianyzew.				
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ścianyzew.					
Budynek istniejący	10 cm U=0,429	24 cm U=0,288	18 cm U=0,150	23 876 902	84 839	8 859	25 551 449	
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	23 697 021	234 312	82 480	34 611 982	
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 027 560	227 407	80 049	34 620 862	
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	28 600 930	215 899	75 998	38 658 133	
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	23 937 021	72 743	7 420	26 012 397	
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 267 560	70 844	7 227	26 288 760	
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	28 840 930	67 776	6 914	30 774 614	
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	23 937 021	93 406	8 469	26 241 395	
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 267 560	90 977	8 249	26 512 020	
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	28 840 931	86 867	7 876	30 983 998	
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	23 937 021	155 585	11 007	28 424 992	
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 267 560	151 540	10 721	28 638 844	
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	28 840 930	144 694	10 237	33 014 743	

Rozwiązana w zakresie ochrony ciepłej budynku wielorodzinnego										
Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegród [cm]			Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]	Koszty zewnętrzne [zł/rok]	Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]	Energia elektryczna KSE	Pompa ciepła PV	Ciepło sieciowe
	Podłoga	Dach albo stropodach	Ścianyzew.							
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	24 520 743	93 571	15 219	26 362 285	Energia elektryczna KSE	Pompa ciepła PV	Ciepło sieciowe
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 851 282	89 815	14 608	26 618 916			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	29 424 652	84 495	13 743	31 087 582	Pompa ciepła + ee z KSE	Pompa ciepła	Ciepło sieciowe
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	25 042 432	5 237	248	25 146 096			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	25 372 971	5 127	243	25 474 457	Pompa ciepła + ee z KSE	Pompa ciepła	Ciepło sieciowe
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	29 944 852	4 929	233	30 042 418			
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	24 493 779	55 306	5 910	27 079 608	Pompa ciepła + ee z KSE	Pompa ciepła	Ciepło sieciowe
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 821 480	53 834	5 753	27 338 506			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	29 394 850	51 504	5 504	31 802 939	Pompa ciepła + ee z KSE	Pompa ciepła	Ciepło sieciowe
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	24 720 743	38 513	12 114	25 472 963			
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	25 051 282	37 704	11 860	25 787 699	Pompa ciepła + ee z KSE	Pompa ciepła	Ciepło sieciowe
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	29 624 652	36 247	11 401	30 332 624			
Budynek standardowy WT2021	30 cm U=0,114	40 cm U=0,087	30 cm U=0,103	24 603 779	212 835	2 1780	35 555 539	Biomasa-pelet	Biomasa-pelet	Biomasa-pelet
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	30 cm U=0,105	40 cm U=0,080	30 cm U=0,096	24 931 480	206 538	2 1135	35 559 223			
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,099	40 cm U=0,075	30 cm U=0,090	29 504 850	196 463	20 104	39 614 167	Biomasa-pelet	Biomasa-pelet	Biomasa-pelet
Minimum - wariant optymalny							25 146 096			
Maximum - największe koszty							39 614 167			

Źródło: Opracowanie własne KAPE SA

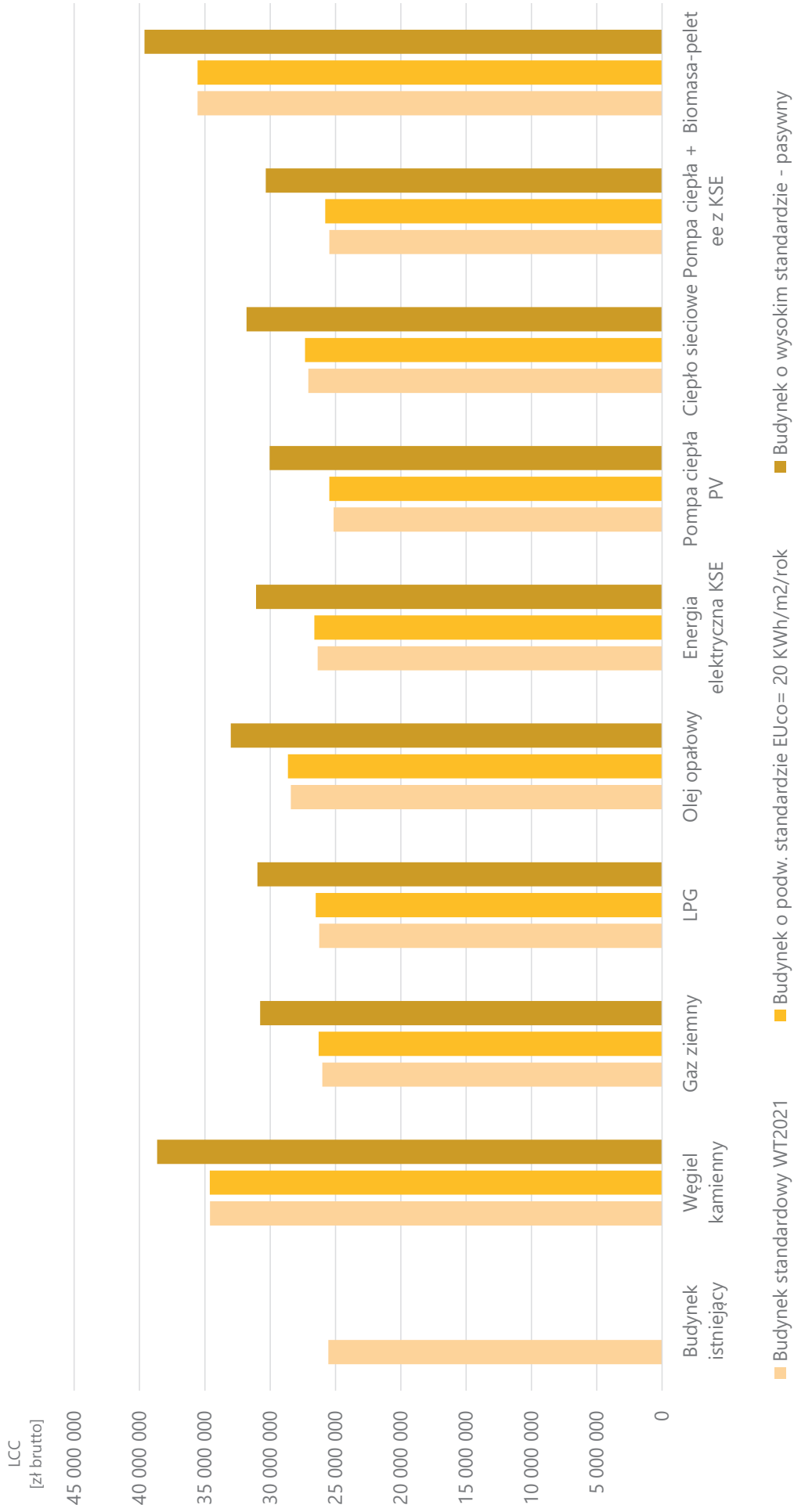
Rysunek 23. Wyniki analiz metodą LCC z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych dla budynku wielorodzinnego

Tabela 68. Wyniki analiz metodą LCC z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych dla budynku jednorodzinnego

Standard energetyczny budynku	Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinnego						Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]
	Grubość izolacji przegród [cm]		Ścianyzew.	Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]	Koszty zewnętrzne [zł/rok]	
	Podłoga	Dach albo stropodach					
Budynek istniejący	28 cm U=0,105	30 cm U=0,113	38 cm U=0,087	1 076 698	1 916	721	1 154 394
Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 148 447	10 609	3 735	1 642 651
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 167 395	10 100	3 555	1 637 878
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 277 003	9 353	3 292	1 712 694
Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 153 447	2 928	320	1 236 229
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 172 395	2 810	308	1 251 850
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 282 003	2 624	287	1 356 189
Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 153 447	4 097	356	1 245 885
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 172 395	3 928	342	1 261 014
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 282 004	3 670	319	1 364 817
Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 153 447	7 035	516	1 355 991
Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 172 395	6 715	493	1 365 704
Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 282 003	6 228	457	1 461 300

olej opałowy

LPG

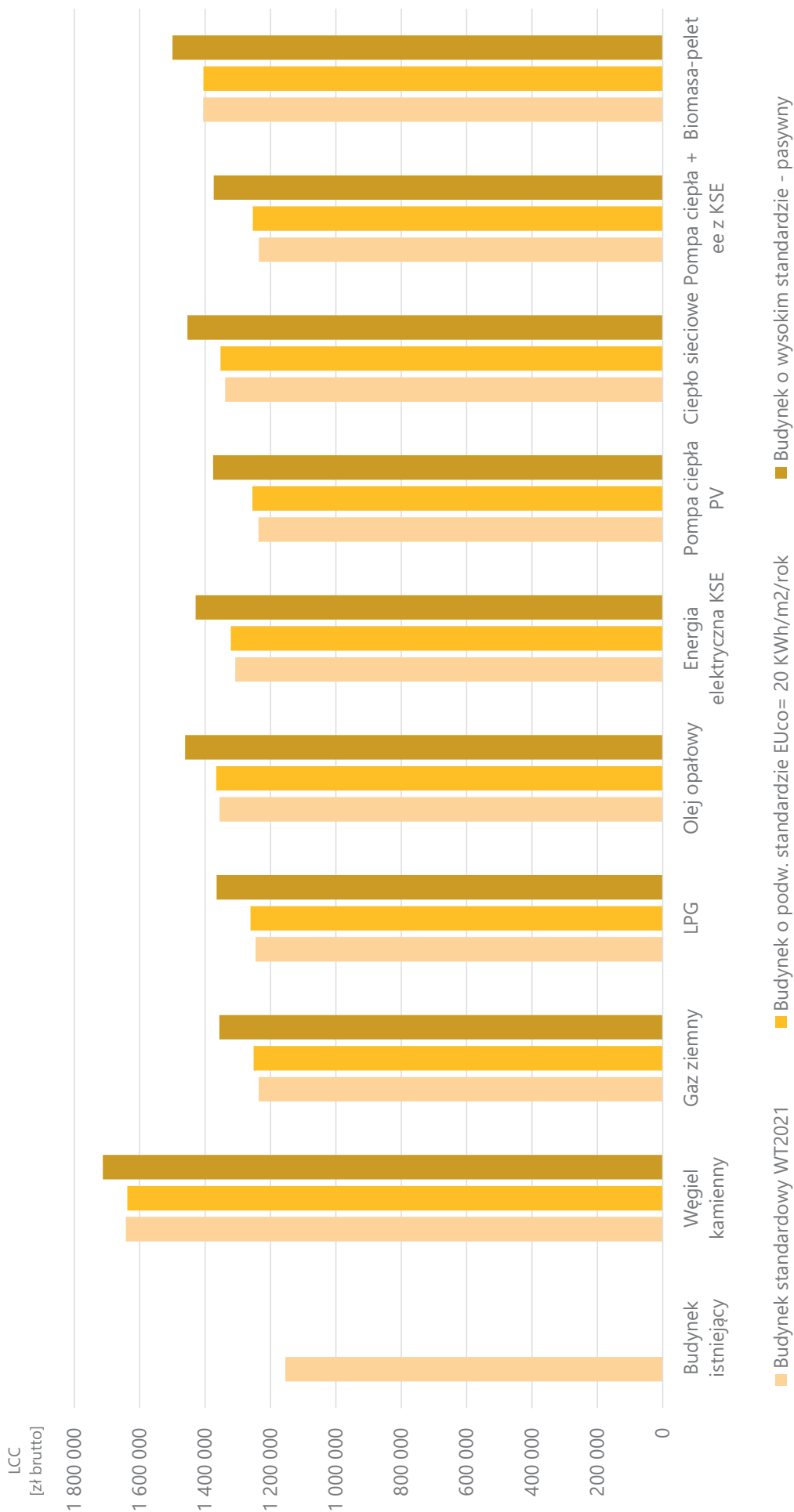
gaz ziemny

węgiel kamienny

budynek istniejący

Rozwiązana w zakresie ochrony cieplnej budynku jednorodzinnego									
	Standard energetyczny budynku	Grubość izolacji przegrod [cm]			Koszt inwestycyjny [zł]	Koszty eksploatacyjne [zł/rok]	Koszty zewnętrzne [zł/rok]	Koszty całkowite LCC - 20 lat [zł]	
		Podłoga	Dach albo stropodach	Ścianyzew.					
Energia elektryczna KSE	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 178 447	6 554	1 066	1 307 444	
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 197 395	6 278	1 021	1 320 942	
Pompa ciepła PV	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	30 cm U=0,086	30 cm U=0,107	30 cm U=0,098	1 327 280	5 170	841	1 429 024	
	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 213 447	432	248	1 236 770	
Ciepło sieciowe	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 232 395	415	238	1 255 403	
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 353 003	390	224	1 375 522	
Pompa ciepła + ee z KSE	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 218 447	2 580	280	1 338 693	
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 237 395	2 469	268	1 352 450	
Biomasa-pelet	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 347 003	2 300	249	1 454 166	
	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 213 447	1 148	432	1 235 790	
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 232 395	1 108	417	1 253 962	
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 353 003	1 048	394	1 373 404	
	Budynek standardowy WT2021	20 cm U=0,140	30 cm U=0,126	22 cm U=0,158	1 106 462	5 968	752	1 405 505	
	Budynek o podw. standardzie EUco= 20 kWh/m ² /rok	15 cm U=0,156	30 cm U=0,113	20 cm U=0,152	1 131 748	5 453	687	1 404 979	
	Budynek o wysokim standardzie - pasywny	15 cm U=0,149	30 cm U=0,107	20 cm U=0,143	1 260 222	4 774	602	1 499 456	
	Minimum - wariant optymalny								1 154 394
Maximum - największe koszty								1 712 694	

Rysunek 24. Wyniki analiz metodą LCC z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych dla budynku jednorodzinnego



Źródło: opracowanie własne KAPE S.A.

Dodanie kosztów zewnętrznych do analizy LCC w żadnym z przypadków nie zmieniło wyników optymalizacji grubości ocieplenia i tak:

- dla budynku biurowego o powierzchni użytkowej: 1 187,91 m², trzykondygnacyjnego o współczynniku kształtu równym 0,29, ścianach zewnętrznych murowane z cegły silikatowej, ocieplone metodą ETICS, optymalnym pod względem kosztów w cyklu życia budynku z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych jest obiekt wykonany w standardzie WT2021 z pompą ciepła + fotowoltaiką (patrz tabela 66). Wówczas optymalne grubości izolacji cieplnej o współczynniku przewodzenia $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{mK})$ na:

- ścianach zewnętrznych to: 18 cm styropianu,
- podłódze na gruncie to: 10 cm styropianu,
- dachu to: 25 cm styropianu.

- dla budynku wielorodzinnego o powierzchni użytkowej 3 911,14 m² ośmiokondygnacyjnego o współczynniku kształtu równym 0,37 i ścianach zewnętrznych konstrukcyjnych żelbetowych grubości 24 cm oraz ścianach zewnętrznych z pustaków ceramicznych ocieplonych metodą ETICS, optymalnym pod względem kosztów w cyklu życia budynku bez kosztów zewnętrznych jest obiekt wykonany w standardzie WT2021 z pompą ciepła + fotowoltaiką (patrz tabela 67). Wówczas optymalne grubości izolacji cieplnej o współczynniku przewodzenia $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{mK})$ na:

- ścianach zewnętrznych to: 30 cm styropianu,
- podłódze na gruncie to: 30 cm styropianu,
- dachu to: 40 cm styropianu.

- dla budynku jednorodzinne o powierzchni użytkowej 144,22 m² parterowego z użytkowym poddaszem o współczynniku kształtu równym 0,35, ścianach zewnętrznych murowanych z cegły silikatowej ocieplonej metodą lekką suchą optymalnym pod względem kosztów w cyklu życia budynku z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych jest obiekt wykonany według oryginalnego pierwotnego projektu (patrz tabela 68). Wówczas optymalne grubości izolacji cieplnej o współczynniku przewodzenia $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{mK})$ będą takie same jak w przypadku analizy bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych czyli na:

- ścianach zewnętrznych: 38 cm styropianu,
- podłódze na gruncie: 28 cm styropianu,
- dachu: 30 cm styropianu.

Wyraźnie widać, że uwzględnienie kosztów zewnętrznych w przypadku optymalizacji grubości ocieplenia przegród zewnętrznych z użyciem metody LCC zasadniczo nie zmienia rozwiązania optymalnego. W chwili obecnej ogrzewanie za pomocą pompy ciepła i fotowoltaiki jest najtańszym rozwiązaniem uwzględniając cykl życia budynku. Ale znaczne zwiększenie grubości ocieplenia sprawia, że w przypadku domu jednorodzinne opłacalne staje się nawet ogrzewanie elektryczne.

13. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Celem pracy było ocena ekonomicznych i środowiskowych korzyści jakie w cyklu użytkowania budynku przyniesie inwestorom, użytkownikom i środowisku ocieplenie przegród budynku z zastosowaniem płyt styropianowych w sposób zapewniający uzyskanie standardów, które obowiązują od 31 grudnia 2020 r. zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz. U. 2002 nr 75, poz. 690) z późn. zm.

Zarówno analizy jak i wnioski z tak postawionego zadania należy podzielić na dwa odrębnie rozpatrywane przypadki.

Przypadek pierwszy dotyczący budynków projektowanych i przypadek drugi dotyczący budynków istniejących podlegających termomodernizacji.

W przypadku budynków projektowanych konieczne jest określenie optymalnych grubości ocieplenia nieprzezroczystych przegród zewnętrznych (ściany zewnętrzne, dach, podłoga na gruncie) spełniających wymagania dla współczynników U i równocześnie wskaźników nieodnawialnej pierwotnej EP.

Na potrzeby oceny i porównania korzyści wynikających z ocieplenia budynku w określonym standardzie oraz sprawdzenia czy warto zwiększać grubości izolacji ponad wymagania na U i EP dla obowiązującego aktualnie standardu WT2021, analizie metodą kosztów w cyklu życia budynku (LCC) poddano projektowane budynki o podwyższonym wskaźniku $EU=20$ kWh/m²/rok oraz obiekty o standardzie pasywnym $EU=15$ kWh/m²/rok.

Realizując cel pracy dla budynków nowoprojektowanych przeanalizowano, wykorzystując metodologię LCC z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych i bez uwzględnienia tych kosztów, trzy następujące modele budynków:

- Budynek biurowy o powierzchni użytkowej: 1 187,91 m², trzykondygnacyjny o współczynniku kształtu równym 0,29, ściany zewnętrzne murowane z cegły silikatowej, ocieplone metodą ETICS,
- Budynek wielorodzinny o powierzchni użytkowej 6 726,7 m² ośmiokondygnacyjny o współczynniku kształtu równym 0,37 ścianach zewnętrznych konstrukcyjnych żelbetowych gr 24 cm oraz ścianach zewnętrznych z pustaków ceramicznych ocieplonych metodą ETICS,
- Budynek jednorodzinny o powierzchni użytkowej 144,22 m² parterowy z użytkowym poddaszem o współczynniku kształtu równym 0,35, ścianach zewnętrznych murowanych z cegły silikatowej ocieplonej ocieplonych metodą ETICS

Ponieważ budynki energooszczędne projektuje się metodą projektowania zintegrowanego (równocześnie nad projektem pracują architekt, konstruktor i instalatorzy) to analizy przeprowadzono dla trzech budynków modelowych w trzech standardach i dla następujących rodzajów źródeł ciepła w budynkach modelowych:

- kocioł węglowy (wyprodukowany po 2000 r.),
- kocioł na gaz ziemny (kondensacyjny 70/55°C),
- kocioł na LPG(kondensacyjny 70/55°C),

- kocioł na olej opałowy(kondensacyjny 70/55°C),
- pompa ciepła (woda/woda 55/45°C), zasilana energią elektryczną z KSE,
- pompa ciepła (woda/woda 55/45°C), zasilana energią elektryczną z lokalnej instalacji PV,
- urządzenia oporowe zasilane energią elektryczną z KSE,
- węzeł cieplny (kompaktowy z obudową) – sieć ciepłownicza Warszawa.
- kocioł na biomasę (automatyczny) - pellet.

Takie podejście powoduje konieczność zwiększenia grubości ocieplania przegród zewnętrznych ponad wartości wynikających z maksymalnych dla danego standardu dopuszczalnych wartości współczynników U, ze względu na obowiązek osiągnięcia wymaganych wartości granicznych wskaźników EP i EU.

Przy tak przyjętych założeniach wyniki zastosowania analizy LCC, pokazują, że optymalne grubości ociepleń przegród zewnętrznych przyjmują wielkości w zależności od typu budynku dla styropianu białego o współczynniku przewodzenia 0,038 W/(mK):

- ścian od 18 cm do 38 cm,
- dachu od 25 cm do 40 cm,
- podłogi na gruncie od 10 cm do 30 cm.

Grubości 18 cm dla ścian, 25 dla dachu i 10 cm dla podłogi na gruncie to minimalne wartości dla spełnienia wymagań na maksymalnych dopuszczonych wartości współczynnika U. Grubości: 38 cm ściana, 40 cm dach, 30 cm podłoga to grubości pozwalające na osiągnięcie zakładanych standardów przy zastosowaniu systemów grzewczych wykorzystujących określone paliwa. Inne rozwiązanie to hybrydowe systemy grzewcze gdzie przyjmuje się grubości ocieplenia dla wymagań na współczynniki U natomiast wartość wymaganą wskaźnika EP osiąga się wytwarzając część potrzebnej energii w lokalnych instalacjach OZE.

Grubości te mieszczą się w parametrach dostępnych na rynku technologii izolacyjnych. Jednie dla ogrzewania elektrycznego oporowego zasilanego energią elektryczną z KSE nie można uzyskać wymaganych wartości wskaźników EP dla nowych budynków.

Analizy kosztowe na poziomie cen z 2022 roku pokazały, że lepiej zwiększyć grubość ocieplenia niż stosować rozwiązania hybrydowe.

Uwzględnienie kosztów zewnętrznych w przypadku optymalizacji grubości ocieplenia przegród zewnętrznych z użyciem metody LCC nie zmienia rozwiązania optymalnego.

Gdy ciepło systemowe i energia elektryczna z KSE będą zeroemisyjne wówczas optymalne grubości ocieplenia przegród zewnętrznych można będzie przyjąć na poziomie wymagań tylko dla współczynnika U (18 cm dla ścian, 25 dla dachu i 10 cm dla styropianu białego o współczynniku przewodzenia 0,038 W/(mK)).

W przypadku drugim, czyli termomodernizacji istniejących budynków, Inwestor ma dwie możliwości:

- Pierwsza zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie należy spełnić jedynie wymagania dla współczynników U dla przegród zewnętrznych (bez wymagań jest EP). Wówczas grubość i parametry izolacji termicznej będzie zależna od materiałów z jakich zbudowana

jest istniejąca przegroda np. dla ściany o grubości 24 cm z cegły silikatowej drążonej wystarczy 18 cm styropianu o współczynniku przewodzenia ciepła: 0,038 W/(mK), aby spełnić obecnie obowiązujące wymagania na $U=0,2$ W/(m²K). Koszt takiego ocieplenia jest zaledwie o kilka procent większy od najczęściej stosowanego obecnie w praktyce ocieplenia warstwą 15 cm, a osiągnięte korzyści znaczne i to zarówno w sferze ochrony klimatu, zdrowia obywateli, korzyści ekonomicznych dla inwestora i społeczeństwa oraz komfortu życia w budynku.

- Druga to przyjęcie grubości ocieplenia dla danego rodzaju systemu grzewczego zgodnie z wynikami analizy LCC wykonanymi w niniejszej ekspertyzie. Przyjęcie tej możliwości zmniejszy w stosunku do pierwszej możliwości koszty zakupu nośników energii po modernizacji.

W niniejszej ekspertyzie udowodniono, że w zależności od współczynnika przewodzenia ciepła warstwy konstrukcyjnej przegrody zewnętrznej oszczędności energii w budynku o optymalnym dla danego źródła ciepła ociepleniu w stosunku do budynku bez jakiegokolwiek izolacji cieplnej wahają się od 45% dla materiałów typu gazobeton, pustaki poryzowane do 85% w przypadku betonu i cegły silikatowej.

Okresy zwrotu nakładów na kompleksowe ocieplenie budynku (ściany, podłoga, dach) materiałami izolacyjnymi o optymalnych kosztowo grubościach to około 7 lat.

Efekty środowiskowe tych działań są znaczne. Przykładowo dla budynku z kotłem węglowym po kompleksowej termomodernizacji można uzyskać zmniejszenie emisji CO₂ na poziomie około 100 kg CO₂/m² p.u./rok a pyłów całkowitych na poziomie 1,3 kg /m² p.u./rok. Średnia oszczędność kosztów energii na poziomie cen 2021 to 65 zł/m²/rok.

Grubości ocieplenia styropianem i każdym innym materiałem izolacyjnym o takich samych wartościach współczynnika przewodzenia ciepła λ są identyczne, więc o wyborze termoizolacji mogą decydować takie właściwości jak trwałość eksploatacyjna, ognioodporność, nasiąkliwość, zmiana wartości w zależności od wilgotności, ciężar, koszty zakupu, aspekty zdrowotne.

W przypadku dalszego zwiększania standardów energetycznych pojawi się problem konieczności stosowania dużych grubości popularnych materiałów termoizolacyjnych, co może zmusić projektantów do używania nowych materiałów izolacyjnych, których zastosowanie w chwili obecnej nie jest opłacalne ekonomicznie.

Trend ten może być również bodźcem dla producentów dominujących dziś na rynku wyrobów do termoizolacji, do dalszego rozwoju nowych technologii i dalszej poprawy współczynników przewodzenia ciepła oferowanych produktów.

Zastosowane w pracy metoda LCC jest czuła na zmiany relacji cen materiałów i usług do aktualnych cen nośników, dlatego w przypadku wyboru technologii izolacji cieplnej budynków, analizy LCC należy wykonywać w wstępnej fazie procesu projektowania budynków.

Wniosek generalny:

Wyniki analiz pokazały, że nawet płyty styropianowe są w stanie zapewnić osiągnięcie współczynników przenikania ciepła wymaganych przez standardy energetyczne nieco wyższe (pasywny, zeroenergetyczny itp.) niż standard WT2021 przy zapewnieniu trwałości

i niezawodności parametrów cieplnych przegród.

Budowa (lub modernizacja) budynków w jak najwyższych standardach energetycznych, w długoterminowej perspektywie, jest dla inwestorów (a w konsekwencji dla społeczeństwa i środowiska) rozwiązaniem korzystnym pod każdym względem.

Wpływ wzrostu standardu energetycznego budynków na rynek materiałów izolacyjnych.

W celu określenia wpływu wzrostu standardu energetycznego budynków na rynek materiałów izolacyjnych porównano grubości materiałów budowlanych w przegrodach spełniających wymagania WT 2017 z grubościami materiałów izolacyjnych w przegrodach spełniających wymagania standardu energetycznego WT 2021 i tak w przypadku ocieplenia dachu przy tych samych parametrach materiałowych grubości rosną od 10% do 20%. Natomiast w przypadku ścian zewnętrznych od 20 do 30% w zależności od wartości współczynników przewodności cieplnej. Biorąc pod uwagę fakt, że powierzchnie ocieplenia pozostają takie same to zapotrzebowanie na materiały izolacyjne wzrośnie średnio o około 20% objętościowo. Zmiana standardu z WT 2021 na pasywny w zasadzie powoduje wzrost zapotrzebowania na materiały izolacyjne o około 10% do 15% objętościowo. Natomiast największy wzrost będzie dotyczył podłogi na gruncie około 50%.



Krajowa Agencja
Poszanowania
Energii S.A.



Polskie Stowarzyszenie
Producentów Styropianu

Warszawa, styczeń 2023