

Zintegrowany z budynkiem system trójgeneracyjny - ocena efektywności energetycznej z uwzględnieniem pełnego cyklu życia

Ewelina Marzec¹
Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, budynek mieszkalny wielorodzinny, system trójgeneracyjny, ocena cyklu życia, oddziaływanie środowiskowe

Streszczenie

Niniejszy artykuł dotyczy efektywności energetycznej klimatyzowanego budynku wielorodzinnego oraz wpływu, jaki wywiera on na środowisko w całym cyklu życia. Do określenia efektywności energetycznej rozpatrywanego budynku, wykorzystano dedykowany program Audytor OZC 6.8 Pro. We wspomnianym programie wykonano analizę energetyczną obiektu, na podstawie, której wskazano źródła największych strat ciepła oraz zaproponowano działania mające na celu obniżenie energochłonności budynku. Dodatkowo w artykule przedstawiono możliwości, jakie daje wbudowane do programu Audytor OZC 6.8 Pro narzędzie świadectw charakterystyki energetycznej. Wykorzystując świadectwa charakterystyki energetycznej porównano bowiem dwa systemy techniczne – system trójgeneracyjny (zwany również skojarzonym) i rozdzielony, gdzie wszystkie wymagane produkty są wytwarzane w osobnych urządzeniach. Na podstawie otrzymanych wyników wykazano wpływ wytwarzania energii za pośrednictwem trójgeneracji oraz gospodarki rozdzielonej na wielkości wskaźników charakterystyki energetycznej budynku tj. 1) wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową (EU), 2) wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową (EK), 3) wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP), 4) jednostkowa wielkość emisji dwutlenku węgla (E_{CO_2}). Uwzględniono również ocenę pełnego cyklu życia analizowanego budynku wykonując model i obliczenia w programie SimaPro. W artykule zaproponowano zastosowanie analizy LCA wzbogaconej o wskaźniki energetyczne, jako metody wspomagającej wybór najlepszych rozwiązań budowlanych, przyjaznych dla człowieka oraz bezpiecznych dla środowiska naturalnego.

¹ Rozdział przygotowano podczas pracy nad projektem dyplomowym magisterskim wykonywanym przez autora w Instytucie Techniki Ciepłej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej, pod opieką dr inż. Lucyny Czarnowskiej.

1 Wprowadzenie

W dobie poszanowania środowiska naturalnego i racjonalnego wykorzystania energii coraz większą uwagę poświęca się zrównoważonemu budownictwu. Zrównoważone budownictwo podobnie jak budownictwo tradycyjne łączy elementy tj. ekonomia, użyteczność, trwałość oraz wygoda, jednak ponadto uwzględnia aspekty ekologiczne. Priorytetowym celem zrównoważonego budownictwa jest więc ograniczenie negatywnego wpływu budynków na środowisko naturalne oraz ludzkie zdrowie. Nie bez znaczenia jest także efektywne wykorzystanie energii, wody i innych surowców naturalnych, ograniczenie ilości wytwarzanych odpadów jak również ich zagospodarowanie lub utylizacja.

Zrównoważony projekt wpływa na poprawę samopoczucia użytkowników oraz komfort użytkowania budynku. Dzieje się tak, dzięki tworzeniu harmonijnych przestrzeni, dostępności światła dziennego, zastosowaniu trwałych materiałów nieemitujących substancji szkodliwych, wykorzystaniu inteligentnych technologii i wysokosprawnych systemów technicznych (w tym systemów klimatyzacji), stosowaniu odnawialnych źródeł energii, zapewnieniu komunikacji zbiorowej i rowerowej, jak również dzięki obecności terenów zielonych zapewniających przestrzeń wspólną i rekreacyjną.

Zrównoważone podejście powinno być stosowane nie tylko w przypadku nowopowstających budynków, lecz także do modernizacji obiektów już istniejących. Tym samym podejście do zrównoważonego budownictwa powinno mieć swój początek już w fazie projektowania, poprzez wykonawstwo budynków, aż po ich renowację oraz rozbiórkę. Oznacza to, że podejście zrównoważone obejmuje cały cykl życia budynku.

Rynek zrównoważonego budownictwa w Polsce znajduje się aktualnie w fazie rozkwitu. Dowodem tego jest nie tylko dynamiczny wzrost liczby nowoczesnych budynków poddawanych certyfikacji, ale również głęboka świadomość społeczeństwa dotycząca korzyści płynących z użytkowania budynków efektywnych energetycznie. Choć certyfikowanie budynków jest nadal domeną sektora biurowego, to 25-procentowy przyrost udziału certyfikowanych budynków sektora mieszkaniowego, jaki dokonał się w 2017 roku w ogóle rynku certyfikowanych budynków napawa optymizmem i wskazuje kierunek przyszłych zmian [1].

Wzrost zainteresowania budynkami certyfikowanymi to trend globalny, a popularność certyfikowanych inwestycji mieszkaniowych wynika ze społecznej świadomości wpływu sektora budownictwa na środowisko naturalne. Według szacunków Komisji Europejskiej rynek budowlany jest odpowiedzialny za ponad 40% końcowego zużycia energii, znaczne zużycie nieodnawialnych surowców oraz emisji około 35% wszystkich gazów cieplarnianych. Zmiany klimatu wywołane efektem cieplarnianym w znaczącym stopniu utrudniają ludzkie życie powodując m.in. konieczność klimatyzowania pomieszczeń, co z kolei prowadzi do zwiększenia zużycia energii elektrycznej oraz zwiększenia emisji gazów cieplarnianych. Rozwiązaniem tego problemu wydaje się być system trójgeneracyjny zintegrowany z budynkiem. System trójgeneracyjny pozwala na skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu przy równoczesnej oszczędności energii pierwotnej – co jest szczególnie ważne w przypadku poprawy efektywności energetycznej. Ponadto stosowanie systemów trójgeneracyjnych zintegrowanych z budynkami pozwala na rozwój energetyki rozproszonej i zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju.

2 Efektywność energetyczna

Strategicznym celem polityki energetycznej i ekologicznej Polski jest poprawa efektywności energetycznej [2]. Wzrost efektywności energetycznej pozwala na zmniejszenie zużycia energii pierwotnej, co bezpośrednio przekłada się na ograniczenie emisji substancji szkodliwych do otoczenia, poprawę jakości środowiska naturalnego, jak również, jakości ludzkiego życia. Ze względu na wysoką energochłonność sektora komunalno-bytowego szczególną uwagę zwraca się na poprawę kierunku poprawy efektywności energetycznej budynków. Chociaż z powodzeniem wdrożono już wiele środków mających na celu zmniejszenie zużycia energii (termomodernizacja budynków, jasno określone wymagania techniczne dotyczące minimalnej izolacyjności przegród budowlanych, dofinansowania do budownictwa pasywnego i niskoenergetycznego, obowiązek posiadania świadectw charakterystyki energetycznej, zachęcanie do stosowania wysokosprawnych systemów grzewczych i odnawialnych źródeł energii, jak również inwestowania w energooszczędne oświetlenie oraz sprzęt wysokiej klasy energetycznej) redukcja ta została częściowo zrekompensowana przez zwiększony udział jednostek klimatyzacyjnych w bilansie energetycznym budynków. Jednostki klimatyzacyjne charakteryzują się niejednokrotnie wysoką energochłonnością oraz niską wydajnością. W czasach rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną, ciepło, ale również chłód, ciekawą alternatywą dla standardowych jednostek klimatyzacyjnych stanowią systemy trójgeneracyjne.

2.1 Trójgeneracja jako sposób poprawy efektywności energetycznej

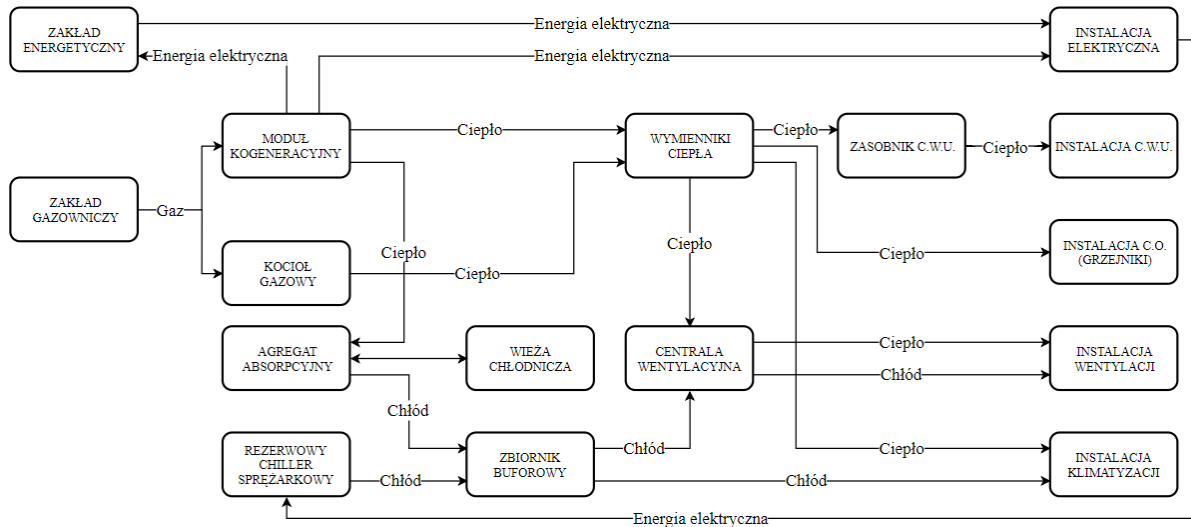
Trójgeneracja nazywana także następcą kogeneracji to technologia, w skład której wchodzi moduł kogeneracyjny sprzężony z agregatem absorpcyjnym. Działanie systemu trójgeneracyjnego podobnie jak działanie kogeneracji polega na generacji energii elektrycznej oraz efektywnym wykorzystaniu ciepła odpadowego powstającego w wyniku spalania paliwa jak również pochodzącego z układu chłodzenia silnika, z tą różnicą, że trójgeneracja oprócz produkcji energii elektrycznej i ciepła pozwala także na produkcję chłodu. Trójgeneracja znajduje zastosowanie w obiektach, w których występuje równoczesne zapotrzebowanie na energię elektryczną, ciepło i chłód. Przykładami takich obiektów są klimatyzowane osiedla mieszkalne, hotele, szpitale, budynki biurowe.

Dzięki zastosowaniu chłodziarki absorpcyjnej technologia ta charakteryzuje się mniejszymi w porównaniu do kogeneracji stratami. Ciepło w lecie nie stanowi bowiem odpadu, lecz jest wykorzystywane do zasilania agregatu absorpcyjnego, którego podstawowym zadaniem jest produkcja tzw. wody lodowej (zimna woda o temperaturze rzędu 7-13°C). Wyprodukowany czynnik chłodniczy jest następnie kierowany do systemu klimatyzacyjnego utrzymującego odpowiedni komfort cieplny wewnątrz budynku. Zastosowanie systemu trójgeneracyjnego nie wyklucza użycia konwencjonalnych źródeł energii, dzięki temu istnieje możliwość współpracy oby systemów i awaryjnego uzupełniania niedoborów energii.

Podczas pracy systemu trójgeneracyjnego wytwarzania jest energia elektryczna umożliwiająca pokrycie zapotrzebowania energetycznego budynku. Ciepło odzyskiwane ze strumienia gazów wylotowych oraz z bloku silnika służy do zasilania sieci centralnego ogrzewania oraz wykorzystywane jest w procesie przygotowania ciepłej wody użytkowej. Zaletą systemu trójgeneracyjnego jest możliwość dostosowywania wykorzystania ciepła

odpadowego do indywidualnych potrzeb. Dlatego też w okresie lata system trigeneracyjny może działać, jako wydajne źródło chłodu zasilające urządzenia klimatyzacyjne.

Schemat układu trójgeneracyjnego zintegrowanego z budynkiem przedstawia Rysunek 1 [3].

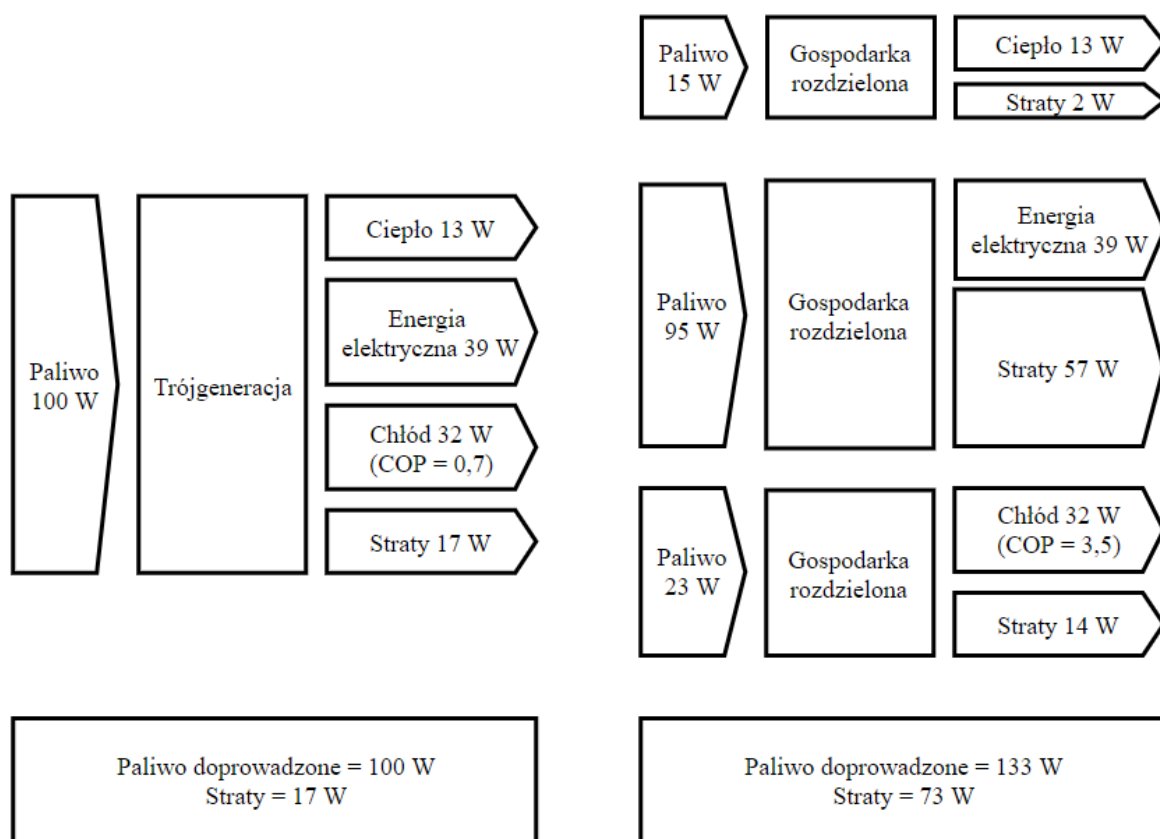


Rysunek 1: Przykład wdrożenia instalacji trójgeneracyjnej w budynku biurowym

System trigeneracyjny może pracować w dwóch układach: jednosystemowym oraz dwusystemowym. W przypadku układu jednosystemowego istnieje możliwość całkowitego uniezależnienia się od zewnętrznych źródeł energii. Obniża to koszty eksploatacyjne budynku oraz niewątpliwie wpływa korzystnie na stan środowiska naturalnego. Układ dwusystemowy podłączany jest zwykle do istniejącego już obiegu grzewczego i wody lodowej. Podstawowe obciążenie zapewniane jest dzięki systemowi trójgeneracyjnemu, jednak w momencie wyższego zapotrzebowania energetycznego budynku niedobór energii pokrywany jest z sieci energetycznej (konwencjonalnych obiegów). Oznacza to możliwość korzystania z sieciowej energii elektrycznej oraz sieciowej ciepłej wody użytkowej. W przypadku niewystarczającej ilości ciepłej wody do zasilenia absorpcyjnego agregatu wody lodowej, w takim układzie, rozwiązaniem staje się zwiększenie poboru energii elektrycznej z sieci wykorzystanej do zasilenia klasycznych klimatyzatorów. W sytuacji, kiedy system generuje nadwyżkę energii można ją sprzedać do zakładu energetycznego, co stwarza dodatkowy przychód.

W stosunku do rozdzielonego wytwarzania ciepła, energii elektrycznej i chłodu stosowanie układów trójgeneracyjnych w budynkach pociąga za sobą wiele wymiernych korzyści. Przede wszystkim systemy skojarzone charakteryzują się oszczędnością energii pierwotnej i ograniczeniem emisji substancji szkodliwych do atmosfery, co równoznaczne jest z poprawą jakości powietrza oraz przeciwdziałaniem zmianom klimatu. Energia produkowana za pomocą technologii trójgeneracyjnej pochodzi głównie z procesu spalania gazu ziemnego lub biomasy, a więc paliw ekologicznych i przyjaznych dla środowiska. Integrując system trójgeneracyjny z budynkiem poprawiamy bezpieczeństwo energetyczne, zmniejszamy straty przesyłowe, zwiększamy niezawodność zasilania oraz co najważniejsze, poprzez rozwój energetyki rozproszonej, stwarzamy możliwość łatwego i taniego zbilansowania sieci w okresie największych obciążeń.

Trójgeneracja to skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu. Dzięki produkcji w skojarzeniu, a więc w jednym procesie technologicznym kilku nośników energii system trójgeneracyjny osiąga wyższą sprawność energetyczną oraz większą oszczędność energii pierwotnej (Rysunek 2) [4]. Jest to korzystne nie tylko ze względów ekologicznych, ale również ze względów ekonomicznych. Mimo większego niż w przypadku układu rozdzielonego początkowego nakładu finansowego, niższe zużycie energii pierwotnej, mniejsze straty, jak również wyższa sprawność wytwarzania przyczyniają się do opłacalności systemu trójgeneracyjnego. Ponadto dzięki produkcji chłodu w podłączonym do układu kogeneracji agregacie absorpcyjnym, istnieje możliwość zwiększenia godzin pracy systemu, bez obawy o brak odbioru ciepła szczególnie w okresach letnich.



Rysunek 2: Porównanie systemów produkcji ciepła, energii elektrycznej i chłodu

Do oceny efektywności energetycznej w układach skojarzonych stosowane są następujące wskaźniki: sprawność wytwarzania energii elektrycznej, sprawność wytwarzania ciepła, sprawność całkowita układu zwana także wskaźnikiem wykorzystania energii chemicznej paliwa oraz wskaźnik skojarzenia.

Chwilowa sprawność wytwarzania energii elektrycznej (1) w układzie trójgeneracyjnym definiuje się następująco:

$$\eta_{el} = \frac{N_{el}}{\dot{E}_{ch}} \quad (1)$$

Gdzie: N_{el} – moc elektryczna uzyskiwana z układu, W; \dot{E}_{ch} – strumień energii chemicznej paliwa doprowadzony do układu skojarzonego, W

Do wyznaczenia chwilowej sprawności wytwarzania ciepła (2) w układzie trójgeneracyjnym stosuje się wzór:

$$\eta_q = \frac{\dot{Q}_g + \dot{Q}_{ch}}{\dot{E}_{ch}} \quad (2)$$

Gdzie: \dot{Q}_g – strumień ciepła grzejnego uzyskiwany z układu, W; \dot{Q}_{ch} – strumień ciepła przekazywanego do agregatu absorpcyjnego, W

Jednym z ważniejszych wskaźników określających efektywność konwersji energii chemicznej paliwa jest sprawność całkowita (3). Wielkość ta w literaturze określana jest także wskaźnikiem wykorzystania energii chemicznej i oznaczana jako EUF (ang. Energy Utilization Factor).

$$EUF = \eta_c = \frac{N_{el} + \dot{Q}_g + \dot{Q}_{ch}}{\dot{E}_{ch}} \quad (3)$$

Stosunek wytwarzanej w układzie skojarzonym energii elektrycznej do mocy cieplnej układu wyraża wskaźnik skojarzenia (4) który wyznaczany jest ze wzoru:

$$\sigma = \frac{N_{el}}{\dot{Q}_g + \dot{Q}_{ch}} \quad (4)$$

Względna oszczędność energii chemicznej paliwa dzięki produkcji w skojarzeniu (5) nazywana wskaźnikiem PES (ang. Primary Energy Saving) wyrażana jest wzorem:

$$PES = \frac{-\Delta\dot{E}_{ch}}{\dot{E}_{ch,R}} \quad (5)$$

Gdzie: $-\Delta\dot{E}_{ch}$ – oszczędność energii chemicznej paliwa, W; $\dot{E}_{ch,R}$ – strumień energii chemicznej paliwa doprowadzony do układu rozdzielonego, W

Na podstawie danych zawartych na Rysunku 1 oraz wzorów (1) - (5) dokonano oceny efektywności energetycznej układu trójgeneracyjnego. Wyniki zestawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Ocena efektywności energetycznej układu trójgeneracyjnego

Wskaźnik	Wartość
η_{el}	0,39
η_q	0,45
EUF	0,84
PES	0,25
σ	0,87

Produkcja ciepła i elektryczności w skojarzeniu powinna przynosić oszczędność energii chemicznej paliw w wysokości, co najmniej 10% w porównaniu z odpowiednimi wartościami dla rozdzielonej produkcji ciepła i elektryczności. Wskaźnik względnej oszczędności energii chemicznej paliwa na poziomie $\geq 10\%$ dla jednostek kogeneracyjnych oraz $>0\%$ dla małej

i mikro-kogeneracji upoważnia do miana wysokosprawnej kogeneracji. Na podstawie analizy otrzymanych wyników słuszne więc było nazwanie trójgeneracji technologią wysokosprawną.

Dodatkowo wykonano analizę systemu trójgeneracyjnego zgodnie z metodą unikniętych nakładów paliwowych. Metoda ta opiera się na założeniu, że produkcję elektryczności w trójgeneracji należy obciążyć takim samym zużyciem paliwa jak w granicznej elektrowni systemowej do wyprodukowania takiej samej ilości elektryczności. Ilość paliwa obciążająca ciepło uzyskuje się wtedy z pomniejszenia całkowitego zużycia paliwa w trójgeneracji o zużycie w zastępowanej elektrowni granicznej. Pod pojęciem elektrowni granicznej rozumiana jest elektrownia, w której następuje zmniejszenie produkcji elektryczności na skutek wprowadzenia do systemu elektroenergetycznego elektryczności z trójgeneracji [5].

Sprawność cząstkową brutto wytwarzania energii elektrycznej w systemie trójgeneracyjnym (6) wyznaczano zgodnie z [6]:

$$\eta_{E\text{el sk B}} = \eta_{E\text{ek N}} \frac{\eta'_{tp}}{(1 - \varepsilon_{el})\eta_{tp}} \quad (6)$$

Gdzie: $\eta_{E\text{ek N}}$ – sprawność energetyczna netto wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni systemowej, -; η_{tp}, η'_{tp} – sprawność transformacji i przesyłania energii elektrycznej w trójgeneracji i elektrowni systemowej do systemu elektroenergetycznego, -; ε_{el} – wskaźnik potrzeb własnych na energię elektryczną, -

Sprawność cząstkowa brutto wytwarzania ciepła w trójgeneracji (7) wynika z relacji:

$$\eta_{E\text{c sk B}} = \frac{\eta_{E\text{sk B}}}{1 - \frac{N_{el\text{sk B}}}{\dot{Q}_{WC}} \left[\frac{\eta_{E\text{sk B}} \cdot \eta_{tp} (1 - \varepsilon_{el})}{\eta_{E\text{ek N}} \cdot \eta'_{tp}} - 1 \right]} \quad (7)$$

Gdzie: $\eta_{E\text{sk B}}$ – sprawność energetyczna brutto trójgeneracji, -; $N_{el\text{sk B}}$ – moc elektryczna brutto wytworzona w trójgeneracji, W; \dot{Q}_{WC} – strumień ciepła przekazywanego w wymienniku ciepłowniczym, W

W metodzie unikniętych nakładów istotne jest przyjęcie odpowiednich parametrów energetycznych. Na potrzeby niniejszej analizy przyjęto sprawność netto generacji energii elektrycznej w zastępowanej elektrowni systemowej na poziomie 45%, sprawność energetyczną brutto trójgeneracji na poziomie 94%, z kolei sprawność transformacji i przesyłania energii elektrycznej przyjęto odpowiednio, jako 98% dla trójgeneracji oraz 95% dla elektrowni granicznej, wskaźnik potrzeb własnych na energię elektryczną przyjęto 3,6%. Ponadto zgodnie z [6] przyjęto moc elektryczną 5,5 kW_e oraz cieplną 13,5 kW_t.

Analiza systemu trójgeneracyjnego według metody unikniętych nakładów paliwowych pozwoliła na otrzymanie sprawności cząstkowej brutto wytwarzania energii elektrycznej w trójgeneracji na poziomie 45% oraz sprawności cząstkowej brutto wytwarzania ciepła w trójgeneracji na poziomie 167%.

2.2 Certyfikacja energetyczna - narzędzie do badania energochłonności budynków

Nowelizacja prawa budowlanego nakłada obowiązek posiadania świadectwa charakterystyki energetycznej na każdy nowobudowany, sprzedawany lub wynajmowany budynek. Świadectwo charakterystyki energetycznej jest dokumentem zawierającym podstawowe informacje na temat, jakości energetycznej budynku. Informacje te ujęte są w formie wskaźników energochłonności, tj. wskaźnik energii użytkowej (EU), wskaźnik energii końcowej (EK) oraz wskaźnik energii pierwotnej (EP).

Wskaźnik energii użytkowej EU jest bezpośrednio związany z konstrukcją budynku, uwzględnia straty wynikające z przenikania przez przegrody i stanowi o efektywności energetycznej budynku. Określa on roczną ilość energii niezbędnej do bezpośredniego zrealizowania określonych celów tj. ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja i przygotowanie ciepłej wody użytkowej bez uwzględnienia strat w systemach technicznych. Im mniejsza wartość EU, tym mniejsze straty ciepła do otoczenia, co za tym idzie mniejsze zapotrzebowanie na energię. Wartość współczynnika EU pozwala dopasować budynek do odpowiedniej kategorii (budynek pasywny, energooszczędny, niskoenergetyczny, budynek poza klasyfikacją energooszczędności). Jest to także parametr stanowiący o przyznaniu dofinansowania do budowy domu pasywnego i energooszczędnego przez NFOŚiGW (Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej).

Wskaźnik energii końcowej EK wyrażany jest w kWh/(m²rok). Odpowiada on rocznemu zapotrzebowaniu na energię, jaka powinna zostać dostarczona do budynku by zapewnić odpowiedni poziom temperatur wewnątrz pomieszczeń oraz spełnić wymagania wentylacji i zapotrzebowania energetycznego na potrzeby c.w.u. Wskaźnik EK uwzględnia straty przesyłowe w systemie ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody. Na jego podstawie możliwe jest określenie sprawności systemu ogrzewania i c.w.u. – jeśli wartość wskaźnika EK jest niewiele większa lub mniejsza od wskaźnika EU, oznacza to, że w budynku występują wysoko sprawne systemy ogrzewania i przygotowania wody użytkowej, gdy wartość wskaźnika EK jest większa od wskaźnika EU świadczy to o niskiej sprawności poszczególnych systemów. Jeżeli współczynnik EK jest niższy od zapotrzebowania na energię użytkową budynek wyposażony jest w systemy bazujące na odnawialnych źródłach energii pokrywających w częściowy sposób zapotrzebowanie energetyczne. Współczynnik energii końcowej odnosi się do energii kupowanej przez użytkownika. Po uwzględnieniu rodzaju paliwa oraz jego wartości i opałowej, wartość współczynnika EK można wykorzystać do oszacowania kosztów ogrzewania obiektu. Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową EK oblicza się korzystając z równania (8):

$$EK = \frac{Q_{K,H} + Q_{K,W}}{A_f} \quad (8)$$

Gdzie: $Q_{K,H}$ - roczne zapotrzebowanie na energię końcową przez system grzewczy i wentylacyjny do ogrzewania i wentylacji, kWh/rok; $Q_{K,W}$ - roczne zapotrzebowanie na energię końcową przez system do podgrzania ciepłej wody, kWh/rok; A_f - ogrzewana powierzchnia o regulowanej temperaturze, m²

Współczynnik energii pierwotnej EP odnosi się do 1 m² powierzchni użytkowej i podobnie jak wskaźnik energii końcowej wyraża się w kWh/(m²rok) Jednakże w odróżnieniu od

poprzedniego współczynnika określa on roczne zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni o regulowanej temperaturze powietrza w budynku. Zaspokojenie potrzeb na energię nieodnawialną dotyczy energii koniecznej do ogrzania, chłodzenie, wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej, jak również oświetlenia (w przypadku budynków użyteczności publicznej). Małe wartości wskaźnika świadczą o nieznacznym zapotrzebowaniu na nieodnawialną energię pierwotną, co za tym idzie odpowiednim sposobie użytkowania energii, chroniącym zasoby surowcowe oraz środowisko naturalne. Duża wartość EP świadczy o energochłonności budynku, niską sprawnością instalacji lub wykorzystywaniu nieodnawialnego źródła energii np. energii elektrycznej pochodzącej ze spalania paliw kopalnianych. Wartość wskaźnika EP jest wartością podstawową na świadectwie charakterystyki energetycznej przedstawianą w formie liczbowej, jak również w formie graficznej tzw. suwak. Sama wartość współczynnika energii pierwotnej nie odzwierciedla kosztów związanych z eksploatacją budynków, nie informuje też, o jakości budynku – jego energochłonności. Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną EP wyznaczyć można korzystając ze wzoru (9) lub (10):

$$EP = \frac{Q_P}{A_f} \quad (9)$$

Gdzie: Q_P - roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną, kWh/rok

$$EP = EK \cdot w_i + E_{pom} \cdot w_i \quad (10)$$

Gdzie: EK - ilość energii końcowej, kWh/(m²rok); E_{pom} - energia urządzeń pomocniczych (pomp, sterowników, siłowników), kWh/(m²rok); w_i - współczynniki nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii lub energii do budynku, -

Podsumowując, energia użytkowa EU określa ilość energii, jaką budynek potrzebuje do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody. EU świadczy o izolacyjności budynku, wielkości strat ciepła przez przegrody, dodatkowo pozwala na klasyfikację budynku i jest parametrem rozstrzygającym o przyznaniu dofinansowania przez NFOŚiGW. Energia końcowa EK określa ilość energii niezbędnej do ogrzewania i przygotowania c.w.u. po uwzględnieniu sprawności systemów technicznych. Określa ona zużycie energii netto, dzięki czemu możliwe jest wyliczenie kosztów poboru energii. Z kolei energia pierwotna EP określa zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną zużywaną na cele grzewcze, chłodnicze, wentylacyjne oraz przygotowania wody użytkowej. Wskaźnik ten uwzględnia rodzaj źródła ciepła, jednak nie odzwierciedla kosztów związanych z eksploatacją budynku. EP określa zużycie energii brutto, włącznie ze stratami na etapie produkcji i przesyłu energii.

3 Ocena efektywności energetycznej budynku wielorodzinnego zintegrowanego z systemem trójgeneracyjnym

W celu oceny efektywności energetycznej systemu trójgeneracyjnego, wykonano dwa modele budynku mieszkalnego wielorodzinnego różniące się systemami technicznymi zaopatrującymi budynek w energię elektryczną, ciepło i chłód. Pierwszy model stanowi odwzorowanie gospodarki rozdzielonej, w której to każdy nośnik energii pochodzi z odrębnego procesu technologicznego (energia elektryczna z elektrowni, ciepło z ciepłowni, chłód z systemu

klimatyzacji zasilanego energią elektryczną). Natomiast długi model stanowi odwzorowanie systemu trójgeneracyjnego. W modelu tym energia elektryczna oraz ciepło produkowane są w procesie skojarzonym, z kolei chłód pochodzi z jednostek klimatyzacyjnych zasilanych wodą lodową z agregatu absorpcyjnego.

3.1 Przedmiot analizy i podstawowe założenia

Przedmiotem analizy był budynek mieszkalny wielorodzinny zamodelowany w programie Audytor OZC 6.8 na wzór budynku C z Osiedla Aroniowa powstałego w 2017 r. w Łodzi [8]. Budynek ten charakteryzuje się prostą, nowoczesną architekturą oraz funkcjonalnymi mieszkaniami składającymi się w większości przypadków z pokoju dziennego z aneksem kuchennym, przedpokoju, sypialni, łazienki i balkonu, poza tym budynek posiada również pomieszczenia gospodarcze oraz garaże. Jest to obiekt trójkondygnacyjny, dwuklatkowy o łącznej liczbie mieszkań wynoszącej 19. Ze względu na brak dokładnego planu budynku oraz informacji na temat przegród model wykonany w Audytorze OZC 6.8 różni się nieznacznie od rzeczywistego obiektu (Rysunek 3).



Rysunek 3: Symulacja oraz model graficzny budynku wielorodzinnego

Zgodnie z założeniami projektowymi analizowany budynek leży w III strefie klimatycznej o średniej rocznej temperaturze zewnętrznej wynoszącej $7,6^{\circ}\text{C}$. Jest to nowopowstały tradycyjny budynek mieszkalny wielorodzinny o konstrukcji bardzo ciężkiej, średnim stopniu szczelności i średniej klasie osłonięcia. Kubatura budynku wynosi 4548 m^3 w tym 95% powierzchni użytkowej stanowi powierzchnię mieszkalną. Temperatury wewnętrzne w budynku w zależności od stref ogrzewanych wynoszą 20°C dla pokoi, kuchni, holu, 25°C dla łazienki i 12°C dla garażu i pomieszczenia pomocniczego. Konstrukcja budynku została dobrana w taki sposób, aby warunki techniczne z roku 2017 zostały spełnione. Budynek wyposażony został w instalację ogrzewania (ogrzewanie konwencjonalne) oraz instalację chłodzenia (chłodzenie indywidualne). W przypadku wentylacji w budynku zastosowano system wentylacji naturalnej za wyjątkiem garaży, w których to zastosowano wentylację mechaniczną w postaci wentylatorów miejscowych.

Świadectwa Charakterystyki Energetycznej wyznaczono metodą obliczeniową zgodnie z metodyką z 2015 r., dla dwóch przypadków. Przypadki różniły się między sobą technologią zastosowaną do ogrzewania, przygotowania ciepłej wody i chłodzenia. Porównanie systemów technicznych oraz nośników energii zestawiono poniżej.

Wariant 1 – system rozdzielony

System ogrzewania

- Nośnik energii końcowej – ciepło z ciepłowni węglowej
- Rodzaj źródła ciepła – węzeł cieplny kompaktowy z obudową do 100 kW o sprawności wytwarzania ciepła w źródle $\eta_{H,g} = 0,98$
- Lokalizacja źródła ciepła – ogrzewanie centralne wody z lokalnego źródła ciepła usytuowanego w ogrzewanym budynku z zaizolowanymi przewodami, armaturą i urządzeniami w pomieszczeniach ogrzewanych o sprawności przesyłu ciepła $\eta_{H,d} = 0,96$
- Rodzaj instalacji – ogrzewanie wodne, grzejniki członowe/płytowe z regulacją centralną i miejscową z zaworem termostatycznym o działaniu PI o sprawności działania i regulacji ciepła $\eta_{H,e} = 0,93$

System chłodzenia

- Nośnik energii końcowej – energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej systemowej z produkcji konwencjonalnej
- Rodzaj źródła chłodu i systemu chłodzenia – system multisplit ze zmiennym przepływem czynnika (VRV, VRF) o średnim współczynniku efektywności energetycznej wytworzenia chłodu ESEER = 4,10
- Rodzaj systemu rozdziału – chłodzenie bezpośrednie zdecentralizowane system VRV i VRF o sprawności transporty energii chłodniczej $\eta_{C,d} = 0,95$
- Rodzaj instalacji i jej wyposażenie – inna o sprawności regulacji i wykorzystania chłodu $\eta_{C,e} = 0,95$

System przygotowania c.w.u.

- Nośnik energii końcowej – energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej systemowej z produkcji konwencjonalnej
- Rodzaj źródła ciepła – elektryczny podgrzewacz przepływowy o sprawności wytwarzania ciepła w źródle $\eta_{W,g} = 0,99$
- Lokalizacja źródła ciepła i rodzaj instalacji – miejscowe przygotowanie bezpośrednio przy punktach poboru bez obiegów cyrkulacyjnych o sprawności przesyłu ciepła $\eta_{W,d} = 1$

System energii elektrycznej

- Nośnik energii końcowej - energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej systemowej z produkcji konwencjonalnej

Wariant 2 – system trójgeneracyjny

System ogrzewania

- Nośnik energii końcowej – ciepło sieciowe z kogeneracji
- Rodzaj źródła ciepła – inne o sprawności wytwarzania ciepła w źródle $\eta_{H,g} = 3,20$
- Lokalizacja źródła ciepła – ogrzewanie centralne wody z lokalnego źródła ciepła usytuowanego w ogrzewanym budynku z zaizolowanymi przewodami, armaturą i urządzeniami w pomieszczeniach ogrzewanych o sprawności przesyłu ciepła $\eta_{H,d} = 0,96$
- Rodzaj instalacji – ogrzewanie wodne, grzejniki członowe/płytowe z regulacją centralną i miejscową z zaworem termostatycznym o działaniu PI o sprawności działania i regulacji ciepła $\eta_{H,e} = 0,93$

System chłodzenia

- Nośnik energii końcowej – ciepło sieciowe z kogeneracji
- Rodzaj źródła chłodu i systemu chłodzenia – agregat absorpcyjny o średnim współczynniku efektywności energetycznej wytworzenia chłodu ESEER = 4,10
- Rodzaj systemu rozdziału – chłodzenie bezpośrednie zdecentralizowane system VRV i VRF o sprawności transporty energii chłodniczej $\eta_{C,d} = 0,95$
- Rodzaj instalacji i jej wyposażenie – instalacja wody lodowej z zaworami typu PIBCV przy odbiornikach oraz z elektronicznie sterowaną pompą (regulacja ciągła) o sprawności regulacji i wykorzystania chłodu $\eta_{C,e} = 0,98$

System przygotowania c.w.u.

- Nośnik energii końcowej – ciepło sieciowe z kogeneracji
- Rodzaj źródła ciepła – inny o sprawności wytwarzania ciepła w źródle $\eta_{W,g} = 2,33$
- Lokalizacja źródła ciepła i rodzaj instalacji – inna o sprawności przesyłu ciepła $\eta_{W,d} = 0,7$

System energii elektrycznej

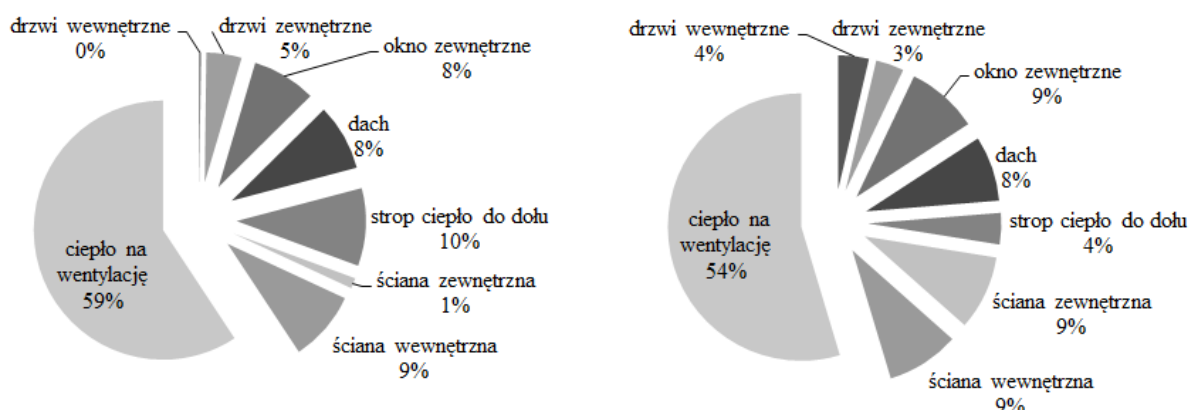
- Nośnik energii końcowej - energia elektryczna z sieci elektroenergetycznej systemowej z produkcji kogeneracyjnej

3.2 Wyniki analizy energetycznej

Analiza energetyczna stanowi podstawowe źródło wiedzy o stanie energetycznym budynku. Na etapie projektowania pozwala ona na wyodrębnienie energochłonnych punktów oraz dokonanie niezbędnych korekt w projekcie przed przystąpieniem do jego realizacji. W przypadku obiektów już istniejących przeprowadzenie analizy energetycznej umożliwia wykonanie obiektywnej oceny zasadności prac modernizacyjnych i wskazanie najlepszego rozwiązania zarówno pod względem kosztów realizacji, jak również oszczędności energii.

W przypadku analizowanego budynku wielorodzinnego analiza energetyczna służyła ocenie wielkości sezonowego zapotrzebowania na energię oraz wpływu poszczególnych elementów bilansu energii na wielkość końcowego obciążenia cieplnego. Analizę energetyczną przeprowadzono w programie Audytor OZC 6.8.

Zgodnie z obliczeniami projektowe obciążenie cieplne analizowanego budynku wynosiło 51 155 W. Składało się ono ze straty ciepła przez przenikanie oraz projektowej wentylacyjnej straty ciepła. Szczegółowe zestawienie poszczególnych strat ciepła przedstawiono na Rysunku 4. Analizując wykresy można zauważyć, że największy wpływ w całkowitym bilansie strat ma strata wentylacyjna. W analizowanym budynku zastosowana została wentylacja naturalna, stosując inny rodzaj wentylacji np. wentylacje nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła możliwe stałoby się obniżenie wartości tej straty. Analizując pozostałe wyniki można wysunąć wniosek, że strata ciepła lub chłodu silnie zależy nie tylko od współczynnika przenikania ciepła, ale także od powierzchni przegrody.

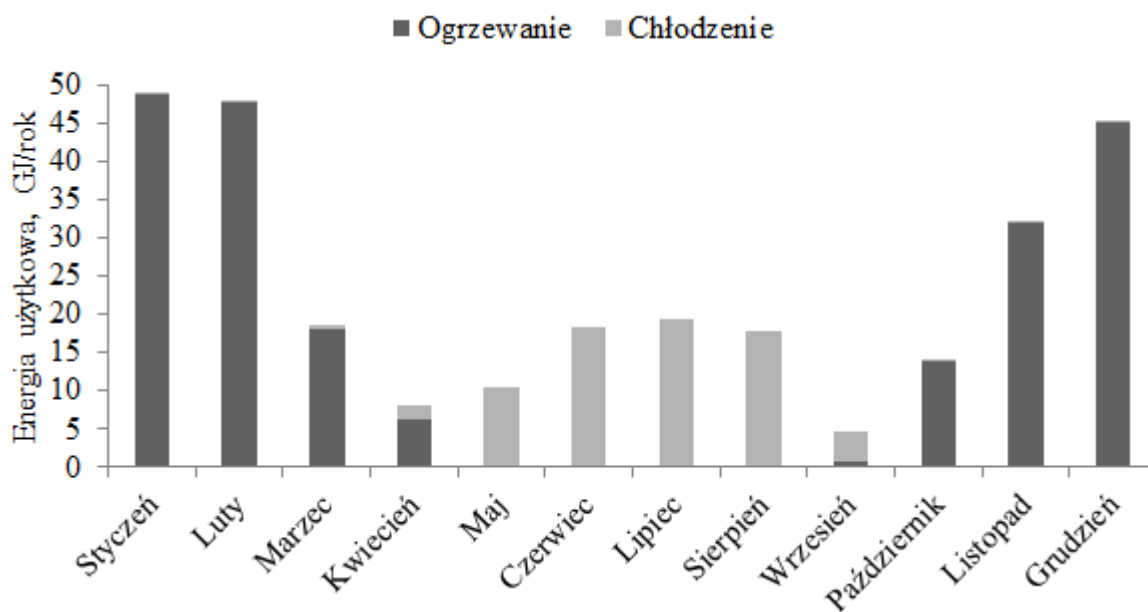


Rysunek 4: Wykresy zestawiające straty ciepła (po lewej) oraz chłodu (po prawej)

Łączne zapotrzebowanie na energię użytkową na ogrzewanie i chłodzenie z uwzględnieniem zysków ciepła oraz sprawności ich wykorzystania zestawiono w Tabeli 2 oraz na Rysunku 5.

Tabela 2. Wyniki obliczeń sezonowego zapotrzebowania na energię wg PN-EN ISO 13790

Sezonowe zapotrzebowanie na energię		
	na ogrzewanie	na chłodzenie
GJ/rok	212	72
kWh/rok	59 042	20 159

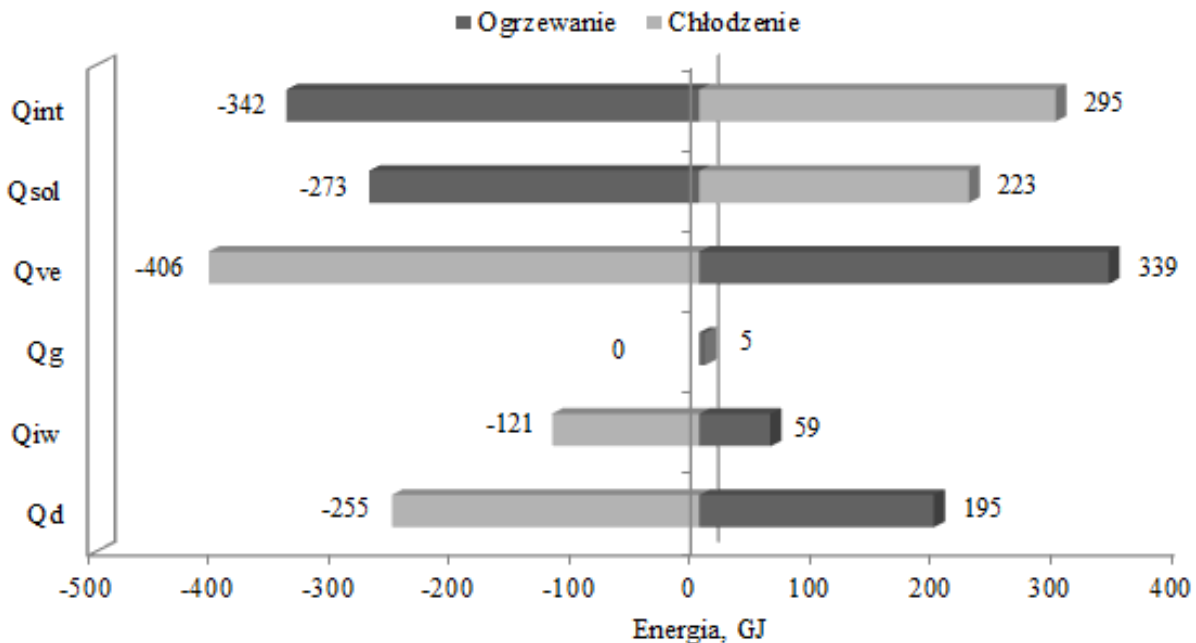


Rysunek 5: Miesięczne zapotrzebowanie na energię użytkową na ogrzewanie/chłodzenie

Analizując wykres zależności energii użytkowej od czasu widoczne jest ciągłe zapotrzebowanie na energię użytkową. Zapotrzebowanie to w zależności od pory roku dotyczy ogrzewania lub chłodzenia. W miesiącach październik - kwiecień występuje

zapotrzebowanie na energię użytkową na ogrzewanie, z kolei od maja do września występuje zapotrzebowanie na energię użytkową na potrzeby chłodzenia.

Sezonowe bilanse ciepła dla ogrzewania oraz chłodzenia ilustruje Rysunek 6.



Rysunek 6: Sezonowy bilans ciepła/chłodu uwzględniający poszczególne składniki

Poszczególne składniki bilansu zdefiniowane są następująco:

- Q_{int} Bytowe zyski ciepła (ludzie, ciepła woda, oświetlenie, gotowanie, urządzenia elektryczne)
- Q_{iw} Straty ciepła przez przegrody wewnętrzne (ściany, stropy, okna, drzwi)
- Q_g Straty ciepła przez przegrody przyległe do gruntu (ściany, podłogi)
- Q_{ve} Straty energii wywołane przez powietrze wentylacyjne
- Q_{sol} Zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez zewnętrzne przegrody przezroczyste (okna, świetliki, przeszklone drzwi)
- Q_d Straty ciepła przez przegrody zewnętrzne (ściany, dachy, stropodachy, stropy nad przejazdami, okna, drzwi)

Analizując wykres przedstawiający sezonowe bilanse ciepła dla ogrzewania i chłodzenia widoczna jest wyraźna różnica w rozkładzie wartości strat pomiędzy poszczególne składniki bilansu. Straty występujące w bilansie ciepła dla ogrzewania stanowią zyski w przypadku chłodzenia i na odwrót. W przypadku bilansu ciepła dla ogrzewania największą stratę stanowi strata wentylacyjna wynosząca praktycznie 340 GJ. Strata ta mogłaby zostać zmniejszona poprzez zastosowanie systemu wentylacji z odzyskiem ciepła. Strata energii wynikająca z przenikania przez przegrody zewnętrzne wynosi 195 GJ. Zastosowane przegrody spełniają warunki techniczne, dlatego strata ta w ogólnym bilansie nie jest znacząca. W przypadku potrzeby jej obniżenia należy zastosować przegrody o niższym współczynniku przenikania ciepła (rozważyć spełnienie WT2021). Nie bez znaczenia byłoby w tym wypadku również zastosowanie okien o wyższej izolacyjności oraz rolet izolowanych bądź okiennic. Zyski ciepła od promieniowania słonecznego przez zewnętrzne przegrody przezroczyste wynoszą 273 GJ,

duży wpływ na tą wartość ma orientacja oraz lokalizacja okien, o czym należy pamiętać w fazie projektowej. W przypadku bilansu energii chłodniczej strata od promieniowania słonecznego przez zewnętrzne przegrody przezroczyste wynosi 223 GJ. Aby zmniejszyć stratę, należy w momencie największego nasłonecznienia (godziny popołudniowe) używać rolet bądź okiennic.

3.1 Ocena charakterystyki energetycznej budynku

Obliczenia przeprowadzone w programie Audytor OZC 6.8 pozwoliły na określenie wartości wskaźników charakterystyki energetycznej budynku tj. wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową (EU), wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową (EK), wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną (EP), jednostkowa wielkość emisji CO₂ (E_{CO2}). Porównanie wskaźników przedstawione zostało w Tabeli 3.

Tabela 3. Ocena charakterystyki energetycznej budynku

System	EU	EK	EP	E _{CO2}
	kWh/(m ² rok)			tCO ₂ /(m ² rok)
Rozdzielony	79	77	157	0,048
Trójgeneracyjny	79	49	46	0,015

Wymagania dla nowego budynku według przepisów techniczno-budowlanych z 2017 roku odnośnie wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną określają maksymalną wartość EP = 93,6 kWh/(m²rok). Analizując wartości wskaźnika EP zawarte w Tabeli 3 można jednoznacznie stwierdzić, że w przypadku systemu rozdzielonego warunki te nie zostały spełnione. Aby warunki te zostały spełnione powinna zostać rozważona modernizacja systemu technicznego np. dodanie do systemu odnawialnego źródła energii, zastosowanie wysokosprawnych systemów klimatyzacyjnych, grzewczych i przygotowania ciepłej wody użytkowej, zmieniienie rodzaju paliwa, zastosowanie systemu kogeneracyjnego lub trójgeneracyjnego. System skojarzony pozwala na znaczne ograniczenie zużycia energii pierwotnej i co za tym idzie mniejszą emisję dwutlenku węgla do otoczenia. Jest to, więc system rekomendowany dla obiektów, które oprócz instalacji grzewczej zawierają instalacje klimatyzacyjną jak również obiekty ubiegają się o certyfikat budynku energooszczędnego.

4 Zrównoważone budownictwo

Budynki w całym cyklu życia wywierają wpływ na środowisko naturalne i ludzkie życie. Negatywny wpływ dotyczy nie tylko emisji substancji szkodliwych do atmosfery, ale także produkcji odpadów, ścieków, hałasu, zużywania zasobów surowcowych, wody, energii oraz degradacji krajobrazu. Aby zapobiec negatywnemu oddziaływaniu budynków na otoczenie udoskonalono klasyczne praktyki stosowane w projektowaniu budynków, uzupełniając aspekty konstrukcyjne związane z ekonomią, użytecznością, trwałością i komfortem o aspekt ekologiczny. Budynek wykonany zgodnie z założeniami zrównoważonego rozwoju, to budynek, który w swojej konstrukcji, budowie lub eksploatacji zmniejsza lub eliminuje negatywne oddziaływania na rzecz pozytywnego wpływu na środowisko. Założenia

zrównoważonego budownictwa obejmują efektywne wykorzystanie energii, wody i innych zasobów, wykorzystanie energii odnawialnej, stosowanie nietoksycznych materiałów budowlanych, minimalizację produkcji odpadów połączoną z maksymalizacją ponownego użycia oraz co najważniejsze obejmują cały cykl życia poczynając od wydobycia i produkcję materiałów, poprzez budowę obiektu, jego użytkowanie, rozwój, renowację aż do rozbiórki, utylizacji i recyklingu odpadów.

4.1 Wprowadzenie do analizy LCA (ang. Life Cycle Assessment)²

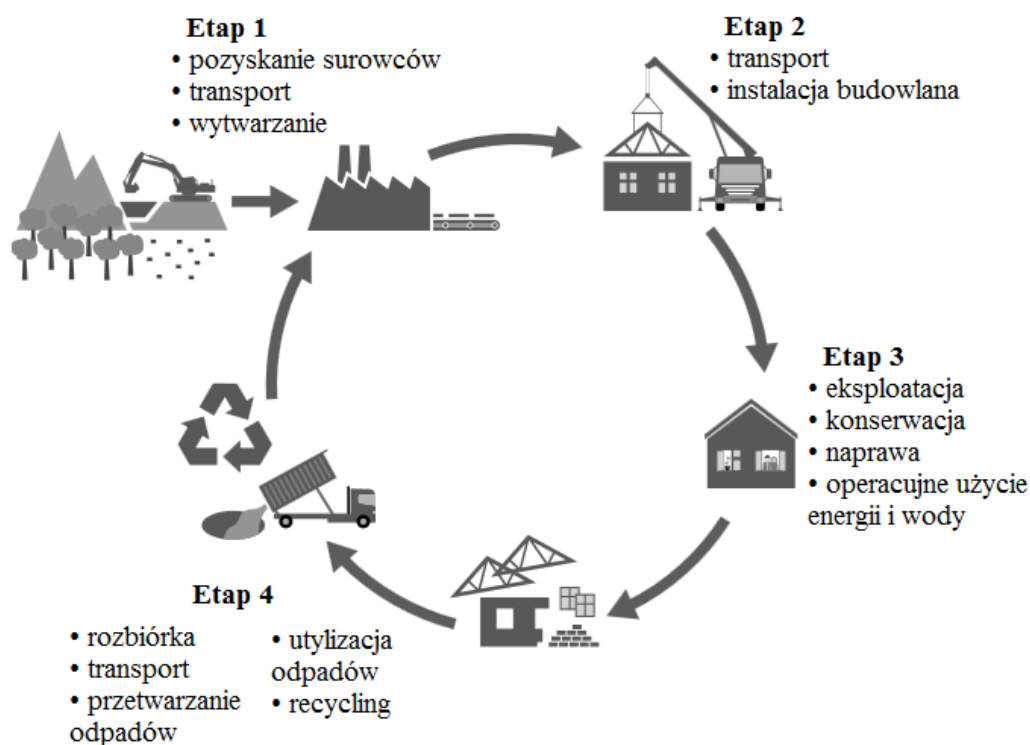
Ocena cyklu życia (LCA) to metoda wykorzystywana do oceny potencjalnego wpływu produktów lub procesów na środowisko naturalne, ludzkie zdrowie oraz zużywanie zasobów naturalnych. W sektorze budownictwa analiza LCA stanowi kluczową rolę oceny aspektów środowiskowych zrównoważonego budownictwa. Zapewnia ona bowiem podstawową wiedzę na temat oddziaływania budynku na środowisko oraz pozwala na ustalenie priorytetowych działań optymalizacyjnych na podstawie informacji i ocenie poszczególnych procesów w szerszej perspektywie tzn. w całym cyklu życia budynku. Włączenie analizy LCA jako narzędzia na etapie projektowania budynku umożliwia więc ocenę wpływu budynku, jego elementów lub etapów życia na środowisko. Dzięki temu analiza ta może być wykorzystywana jako element przyjaznego dla środowiska (zrównoważonego) projektowania budynków.

Analiza LCA budynku obejmuje zazwyczaj ocenę całego cyklu życia budynku, co oznacza, że uwzględnia ona wszystkie etapy życia budynku:

1. Etap przygotowania surowców do produkcji materiałów niezbędnych do realizacji obiektu – dotyczy on procesów związanych z produkcją wyrobów budowlanych wykorzystywanych w budynku tzn. dostawy surowcowej, transportu do miejsca produkcji oraz ostatecznej produkcji wyrobów.
2. Etap budowy obiektu - obejmuje przejazd wyrobów budowlanych od linii produkcyjnej do miejsca, w którym są one zainstalowane jako część gotowego budynku oraz proces instalacji budowlanej.
3. Etap eksploatacji obiektu – obejmuje procesy tj. konserwacja, wymiana, naprawa, odnowienie służące utrzymaniu budynku oraz procesy związane z operacyjnym zużyciem energii i wody.
4. Etap rozbiórki obiektu połączonego z utylizacją, ponownym wykorzystaniem bądź recyklingiem odpadów porozbiórkowych - dotyczy tego, co dzieje się, gdy cykl życia budynku dobiega końca (wyburzenie budynku i następujące po nim procesy związane z ponownym przetwarzaniem lub wykorzystaniem materiałów budowlanych w innych systemach produkcyjnych).

Najczęściej dwa pierwsze etapy są najlepiej znane, chociaż w praktyce uzyskanie danych wystarczających do obliczeń może być problematyczne. Kolejne etapy są oparte na scenariuszach, co oznacza, że muszą zostać przyjęte założenia dotyczące sposobu użytkowania, konserwacji i ostatecznego wyburzenia budynku. Schemat przedstawiający etapy cyklu życia budynku ilustruje Rysunek 7.

² Rozdział przygotowany został w oparciu o instrukcję Introduction to LCA of Buildings [9]



Rysunek 7: Etapy cyklu życia budynku

LCA sumuje wszystkie interakcje ze środowiskiem, które mają miejsce w trakcie uwzględnionych etapów cyklu życia. Interakcje mogą mieć formę emisji z transportu, formę zużycia drewna, minerałów, rud metali, itp. Potencjalne oddziaływanie na środowisko obliczane jest na podstawie wszystkich danych wejściowych i wyjściowych które dodatkowo mogą być powiązane z innymi procesami. Wyniki analizy można obliczyć za pomocą wybranych wskaźników. Najczęściej używane wskaźniki oceny wpływu na środowisko i wykorzystania zasobów przedstawiono w Tabeli 4

Tabela 4. Wskaźniki oceny wpływu na środowisko i wykorzystanie zasobów

Symbol	Kategoria	Równowartość	Problem
GWP	potencjał tworzenia efektu cieplarnianego	CO ₂	Gdy ilość gazów cieplarnianych w atmosferze wzrasta, warstwa atmosfery w pobliżu ziemi podgrzewa się, co powoduje zmiany klimatyczne.
ODP	potencjał niszczenia warstwy ozonowej	R11	Niszczenie warstwy ozonowej, która chroni florę i faunę przed szkodliwym promieniowaniem UVA i UVB.
POCP	potencjał powstawania fotosferycznych utleniaczy troposferycznych	C ₂ H ₄	Etylen razem z promieniowaniem UV przyczynia się do powstawania ozonu w niższej atmosferze (letni smog), który uszkadza m.in. układ oddechowy.
AP	potencjał zakwaszania	SO ₂	Substancje zakwaszające reagują z wodą i opadają jako kwaśne deszcze,

			co prowadzi między innymi do rozkładu systemów korzeniowych i wymywania składników odżywczych z roślin.
EP	potencjał eutrofizacji	PO ₄	Nadmierna podaż składników odżywczych powoduje niepożądany wzrost roślin w delikatnych ekosystemach, na przykład wzrost alg, który powoduje śmierć ryb.
ADPe	potencjał wyczerpywania abiotycznych zasobów nieodnawialnych	Sb	Wysokie wykorzystanie zasobów abiotycznych może przyczynić się do ich całkowitego wyczerpania.
ADPf	potencjał wyczerpywania abiotycznych zasobów kopalnych	MJ	Duże zużycie zasobów abiotycznych może przyczynić się do wyczerpania dostępnych paliw kopalnych, takich jak ropa naftowa lub węgiel.
PEtot	całkowite wykorzystanie energii pierwotnej	MJ lub kWh	Wysokie wykorzystanie zasobów w formie energii pierwotnej ze źródeł kopalnych i odnawialnych może przyczynić się do wyczerpania zasobów naturalnych.
Sec	wykorzystanie odnawialnych paliw wtórnych	MJ lub kWh	Paliwa wtórne (np. odpady) są z zasady ograniczonymi zasobami, a zatem wysokie wykorzystanie paliw wtórnych może pośrednio prowadzić do niedoboru zasobów paliw wtórnych.

Analiza LCA umożliwia zbadanie wpływu budynku na wybrane wskaźniki w każdym z uwzględnionych etapów cyklu życia, dzięki czemu możliwe jest wyodrębnienie etapu wywierającego największy wpływ na dany wskaźnik i skupienie się na minimalizacji niekorzystnych skutków wywieranych przez ten właśnie etap.

Ocena cyklu życia pozwala na podzielenie procesów na procesy związane z zużyciem energii podczas etapu użytkowania budynku i te, które są związane z materiałami. Te ostatnie są często opisywane jako wcielone oddziaływania. Wpływ zużycia energii na środowisko tradycyjnie miał największy wkład w wyniki LCA budynku. Ponieważ oczekuje się, że w przyszłości budynki będą zużywać mniej energii operacyjnej, a energia ta będzie pochodzić z odnawialnych źródeł energii, oznacza to, że wcielone oddziaływania produktów budowlanych staną się proporcjonalnie większe w całym LCA dla budynku.

LCA daje pogląd, w jaki sposób różne składowe budynku (ściany, okna, drzwi, itd.) przyczyniają się do ogólnego wpływu na środowisko. Pozwala to wyodrębnić wadliwe składowe i dokonać ich korekty. Dodatkowo analiza LCA daje szansę na przetestowanie różnych wariantów konstrukcyjnych np. zastosowanie okien drewnianych lub PCV. W ten sposób możliwe jest uzyskanie pomocy przy podejmowaniu decyzji dotyczących optymalnego

doboru materiałów, przyczyniającego się do ograniczenia potencjalnego wpływu na środowisko naturalne.

4.2 Ocena cyklu życia budynku wielorodzinnego – podstawowe założenia, analiza przypadku i wyników

Przedmiotem analizy LCA wykonanej w programie SimaPro był budynek wielorodzinny, o którym mowa w rozdziale 3.1.

Celem analizy było określenie oddziaływania, jakie wywiera budynek wielorodzinny na środowisko w pełnym cyklu życia. Zakres analizy został ograniczony do fazy produktu, budowy obiektu, jego rocznej eksploatacji oraz rozbiórki. Zastosowano następujące założenia upraszczające: etap produktu uwzględniono pośrednio jako procesy towarzyszące danemu materiałowi budowlanemu, na etapie budowy nie uwzględniono bezpośrednio zużycia nośników tj. energia elektryczna, woda, paliwo itp. przez wzgląd na trudności z uzyskaniem odpowiednich informacji na ich temat, na etapie eksploatacji nie uwzględniono konserwacji, naprawy i odnowienia obiektu ani jego żywotności, uwzględniono jedynie roczne zużycie ciepła, chłodu i elektryczności.

Metodą w oparciu o którą przeprowadzono ocenę cyklu życia była metoda ReCiPe. Metoda ta wykorzystuje do obliczeń informacje charakterystyczne dla warunków europejskich [10]. Kategorie szkody i wpływu charakterystyczne dla tej metody przedstawiono w Tabeli 5.

Tabela 5. Kategorie szkody i wpływu metody ReCiPe

Kategoria szkody	Jednostka	Kategoria wpływu
Zdrowie ludzkie	DALY	promieniowanie jonizujące toksyczność dla ludzi tworzenie się cząstek stałych tworzenie się fotochemicznych utleniaczy zmiany klimatu zubożenie warstwy ozonowej
Jakość ekosystemu	Gatunek/rok	ekotoksyczność dla wód i lądowa eutrofizacja zagospodarowanie terenu (zajmowanie i przekształcanie) zakwaszenie zmiany klimatu
Zużycie zasobów	\$	zużycie paliw kopalnych zużycie surowców metalicznych

Jednostka DALY (ang. disability adjusted life years) zastosowana w kategorii zdrowie ludzkie oznacza liczbę lat życia ludzkiego przeżytych w chorobie. Ocena oddziaływania środowiskowego przy wykorzystaniu tej jednostki pozwala określić je w skali od 0 do 10, przy czym 0 oznacza brak wpływu na zdrowie ludzkie, a wartość 10 oznacza zgon. Miarą oddziaływania powodującego zmianę jakości ekosystemu jest liczba gatunków, które zanikają na określonym obszarze w ciągu roku na skutek niekorzystnego oddziaływania na środowisko czynników tj. zakwaszenie, eutrofizacja, zagospodarowanie terenu, ekotoksyczność oraz

zmiany klimatu. Szkody wpływające na zużycie zasobów oceniane są przez wzrost kosztów związanych z wydobywaniem zasobów i wyrażone są w wartości pieniężnej [11].

W celu obliczenia potencjalnego wpływu analizowanego budynku na środowisko naturalne niezbędne było zebranie informacji o ilościach wszystkich użytych materiałów budowlanych oraz wykorzystanych elementach wykończeniowych takich jak drzwi i okna. W związku z tym, że w zależności od celu oceny cyklu życia, specyfikacja materiałowa może być bardziej lub mniej szczegółowa dokonano wyboru jedynie głównych elementów budynku (ściany zewnętrzne, ściany wewnętrzne, stropy, podłogi, dach oraz okna i drzwi) jako składników istotnych w przeprowadzanej analizie. Szacunkowe dane dotyczące materiałów i procesów występujące w cyklu życia budynku zestawiono w Tabeli 6. Ponadto jako scenariusz dotyczący odpadów wybrano wbudowany scenariusz, który zakładał całkowite składowanie odpadów porozbiórkowych na składowisku odpadów.

Tabela 6. Zestawienie danych wejściowych do analizy LCA

Dana		Ilość	Jednostka
Drzwi	Drzwi zewnętrzne i brama garażowa	35	m ²
	Drzwi wewnętrzne	151	m ²
	Drzwi balkonowe	30	m ²
Okna	Rama okienna	22	m ²
	Szyba zespolona podwójnie	92	m ²
Podłogi	Płytki ceramiczne	2 220	kg
	Panele	36	m ³
	Marmur	27 160	kg
	Wylewka - garaż	9 450	kg
Strop	Strop	420	m ³
	Izolacja	7 293	kg
	Tynk cementowo-wapienny	61 327	kg
Ściany	Beton komórkowy	359 566	kg
	Styropian	7 989	kg
	Tynk gipsowy	103 508	kg
	Tynk cementowo-wapienny	26 679	kg
Balkon	Balustrada szklana	4 111	kg
Dach	Więźba dachowa	22	m ³
	Płyty gipsowo-kartonowe	8 616	kg
	Izolacja	2 987	kg
	Dachówka	4 061	kg
Transport		5 792	tkm
Elektryczność		32 900	kWh/rok
Ciepło i chłód		284	GJ/rok

Dane materiałowe jak również procesy składające się na model budynku wielorodzinnego wybrane zostały z wbudowanej do oprogramowania SimaPro bazy danych EcoInvent. Ze względu na to, że baza ta odnosi się głównie do warunków Europy Zachodniej otrzymane wyniki obarczone są pewnym niedoszacowaniem oddziaływania budynku na środowisko w warunkach polskich.

Szczegółowe wyniki przeprowadzonej analizy budynku wielorodzinnego zawarto w Tabeli 7, Tabeli 8, Tabeli 9 oraz Tabeli 10. W tabelach pokazano jedynie najważniejsze wpływy środowiskowe, celem uniknięcia braku czytelności wyników.

Tabela 7. Oddziaływanie na środowisko elementów budynku wielorodzinnego

Kategoria wpływu	Drzwi	Okna	Podłogi	Stropy	Ściany	Balkony	Dach	Łącznie
Zmiany klimatu DALY	0,06	0,03	0,15	0,47	0,74	0,02	0,09	1,57
Toksyczność dla ludzi DALY	0,20	0,11	0,39	0,45	0,82	0,03	0,28	2,28
Tworzenie się cząstek stałych DALY	0,02	0,01	0,19	0,04	0,07	0,00	0,02	0,35
Zużycie surowców metalicznych \$	237	193	104	188	444	69	139	1 374
Zużycie paliw kopalnych \$	812	524	1 985	4 549	7 536	215	1 430	17 052

Tabela 8. Oddziaływanie na środowisko procesów związanych z cyklem życia budynku

Kategoria wpływu	Transport	Elektryczność	Ciepło i chłód	Łącznie
Zużycie surowców metalicznych \$	2	26	29	57
Zużycie paliw kopalnych \$	48	1 452	149	1 648

Tabela 9. Oddziaływanie na środowisko wynikające ze składowania odpadów

Kategoria wpływu	Scenariusz dot. odpadów
Toksyczność dla ludzi DALY	6,5
Zużycie surowców metalicznych \$	41
Zużycie paliw kopalnych \$	647

Tabela 10. Ocena cyklu życia budynku wielorodzinnego

Kategoria szkody	Budynek	Procesy	Odpady	Łącznie
Zdrowie ludzkie DALY	4,20	0,89	6,83	11,92
Jakość ekosystemu Gatunek/rok	0,019	0,001	0,007	0,028
Zużycie zasobów \$	18 426	1 705	688	20 820

Aby możliwe było dokonanie oceny skali problemu jaki stanowi wpływ badanego obiektu na środowisko wyniki wyrażone zostały również w ekopunktach (Tabela 11). Jeden ekopunkt odpowiada tysięcznej części rocznych szkód w środowisku, które powoduje jeden mieszkaniec Europy. Oznacza to, że 1000 Pt reprezentuje poziom rocznego obciążenia środowiska generowany przez mieszkańca Europy.

Tabela 11. Wartości kategorii szkód wyrażone w ekopunktach

Kategoria szkody	Budynek	Procesy	Odpady	Łącznie
Zdrowie ludzkie Pt	40 802	8 675	66 341	115 818
Jakość ekosystemu Pt	27 971	1 734	10 896	40 601
Zużycie zasobów Pt	11 940	1 105	446	13 491

Wnioski, jakie nasuwają się na podstawie analizy otrzymanych wyników można sformułować jako:

- Spośród wszystkich elementów budynku największy wpływ na środowisko wywierają ściany. Są one odpowiedzialne za zmiany klimatu, zużycie surowców metalicznych, paliw kopalnych jak również działają toksycznie na ludzi.
- W przypadku procesów związanych z cyklem życia budynku widoczne jest znaczny wpływ na dwie kategorie: zużycie surowców metalicznych oraz zużycie paliw kopalnych. Najwyższym zużyciem w tej kategorii pod względem zużycia paliw kopalnych charakteryzuje się zużycie energii elektrycznej (1452 \$).
- Analizując cykl życia budynku widoczny jest na pozór niewielki wpływ budynku wielorodzinnego na kategorię szkody zwaną jakoć ekosystemu. Budynek łącznie odpowiedzialny jest bowiem za wymieranie 0,028 Gatunków/rok. Jak wynika jednak z porównania wartości kategorii szkód w ekopunktach, kategoria to ma większy negatywny wpływ na środowisko niż kategoria zużycia zasobów.
- Z porównania skali problemów (wyniki w Pt) wynika, również iż największe szkody wynikające z cyklu życia analizowanego budynku wielorodzinnego występują w zdrowiu ludzkim. Na tą kategorię szkody znaczący wpływ ma wybrany scenariusz zagospodarowania odpadów.

5 Podsumowanie

Zagadnieniami omówionymi w niniejszej pracy była efektywność energetyczna oraz analiza w pełnym cyklu życia budynku wielorodzinnego. Efektywność energetyczna i analiza w pełnym cyklu życia są zagadnieniami, które idealnie wpisują się w strategiczne cele polityki energetycznej i ekologicznej Polski.

Przedmiotem analizy był budynek mieszkalny wielorodzinny zamodelowany w programie Audytor OZC 6.8 na wzór budynku C z Osiedla Aroniowa powstałego w 2017 r. w Łodzi. Zgodnie z założeniami projektowymi był to nowopowstały tradycyjny budynek mieszkalny wielorodzinny (19 mieszkań) o konstrukcji bardzo ciężkiej, średnim stopniu szczelności i średniej klasie osłonięcia. Kubatura budynku wynosiła 4548 m³ w tym 95% powierzchni użytkowej stanowiło powierzchnię mieszkalną. Temperatury wewnętrzne w budynku w zależności od stref ogrzewanych wynosiły 20°C dla pokoi, kuchni, holu, 25°C dla łazienki i 12°C dla garażu i pomieszczenia pomocniczego. Konstrukcja budynku została dobrana w taki sposób, aby warunki techniczne z roku 2017 zostały spełnione, w modelu uwzględniono mostki cieplne. Budynek wyposażony został w instalację ogrzewania (ogrzewanie konwencjonalne) i instalację chłodzenia (chłodzenie indywidualne mieszkania). W przypadku wentylacji w budynku zastosowano system wentylacji naturalnej za wyjątkiem

garaży, w których to zastosowano wentylację mechaniczną w postaci wentylatorów miejscowych. Analiza energetyczna budynku wykonana w Audytorze OZC 6.8 Pro pozwoliła na szczegółowe zestawienie strat ciepła i chłodu oraz wartości łącznego zapotrzebowania na energię użytkową niezbędną do ogrzewania i chłodzenia.

W przypadku strat ciepła wykazano, iż największy wpływ w całkowitym bilansie strat ma strata wentylacyjna wynosząca 340 GJ. Celem zmniejszenia wpływu tej straty na zapotrzebowanie ciepłe należy rozważyć zastosowanie instalacji wentylacyjnej wyposażonej w funkcję odzysku ciepła. Z pozostałych składników bilansu strat ciepła istotna była jeszcze strata ciepła przez przegrody zewnętrzne (195 GJ) tj. ściany, dachy, stropodachy, stropy nad przejazdami, okna, drzwi. Strata ta obniżona mogłaby zostać poprzez zastosowanie materiałów budowlanych i elementów wykańczających charakteryzujących się wyższą izolacyjnością, jak również dzięki wyeliminowaniu mostków cieplnych (izolacja okien, ocieplenie cokołów, ocieplenie ścian fundamentowych budynku, wzmocnienie ocieplenia zamocować balustrad). Dla bilansu chłodu strata od promieniowania słonecznego przez zewnętrzne przegrody przezroczyste wynosiła 223 GJ. Aby zmniejszyć tę stratę, należy rozważyć montaż rolet bądź okiennic i stosowanie ich w momencie największego nasłonecznienia (godziny popołudniowe).

Z przeprowadzonych na potrzeby pracy obliczeń wynika, iż zapotrzebowanie energetyczne dla średniej wielkości budynku wielorodzinnego wynosi 59 042 kWh/rok na ogrzewanie oraz 20 159 kWh/rok na chłodzenie. Miesięczny rozkład zapotrzebowania na energię użytkową na ogrzewanie i chłodzenie pozwolił zauważyć, że w przypadku budynku wielorodzinnego zapotrzebowanie na energię użytkową jest ciągle - dlatego też zaproponowano trójgenerację, jako alternatywny system techniczny. Ciągłe zapotrzebowanie na energię użytkową pozwala, bowiem na stały odbiór ciepła, a co za tym idzie pracę systemu skojarzonego bez zmiany obciążenia. Zapotrzebowanie na energię użytkową w zależności od pory roku dotyczy ogrzewania bądź chłodzenia. W miesiącach październik - kwiecień występuje zapotrzebowanie na energię użytkową na ogrzewanie, z kolei od maja do września występuje zapotrzebowanie na energię użytkową na potrzeby chłodzenia.

Obliczenia przeprowadzone w programie Audytor OZC 6.8 pozwoliły również na określenie wartości wskaźników charakterystyki energetycznej budynku - w tym celu zastosowano narzędzie świadectw energetycznych. Ocenę charakterystyki energetycznej budynku przeprowadzono dla dwóch wariantów instalacji technicznych. Wariant pierwszy zakładał zapewnienie ciepła grzewczego, ciepłej wody użytkowej, chłodu i energii elektrycznej z odrębnych instalacji (gospodarka rozdzielona), wariant drugi zakładał pokrycie zapotrzebowania na energię użytkową z systemu trójgeneracyjnego. Otrzymane wyniki potwierdziły brak zależności wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię użytkową od sprawności zastosowanych systemów - dla obu przypadków $EU = 79 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$. Wskaźnik EU zwraca, więc jedynie informacje, o jakości energetycznej zastosowanych materiałów i elementów konstrukcyjnych. Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową uwzględnia sprawności systemów technicznych, dlatego też może on być stosowany do oceny efektywności energetycznej systemów. Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, iż systemy trójgeneracyjne są systemami wysokosprawnymi - dla systemu rozdzielonego $EK = 77 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$, a dla systemu skojarzonego $49 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{rok})$.

Analizując aspekty środowiskowe, zastosowanie systemu trójgeneracyjnego wpływa na obniżenie jednostkowej wielkości emisji dwutlenku węgla z 0,048 do 0,015 tCO₂/(m²rok). Jest to korzystne pod względem działań UE na rzecz utrzymania globalnego ocieplenia poniżej 2°C. Globalne ocieplenie spowodowane wzrostem emisji dwutlenku węgla do otoczenia powoduje konieczność klimatyzowania pomieszczeń w sezonie letnim. Ze względu na stale rosnące wymagania społeczeństwa odnośnie komfortu cieplnego klimatyzowanie zarówno mieszkań jak i domów staje się podobnie jak klimatyzowanie biurów normą. Wzrost liczby jednostek klimatyzacyjnych zasilanych energią elektryczną w ogólnym bilansie energii powoduje zwiększoną konsumpcję energii, a co za tym idzie zwiększenie wykorzystania paliw kopalnych w przypadku zasilania ich elektrycznością pochodzącą ze źródeł konwencyjnych oraz zwiększoną emisję dwutlenku węgla do otoczenia.

W pracy wykazano, że alternatywą dla standardowych jednostek klimatyzacyjnych stanowią systemy trójgeneracyjne oparte o działanie modułu kogeneracyjnego zintegrowanego z agregatem absorpcyjnym. Zastosowanie systemu trójgeneracyjnego pozwala na zmniejszenie zużycia energii pierwotnej z 157 do 46 kWh/(m²rok) oraz efektywne wykorzystanie ciepła odpadowego pochodzącego ze spalin i systemu chłodzenia silnika. Niewątpliwą zaletą systemu trójgeneracyjnego jest możliwość bezpośredniego pokrycia zapotrzebowania na ciepło grzewcze i wentylacyjne, ciepłą wodę użytkową, chłód oraz energię elektryczną obiektu, w którym został zabudowany system trójgeneracyjny oraz mniejsze straty przesyłowe. Dodatkowo w przypadku nadwyżki wyprodukowanej energii elektrycznej istnieje możliwość sprzedaży jej do systemu elektroenergetycznego, co generuje zyski.

Jak wynika z oceny charakterystyki energetycznej budynku - system trójgeneracyjny sprawdza się o wiele lepiej niż gospodarka rozdzielona w przypadku obiektów, które oprócz instalacji grzewczej zawierają instalacje klimatyzacyjną.

Bazując na metodzie unikniętych nakładów obliczono sprawność cząstkową brutto wytwarzania energii elektrycznej w trójgeneracji na poziomie 45% oraz sprawności cząstkowej brutto wytwarzania ciepła w trójgeneracji na poziomie 167%. Trójgeneracja znajduje zastosowanie w analizowanym budynku, ponieważ w trakcie eksploatacji występuje w nim równoczesne zapotrzebowanie na energię elektryczną, ciepło i chłód oraz jak wynika z przeprowadzonych obliczeń – systemy skojarzone charakteryzują się lepszą sprawnością od systemów rozdzielonych.

Obecnie nie tylko efektywność energetyczna brana jest pod uwagę podczas analizowania różnych produktów i procesów, ale również ich wpływ na środowisko. Dlatego też w pracy przedstawiono wyniki analizy LCA, która została wykonana w programie SimaPro. Z analizy tej wynika, iż ze wszystkich elementów budynku największy wpływ na środowisko mają ściany. Odpowiadają one za zmiany klimatu, zużycie surowców metalicznych, paliw kopalnych oraz działają toksycznie na ludzi. Na podstawie obliczeń wpływu na środowisko dla transportu, zużycia ciepła i elektryczności widoczny jest wpływ na zużycie surowców metalicznych oraz zużycie paliw kopalnych (1452 \$). Analizowany budynek wywiera negatywny wpływ, na jakość ekosystemu, co wyrażone zostało w ekopunktach (40 601 Pt) i odpowiada wymieraniu 0,028 Gatunków/rok. Ocena cyklu życia budynku jednoznacznie pokazuje niekorzystny wpływ analizowanego budynku na zdrowie ludzkie (największa

wartość szkody wyrażona w ekopunktach 115 818 Pt), co powiązane jest z wybranym scenariuszem zagospodarowania odpadów.

Ocena cyklu życia budynku stanowi uzupełnienie informacji o wpływie obiektu na środowisko naturalne. Wyniki analizy LCA są przydatne przy modernizacji i optymalizacji istniejących przedsięwzięć jak również w trakcie tworzenia nowych, ekologicznych inwestycji. Najważniejszym z zastosowań analizy LCA jest możliwość identyfikacji oraz oceny oddziaływania na środowisko budynku w całym cyklu jego istnienia lub w poszczególnych jego etapach.

Literatura

- [1] J. Komorowska, Certyfikowane osiedla mieszkaniowe – nowa era budownictwa, Warszawa: Centrum AMRON, 2017, s.2
- [2] Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej, Dz.U. 2016 poz. 831
- [3] Trigeneracja, strona internetowa *TERMSTER ABSORPCJA*, <http://www.agregatyabsorpcyjne.pl/trigeneracja>, dostęp 15 marca 2018 r.
- [4] Trigeneration, strona internetowa *UPGRADE ENERGY*, <http://upgrade-energy.com/en/renewable-energy-and-energy-efficiency-technologies/trigeneration/>, dostęp 16 kwietnia 2018 r.
- [5] M. Liszka, K. Hoinka, Konsekwencje zastosowania benchmarków opartych na najbardziej efektywnych w UE instalacjach ciepłowniczych przy rozdziale darmowych uprawnień do emisji CO₂ dla konkurencyjności polskich systemów ciepłowniczych, prognozowany wzrost cen ciepła dla odbiorców końcowych oraz określenie stopnia zagrożenia wzrostu niskiej emisji w wyniku rozwiązań proponowanych w procesie komitologii zmienionej Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych, Gliwice: Ekspertyza wykonana na zlecenie PKPP Lewiatan, 2009, s. 7-8
- [6] J. Szargut, A. Ziębik, Podstawy energetyki ciepłej, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2000, s. 357-361
- [7] Specyfikacja modułu kogeneracyjnego VITOBLOC 200 EM-5, strona internetowa firmy *Viessmann Sp. z o. o*, [http://www.viessmann.com/web/poland/pdf-90.nsf/C4754B6D6261C9CFC1257EDD0042E0A3/\\$FILE/Vitobloc%20200%20EM-5%20\(08.2012\).pdf?OpenElement](http://www.viessmann.com/web/poland/pdf-90.nsf/C4754B6D6261C9CFC1257EDD0042E0A3/$FILE/Vitobloc%20200%20EM-5%20(08.2012).pdf?OpenElement), dostęp 10 kwietnia 2018r.
- [8] Osiedle Aroniowa, strona internetowa dewelopera *Bastion*, <http://aroniowa.pl/>, dostęp 3 marca 2018 r.
- [9] H. Birgisdóttir, F. N. Rasmussen, Danish Building Research Institut, Introduction to LCA of Buildings, København: Danish Transport and Construction Agency, 2016
- [10] E. Kamińska, A.Skarbek-Żebkin, Analizy ekobilansowe w szacowaniu obciążeń środowiska, Wydawnictwo ITS, Czasopismu Transport Samochodowy, 2015
- [11] H.Manteuffel Szoega, A.Sobolewska, Analiza cyklu życia opakowań w handlu jabłkami w aspekcie oddziaływania na środowisko naturalne, Rocznik Nauk Rolniczych, Seria G, Warszawa, 2009

Trigeneration system integrated into the building - energy efficiency assessment including a life cycle of building

Ewelina Marzec

Key words: energy efficiency, multifamily housing, trigeneration system, life cycle assessment, environmental impact

Abstract

This article concerns the energy efficiency of an air-conditioned multi-family building and the impact it has on the environment throughout the whole life cycle. The dedicated software, which is Auditor OZC 6.8 Pro, was used to calculate the energy efficiency of the building in question. In the mentioned software, energy analysis of the facility was carried out, based on which the sources of the most significant heat losses were indicated. Moreover, activities aimed at reducing the energy consumption of the building were proposed. Additionally, energy performance certificate is described and presented as one of the embedded possibilities offered by the Audit OZC 6.8 Pro program. Using the energy performance certificates, two technical systems were compared to a trigeneration system (also called as a combined system) and separated system, where all essential products are produced individually. On the basis of the obtained results, the effect of energy production on the size of indicators of the energy performance of a building through trigeneration and the separated economy was demonstrated. The following indicators were calculated: 1) indicator of the annual demand for usable energy (EU), 2) an indicator of the annual energy demand for final energy (EK), 3) indicator of the annual demand for non-renewable primary energy (EP), 4) unit emission of carbon dioxide (E_{CO_2}). Finally, the assessment of the full life cycle of the analyzed building was performed. The environmental impact in full life cycle was carried out in SimaPro software. The use of LCA analysis with energy indicators was proposed as a method supporting the selection of the best construction solutions as friendly to humans and safe for the natural environment.