



G Ł Ó W N Y
I N S T Y T U T
G Ó R N I C T W A

- **Dane teleadresowe:** Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice
telefon: 032 258 16 31÷9, fax: 032 259 65 33, e-mail: gig@gig.eu, www.gig.eu
- **Rachunek bankowy:** Bank Pekao S.A. O/Katowice
nr 65 1240 4227 1111 0000 4841 8133
- **Regon:** 000023461 **NIP:** 6340126016 **KRS:** 0000090660
Główny Instytut Górnictwa jest płatnikiem VAT

Egz. Nr

Nr pracy: **SP/B/3/76/469/10**

Tytuł projektu: **Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków – strategiczny projekt badawczy**

Tytuł zadania badawczego: **Zwiększenie wykorzystania energii z odnawialnych źródeł (OZE) w budownictwie**

Nr i tytuł etapu: **Etap nr 5 - Opracowanie metodologii oceny efektów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych substytucji konwencjonalnych źródeł energii przez OZE z wykorzystaniem analizy cyklu życia (LCC).**

Tytuł dokumentacji: **Opracowanie metodologii oceny efektów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych substytucji konwencjonalnych źródeł energii przez OZE z wykorzystaniem analizy cyklu życia (LCC) – Raport nr 1 za okres od 01.08.2010 do 30.11.2010.**



Katowice, wrzesień 2011r.

Zespół autorski:

**Kierownik części
zadania badawczego:**

mgr inż. Marek Bieniecki

.....

Pozostali autorzy:

mgr inż. Piotr Krawczyk

.....

dr inż. Dorota Burchart - Korol

.....

mgr inż. Joanna Krzemień

.....

mgr Krystyna Olejniczak

.....

mgr inż. Mariusz Cwięczek

.....

mgr inż. Małgorzata Bojarska - Kraus

.....

(tytuł naukowy, imię i nazwisko)

(podpis)

Rozdzielnik:

egz. Nr 1 – Główny Instytut Górnictwa

egz. Nr 2 –

Spis treści

1	Wprowadzenie do analiz	7
1.1	<i>Budynek jednorodzinny</i>	<i>8</i>
1.2	<i>Budynek wielorodzinny</i>	<i>9</i>
2	Metodologia oceny efektów technicznych substytucji paliw pierwotnych odnawialnymi źródłami energii (OZE) w budynkach mieszkalnych.	10
3	Ocena cyklu życia LCA budynku jednorodzinnego i wielorodzinnego	13
3.1	<i>Wprowadzenie.....</i>	<i>13</i>
3.2	<i>Założenia</i>	<i>15</i>
3.2.1	Cel i zakres pracy.....	16
3.2.2	Zdefiniowanie jednostki funkcjonalnej.....	16
3.2.3	Granice systemu	17
3.2.4	Jakość danych	17
3.2.5	Wybór metod oceny wpływu	17
3.2.6	Procedury obliczeniowe – zastosowanie oprogramowania SimaPro z bazą danych (licencja).....	19
3.2.7	Istota faz budowy i eksploatacji w ocenie cyklu życia	19
3.3	<i>Wyniki analiz LCA – dyskusja wyników</i>	<i>20</i>
3.3.1	Analiza oceny cyklu życia budynku jednorodzinnego	20
3.3.1.1	<i>Analiza LCA dla budynku mieszkalnego (uwzględniając fazę budowy i użytkowania)</i>	<i>21</i>
3.3.1.2	<i>Analiza LCA dla pięciu wariantów termomodernizacji budynku mieszkalnego jednorodzinnego.....</i>	<i>26</i>
3.3.1.3	<i>Analiza LCA w całym cyklu życia budynku jednorodzinnego dla 60-ciu scenariuszy (uwzględniając fazę budowy i użytkowania).....</i>	<i>28</i>
3.3.2	Analiza oceny cyklu życia budynku wielorodzinnego	36
3.4	<i>Podsumowanie.....</i>	<i>41</i>
4	Analizy kosztów cyklu życia LCC.....	48
5	Analizy metodami UNIDO	55
6	Analiza ekoefektywności	62
7	Analiza wrażliwości	67
8	Podsumowanie	80

Spis tabel

Tabela 1. Wskaźniki środowiskowe dla wybranych termomodernizacji budynku obliczone trzema metodami.....	27
Tabela 2. Wyniki analizy LCA dla wszystkich 60-ciu scenariuszy budynku jednorodzinnego, w kolejności od najbardziej efektywnych środowisko do najbardziej obciążających środowisko, zgodnie z metodą Ecoindicator 99, Pt	42
Tabela 3. Wyniki analizy LCA dla wszystkich 60-ciu scenariuszy budynku jednorodzinnego, w kolejności od najbardziej efektywnych środowisko do najbardziej obciążających środowisko, zgodnie z metodą IPCC GWP 100a, kg CO ₂ eq	43
Tabela 4. Wyniki analizy LCA dla wszystkich 60-ciu scenariuszy budynku jednorodzinnego, w kolejności od najbardziej efektywnych środowisko do najbardziej obciążających środowisko, zgodnie z metodą CML, kg Sb eq.....	45
Tabela 5. Wyniki analiz LCC dla budynku jednorodzinnego	49
Tabela 6. Wyniki analiz LCC dla budynku wielorodzinnego.....	53
Tabela 7. Wyniki analiz metodami UNIDO dla budynku jednorodzinnego.....	58
Tabela 8. Wyniki analiz metodami UNIDO dla budynku wielorodzinnego	60
Tabela 9. Wyniki analiz ekoefektywności dla budynku jednorodzinnego.....	63
Tabela 10. Wyniki analiz ekoefektywności dla budynku wielorodzinnego	65
Tabela 11. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku jednorodzinnego – nakłady inwestycyjne	68
Tabela 12. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku jednorodzinnego – koszty ogrzewania	71
Tabela 13. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku jednorodzinnego – stopa dyskontowa	74
Tabela 14. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku wielorodzinnego – nakłady inwestycyjne.....	77
Tabela 15. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku wielorodzinnego – koszty ogrzewania	77
Tabela 16. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku wielorodzinnego – stopa dyskontowa.....	77

Spis rysunków

Rys. 1. Schemat postępowania przy ocenie cyklu życia.....	14
Rys. 2. Drzewo oddziaływań na środowisko budowy domu jednorodzinnego o powierzchni 177,9 m ²	23
Rys. 3. Drzewo oddziaływań na środowisko budowy domu jednorodzinnego o powierzchni 177,9 m ² metodą IPCC	24
Rys. 4. Drzewo oddziaływań na środowisko budowy domu jednorodzinnego o powierzchni 177,9 m ² metodą CML, kg Sb eq	25
Rys. 5. Analiza LCA wariantów termomodernizacji - graficzna interpretacja wyników (wartości względne)	28
Rys. 6. Wyniki analizy LCA różnych scenariuszy rozwiązań źródeł ciepła dla wariantu 4 metodą Ecoindicator 99.	29
Rys. 7. Wyniki analizy LCA różnych scenariuszy rozwiązań źródeł ciepła dla wariantu 4 metodą IPCC 2007 GWP 100a.	29
Rys. 8. Wyniki analizy LCA różnych scenariuszy rozwiązań źródeł ciepła dla wariantu 4 metodą CML 2 baseline 2000.	30
Rys. 9. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą Ecoindicator – bez zastosowania rozwiązań wykorzystujących OZE	31
Rys. 10. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą IPCC2001 Global Warming – bez zastosowania rozwiązań wykorzystujących OZE	31
Rys. 11. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą CML 2 baseline 2000 Abiotic Depletion – bez zastosowania rozwiązań wykorzystujących OZE	32
Rys. 12. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą Ecoindicator – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: pompa ciepła	32
Rys. 13. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą IPCC2001 Global Warming – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: pompa ciepła	33
Rys. 14. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą CML 2 baseline 2000 Abiotic Depletion – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: pompa ciepła.....	33
Rys. 15. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą Ecoindicator – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: kolektor słoneczny	34
Rys. 16. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą IPCC2001 Global Warming – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: kolektor słoneczny	34
Rys. 17. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą CML 2 baseline 2000 Abiotic Depletion – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: kolektor słoneczny	35
Rys. 18. Wyniki LCA dla wszystkich wariantów w całym cyklu życia – graficzna interpretacja wyników (wartości względne).....	37
Rys. 19. Wskaźniki środowiskowe dla analizowanych scenariuszy budynku wielorodzinnego	38
Rys. 20. Wyniki analiz LCA dla budynku wielorodzinnego metodą Ecoindicator	39
Rys. 21. Wyniki analiz LCA dla budynku wielorodzinnego metodą IPCC2001 Global Warming	39
Rys. 22. Wyniki analiz LCA dla budynku wielorodzinnego metodą CML 2 baseline 2000 Abiotic Depletion	40
Rys. 23. Schemat blokowy algorytmu obliczeń metodami UNIDO	56
Rys. 24. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku jednorodzinnego	78
Rys. 25. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku wielorodzinnego.....	79

Spis załączników

Załącznik 1. Wyniki audytów energetycznych budynku jednorodzinnego

Załącznik 2. Wyniki audytów energetycznych budynku wielorodzinnego

Załącznik 3. Schemat obliczeniowy analiz kosztowych i ekonomicznych technologii wykorzystujących
OZE w budynkach mieszkalnych

1 Wprowadzenie do analiz

Na podstawie przyjętej i opisanej w poprzednim etapie prac metodyki dokonano oceny efektów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych substytucji konwencjonalnych źródeł energii przez OZE z wykorzystaniem wybranych metod, tj. LCA, LCC i metod UNIDO dla dwóch rodzajów budynków mieszkalnych:

1. Jednorodzinne o powierzchni użytkowej równej 177,9 m².
2. Wielorodzinne o powierzchni użytkowej równej 3 360,4 m².

Wykonano następujące prace:

- doszczegółowiono i sformalizowano metodologię oceny efektów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych substytucji konwencjonalnych źródeł energii przez OZE z wykorzystaniem wybranych metod, tj. LCA, LCC i metod UNIDO,
- zbudowano arkusz obliczeniowy do przetestowania opracowanej metodologii,
- dokonano analiz metodami LCA, LCC i UNIDO dla wybranych rozwiązań technicznych poprawiających efektywność energetyczną na przykładzie budynku mieszkalnego.

Następnie przetworzono wyniki analiz efektywności ekologicznej i ekonomicznej w celu uzyskania wskaźnika ekoefektywności oraz przeprowadzono analizy wrażliwości uzyskanych wyników.

Analizowana poprawa efektywności energetycznej w budynkach wiąże się z ograniczeniem wpływu na środowisko i obejmuje:

- termomodernizację budynku – ocieplenie ścian, wymiana okien, drzwi,
- modernizację (uzupełnienie, bądź wymianę) źródeł ciepła na wykorzystujące OZE.

Dla wszystkich analiz przyjęto ten sam cykl życia równy 20 lat, co odpowiada przeciętnemu okresowi eksploatacji źródła ciepła budynku jednorodzinne. Analizy metodami UNIDO przeprowadzono w cenach stałych, dla 5%-towej stopy dyskontowej, rekomendowanej przez Komisję Europejską.

Analizy prowadzono przy założeniu poziomu cen z I kwartału 2011r. Przyjęte do obliczeń nakłady inwestycyjne są wartościami szacunkowymi. Celem niniejszych analiz nie jest jednak dokładne określenie nakładów na termomodernizację budynków i zastosowanie technologii OZE, lecz porównanie analizowanych wariantów – zarówno pod względem technicznym, ekonomicznym, jak i środowiskowym.

Prognozy zmian cen surowców energetycznych i energii elektrycznej przyjęto na podstawie „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku”¹.

1.1 Budynek jednorodzinny

Analizom poddano typowy budynek jednorodzinny dwukondygnacyjny o kubaturze części ogrzewanej równej 524 m³. Jest to budynek tradycyjny, murowany.

W celu określenia możliwości zastosowania i opłacalności technologii OZE w pierwszej kolejności oszacowano ile energii trzeba dostarczyć do budynku celem pokrycia strat ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku. W tym celu wykonano audyty energetyczne następujących wariantów termomodernizacji:

1. **Wariant 1 „podstawowy”**: budynek z wentylacją grawitacyjną, termoizolacja w podstawowym zakresie nie zapewniającym spełnienia aktualnie obowiązujących normatywów określonych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 201 poz. 1238 z późn. zm.) – ze wskaźnikiem brutto rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku: 198,15 kWh/m²*rok.
2. **Wariant 2**: budynek z wentylacją grawitacyjną, termoizolacja w zakresie zapewniającym spełnienie aktualnie obowiązujących normatywów określonych w ww. Rozporządzeniu – ze wskaźnikiem brutto rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku: 135,57 kWh/m²*rok.
3. **Wariant 3**: budynek z wentylacją grawitacyjną, termoizolacja w zakresie zapewniającym osiągnięcie parametrów ocieplenia przegród zgodnych z wymaganiami określonymi dla budynków pasywnych – ze wskaźnikiem brutto rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku: 134,87 kWh/m²*rok.
4. **Wariant 4**: budynek z wentylacją mechaniczną, termoizolacja w zakresie zapewniającym spełnienie aktualnie obowiązujących normatywów określonych w ww. Rozporządzeniu – ze wskaźnikiem brutto rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku: 96,52 kWh/m²*rok.
5. **Wariant 5**: budynek z wentylacją mechaniczną, termoizolacja w zakresie zapewniającym osiągnięcie parametrów ocieplenia przegród zgodnych z wymaganiami określonymi dla budynków pasywnych – ze wskaźnikiem brutto rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku: 92,24 kWh/m²*rok.

¹ Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów Z dnia 10 listopada 2009 r. Warszawa 2009 r.

Dla każdego z ww. zidentyfikowanych wariantów docieplenia przyjęto następujące systemy ogrzewania:

1. Kocioł gazowy kondensacyjny (55/45°C) o mocy <50 kW.
2. Kocioł węglowy z lat > 2000 r.
3. Kocioł niskotemperaturowy z zamkniętą komorą i palnikiem modulowanym – olejowy.
4. Elektryczne grzejniki bezpośrednie.

W konsekwencji rozważano następujące paliwa, bądź źródła energii cieplnej:

1. Węgiel.
2. Gaz ziemny GZ-50.
3. Olej opałowy.
4. Biomasa.
5. Energia elektryczna.

Odnawialne źródła energii uwzględniono w przeprowadzonych analizach poprzez założenie rozwiązań technicznych pozwalających na ogrzewanie budynku i przygotowywanie ciepłej wody użytkowej, jako źródła uzupełniającego do przyjętych rozwiązań konwencjonalnych (grzejniki elektryczne, bądź kotły). Przyjęto i dobrano do analizowanego budynku następujące systemy bazujące na OZE:

1. Pompa ciepła do wytworzenia ciepła grzewczego i ciepłej wody użytkowej.
2. Kolektory słoneczne płaskie do wytworzenia ciepłej wody użytkowej.

Doboru ww. urządzeń dokonano dla poszczególnych wariantów termomodernizacji budynku z uwzględnieniem zapotrzebowania na ciepło grzewcze i ciepłą wodę użytkową.

1.2 Budynek wielorodzinny

Analizom poddano typowy 5-piętrowy budynek wielorodzinny o kubaturze części ogrzewanej równej 8 737 m³. Jest to budynek tradycyjny, murowany.

W celu określenia możliwości zastosowania i opłacalności technologii OZE w pierwszej kolejności oszacowano ile energii trzeba dostarczyć do budynku celem pokrycia strat ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku. W tym celu wykonano audyty energetyczne następujących wariantów termomodernizacji:

1. **Wariant 0** - stan istniejący
2. **Wariant 1** - termomodernizacja pod ustawę, wentylacja grawitacyjna
3. **Wariant 2** - termomodernizacja w kierunku budynku pasywnego (okna $u=0,8$, szyba dwukomorowa, ściany ok. $u=0,1$, wentylacja grawitacyjna)
4. **Wariant 3** - termomodernizacja w kierunku budynku pasywnego, wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła o sprawności 0,75
5. **Wariant 4** - termomodernizacja w kierunku budynku pasywnego, wentylacja mechaniczna, kotłownia na biomasę na cele grzewcze

6. **Wariant 5** - termomodernizacja w kierunku budynku pasywnego, wentylacja mechaniczna, kotłownia na biomasę na cele grzewcze, przygotowanie CWU: 50% kotłownia, 50% kolektory słoneczne

Dla każdego z ww. zidentyfikowanych wariantów docieplenia przyjęto następujące systemy ogrzewania:

1. **Warianty 0÷3:** ciepło z miejskiej sieci ciepłowniczej zasilanej z ciepłowni opalanej węglem.
2. **Warianty 4÷5:** kotłownia na biomasę.

Dla wariantu 5 założono dodatkowo instalację kolektorów słonecznych na potrzeby pokrycia 50% zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową.

2 Metodologia oceny efektów technicznych substytucji paliw pierwotnych odnawialnymi źródłami energii (OZE) w budynkach mieszkalnych.

Metodologia ta po części została opracowana w pracy wykonanej przez politechnikę Śląską w etapie 2. Niniejsze wskaźniki oceny technicznej uzupełniają zastosowane kryteria oceny. Uwzględniają one wskaźnik zużycia energii pierwotnej, których metodyka wyznaczania określona została w rozporządzeniu ministra infrastruktury (DZ. U. Nr 75/2008, poz. 690) z dnia 12 kwietnia 2002 r. **w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.**

Zgodnie z § 328. Ustęp 1. Rozporządzenia budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne i klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynku użyteczności publicznej również oświetlenia wbudowanego, powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby ilość ciepła, chłodu i energii elektrycznej, potrzebnych do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem, można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie.

Określone wymaganie uznaje się za spełnione dla budynku mieszkalnego, jeżeli:

- 1) przegrody zewnętrzne budynku oraz technika instalacyjna odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej oraz powierzchnia okien spełnia wymagania określone tabeli nr 1. (załącznika nr 2 do rozporządzenia), przy czym dla budynku przebudowywanego dopuszcza się zwiększenie średniego współczynnika przenikania ciepła osłony budynku o nie więcej niż 15 % w porównaniu z budynkiem nowym o takiej samej geometrii i sposobie użytkowania, lub
- 2) wartość wskaźnika EP [kWh/(m² · rok)] określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia jest mniejsza od określonych wartości granicznych, a także jeżeli przegrody zewnętrzne budynku odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej niezbędnej dla zabezpieczenia przed kondensacją pary wodnej, określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia,

przy czym dla budynku przebudowywanego dopuszcza się zwiększenie wskaźnika EP o nie więcej niż 15 % w porównaniu z budynkiem nowym o takiej samej geometrii i sposobie użytkowania.

Podobne wymagania określone są dla budynku użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, budynku produkcyjnego, magazynowego i gospodarczego, jeżeli:

- 1) przegrody zewnętrzne budynku oraz technika instalacyjna odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej oraz powierzchnia okien spełnia wymagania określone w pkt. 2.1. załącznika nr 2 do rozporządzenia, przy czym dla budynku przebudowywanego dopuszcza się zwiększenie średniego współczynnika przenikania ciepła osłony budynku o nie więcej niż 15 % w porównaniu z budynkiem nowym o takiej samej geometrii i sposobie użytkowania, lub Dziennik Ustaw Nr 201 — 10882 — Poz. 1238
- 2) wartość wskaźnika EP [kWh/(m² · rok)] określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej i oświetlenia wbudowanego jest mniejsza od wartości granicznej określonej w ust. 3 pkt. 3, a także jeżeli przegrody zewnętrzne budynku odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej niezbędnej dla zabezpieczenia przed kondensacją pary wodnej, określonym w pkt. 2.2. załącznika nr 2 do rozporządzenia, przy czym dla budynku przebudowywanego dopuszcza się zwiększenie wskaźnika EP o nie więcej niż 15 % w porównaniu z budynkiem nowym o takiej samej geometrii i sposobie użytkowania.
3. Maksymalne wartości EP rocznego wskaźnika obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia, w zależności od współczynnika kształtu budynku A/V_e, wynoszą:
 - W budynkach mieszkalnych do ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (EP_{H+W}) w ciągu roku:
 - a) dla A/V_e ≤ 0,2; **EP_{H+W} = 73 + ΔEP;** [kWh/(m² rok)],
 - b) dla 0,2 ≤ A/V_e ≤ 1,05; **EP_{H+W} = 55 + 90 · (A/V_e) + ΔEP;** [kWh/(m² rok)],
 - c) dla A/V_e ≥ 1,05; **EP_{H+W} = 149,5 + ΔEP;** [kWh/(m² rok)]

gdzie:

ΔEP = ΔEP_w — dodatek na jednostkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody użytkowej w ciągu roku,

$$\Delta EP_w = 7800 / (300 + 0,1 \cdot A_i); \quad [kWh/(m^2 \text{ rok})],$$

A — jest suma pól powierzchni wszystkich przegród budynku, oddzielających część ogrzewaną budynku od powietrza zewnętrznego, gruntu i przyległych pomieszczeń nieogrzewanych, liczona po obrysie zewnętrznym,

V_e — jest kubatura ogrzewanej części budynku, pomniejszona o podcienia, balkony, loggie, galerie itp., liczona po obrysie zewnętrznym,

A_f — powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku (lokalu);

- W budynkach mieszkalnych do ogrzewania, wentylacji i chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (EPHC+W) w ciągu roku:

$$EP_{HC+W} = EP_{H+W} + (5 + 15 \cdot A_{w,e}/A_f)(1 - 0,2 \cdot A/V_e) \cdot A_{f,c}/A_f; [kWh/(m^2 \text{ rok})]$$

gdzie:

EP_{H+W} — wartości według zależności podanej w pkt. 1,

$A_{w,e}$ — powierzchnia ścian zewnętrznych budynku, liczona po obrysie zewnętrznym,

$A_{f,c}$ — powierzchnia użytkowa chłodzona budynku (lokalu),

A_f — powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku (lokalu),

V_e — jest kubatura ogrzewanej części budynku, pomniejszona o podcienia, balkony, loggie, galerie itp., liczona po obrysie zewnętrznym;

Zsumowanie kryteriów oceny technicznej wskazanych w etapie 2 oraz wymagań dotyczących granicznych wartości wskaźników zużycia energii pierwotnej w budynkach mieszkalnych określonych w rozporządzeniu pozwala na ocenę energetyczną potrzeb ciepłych tych budynków w pełnej zgodzie z wymaganiami prawnymi.

3 Ocena cyklu życia LCA budynku jednorodzinnego i wielorodzinnego

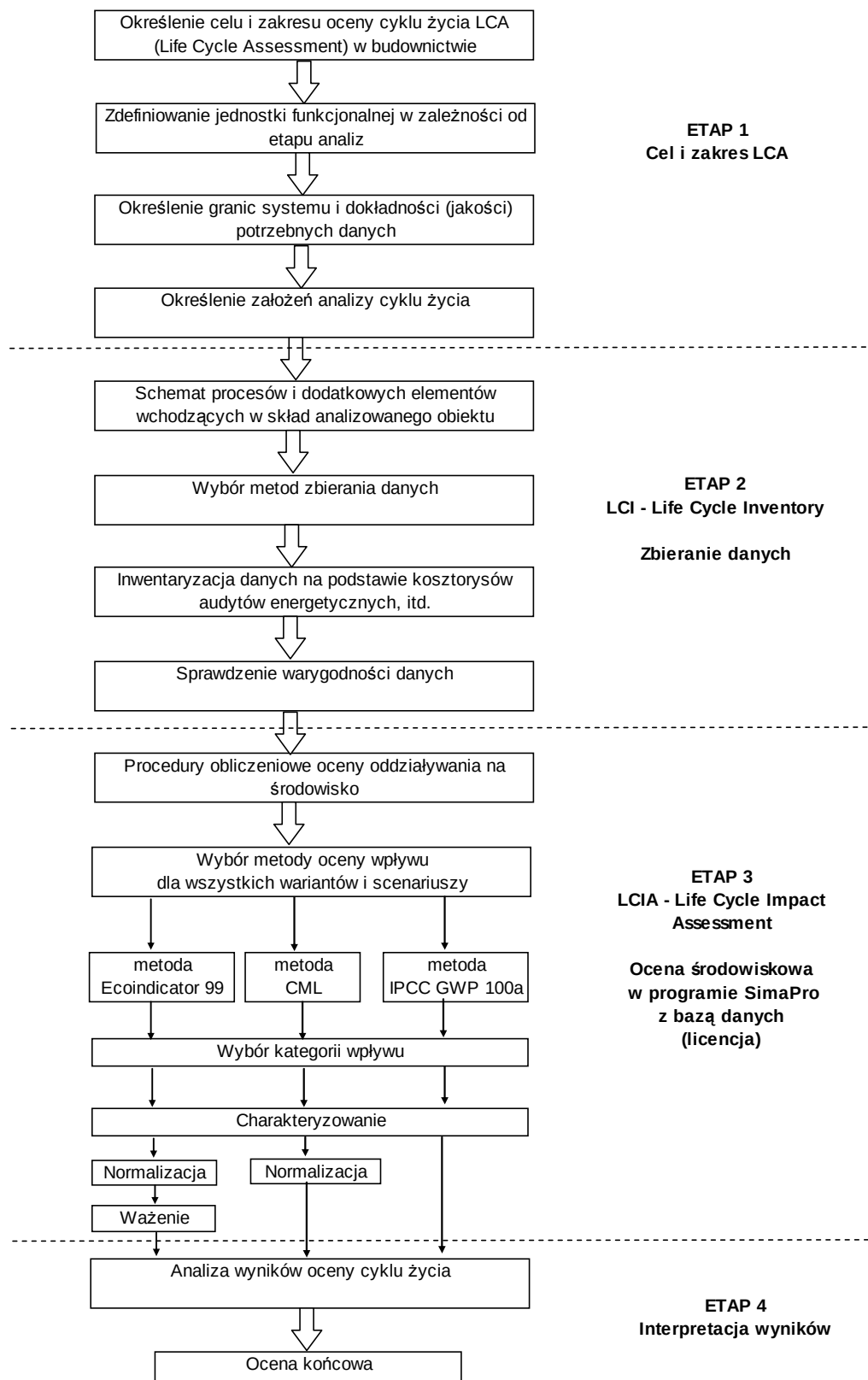
3.1 Wprowadzenie

Zgodnie z przyjętą metodologią oceny efektów ekologicznych substytucji konwencjonalnych źródeł energii przez odnawialne źródła energii z wykorzystaniem analizy cyklu życia LCA (Life Cycle Assessment) przeprowadzono następujące analizy:

1. Analiza LCA dla budynku mieszkalnego (uwzględniając fazę budowy i użytkowania)
2. Analiza LCA dla pięciu wariantów termomodernizacji budynku mieszkalnego jednorodzinnego,
3. Analiza LCA dla konwencjonalnych źródeł ciepła oraz dla OZE
4. Analiza LCA w całym cyklu życia budynku jednorodzinnego dla 60-ciu scenariuszy (uwzględniając fazę budowy i użytkowania)
5. Analiza LCA w całym cyklu życia budynku wielorodzinnego dla sześciu scenariuszy (uwzględniając fazę budowy i użytkowania)

W pierwszy etapie pracy przeprowadzono analizę LCA dla budynku jednorodzinnego o powierzchni 177,9 m². Analizom poddano typowy budynek jednorodzinny dwukondygnacyjny, Jest to budynek tradycyjny, murowany. W drugim etapie pracy przeprowadzono analizy LCA dla 5-ciu wariantów termomodernizacji. Dla każdego z zidentyfikowanych wariantów docieplenia przeprowadzono analizy LCA dla wybranych systemów ogrzewania i źródeł energii cieplnej. Następnie przeprowadzono analizy LCA do przyjętych rozwiązań zawierających różne scenariusze powiązań konwencjonalnych źródeł ciepła i OZE na ogrzewanie budynku i przygotowywanie ciepłej wody użytkowej oraz warianty termomodernizacji.

Ocena cyklu życia budynku została przeprowadzona zgodnie z przedstawionym na rysunku schematem postępowania



Rys. 1. Schemat postępowania przy ocenie cyklu życia

3.2 Założenia

Do oceny oddziaływania na środowisko różnych scenariuszy budynków, uwzględniając różne warianty termomodernizacji, stosowane paliwa (odnawialne i konwencjonalne) w całym cyklu życia zastosowano **kompleksową analizę cyklu życia LCA** (Life Cycle Assessment). W przypadku analizowanego budynku mieszkalnego technika LCA posłużyła do analiz oddziaływania poszczególnych materiałów budowlanych na środowisko, a także środowiskowy wpływ poszczególnych źródeł ciepła. Zgodnie z koncepcją LCA, analiza uwzględnia proces produkcyjny poszczególnych materiałów i źródeł ciepła. Dla wszystkich analiz w fazie użytkowania przyjęto ten sam cykl życia równy 20 lat, co odpowiada przeciętnemu okresowi eksploatacji źródła ciepła budynku jednorodzinnego (okres wyznaczony żywotnością instalacji ogrzewania).

Analiza techniką LCA dla budynku została przeprowadzona zgodnie z normą ISO 14044:2006 według czterech etapów:

- określenie celu i zakresu badań
- analiza zbioru wejść i wyjść LCI (Life Cycle Inventory)
- oceny wpływu cyklu życia (Life Cycle Impact Assessment)
- interpretacja cyklu życia

1. Określenie celu i zakresu

Celem analizy LCA była ocena środowiskowa różnych scenariuszy budynku, uwzględniając różne warianty termomodernizacji oraz stosowane źródła ciepła. Zakres analiz obejmował przeprowadzenie oceny cyklu życia dla fazy budowy (w ramach której określono również wpływ produkcji zastosowanych materiałów na środowisko). Zastosowano różne jednostki funkcjonalne w zależności od etapu analiz:

- dla analizy obiektu w fazie budowy oraz dla analizy pięciu wariantów – jako jednostkę funkcjonalną przyjęto powierzchnię budynku – 177,9 m².
- dla analizy LCA źródeł energii cieplnej jako jednostkę funkcjonalną przyjęto zużycie energii do ogrzewania budynku i przygotowania CWU – kWh
- dla analizy infrastruktury źródeł ciepła jako jednostkę funkcjonalną przyjęto – szt.

2. Inwentaryzacja danych (LCI – Life Cycle Inventory)

W zależności od etapu prac, uwzględniano dane dotyczące fazy budowy obiektu i fazy użytkowania:

- Dla domu jednorodzinnego:

- analiza LCI dla pięciu wariantów termomodernizacji,
 - analiza LCI dla konwencjonalnych źródeł ciepła,
 - analiza LCI dla wybranych odnawialnych źródeł,
 - analiza LCI dla 60-ciu scenariuszy cyklu życia budynku uwzględniając fazę budowy i eksploatacji.
- Dla domu wielorodzinnego:
- analiza LCI dla sześciu scenariuszy cyklu życia budynku uwzględniając fazę budowy i eksploatacji.

3. **Ocena wpływu budynku na środowisko** LCIA (Life Cycle Impact Assessment)

Przeprowadzono oceny środowiskowe z zastosowaniem narzędzia SimaPro 7,3 wraz z bazą danych ecoinvent różnych scenariuszy budynku, uwzględniając wybrane warianty termomodernizacji oraz źródła ciepła. W efekcie przeprowadzonych analiz LCA uzyskano szereg wyników w formie wskaźników obliczonych trzema metodami: Ecoindicator 99, IPCC 2007 GWP 100a oraz CML 2 baseline 2000.

- ### 4. **Interpretacja wyników** – uwzględniając wskaźniki środowiskowe przeprowadzono analizy porównawcze wszystkich wariantów i scenariuszy.

3.2.1 Cel i zakres pracy

Określono kilka celów pośrednich:

- Analiza LCA dla budynku mieszkalnego (uwzględniając fazę budowy i użytkowania)
- Analiza LCA dla pięciu wariantów termomodernizacji budynku mieszkalnego jednorodzinnego,
- Analiza LCA dla konwencjonalnych źródeł ciepła oraz dla OZE
- Analiza LCA w całym cyklu życia budynku jednorodzinnego dla 60-ciu scenariuszy (uwzględniając fazę budowy i użytkowania)
- Analiza LCA w całym cyklu życia budynku wielorodzinnego dla sześciu scenariuszy (uwzględniając fazę budowy i użytkowania)

3.2.2 Zdefiniowanie jednostki funkcjonalnej

Zastosowano różne jednostki funkcjonalne w zależności od etapu analiz:

- dla analizy obiektu w fazie budowy oraz dla analizy pięciu wariantów – jako jednostkę funkcjonalną przyjęto powierzchnię budynku – 177,9 m².

- dla analizy LCA źródeł energii cieplnej jako jednostkę funkcjonalną przyjęto zużycie energii do ogrzewania budynku i przygotowania CWU – kWh
- dla analizy infrastruktury źródeł ciepła jako jednostkę funkcjonalną przyjęto – szt.

3.2.3 Granice systemu

Wydobycie - produkcja materiałów i wyrobów budowlanych - etap budowy – etap użytkowania

3.2.4 Jakość danych

Dane do wykonania LCA budynku uzyskano na podstawie kosztorysu, natomiast dla fazy użytkowania na podstawie przeprowadzonych audytów energetycznych.

3.2.5 Wybór metod oceny wpływu

Analizy LCA wykonano trzema metodami:

- metodą Ecoindicator 99 – jednoznaczne przyporządkowanie trzech kategorii szkód: zdrowie człowieka, zużycie zasobów, jakość ekosystemu, Pt
- metoda IPCC GWP 100 – wpływ na emisje gazów cieplarnianych, wyrażony jako ekwiwalent CO₂,
- metoda CML – wskaźnik zubożenia surowców mineralnych i paliw stałych, wyrażony jako równoważnik Sb, antymonu na kg metalu)

I. Uzasadnienie wyboru dla metody IPCC

Metoda IPCC GWP 100a (Intergovernmental Panel on Climate Change Global Warming Potential, 100 years) – umożliwia ocenę wpływu produktu/technologii na emisje gazów cieplarnianych, wskaźnik wyrażony jako ekwiwalent CO₂,

Przegląd literatury dla OZE i paliw kopalnych

Na podstawie przeglądu literatury dotyczącego analizy cyklu życia LCA dla odnawialnych źródeł energii stwierdzono, że najczęściej wykorzystywaną metodą jest metoda IPCC umożliwiająca ocenę emisji gazów cieplarnianych.

Jednym z ważniejszych założeń polityki energetycznej kraju jest ograniczenie zanieczyszczeń środowiska przez stosowanie odnawialnych zasobów energii ze

szczególnym dążeniem do minimalizacji emisji gazów cieplarnianych². Varun i in.³ przeprowadzili analizę LCA (jako ekwiwalent CO₂) dla odnawialnych źródeł energii: turbin wiatrowych, fotowoltaicznego systemu, systemu solarnego, biomasy i energii wodnej oraz systemów konwencjonalnych biorąc pod uwagę tylko emisje gazów cieplarnianych. W publikacji⁴ na podstawie analizy LCA dla kolektorów również stwierdzono, że najistotniejsze jest oddziaływanie gazów cieplarnianych. Analiza cyklu życia ogniw fotowoltaicznych przeprowadzona przez Frankl i in.⁵ również główny nacisk kładzie na emisje gazów cieplarnianych oraz ilość energii zużywanej w cyklu życia. Także w analizie LCA dla wybranych biopaliw oceniono jej użyteczność w realizacji celów związanych z ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia paliw^{6,7}.

II. Uzasadnienie wyboru dla metody Ecoindicator 99

Metoda Ecoindicator 99 - umożliwia przyporządkowanie trzech kategorii szkód: zdrowie człowieka, zużycie zasobów, jakość ekosystemu w jeden wskaźnik wyrażony w Pt (ekopunkty)

Przegląd literatury dla budynków i termomodernizacji

Na podstawie dokonanego przeglądu⁸ stwierdzono, że w Polsce jedyną stosowaną metodą oceny wpływu techniką LCA dla budynków i termomodernizacji jest Ekowskaźnik 99. Dlatego decydując się na wybór tej metody do analizy LCA istnieje możliwość przeprowadzenia analiz porównawczych. Metoda Ecoindicator 99 jest najczęściej stosowaną

² Kurowski K., Efekt ekologiczny, Inwestowanie w energetykę odnawialną, PAN Komisja Ochrony Środowiska, Łódź 2010.

³ Varun, Bhat I.K, Prakash R.: LCA of renewable energy for electricity generation systems—A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (5), 2009.

⁴ Ardente F., Beccali G., Cellura M., Brano V. L.: Life cycle assessment of a solar thermal collector, Renewable Energy 30, 2005.

⁵ Frankl P., Corrado A., Lombardelli S.: Photovoltaic (PV) systems, final report ECLIPSE. European Commission 2004.

⁶ Filip A.: Ocena cyklu życia (LCA) jako narzędzie realizacji wymagań zawartych w projekcie nowelizacji Dyrektywy 98/70/WE, Przemysł chemiczny 88/3, 2009.

⁷ <http://ies.jrc.ec.europa.eu> (18.11.2010).

⁸ Przegląd:

1. Adamczyk J., Dylewski R.: Analiza ekologicznej efektywności kosztowej termoizolacji, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 41/4 (2010) 122÷126
2. Górzyński J., Obciążenia środowiska w produkcji wyrobów budowlanych. Prace naukowe ITB, Warszawa 2004.
3. Górzyński J., Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
4. Adamczyk J., Dylewski R.: Aspekty ekonomiczne i ekologiczne ogrzewania gazem, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 41/3 (2010), 75-79
5. Adamczyk J., Dylewski J.: Korzyści ekonomiczne i środowiskowe termomodernizacji w zależności od stosowanego źródła ciepła, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja nr 6/2009, 5-9
6. Adamczyk J.: Analiza LCA modernizacji źródeł ciepła z kotłami grzewczymi małej mocy, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 41/12 (2010) 448÷450

metodą oceny wpływu na środowisko dla różnych materiałów, produktów czy technologii i w Polsce i na świecie.

III. Uzasadnienie wyboru dla metody CML

Metoda CML umożliwia przedstawienie wpływ na środowiska w kilku wskaźnikach, bez możliwości zsumowania tych wskaźników, gdyż są w zupełnie różnych jednostkach, dlatego decydując się na tą metodę wybrano wskaźnik abiotic depletion – wskaźnik zubożenia surowców mineralnych i paliw stałych, wyrażony jako równoważnik Sb, antymonu na kg metalu). Wybór ten był uzasadniony ważnością kwestii wyczerpywania się paliw przy zastosowaniu konwencjonalnych źródeł ciepła, a także wykorzystując różne materiały i wyroby materiały. W literaturze nie znaleziono wyników analizy LCA dla budynków przeprowadzonych metodą CML.

3.2.6 Procedury obliczeniowe – zastosowanie oprogramowania SimaPro z bazą danych (licencja)

Ze względu na wykorzystanie oprogramowania SimaPro wraz z bazą danych, na który GIG posiada licencję nie ma możliwości komercyjnego wykorzystania istniejącej bazy danych w celu bezpośredniego uzyskania wskaźników jednostkowych. W celu uzyskania wskaźników należałoby wykonać pełną analizę LCA, a to wykracza poza ramy etapu 5 w projekcie. Można potraktować ten temat jako nową koncepcję dla kolejnych projektów dotyczących wykonania analiz LCA w budownictwie.

Nie istnieją wzory na obliczenie wskaźników środowiskowych techniką LCA, dla każdego produktu, jeśli dołoży się element należy uwzględnić kolejny wskaźnik z bazy danych dla tego produktu.

Nie istnieje algorytm obliczania wskaźników środowiskowych w SimaPro, gdyż w zależności od zastosowanej metody oceny wpływu (obecna wersja SimaPro posiada około 16 metod oceny, a których do projektu zastosowano trzy) uwzględniane są różne kategorie wpływu, co wiąże się z innymi wskaźnikami środowiskowymi.

3.2.7 Istota faz budowy i eksploatacji w ocenie cyklu życia

Kompleksowa analiza LCA budynku dla całego cyklu życia (*cradle – to - grave*) uwzględnia następujące fazy:

- fazę wytwarzania materiałów i wyrobów budowlanych,
- fazę budowy,

- fazę użytkowania (eksploatacji),
- fazę likwidacji z uwzględnieniem rozbiórki

Ocena LCA w całym cyklu życia dochodzi nawet do 100 lat. Wymienione fazy charakteryzują się różnymi interwałami czasowymi (od kilku godzin po wiele lat). W przypadku analizowanych budynków w projekcie czas eksploatacji wynosił 20 lat, natomiast faza likwidacji pozostała poza granicami systemu ze względu na trudność wyboru technologii utylizacji i recyklingu materiałów pochodzących z rozbiórki biorąc pod uwagę nawet 100 letni okres użytkowania budynku.

Faza budowy

Faza budowy obejmuje wszystkie materiały i wyroby budowlane potrzebne do wybudowania obiektu wraz z fazą ich produkcji. Przeprowadzając analizę LCA w pierwszej kolejności oprócz celu i zakresu pracy należy określić wszystkie założenia i uwarunkowania analizy.

W celu analizy LCA dla fazy budowy przeprowadzono inwentaryzację wszystkich materiałów i wyrobów budowlanych w odniesieniu do powierzchni budynku, zgodnie z kosztorysem dla ocenianego budynku (jest to analiza LCA typu: „cradle – to - gate”).

W celu przeprowadzenia analizy LCA na etapie budowy – ograniczając analizy do termomodernizacji budynku określono dla każdego wariantu termomodernizacji zużycie wyrobów i materiałów budowlanych (w przeliczeniu na przyjętą jednostkę funkcjonalną). W przypadku przeprowadzonych analiz jednostką funkcjonalną była powierzchnia budynku – 177,9 m².

Etap eksploatacji budynku

Faza użytkowania budynku ściśle związana jest z charakterystyką energetyczną obiektu. Dlatego w celu przeprowadzenia analizy LCA na tym etapie ograniczono analizy do zużycie paliw konwencjonalnych, odnawialnych źródeł energii oraz różnych scenariuszy łączących zużycie paliw i OZE.

3.3 Wyniki analiz LCA – dyskusja wyników

3.3.1 Analiza oceny cyklu życia budynku jednorodzinnego

W ramach etapu 5 przeprowadzono pełną analizę LCA dla etapu budowy i użytkowania obiektu (budynku jednorodzinnego) o powierzchni 177,9 m². Na etapie budowy dokonano oceny środowiskowej pięciu wariantów termomodernizacji. Następnie w fazie użytkowania

budynku przeprowadzono analizę LCA dla różnych źródeł ciepła, a także dla różnych scenariuszy z zastosowaniem odnawialnych źródeł energii zastępujących konwencjonalne nośniki energii. Analiza cyklu życia LCA została przeprowadzona dla 60-ciu scenariuszy trzema metodami oceny wpływu na środowisko: Ecoindicator 99, IPCC 2007 GWP 100a oraz CML. Metoda Ecoindicator 99 umożliwiła jednoznaczne przyporządkowanie trzech kategorii szkód (zdrowie człowieka, wykorzystanie zasobów, jakość ekosystemu) w punktach ekowskaźnika, Pt. Zastosowanie metody IPCC GWP 100a posłużyło do przedstawienia wpływu wszystkich scenariuszy na emisje gazów cieplarnianych (wyrażony jako ekwiwalent CO₂), natomiast metodę CML zastosowano do obliczenia wskaźnika zużycia surowców mineralnych i paliw stałych (abiotic depletion - wyrażony w kg równoważnika Sb – antymonu/kg metalu). W przypadku każdej metody oceny interpretując wyniki należy uwzględnić fakt, że im wyższy poziom ekowskaźnika tym większy potencjalny negatywny wpływ na środowisko.

Analizy LCA przeprowadzono dla przyjętych rozwiązań zawierających różne scenariusze zawierające powiązanie konwencjonalnych źródeł ciepła i OZE na ogrzewanie budynku i przygotowywanie ciepłej wody użytkowej oraz zastosowane warianty termomodernizacji.

Do analiz wybrano następujące OZE:

1. Pompa ciepła do wytworzenia ciepła grzewczego i ciepłej wody użytkowej.
2. Kolektory słoneczne płaskie do wytworzenia ciepłej wody użytkowej.

Doboru ww. urządzeń dokonano dla poszczególnych wariantów termomodernizacji budynku z uwzględnieniem zapotrzebowania na ciepło grzewcze i ciepłą wodę użytkową. Dla każdego z wariantów docieplenia przeprowadzono analizy LCA dla następujących systemów ogrzewania i dla następujących źródeł energii cieplnej:

5. Kocioł gazowy kondensacyjny
6. Kocioł węglowy- węgiel
7. Kocioł olejowy – olej opałowy
8. Elektryczne grzejniki bezpośrednie – energia elektryczna
9. Kocioł na biomasę - pellety

3.3.1.1 Analiza LCA dla budynku mieszkalnego (uwzględniając fazę budowy i użytkowania)

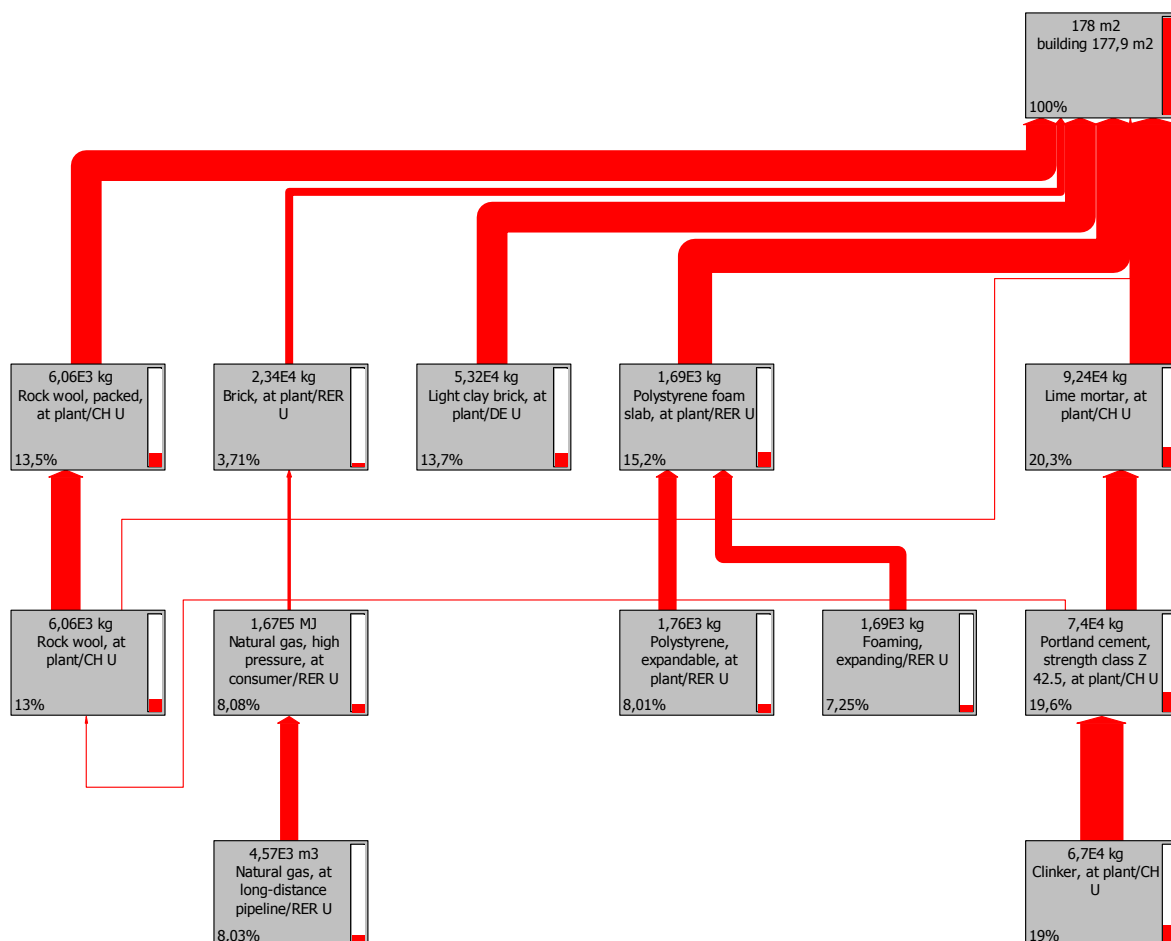
Przeprowadzono analizę LCA dla budynku jednorodzinnego o powierzchni 177,9 m² trzema metodami oceny.

➤ **Ocena środowiskowa dla wybranego budynku (o powierzchni 177,9 m²) metodą Ecoindicator 99**

Do oceny oddziaływania budynku na środowisko w całym cyklu życia zastosowano analizę LCA (Life Cycle Assessment). W ramach projektu przeprowadzono ocenę środowiskową dla wybranego budynku jednorodzinnego o powierzchni użytkowej 177,9 m² (jako wariant bazowy). Celem analizy LCA była ocena środowiskowa budynku jednorodzinnego. Zakres analiz obejmował przeprowadzenie oceny cyklu życia dla fazy budowy (w ramach której określono również wpływ produkcji wszystkich zastosowanych materiałów i wyrobów budowlanych na środowisko). Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto powierzchnię budynku – 177,9 m².

Na podstawie określonych danych i zweryfikowania wszystkich materiałów i wyrobów budowlanych uwzględnionych do budowy obiektu zespół opracował zestawienie materiałów i wyrobów zastosowanych do budowy obiektu o powierzchni 177,9 m².

Największy wpływ na środowisko spowodowane etapem budowy (gdzie również uwzględniono fazę produkcji materiałów stosowanych do budowy) ma podkładowa masa tynkarska (20,3% obciążenie środowiska), styropian (15,2%), cegła dziurawka (13,7%) oraz wełna mineralna (13,5%). Na drzewie oddziaływań dla analizowanego budynku o powierzchni 177,9 m² przedstawiono materiały które najbardziej obciążają środowisko (rys 1). Wynik obciążenia środowiska na podstawie **analizy życia LCA dla budynku** o powierzchni 177,9 m² wynosi **9280,6 Pt**.

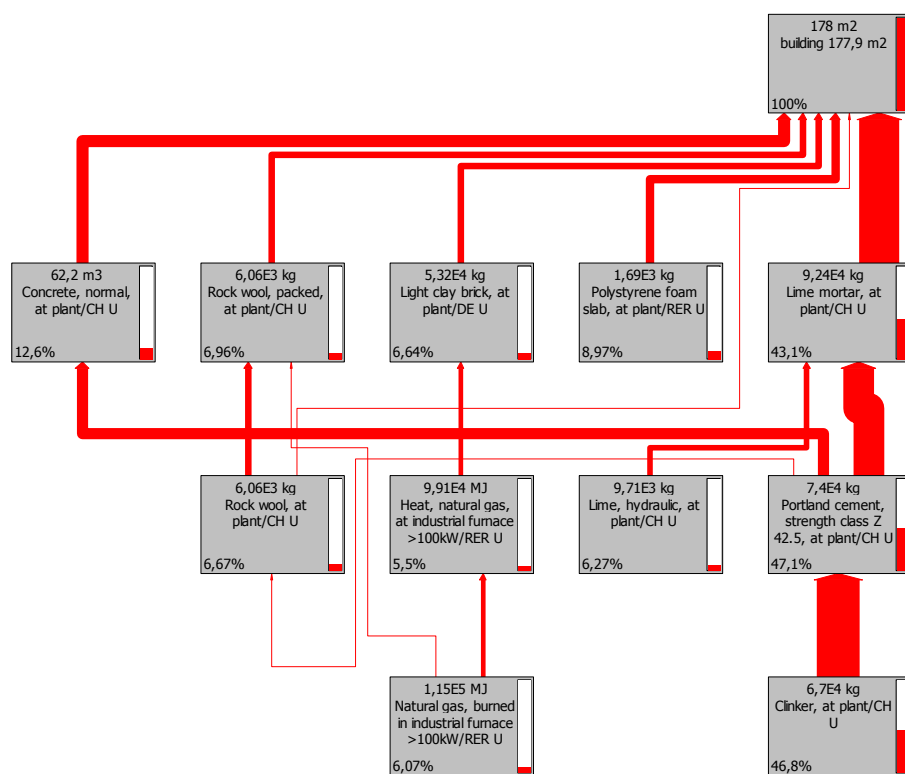


Rys. 2. Drzewo oddziaływań na środowisko budowy domu jednorodzinnego o powierzchni 177,9 m²

➤ **Ocena środowiskowa dla wybranego budynku (o powierzchni 177,9 m²) metodą IPCC 2007 GWP 100a**

Na podstawie analizy LCA stwierdzono, że największy wpływ na środowisko spowodowane etapem budowy (gdzie również uwzględniono fazę produkcji materiałów stosowanych do budowy) ma podkładowa masa tynkarska (43,1 % obciążenie środowiska), beton (12,6) oraz styropian (8,97%). Na drzewie oddziaływań dla analizowanego budynku o powierzchni 177,9 m² przedstawiono materiały, które najbardziej wpływają na globalne ocieplenie –rys 2.

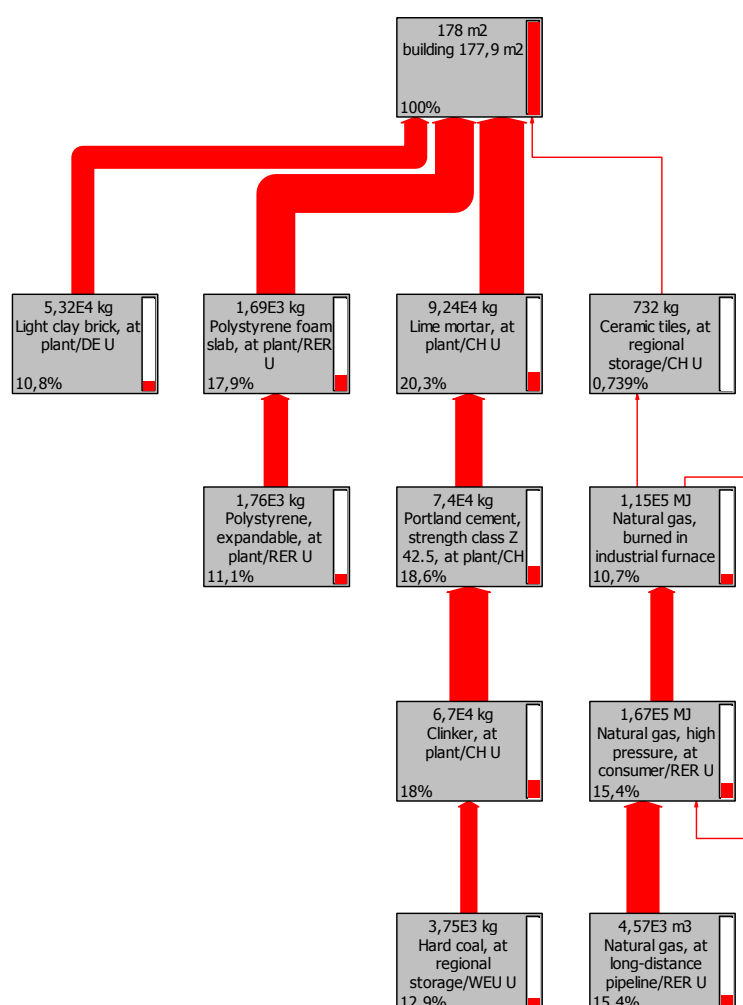
Obciążenie środowiska na podstawie **analizy życia LCA metodą IPCC GWP 100a dla budynku** o powierzchni 177,9 m² wynosi 128812,5 kg CO₂ eq.



Rys. 3. Drzewo oddziaływań na środowisko budowy domu jednorodzinnego o powierzchni 177,9 m², metodą IPCC

➤ **Ocena środowiskowa dla wybranego budynku (o powierzchni 177,9 m²) metodą CML**

Największy wpływ na środowisko według metody IPCC spowodowane etapem budowy (gdzie również uwzględniono fazę produkcji materiałów stosowanych do budowy) ma podkładowa masa tynkarska (20,3 % obciążenie środowiska), styropian (17,9 %) oraz cegła dziurawka (10,8%). Na drzewie oddziaływań dla analizowanego budynku o powierzchni 177,9 m² przedstawiono materiały które najbardziej powodują zubożenie zasobów i minerałów (rys 3). Wynik obciążenia środowiska na podstawie **analizy życia LCA dla budynku** o powierzchni 177,9 m² wynosi 619,5186 kg Sb eq



Rys. 4. Drzewo oddziaływań na środowisko budowy domu jednorodzinnego o powierzchni 177,9 m², metodą CML, kg Sb eq

3.3.1.2 Analiza LCA dla pięciu wariantów termomodernizacji budynku mieszkalnego jednorodzinnego

W drugim etapie pracy przeprowadzono analizy LCA dla 5-ciu wariantów termomodernizacji:

6. Wariant 1 „podstawowy”: budynek z wentylacją grawitacyjną, termoizolacja:

Ściana: wełna mineralna 12 cm,

Dach: wełna mineralna 20 cm,

Strop nad parterem: styropian 3 cm,

Strop nad poddaszem: wełna mineralna 5 cm,

Okna zewnętrzne, podwójnie szklone $U=2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Okna dachowe: $U=2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Drzwi wejściowe do budynku: $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Drzwi wejściowe do garażu: $U=2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$,

7. Wariant 2: budynek z wentylacją grawitacyjną, termoizolacja:

Ściana: płyta WEBER 14 cm zastąpiła wełnę mineralną (zastosowaną w wariantcie 1),

Dach: wełna mineralna 22 cm,

Podłoga w garażu: płyta FALTJET 18 cm,

Podłoga część mieszkalna – parter: płyta FALTJET 17 cm,

Okna zewnętrzne, podwójnie szklone $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Okna dachowe: $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Drzwi wejściowe do budynku: $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Drzwi wejściowe do garażu: $U=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$,

8. Wariant 3: budynek z wentylacją grawitacyjną, termoizolacja:

Ściana: płyta WEBER 14 cm dodana do wełny mineralnej zastosowanej w wariantcie 1,

Dach: wełna mineralna 22 cm,

Podłoga w garażu: płyta FALTJET 18 cm,

Podłoga część mieszkalna – parter: płyta FALTJET 17 cm,

Okna zewnętrzne, podwójnie szklone $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Okna dachowe: $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Drzwi wejściowe do budynku: $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Drzwi wejściowe do garażu: $U=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$,

9. Wariant 4: budynek z wentylacją mechaniczną, termoizolacja:

Ściana: płyta WEBER 20 cm zastąpiła wełnę mineralną (zastosowaną w wariantcie 1),

Dach: wełna mineralna 32 cm,

Podłoga w garażu: płyta FALTJET 18 cm,

Podłoga część mieszkalna – parter: płyta FALTJET 17 cm,

Okna zewnętrzne, podwójnie szklone $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Okna dachowe: $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Drzwi wejściowe do budynku: $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Drzwi wejściowe do garażu: $U=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$,

10. **Wariant 5: budynek z wentylacją mechaniczną, termoizolacja:**

Ściana: płyta WEBER 20 cm dodana do wełny mineralnej zastosowanej w wariantcie 1,

Dach: wełna mineralna 22 cm,

Podłoga w garażu: płyta FALTJET 18 cm,

Podłoga część mieszkalna – parter: płyta FALTJET 17 cm,

Okna zewnętrzne, podwójnie szklone $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Okna dachowe: $U=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$,

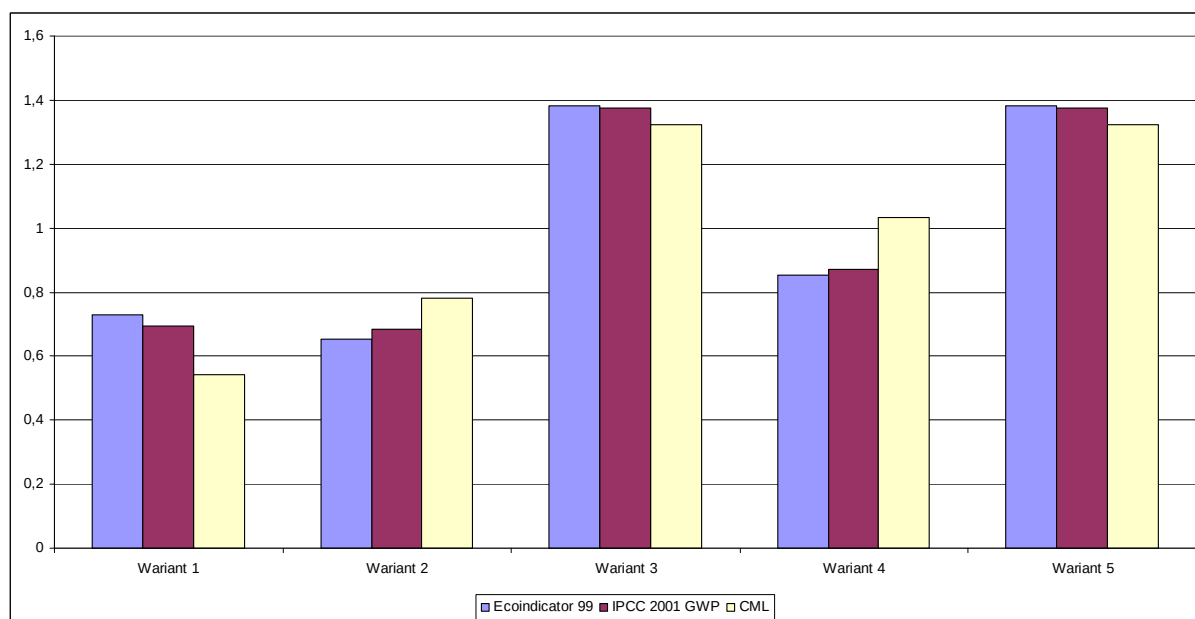
Drzwi wejściowe do budynku: $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Drzwi wejściowe do garażu: $U=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$,

Przeprowadzono analizy LCA dla 5-ciu wariantów termomodernizacji. W tablicy 1 przedstawiono wyniki analizy LCA dla tych wariantów. Na podstawie przeprowadzonej analizy metodą Ecoindicator 99 stwierdzono, że wariant drugi ma najniższy wskaźnik środowiskowy wynoszący 1115,50 Pt na powierzchnię budynku, czyli jest najbardziej efektywny środowiskowo, a związane jest to z najmniejszym zużyciem wełny mineralnej oraz piany fenolowej jako materiałów izolacyjnych. Jednakże inaczej jest w przypadku oceny przeprowadzonej metodą CML, gdzie najniższy wskaźnik środowiskowy ma wariant 1 (wynosi 63,25 kg Sb eq na powierzchnię budynku), co oznacza że w przypadku tego wariantu występuje najniższe zużycie paliw i surowców mineralnych. Na rys. 4. przedstawiono wartości względne uzyskanych wyników analiz LCA dla wszystkich wariantów termomodernizacji.

Tabela 1. Wskaźniki środowiskowe dla wybranych termomodernizacji budynku obliczone trzema metodami

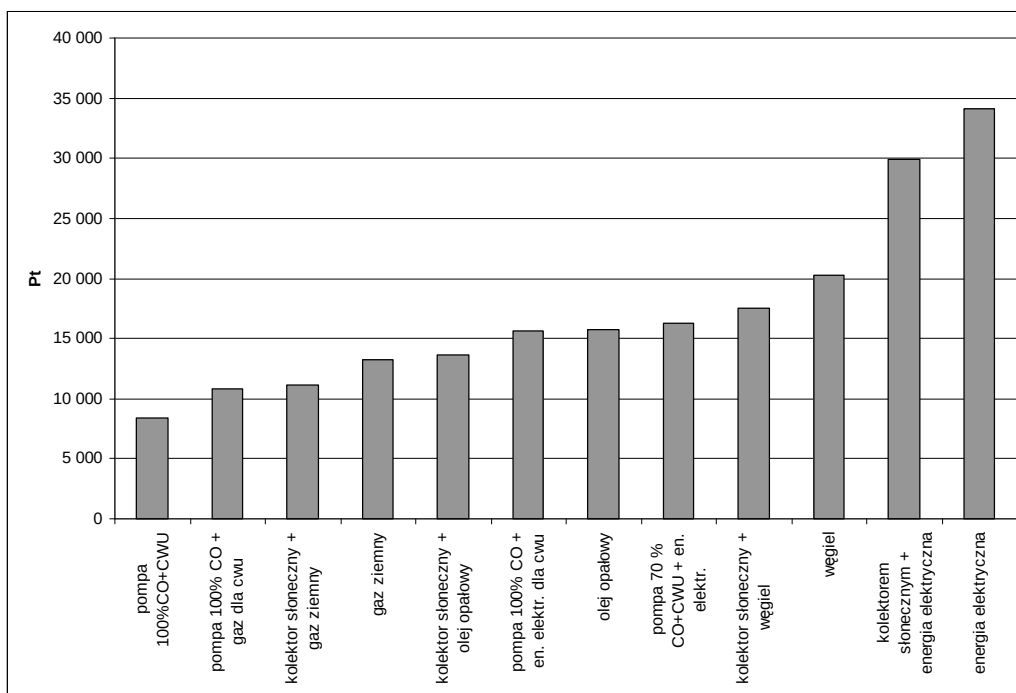
Wariant	Ecoindicator 99 Total	IPCC 2001 GWP Global warming	CML 2 baseline 2000 Abiotic depletion
	Pt	kg CO ₂ eq	kg Sb eq
Wariant 1	1 242,57	8 895,05	63,25
Wariant 2	1 115,50	8 775,91	91,29
Wariant 3	2 358,06	17 670,96	154,54
Wariant 4	1 455,93	11 159,93	120,65
Wariant 5	2 358,06	17 670,96	154,54



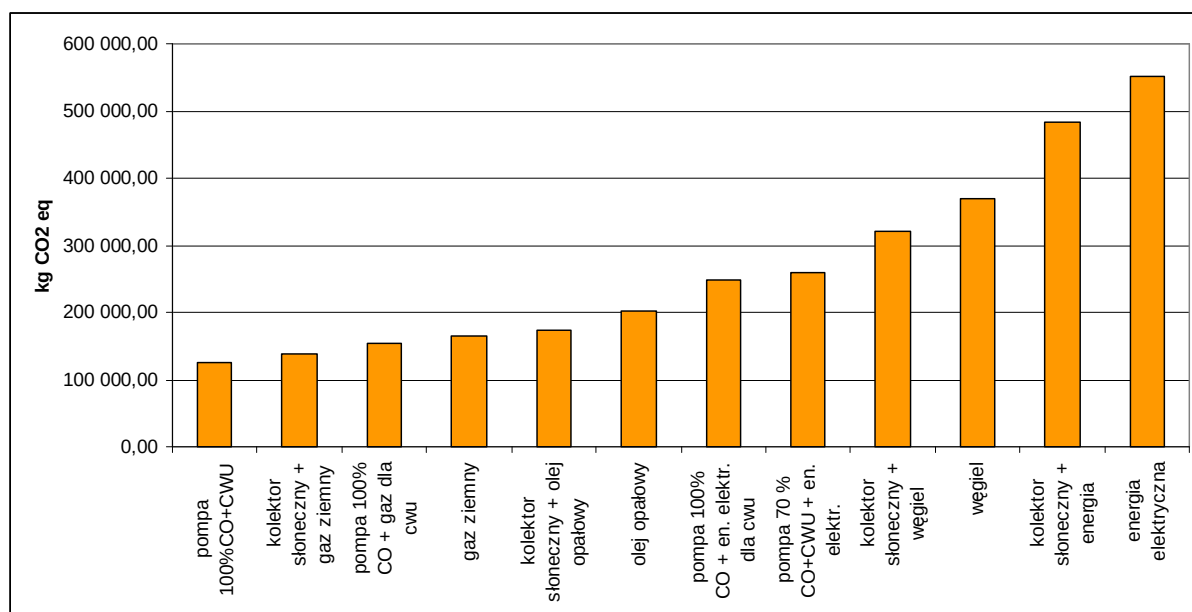
Rys. 5. Analiza LCA wariantów termomodernizacji - graficzna interpretacja wyników (wartości względne)

3.3.1.3 Analiza LCA w całym cyklu życia budynku jednorodzinnego dla 60-ciu scenariuszy (uwzględniając fazę budowy i użytkowania)

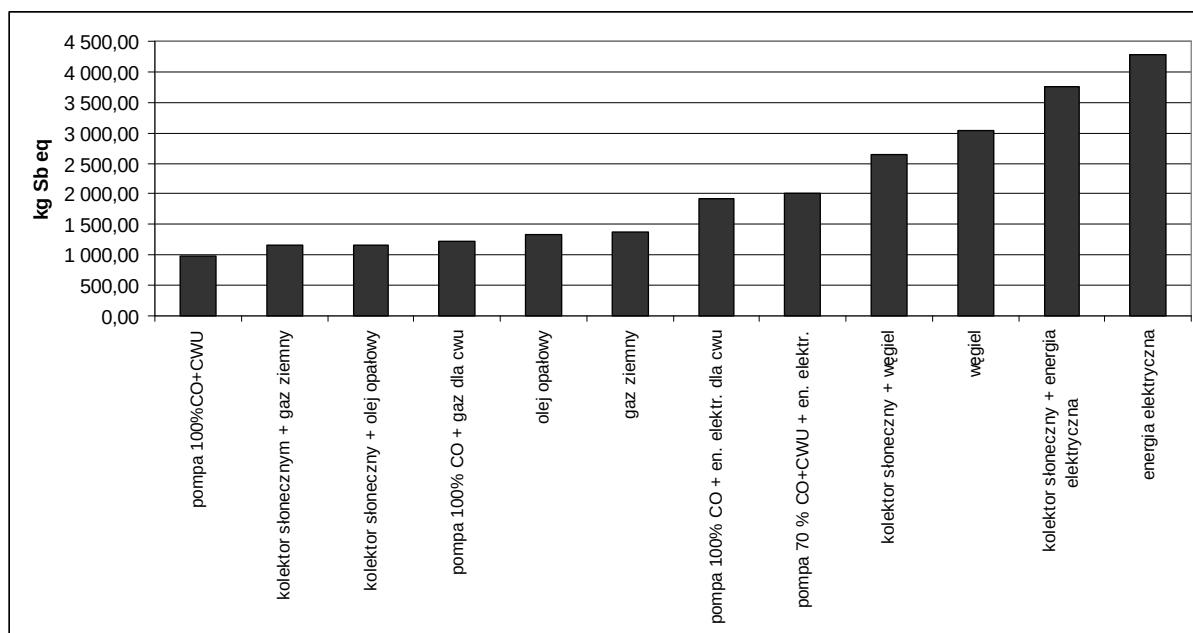
Przeprowadzono ocenę środowiskową dla różnych scenariuszy powiązań pięciu wariantów i czterech źródeł energii cieplnej (gaz ziemny, węgiel, olej opałowy i energia elektryczna) w odniesieniu do przyjętej jednostki funkcjonalnej. Wyniki analiz LCA w fazie budowy uwzględniają stosowaną termomodernizację, natomiast w fazie użytkowania uwzględniają ogrzewanie oraz ciepłą wodę użytkową dla 20-letniego okresu użytkowania. Na poniższych rysunkach przedstawiono wyniki analizy wszystkich scenariuszy trzema metodami oceny dla wariantu 4 termomodernizacji. Na podstawie analizy każdą metodą oceny wpływu stwierdzono, że najwyższy wskaźnik środowiskowy występuje dla wariantu z energią elektryczną, natomiast najniższy w przypadku stosowania OZE.



Rys. 6. Wyniki analizy LCA różnych scenariuszy rozwiązań źródeł ciepła dla wariantu 4 metodą Ecoindicator 99.



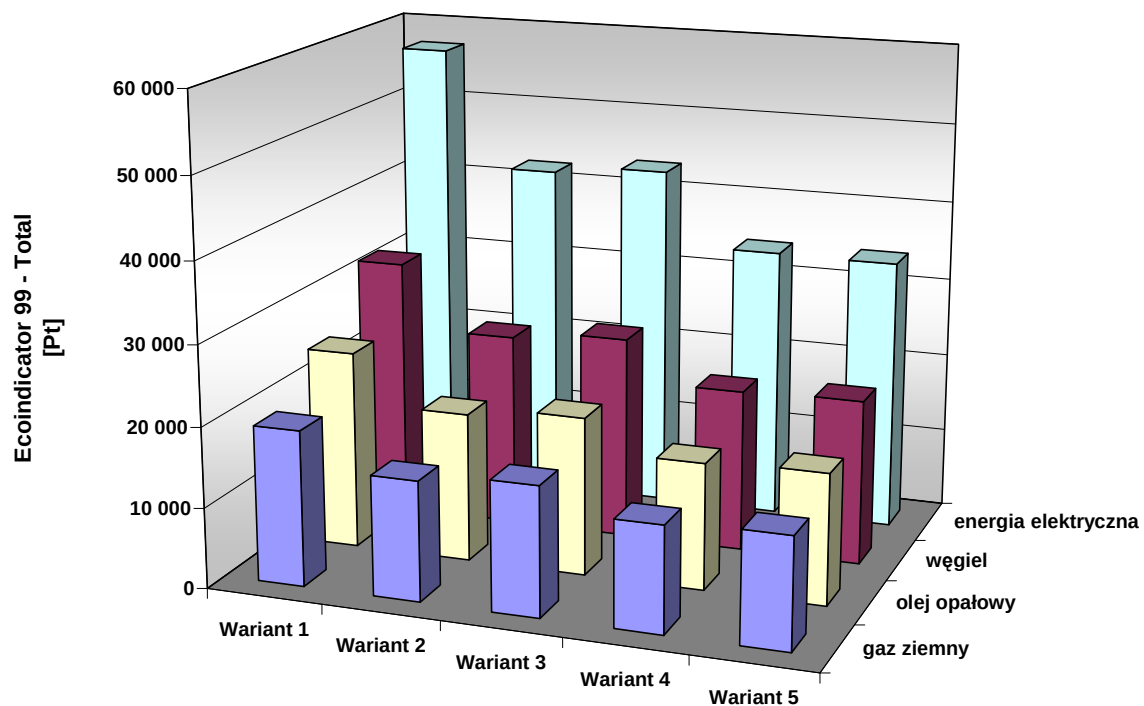
Rys. 7. Wyniki analizy LCA różnych scenariuszy rozwiązań źródeł ciepła dla wariantu 4 metodą IPCC 2007 GWP 100a.



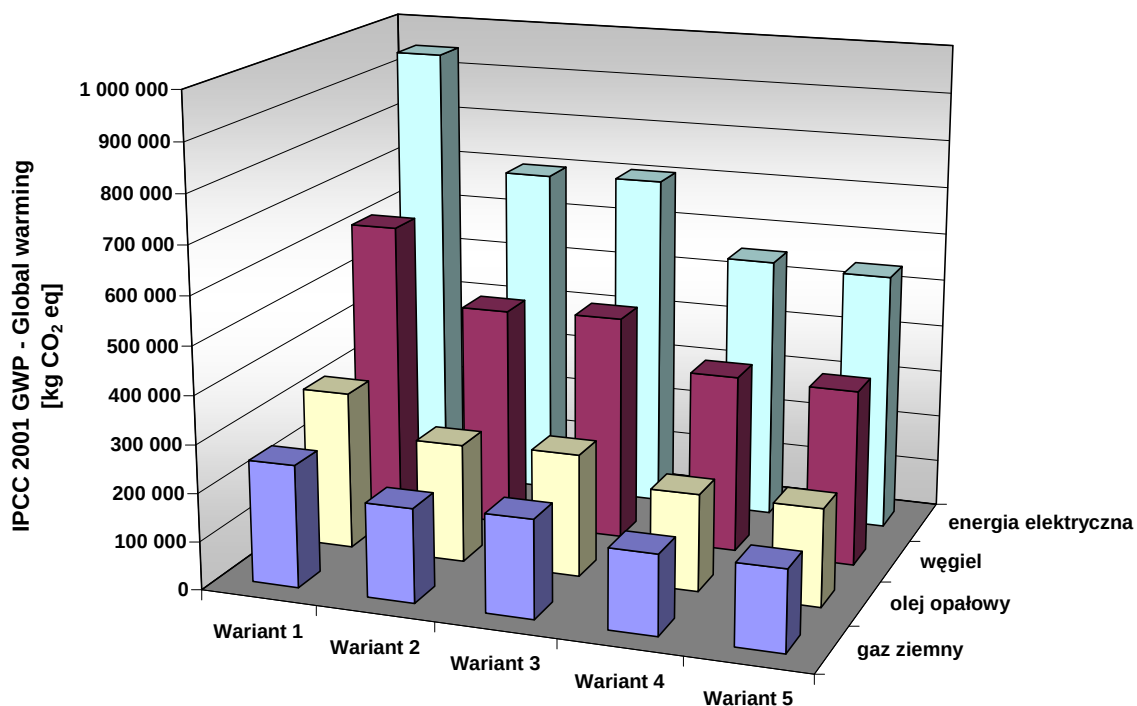
Rys. 8. Wyniki analizy LCA różnych scenariuszy rozwiązań źródeł ciepła dla wariantu 4 metodą CML 2 baseline 2000.

Na podstawie oceny cyklu życia LCA przeprowadzonej według metody Ecoindicator 99 dla 60-ciu scenariuszy termomodernizacji stwierdzono, że najbardziej efektywnym środowiskowo jest scenariusz „wariant 4 - pompa (100%CO+CWU)”, z najniższym ekowskaźnikiem wynoszącym 8 352,31 Pt w całym cyklu życia (przy uwzględnieniu etapu budowy i 20-letniego okresu eksploatacji). Zgodnie z metodą IPCC 2007 GWP 100a scenariusz najlepszy „wariant 4 - pompa 100% CO+CWU” – o najniższym wpływie na emisje gazów cieplarnianych - wynosi 126265,1 kg CO₂ eq w całym cyklu życia, natomiast scenariusz o najwyższym wskaźniku wpływu na emisje gazów cieplarnianych „wariant 1 - energia elektryczna” wynosi 946061,83 kg CO₂ eq i jest 5-krotnie wyższy od scenariusza najlepszego. Zgodnie z metodą CML określono dla każdego scenariusza wskaźnik zużycia surowców mineralnych i paliw stałych. Najniższą wartość tego wskaźnika ma również scenariusz „wariant 4 - pompa 100% CO+CWU” i wynosi 978,51 kg Sb eq w całym cyklu życia, natomiast scenariusz najgorszy „wariant 1 – energia elektryczna” wynosi 7288,55 kg Sb eq i jest 7-krotnie wyższy w porównaniu ze scenariuszem najlepszym.

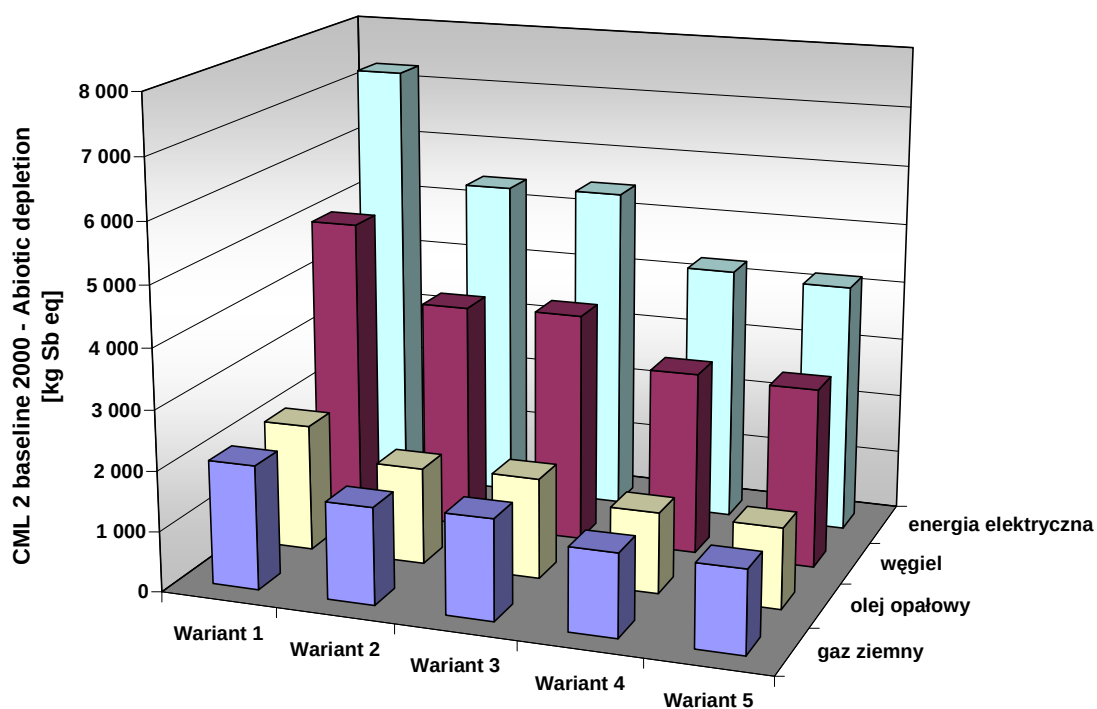
Na poniższych wykresach przedstawiono graficznie wyniki analiz LCA dla przyjętych wariantów rozwiązań technicznych i metod oceny.



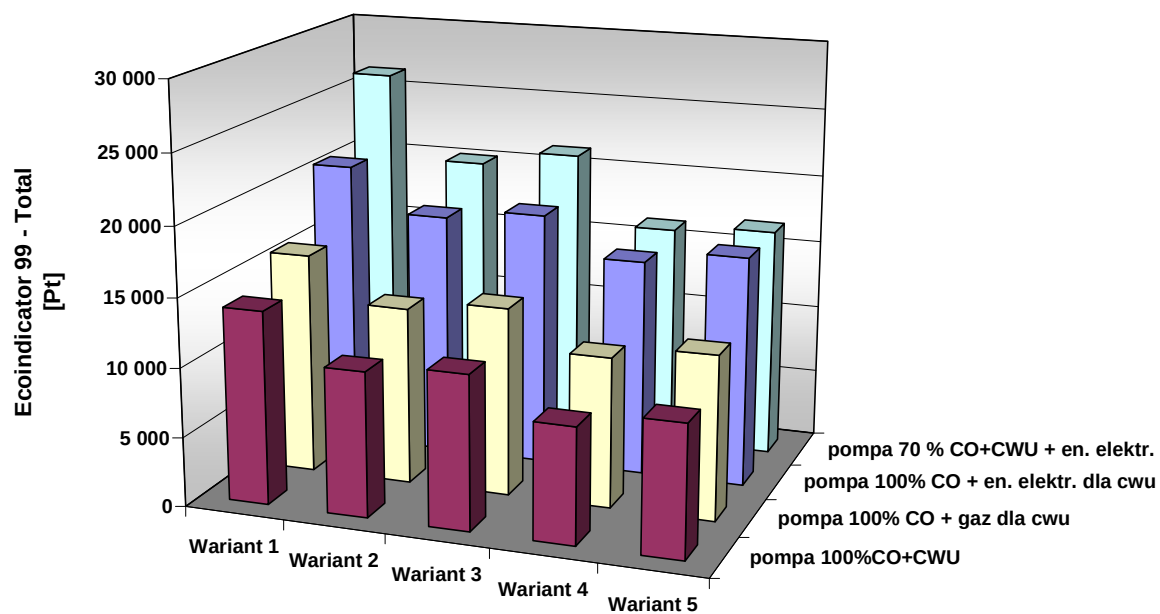
Rys. 9. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą Ecoindicator – bez zastosowania rozwiązań wykorzystujących OZE



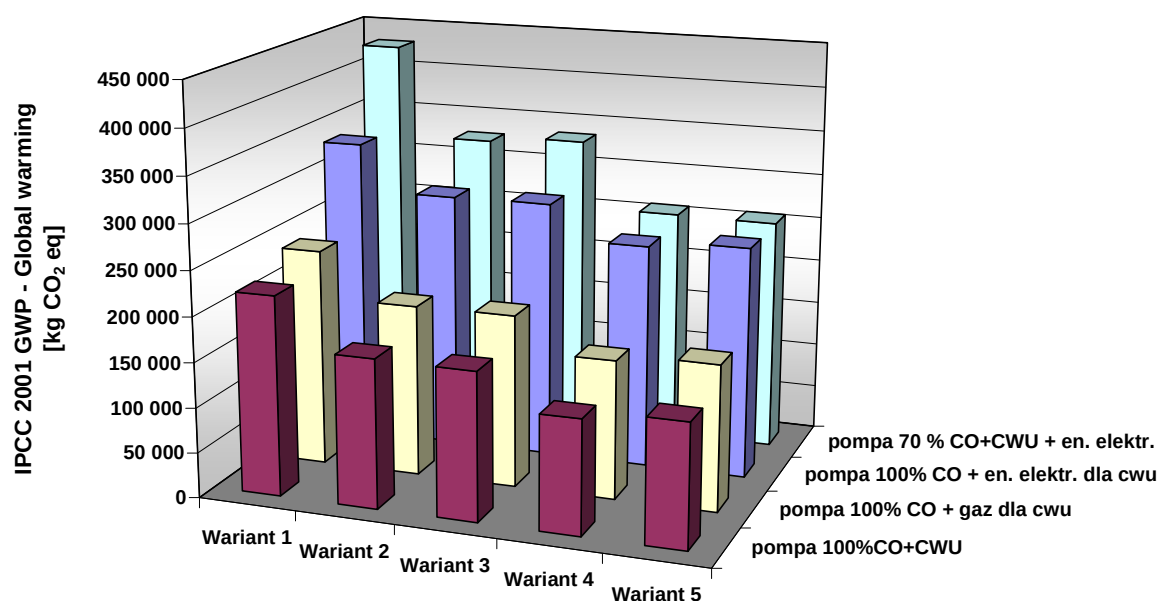
Rys. 10. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą IPCC2001 Global Warming – bez zastosowania rozwiązań wykorzystujących OZE



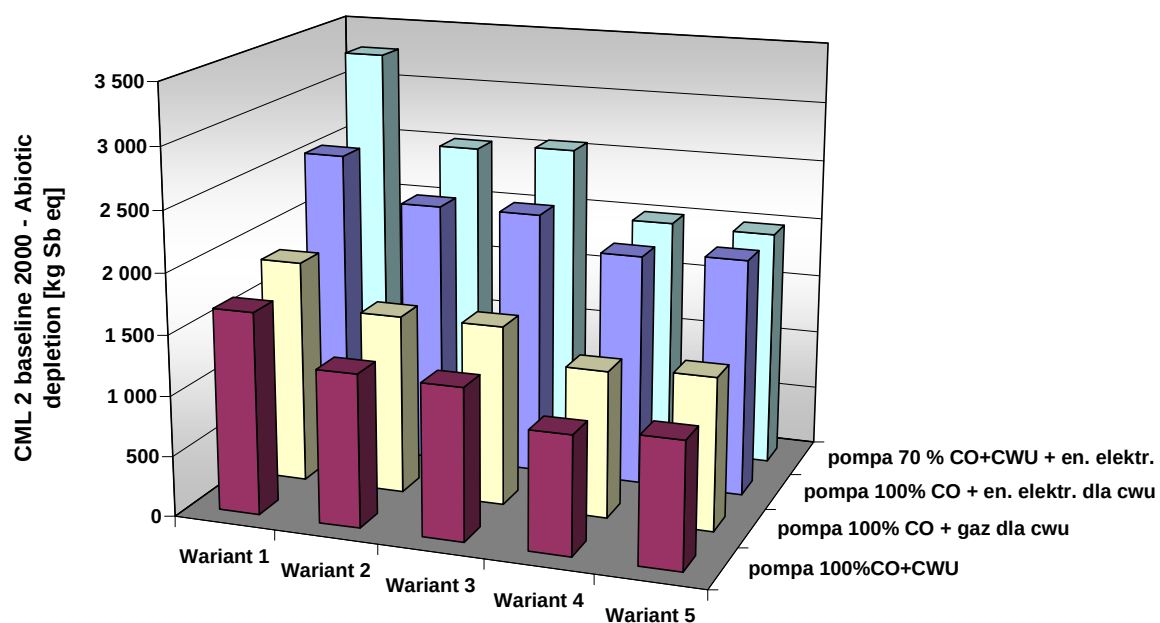
Rys. 11. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą CML 2 baseline 2000 Abiotic Depletion – bez zastosowania rozwiązań wykorzystujących OZE



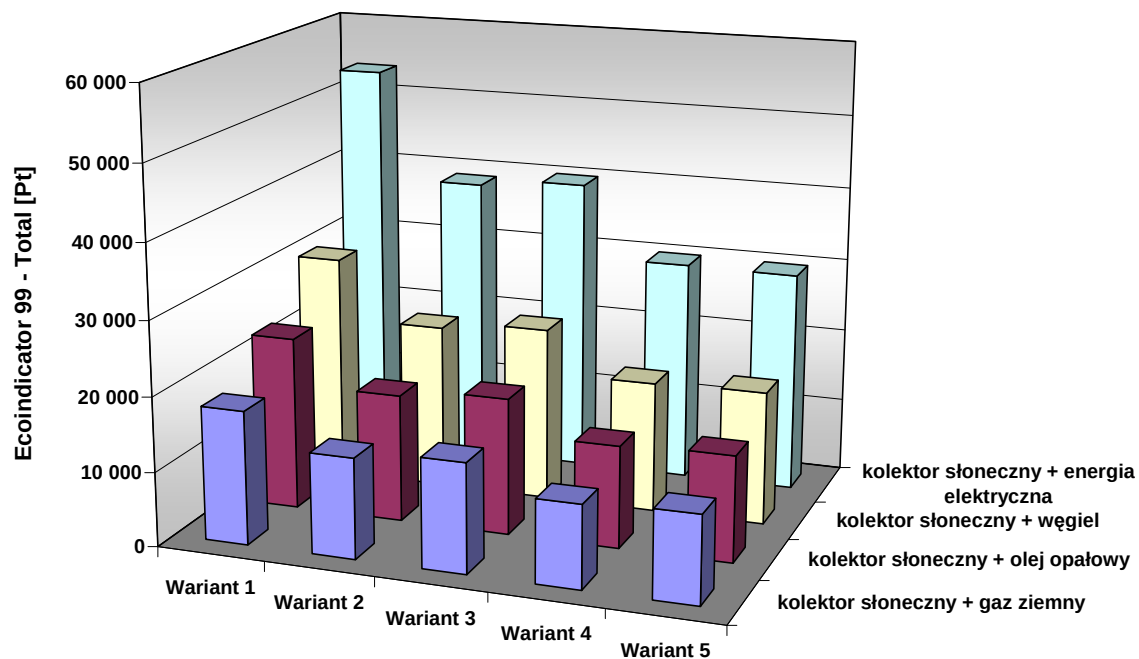
Rys. 12. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą Ecoindicator – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: pompa ciepła



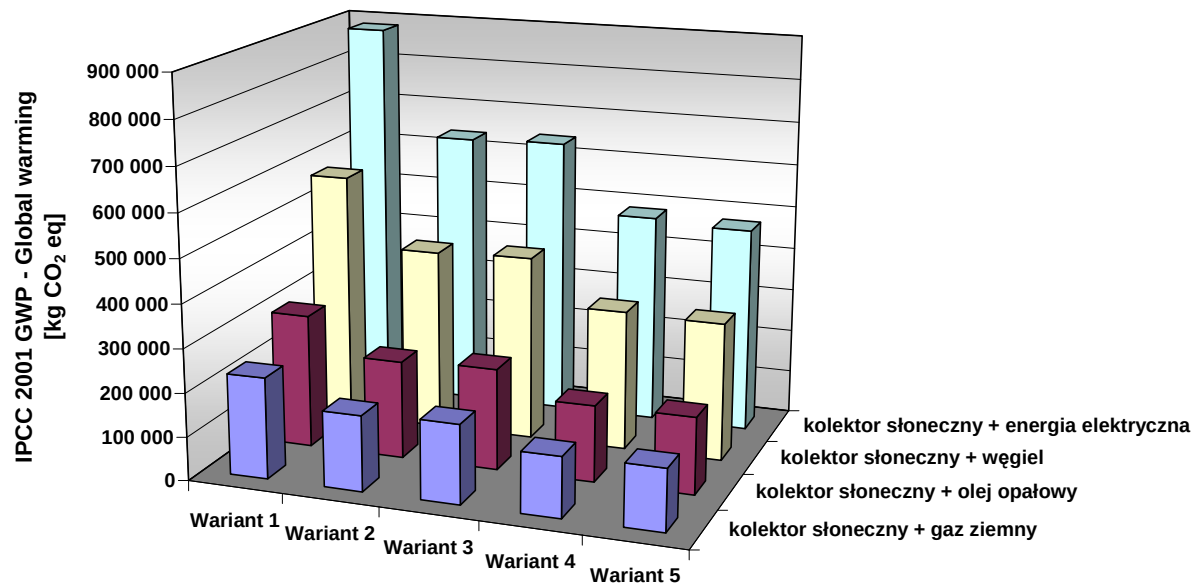
Rys. 13. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą IPCC2001 Global Warming – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: pompa ciepła



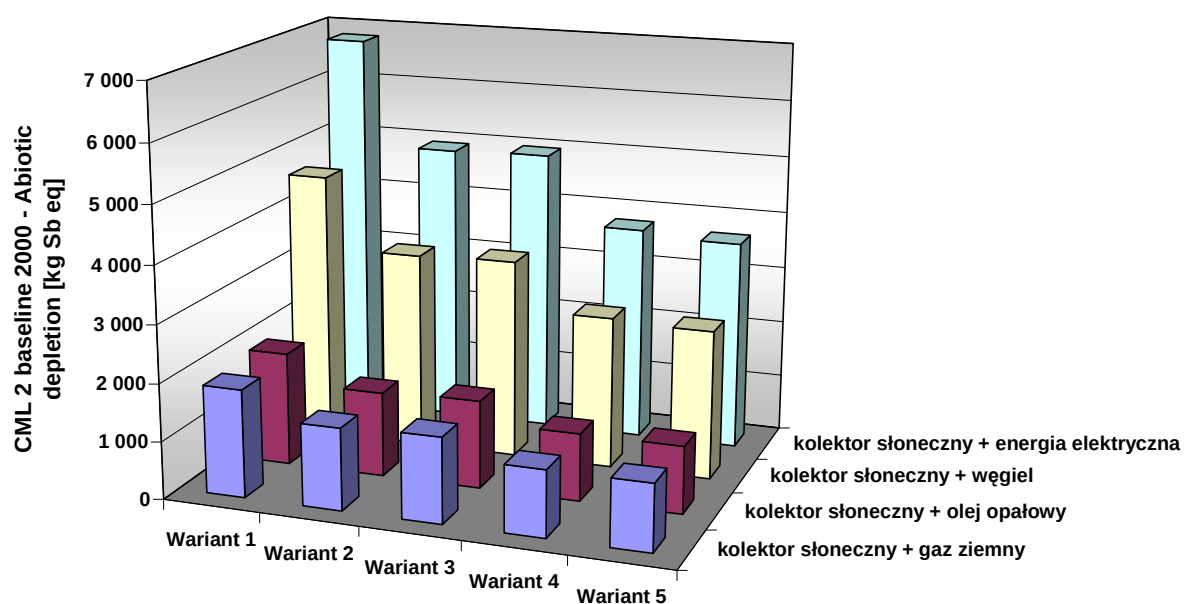
Rys. 14. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą CML 2 baseline 2000 Abiotic Depletion – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: pompa ciepła



Rys. 15. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą Ecoindicator – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: kolektor słoneczny



Rys. 16. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą IPCC2001 Global Warming – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: kolektor słoneczny



Rys. 17. Wyniki analiz LCA dla budynku jednorodzinnego metodą CML 2 baseline 2000 Abiotic Depletion – z zastosowaniem rozwiązań wykorzystujących OZE: kolektor słoneczny

Analiza graficznego przedstawienia uzyskanych wyników obliczeń dla budynku jednorodzinnego pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

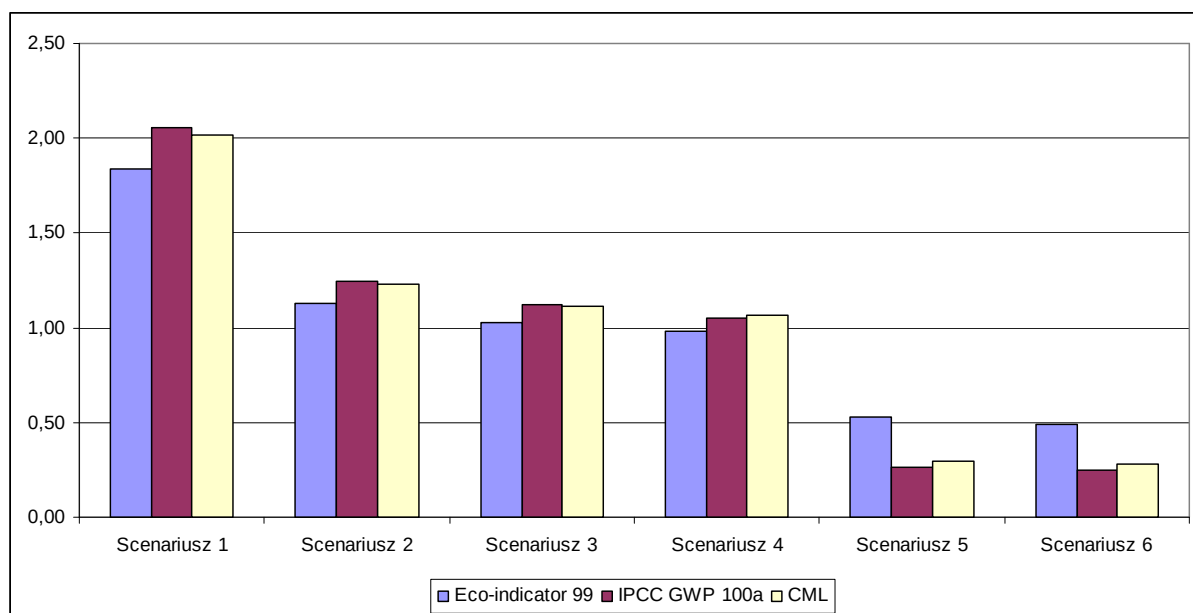
1. W przypadku wariantów nie obejmujących zastosowanie OZE najkorzystniejsze wyniki (najmniejsze obciążenie środowiska) uzyskano przy wykorzystaniu gazu ziemnego jako paliwa. Najmniej korzystne wyniki uzyskano w przypadku zastosowania energii elektrycznej do ogrzewania budynku. Sytuacja taka wynika z faktu, że produkcja energii elektrycznej wiąże się z większą emisją zanieczyszczeń (przede wszystkim CO₂ i odpady stałe) w przeliczeniu na jednostkę energii cieplnej dostarczonej do budynku. W Polsce energia elektryczna jest bowiem wytwarzana głównie z węgla – kamiennego i brunatnego. Natomiast dobry wynik gazu ziemnego potwierdza jego pozycję jako jednego z najczystszych paliw kopalnych. Analogiczne wyniki uzyskano przy zastosowaniu wszystkich trzech metod analiz LCA, przy czym metoda CML 2 baseline 2000 Abiotic Depletion daje bardzo zbliżone wyniki dla gazu ziemnego i oleju opałowego.
2. Najkorzystniejsze z punktu widzenia obciążenia środowiska są rozwiązania termomodernizacyjne zastosowane w Wariacie 4. Wariant 5, mimo że cechuje się najniższym zużyciem energii na ogrzewanie budynku w okresie eksploatacji, wiąże się jednak z najwyższymi obciążeniami fazy budowy (największe zużycie materiałów termomodernizacyjnych).

3. Zastosowanie pompy ciepła do celów grzewczych oraz przygotowania CWU daje bardzo duże zmniejszenie obciążenia środowiskowego budynku w przypadku stosowania energii elektrycznej na potrzeby grzewcze – na poziomie 50÷80%, w zależności od wariantu i stopnia wykorzystania pompy ciepła. Analiza pokazuje jednak, że tylko nieco gorsze wyniki analiz LCA w stosunku do rozwiązań z pompą ciepłą uzyskano dla wariantów bez wykorzystania OZE, ale z zastosowaniem gazu ziemnego jako źródła ciepła.
4. Kolektory słoneczne pozwalają obniżyć obciążenie środowiska na poziomie 5÷15% w całym cyklu życia budynku, co świadczy, że obciążenia związane z fazą ich produkcji są znacznie mniejsze, niż korzyści wynikające z ich stosowania do przygotowania CWU. Jednak ze względu na ograniczenia klimatyczne w ich stosowaniu poziom korzyści ekologicznych jest znacznie mniejszy, niż przy zastosowaniu pomp ciepła.

3.3.2 Analiza oceny cyklu życia budynku wielorodzinnego

W kolejnym etapie badań przeprowadzono ocenę cyklu życia budynku wielorodzinnego. W ramach analizy w granicach systemu uwzględniono fazę budowy oraz fazę eksploatacji budynku w okresie 20 lat. Analiza LCA została przeprowadzona również trzema metodami oceny wpływu jak w przypadku budynku jednorodzinnego.

Na podstawie analizy cyklu życia uzyskano wyniki przedstawione w tablicy 2. W etapie inwentaryzacji danych (LCI - Life Cycle Inventory) określono dane dotyczące materiałów izolacyjnych, zapotrzebowanie na energię końcową - ogrzewanie, wentylacja, c.w.u. oraz stosowanych urządzeń (kotły, piece) dla każdego wariantu. Na rys.8 przedstawiono wartości względne uzyskanych wyników analiz LCA w celu analizy porównawczej wszystkich scenariuszy zgodnie z trzema metodami oceny wpływu (Ecoindicator 99, IPCC 2007 GWP 100a oraz CML).



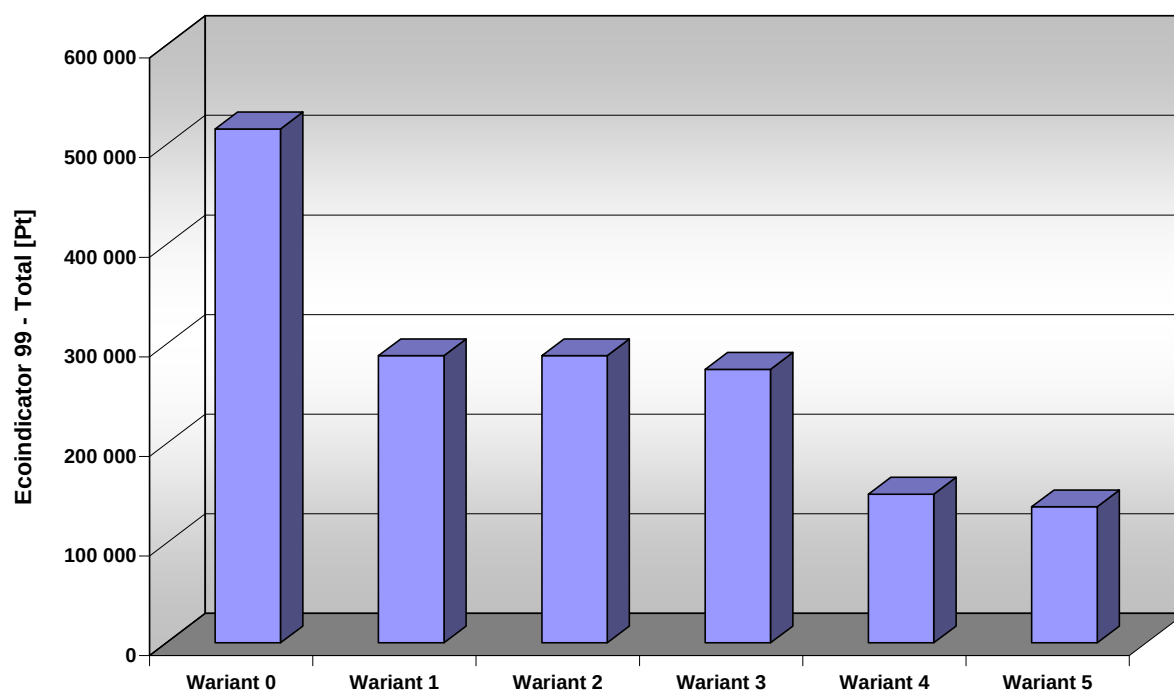
Rys. 18. Wyniki LCA dla wszystkich wariantów w całym cyklu życia – graficzna interpretacja wyników (wartości względne)

Rys. 19. Wskaźniki środowiskowe dla analizowanych scenariuszy budynku wielorodzinnego

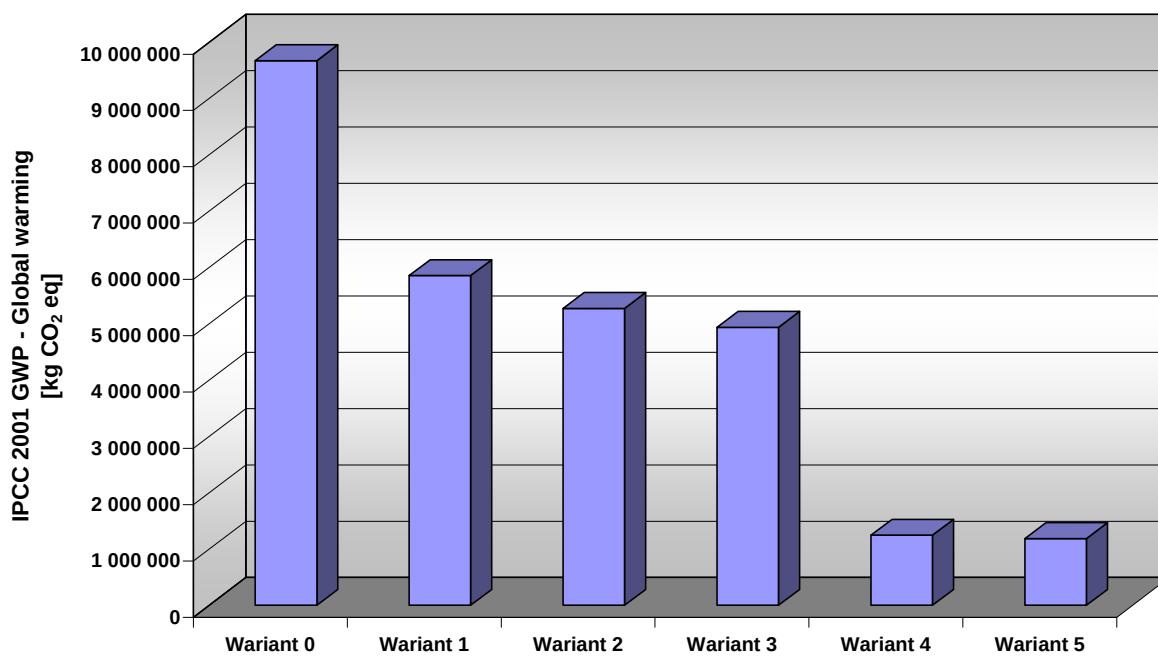
L.p.	Scenariusze	Wskaźnik	Jednostka	Wskaźnik środowiskowy	Udział okresu eksploatacji w wyniku
1	Wariant 0 - stan istniejący	Eco-indicator 99	Pt	515 894,28	99,5%
		IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq	9 669 225,89	99,7%
		CML 2 baseline 2000	kg Sb eq	63 659,88	99,8%
2	Wariant 1 - termomodernizacja pod ustawę, wentylacja grawitacyjna	Eco-indicator 99	Pt	316 106,35	97,5%
		IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq	5 856 429,77	98,9%
		CML 2 baseline 2000	kg Sb eq	38 732,23	98,5%
3	Wariant 2 - termomodernizacja w kierunku budynku pasywnego (okna u=0,8, szyba dwukomorowa, ściany ok. u=0,1, wentylacja grawitacyjna)	Eco-indicator 99	Pt	288 282,77	95,5%
		IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq	5 270 728,31	98,1%
		CML 2 baseline 2000	kg Sb eq	35 100,47	97,1%
4	Wariant 3 - termomodernizacja w kierunku budynku pasywnego, wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła o sprawności 0,75	Eco-indicator 99	Pt	274 584,34	95,1%
		IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq	4 935 449,08	97,9%
		CML 2 baseline 2000	kg Sb eq	33 562,66	96,9%
5	Wariant 4 - termomodernizacja w kierunku budynku pasywnego, wentylacja mechaniczna, kotłownia na biomasę na cele grzewcze	Eco-indicator 99	Pt	149 362,52	90,2%
		IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq	1 244 747,66	90,7%
		CML 2 baseline 2000	kg Sb eq	9 206,47	88,2%
6	Wariant 5 - termomodernizacja w kierunku budynku pasywnego, wentylacja mechaniczna, kotłownia na biomasę na cele grzewcze, przygotowanie CWU: 50% kotłownia, 50% kolektory słoneczne	Eco-indicator 99	Pt	136 695,35	87,9%
		IPCC GWP 100a	kg CO ₂ eq	1 186 763,33	89,5%
		CML 2 baseline 2000	kg Sb eq	8 847,36	87,0%

Stwierdzono, że najniższym wskaźnikiem środowiskowym w przypadku zastosowania każdej metody charakteryzuje się scenariusz 6, w którym użyto termomodernizację w kierunku budynku pasywnego, wentylację mechaniczną, natomiast w fazie eksploatacji budynku zastosowano kotłownię na biomasę na cele grzewcze, oraz do przygotowania CWU wykorzystano proporcjonalnie: 50% kotłownia i 50% kolektory słoneczne.

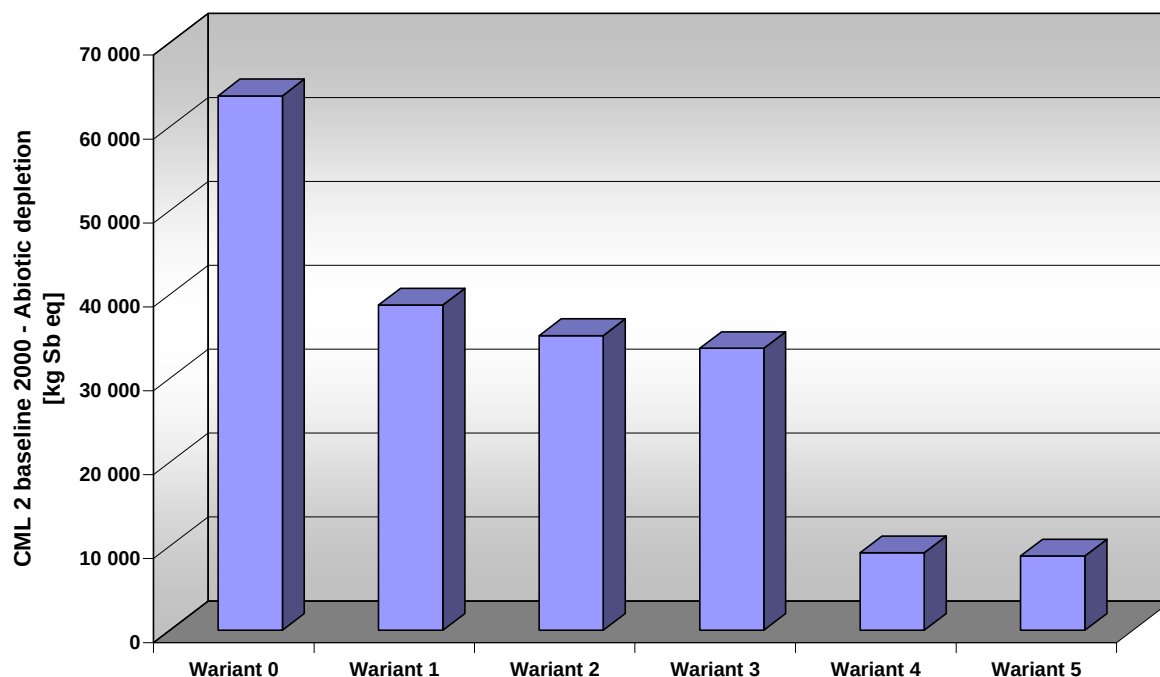
Na poniższych wykresach przedstawiono łącznie wyniki analiz LCA wykonanych dla budynku jednorodzinne.



Rys. 20. Wyniki analiz LCA dla budynku wielorodzinnego metodą Ecoindicator



Rys. 21. Wyniki analiz LCA dla budynku wielorodzinnego metodą IPCC2001 Global Warming



Rys. 22. Wyniki analiz LCA dla budynku wielorodzinnego metodą CML 2 baseline 2000 Abiotic Depletion

Uzyskane wyniki analiz LCA wskazują jednoznacznie na korzyści środowiskowe płynące ze stosowania rozwiązań termomodernizacyjnych oraz odnawialnych źródeł energii. Różnica w obciążeniach środowiskowych pomiędzy wariantem 0 (stan istniejący), a najkorzystniejszym wariantem 5 sięgają bowiem aż 74÷88%, w zależności od zastosowanej metody LCA. Ponadto można zauważyć, że zastosowanie kolektorów słonecznych na potrzeby pokrycia 50% zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową generuje minimalne korzyści środowiskowe. Wynika to z obciążeń środowiskowych generowanych w fazie ich budowy, które zestawiamy z brakiem emisji dla wariantu 4 zakładającego pokrycie 100% zapotrzebowania na ciepło z biomasy.

3.4 Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy LCA stwierdzono, że wybór odpowiedniej termoizolacji zewnętrznych przegród budowlanych oraz zastosowanie OZE przynosi korzyści związane ze zmniejszeniem zapotrzebowania na ciepło w fazie użytkowania budynku oraz zwiększeniem efektywności środowiskowej (niższe wartości ekowskaźników). Wyprodukowanie materiału izolacyjnego potrzebnego do termoizolacji oraz urządzeń wykorzystujących OZE zwiększa obciążenie środowiska w fazie produkcji materiałów budowlanych, ale dzięki temu w fazie użytkowania budynku, można uzyskać zmniejszenie obciążenia środowiska w wyniku termoizolacji.

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że odnawialne źródła energii mają zdecydowanie mniejszy wpływ na środowisko, szczególnie na emisje gazów cieplarnianych, należy jednak pamiętać że w przypadku oceny odnawialnych źródeł energii należy zawsze uwzględniać wszystkie fazy cyklu ich życia, ze szczególnym uwzględnieniem fazy budowy tych urządzeń.

Na podstawie przeprowadzonych analiz cyklu życia LCA przykładowych rozwiązań technicznych ustalono, że przyjęta metodologia pozwala dokonywać prawidłowej oceny efektów ekologicznych substytucji konwencjonalnych źródeł energii przez OZE.

W poniższych tabelach zaprezentowano podsumowanie wyników analizy LCA (zgodnie z trzema metodami oceny cyklu życia) dla wszystkich 60 scenariuszy budynku jednorodzinnego, w kolejności od najbardziej efektywnych środowisko do najbardziej obciążających środowisko.

Tabela 2. Wyniki analizy LCA dla wszystkich 60-ciu scenariuszy budynku jednorodzinnego, w kolejności od najbardziej efektywnych środowisko do najbardziej obciążających środowisko, zgodnie z metodą Ecoindicator 99, Pt

L.p.	Scenariusz	Wskaźnik [Pt]	Udział okresu eksploatacji w wyniku
1	Wariant 4 - pompa 100%CO+CWU	8 352,31	78,61%
2	Wariant 5 - pompa 100%CO+CWU	9 469,46	71,60%
3	Wariant 2 - pompa 100%CO+CWU	10 461,36	86,17%
4	Wariant 4 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	10 839,81	83,29%
5	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	11 100,89	82,77%
6	Wariant 3 - pompa 100%CO+CWU	11 113,38	75,80%
7	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	11 710,81	75,97%
8	Wariant 5 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	11 831,63	77,07%
9	Wariant 2 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	12 823,52	88,53%
10	Wariant 4 - gaz ziemny	13 211,50	83,42%
11	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	13 459,08	88,32%
12	Wariant 3 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	13 600,87	80,05%
13	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	13 695,13	86,04%
14	Wariant 5 - gaz ziemny	13 821,42	77,62%
15	Wariant 1 - pompa 100%CO+CWU	13 949,38	88,72%
16	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	14 188,98	80,16%
17	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	14 655,44	80,80%
18	Wariant 2 - gaz ziemny	14 907,19	92,03%
19	Wariant 4 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	15 688,56	88,61%
20	Wariant 4 - olej opałowy	15 769,05	86,11%
21	Wariant 1 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	15 996,83	90,01%
22	Wariant 3 - gaz ziemny	16 103,55	84,91%
23	Wariant 5 - olej opałowy	16 262,90	80,98%
24	Wariant 4 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	16 265,52	89,01%
25	Wariant 5 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	16 680,38	83,88%
26	Wariant 5 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	16 741,15	83,94%
27	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	17 125,26	90,82%
28	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + węgiel	17 562,23	88,91%
29	Wariant 2 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	17 672,27	91,81%
30	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	17 906,95	90,51%
31	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + węgiel	17 923,31	84,10%
32	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	18 303,27	84,62%
33	Wariant 3 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	18 449,62	85,42%
34	Wariant 2 - olej opałowy	18 536,68	93,59%
35	Wariant 1 - gaz ziemny	19 355,05	93,21%
36	Wariant 3 - olej opałowy	19 714,69	87,67%
37	Wariant 2 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	20 129,41	92,81%
38	Wariant 4 - węgiel	20 219,98	88,99%
39	Wariant 5 - węgiel	20 581,06	84,80%
40	Wariant 1 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	20 845,58	92,45%
41	Wariant 3 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	21 267,14	87,36%

L.p.	Scenariusz	Wskaźnik [Pt]	Udział okresu eksploatacji w wyniku
42	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + węgiel	22 218,46	92,77%
43	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	23 289,41	92,70%
44	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + węgiel	23 375,48	87,81%
45	Wariant 2 - węgiel	24 213,71	94,95%
46	Wariant 1 - olej opałowy	24 700,83	94,68%
47	Wariant 3 - węgiel	25 370,73	90,28%
48	Wariant 1 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	26 370,52	94,03%
49	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	29 856,85	90,62%
50	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	29 950,78	93,66%
51	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + węgiel	30 345,75	94,28%
52	Wariant 1 - węgiel	32 341,00	95,82%
53	Wariant 5 - energia elektryczna	34 014,06	90,95%
54	Wariant 4 - energia elektryczna	34 107,99	93,62%
55	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	38 809,01	95,99%
56	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	39 894,08	92,98%
57	Wariant 2 - energia elektryczna	42 303,73	97,23%
58	Wariant 3 - energia elektryczna	43 388,80	94,43%
59	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	53 664,18	96,86%
60	Wariant 1 - energia elektryczna	57 158,89	97,72%

Tabela 3. Wyniki analizy LCA dla wszystkich 60-ciu scenariuszy budynku jednorodzinnego, w kolejności od najbardziej efektywnych środowisko do najbardziej obciążających środowisko, zgodnie z metodą IPCC GWP 100a, kg CO₂ eq

L.p.	Scenariusz	Wskaźnik [kg CO ₂ eq]	Udział okresu eksploatacji w wyniku
1	Wariant 4 - pompa 100%CO+CWU	126 265,10	87,21%
2	Wariant 5 - pompa 100%CO+CWU	136 382,48	83,39%
3	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	138 027,44	90,27%
4	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	140 576,19	85,81%
5	Wariant 4 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	153 683,92	89,42%
6	Wariant 5 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	161 699,30	85,91%
7	Wariant 3 - pompa 100%CO+CWU	163 955,04	86,18%
8	Wariant 2 - pompa 100%CO+CWU	164 964,90	91,66%
9	Wariant 4 - gaz ziemny	165 147,84	90,48%
10	Wariant 5 - gaz ziemny	167 696,59	86,75%
11	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	172 235,17	93,58%
12	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	174 606,93	92,31%
13	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	175 533,17	88,64%
14	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	180 503,71	88,95%

L.p.	Scenariusz	Wskaźnik [kg CO ₂ eq]	Udział okresu eksploatacji w wyniku
15	Wariant 2 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	190 281,72	92,70%
16	Wariant 3 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	191 373,87	88,10%
17	Wariant 2 - gaz ziemny	195 155,58	95,32%
18	Wariant 4 - olej opałowy	201 443,78	92,20%
19	Wariant 5 - olej opałowy	202 370,02	89,02%
20	Wariant 3 - gaz ziemny	203 424,11	91,14%
21	Wariant 1 - pompa 100%CO+CWU	221 455,52	93,73%
22	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	223 798,62	95,06%
23	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	230 941,75	95,16%
24	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	231 810,60	91,40%
25	Wariant 1 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	241 493,68	94,20%
26	Wariant 2 - olej opałowy	246 435,47	96,30%
27	Wariant 4 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	249 312,08	93,52%
28	Wariant 1 - gaz ziemny	253 862,16	96,36%
29	Wariant 3 - olej opałowy	254 447,45	92,92%
30	Wariant 5 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	257 327,46	91,19%
31	Wariant 5 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	258 346,71	91,23%
32	Wariant 4 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	258 989,15	93,77%
33	Wariant 2 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	285 909,88	95,19%
34	Wariant 3 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	287 002,03	92,11%
35	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	306 496,17	96,36%
36	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + węgiel	317 055,53	93,61%
37	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + węgiel	321 197,94	95,72%
38	Wariant 2 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	327 122,14	95,79%
39	Wariant 1 - olej opałowy	329 133,02	97,19%
40	Wariant 3 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	334 258,81	93,22%
41	Wariant 1 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	337 121,84	95,88%
42	Wariant 5 - węgiel	366 181,43	93,84%
43	Wariant 4 - węgiel	370 323,84	95,67%
44	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + węgiel	417 198,81	97,28%
45	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + węgiel	424 409,34	95,23%
46	Wariant 1 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	429 788,77	96,77%
47	Wariant 2 - węgiel	462 124,72	97,96%
48	Wariant 3 - węgiel	469 335,25	96,09%
49	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	473 686,39	95,80%
50	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	483 881,79	97,24%
51	Wariant 5 - energia elektryczna	541 020,18	95,91%
52	Wariant 4 - energia elektryczna	551 215,58	97,16%
53	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + węgiel	574 843,06	98,00%
54	Wariant 1 - węgiel	619 768,96	98,46%
55	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	635 782,30	98,27%
56	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	642 035,73	96,90%

L.p.	Scenariusz	Wskaźnik [kg CO ₂ eq]	Udział okresu eksploatacji w wyniku
57	Wariant 2 - energia elektryczna	698 916,09	98,70%
58	Wariant 3 - energia elektryczna	705 169,52	97,45%
59	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	882 928,05	98,74%
60	Wariant 1 - energia elektryczna	946 061,83	99,03%

Tabela 4. Wyniki analizy LCA dla wszystkich 60-ciu scenariuszy budynku jednorodzinnego, w kolejności od najbardziej efektywnych środowisko do najbardziej obciążających środowisko, zgodnie z metodą CML, kg Sb eq

L.p.	Scenariusz	Wskaźnik [kg Sb eq]	Udział okresu eksploatacji w wyniku
1	Wariant 1 - gaz ziemny	2 061,12	96,81%
2	Wariant 2 - gaz ziemny	1 611,25	94,18%
3	Wariant 3 - gaz ziemny	1 669,39	90,59%
4	Wariant 4 - gaz ziemny	1 371,69	88,87%
5	Wariant 5 - gaz ziemny	1 373,26	86,41%
6	Wariant 1 - węgiel	5 045,85	98,66%
7	Wariant 2 - węgiel	3 788,79	97,47%
8	Wariant 3 - węgiel	3 838,30	95,86%
9	Wariant 4 - węgiel	3 045,08	94,92%
10	Wariant 5 - węgiel	2 992,06	93,70%
11	Wariant 1 - olej opałowy	2 113,83	96,89%
12	Wariant 2 - olej opałowy	1 613,16	94,18%
13	Wariant 3 - olej opałowy	1 670,76	90,60%
14	Wariant 4 - olej opałowy	1 341,87	88,62%
15	Wariant 5 - olej opałowy	1 340,01	86,07%
16	Wariant 1 - energia elektryczna	7 288,55	99,10%
17	Wariant 2 - energia elektryczna	5 412,04	98,28%
18	Wariant 3 - energia elektryczna	5 454,92	97,13%
19	Wariant 4 - energia elektryczna	4 281,44	96,44%
20	Wariant 5 - energia elektryczna	4 186,53	95,55%
21	Wariant 1 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	2 564,25	97,19%
22	Wariant 1 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	1 853,35	96,06%
23	Wariant 1 - pompa 100%CO+CWU	1 672,48	95,69%
24	Wariant 1 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	3 278,70	97,80%
25	Wariant 2 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	2 198,37	95,44%
26	Wariant 2 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	1 487,47	93,21%
27	Wariant 2 - pompa 100%CO+CWU	1 265,90	92,09%
28	Wariant 2 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	2 516,12	96,02%
29	Wariant 3 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	2 201,46	92,58%
30	Wariant 3 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	1 490,56	88,98%
31	Wariant 3 - pompa 100%CO+CWU	1 252,78	86,96%
32	Wariant 3 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	2 565,81	93,63%

L.p.	Scenariusz	Wskaźnik [kg Sb eq]	Udział okresu eksploatacji w wyniku
33	Wariant 4 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	1 927,19	93,28%
34	Wariant 4 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	1 216,29	89,28%
35	Wariant 4 - pompa 100%CO+CWU	978,51	86,76%
36	Wariant 4 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	2 001,80	93,53%
37	Wariant 5 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	1 972,68	91,72%
38	Wariant 5 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	1 261,78	86,98%
39	Wariant 5 - pompa 100%CO+CWU	1 040,20	84,29%
40	Wariant 5 - pompa 70 % CO+CWU + en. elektr.	1 980,53	91,75%
41	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	1 872,07	95,76%
42	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	1 422,21	92,45%
43	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	1 480,35	88,47%
44	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	1 153,08	88,14%
45	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	1 154,65	85,22%
46	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + węgiel	4 677,26	98,26%
47	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + węgiel	3 420,20	96,80%
48	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + węgiel	3 469,71	95,02%
49	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + węgiel	2 646,93	94,76%
50	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + węgiel	2 593,91	93,34%
51	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	1 970,19	95,97%
52	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	1 469,53	92,69%
53	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	1 527,12	88,82%
54	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	1 168,67	88,30%
55	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	1 166,81	85,37%
56	Wariant 1 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	6 800,57	98,84%
57	Wariant 2 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	4 924,06	97,83%
58	Wariant 3 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	4 966,95	96,57%
59	Wariant 4 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	3 763,90	96,38%
60	Wariant 5 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	3 668,99	95,36%

Na podstawie analizy porównawczej wyników LCA wszystkimi przyjętymi metodami oceny dla analizowanych scenariuszy ogrzewania budynku jednorodzinnego stwierdzono jednoznacznie, że udział wyników LCA dla fazy użytkowania dla 60 scenariuszy (w zależności od stosowanej termomodernizacji oraz paliwa) w zależności od zastosowanej metody stanowi:

- 71,62 – 97,72% (metoda Ecoindicator 99)
- 83,39 – 99,03% (IPCC 2001 GWP)
- 84,29 – 99,10% (CML 2 baseline 2000)

W przypadku analizy LCA dla budynku wielorodzinnego jednoznacznie stwierdzono, że udział wyników LCA dla fazy użytkowania (w zależności od stosowanej termomodernizacji oraz paliwa) w zależności od zastosowanej metody stanowi :

- 87,9 – 99,5% (metoda Ecoindicator 99)
- 89,5 – 99,7% (IPCC 2001 GWP)
- 87,0 – 99,8% (CML 2 baseline 2000)

Oznacza to, że najistotniejsza z punktu widzenia oceny środowiskowej jest analiza wpływu fazy eksploatacji budynku.

4 Analizy kosztów cyklu życia LCC

Analizy LCC przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 60300-3-3 „Zarządzanie niezawodnością Część 3-3: Przewodnik zastosowań. Szacowanie kosztu cyklu życia”.

W analizowanym obszarze ujęto sumę kosztów ponoszonych w całym cyklu życia produktu, czyli w przedziale czasu od momentu, w którym powstaje koncepcja powstania produktu do momentu jego całkowitej likwidacji. Analizowany koszt cyklu życia obejmuje:

$$LCC = K_{\text{nabycia}} + K_{\text{Posiadania}} + K_{\text{likwidacji}}$$

Wyniki obliczeń LCC przedstawiono jako:

- Suma kosztów dla okresu realizacji inwestycji i 20 lat eksploatacji (bez dyskontowania).
- Suma kosztów dla okresu realizacji inwestycji i 20 lat eksploatacji (zdyskontowana).

Schemat obliczeniowy analiz kosztowych technologii wykorzystujących OZE w budynkach mieszkalnych przedstawiono w Załączniku 3.

Wyniki obliczeń dla obu analizowanych budynków przedstawiono w poniższych tabelach.

Tabela 5. Wyniki analiz LCC dla budynku jednorodzinnego

Wariant	Wyniki dla etapu budowy i okresu użytkowania						
	Nakłady na docieplenia i termomodernizację	Koszty urządzeń grzewczych	Koszty rozwiązań OZE	Koszty ogrzewania - 1 rok (2012)	Koszty ogrzewania - 20 lat (bez dyskontowania)	SUMA KOSZTÓW (20 lat bez dyskontowania)	SUMA KOSZTÓW (20 lat zdyskontowana)
	zł	zł	zł	zł	zł	zł	zł
Bez OZE							
Wariant 1 - gaz ziemny	35 000	6 000	0	10 587	233 978	274 978	194 187
Wariant 2 - gaz ziemny	173 627	6 000	0	8 051	177 938	357 564	296 124
Wariant 3 - gaz ziemny	208 627	6 000	0	8 024	177 338	391 965	330 732
Wariant 4 - gaz ziemny	229 695	6 000	0	6 467	142 937	378 632	329 277
Wariant 5 - gaz ziemny	239 377	6 000	0	6 296	139 147	384 524	336 478
Wariant 1 - węgiel	35 000	5 000	0	5 204	104 432	144 432	109 757
Wariant 2 - węgiel	173 627	5 000	0	3 860	77 473	256 100	230 376
Wariant 3 - węgiel	208 627	5 000	0	3 846	77 184	290 811	265 183
Wariant 4 - węgiel	229 695	5 000	0	3 021	60 635	295 330	275 197
Wariant 5 - węgiel	239 377	5 000	0	2 930	58 812	303 188	283 661
Wariant 1 - olej opałowy	35 000	8 000	0	14 684	381 227	424 227	286 106
Wariant 2 - olej opałowy	173 627	8 000	0	10 893	282 813	464 440	361 974
Wariant 3 - olej opałowy	208 627	8 000	0	10 853	281 760	498 387	396 303
Wariant 4 - olej opałowy	229 695	8 000	0	8 526	221 347	459 042	378 846
Wariant 5 - olej opałowy	239 377	8 000	0	8 269	214 691	462 068	384 283
Wariant 1 - energia elektryczna	35 000	3 500	0	21 513	561 811	600 311	399 693
Wariant 2 - energia elektryczna	173 627	3 500	0	15 840	413 679	590 806	443 084
Wariant 3 - energia elektryczna	208 627	3 500	0	15 780	412 095	624 222	477 066
Wariant 4 - energia elektryczna	229 695	3 500	0	12 298	321 161	554 356	439 672
Wariant 5 - energia elektryczna	239 377	3 500	0	11 914	311 143	554 020	442 913

Wariant	Wyniki dla etapu budowy i okresu użytkowania						
	Nakłady na docieplenia i termomodernizację	Koszty urządzeń grzewczych	Koszty rozwiązań OZE	Koszty ogrzewania - 1 rok (2012)	Koszty ogrzewania - 20 lat (bez dyskontowania)	SUMA KOSZTÓW (20 lat bez dyskontowania)	SUMA KOSZTÓW (20 lat zdyskontowana)
	zł	zł	zł	zł	zł	zł	zł
Z wykorzystaniem OZE							
Wariant 1 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	35 000	0	71 334	7 422	193 833	300 167	230 951
Wariant 1 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	35 000	2 500	73 834	6 425	157 526	268 860	213 277
Wariant 1 - pompa 100%CO+CWU	35 000	0	77 149	4 766	124 473	236 622	192 174
Wariant 1 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	35 000	0	66 462	9 550	249 402	350 864	261 805
Wariant 2 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	173 627	0	55 701	6 249	163 195	392 523	334 247
Wariant 2 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	173 627	2 500	58 201	5 252	126 888	361 216	316 573
Wariant 2 - pompa 100%CO+CWU	173 627	0	55 701	3 472	90 669	319 997	287 620
Wariant 2 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	173 627	0	50 045	7 195	187 908	411 580	344 480
Wariant 3 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	208 627	0	66 462	6 070	158 516	433 605	377 000
Wariant 3 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	208 627	2 500	68 962	5 073	122 209	402 298	359 326
Wariant 3 - pompa 100%CO+CWU	208 627	0	66 462	3 244	84 730	359 819	329 562
Wariant 3 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	208 627	0	55 701	7 155	186 854	451 182	384 458
Wariant 4 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	229 695	0	66 462	5 354	139 819	435 976	386 048
Wariant 4 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	229 695	2 500	68 962	4 357	103 512	404 669	368 374

Wariant	Wyniki dla etapu budowy i okresu użytkowania						
	Nakłady na docieplenia i termomodernizację	Koszty urządzeń grzewczych	Koszty rozwiązań OZE	Koszty ogrzewania - 1 rok (2012)	Koszty ogrzewania - 20 lat (bez dyskontowania)	SUMA KOSZTÓW (20 lat bez dyskontowania)	SUMA KOSZTÓW (20 lat zdyskontowana)
	zł	zł	zł	zł	zł	zł	zł
Wariant 4 - pompa 100%CO+CWU	229 695	0	66 462	2 529	66 033	362 190	338 610
Wariant 4 - pompa 70%CO+CWU + en. elektr.	229 695	0	55 701	5 576	145 622	431 018	379 018
Wariant 5 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	239 377	0	55 701	5 388	140 721	435 799	385 549
Wariant 5 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	239 377	2 500	58 201	4 392	104 414	404 492	367 874
Wariant 5 - pompa 100%CO+CWU	239 377	0	55 701	2 611	68 196	363 273	338 921
Wariant 5 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	239 377	0	50 045	5 412	141 333	430 754	380 286
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	35 000	6 000	17 434	9 511	210 216	268 650	196 064
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	173 627	6 000	17 434	6 976	154 175	351 236	298 001
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	208 627	6 000	17 434	6 949	153 576	385 637	332 609
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	229 695	6 000	17 434	5 392	119 175	372 304	331 154
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	239 377	6 000	17 434	5 221	115 385	378 195	338 354
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + węgiel	35 000	5 000	17 434	4 804	96 414	153 848	121 836
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + węgiel	173 627	5 000	17 434	3 461	69 455	265 516	242 455
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + węgiel	208 627	5 000	17 434	3 446	69 167	300 228	277 262

Wariant	Wyniki dla etapu budowy i okresu użytkowania						
	Nakłady na docieplenia i termomodernizację	Koszty urządzeń grzewczych	Koszty rozwiązań OZE	Koszty ogrzewania - 1 rok (2012)	Koszty ogrzewania - 20 lat (bez dyskontowania)	SUMA KOSZTÓW (20 lat bez dyskontowania)	SUMA KOSZTÓW (20 lat zdyskontowana)
	zł	zł	zł	zł	zł	zł	zł
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + węgiel	229 695	5 000	17 434	2 622	52 617	304 746	287 276
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + węgiel	239 377	5 000	17 434	2 531	50 794	312 605	295 740
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	35 000	8 000	17 434	13 557	351 959	412 393	284 875
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	173 627	8 000	17 434	9 766	253 544	452 605	360 744
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	208 627	8 000	17 434	9 725	252 492	486 553	395 073
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	229 695	8 000	17 434	7 398	192 078	447 207	377 616
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	239 377	8 000	17 434	7 142	185 423	450 233	383 053
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	35 000	3 500	17 434	20 019	522 800	578 734	392 046
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	173 627	3 500	17 434	14 347	374 668	569 229	435 438
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	208 627	3 500	17 434	14 286	373 084	602 645	469 419
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	229 695	3 500	17 434	10 804	282 150	532 779	432 025
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	239 377	3 500	17 434	10 420	272 132	532 442	435 266

Tabela 6. Wyniki analiz LCC dla budynku wielorodzinnego

Wariant	Wyniki dla etapu budowy i okresu użytkowania						
	Nakłady na docieplenia i termomodernizację	Koszty urządzeń grzewczych	Koszty rozwiązań OZE	Koszty ogrzewania - 1 rok (2012)	Koszty ogrzewania - 20 lat (bez dyskontowania)	SUMA KOSZTÓW (20 lat bez dyskontowania)	SUMA KOSZTÓW (20 lat zdyskontowana)
	zł	zł	zł	zł	zł	zł	zł
Wariant 0	73 700	50 000	0	140 473	3 432 935	3 556 635	2 334 617
Wariant 1	481 400	50 000	0	84 388	2 062 514	2 593 914	1 859 719
Wariant 2	1 251 800	50 000	0	75 486	1 845 487	3 147 287	2 490 338
Wariant 3	1 251 800	50 000	0	75 547	1 869 867	3 171 667	2 505 639
Wariant 4	1 251 800	0	27 000	101 929	2 143 367	3 422 167	2 699 920
Wariant 5	1 251 800	0	477 000	88 367	1 871 188	3 599 988	2 968 114

Biorąc pod uwagę zmianę wartości pieniądza w czasie, a także uzyskane wyniki należy stwierdzić, że do oceny i dalszych analiz (obliczenia ekoefektywności) właściwe będą wartości zdyskontowane kosztów cyklu życia. W przypadku wartości niezdyskontowanych uzyskano bowiem w niektórych przypadkach zbliżone wyniki dla różnych wariantów. W takiej sytuacji prawidłowe jest porównanie wartości zdyskontowanych kosztów cyklu życia analizowanych wariantów.

W przypadku domu jednorodzinnego porównując uzyskane wyniki dla wariantów nie wykorzystujących odnawialne źródła energii (OZE) można zauważyć, że najniższe wartości wskaźnika LCC uzyskano dla wariantu 1, czyli bez jakichkolwiek nakładów termomodernizacyjnych. Wynika to z wysokich kosztów termomodernizacji, w szczególności związanych z wymianą okien i drzwi. W przypadku wariantów uwzględniających zastosowanie OZE najlepsze wyniki uzyskano dla wariantów z kolektorem słonecznym na potrzeby c.w.u. i ogrzewaniem węglowym. Na taki wynik wpływ mają niskie koszty ogrzewania – węgiel jest i najprawdopodobniej pozostanie w Polsce najtańszym surowcem energetycznym dla indywidualnych systemów grzewczych. Najwyższe wskaźniki LCC uzyskano natomiast dla wariantów z kolektorem słonecznym na potrzeby c.w.u. i ogrzewaniem elektrycznym. W tym przypadku uzasadnienie jest analogiczne – o wyniku decydują koszty ogrzewania.

Analizy budynku wielorodzinnego pozwalają stwierdzić, że najlepszy wynik dadzą minimalne nakłady na termomodernizację w zakresie wymaganym przez „Ustawę termomodernizacyjną”⁹. Dalsze nakłady nie przynoszą wystarczających efektów w postaci znaczącego zmniejszenia kosztów ogrzewania. Najwyższe wartości wskaźnika LCC uzyskano dla wariantu 5 – ze względu na najwyższe nakłady inwestycyjne – zarówno na termomodernizację, jak i zabudowę kolektorów słonecznych.

⁹ Ustawa z dnia 21.11.2008r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów (Dz.U. Nr 223, poz. 1459 z późn. zm.)

5 Analizy metodami UNIDO

Analizy UNIDO przeprowadzono następującymi metodami:

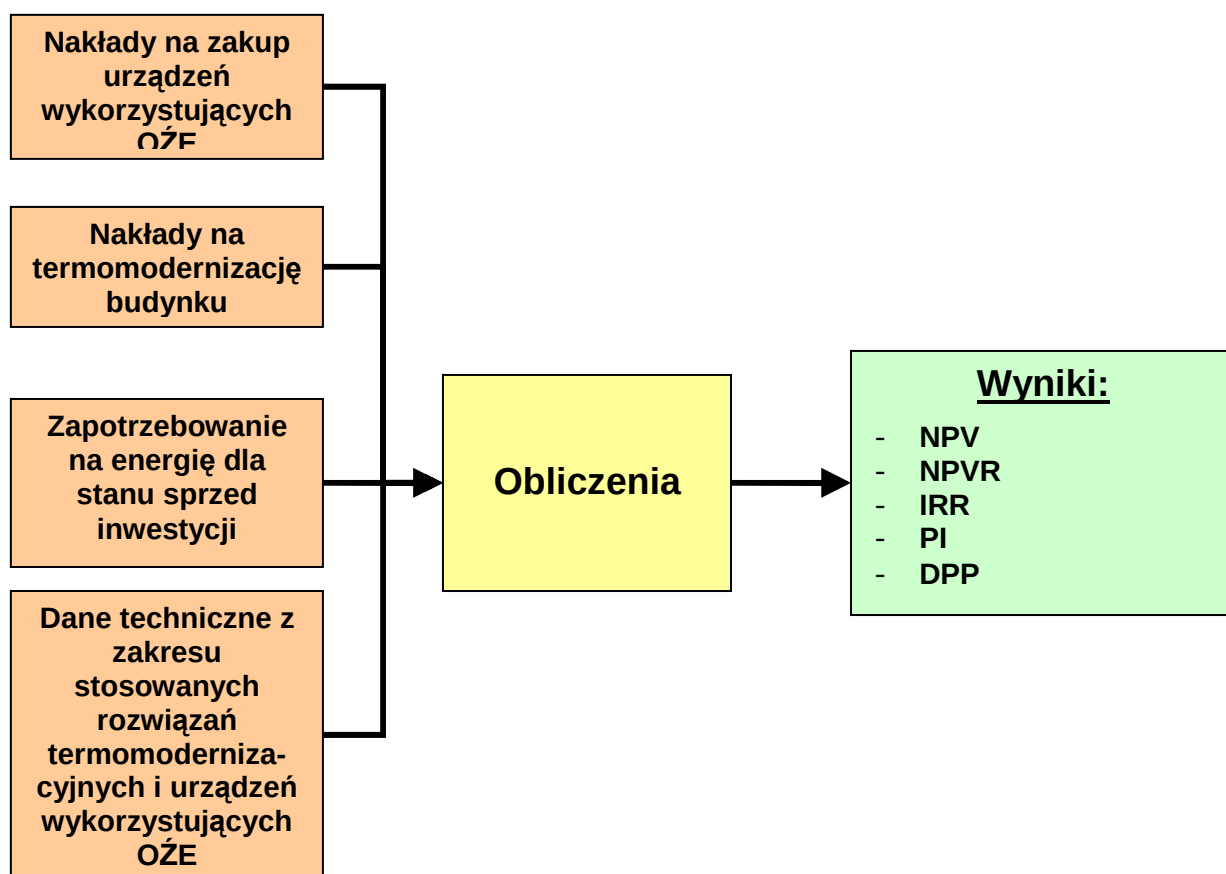
- **Metoda wartości zaktualizowanej netto (Net Present Value - NPV):** pozwala określić aktualną wartość wpływów i wydatków pieniężnych związanych z realizacją analizowanej inwestycji. Wynik uzyskuje się w jednostkach pieniężnych.
- **Metoda wartości bieżącej netto (Net Present Value Ratio - NPVR):** by pokazać efektywność w wartościach względnych wartość NPV danej inwestycji można odnieść do wartości nakładów inwestycyjnych poniesionych na jej realizację. W tym celu wykorzystuje się wskaźnik wartości bieżącej netto (Net Present Value Ratio), który wyraża skumulowaną zdyskontowaną wartość korzyści netto (NPV) przypadającą na jednostkę zdyskontowanych nakładów inwestycyjnych
- **Metoda wewnętrznej stopy zwrotu (Internal Rate of Return - IRR):** podobnie jak metoda NPV pozwala dokonać oceny inwestycji na podstawie strumienia przepływów pieniężnych. Wynik uzyskuje się w %.
- **Wskaźnik zyskowności lub opłacalności (Profitability Index - PI):** określa stosunek zdyskontowanych przepływów pieniężnych netto do zdyskontowanych nakładów inwestycyjnych. Uzyskany wynik jest wartością bezwymiarową.
- **Metoda zdyskontowanego okresu zwrotu (Discount Payback Period - DPP)** opiera się na przepływie pieniężnym netto i uwzględnia zmienność wartości pieniądza w czasie. Służy do szacowania okresu, jaki jest niezbędny, aby wartość bieżąca nakładów inwestycyjnych poniesionych na realizację danej inwestycji zostanie w pełni pokryta (zrównoważona) z bieżących (zdyskontowanych) dodatnich korzyści netto generowanych przez tę inwestycję. Wynik uzyskuje się w latach.

W celu wyeliminowania wad wykorzystanych metod UNIDO, które zostały przedstawione w pierwszej części Raportu, podjęto następujące działania:

- Analizę wykonano w cenach stałych, aby uniknąć błędów wynikających z przyjęcia nieprawidłowej prognozy inflacji.
- Przyjęto realną stopę dyskontową odzwierciedlającą aktualny średni koszt kapitału - zgodnie z założeniem, że środki pochodzą od średniego europejskiego płatnika podatków.
- By pokazać efektywność w wartościach względnych wartość NPV inwestycji odniesiono do wartości nakładów inwestycyjnych poniesionych na jej realizację. W tym celu wykorzystano wskaźnik wartości bieżącej netto (Net Present Value Ratio - NPVR), który wyraża skumulowaną zdyskontowaną wartość korzyści netto (NPV) przypadającą na jednostkę zdyskontowanych nakładów inwestycyjnych.

- Analizą wrażliwości objęto zmiany stopy dyskontowej. Wykazano, że mają one najmniej wpływ na uzyskiwane wyniki NPV spośród analizowanych czynników (tj. zmiany nakładów inwestycyjnych i zmiany kosztów ogrzewania).
- Problem nieuwzględniania reinwestycji dodatnich korzyści netto jest w przypadku przeprowadzonych analiz pomijalny, ponieważ w praktyce korzyści wynikające ze stosowania w tego typu budynkach mieszkalnych rozwiązań zmniejszających zużycie energii (ogrzewanie, CWU) generują oszczędności w wydatkach budżetów domowych, które są konsumowane na inne cele. Przypadki, w których te oszczędności będą przez gospodarstwa domowe reinwestowane, bądź przyczynią się do ograniczenia zaciągania kredytów konsumpcyjnych można uznać za sporadyczne i pomijalne.

Na poniższym rysunku przedstawiono schemat blokowy przeprowadzonego algorytmu obliczeń metodami UNIDO.



Rys. 23. Schemat blokowy algorytmu obliczeń metodami UNIDO

Strumienie pieniężne wynikające z termomodernizacji i zastosowania OZE były obliczane metodą różnicową jako różnica w nakładach inwestycyjnych oraz kosztach eksploatacyjnych pomiędzy standardowymi rozwiązaniami technicznymi (dla domu jednorodzinnego wariant 1,

a dla wielorodzinnego wariant 0), a rozwiązaniami termomodernizacyjnymi i technologiami wykorzystującymi OZE w pozostałych wariantach.

Schemat obliczeniowy analiz ekonomicznych metodami UNIDO technologii wykorzystujących OZE w budynkach mieszkalnych przedstawiono w Załączniku 3.

Wyniki obliczeń dla obu analizowanych budynków przedstawiono w poniższych tabelach.

Tabela 7. Wyniki analiz metodami UNIDO dla budynku jednorodzinnego

Wariant	Wyniki dla etapu budowy i okresu użytkowania				
	NPV	NPVR	IRR	PI	DPP
	zł	-	%	-	lata
Bez OZE					
Wariant 1 - gaz ziemny	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
Wariant 2 - gaz ziemny	-104 507	-0,75	-7,2%	0,25	ponad 20 lat
Wariant 3 - gaz ziemny	-139 143	-0,80	-8,6%	0,20	ponad 20 lat
Wariant 4 - gaz ziemny	-139 266	-0,72	-6,1%	0,28	ponad 20 lat
Wariant 5 - gaz ziemny	-146 640	-0,72	-6,2%	0,28	ponad 20 lat
Wariant 1 - węgiel	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
Wariant 2 - węgiel	-122 002	-0,88	-12,1%	0,12	ponad 20 lat
Wariant 3 - węgiel	-156 824	-0,90	-13,3%	0,10	ponad 20 lat
Wariant 4 - węgiel	-167 687	-0,86	-11,2%	0,14	ponad 20 lat
Wariant 5 - węgiel	-176 244	-0,86	-11,2%	0,14	ponad 20 lat
Wariant 1 - olej opałowy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
Wariant 2 - olej opałowy	-79 615	-0,57	-2,9%	0,43	ponad 20 lat
Wariant 3 - olej opałowy	-113 984	-0,66	-4,5%	0,34	ponad 20 lat
Wariant 4 - olej opałowy	-98 827	-0,51	-1,7%	0,49	ponad 20 lat
Wariant 5 - olej opałowy	-104 518	-0,51	-1,8%	0,49	ponad 20 lat
Wariant 1 - energia elektryczna	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
Wariant 2 - energia elektryczna	-48 846	-0,35	0,6%	0,65	19
Wariant 3 - energia elektryczna	-82 886	-0,48	-1,3%	0,52	ponad 20 lat
Wariant 4 - energia elektryczna	-48 840	-0,25	2,0%	0,75	17
Wariant 5 - energia elektryczna	-52 450	-0,26	1,9%	0,74	17
Z wykorzystaniem OZE					
Wariant 1 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	155 193	2,29	23,7%	3,29	5
Wariant 1 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-23 510	-0,33	0,8%	0,67	19
Wariant 1 - pompa 100%CO+CWU	191 417	2,60	25,8%	3,60	4
Wariant 1 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	126 386	2,01	21,7%	3,01	5
Wariant 2 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	50 769	0,27	7,8%	1,27	11
Wariant 2 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-127 934	-0,66	-4,9%	0,34	ponad 20 lat
Wariant 2 - pompa 100%CO+CWU	94 726	0,50	9,9%	1,50	9

Wariant	Wyniki dla etapu budowy i okresu użytkowania				
	NPV	NPVR	IRR	PI	DPP
	zł	-	%	-	lata
Wariant 2 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	41 446	0,22	7,3%	1,22	11
Wariant 3 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	7 844	0,03	5,4%	1,03	13
Wariant 3 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-170 859	-0,71	-6,1%	0,29	ponad 20 lat
Wariant 3 - pompa 100%CO+CWU	52 565	0,22	7,3%	1,22	11
Wariant 3 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	1 429	0,01	5,1%	1,01	13
Wariant 4 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	-1 893	-0,01	4,9%	0,99	13
Wariant 4 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-180 596	-0,69	-5,6%	0,31	ponad 20 lat
Wariant 4 - pompa 100%CO+CWU	42 828	0,17	6,8%	1,17	11
Wariant 4 - pompa 70%CO+CWU + en. elektr.	5 351	0,02	5,2%	1,02	13
Wariant 5 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	-1 360	-0,01	4,9%	0,99	13
Wariant 5 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-180 063	-0,70	-5,7%	0,30	ponad 20 lat
Wariant 5 - pompa 100%CO+CWU	42 597	0,17	6,8%	1,17	11
Wariant 5 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	3 925	0,02	5,2%	1,02	13
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-2 967	-0,17	3,0%	0,83	15
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-107 474	-0,69	-5,5%	0,31	ponad 20 lat
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-142 109	-0,74	-6,9%	0,26	ponad 20 lat
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-142 233	-0,67	-5,1%	0,33	ponad 20 lat
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-149 607	-0,67	-5,2%	0,33	ponad 20 lat
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + węgiel	-12 490	-0,72	-6,4%	0,28	ponad 20 lat
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + węgiel	-134 491	-0,86	-11,2%	0,14	ponad 20 lat
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + węgiel	-169 314	-0,89	-12,4%	0,11	ponad 20 lat
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + węgiel	-180 176	-0,85	-10,7%	0,15	ponad 20 lat
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + węgiel	-188 734	-0,85	-10,7%	0,15	ponad 20 lat
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	116	0,01	5,1%	1,01	13
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-79 500	-0,51	-1,7%	0,49	ponad 20 lat
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-113 868	-0,60	-3,3%	0,40	ponad 20 lat
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-98 711	-0,47	-1,0%	0,53	ponad 20 lat
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-104 402	-0,47	-1,1%	0,53	ponad 20 lat
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	6 210	0,36	8,6%	1,36	10

Wariant	Wyniki dla etapu budowy i okresu użytkowania				
	NPV	NPVR	IRR	PI	DPP
	zł	-	%	-	lata
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-42 635	-0,27	1,7%	0,73	17
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-76 675	-0,40	-0,1%	0,60	ponad 20 lat
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-42 630	-0,20	2,6%	0,80	16
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-46 239	-0,21	2,5%	0,79	16

Tabela 8. Wyniki analiz metodami UNIDO dla budynku wielorodzinnego

Wariant	Wyniki dla etapu budowy i okresu użytkowania				
	NPV	NPVR	IRR	PI	DPP
	zł	-	%	-	lata
Wariant 0	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
Wariant 1	419 660	1,03	14,4%	2,03	7
Wariant 2	-219 732	-0,19	2,8%	0,81	16
Wariant 3	-235 290	-0,20	2,7%	0,80	16
Wariant 4	-372 816	-0,33	1,2%	0,67	18
Wariant 5	-204 970	-0,18	3,0%	0,82	16

W przypadku analiz budynku jednorodzinnego pozytywne wyniki uzyskano jedynie dla wariantów zakładających wykorzystanie pompy ciepła – w szczególności gdy ma ona również pokrywać zapotrzebowanie (całkowicie lub częściowo) na c.w.u. Taka sytuacja wynika z wysokich nakładów inwestycyjnych przy relatywnie niewielkich oszczędnościach w wydatkach na ogrzewanie. W przypadku większości analizowanych wariantów okres zwrotu przekracza okres analizy, tj. 20 lat.

W przypadku budynku wielorodzinnego najlepsze wyniki uzyskano dla wariantu 1 zakładającego minimalne nakłady na termomodernizację w zakresie wymaganym przez „Ustawę termomodernizacyjną”.

6 Analiza ekoefektywności

Uzyskane wyniki obliczeń efektywności ekonomicznej i ekologicznej posłużyły do obliczenia dla każdego z analizowanych wariantów wskaźników ekoefektywności. Standardowa analiza ekoefektywności stanowi bowiem funkcję dwóch wskaźników: ekologicznego oraz ekonomicznego. Przyjęto, że wymienione w tej definicji wskaźniki będą reprezentowane wynikami następujących analiz:

- wskaźnik środowiskowy: wynikiem analizy LCA
- wskaźnik kosztów: wynikiem analizy LCC.

Chcąc uzyskać zależność: im „gorsza” technologia, tym mniejsza wartość wskaźnika ekoefektywności, to biorąc pod uwagę formę i jednostkę wartości wynikowych analiz LCA i LCC, przyjęto wzór w postaci zależności:

$$W_{eko} = 1 / (LCA \cdot LCC)$$

Wyniki analizy ekoefektywności przedstawiono zarówno w formie samego wskaźnika, jak i jego wartości względnej. Wartości względne (RV – relative value) zostały obliczone na podstawie poniższego wzoru.

$$RV_i = \frac{W_i \cdot n}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

gdzie:

- W_i - wskaźnik ekoefektywności dla i-tej technologii
- n – liczba technologii (w tym przypadku $n=2$)

Im wyższa jest wartość względna wskaźnika, tym wariant jest bardziej ekoefektywny od pozostałych w analizowanej grupie.

Wartości względne dla analiz budynku jednorodzinnego policzono w dwóch formach:

- dla poszczególnych grup: z OZE i bez OZE,
- dla całości.

Uzyskane wartości względne wskaźnika ekoefektywności pozwalają w przejrzysty sposób uszeregować i porównać analizowane warianty – co ze względu na ich dużą liczbę jest bardzo istotne.

Wyniki obliczeń dla obu analizowanych budynków przedstawiono w poniższych tabelach.

Tabela 9. Wyniki analiz ekoefektywności dla budynku jednorodzinnego

Wariant	LCA	LCC	Wskaźnik ekoefektywności	Wartość względna wskaźnika ekoefektywności - w ramach grupy	Wartość względna wskaźnika ekoefektywności - dla całości
	Ecoindicator-99 [Pt]	SUMA KOSZTÓW (20 lat zdyskontowana) [zł]			
Bez OZE					
Wariant 1 - gaz ziemny	19 355,05	194 187	2,66063E-10	1,71	1,46
Wariant 2 - gaz ziemny	14 907,19	296 124	2,26532E-10	1,46	1,24
Wariant 3 - gaz ziemny	16 103,55	330 732	1,8776E-10	1,21	1,03
Wariant 4 - gaz ziemny	13 211,50	329 277	2,29872E-10	1,48	1,26
Wariant 5 - gaz ziemny	13 821,42	336 478	2,15026E-10	1,38	1,18
Wariant 1 - węgiel	32 341,00	109 757	2,81717E-10	1,81	1,54
Wariant 2 - węgiel	24 213,71	230 376	1,79267E-10	1,15	0,98
Wariant 3 - węgiel	25 370,73	265 183	1,48635E-10	0,96	0,81
Wariant 4 - węgiel	20 219,98	275 197	1,79711E-10	1,16	0,98
Wariant 5 - węgiel	20 581,06	283 661	1,7129E-10	1,10	0,94
Wariant 1 - olej opałowy	24 700,83	286 106	1,41502E-10	0,91	0,78
Wariant 2 - olej opałowy	18 536,68	361 974	1,49036E-10	0,96	0,82
Wariant 3 - olej opałowy	19 714,69	396 303	1,27992E-10	0,82	0,70
Wariant 4 - olej opałowy	15 769,05	378 846	1,67391E-10	1,08	0,92
Wariant 5 - olej opałowy	16 262,90	384 283	1,60011E-10	1,03	0,88
Wariant 1 - energia elektryczna	57 158,89	399 693	4,37714E-11	0,28	0,24
Wariant 2 - energia elektryczna	42 303,73	443 084	5,33501E-11	0,34	0,29
Wariant 3 - energia elektryczna	43 388,80	477 066	4,83108E-11	0,31	0,26
Wariant 4 - energia elektryczna	34 107,99	439 672	6,6683E-11	0,43	0,37
Wariant 5 - energia elektryczna	34 014,06	442 913	6,63778E-11	0,43	0,36
Z wykorzystaniem OZE					
Wariant 1 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	20 845,58	230 951	2,07714E-10	1,06	1,14
Wariant 1 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	15 996,83	213 277	2,93105E-10	1,49	1,61
Wariant 1 - pompa 100%CO+CWU	13 949,38	192 174	3,73036E-10	1,90	2,04
Wariant 1 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	26 370,52	261 805	1,44845E-10	0,74	0,79
Wariant 2 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	17 672,27	334 247	1,69293E-10	0,86	0,93
Wariant 2 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	12 823,52	316 573	2,46331E-10	1,26	1,35

Wariant	LCA	LCC	Wskaźnik ekoefektywności	Wartość względna wskaźnika ekoefektywności - w ramach grupy	Wartość względna wskaźnika ekoefektywności - dla całości
	Ecoindicator-99 [Pt]	SUMA KOSZTÓW (20 lat zdyskontowana) [zł]			
Wariant 2 - pompa 100%CO+CWU	10 461,36	287 620	3,32348E-10	1,69	1,82
Wariant 2 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	20 129,41	344 480	1,44213E-10	0,74	0,79
Wariant 3 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	18 449,62	377 000	1,43771E-10	0,73	0,79
Wariant 3 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	13 600,87	359 326	2,04619E-10	1,04	1,12
Wariant 3 - pompa 100%CO+CWU	11 113,38	329 562	2,73034E-10	1,39	1,50
Wariant 3 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	21 267,14	384 458	1,22304E-10	0,62	0,67
Wariant 4 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	15 688,56	386 048	1,65111E-10	0,84	0,90
Wariant 4 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	10 839,81	368 374	2,50432E-10	1,28	1,37
Wariant 4 - pompa 100%CO+CWU	8 352,31	338 610	3,53584E-10	1,80	1,94
Wariant 4 - pompa 70%CO+CWU + en. elektr.	16 265,52	379 018	1,62208E-10	0,83	0,89
Wariant 5 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	16 680,38	385 549	1,55494E-10	0,79	0,85
Wariant 5 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	11 831,63	367 874	2,2975E-10	1,17	1,26
Wariant 5 - pompa 100%CO+CWU	9 469,46	338 921	3,11584E-10	1,59	1,71
Wariant 5 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	16 741,15	380 286	1,57074E-10	0,80	0,86
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	17 906,95	196 064	2,84826E-10	1,45	1,56
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	13 459,08	298 001	2,49326E-10	1,27	1,37
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	14 655,44	332 609	2,05148E-10	1,05	1,12
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	11 100,89	331 154	2,72027E-10	1,39	1,49
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	11 710,81	338 354	2,52372E-10	1,29	1,38
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + węgiel	30 345,75	121 836	2,70475E-10	1,38	1,48
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + węgiel	22 218,46	242 455	1,85633E-10	0,95	1,02
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + węgiel	23 375,48	277 262	1,54294E-10	0,79	0,85
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + węgiel	17 562,23	287 276	1,98208E-10	1,01	1,09
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + węgiel	17 923,31	295 740	1,88657E-10	0,96	1,03
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	23 289,41	284 875	1,50725E-10	0,77	0,83
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	17 125,26	360 744	1,61869E-10	0,83	0,89
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	18 303,27	395 073	1,38291E-10	0,71	0,76
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	13 695,13	377 616	1,93367E-10	0,99	1,06

Wariant	LCA	LCC	Wskaźnik ekoefektywności	Wartość względna wskaźnika ekoefektywności - w ramach grupy	Wartość względna wskaźnika ekoefektywności - dla całości
	Ecoindicator-99 [Pt]	SUMA KOSZTÓW (20 lat zdyskontowana) [zł]			
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	14 188,98	383 053	1,83988E-10	0,94	1,01
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	53 664,18	392 046	4,75312E-11	0,24	0,26
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	38 809,01	435 438	5,91754E-11	0,30	0,32
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	39 894,08	469 419	5,33987E-11	0,27	0,29
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	29 950,78	432 025	7,72828E-11	0,39	0,42
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	29 856,85	435 266	7,69486E-11	0,39	0,42

Tabela 10. Wyniki analiz ekoefektywności dla budynku wielorodzinnego

Wariant	LCA	LCC	Wskaźnik ekoefektywności	Wartość względna wskaźnika ekoefektywności
	Ecoindicator-99 [Pt]	SUMA KOSZTÓW (20 lat zdyskontowana) [zł]		
Wariant 0	515 894,28	2 334 617	8,30278E-13	0,48
Wariant 1	316 121,06	1 859 719	1,70098E-12	0,99
Wariant 2	288 297,48	2 490 338	1,39284E-12	0,81
Wariant 3	274 599,05	2 505 639	1,45339E-12	0,84
Wariant 4	149 377,23	2 699 920	2,4795E-12	1,44
Wariant 5	136 710,06	2 968 114	2,46444E-12	1,43

Uzyskane wyniki analiz ekoefektywności różnią się od wyników poprzednich analiz. Wprawdzie wyższe koszty ogrzewania wiążą się z wyższym zużyciem surowców energetycznych i wyższymi emisjami zanieczyszczeń do atmosfery, jednak widoczne rozbieżności wynikają z dużego wpływu nakładów inwestycyjnych na wynik ekoefektywności. Wysokość nakładów inwestycyjnych jest bowiem w przypadku bardziej złożonych wariantów (duży zakres termomodernizacji, wykorzystanie technologii OZE) nieproporcjonalnie duża do obciążeń środowiska (wyniku LCA).

7 Analiza wrażliwości

W celu ustalenia wpływu zmian wybranych zmiennych wejściowych rachunku na poziom wskaźników efektywności analizowanych wariantów termomodernizacji i wariantów wykorzystania OZE przeprowadzono **analizę wrażliwości**. W pierwszej kolejności obliczone zostały spodziewane wartości tych wskaźników, będące najbardziej realne w danych warunkach niepewności inwestowania. Następnie wprowadzono zmiany wartości kolejno wybranych zmiennych oraz badano siłę i kierunek wpływu tych zmiennych na poziom efektywności. Każda zmienna wejściowa może ulec zmianom o określoną liczbę punktów procentowych powyżej lub poniżej wartości spodziewanej. Przyjęto zmiany w zakresie: $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 15\%$, $\pm 20\%$, przy utrzymaniu pozostałych warunków bez zmian. Ponadto dla każdej z tych zmienionych wielkości, w porównaniu ze scenariuszem bazowym, obliczano nową wartość wskaźnika efektywności. Zakres analizy został ograniczony do tych zmiennych, które mają największy wpływ na wynik, czyli wartość wskaźnika efektywności. Są to tzw. **zmienne krytyczne**. Doświadczalnie ustalono następujące zmienne:

- zmiany nakładów inwestycyjnych,
- zmiany kosztów energii (paliwa, energia elektryczna).

Dodatkowo, w celu określenia wpływu niektórych wad zastosowanych metod dyskontowych na wynik końcowy, przeprowadzono analizę wrażliwości na zmiany stopy dyskontowej.

Analizowano zmiany wskaźnika NPV oraz wartości względnych wskaźnika efektywności.

Wyniki obliczeń dla obu analizowanych budynków przedstawiono w poniższych tabelach.

Tabela 11. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku jednorodzinnego – nakłady inwestycyjne

Wariant	Zakres zmian poziomu nakładów inwestycyjnych																	
	-20%		-15%		-10%		-5%		0%		+5%		+10%		+15%		+20%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności
Wariant 1 - gaz ziemny	nie dotyczy	1,35	nie dotyczy	1,38	nie dotyczy	1,41	nie dotyczy	1,43	nie dotyczy	1,46	nie dotyczy	1,48	nie dotyczy	1,50	nie dotyczy	1,53	nie dotyczy	1,55
Wariant 2 - gaz ziemny	-76 782	1,26	-83 713	1,25	-90 645	1,25	-97 576	1,24	-104 507	1,24	-111 439	1,24	-118 370	1,23	-125 301	1,23	-132 233	1,22
Wariant 3 - gaz ziemny	-104 417	1,05	-113 099	1,05	-121 780	1,04	-130 461	1,03	-139 143	1,03	-147 824	1,02	-156 505	1,02	-165 187	1,01	-173 868	1,01
Wariant 4 - gaz ziemny	-100 327	1,31	-110 062	1,29	-119 796	1,28	-129 531	1,27	-139 266	1,26	-149 001	1,25	-158 735	1,24	-168 470	1,23	-178 205	1,22
Wariant 5 - gaz ziemny	-105 765	1,23	-115 984	1,21	-126 202	1,20	-136 421	1,19	-146 640	1,18	-156 859	1,17	-167 078	1,16	-177 297	1,15	-187 515	1,14
Wariant 1 - węgiel	nie dotyczy	1,48	nie dotyczy	1,50	nie dotyczy	1,51	nie dotyczy	1,53	nie dotyczy	1,54	nie dotyczy	1,56	nie dotyczy	1,57	nie dotyczy	1,58	nie dotyczy	1,59
Wariant 2 - węgiel	-94 276	1,03	-101 208	1,02	-108 139	1,01	-115 070	0,99	-122 002	0,98	-128 933	0,97	-135 864	0,96	-142 796	0,95	-149 727	0,94
Wariant 3 - węgiel	-122 099	0,86	-130 780	0,85	-139 461	0,84	-148 143	0,83	-156 824	0,81	-165 505	0,80	-174 187	0,79	-182 868	0,78	-191 549	0,78
Wariant 4 - węgiel	-128 748	1,06	-138 482	1,04	-148 217	1,02	-157 952	1,00	-167 687	0,98	-177 421	0,97	-187 156	0,96	-196 891	0,94	-206 626	0,93
Wariant 5 - węgiel	-135 369	1,01	-145 587	0,99	-155 806	0,97	-166 025	0,95	-176 244	0,94	-186 463	0,92	-196 682	0,91	-206 900	0,90	-217 119	0,89
Wariant 1 - olej opałowy	nie dotyczy	0,71	nie dotyczy	0,73	nie dotyczy	0,74	nie dotyczy	0,76	nie dotyczy	0,78	nie dotyczy	0,79	nie dotyczy	0,80	nie dotyczy	0,82	nie dotyczy	0,83
Wariant 2 - olej opałowy	-51 890	0,81	-58 821	0,81	-65 753	0,81	-72 684	0,81	-79 615	0,82	-86 547	0,82	-93 478	0,82	-100 409	0,82	-107 341	0,82
Wariant 3 - olej opałowy	-79 259	0,70	-87 940	0,70	-96 622	0,70	-105 303	0,70	-113 984	0,70	-122 666	0,70	-131 347	0,70	-140 028	0,70	-148 710	0,70
Wariant 4 - olej opałowy	-59 888	0,93	-69 623	0,93	-79 358	0,92	-89 092	0,92	-98 827	0,92	-108 562	0,91	-118 297	0,91	-128 031	0,91	-137 766	0,90
Wariant 5 - olej opałowy	-63 643	0,90	-73 861	0,89	-84 080	0,89	-94 299	0,88	-104 518	0,88	-114 737	0,87	-124 956	0,87	-135 174	0,86	-145 393	0,86
Wariant 1 - energia elektryczna	nie dotyczy	0,22	nie dotyczy	0,22	nie dotyczy	0,23	nie dotyczy	0,23	nie dotyczy	0,24	nie dotyczy	0,25	nie dotyczy	0,25	nie dotyczy	0,26	nie dotyczy	0,26
Wariant 2 - energia elektryczna	-21 120	0,28	-28 052	0,29	-34 983	0,29	-41 914	0,29	-48 846	0,29	-55 777	0,29	-62 708	0,30	-69 640	0,30	-76 571	0,30
Wariant 3 - energia elektryczna	-48 160	0,26	-56 842	0,26	-65 523	0,26	-74 204	0,26	-82 886	0,26	-91 567	0,27	-100 248	0,27	-108 930	0,27	-117 611	0,27
Wariant 4 - energia elektryczna	-9 901	0,36	-19 636	0,36	-29 370	0,36	-39 105	0,37	-48 840	0,37	-58 575	0,37	-68 309	0,37	-78 044	0,37	-87 779	0,37
Wariant 5 - energia elektryczna	-11 574	0,36	-21 793	0,36	-32 012	0,36	-42 231	0,36	-52 450	0,36	-62 668	0,36	-72 887	0,36	-83 106	0,36	-93 325	0,36
Wariant 1 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	154 493	1,04	154 668	1,07	154 843	1,09	155 018	1,12	155 193	1,14	155 368	1,16	155 543	1,18	155 718	1,20	155 893	1,22
Wariant 1 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-24 210	1,48	-24 035	1,51	-23 860	1,55	-23 685	1,58	-23 510	1,61	-23 335	1,63	-23 160	1,66	-22 985	1,69	-22 810	1,72
Wariant 1 - pompa 100%CO+CWU	190 717	1,89	190 892	1,93	191 067	1,97	191 242	2,01	191 417	2,04	191 592	2,08	191 767	2,11	191 942	2,15	192 117	2,18
Wariant 1 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	125 686	0,73	125 861	0,74	126 036	0,76	126 211	0,78	126 386	0,79	126 561	0,81	126 736	0,82	126 911	0,84	127 086	0,86
Wariant 2 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	77 794	0,92	71 038	0,92	64 282	0,92	57 525	0,93	50 769	0,93	44 013	0,93	37 256	0,93	30 500	0,93	23 743	0,93
Wariant 2 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-100 909	1,35	-107 665	1,35	-114 421	1,35	-121 178	1,35	-127 934	1,35	-134 691	1,35	-141 447	1,35	-148 203	1,35	-154 960	1,34
Wariant 2 - pompa 100%CO+CWU	121 751	1,84	114 995	1,84	108 239	1,83	101 482	1,83	94 726	1,82	87 970	1,81	81 213	1,81	74 457	1,80	67 701	1,80

Wariant	Zakres zmian poziomu nakładów inwestycyjnych																	
	-20%		-15%		-10%		-5%		0%		+5%		+10%		+15%		+20%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności
Wariant 2 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	68 472	0,78	61 715	0,78	54 959	0,79	48 203	0,79	41 446	0,79	34 690	0,79	27 934	0,79	21 177	0,79	14 421	0,79
Wariant 3 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	41 869	0,79	33 363	0,79	24 856	0,79	16 350	0,79	7 844	0,79	-663	0,79	-9 169	0,79	-17 675	0,79	-26 182	0,78
Wariant 3 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-136 834	1,13	-145 340	1,13	-153 847	1,13	-162 353	1,12	-170 859	1,12	-179 366	1,12	-187 872	1,12	-196 378	1,11	-204 885	1,11
Wariant 3 - pompa 100%CO+CWU	86 590	1,52	78 084	1,52	69 578	1,51	61 071	1,50	52 565	1,50	44 058	1,49	35 552	1,48	27 046	1,48	18 539	1,47
Wariant 3 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	35 455	0,67	26 948	0,67	18 442	0,67	9 936	0,67	1 429	0,67	-7 077	0,67	-15 583	0,67	-24 090	0,67	-32 596	0,67
Wariant 4 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	36 346	0,91	26 787	0,91	17 227	0,91	7 667	0,91	-1 893	0,90	-11 452	0,90	-21 012	0,90	-30 572	0,90	-40 132	0,89
Wariant 4 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-142 357	1,40	-151 916	1,39	-161 476	1,38	-171 036	1,38	-180 596	1,37	-190 155	1,37	-199 715	1,36	-209 275	1,35	-218 835	1,35
Wariant 4 - pompa 100%CO+CWU	81 067	1,99	71 508	1,98	61 948	1,96	52 388	1,95	42 828	1,94	33 269	1,92	23 709	1,91	14 149	1,90	4 589	1,89
Wariant 4 - pompa 70%CO+CWU + en. elektr.	43 590	0,90	34 031	0,90	24 471	0,89	14 911	0,89	5 351	0,89	-4 209	0,89	-13 768	0,88	-23 328	0,88	-32 888	0,88
Wariant 5 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	38 815	0,87	28 771	0,86	18 728	0,86	8 684	0,86	-1 360	0,85	-11 404	0,85	-21 448	0,85	-31 492	0,84	-41 535	0,84
Wariant 5 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-139 888	1,29	-149 932	1,28	-159 975	1,27	-170 019	1,27	-180 063	1,26	-190 107	1,25	-200 151	1,24	-210 195	1,24	-220 238	1,23
Wariant 5 - pompa 100%CO+CWU	82 772	1,77	72 729	1,75	62 685	1,74	52 641	1,72	42 597	1,71	32 553	1,69	22 509	1,68	12 465	1,67	2 422	1,65
Wariant 5 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	44 101	0,88	34 057	0,87	24 013	0,87	13 969	0,86	3 925	0,86	-6 118	0,86	-16 162	0,85	-26 206	0,85	-36 250	0,85
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-4 167	1,44	-3 867	1,47	-3 567	1,50	-3 267	1,53	-2 967	1,56	-2 667	1,59	-2 367	1,62	-2 067	1,64	-1 767	1,67
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-80 949	1,38	-87 580	1,37	-94 211	1,37	-100 843	1,37	-107 474	1,37	-114 105	1,36	-120 737	1,36	-127 368	1,36	-133 999	1,35
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-108 584	1,14	-116 965	1,14	-125 347	1,13	-133 728	1,13	-142 109	1,12	-150 491	1,12	-158 872	1,11	-167 253	1,11	-175 635	1,10
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-104 494	1,54	-113 928	1,53	-123 363	1,51	-132 798	1,50	-142 233	1,49	-151 667	1,48	-161 102	1,47	-170 537	1,46	-179 972	1,45
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-109 931	1,43	-119 850	1,42	-129 769	1,41	-139 688	1,39	-149 607	1,38	-159 526	1,37	-169 444	1,36	-179 363	1,35	-189 282	1,34
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + węgiel	-13 490	1,40	-13 240	1,42	-12 990	1,44	-12 740	1,46	-12 490	1,48	-12 240	1,50	-11 990	1,52	-11 740	1,53	-11 490	1,55
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + węgiel	-107 766	1,06	-114 447	1,05	-121 129	1,04	-127 810	1,03	-134 491	1,02	-141 173	1,01	-147 854	1,00	-154 535	0,99	-161 217	0,98

Wariant	Zakres zmian poziomu nakładów inwestycyjnych																	
	-20%		-15%		-10%		-5%		0%		+5%		+10%		+15%		+20%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + węgiel	-135 588	0,89	-144 020	0,87	-152 451	0,86	-160 882	0,85	-169 314	0,85	-177 745	0,84	-186 176	0,83	-194 608	0,82	-203 039	0,81
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + węgiel	-142 237	1,15	-151 722	1,13	-161 207	1,12	-170 692	1,10	-180 176	1,09	-189 661	1,07	-199 146	1,06	-208 631	1,05	-218 115	1,04
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + węgiel	-148 858	1,10	-158 827	1,08	-168 796	1,06	-178 765	1,05	-188 734	1,03	-198 702	1,02	-208 671	1,01	-218 640	1,00	-228 609	0,98
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-1 484	0,75	-1 084	0,77	-684	0,79	-284	0,81	116	0,83	516	0,84	916	0,86	1 316	0,88	1 716	0,89
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-53 374	0,87	-59 905	0,88	-66 437	0,88	-72 968	0,88	-79 500	0,89	-86 031	0,89	-92 562	0,89	-99 094	0,89	-105 625	0,90
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-80 743	0,75	-89 024	0,76	-97 306	0,76	-105 587	0,76	-113 868	0,76	-122 150	0,76	-130 431	0,76	-138 712	0,76	-146 994	0,76
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-61 372	1,07	-70 707	1,07	-80 042	1,07	-89 377	1,06	-98 711	1,06	-108 046	1,06	-117 381	1,05	-126 716	1,05	-136 050	1,05
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-65 127	1,02	-74 946	1,02	-84 764	1,02	-94 583	1,01	-104 402	1,01	-114 221	1,00	-124 040	1,00	-133 859	1,00	-143 677	0,99
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	5 510	0,24	5 685	0,24	5 860	0,25	6 035	0,25	6 210	0,26	6 385	0,27	6 560	0,27	6 735	0,28	6 910	0,28
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-15 610	0,31	-22 366	0,32	-29 123	0,32	-35 879	0,32	-42 635	0,32	-49 392	0,33	-56 148	0,33	-62 904	0,33	-69 661	0,33
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-42 650	0,29	-51 156	0,29	-59 663	0,29	-68 169	0,29	-76 675	0,29	-85 182	0,29	-93 688	0,30	-102 194	0,30	-110 701	0,30
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-4 391	0,42	-13 950	0,42	-23 510	0,42	-33 070	0,42	-42 630	0,42	-52 189	0,42	-61 749	0,42	-71 309	0,42	-80 869	0,42
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-6 064	0,42	-16 108	0,42	-26 152	0,42	-36 195	0,42	-46 239	0,42	-56 283	0,42	-66 327	0,42	-76 371	0,42	-86 415	0,42
max	190 717	1,99	190 892	1,98	191 067	1,97	191 242	2,01	191 417	2,04	191 592	2,08	191 767	2,11	191 942	2,15	192 117	2,18
min	-148 858	0,22	-158 827	0,22	-168 796	0,23	-178 765	0,23	-188 734	0,24	-198 702	0,25	-208 671	0,25	-218 640	0,26	-228 609	0,26

Tabela 12. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku jednorodzinnego – koszty ogrzewania

Wariant	Zakres zmian poziomu kosztów ogrzewania																	
	-20%		-15%		-10%		-5%		0%		+5%		+10%		+15%		+20%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności
Wariant 1 - gaz ziemny	nie dotyczy	1,61	nie dotyczy	1,57	nie dotyczy	1,53	nie dotyczy	1,49	nie dotyczy	1,46	nie dotyczy	1,43	nie dotyczy	1,40	nie dotyczy	1,37	nie dotyczy	1,34
Wariant 2 - gaz ziemny	-111 331	1,25	-109 625	1,25	-107 919	1,25	-106 213	1,24	-104 507	1,24	-102 801	1,24	-101 095	1,23	-99 390	1,23	-97 684	1,23
Wariant 3 - gaz ziemny	-146 039	1,03	-144 315	1,03	-142 591	1,03	-140 867	1,03	-139 143	1,03	-137 418	1,03	-135 694	1,03	-133 970	1,03	-132 246	1,03
Wariant 4 - gaz ziemny	-150 352	1,24	-147 580	1,25	-144 809	1,25	-142 037	1,26	-139 266	1,26	-136 494	1,26	-133 723	1,27	-130 952	1,27	-128 180	1,27
Wariant 5 - gaz ziemny	-158 187	1,16	-155 301	1,16	-152 414	1,17	-149 527	1,17	-146 640	1,18	-143 753	1,18	-140 866	1,19	-137 980	1,19	-135 093	1,19
Wariant 1 - węgiel	nie dotyczy	1,64	nie dotyczy	1,62	nie dotyczy	1,59	nie dotyczy	1,57	nie dotyczy	1,54	nie dotyczy	1,52	nie dotyczy	1,50	nie dotyczy	1,48	nie dotyczy	1,46
Wariant 2 - węgiel	-125 327	0,96	-124 495	0,96	-123 664	0,97	-122 833	0,98	-122 002	0,98	-121 170	0,99	-120 339	0,99	-119 508	1,00	-118 677	1,00
Wariant 3 - węgiel	-160 185	0,79	-159 344	0,79	-158 504	0,80	-157 664	0,81	-156 824	0,81	-155 984	0,82	-155 144	0,83	-154 303	0,83	-153 463	0,84
Wariant 4 - węgiel	-173 088	0,94	-171 738	0,95	-170 387	0,96	-169 037	0,97	-167 687	0,98	-166 336	0,99	-164 986	1,00	-163 635	1,01	-162 285	1,02
Wariant 5 - węgiel	-181 870	0,90	-180 464	0,91	-179 057	0,92	-177 651	0,93	-176 244	0,94	-174 837	0,95	-173 431	0,96	-172 024	0,97	-170 617	0,97
Wariant 1 - olej opałowy	nie dotyczy	0,87	nie dotyczy	0,84	nie dotyczy	0,82	nie dotyczy	0,80	nie dotyczy	0,78	nie dotyczy	0,76	nie dotyczy	0,74	nie dotyczy	0,72	nie dotyczy	0,71
Wariant 2 - olej opałowy	-91 418	0,84	-88 467	0,84	-85 517	0,83	-82 566	0,82	-79 615	0,82	-76 665	0,81	-73 714	0,80	-70 764	0,80	-67 813	0,79
Wariant 3 - olej opałowy	-125 913	0,72	-122 931	0,71	-119 949	0,71	-116 966	0,70	-113 984	0,70	-111 002	0,70	-108 020	0,69	-105 038	0,69	-102 056	0,69
Wariant 4 - olej opałowy	-118 001	0,92	-113 207	0,92	-108 414	0,92	-103 621	0,92	-98 827	0,92	-94 034	0,92	-89 240	0,91	-84 447	0,91	-79 654	0,91
Wariant 5 - olej opałowy	-124 490	0,88	-119 497	0,88	-114 504	0,88	-109 511	0,88	-104 518	0,88	-99 525	0,88	-94 532	0,88	-89 539	0,87	-84 546	0,87
Wariant 1 - energia elektryczna	nie dotyczy	0,27	nie dotyczy	0,26	nie dotyczy	0,25	nie dotyczy	0,25	nie dotyczy	0,24	nie dotyczy	0,23	nie dotyczy	0,23	nie dotyczy	0,22	nie dotyczy	0,22
Wariant 2 - energia elektryczna	-66 802	0,31	-62 313	0,30	-57 824	0,30	-53 335	0,30	-48 846	0,29	-44 357	0,29	-39 868	0,29	-35 379	0,28	-30 890	0,28
Wariant 3 - energia elektryczna	-101 034	0,28	-96 497	0,27	-91 960	0,27	-87 423	0,27	-82 886	0,26	-78 349	0,26	-73 812	0,26	-69 274	0,26	-64 737	0,25
Wariant 4 - energia elektryczna	-78 011	0,37	-70 718	0,37	-63 425	0,37	-56 133	0,37	-48 840	0,37	-41 547	0,36	-34 254	0,36	-26 962	0,36	-19 669	0,36
Wariant 5 - energia elektryczna	-82 835	0,37	-75 239	0,37	-67 642	0,37	-60 046	0,37	-52 450	0,36	-44 853	0,36	-37 257	0,36	-29 661	0,36	-22 064	0,36
Wariant 1 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	110 588	1,19	121 739	1,17	132 890	1,16	144 042	1,15	155 193	1,14	166 344	1,13	177 496	1,12	188 647	1,11	199 799	1,10
Wariant 1 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-32 875	1,65	-30 534	1,64	-28 192	1,63	-25 851	1,62	-23 510	1,61	-21 169	1,60	-18 827	1,58	-16 486	1,57	-14 145	1,56
Wariant 1 - pompa 100%CO+CWU	138 404	2,07	151 657	2,06	164 910	2,06	178 163	2,05	191 417	2,04	204 670	2,04	217 923	2,03	231 177	2,02	244 430	2,01
Wariant 1 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	88 516	0,84	97 983	0,83	107 451	0,82	116 918	0,80	126 386	0,79	135 853	0,78	145 320	0,77	154 788	0,76	164 255	0,75
Wariant 2 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	2 450	0,92	14 529	0,92	26 609	0,92	38 689	0,93	50 769	0,93	62 849	0,93	74 929	0,93	87 008	0,93	99 088	0,93
Wariant 2 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-141 013	1,32	-137 743	1,33	-134 474	1,34	-131 204	1,34	-127 934	1,35	-124 664	1,35	-121 395	1,36	-118 125	1,37	-114 855	1,37
Wariant 2 - pompa 100%CO+CWU	37 615	1,76	51 893	1,78	66 171	1,79	80 448	1,81	94 726	1,82	109 004	1,83	123 281	1,85	137 559	1,86	151 837	1,87

Wariant	Zakres zmian poziomu kosztów ogrzewania																	
	-20%		-15%		-10%		-5%		0%		+5%		+10%		+15%		+20%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności
Wariant 2 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	-3 877	0,79	7 454	0,79	18 785	0,79	30 115	0,79	41 446	0,79	52 777	0,79	64 108	0,79	75 439	0,79	86 770	0,79
Wariant 3 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	-41 043	0,77	-28 821	0,78	-16 599	0,78	-4 378	0,78	7 844	0,79	20 065	0,79	32 287	0,79	44 509	0,80	56 730	0,80
Wariant 3 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-184 505	1,09	-181 094	1,10	-177 682	1,11	-174 271	1,11	-170 859	1,12	-167 448	1,13	-164 036	1,13	-160 625	1,14	-157 213	1,15
Wariant 3 - pompa 100%CO+CWU	-5 266	1,44	9 192	1,45	23 649	1,47	38 107	1,48	52 565	1,50	67 023	1,51	81 480	1,52	95 938	1,53	110 396	1,55
Wariant 3 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	-44 022	0,66	-32 659	0,67	-21 296	0,67	-9 933	0,67	1 429	0,67	12 792	0,67	24 155	0,67	35 518	0,67	46 881	0,67
Wariant 4 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	-53 046	0,88	-40 257	0,89	-27 469	0,89	-14 681	0,90	-1 893	0,90	10 896	0,91	23 684	0,91	36 472	0,92	49 260	0,92
Wariant 4 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-196 508	1,32	-192 530	1,34	-188 552	1,35	-184 574	1,36	-180 596	1,37	-176 618	1,38	-172 640	1,39	-168 661	1,40	-164 683	1,41
Wariant 4 - pompa 100%CO+CWU	-17 269	1,85	-2 244	1,87	12 780	1,89	27 804	1,92	42 828	1,94	57 853	1,96	72 877	1,98	87 901	2,00	102 925	2,02
Wariant 4 - pompa 70%CO+CWU + en. elektr.	-45 098	0,87	-32 486	0,87	-19 873	0,88	-7 261	0,88	5 351	0,89	17 964	0,89	30 576	0,90	43 188	0,90	55 801	0,90
Wariant 5 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	-52 404	0,83	-39 643	0,84	-26 882	0,84	-14 121	0,85	-1 360	0,85	11 401	0,86	24 162	0,86	36 923	0,86	49 683	0,87
Wariant 5 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-195 866	1,21	-191 915	1,23	-187 965	1,24	-184 014	1,25	-180 063	1,26	-176 112	1,27	-172 162	1,28	-168 211	1,29	-164 260	1,30
Wariant 5 - pompa 100%CO+CWU	-17 238	1,63	-2 279	1,65	12 680	1,67	27 638	1,69	42 597	1,71	57 556	1,72	72 514	1,74	87 473	1,76	102 432	1,78
Wariant 5 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	-47 044	0,84	-34 302	0,85	-21 559	0,85	-8 817	0,86	3 925	0,86	16 668	0,86	29 410	0,87	42 153	0,87	54 895	0,88
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-5 860	1,69	-5 137	1,65	-4 413	1,62	-3 690	1,59	-2 967	1,56	-2 243	1,53	-1 520	1,51	-797	1,48	-73	1,46
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-117 191	1,36	-114 762	1,36	-112 333	1,36	-109 903	1,37	-107 474	1,37	-105 045	1,37	-102 615	1,37	-100 186	1,37	-97 757	1,37
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-151 900	1,11	-149 452	1,11	-147 004	1,12	-144 557	1,12	-142 109	1,12	-139 662	1,13	-137 214	1,13	-134 767	1,13	-132 319	1,13
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-156 212	1,45	-152 717	1,46	-149 222	1,47	-145 727	1,48	-142 233	1,49	-138 738	1,50	-135 243	1,51	-131 748	1,51	-128 253	1,52
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-164 048	1,34	-160 437	1,35	-156 827	1,36	-153 217	1,37	-149 607	1,38	-145 997	1,39	-142 386	1,40	-138 776	1,41	-135 166	1,41
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + węgiel	-13 479	1,54	-13 231	1,52	-12 984	1,51	-12 737	1,50	-12 490	1,48	-12 242	1,47	-11 995	1,46	-11 748	1,44	-11 501	1,43
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + węgiel	-138 805	0,98	-137 727	0,99	-136 648	1,00	-135 570	1,01	-134 491	1,02	-133 413	1,02	-132 334	1,03	-131 256	1,04	-130 178	1,05

Wariant	Zakres zmian poziomu kosztów ogrzewania																	
	-20%		-15%		-10%		-5%		0%		+5%		+10%		+15%		+20%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefekty wności
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + węgiel	-173 663	0,81	-172 576	0,82	-171 488	0,83	-170 401	0,84	-169 314	0,85	-168 226	0,85	-167 139	0,86	-166 052	0,87	-164 964	0,87
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + węgiel	-186 567	1,03	-184 969	1,05	-183 372	1,06	-181 774	1,07	-180 176	1,09	-178 579	1,10	-176 981	1,11	-175 383	1,12	-173 786	1,13
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + węgiel	-195 349	0,98	-193 695	1,00	-192 041	1,01	-190 387	1,02	-188 734	1,03	-187 080	1,05	-185 426	1,06	-183 772	1,07	-182 118	1,08
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-3 394	0,91	-2 517	0,89	-1 639	0,86	-762	0,84	116	0,83	993	0,81	1 871	0,79	2 748	0,78	3 626	0,76
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-94 812	0,90	-90 984	0,90	-87 156	0,90	-83 328	0,89	-79 500	0,89	-75 671	0,88	-71 843	0,88	-68 015	0,87	-64 187	0,87
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-129 307	0,77	-125 447	0,76	-121 588	0,76	-117 728	0,76	-113 868	0,76	-110 009	0,76	-106 149	0,75	-102 290	0,75	-98 430	0,75
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-121 395	1,05	-115 724	1,05	-110 053	1,06	-104 382	1,06	-98 711	1,06	-93 040	1,06	-87 370	1,06	-81 699	1,06	-76 028	1,06
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-127 884	1,00	-122 013	1,00	-116 143	1,00	-110 272	1,01	-104 402	1,01	-98 532	1,01	-92 661	1,01	-86 791	1,01	-80 920	1,01
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	1 481	0,29	2 664	0,28	3 846	0,27	5 028	0,27	6 210	0,26	7 393	0,25	8 575	0,25	9 757	0,24	10 939	0,24
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-65 321	0,34	-59 649	0,33	-53 978	0,33	-48 307	0,33	-42 635	0,32	-36 964	0,32	-31 293	0,32	-25 622	0,31	-19 950	0,31
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-99 552	0,30	-93 833	0,30	-88 114	0,30	-82 395	0,29	-76 675	0,29	-70 956	0,29	-65 237	0,29	-59 518	0,29	-53 798	0,28
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-76 529	0,43	-68 054	0,43	-59 579	0,43	-51 105	0,42	-42 630	0,42	-34 155	0,42	-25 680	0,42	-17 205	0,42	-8 730	0,42
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-81 354	0,43	-72 575	0,42	-63 796	0,42	-55 018	0,42	-46 239	0,42	-37 461	0,42	-28 682	0,42	-19 904	0,42	-11 125	0,42
max	138 404	2,07	151 657	2,06	164 910	2,06	178 163	2,05	191 417	2,04	204 670	2,04	217 923	2,03	231 177	2,02	244 430	2,02
min	-196 508	0,27	-193 695	0,26	-192 041	0,25	-190 387	0,25	-188 734	0,24	-187 080	0,23	-185 426	0,23	-183 772	0,22	-182 118	0,22

Tabela 13. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku jednorodzinnego – stopa dyskontowa

Wariant	Zakres zmian stopy dyskontowej [punkty procentowe]													
	-1,5%		-1,0%		-0,5%		0,0%		0,5%		1,0%		1,5%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści
Wariant 1 - gaz ziemny	nie dotyczy	1,38	nie dotyczy	1,40	nie dotyczy	1,43	nie dotyczy	1,46	nie dotyczy	1,48	nie dotyczy	1,51	nie dotyczy	1,54
Wariant 2 - gaz ziemny	-99 452	1,23	-101 252	1,24	-102 934	1,24	-104 507	1,24	-105 980	1,24	-107 361	1,24	-108 655	1,25
Wariant 3 - gaz ziemny	-134 033	1,03	-135 852	1,03	-137 552	1,03	-139 143	1,03	-140 631	1,03	-142 026	1,03	-143 335	1,03
Wariant 4 - gaz ziemny	-131 054	1,27	-133 977	1,27	-136 710	1,26	-139 266	1,26	-141 659	1,26	-143 901	1,25	-146 004	1,25
Wariant 5 - gaz ziemny	-138 086	1,19	-141 131	1,19	-143 978	1,18	-146 640	1,18	-149 133	1,17	-151 469	1,17	-153 659	1,17
Wariant 1 - węgiel	nie dotyczy	1,49	nie dotyczy	1,51	nie dotyczy	1,53	nie dotyczy	1,54	nie dotyczy	1,56	nie dotyczy	1,58	nie dotyczy	1,59
Wariant 2 - węgiel	-119 610	1,00	-120 461	0,99	-121 257	0,99	-122 002	0,98	-122 700	0,98	-123 354	0,97	-123 969	0,97
Wariant 3 - węgiel	-154 407	0,83	-155 267	0,83	-156 071	0,82	-156 824	0,81	-157 529	0,81	-158 191	0,80	-158 812	0,80
Wariant 4 - węgiel	-163 802	1,01	-165 184	1,00	-166 476	0,99	-167 687	0,98	-168 821	0,98	-169 884	0,97	-170 883	0,96
Wariant 5 - węgiel	-172 197	0,97	-173 637	0,96	-174 983	0,95	-176 244	0,94	-177 425	0,93	-178 533	0,92	-179 573	0,91
Wariant 1 - olej opałowy	nie dotyczy	0,72	nie dotyczy	0,74	nie dotyczy	0,76	nie dotyczy	0,78	nie dotyczy	0,79	nie dotyczy	0,81	nie dotyczy	0,83
Wariant 2 - olej opałowy	-70 557	0,80	-73 784	0,80	-76 798	0,81	-79 615	0,82	-82 251	0,82	-84 718	0,83	-87 031	0,83
Wariant 3 - olej opałowy	-104 829	0,69	-108 091	0,69	-111 137	0,70	-113 984	0,70	-116 648	0,70	-119 142	0,71	-121 479	0,71
Wariant 4 - olej opałowy	-84 111	0,91	-89 354	0,91	-94 251	0,92	-98 827	0,92	-103 108	0,92	-107 117	0,92	-110 874	0,92
Wariant 5 - olej opałowy	-89 189	0,87	-94 651	0,87	-99 751	0,88	-104 518	0,88	-108 977	0,88	-113 153	0,88	-117 066	0,88
Wariant 1 - energia elektryczna	nie dotyczy	0,22	nie dotyczy	0,23	nie dotyczy	0,23	nie dotyczy	0,24	nie dotyczy	0,25	nie dotyczy	0,25	nie dotyczy	0,26
Wariant 2 - energia elektryczna	-35 365	0,28	-40 163	0,29	-44 648	0,29	-48 846	0,29	-52 777	0,30	-56 462	0,30	-59 920	0,30
Wariant 3 - energia elektryczna	-69 261	0,26	-74 110	0,26	-78 643	0,26	-82 886	0,26	-86 859	0,27	-90 584	0,27	-94 078	0,27
Wariant 4 - energia elektryczna	-26 939	0,36	-34 733	0,36	-42 021	0,36	-48 840	0,37	-55 227	0,37	-61 214	0,37	-66 830	0,37
Wariant 5 - energia elektryczna	-29 637	0,36	-37 756	0,36	-45 347	0,36	-52 450	0,36	-59 102	0,37	-65 338	0,37	-71 189	0,37
Wariant 1 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	188 681	1,11	176 763	1,12	165 620	1,13	155 193	1,14	145 427	1,15	136 273	1,16	127 684	1,17
Wariant 1 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-16 694	1,58	-19 122	1,59	-21 390	1,60	-23 510	1,61	-25 494	1,61	-27 352	1,62	-29 094	1,63
Wariant 1 - pompa 100%CO+CWU	231 217	2,02	217 053	2,03	203 809	2,04	191 417	2,04	179 810	2,05	168 930	2,06	158 722	2,06
Wariant 1 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	154 817	0,76	144 698	0,77	135 238	0,78	126 386	0,79	118 094	0,80	110 322	0,81	103 031	0,82
Wariant 2 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	87 045	0,93	74 135	0,93	62 064	0,93	50 769	0,93	40 190	0,93	30 273	0,93	20 969	0,92
Wariant 2 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-118 330	1,36	-121 751	1,36	-124 946	1,35	-127 934	1,35	-130 731	1,34	-133 352	1,34	-135 809	1,33
Wariant 2 - pompa 100%CO+CWU	137 602	1,85	122 343	1,84	108 076	1,83	94 726	1,82	82 222	1,81	70 501	1,80	59 504	1,79
Wariant 2 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	75 474	0,79	63 364	0,79	52 042	0,79	41 446	0,79	31 523	0,79	22 221	0,79	13 494	0,79
Wariant 3 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	44 546	0,79	31 484	0,79	19 272	0,79	7 844	0,79	-2 860	0,79	-12 893	0,78	-22 306	0,78

Wariant	Zakres zmian stopy dyskontowej [punkty procentowe]													
	-1,5%		-1,0%		-0,5%		0,0%		0,5%		1,0%		1,5%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści
Wariant 3 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-160 830	1,14	-164 401	1,13	-167 738	1,13	-170 859	1,12	-173 780	1,11	-176 517	1,11	-179 083	1,10
Wariant 3 - pompa 100%CO+CWU	95 982	1,53	80 530	1,52	66 084	1,51	52 565	1,50	39 903	1,48	28 034	1,47	16 899	1,46
Wariant 3 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	35 553	0,67	23 409	0,67	12 054	0,67	1 429	0,67	-8 522	0,67	-17 850	0,67	-26 602	0,67
Wariant 4 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	36 511	0,92	22 844	0,91	10 065	0,91	-1 893	0,90	-13 092	0,90	-23 591	0,90	-33 440	0,89
Wariant 4 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-168 865	1,40	-173 042	1,39	-176 945	1,38	-180 596	1,37	-184 013	1,36	-187 215	1,35	-190 218	1,34
Wariant 4 - pompa 100%CO+CWU	87 947	1,99	71 890	1,97	56 877	1,96	42 828	1,94	29 671	1,92	17 337	1,90	5 765	1,89
Wariant 4 - pompa 70%CO+CWU + en. elektr.	43 227	0,90	29 747	0,90	17 145	0,89	5 351	0,89	-5 694	0,88	-16 048	0,88	-25 762	0,88
Wariant 5 - pompa 100% CO + en. elektr. dla cwu	36 961	0,86	23 323	0,86	10 572	0,86	-1 360	0,85	-12 536	0,85	-23 012	0,84	-32 840	0,84
Wariant 5 - pompa 100% CO + gaz dla cwu	-168 414	1,29	-172 562	1,28	-176 438	1,27	-180 063	1,26	-183 457	1,25	-186 636	1,24	-189 618	1,23
Wariant 5 - pompa 100%CO+CWU	87 519	1,76	71 532	1,74	56 584	1,72	42 597	1,71	29 497	1,69	17 216	1,68	5 695	1,66
Wariant 5 - pompa 70% CO+CWU + en. elektr.	42 191	0,87	28 573	0,87	15 840	0,86	3 925	0,86	-7 234	0,86	-17 695	0,85	-27 509	0,85
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-823	1,49	-1 586	1,51	-2 300	1,54	-2 967	1,56	-3 591	1,58	-4 177	1,60	-4 725	1,63
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-100 276	1,37	-102 838	1,37	-105 234	1,37	-107 474	1,37	-109 572	1,36	-111 537	1,36	-113 381	1,36
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-134 857	1,13	-137 439	1,13	-139 852	1,13	-142 109	1,12	-144 223	1,12	-146 203	1,12	-148 060	1,12
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-131 877	1,51	-135 564	1,50	-139 009	1,50	-142 233	1,49	-145 250	1,48	-148 078	1,48	-150 730	1,47
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + gaz ziemny	-138 909	1,41	-142 718	1,40	-146 277	1,39	-149 607	1,38	-152 724	1,38	-155 645	1,37	-158 385	1,36
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + węgiel	-11 779	1,45	-12 032	1,46	-12 268	1,47	-12 490	1,48	-12 697	1,49	-12 892	1,50	-13 075	1,51
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + węgiel	-131 389	1,04	-132 493	1,03	-133 525	1,02	-134 491	1,02	-135 397	1,01	-136 246	1,00	-137 044	1,00
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + węgiel	-166 186	0,87	-167 298	0,86	-168 339	0,85	-169 314	0,85	-170 227	0,84	-171 083	0,83	-171 887	0,83
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + węgiel	-175 580	1,12	-177 215	1,11	-178 745	1,10	-180 176	1,09	-181 518	1,08	-182 776	1,07	-183 957	1,06
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + węgiel	-183 976	1,07	-185 668	1,05	-187 251	1,04	-188 734	1,03	-190 122	1,02	-191 425	1,01	-192 648	1,00
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + olej	2 810	0,78	1 850	0,79	954	0,81	116	0,83	-668	0,84	-1 402	0,86	-2 089	0,87

Wariant	Zakres zmian stopy dyskontowej [punkty procentowe]													
	-1,5%		-1,0%		-0,5%		0,0%		0,5%		1,0%		1,5%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektywno ści
opałowy														
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-67 747	0,87	-71 934	0,88	-75 845	0,88	-79 500	0,89	-82 919	0,89	-86 120	0,89	-89 120	0,90
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-102 019	0,75	-106 241	0,75	-110 183	0,76	-113 868	0,76	-117 316	0,76	-120 543	0,76	-123 568	0,76
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-81 301	1,06	-87 504	1,06	-93 297	1,06	-98 711	1,06	-103 776	1,06	-108 519	1,06	-112 963	1,06
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + olej opałowy	-86 379	1,01	-92 801	1,01	-98 797	1,01	-104 402	1,01	-109 645	1,01	-114 555	1,01	-119 155	1,00
Wariant 1 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	9 761	0,24	8 497	0,25	7 316	0,25	6 210	0,26	5 175	0,27	4 204	0,27	3 294	0,28
Wariant 2 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-25 604	0,31	-31 666	0,32	-37 332	0,32	-42 635	0,32	-47 602	0,33	-52 258	0,33	-56 626	0,33
Wariant 3 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-59 500	0,29	-65 613	0,29	-71 327	0,29	-76 675	0,29	-81 684	0,29	-86 379	0,30	-90 784	0,30
Wariant 4 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-17 179	0,42	-26 236	0,42	-34 705	0,42	-42 630	0,42	-50 052	0,42	-57 009	0,43	-63 536	0,43
Wariant 5 z kolektorem słonecznym + energia elektryczna	-19 877	0,42	-29 259	0,42	-38 031	0,42	-46 239	0,42	-53 927	0,42	-61 134	0,42	-67 895	0,42
max	231 217	2,02	217 053	2,03	203 809	2,04	191 417	2,04	179 810	2,05	168 930	2,06	158 722	2,06
min	-183 976	0,22	-185 668	0,23	-187 251	0,23	-188 734	0,24	-190 122	0,25	-191 425	0,25	-192 648	0,26

Tabela 14. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku wielorodzinnego – nakłady inwestycyjne

Wariant	Zakres zmian poziomu nakładów inwestycyjnych																	
	-20%		-15%		-10%		-5%		0%		+5%		+10%		+15%		+20%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności
Wariant 0	nie dotyczy	0,44	nie dotyczy	0,45	nie dotyczy	0,46	nie dotyczy	0,47	nie dotyczy	0,48	nie dotyczy	0,49	nie dotyczy	0,50	nie dotyczy	0,51	nie dotyczy	0,52
Wariant 1	501 200	0,95	480 815	0,96	460 430	0,97	440 045	0,98	419 660	0,99	399 275	1,00	378 890	1,00	358 505	1,01	338 120	1,02
Wariant 2	15 888	0,82	-43 017	0,82	-101 922	0,82	-160 827	0,81	-219 732	0,81	-278 637	0,81	-337 542	0,80	-396 447	0,80	-455 352	0,80
Wariant 3	330	0,86	-58 575	0,85	-117 480	0,85	-176 385	0,85	-235 290	0,84	-294 195	0,84	-353 100	0,84	-412 005	0,84	-470 910	0,83
Wariant 4	-147 196	1,45	-203 601	1,45	-260 006	1,44	-316 411	1,44	-372 816	1,44	-429 221	1,44	-485 626	1,44	-542 031	1,44	-598 436	1,43
Wariant 5	20 650	1,47	-35 755	1,46	-92 160	1,45	-148 565	1,44	-204 970	1,43	-261 375	1,42	-317 780	1,41	-374 185	1,41	-430 590	1,40
max	501 200	1,47	480 815	1,46	460 430	1,45	440 045	1,44	419 660	1,44	399 275	1,44	378 890	1,44	358 505	1,44	338 120	1,43
min	-147 196	0,44	-203 601	0,45	-260 006	0,46	-316 411	0,47	-372 816	0,48	-429 221	0,49	-485 626	0,50	-542 031	0,51	-598 436	0,52

Tabela 15. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku wielorodzinnego – koszty ogrzewania

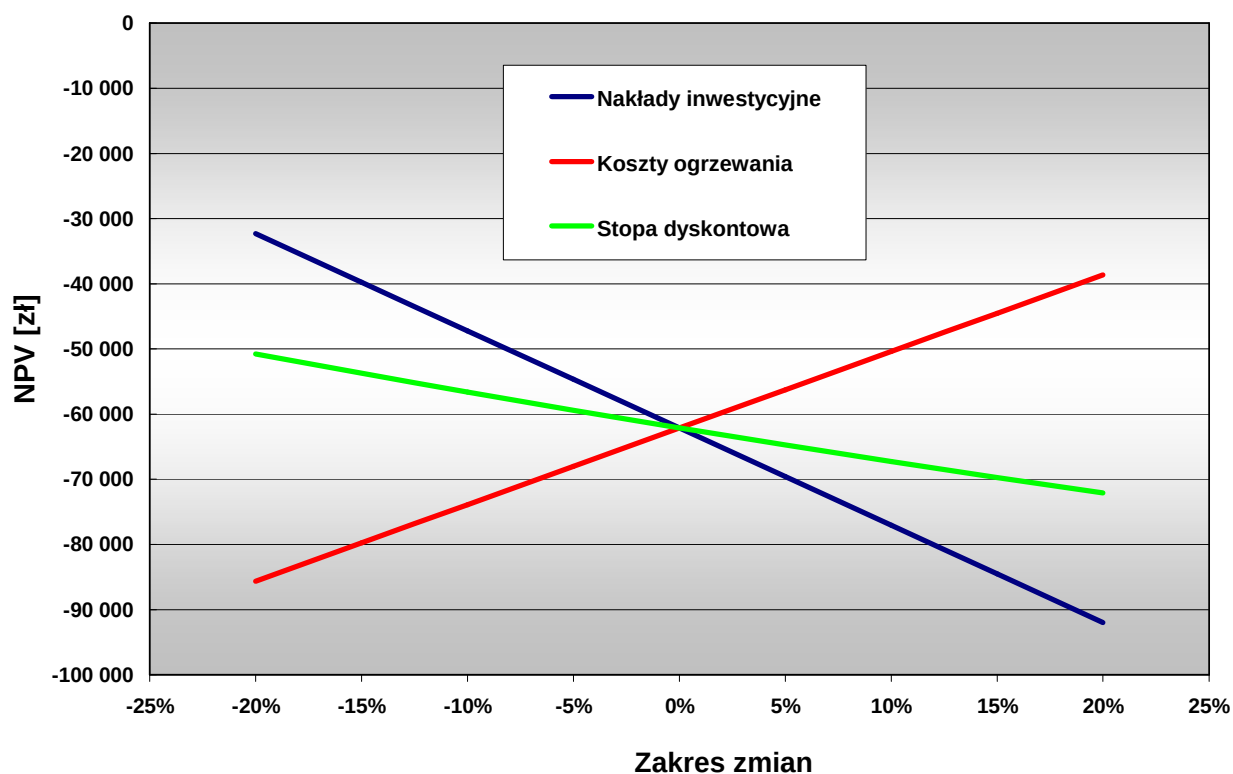
Wariant	Zakres zmian poziomu kosztów ogrzewania																	
	-20%		-15%		-10%		-5%		0%		+5%		+10%		+15%		+20%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności
Wariant 0	nie dotyczy	0,49	nie dotyczy	0,49	nie dotyczy	0,48	nie dotyczy	0,48	nie dotyczy	0,48	nie dotyczy	0,48	nie dotyczy	0,48	nie dotyczy	0,48	nie dotyczy	0,48
Wariant 1	408 977	0,99	411 648	0,99	414 319	0,99	416 990	0,99	419 660	0,99	422 331	0,99	425 002	0,99	427 672	0,99	430 343	0,99
Wariant 2	-232 111	0,81	-229 016	0,81	-225 921	0,81	-222 827	0,81	-219 732	0,81	-216 638	0,81	-213 543	0,81	-210 448	0,81	-207 354	0,81
Wariant 3	-247 657	0,84	-244 565	0,84	-241 474	0,84	-238 382	0,84	-235 290	0,84	-232 198	0,85	-229 107	0,85	-226 015	0,85	-222 923	0,85
Wariant 4	-380 157	1,44	-378 322	1,44	-376 486	1,44	-374 651	1,44	-372 816	1,44	-370 980	1,44	-369 145	1,44	-367 309	1,44	-365 474	1,44
Wariant 5	-214 895	1,43	-212 414	1,43	-209 932	1,43	-207 451	1,43	-204 970	1,43	-202 488	1,43	-200 007	1,43	-197 526	1,44	-195 045	1,44
max	408 977	1,44	411 648	1,44	414 319	1,44	416 990	1,44	419 660	1,44	422 331	1,44	425 002	1,44	427 672	1,44	430 343	1,44
min	-380 157	0,49	-378 322	0,49	-376 486	0,48	-374 651	0,48	-372 816	0,48	-370 980	0,48	-369 145	0,48	-367 309	0,48	-365 474	0,48

Tabela 16. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku wielorodzinnego – stopa dyskontowa

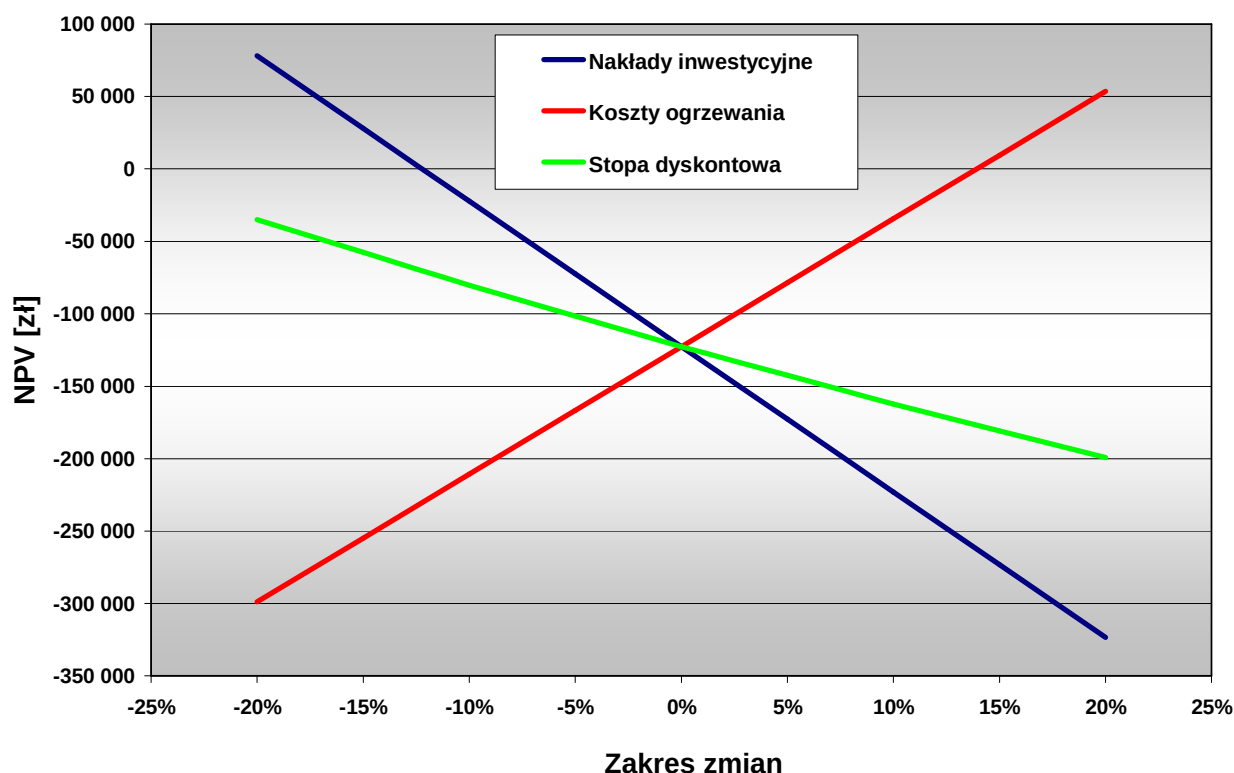
Wariant	Zakres zmian stopy dyskontowej [punkty procentowe]													
	-1,5%		-1,0%		-0,5%		0,0%		0,5%		1,0%		1,5%	
	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności	NPV	Wartość względna wskaźnika ekoefektyw- ności
Wariant 0	nie dotyczy	0,46	nie dotyczy	0,47	nie dotyczy	0,47	nie dotyczy	0,48	nie dotyczy	0,49	nie dotyczy	0,50	nie dotyczy	0,51
Wariant 1	544 701	0,97	500 166	0,97	458 561	0,98	419 660	0,99	383 255	1,00	349 156	1,00	317 190	1,01
Wariant 2	-74 888	0,82	-126 476	0,81	-174 670	0,81	-219 732	0,81	-261 903	0,81	-301 402	0,81	-338 430	0,80
Wariant 3	-92 586	0,85	-143 421	0,85	-190 903	0,85	-235 290	0,84	-276 822	0,84	-315 716	0,84	-352 170	0,84
Wariant 4	-250 678	1,45	-294 256	1,45	-334 891	1,44	-372 816	1,44	-408 240	1,44	-441 357	1,44	-472 343	1,43
Wariant 5	-58 690	1,46	-110 856	1,45	-159 525	1,44	-204 970	1,43	-247 441	1,42	-287 168	1,42	-324 359	1,41
max	544 701	1,46	500 166	1,45	458 561	1,44	419 660	1,44	383 255	1,44	349 156	1,44	317 190	1,43
min	-250 678	0,46	-294 256	0,47	-334 891	0,47	-372 816	0,48	-408 240	0,49	-441 357	0,50	-472 343	0,51

Przeprowadzona analiza wrażliwości wskazuje, że w analizowanym zakresie zmian warianty nieefektywne nie osiągają efektywności ekonomicznej. Natomiast w zakresie oceny ekoefektywności jedynie skrajne odchylenia zmiennych krytycznych od wartości podstawowych powodują zmianę kolejności w rankingu oceny ekoefektywności.

Uzyskane wyniki analizy wrażliwości przedstawiono również w formie graficznej w celu wskazania wpływu badanych zmiennych na uzyskiwane wyniki obliczeń. Analizowano wartości średnie wyliczone z wyników cząstkowych wszystkich wariantów.



Rys. 24. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku jednorodzinnego



Rys. 25. Wyniki analizy wrażliwości dla budynku wielorodzinnego

Na podstawie powyższych wykresów można stwierdzić, że efektywność ekonomiczna stosowanych rozwiązań termomodernizacyjnych i urządzeń wykorzystujących OZE jest najbardziej wrażliwa na zmiany nakładów inwestycyjnych. Jest ona jednak tylko nieco mniej wrażliwa od wpływu zmian kosztów ogrzewania. Biorąc pod uwagę niepewność co do przyjętych prognoz wzrostu cen energii i ich prawdopodobne niedoszacowanie można stwierdzić, że wpływ zmian nakładów inwestycyjnych jest porównywalny z wpływem zmian kosztów ogrzewania na wyniki analiz efektywności ekonomicznej. Najmniejszy wpływ na uzyskiwane wyniki ma natomiast zmiana stopy dyskontowej przyjętej do analiz.

8 Podsumowanie

Potwierdzono, że najwyższe oddziaływanie na środowisko w cyklu istnienia budynku występuje w fazie użytkowania. Stwierdzono również, że termoizolacja zewnętrznych przegród budowlanych oraz zastosowanie OZE przynosi korzyści związane ze zwiększeniem efektywności środowiskowej. Wyprodukowanie materiału izolacyjnego potrzebnego do termoizolacji oraz urządzeń wykorzystujących OZE zwiększa obciążenie środowiska w fazie produkcji materiałów budowlanych, ale dzięki temu w fazie użytkowania budynku, można uzyskać zmniejszenie obciążenia środowiska w wyniku termoizolacji.

W zakresie kosztów oszczędności w zużyciu energii i poniesione nakłady inwestycyjne na dodatkowe rozwiązania zmierzające do poprawy efektywności energetycznej w budynkach determinują opłacalność inwestycji.

Porównanie wyników analiz metodami UNIDO z wynikami oceny efektywności wskazuje na zasadność prowadzonych analiz efektywności. Wskaźnik efektywności uwzględnia bowiem zarówno czynnik ekologiczny (LCA), jak i kosztowy (LCC), co w przypadku oceny rozwiązań termomodernizacyjnych i technologii bazujących na OZE pozwala uzyskać bardziej kompleksowe wyniki. W pewnych przypadkach kryterium ekonomiczne, z pominięciem uwarunkowań ekonomicznych, może się okazać niewystarczające.

Reasumując – na podstawie przeprowadzonych analiz przykładowych rozwiązań technicznych ustalono, że przyjęta metodologia pozwala dokonywać prawidłowej oceny efektów technicznych, ekonomicznych i ekologicznych substytucji konwencjonalnych źródeł energii przez OZE, a w szczególności ich efektywności.

Załącznik 1.

**Wyniki audytów energetycznych
budynku jednorodzinnego**

Załącznik 2.

**Wyniki audytów energetycznych
budynku wielorodzinnego**