STOPSMOG - Kampania Edukacyjna
Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy
00-548 Warszawa,ul. Krucza 5/11D

WIELOWARIANTOWA ANALIZA ELIMINOWANIA PRZESTARZAŁYCH, NISKOEFEKTYWNYCH ENERGETYCZNIE I WYSOKOEMISYJNYCH ŹRÓDEŁ WYTWARZANIA ENERGII UŻYTKOWEJ ZE SPALANIA WĘGLA W INDYWIDUALNYCH GOSPODARSTWACH DOMOWYCH

PRACA WYKONANA W RAMACH PROJEKTU KAMPANIA EDUKACYJNA STOP SMOG, FINANSOWANEGO ZE ŚRODKÓW MECHANIZMU FINANSOWEGO EOG 2009-2014 W RAMACH FUNDUSZU WSPÓŁPRACY DWUSTRONNEJ NA POZIOMIE PROGRAMU OPERACYJNEGO PL04.

STOPSMOG Program finansowany ze środków Mechanizmu Finansowego EOG 2009-2014 w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej na poziomie Programu Operacyjnego PL04.

Wielowariantowa analiza eliminowania przestarzałych, niskoefektywnych energetycznie i wysokoemisyjnych źródeł wytwarzania energii użytkowej ze spalania węgla w indywidualnych gospodarstwach domowych

Autorzy:
dr hab. inż. Wojciech Stanek, Prof. nzw. w Pol. Śl.
dr inż. Robert Kubica (kierownik pracy)
dr inż. Marcin Plis
mgr. inż. Wojciech Bogacz
mgr inż. Andrzej Falecki

Gliwice, listopad 2017

Spis treści

Podstawa formalna pracy ____ 3
Cel i zakres pracy ____ 4
1 Metodyka prac ____ 6
2 Wprowadzenie ____ 11
3 Stan techniki i otoczenie prawne ____ 13
3.1 Charakterystyka techniczna źródeł ciepła objętych analizą ____ 13
3.2 Regulacje prawne dotyczące źródeł spalania paliw stałych i gazowych ____ 22
3.2.1 Paliwa stałe ____ 22
3.2.2 Paliwa gazowe ____ 25
3.3 Wyznaczenie wielkości wskaźników emisji zanieczyszczeń do powietrza ze źródeł ogrzewania w przeliczaniu na jednostkę energii ____ 26
3.4 Wyznaczenie wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza ze źródeł ogrzewania w oparciu o wielkość zużycia paliwa ____ 29
3.5 Sprawności sezonowe urządzeń grzewczych ____ 31
3.6 Straty z tytułu przetłaczania gazu na dalekie odległości ____ 37
3.6.1 Charakterystyka systemu przesyłania gazu ____ 37
3.6.2 Algorytm obliczeń wskaźników emisji bezpośredniej i skumulowanej ____ 38
4 Analiza kosztów ____ 41
4.1 Koszty inwestycyjne ____ 41
4.2 Koszty zakupu nośników energii ____ 46
4.3 Zewnętrzne koszty środowiskowe ____ 47
5 Analiza ekonomiczna ____ 51
5.1 Algorytm obliczeń do wyznaczenia opłacalności inwestycji ____ 51
5.2 Algorytm obliczeń rocznego zapotrzebowania na ciepło do celów centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej ____ 52
5.3 Algorytm wyznaczenia zużycia paliwa ____ 59
5.4 Algorytm wyznaczenia kosztów eksploatacji oraz emisji szkodliwych substancji do otoczenia ____ 61
5.5 Algorytm wyznaczenia kosztów zewnętrznych związanych z eksploatacją analizowanych źródeł ciepła ____ 69
5.6 Algorytm obliczeń analizy ekonomicznej opłacalności eliminacji pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła użytkowego na nowoczesne niskoemisyjne urządzenia grzewcze. ____ 72

5.7 Ocena opłacalności wymiany pozaklasowego źródła wytwarzania ciepła użytkowego na nowoczesne niskoemisyjne urządzenia grzewcze dla analizowanych klas budynków bez oraz z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych. 73

6 Podsumowanie i wnioski 103

Podstawa formalna pracy

Praca wykonana została na podstawie umów cywilno prawnych zawartych pomiędzy Zleceniodawcą – Instytutem Ochrony Środowiska, a Wykonawcami. Podział prac wynika z zakresu zawartych umów cywilnoprawnych i jest następujący:

1. Bogacz Wojciech; mgr inż.; *Katedra Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego, Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej*; Analiza wskaźników emisji zanieczyszczeń (TSP, PM10, PM2.5, BaP, SO_2, NOx, CO oraz CO_2) ze spalania paliw stałych (węgla i biomasy drzewnej) w nowoczesnych, niskoemisyjnych urządzeniach grzewczych dla oszacowania efektu ekologicznego i wyboru najbardziej korzystnego rozwiązania pod względem ekologicznym i ekonomicznym w skali kraju;
2. Kubica Robert, dr inż.; *Katedra Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego, Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej*; Oszacowanie efektu ekologicznego, jako stopnia redukcji emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia i środowiska (TSP, PM10, PM2.5, BaP, SO_2, NOx, CO oraz CO_2) w wyniku eliminacji pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła użytkowego małej mocy z węgla na nowoczesne niskoemisyjne urządzenia grzewcze zasilane paliwami gazowymi i stałymi w skali Polski oraz propozycja najbardziej korzystnego rozwiązania pod względem ekologicznym i ekonomicznym;
3. Andrzej Falecki *Katedra Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego, Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej*; Analiza wskaźników emisji zanieczyszczeń (TSP, PM10, PM2.5, BaP, SO_2, NOx, CO oraz CO_2) ze spalania paliw gazowych w urządzeniach grzewczych małej mocy, dla oszacowania efektu ekologicznego ich stosowania w miejsce tradycyjnych kotłów węglowych;
4. Plis Marcin, mgr inż.; *Instytut Techniki Cieplnej, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej* ; Analiza kosztów eksploatacyjnych eliminacji pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła użytkowego małej mocy z węgla na nowoczesne niskoemisyjne urządzenia grzewcze zasilane paliwami gazowymi i paliwami stałymi (węglem i biomasa drzewną) w skali Polski;
5. Stanek Wojciech, prof. Pol. Śl. dr hab. inż.; *Instytut Techniki Cieplnej, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej*; Analiza kosztów inwestycyjnych eliminacji pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła użytkowego małej mocy z węgla na nowoczesne niskoemisyjne urządzenia grzewcze, zasilane paliwami gazowymi i stałymi (węglem i biomasą drzewną), w skali Polski oraz propozycja najbardziej korzystnego rozwiązania pod względem ekonomicznym;

W związku z powyższym autorami poszczególnych rozdziałów niniejszej pracy są:

Rozdział 1. Robert Kubica,
Rozdział 2. Robert Kubica, Wojciech Stanek
Rozdział 3. Robert Kubica, Wojciech Stanek, Andrzej Falecki, Wojciech Bogacz
Rozdział 4. Marcin Plis, Wojciech Stanek, Robert Kubica
Rozdział 5. Marcin Plis, Wojciech Stanek,
Rozdział 6. Robert Kubica, Wojciech Stanek

Cel i zakres pracy

Celem niniejszej pracy jest określenie efektów ekologicznych i ekonomicznych eliminowania przestarzałych, niskoefektywnych energetycznie i wysokoemisyjnych źródeł wytwarzania energii użytkowej ze spalania węgla w indywidualnych gospodarstwach domowych. Wyniki analizy zostaną wykorzystane w ogólnopolskiej kampanii na rzecz kształtowania odpowiedzialnych postaw społecznych w kontekście troski o czyste powietrze oraz w przygotowaniu nowej perspektywy finansowej w ramach NMF.

Zakres pracy obejmuje następujące zadania**:**

- oszacowanie efektu ekologicznego, jako stopnia redukcji emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia i środowiska – pyłu całkowitego (TSP) oraz jego subfrakcji PM10 i PM2.5, benzo(a)pirenu (BaP), dwutlenku siarki (SO_2) i tlenków azotu (NOx), CO oraz CO_2. W oszacowania gazu cieplarnianego - CO_2 dla paliw kopalnych (gazu i węgla) zostanie oszacowana skumulowana emisja gazów powodujących efekt cieplarniany, z uwzględnieniem strat gazu w trakcie jego transportu/przesyłu na dalekie odległości;
- oszacowanie kosztów inwestycyjnych, z uwzględnieniem zarówno wymiany źródła wytwarzania ciepła użytkowego, jak i niezbędnej infrastruktury do zapewnienia optymalnych warunków eksploatacyjnych nowego źródła, dla zapewnienia oczekiwanego efektu ekologicznego;
- oszacowanie kosztów eksploatacyjnych, uwzględniających standardowe zapotrzebowanie na energię końcową (iloczyn wskaźnika energii końcowej Ek i powierzchni ogrzewanej budynku);
- wybór najbardziej korzystnego rozwiązania pod względem ekologicznym i ekonomicznym.

Niniejsza analiza, eliminowania przestarzałych, niskoefektywnych energetycznie i wysokoemisyjnych źródeł wytwarzania energii użytkowej ze spalania węgla w indywidualnych gospodarstwach domowych, obejmuje możliwość zastosowania poniższych wariantów źródła energii użytkowej:

1. kotła opalanego gazem sieciowym,
2. kotła opalanego gazem LPG,

3a. kotła opalanego biomasą drzewną, spełniającego wymagania energetyczno-emisyjne

klasy 5 wg PN EN 303-5:2012, [1], z uwzględnieniem dwóch rodzajów urządzeń grzewczych: z automatycznym zasilaniem pelletem drzewnym i z ręcznym zasilaniem drewnem kawałkowym (brykietem drzewnym), tzw. kotła zgazowującego,

3b. kotła opalanego biomasą drzewną, spełniającego sezonowe wymagania energetyczno-emisyjne Rozporządzenia KOMISJI (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. [2], z uwzględnieniem dwóch rodzajów urządzeń grzewczych: z automatycznym zasilaniem pelletem drzewnym i z ręcznym zasilaniem drewnem kawałkowym, tzw. kotła zgazowującego,

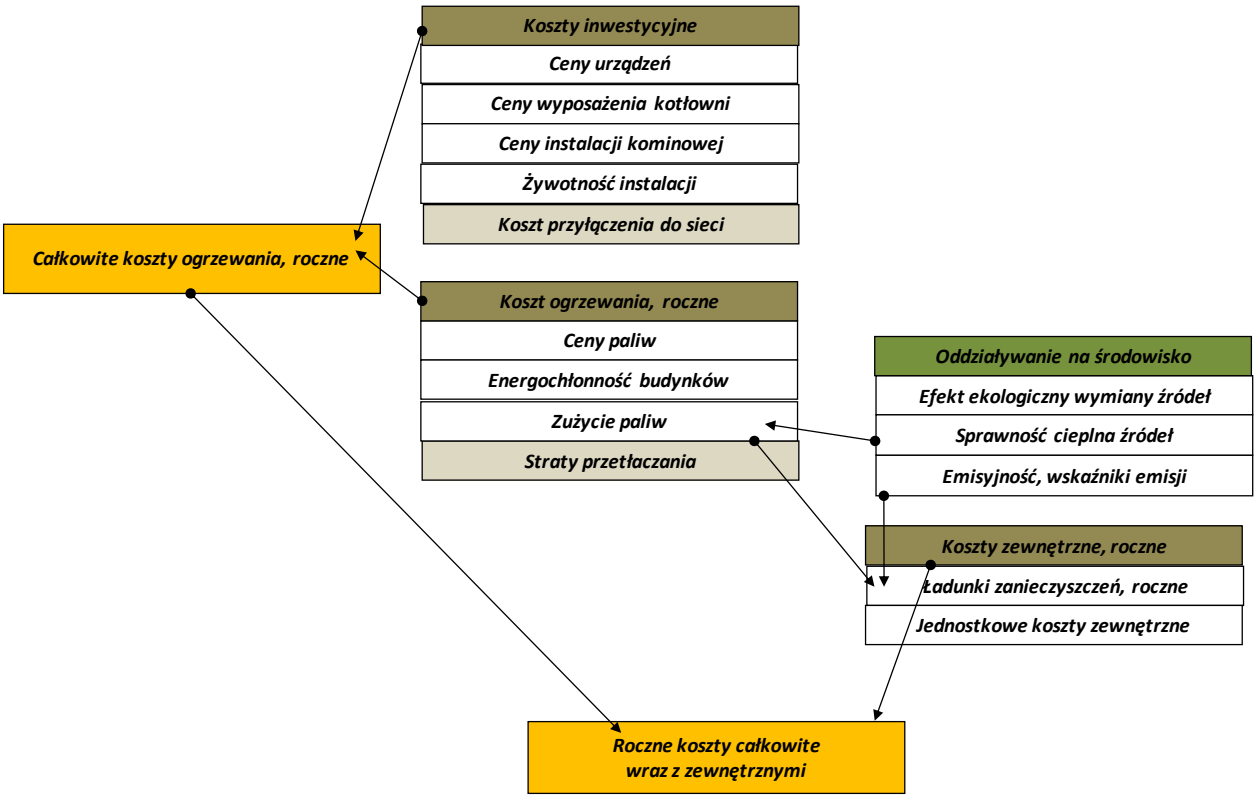
4a. kotła opalanego węglem kamiennym, spełniającego wymagania energetyczno-emisyjne klasy 5 wg PN EN 303-5:2012 [1], z uwzględnieniem dwóch rodzajów urządzeń grzewczych: z automatycznym i ręcznym zasilaniem kwalifikowanymi/(autoryzowanymi paliwami węglowymi,

4b. kotła opalanego węglem kamiennym, spełniającego sezonowe wymagania energetyczno-emisyjne Rozporządzenia KOMISJI (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r., [2], z uwzględnieniem dwóch rodzajów urządzeń grzewczych: z automatycznym i ręcznym zasilaniem kwalifikowanymi paliwami węglowymi.

1 Metodyka prac

Oszacowanie efektu ekologicznego zostało wykonane według metodyki opartej o zestaw wskaźników emisji TSP, PM10, PM2.5, BaP, SO2, NOx, CO oraz CO2, dla poszczególnych wariantów zastąpienia wyeksploatowanych, pozaklasowych kotłów/pieców, wyznaczonych w oparciu o posiadaną wiedzę ekspercką i doświadczenia w tej dziedzinie przy wykorzystaniu dostępnych opracowań, raportów, wyników badań. Zestaw wskaźników emisji wyznaczono w przeliczeniu na jednostkę energii (g/GJ) oraz zużytego paliwa odpowiednio: g/m³ zużytego gazu ziemnego, g/Mg zużytego węgla, stałych biopaliw (pelletów drzewnych, drewna kawałkowego), lub LPG. Przyjęte wskaźniki emisji dla poszczególnych urządzeń grzewczych uwzględniają wskaźniki emisji przyjmowane w krajowej inwentaryzacji emisji KOBIZE dla sektora mieszkaniowego oraz wskaźniki emisji EIG EMEP, [3, 4], a także wskaźniki emisji zanieczyszczeń uzyskiwanych przez urządzenia grzewcze na paliwa gazowe, stałe paliwa kwalifikowane, zarówno kopalne (węgiel sortyment groszek) jak i stałe biopaliwa (np. pellet) , dostępne na krajowym rynku. Przy wyznaczaniu wskaźników emisji wzięto pod uwagę przewidywane rzeczywiste warunki eksploatacji kotłów.

Metodyka analizy, w tym dane wejściowe przedstawione zostały w sposób schematyczny na rysunku 1.1.



Rys.1.1. Schemat ideowy pracy

Analiza obejmuje wykorzystanie następujących danych wejściowych:

1. Koszty inwestycyjne dla wybranych opcji technicznych, w tym:
    - Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny
    - Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny
    - Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny
    - Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny
    - Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012
    - Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012
    - Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing
    - Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing
    - Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012
    - Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing
    - Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012
    - Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing

2. Koszty inwestycyjne elementów instalacji grzewczej:
    - bufor ciepła,
    - zawór mieszający,
    - sterownik pokojowy,
    - sterownik pogodowy,
    - instalacja kominowa,
    - zbiornik magazynowy.

3. Sprawność cieplna i emisyjność źródeł dla wybranych opcji (jak w punkcie 1 + kocioł stary na węgiel), wskaźniki emisji wybranych zanieczyszczeń, w tym:
    - TSP
    - PM10
    - PM2.5
    - CO
    - SO_2
    - NOx
    - BaP
    - CO_2

4. Ceny i parametry paliw (Q_d) paliw:
    - węgiel, groszek
    - węgiel, orzech
    - drewno kawałkowe
    - pellet
    - gaz ziemny
    - LPG
5. Energochłonność budynków wyznaczona wg. [1], [2], [3].
6. Jednostkowe koszty zewnętrzne dla wybranych zanieczyszczeń:
    - TSP,
    - PM10,
    - PM2.5,
    - SO_2,
    - CO,
    - NOx,
    - BaP.
7. Straty przetłaczania na dalekie odległości.

Przyjęto następujące założenia:

- żywotność instalacji grzewczej 15 lat dla paliw gazowych oraz 12 lat dla paliw stałych,
- obliczenia wielkości emisji, efektu ekologicznego oraz kosztów odniesione zostały do 1 roku,
- analizą objęto budynki o energochłonności określonej normą PN-EN 12831:2006 z wyłączeniem budynków pasywnych.

Algorytm obliczeniowy obejmował wyznaczenie następujących wielkości:

- zużycie paliwa, na podstawie (dane wejściowe 3, 4 i 5) wg algorytmów zawartych w [1], [4], [5], [6],
- koszty ogrzewania na podstawie (obliczenia 1) i (dane wejściowe 4),
- koszty inwestycyjne, na podstawie (dane wejściowe 1 i 2),
- koszty całkowite, na podstawie (obliczenia dane wejściowe 2 i 3),
- efekt ekologiczny, na podstawie (dane wejściowe 3),
- ładunki zanieczyszczeń, na podstawie (obliczenia 1) i (dane wejściowe 3),
- koszty zewnętrzne , na podstawie (obliczenia 6) i (dane wejściowe 6),
- koszty całkowite, wraz z zewnętrznymi, na podstawie (obliczenia 4 i 7) oraz (dane wejściowe 7).

Literatura rozdziału:

[1] Norma PN-EN 12831:2006

[2] strona internetowa: http://www.termo-systemy.pl/klasa-energetyczna-budynku

[3] Bogacki M., Osicki A., Termomodernizacja budynków w świetle dyrektywy o certyfikacji energetycznej budynku FEWE, Katowice, 2011

[4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej

[5] Bronk L. i inni Kalkulator energetyczny dla jednostek samorządu terytorialnego, Instytut Energetyki Oddział Gdańsk, 2015

[6] Szkarowski A., Łatowski L., Ciepłownictwo. WNT Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2006

2 Wprowadzenie

Jednym z najważniejszych działań w zakresie poprawy jakości powietrza jest redukcja emisji zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza z emitorów o wysokości poniżej 40 m – tzw. *niskiej emisji*. Polska należy do tych krajów, w których głównym źródłem powstawania *niskiej emisji* jest sektor komunalno-bytowy. W 2015 roku w Polsce udział emisji z sektora komunalno-bytowego w całkowitej rocznej emisji CO, NMLZO, TSP, PM10, PM2.5, BC, WWA i PCDD/PCDFs wynosił odpowiednio: 60,2%, 20,8% 46,2%, 50.0%, 53,0% 20,6%, 87,4% i 47,9%, [5]. W tym sektorze, emisja WWA do powietrza, szacowana na podstawie oceny wielkości emisji 4 wskaźnikowych związków z tej grupy, (benzo(a)pirenu, benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, i indeno(1,2,3-cd)pirenu), wyniosła w 2015 roku 139,4 Mg, a PM10, PM2.5, odpowiednio, 110 547,2 Mg I 66 030,2 Mg. Uległa ona nieco zmniejszeniu w porównani z rokiem 2014, w wyniku mniejszego zużycia paliwa w 2015r.

Tak duży ładunek emitowanych zanieczyszczeń powoduje, że wg Europejskiej Agencji Środowiska, południowe województwa naszego kraju znalazły się na obszarze tzw. „hot – spotów", czyli obszarów o najwyższym stopniu przekroczenia granicznego stężenia PM10, PM2.5 i B(a)P w powietrzu [6]. W kolejnym, najnowszym z 2017 roku, raporcie Europejskiej Agencji Środowiska, Polska niestety znajduje się na niechlubnym pierwszym miejscu jeżeli chodzi o niedotrzymanie rocznego granicznego stężenia B(a)P w powietrzu, a w przypadku PM10 na drugim miejscu po Bułgarii, [7].

Udział tego sektora w całkowitej krajowej emisji powyżej wymienionych zanieczyszczeń nie ulegał znaczącej zmianie/redukcji od wielu lat, jest on bowiem uzależniony od ilości zużytego paliwa, a tym samym od długości sezonu grzewczego oraz jakości stosowanych paliw i stanu technicznego urządzeń grzewczych. Przyjęte w 2015 r. dwa istotne dokumenty o zasięgu ogólnokrajowym, Krajowy Program Ochrony Powietrza oraz tzw. *uchwały antysmogowe* stały się podstawowymi narzędziami pozatechnicznymi, które pozwalają podejmować określone działania na poziomie samorządu terytorialnego – wojewódzkiego, gminnego dla ograniczania emisji niskiej i poprawy jakości powietrza, [8, 9].

Województwo Małopolskie w swoim Regionalnym Programie Operacyjnym na lata 2014-2020 zaplanowało działania wspierające w priorytecie inwestycyjnym mające na celu przechodzenie na gospodarkę niskoemisyjną [10]. *„Osiągnięte to zostanie w wyniku inwestowania w obszarze zwiększenia efektywności energetycznej, obniżenia emisyjności wybranych sektorów z równoczesnym uzyskaniem poprawy jakości powietrza.*" W RPO założono, że" *inwestycje w indywidualne urządzenia do ogrzewania (indywidualne źródła ciepła) muszą przyczyniać się do zmniejszenia emisji CO_2 i innych zanieczyszczeń powietrza oraz do znacznego zwiększenia oszczędności energii. Inwestycje te mogą zostać wsparte jedynie w przypadku, gdy podłączenie do sieci ciepłowniczej na danym obszarze nie jest uzasadnione ekonomicznie*". Rezultatem tych działań ma być redukcja emisji PM10 i PM2,5 o około 28% w roku 2023 w odniesieniu do 2011 roku. W szczegółowych zapisach RPO zakłada się także redukcję emisji CO_2 o co najmniej 30%

w odniesieniu do istniejących instalacji [11]. W dokumentach RPO zakłada się, że osiągniecie tego celu będzie możliwe, gdy:

a) w wyniku realizacji projektu zastosowane zostaną systemy grzewcze:
   - oparte o kotły lub ogrzewacze pomieszczeń spalające biomasę lub paliwa gazowe lub
   - wykorzystujące odnawialne źródła energii lub
   - polegające na podłączeniu do sieci ciepłowniczej, oraz

b) wspierane w ramach projektu urządzenia do ogrzewania charakteryzują się obowiązującym od końca 2020 r. minimalnym poziomem efektywności energetycznej i normami emisji zanieczyszczeń, które zostały określone w środkach wykonawczych do dyrektywy 2009/125/WE z dnia 21 października 2009 r. ustanawiającej ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią (jeśli dotyczy).

   Wymóg dotyczy wszystkich paliw dopuszczonych do stosowania w instrukcji użytkowania urządzenia.

c) kotły spalające biomasę będą wyposażone w automatyczny podajnik paliwa (nie dotyczy kotłów zgazowujących) i nie będą posiadały rusztu awaryjnego ani elementów umożliwiających jego zamontowanie.

W podejmowanych *uchwałach antysmogowych* przez sejmiki kolejnych województw zawarte są podobne przepisy dotyczące parametrów energetyczno-emisyjnych dla nowo instalowanych kotłów gazowych oraz opalanych paliwami stałymi – kopalnymi i biomasa drzewną.

Uwzględniając powyższe, w analizie efektu ekologicznego, szczególną uwagę zwrócono na GWE emisji z kotłów opalanych w/w paliwami, zgodnie z obowiązującymi aktualnie uregulowaniami krajowymi i UE.

3 Stan techniki i otoczenie prawne

3.1 Charakterystyka techniczna źródeł ciepła objętych analizą

Pomimo wielu przedsięwzięć prowadzonych w Polsce na rzecz poprawy jakości powietrza jego stan nie spełnia standardów określonych w dyrektywie CAFE (Dyrektywa 2008/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszego powietrza dla Europy), szczegółowo określającej dopuszczalne wartości stężeń pyłu, zwłaszcza jego subfrakcji PM_{10} i $PM_{2,5}$ i substancji z nimi związanych, w tym benzo(a)pirenu o stwierdzonym działaniu mutagennym i kancerogennym. Polska należy do tych krajów, w których sektor komunalno-bytowy jest głównym źródłem emisji pyłu całkowitego (TSP) i jego subfrakcji PM10 i PM2.5 oraz WWA (4 wskaźnikowych WWA), odpowiednio: 46,2%, 50,0%, 53,0% i 87,4%,[1]. Przyczyną tak wysokiego udziału zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia i środowiska ze spalania paliw stałych w indywidualnych gospodarstwach domowych jest stosowanie przestarzałych urządzeń grzewczych - kotłów c.o. oraz pieców domowych, stosowanie „złej praktyki" spalania węgli poza sortymentowych (mułów, flotokoncentratów), biomasy o złej jakości i wysokiej zawartości wilgoci, jak również spalanie i współspalanie odpadów komunalnych.

Zmniejszenie ilości emitowanych zanieczyszczeń z sektora komunalno-bytowego, a w efekcie poprawa jakości powietrza, stanu środowiska i zmniejszenie zagrożeń dla zdrowia człowieka, wymagają wielokierunkowych działań technicznych oraz pozatechnicznych. Do metod technicznych należy zaliczyć:

- zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło budynków mieszkalnych przez termomodernizację i termorenowację,
- wykorzystanie istniejących sieci ciepłowniczych,
- stosowanie paliw bezdymnych, niskoemisyjnych,
- substytucja paliwowa – zastąpienie węgla gazem, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, rozwój energetyki rozproszonej,
- wymiana starych nieefektywnych urządzeń grzewczych opalanych paliwami stałymi – węglem, biomasą, na instalacje spalania spełniające wymagania BAT (ang. *Best*

[1] *Krajowy bilans emisji SO2, NOX, CO, NH3, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2014–2015 w układzie klasyfikacji SNAP, Warszawa, luty 2017;* http://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/krajowa_inwentaryzacja_emisji/Bilans%20emisji%20%20raport%20podstawowy_2014.pdf

Available Techniques), wysokosprawne energetycznie i ekologicznie, zasilane kwalifikowanymi paliwami stałymi.

W aglomeracjach miejskich, mniejszych miastach oraz miejscowościach o zabudowie wielorodzinnej preferowane jest wykorzystanie istniejących sieci ciepłowniczych, budowa ekologicznych lokalnych kotłowni dla budownictwa wielorodzinnego w celu wyeliminowania indywidualnych źródeł spalania paliw stałych małej mocy, tam gdzie brak centralnych systemowych ciepłowni. W przypadku rozproszonych źródeł do wyboru pozostaje substytucja paliwowa – zastąpienie węgla gazem, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii lub wymiana starych nieefektywnych domowych instalacji spalania węgla na instalacje spalania wysokosprawne energetycznie i ekologicznie, zasilane autoryzowanymi paliwami stałymi – kopalnymi i stałymi biopaliwami.

Względy ekonomiczne, uwarunkowania techniczne oraz bezpieczeństwo energetyczne – lokalna dostępność paliwa, wykazują, że optymalnym rozwiązaniem jest stosowanie urządzeń grzewczych – kotłów opalanych paliwami stałymi – kopalnymi, biopaliwami o wysokiej sprawności energetycznej i ekologicznej lub kotłów zasilanych paliwami gazowymi.

Każda nowa inwestycja, zwłaszcza w tak specyficznym przypadku jakim jest czyste wysokoefektywne energetycznie spalanie węgla i biomasy drzewnej w instalacjach spalania małej mocy, to konieczność poniesienia określonych kosztów. Kosztów, które obejmują nie tylko zakup kotła spełniającego ostre wymagania w zakresie sprawności energetycznej i emisji zanieczyszczeń, określone w normie PN-EN 303-5:2012, w Rozporządzeniu KE (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. oraz w Rozporządzeniu MRiF (Dz. Ustaw Poz. 1690, Warszawa, dnia 5 września 2017 r). Uzyskiwanie trwałych efektów ekologicznych – redukcji emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia i środowiska, wymaga także dostosowania systemu odprowadzania spalin – komina, często także wymiana instalacji c.o. w budynku, a także stosowania paliw stałych o odpowiedniej jakości (określonych w dokumentacji technicznej DTR kotła). W przypadku kotłów z ręcznym załadunkiem wskazanym i celowym jest zainstalowanie zbiornika akumulacji ciepła.

W niniejszej pracy skoncentrowano się na nowoczesnych, dostępnych na rynku, kotłach c.o. małej mocy na paliwa stałe – kopalne i stałe biopaliwa, spełniających wymagania klasy 5 wg PN-EN 303-5:2012 [1] oraz spełniających przepisy Rozporządzenia Komisji (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r., [2]. Dlatego też w tym miejscu należy przywołać definicje odnośnych analizowanych kotłów opalanych paliwami gazowymi i paliwami stałymi, zgodnie z definicjami zawartymi w Rozporządzeniu Komisji (UE) 813/2013, [13] oraz Rozporządzeniu Komisji (UE) 2015/1189, [2]:

- „kocioł kondensacyjny, jednofunkcyjny” - zgodnie z definicją oznacza kocioł do ogrzewania pomieszczeń lub wielofunkcyjny kocioł grzewczy, w którym w normalnych warunkach eksploatacyjnych i w danym zakresie temperatur roboczych wody zawarta w produktach spalania para wodna ulega częściowej kondensacji w celu wykorzystania

jej ciepła przemiany fazowej do celów ogrzewania; jest to urządzenie które pracuje na zbiornik buforowy z którego następuje rozbiór ciepła na CO i CWU.

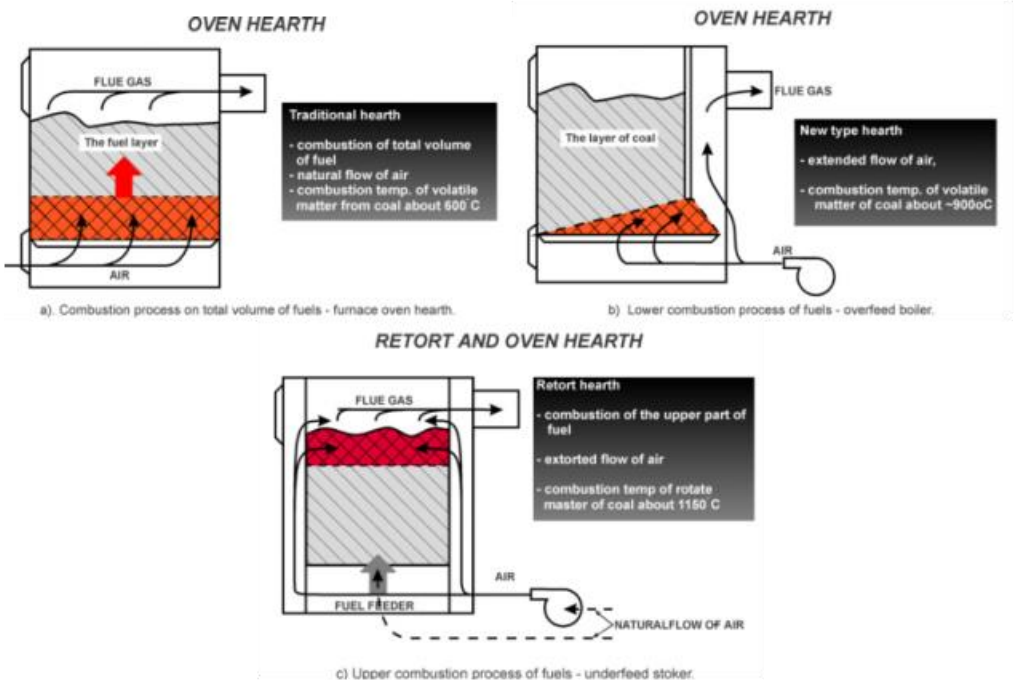
- „kocioł kondensacyjny, wielofunkcyjny" – zgodnie z definicją oznacza kocioł do ogrzewania pomieszczeń, zaprojektowany do doprowadzania ciepła w celu dostarczania ciepłej wody użytkowej w wybranym zakresie temperatur, w wybranych ilościach i o wybranych wartościach natężenia przepływu w określonych przedziałach czasowych, połączony z zewnętrznym źródłem zasilania w wodę użytkową; jest to urządzenie, które w sposób przepływowy ogrzewa wodę użytkową oraz wodę w obiegu CO.
- „kocioł na paliwo stałe" oznacza urządzenie wyposażone w co najmniej jedno źródło ciepła na paliwo stałe, dostarczające ciepło do wodnego systemu centralnego ogrzewania w celu uzyskania i utrzymania na wybranym poziomie temperatury wewnętrznej w co najmniej jednym zamkniętym pomieszczeniu, przy czym jego strata ciepła względem otoczenia jest nie większa niż 6 % znamionowej mocy cieplnej;
- „kocioł na paliwo kopalne" oznacza kocioł na paliwo stałe, w którym jako paliwo zalecane wykorzystuje się paliwo kopalne lub mieszankę biomasy i paliwa kopalnego;
- „kocioł na biomasę" oznacza kocioł na paliwo stałe, w którym jako paliwo zalecane wykorzystuje się biomasę;
- „paliwo kopalne" oznacza paliwo inne niż biomasa, w tym antracyt, węgiel brunatny, koks, węgiel kamienny; do celów niniejszego rozporządzenia obejmuje ono również torf;
- „biomasa drzewna" oznacza biomasę pozyskiwaną z drzew i krzewów, w tym polana drewna, zrębki, drewno prasowane w formie pelletów, drewno prasowane w formie brykietów i trociny.

W uwarunkowaniach polskich w nowoczesnych kotłach c.o. eksploatowanych w indywidualnych gospodarstwach domowych jako paliwa stosowane są odpowiednie sortymenty węglowe, autoryzowane przez producentów, pellet drzewny oraz biomasa drzewna - polana drewna, drewno prasowane w formie pelletów, drewno prasowane w formie brykietów.

Kotły opalane paliwami stałymi[2], Optymalny energetycznie i ekologicznie proces spalania paliwa determinowany jest przez spełnienie tzw. zasady 3T (ang. temperature, turbulence,

[2] Kubica K., Paradiz B., Dilara P. (2007): Small combustion installations: Techniques, emissions and measures for emission reduction. Scientific Reports of the Institute for Environment and Sustainability, EUR 23214 EN-2007; Mudgal S., Turunen L. Stewart R. Woodfield M., Kubica K., Kubica R.: Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs (II): [TREN/D3/390-2006/Lot15/2007/S07.74922] 2007-2009: http://www.eceee.org/ecodesign/products/solid_fuel_small_combustion_installations/ BIO_EuP_Lot%2015_Task4_Final.pdf

time), czyli zachowanie odpowiedniego stosunku ilości powietrza do ładunku spalanego paliwa, zapewniającego całkowite jego spalenie, zapewnienie homogeniczności mieszanki paliwowej i utleniacza – powietrza spalania (homogeniczności mieszaniny lotnych produktów niezupełnego spalania z utleniaczem/tlenem powietrza spalania), odpowiednio wysokiej temperatury spalania i czasu reakcji spalania - przebywania reagentów w strefie utleniania. W przypadku spalania paliw stałych, w kotłach małej mocy opalanych paliwami stałymi, mamy do czynienia z technologią spalania w warstwie, w złożu stacjonarnym.
Ta technologia może być realizowana wg trzech różnych technik – organizacji procesu spalania: przeciwprądowego, współprądowego i w prądzie krzyżowym. Należy w tym miejscu zauważyć, że organizacja procesu spalania oraz jego parametry, zwłaszcza w zakresie odpowiedniego stosunku ilości powietrza spalania do spalanego paliwa, będą musiały być inne w przypadku stałych biopaliw, a inne do węgla. Biomasa charakteryzuje się prawie dwukrotnie wyższą zawartością części lotnych w porównaniu do węgla, wyższa jest także zawartość tlenu w biomasie.



Rys.3.1. Klasyfikacja kotłów w zależności od kierunku prądu powietrza pierwotnego w stosunku do kierunku wprowadzania paliwa do paleniska[3]

[3] *Kubica K. (2003) "Environment Pollutants from Thermal Processing of Fuels and Biomass", and "Thermochemical Transformation of Coal and Biomass" in Termochemical Processing of Coal and Biomass; pp 145-232, ISBN 83-913434-1-3, Publication, Copyright by IChPW and IGSMiE PAN; Zabrze-Kraków (Polish).*

W tradycyjnych, starej konstrukcji, kotłach, ogrzewaczach pomieszczeń - piecach, kominkach, kuchniach, mamy do czynienia ze spalaniem przeciwprądowym, tzw. dolnym spalaniem w całej objętości złoża. Ta grupa tradycyjnych kotłów i ogrzewaczy pomieszczeń pracujących w systemie naturalnego ciągu kominowego, charakteryzuje się ręcznym, okresowym dozowaniem paliwa, brakiem podziału powietrza spalania na pierwotne i wtórne, brakiem kontroli ilości powietrza spalania i ilości paliwa wprowadzanego do paleniska. W efekcie cechują się one niską sprawnością energetyczna i wysoką emisją zanieczyszczeń – produktów niepełnego spalania. Podstawowymi paliwami w tych kotłach jest węgiel w sortymencie orzech, kostka, groszek, drewno kawałkowe, brykiety, czasem koks. Niestety brak wymogów odnośnie jakości paliwa powoduje, że w tych kotłach spala się poza sortymentowe niskiej jakości produkty uboczne mechanicznej przeróbki węgla – muły, flotokoncentraty oraz miały energetyczne, a także odpady komunalne.

Rys.3.2. Przykłady tradycyjnych kotłów starej konstrukcji

Nowoczesne kotły z ręcznym załadunkiem paliwa węglowego realizujące technikę spalania w prądzie krzyżowym, (*typu BAT – ang. Best Available Technology*), charakteryzują się okresowym dozowaniem paliwa, wymuszonym doprowadzeniem powietrza do strefy spalania, jego podziałem na pierwotne i wtórne oraz sterowaniem i kontrolą jego ilości. Kotły pracujące z wykorzystaniem tej techniki często nazywane są kotłami z półautomatycznym – grawitacyjnym wprowadzaniem paliwa do komory spalania. Zastosowanie odpowiedniej konstrukcji oraz ceramicznych materiałów konstrukcyjnych zapewnia uzyskiwanie wysokiej sprawności energetycznej, powyżej 87% przy mocy nominalnej oraz spełnienie granicznych wartości emisji określonych dla kotła klasy 5 wg PN-EN 303-5:2012 (www.kotlyna5.pl).

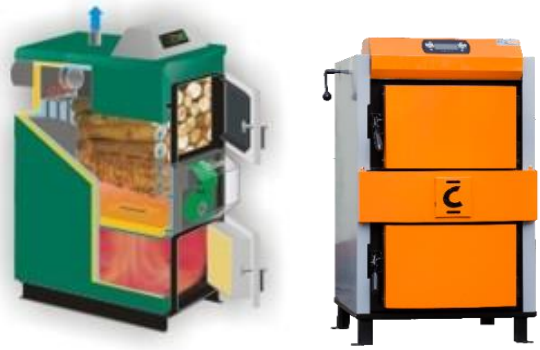
Rys.3.3. Przykłady nowoczesnych kotłów ręcznie zasilanych paliwem

Do najnowocześniejszych urządzeń grzewczych realizujących technikę współprądowego, zapewniającą wypełnienie zasad 3T optymalnego spalania należą kotły z ciągłym mechanicznym (regulowanym automatycznie) doprowadzaniem paliwa, z wymuszonym doprowadzeniem powietrza do strefy spalania, jego podziałem na pierwotne i wtórne oraz sterowaniem i kontrolą jego ilości. Do tej grupy kotłów zaliczane są węglowe kotły z palnikiem retortowym lub podsuwowym opalane autoryzowanymi sortymentami węgla o odpowiednich parametrach jakościowych i uziarnieniu oraz kotły zasilane automatycznie pelletem drzewnym (kotły pelletowe) lub zrębkami drzewnymi (zazwyczaj o mocy powyżej 50kW), rys. 6. Nowoczesne kotły z automatycznym załadunkiem paliwa kopalnego (palnik retortowy) i stałego biopaliwa (palnik pelletowy), typu BAT, charakteryzują się wysoką sprawnością energetyczną, odpowiednio powyżej 87%, 92%. Spełniają wymagania emisyjne, określone dla klasy 5 w PN-EN 303-5:2012 [2], a niektóre z nich wymagania dotyczące sezonowej emisji zanieczyszczeń i sezonowej efektywności energetycznej określone w Rozporządzeniu Komisji (UE) 2015/1189, www.kotlyna5.pl/info, www.topten.info. Wysoka sprawność energetyczna tych kotłów wpływa na ograniczenie zużycia paliwa o ok. 30% , wyposażone są w systemy zdalnego sterowania pracą kotła, oraz sterowaniem jego pracą w zależności od temperatury zewnętrznej. Kotły te charakteryzują się jednak wyższymi kosztami inwestycyjnymi w porównaniu do tradycyjnych kotłów ręcznie zasilanych paliwem.

Rys.3.4. Przykłady nowoczesnych automatycznie zasilanych węglem kotłów z palnikiem retortowym.

Rys.3.5. Przykłady nowoczesnych automatycznie zasilanych stałym biopaliwem, kotłów z palnikiem pelletowym.

Do grupy kotłów ze współprądową organizacją procesu spalania zaliczane są także kotły ręcznie zasilane stałym biopaliwem – drewnem kawałkowym, tzw. kotły zgazowujące. W tym przypadku mamy do czynienia ze ściśle oddzieloną wstępną komorą, w której następuje proces odgazowania/zgazowania z niedomiarem, tlenu i następczym spalaniem powstałego gazu pirolitycznego w komorze dolnej, rys.3.6.



Rys.3.6. Przykłady kotłów z ręcznym załadunkiem stałego biopaliwa, kotły zgazowujące

Kotły kondensacyjne opalane paliwami gazowymi;

W tych kotłach następuje odzyskanie ciepła z pary wodnej, która w kotłach tradycyjnych wraz ze spalinami unoszona jest przez komin. Kotły kondensacyjne pracują z wyższą sprawnością od tradycyjnych, osiągają sprawność do 109% (umownie), podczas gdy tradycyjne kotły tylko do 90% (92%). Uwzględniając efekt kondensacji i najnowocześniejsze rozwiązania techniczne kotły kondensacyjne są oszczędniejsze od tradycyjnych o ok. 15-20%, a w porównaniu ze starymi kotłami zużycie gazu jest mniejsze o około 20% (a nawet o 30%).

Rys.3.7 Przykłady kotłów c.o. kondensacyjnych zasilanych gazem naturalnym lub LPG; http://muratordom.pl/instalacje/ogrzewanie-gazowe/gazowe-kotly-kondensacyjne-dzialanie-i-roznice,26_9347.html

Populacja wysokosprawnych energetycznie i ekologicznie kotłów c.o. na paliwa stałe na krajowym rynku wzrasta z roku na rok. Potwierdzeniem wzrostu populacji wysokosprawnych kotłów małej mocy na paliwa stałe – węgiel i biomasę drzewna (stałe biopaliwa) jest rosnąca liczba zgłoszeń w ramach Konkursu TOPTEN KOTŁY NA PALIWA STAŁE. W jego ramach prowadzone są listy kotły spełniających wymagania minimalnej sprawności energetycznej i granicznych wartości emisji zanieczyszczeń klasy 5 wg PN-EN 303-5:2012 (http://www.kotlyna5.pl/) oraz zgłoszeń na listę TOPTEN 2016 i TOPTEN 2017, czyli kotłów już spełniających wymagania Rozporządzenia Komisji (UE) 2015/1189 (http://topten.info.pl/index.php?page=konkurs_-_kotly_topten_2016, http://topten.info.pl/index.php?page=konkurs_-_kotly_topten_2017).

Analiza parametrów jakościowych kotłów znajdujących się już na w/w listach oraz będących w trakcie procedury naboru wykazuje, że zarówno kotły z automatycznym zasilaniem, jak ręcznym zasilaniem charakteryzują się nie tylko nowoczesnymi konstrukcjami, które daleko odbiegają swoim formą, designem ale przede wszystkim zastosowanymi technicznymi rozwiązaniami organizacji procesu spalania oraz systemami sterownia jego prowadzeniem, a także materiałami. Każdy z nich spełnia podstawowe wymagania technologii BAT (ang. *Best Available Technology*) w odniesieniu do spalania paliw stałych w urządzeniach grzewczych małej mocy. Przeanalizowane kotły zasilane automatycznie pelletem drzewnym – kotły pelletowe, spełniające wymagania klasy 5 wg PN-EN 303-5:2012 i dostępne obecnie na rynku, o mocy cieplnej 10,2 kW do 60,7 kW, charakteryzują się sprawnością energetyczną od 88,3% do 97,0%, emisją CO od 1,6 mg/m^3 do 336,0 mg/m^3, OGC od 1,0 mg/m^3 do 14,0 mg/m^3 oraz emisją pyłu od 5,0 mg/m^3 do 32,0 mg/m^3, Rys. 1, (33 sztuki; http://www.kotlyna5.pl/biopaliwo_automat)[4].

[4] *K. Kubica; Wysokosprawne kotły c.o. na paliwa stałe (2) Magazyn Instalatora, 11 (231), listopad 2017*

Podobnie wysokimi parametrami jakościowymi charakteryzują się kotły węglowe z automatycznym zasilaniem w paliwo. Dostępne obecnie na rynku kotły węglowe z palnikiem retortowym, o mocy cieplnej 10 kW do 34 kW charakteryzują się sprawnością energetyczną od 88,4% do 94,40%, emisją CO od 0,8 mg/m^3 do 444,0 mg/m^3, OGC od 0,2 mg/m^3 do 6,4 mg/m^3 oraz emisja pyłu od 8,7 mg/m^3 do 40,0 mg/m^3, (45 sztuk; http://www.kotlyna5.pl/kopalne_automat); *K. Kubica; Wysokosprawne kotły c.o. na paliwa stałe (2) Magazyn Instalatora, 11 (231), listopad 2017.*

Należy podkreślić, że w badaniach kotły te były zasilane specjalnym paliwem węglowym, tzw. ekogroszkiem lub paliwami z nazwami firmowymi producentów, jak np. EKORET, o stosunkowo niskiej zawartości popiołu, zazwyczaj poniżej 5-6%, wartości opałowej powyżej 28MJ/kg (w stanie suchym), wielkości ziarna 4/5 – 25mm i niskim udziale podziarna (zazwyczaj 5% poniżej 4/5 mm) oraz niskiej wartości wskaźnika spiekalności (liczby Rogi RI <20), a także odpowiednio wysokimi charakterystycznymi temperaturami popiołu (zwłaszcza temperatury spiekania).

Gwarantem pracy nowoczesnego, wysokosprawnego kotła na paliwa stałe (zwłaszcza z automatycznym zasilanie paliwem) u użytkowania, zgodnie z parametrami zadeklarowanymi przez producenta, a potwierdzonymi przez stronę trzecią – laboratoria akredytowane w PCA, jest jego eksploatacja w układzie odpowiednio dobranej instalacji kominowej i przy stosowaniu paliwa określonego w w/w dokumentach. Szczególnej wagi nabiera sprawdzenie instalacji kominowej po wymianie kotła, zarówno pod względem konstrukcji i wymiarów, ale także materiału, z którego są wykonane. Spaliny odprowadzane z wysokosprawnych kotłów charakteryzują się stosunkowo niską temperaturą (na granicy punktu rosy), co może grozić zniszczeniem nie tylko komina, ale także ścian konstrukcyjnych budynku. Dlatego producenci kotłów zalecają stosowanie odpowiednich, stalowych wkładów kominowych. Oczywistym jest też, że instalacja spalania, kocioł – komin powinna być poddawana okresowemu czyszczeniu i konserwacji. W przypadku kotła, producenci oferują swoje usługi poprzez swoich instalatorów, ponadto kotły te zazwyczaj objęte są minimum 5-letnią gwarancją. Kominy winny też być czyszczone i kontrolowane, najlepiej przez służby kominiarskie. Niestety nawet najlepiej skonstruowana instalacja spalania, kocioł – komin nie zapewni oczekiwanych efektów energetyczno-ekologicznych, jeżeli nie będzie stosowane odpowiednie paliwo, zalecane przez producenta w dokumencie DTR. Paliwa węglowe dla sektora komunalno-bytowego powinno być standaryzowane odpowiednimi uregulowaniami prawnymi. Jak wiadomo, już od kilku lat trwają prace nad zmianami w ustawie o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw oraz nad rozporządzeniem *Ministra Energii w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych.* Bez tych uregulowań nowo instalowane wysokosprawne kotły z automatycznym załadunkiem węgla będą narażone na awarie w trakcie ich eksploatacji, nie zapewnią też uzyskania oczekiwanych rezultatów ekologicznych w przypadku stosowania nieodpowiedniego paliwa.

3.2 Regulacje prawne dotyczące źródeł spalania paliw stałych i gazowych

3.2.1 Paliwa stałe

Zasadniczą barierą efektywnego wdrażania *uchwał antysmogowych* był brak ogólnokrajowych uregulowań prawnych dla kotłów opalanych paliwami stałymi, zarówno w odniesieniu do standardów emisji dla urządzeń grzewczych eksploatowanych w indywidualnych gospodarstwach domowych, instalacji spalania o mocy poniżej 1MW, jakości paliw stałych stosowanych w indywidualnych gospodarstwach domowych sektora komunalno-bytowego, jak i systemu kontroli i nadzoru nad stanem tych instalacji i rynkiem paliw stałych w nich stosowanych. Usuwanie tych barier zostało mocno podkreślone w Krajowym Programie Ochrony Powietrza, [8].

Wprowadzane z dniem 1 sierpnia br, a obowiązujące od 1 października br. *Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Finansów w sprawie wymagań dla kotłów na paliwo stałe* zawiera przepisy określające graniczne wartości emisji pyłu całkowitego (TSP), tlenku węgla (CO) oraz zanieczyszczeń organicznych (OGC), [12], tabela 3.1.

Tabela 3.1. Graniczne wartości emisji

Sposób zasilania paliwem	Graniczne wartości emisji[a)] mg/m^3 przy 10% O_2[b)]		
	CO	OGC	Pył
Ręczny	700	30	60
Automatyczny	500	20	40

a) Potwierdzenie spełniania granicznych wartości emisji jest dokonywane przy uwzględnieniu normy PN-EN 303-5:2012.; b) Graniczne wartości emisji wyraża się w miligramach substancji na metr sześcienny gazów odlotowych odniesiony do temperatury 0o C, ciśnienia 1013 mbar oraz gazu suchego.

W powyższym Rozporządzeniu MRiF brak wymogów dotyczących minimalnej sprawności energetycznej w odniesieniu do kotłów na paliwa stałe.

W kwietniu 2015 roku, po ponad 8 latach prac, Komisja Europejska UE przyjęła dwa rozporządzenia do dyrektywy ErP, dotyczące instalacji spalania paliw stałych o mocy znamionowej do 0,5 MW (500 kW), traktowanych jako standardowe produkty dostępne na rynku, w tym rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1189, [2]. Rozporządzenie to weszło w życie w dniu 10 sierpnia 2015 r. i winno być bezpośrednio stosowane bez konieczności przenoszenia ich do krajowych aktów prawnych. Wynikające z nich kryterialne wymogi dla ekoprojektu będą obowiązywać od dnia 1 stycznia 2020 r. Państwa Członkowskie UE mogą wdrożyć do prawa krajowego wcześniej, przed rokiem 2020.

Rozporządzenie Komisji (UE) 2015/1189 wprowadza pojęcie sezonowej emisji zanieczyszczeń (E_s) i sezonowej efektywności energetycznej ogrzewania pomieszczeń (η_s). Sezonowa emisja zanieczyszczeń (E_s) stanowi średnią ważoną wyznaczaną dla emisji określonego zanieczyszczenia przy pracy kotła z obciążeniem znamionowym mocy cieplnej i przy minimalnym obciążeniu mocy znamionowej, w trybie aktywnym (ciągła praca). W przypadku kotłów z automatycznym zasilaniem w paliwo minimalne obciążenie mocy zostało ustalone na poziomie 30% mocy znamionowej, natomiast dla kotłów z ręcznym zasilaniem na poziomie 50% mocy znamionowej. Z kolei sezonowa efektywność energetyczna ogrzewania pomieszczeń kotłów z automatycznych podawaniem paliwa (η_s) stanowi średnią ważoną efektywności energetycznej kotła, wyznaczaną podobnie jak w przypadku zanieczyszczeń, po uwzględnieniu strat zużycia energii elektrycznej na potrzeby własne kotła (zasilanie paliwem, sterowanie, itp.) oraz czynników związanych z regulatorami temperatury. Sposób obliczania poszczególnych wskaźników kryterialnych jest szczegółowo określony w Załączniku III do ww. rozporządzenia. W tabeli 3.2 zaprezentowano wymagania dla kotłów o mocy znamionowej poniżej 0,5 MW, zgodnie z rozporządzeniem Komisji (UE) 2015/1189.

Tabela 3.2. Wymagania energetyczno-emisyjne w odniesieniu do kotłów o mocy ≤ 500 kW na paliwa stałe, wg rozporządzenia Komisji (UE) 2015/1189 [7]

Rodzaj stałego paliwa	Rok obowiązywania od 2020[1)]				
	Sezonowa efektywność energetyczna, η_s	Sezonowa emisja zanieczyszczeń, E_s [4)]			
		Pył	OGC	CO	NO_x
	%	mg/m^3	mg/m^3	mg/m^3	mg/m^3
Automatyczne zasilanie paliwem					
Biomasa	75[2)]; 77[3)]	40	20	500	200
Kopalne	75[2)]; 77[3)]	40	20	500	350
Ręcznie zasilane paliwem					
Biomasa	75[2)]; 77[3)]	60	30	700	200
Kopalne	75[2)]; 77[3)]	60	30	700	350

[1)] Państwa Członkowskie UE mogą wdrożyć do prawa krajowego wcześniej, przed rokiem 2020, [2)] dla kotłów o mocy ≤ 20kW oznaczany tylko dla mocy znamionowej, [3)] dla kotłów o mocy > 20kW, [4)] odniesione do spalin suchych w warunkach standardowych, 0°C, 1013 mbar, o zawartości 10% O_2.

Kotły o mocy znamionowej do 0,5 MW wprowadzane na nasz rynek, ale też i UE, poddawane są badaniom na zgodność z normą PN-EN 303-5:2012 [1], tabela 2. Norma ta klasyfikuje kotły na 3 klasy – 3, 4 i 5 ze stopniowym zaostrzaniem granicznych wartości emisji (GWE). Jej stosowanie nie jest obligatoryjne. Kotły zaliczane do najwyższej klasy, tj. klasy 5 muszą posiadać sprawność cieplną nie mniejsza niż:

$\eta_k[\%] = 87 + \log Q$

w zakresie mocy cieplnej do 100 kW i 89 % dla kotłów o większej mocy (Q – moc nominalna kotła w kW). Tym samym sprawność kotła o mocy nominalnej 10 kW nie może być mniejsza niż 88,0 %, a kotła 30 kW nie mniejsza niż 88,5 %. Sprawność kotłów klasy 5 w porównaniu do klasy 1 jest wyższa co najmniej o 30 %.

Tabela 3.3. Graniczne wartości emisji zanieczyszczeń z kotłów opalanych paliwami stałymi o mocy znamionowej mniejszej lub równej 0,5 MW, wg normy produktowej PN-EN 303-5:2012 [1]

PALIWO	Nominalna moc cieplna, kW	Graniczne wartości emisji, mg/m^3 *[1)]								
		CO			OGC*[2)]			Pył (TSP)		
		Klasa			Klasa			Klasa		
		3	4	5	3	4	5	3	4	5
Biopaliwo	≤ 50	3000	1000	500	100	30	20	150	60	40
	> 50 do 150	2500			80			150		
	>150 do 500	1200			80			150		
Paliwo kopalne	≥ 50	3000			100			125		
	> 50 do 150	2500			80			125		
	>150 do 500	1200			80			125		

[1)] odniesiona do spalin suchych w warunkach standardowych, 0°C, 1013 mbar przy 10% O_2, w nawiasie podano emisje w przeliczeniu na 6% zawartości tlenu, zaokrąglone do liczb całkowitych. [2)]zawartość węgla organicznie związanego, podawana jako zawartość pierwiastka C (węgla) w suchych spalinach.

3.2.2 Paliwa gazowe

W sierpniu 2013 Komisja Europejska przyjęła Rozporządzenia 813/2013 w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla ogrzewaczy pomieszczeń i ogrzewaczy wielofunkcyjnych, [13]. Zawiera ona wymogi dotyczące sezonowej efektywności energetycznej ogrzewania pomieszczeń, definiowanej tak samo, jak w przypadku omówionego powyżej Rozporządzenia KE (UE) 2015/1189.

Sezonowa efektywność energetyczna ogrzewania pomieszczeń i sprawność użytkowa, zgodnie z przepisami Rozporządzenia 813/2013 od dnia 26 września 2015 r. w przypadku;

- kotłów paliwowych do ogrzewania pomieszczeń o znamionowej mocy cieplnej ≤ 70 kW i wielofunkcyjnych paliwowych kotłów grzewczych o znamionowej mocy cieplnej ≤ 70 kW sezonowa efektywność energetyczna ogrzewania pomieszczeń nie jest niższa niż 86 %;

- kotłów paliwowych do ogrzewania pomieszczeń o znamionowej mocy cieplnej > 70 kW i ≤ 400 kW oraz wielofunkcyjnych paliwowych kotłów grzewczych o znamionowej mocy cieplnej > 70 kW i ≤ 400 kW sprawność użytkowa przy znamionowej mocy cieplnej wynoszącej 100 % nie jest niższa niż 86 %, a sprawność użytkowa przy znamionowej mocy cieplnej wynoszącej 30 % nie spada poniżej 94 % (zgodnie z Dyrektywą ecodesign NR 813/2013). Dla mocy znamionowej udział kondensacji może być niewielki (wysoka temperatura powrotu z instalacji grzewczej). Im niższa moc tym niższa temperatura powrotu, czyli większy udział kondensacji. W efekcie sprawność rośnie.

Natomiast w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń, zawiera tylko wymogi dotyczące emisji tlenków azotu. Od dnia 26 września 2018 r. emisje tlenków azotu, wyrażone w przeliczeniu na dwutlenek azotu, nie przekraczają następujących wartości 56 mg/kWh wsadu paliwowego w odniesieniu do GCV, w przypadku kotłów paliwowych do ogrzewania pomieszczeń i wielofunkcyjnych paliwowych kotłów grzewczych wykorzystujących paliwa gazowe. W przeliczeniu na energię zawartą w paliwie graniczna wartość emisji NOx wynosi 15,5 g/GJ.

Graniczne wartości emisji NOx i CO dla kotłów gazowych, kondensacyjnych wynoszą 13 mg/m^3 i 15 mg/m^3 (stan odniesienia 3% O_2 w spalinach), zgodnie z PN-EN 677:2007 „*Kotły centralnego ogrzewania opalane gazem - Specjalne wymagania dotyczące kotłów kondensacyjnych o znamionowym obciążeniu cieplnym nieprzekraczającym 70 kW*”.

3.3 Wyznaczenie wielkości wskaźników emisji zanieczyszczeń do powietrza ze źródeł ogrzewania w przeliczaniu na jednostkę energii

Emisja zanieczyszczeń do powietrza ze źródeł wytwarzania energii użytkowej w procesie konwencjonalnego spalania paliw jest uzależniona zarówno od rodzaju paliwa, jak i od technologii spalania. Największe zagrożenie dla zdrowia i środowiska, zwłaszcza lokalnego stanowią instalacje spalania paliw stałych małej mocy, poniżej 1MW (ISMM, ang. SCIs) użytkowane do wytwarzania ciepła użytkowego w sektorze mieszkalnictwa, usług, rolnictwa, leśnictwa, rybołówstwa, rozproszonych jednostkach wojskowych oraz w małych i średnich przedsiębiorstwach (MŚP). Są one bowiem odpowiedzialne za emisję, szczególnie szkodliwych dla zdrowia i środowiska, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), polichlorowanych dioksyn i furanów (PCDD/Fs), sadzy (BC) oraz metali ciężkich, zarówno w fazie gazowej, jak i w formie związanej z pyłem (TSP) zwłaszcza z jego subfrakcjami PM10 i PM2.5 [14]. Obserwowany od ponad 20 lat rozwój technik spalania paliw stałych, węgla i biomasy w urządzeniach grzewczych małej mocy skutkuje dostępnością na rynku kotłów c.o. spełniających wymagania najlepszych dostępnych technik (BAT) [14,15]. Ich poprawna eksploatacja, w tym stosowanie paliw stałych odpowiednio wysokiej jakości, zapewnia ograniczenie emisji pyłów (TSP, PM10 i PM2.5) i benzo(a)pirenu o ponad 90%, w porównaniu do tradycyjnych pieców, kotłów z techniką spalania w warstwie w złożu stacjonarnym.

Jak wspomniano powyżej emisja zanieczyszczeń jest uzależniona od właściwości fizykochemicznych paliwa. W przypadku paliw gazowych mamy do czynienia z ustabilizowaną ich jakością, wynikającą z nadzoru i kontroli ich systemowej dystrybucji (obowiązujących uregulowań prawnych). Natomiast w przypadku paliw stałych, zwłaszcza paliw węglowych mamy do czynienia z dostępnością różnych sortymentów węgla kamiennego [16]. Od 2004 roku mamy do czynienia z rosnąca ilością użytkowania poza sortymentowych produktów górnictwa węgla kamiennego – mułów, flotokoncentratów węglowych, jako paliwa w sektorze komunalno-bytowym [17].

Dlatego też dla określenia wskaźników emisji CO, PM10, PM2,5, SO_2, NOx, benzo(a)pirenu (bap) oraz CO_2 dla różnych źródeł ogrzewania, które są przedmiotem niniejszego opracowania przyjęto określone założenia, w tym także uśrednione wartości opałowych stosowanych paliw w indywidualnych gospodarstwach domowych:

- wskaźniki emisji wybranych zanieczyszczeń dla różnych źródeł ogrzewania budynków odnoszą się do energii pierwotnej wprowadzonej z paliwem (źródła energii), z uwzględnieniem wartości opałowej paliwa;
- wartości opałowe dla paliwa gazowego, gazu naturalnego oraz gazu płynnego (LPG), uwzględniając zmienność ich parametrów jakościowych, przyjęto w oparciu o dane literaturowe, odpowiednio: 34 MJ/m^3 i 46 MJ/kg [16, 18, 19]. Natomiast dla starego paleniska na paliwo stałe przyjęto wartość opałową węgla na poziomie 24 MJ/kg, uwzględniając parametry jakościowe węgli dostępnych na rynku krajowym oraz przyjętą wartość opałową dla tradycyjnych urządzeń grzewczych w EIG EMEP [16, 20, 21];

- emisje pyłu CO, TSP oraz NOx nowoczesnych kotłów na paliwa stałe przeliczono na jednostkę energii GJ na podstawie Rozporządzenia Komisji (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla kotłów na paliwo stałe oraz PN-EN 303-5:2012, z uwzględnieniem wartości opałowej dla węgla (paliwa węglowego autoryzowanego przez producenta paliwa węglowego – groszku), pellet drzewnych oraz drewna opałowego, odpowiednio: 27MJ/kg, 17 MJ/kg i 16 MJ/kg[22 -26]. Założono wstępnie, że emisje w warunkach eksploatacji mogą wzrastać o około 25%. Biorąc jednak pod uwagę, z jednej strony średnią wartość opałową paliw niższą o około 7-10 % w stosunku do najlepszych paliw stałych autoryzowanych, a z drugiej średnią wartość emisji zanieczyszczeń uzyskiwanych przez kotły klasy 5 wg PN-EN 303-5:2012 i kotłów spełniających wymagania Rozporządzenia Komisji (UE) 2015/1189, przeliczone wartości granicznych emisji pozostawiono bez ich podwyższenia o powyżej wspomniane 25%.
- udział subfrakcji PM10 i PM2,5 w przypadku nowoczesnego kotła na biomasę, automatycznie zasilanego paliwem, przyjęto odpowiednio na poziomie śr. 90% i 10% pyłu całkowitego TSP (20g/GJ). Natomiast w przypadku nowoczesnego kotła automatycznie zasilanego kwalifikowanym paliwem węglowym przyjęto udział subfrakcji PM10 na poziomie śr. 40%, a PM2,5 na poziomie 60% pyłu całkowitego TSP (22g/GJ) [20, 21];
- w przypadku starego paleniska na paliwo stałe wskaźnik emisji CO i pyłu całkowitego TSP oszacowano, na podstawie danych literaturowych, na poziomie odpowiednio 4650 g/GJ i 540g/GJ, jako suma 50% TSP dla pieca i 50% kotła, starej tradycyjnej konstrukcji. Udział subfrakcji PM10 stanowi śr.70% pyłu TSP, a subfrakcji PM2,5 śr.30% TSP [27, 28, 29];
- wskaźniki emisji CO_2 ujęte w źródłach literaturowych [18, 20, 30] stanowią uśrednione wartości dla odpowiednich paliw o mocno zróżnicowanych parametrach jakościowych stosowanych w instalacjach spalania małej mocy w sektorze komunalno-bytowym. Dla celów niniejszej pracy przyjęto wskaźniki emisji CO_2 ze spalania paliw, w kotłach olejowych, gazowych, nowoczesnych węglowych i biomasowych oraz starych paleniskach na paliwo stałe, wyznaczone na podstawie obliczeń stechiometrycznych procesu spalania z uwzględnieniem przyjętych powyżej wartości opałowych [31];
- wskaźniki emisji CO, TSP, PM10, PM2,5, SO_2, NOx, benzo(a)pirenu dla kotłów gazowych oraz emisje b(a)p dla nowoczesnych kotłów na paliwa stałe oszacowano na podstawie danych literaturowych, [14, 15, 17];
- wskaźniki emisji SO_2 dla starych palenisk węglowych wyznaczono przyjmując średnią zawartość siarki w węglu na poziomie 0,9%, a dla nowoczesnych kotłów węglowych z automatycznym zasilaniem paliwem przyjmując średnią zawartość siarki w węglu na poziomie ≤0,6% lub ≤0,8% [16, 22, 23, 25]. Proponuje się przyjęcie średniej zawartości siarki 0,8% dla nowoczesnych kotłów węglowych automatyczne zasilanie paliwem, po uwzględnieniu aktualnie oferowanych paliw węglowych dla tego typu instalacji spalania, kwalifikowanych paliw węglowych [23, 25, 26]. Wskaźnik emisji SO_2 proponuje się przyjąć na poziomie 600 g/GJ.

Z uwzględnieniem powyższych założeń oszacowano wskaźniki wielkości emisji dla różnych źródeł ogrzewania, które zostały ujęte w niniejszym opracowaniu, w odniesieniu do jednostki energii wprowadzonej z paliwem, tabela 3.4.

Tabela 3.4. Wskaźniki emisji wybranych zanieczyszczeń dla różnych źródeł ciepła, w odniesieniu do energii pierwotnej wprowadzonej z paliwem

,	Appliance	***Emission factors, g/GJ*** *BaP (μg/GJ)								
		CO	TSP	PM10	PM2.5	SO2	NO_x	BaP*	CO_2	CO_2 **
1	Existing system, old coal boiler	4650	540	380	160	675	160	390	104000	nd
2	Single-function, condensing gas boiler	22	0,2	0,2	0,2	0,3	42	0,56	52000	80300
3	Single-function, condensing LPG boiler	22	0,2	0,2	0,2	0,3	42	0,56	52000	nd
4	Double-function, condensing gas boiler	22	0,2	0,2	0,2	0,3	42	0,56	52000	80300
5	Double-function, condensing LPG boiler	22	0,2	0,2	0,2	0,3	42	0,56	52000	nd
6	Pellet boiler, class 5 acc. to PN-EN 303-5: 2012	260	20	19	19	11	130	10	0	nd
7	Gasification log wood boiler, class 5 acc. to PN-EN 303-5: 2012	440	40	30	30	11	120	15	0	nd
8	Pellet boiler, class 5 acc. to EcoDesing	260	20	19	19	11	100	10	0	nd
9	Gasification log wood boiler, class 5 acc. to EcoDesign	440	40	30	30	11	120	15	0	nd
10	Coal boiler, manualy fed, class 5 acc. to PN-EN 303-5: 2012	400	40	31	27	600	190	30	92200	nd
11	Coal boiler, manualy fed, class 5 acc. to EcoDesign	400	40	31	27	600	190	30	92200	nd
12	Coal boiler, automaticaly fed, class 5 acc. to PN-EN 303-5: 2012	280	22	20	19	600	270	15	92200	nd
13	Coal boiler, automaticaly fed, class 5 acc. to EcoDesign	280	22	20	19	600	190	15	92200	nd

** wynika ze strat przesyłu na duże odległości

3.4 Wyznaczenie wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza ze źródeł ogrzewania w oparciu o wielkość zużycia paliwa

Dla określenia wielkości emisji zanieczyszczeń CO, TSP, PM10, PM2,5, SO_2, NOx, benzo(a)pirenu (bap) oraz CO_2 ze spalania paliw stałych – węgla i biomasy drzewnej oraz paliw gazowych, w odniesienia do ilości zużytego paliwa, przyjęto następujące założenia:

- wartość opałowa gazu naturalnego przyjęto na poziomie 34 MJ/m^3;
- wartość opałowa LPG przyjęto na poziomie 46 MJ/kg;
- wartość opałowa stałego biopaliwa – pelet drzewnych przyjęto na poziomie 17 MJ/kg, a dla drewna opałowego na poziomie 15 MJ/kg;
- wartość opałowa kwalifikowanego paliwa węglowego dla kotłów z automatycznym załadunkiem paliwa przyjęto na poziomie 27 MJ/kg;
- wartość opałowa węgla dla starych palenisk na paliwa stałe kwalifikowanego paliwa węglowego dla kotłów z automatycznym załadunkiem paliwa przyjęto na poziomie 24 MJ/kg.

Uwzględniając powyższe założenia dokonano wyznaczenia wskaźników emisji CO, TSP, PM10, PM2,5, SO_2, NOx, benzo(a)pirenu (bap) oraz CO_2 dla wyznaczenia efektu ekologicznego w oparciu o wielkość zużycia paliwa dla różnych źródeł ogrzewania, które są przedmiotem niniejszego opracowania, Tab. 3.5.

Tabela 3.5. Wskaźniki emisji zanieczyszczeń do powietrza ze źródeł ciepła odniesione do jednostki masy lub objętości paliwa

,	Urządzenie	***Wskaźniki emisji*** ***paliwa stałe i ciekłe g/Mg*** * (BaP μg/Mg) ***paliwa gazowe g/m*** ^{3} * (BaP μg/m^3)								
		CO	TSP	PM10	PM2.5	SO2	NO_x	BaP*	CO_2	
1	Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem	111600	12960	9120	3840	18228	3840	9360	2496000	g/Mg
2	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	0,748	0.0068	0,0068	0,0068	0,0102	1,428	0,019	1768	g/m^3
3	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	792	9,2	9,2	9,2	13,8	1932	25,7	2392000	g/Mg
4	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	0,748	0.0068	0,0068	0,0068	0,0102	1,428	0,019	1768	g/m^3
5	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	792	9,2	9,2	9,2	13,8	1932	25,7	2392000	g/Mg
6	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	4420	340	323	323	187	1360	170	0	g/Mg
7	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5:	6600	600	450	450	165	1800	225	0	g/Mg
8	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	4420	340	323	323	187	1700	170	0	g/Mg
9	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	6600	600	450	450	165	1800	225	0	g/Mg
10	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	10800	1080	837	729	16200	5130	810	2489400	g/Mg
11	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	10800	1080	837	729	16200	5130	810	2489400	g/Mg
12	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	7560	594	540	513	16200	7290	405	2489400	g/Mg
13	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	7560	594	540	513	16200	5130	405	2489400	g/Mg

Zastąpienie przestarzałych źródeł węglowych przez nowoczesne, niskoemisyjne źródła – opcje techniczne objęte analizą pozwala na osiągnięcie znaczącego efektu ekologicznego. Stopień redukcji przedstawiony został w tablicy 3.6.

Tabela 3.6. Redukcja emisji zanieczyszczeń

		Redukcja emisji zanieczyszczeń, % - zastąpienie starego źródła węglowego przez:											
		Gaz ziemny		LPG		Pellet		Drewno kawałkowe		Węgiel, groszek			
		Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing
Zanieczyszczenie	CO	99,69	99,69	99,69	99,69	96,13	96,13	93,31	93,31	93,72	93,72	95,60	95,60
	TSP	99,98	99,98	99,98	99,98	97,44	97,44	94,77	94,77	94,59	94,59	97,02	97,02
	PM10	99,97	99,97	99,97	99,97	96,54	96,54	94,42	94,42	94,04	94,04	96,16	96,16
	PM2.5	99,92	99,92	99,92	99,92	91,79	91,79	86,75	86,75	87,68	87,68	91,33	91,33
	SO2	99,97	99,97	99,97	99,97	98,87	98,87	98,85	98,85	35,08	35,08	35,08	35,08
	NO_x	82,59	82,59	82,59	82,59	43,82	56,78	47,01	47,01	13,27	13,27	-23,24	13,27
	BaP	99,90	99,90	99,90	99,90	98,23	98,23	97,28	97,28	94,38	94,38	97,19	97,19
	CO_2	66,84	66,84	66,84	66,84	100,00	100,00	100,00	100,00	35,25	35,25	35,25	35,25
	CO_2*	49,18	49,18	67,09	67,09	100,00	100,00	100,00	100,00	35,75	35,75	35,75	35,75

** wynika ze strat przesyłu na duże odległości

3.5 Sprawności sezonowe urządzeń grzewczych

Metoda wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej została określona w Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r., [*Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej; http://dziennikustaw.gov.pl/du/2015/376/D2015000037601.pdf*]. Dla tej metodologii przyjęto następujące sezonowej sprawności wytwarzania ciepła z paliw stałych i gazowych w kotłach małej mocy, sezonowe sprawności cieplne, $\eta_{H,g}$, dla kotłów:

- węglowych wyprodukowanych:
    a. przed 1980 r.; **60 %**
    b. w latach 1980–2000; **65 %**
    c. po 2000 r.; **82 %**
- na biomasę (drewno: polana, brykiety, pelety, zrębki), wrzutowe, z obsługą ręczną, o mocy do 100 kW; **65 %**
- na biomasę (drewno: brykiety, pelety, zrębki), automatyczne, o mocy do 100 kW; **70 %**
- gazowe kondensacyjne (70/55°C) o mocy nominalnej do 50 kW; **91 %**
- gazowe kondensacyjne niskotemperaturowe (55/45°C) o mocy nominalnej do 50 kW; **94 %.**

Natomiast rozporządzenia wykonawcze do dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu urządzeń grzewczych, zużywających energię pierwotną zawartą w paliwach i wytwarzających energię użytkową wprowadzają pojęcie sezonowej efektywności energetycznej ogrzewania pomieszczeń. Natomiast w miejsce sprawności cieplnej, sprawność użytkową. Oblicza się ją w odniesieniu do ciepła spalania paliwa, w przypadku paliw stałych zgodnie Rozporządzeniem KE (UE) 2015/1189, [*Rozporządzenie KE (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla kotłów na paliwo stałe*]. W tej sytuacji dla paliw stałych jest ona niższa w porównaniu do sprawności cieplnej kotła, np. w przypadku węgla przynajmniej o pięć punktów procentowych (5 %) mniejsza od sprawności cieplnej.

Tak więc, w przypadku paliw stałych zgodnie z Rozporządzeniem KE (UE) 2015/1189 wymagane jest dotrzymanie tzw. sezonowej efektywności energetycznej ogrzewania pomieszczeń. Do jej obliczenia konieczne jest obliczenie sezonowej efektywności energetycznej ogrzewania pomieszczeń w trybie aktywnym. Jest ona wyrażana jako średnia ważona sprawności użytkowej kotła przy wydajności nominalnej i przy wydajności minimalnej, która ma być równa 30 % wydajności nominalnej dla kotłów automatycznych i 50 % dla kotłów ręcznych. Waga tych sprawności wynosi 85 % dla wydajności minimalnej i 15 % dla wydajności nominalnej. Tak obliczoną sezonową efektywność ogrzewania pomieszczeń w trybie

aktywnym należy skorygować przez zmniejszenie jej o stratę ze względu na skorygowany udział czynników obejmujących regulację temperatury (określony na 3 %) oraz zużycie energii elektrycznej w urządzeniach pomocniczych (na potrzeby własne urządzenia grzewczego). Zgodnie z Rozporządzeniem KE (UE) 2015/1189, tak obliczona sezonowa efektywność energetyczna ogrzewania pomieszczeń dla:

- kotłów o nominalnej mocy cieplnej 20 kW lub mniejszej nie może być mniejsza niż 75%;
- kotłów o znamionowej mocy cieplnej przekraczającej 20 kW nie może być mniejsza niż 77 %

Należy stwierdzić, że wprowadzona sezonowa efektywność energetyczna ogrzewania pomieszczeń nie jest wprost porównywalna z dotychczas używaną sprawnością cieplną i jest od niej mniejsza zawsze niższa. Zależnie od wielu czynników różnica ta może wynosić od ok. 4 do 14 %, a nawet 18%, (*K. Kubica, K. Jantczak; Raport z realizacji Konkursu TOPTEN Kotły grzewcze na paliwa stałe; październik 2017 r.*)..

W przypadku kotłów na paliwa gazowe stosowane do ogrzewania pomieszczeń, zgodnie z Rozporządzeniem (UE) nr 813/2013 [Rozporządzenie Komisji (UE) nr 813/2013 z dnia 2 sierpnia 2013 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla ogrzewaczy pomieszczeń i ogrzewaczy wielofunkcyjnych]:

- dla kotłów o znamionowej mocy grzewczej <70 kW sezonowa efektywność energetyczna ogrzewania pomieszczeń nie jest niższa niż 86 %. (winna być ≥ 86 %);

dla kotłów o znamionowej mocy grzewczej ≥ 70 kW sprawność użytkowa przy znamionowej mocy grzewczej nie jest niższa niż 86 %, a sprawność użytkowa przy mocy grzewczej wynoszącej 30 % mocy znamionowej nie spada poniżej 94 % zgodnie z Dyrektywą ecodesign NR 813/2013). Dla mocy znamionowej udział kondensacji może być niewielki (wysoka temperatura powrotu z instalacji grzewczej). Im niższa moc tym niższa temperatura powrotu, czyli większy udział kondensacji. W efekcie sprawność rośnie.

Podejmowane działania w skali całego kraju w zakresie ograniczania emisji z sektora komunalno-bytowego skutkują też powstaniem programu Polreff, w ramach którego powstała linia kredytowa EBOIR dla banków krajowych na kredyty konsumenckie na działania energooszczędne w budynkach mieszkalnych - szczególnie indywidualnych. Banki w tych działaniach zaczynają dostrzegać *uchwały antysmogowe*, obserwowane jest ich zainteresowanie wsparciem poprzez odpowiednie programy kredytowe. Dla tych przedsięwzięć tworzona jest lista Wirtualnego Doradcy Energetycznego w ramach programu Polreff, jako narzędzie ułatwiające korzystania z linii kredytowej, http://polreff.org/wirtualny-doradca-technologiczny.html. Lista ta zawiera produkty gwarantujące zużycie energii o co najmniej 20% niższe w porównaniu do produktów referencyjnych tego samego typu (w tym wypadku starego kotła węglowego/na paliwa stałe). Dla kwalifikacji kotłów do listy Wirtualnego Doradcy Technologicznego w ramach programu POLREFF wykorzystano warunki

określone w ramach regulacji w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu (*Ecodesign*), [*Kotły paliwowe do ogrzewania pomieszczeń o znamionowej mocy cieplnej powyżej 70 kW i poniżej lub równe 400 kW oraz wielofunkcyjne paliwowe kotły grzewcze o znamionowej mocy cieplnej powyżej 70 kW i poniżej lub równe 400 kW; M. Smoła, J. Piszczek; PolREFF Warszawa*]. Tym samym przyjęto powyżej wymienione wymagania dotyczące sezonowej efektywności energetycznej dla kotłów na paliwa stałe i gazowe.

W związku powyższym w opracowaniu przyjęto sezonowe efektywności energetyczne ogrzewania pomieszczeń zgodnie z rozporządzeniami do dyrektywy em KE (UE) 2015/1189. W sektorze komunalno-bytowym eksploatowane są kotły grzewcze o mocy cieplnej do maksimum 50kW. W tej sytuacji, dla kotłów gazowych mamy jedną wartość - *dla kotłów o znamionowej mocy grzewczej <70 kW sezonowa efektywność energetyczna ogrzewania pomieszczeń nie jest niższa niż 86 %.*

Natomiast w przypadku kotłów na paliwa stałe określone zostały dwie różne wartości sezonowej efektywności energetycznej ogrzewania pomieszczeń dla:

- kotłów o nominalnej mocy cieplnej 20 kW lub mniejszej nie może być mniejsza niż 75;
- kotłów o znamionowej mocy cieplnej przekraczającej 20 kW nie może być mniejsza niż 77 %

Przyjęte wielkości sprawności urządzeń grzewczych przedstawione zostały w tablicy 3.7.

Tabela 3.7. Sprawności urządzeń grzewczych

,	Urządzenie	***Sprawność, %***		
		moc nominalna	moc obniżona	wymagana średnioroczna
1	Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem	65	45	49
2	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	98	98	86
3	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	98	98	86
4	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	98	98	86
5	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	98	98	86
6	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	94	90	76
7	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5:	92	88	76
8	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	94	90	76
9	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	92	88	76
10	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	89	86	76
11	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	89	86	76
12	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	89	86	76
13	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	89	86	76

Literatura rozdziału:

[1] PN EN 303-5:2012E; Kotły grzewcze Część 5: Kotły grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 500 kW. Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie; https://pzn.pkn.pl/kt/info/published/9009434983;

[2] ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) 2015/1189 z dnia 28 kwietnia 2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla kotłów na paliwo stałe (Dz. Urz. UE L 193 z 28.04.2015, s. 100-114);

[3] http://cdr.eionet.europa.eu/pl/un/EMEP%20emissions%20data/envvufslg/IIR_2016_fin2.pdf/manage_document

[4] K. Kubica; Analiza i oszacowanie trendu wskaźników emisji CO, WWA, PCDD/Fs oraz PCB ze spalania paliw stałych w sektorach mieszkalnictwa i usług w latach 2000-2014; Raport IOŚ PIB KOBIZE, 31 marzec 2017;

[5] Krajowy bilans emisji SO2, NOX, CO, NH3, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2014 – 2015 w układzie klasyfikacji SNAP, Warszawa, luty 2017; http://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/krajowa_inwentaryzacja_emisji/Bilans%20emisji%20%20raport%20podstawowy_2014.pdf;

[6] http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2013;

[7] Air quality in Europe — 2016 report; https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016;

[8] Krajowy Program Ochrony Powietrza, MŚ Warszawa 2015r.;

[9] Ustawa z dnia 10 września 2015 r. o zmianie ustawy - Prawo ochrony środowiska, Dz. U. z 2015 r. poz. 1593; http://dziennikustaw.gov.pl/du/2015/1593];

[10] Regionalny Program Operacyjny Województwa Małopolskiego 2014-2020; Cel tematyczny 4. Wspieranie przejścia na gospodarkę niskoemisyjną we wszystkich sektorach. Priorytet inwestycyjny. Promowanie strategii niskoemisyjnych dla wszystkich rodzajów terytoriów, w szczególności dla obszarów miejskich, w tym wspieranie zrównoważonej multimodalnej mobilności miejskiej i działań adaptacyjnych mających oddziaływanie łagodzące na zmiany klimatu; http://www.rpo.malopolska.pl/download/program-regionalny/o-programie/zapoznaj-sie-z-prawem-i-dokumentami/regionalny-program-operacyjny-2014-2020/2015/03/RPO_WM_2014-2020.pdf

[11] Szczegółowy Opis Osi Priorytetowych Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Małopolskiego na lata 2014-2020 – zapisy dot. likwidacji niskiej emisji na str. 100; http://www.rpo.malopolska.pl/download/program-regionalny/o-programie/zapoznaj-sie-z-prawem-i-dokumentami/szczegolowy_opisu_osi_priorytetowych_regionalnego_programu_operacyjnego_wojewodztwa_malopolskiego/2016/08/SzOOP_09082016.pdf

[12] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 1 sierpnia 2017 r. w sprawie wymagań dla kotłów na paliwo stałe, w dniu 30.10.2017r. (Dz.U. z 5 września 2017 poz. 1690); http://dziennikustaw.gov.pl/du/2017/1690/1;

[13] Rozporządzenie Komisji (UE) nr 813/2013 z dnia 2 sierpnia 2013 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla ogrzewaczy pomieszczeń i ogrzewaczy wielofunkcyjnych; https://www.certios.pl/Download/Ekoprojekt/813_2013.pdf

[14] R. Kubica, K. Kubica, Rozwiązania techniczne dla ograniczenia emisji; Działania na rzecz poprawy jakości powietrza; Katowice, GIG 2014, ISBN 978-83-61126-84-3; str. 56-135

[15] S. Mudgal, L. Turunen, R. Stewart, M. Woodfield, K. Kubica, R. Kubica; Lot 15 Solid fuel small combustion installations, Task 1-8; http://www.eceee.org/ecodesign/products/solid_fuel_small_combustion_installations

[16] Opracowanie eksperckie w zakresie wprowadzenia ograniczeń stosowania paliw stałych zakazu na obszarze Krakowa. Inteligentne rozwiązania aby chronić środowisko; ATMOTERM S.A. 2010 r.; http://powietrze.malopolska.pl/wp/wp-content/uploads/Ekspertyza_paliwa_Krakow_2010.pdf

[17] K. Kubica; Spalanie mułów węglowych w źródłach małej mocy poważnym zagrożeniem dla zdrowia ludzi i środowiska. Koniecznie wycofać; Ekologia 1/2013 str.13-14, www.pie.pl

[18] Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO2 (WE) w roku 2013 o raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2016, Warszawa, Grudzień 2015; www.kobize.pl/uploads/materialy/download/we_i_wo_do_he_2006.pdf;

[19] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 lipca 2010r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu gazowego; Dzennik Ustaw Nr 133, poz. 891; http://isip.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20101330891;

[20] Guidebook (2013, 2016). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 1.A.4 Small combustion GB2013; http://reports.eea.europa.eu/EMEPCORINAIR4/en/page002.htm;

[21] Guidebook (2006). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, version 4 (2006 edition), published by the European Environmental Agency. Technical report No 11/2006. Aavailable via http://reports.eea.europa.eu/EMEPCORINAIR4/en/page002.html. Generally chapter B216;

[22] K. Kubica, Magazyn Instalatora, 2013, nr 1, 14

[23] L. Kurczabiński, Paliwa węglowe dla wysokosprawnych urządzeń grzewczych małej mocy – zalecenia jakościowe, prognoza podaży i popytu; Konferencja konferencję „Paliwa stałe w programach PONE w świetle tzw. Ustawy antysmogowej", Polska Izba Ekologii, Katowice, 28 stycznia 2016; http://www.pie.pl/materialy/_upload/Konf_PONE/prez/2_2_L_Kurczabinski.pdf

[24] K. Kubica i inni; Uwagi PIE z dnia 12 lutego 2014 r. do Projektu z dnia 04.12.2014 wersja 2.0 Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie wymagań jakościowych dla paliw stałych, http://www.pie.pl/aktualności/opinia-pie-do-projektu-rozporzadzenia-mg-w-sprawie-wymagan-jakosciowych-dla-pali.html.

[25] K. Włodarczyk; „Przegląd paliw Kompanii Węglowej S.A. dedykowanych do spalania w kotłach węglowych małej mocy"; Konferencja ICHPW „Kotły małej mocy zasilane paliwem stałym – koszty poprawy jakości powietrza w sezonie grzewczym w Polsce", Sosnowiec 01.04.2016 r.

[26] Kubica: Czyste ciepło z paliw stałych dla sektora komunalno-bytowego - techniczne i pozatechniczne działania w aspekcie tzw. ustawy antysmogowej oraz Krajowego Programu Ochrony Powietrza; Paliwa i Energetyka, ISSN 2299-1433, 01/2016, str. 16-21;

[27] K.Kubica, R. Kubica; Opracowanie matrycy podziału źródeł spalania paliw o mocy do 5MW, W zależności od rodzaju spalanego paliwa i technik ochrony środowiska z podaniem listy zanieczyszczeń emitowanych przez poszczególne grupy źródeł i wypełnienie tej matrycy danymi będącymi w posiadaniu wykonawcy; Praca ITC, NB-274/RIE-6/2011, Gliwice, marzec 2012

[28] R. Kubica, K. Kubica; Oszacowanie trendu wskaźników emisji TSP oraz PM10 i PM2.5 ze spalania paliw stałych w sektorach mieszkalnictwa i usług w latach 2000-2013; Ekspertyza IOŚ-PIB, PIE Katowice, 14 grudnia 2014r.

[29] R. Kubica i inni; Możliwości ograniczenia emisji pyłu i związanych z nim zanieczyszczeń ze spalania paliw stałych w instalacjach o mocy poniżej 50 MW; Przemysł Chemiczny, 2016, nr 3, tom 95, str. Str. 464-471;

[30] REGULAMIN_KAWKA_III; https://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/poprawa-jakosci-powietrza/

[31] Program ochrony powietrza dla województwa małopolskiego; http://powietrze.krakow.pl/wp-content/uploads/2013/04/projekt_uchwaly_pop2013_zalacznik1_13-09-10_ostat.pdf

3.6 Straty z tytułu przetłaczania gazu na dalekie odległości

Do oceny paliw z punktu widzenia wpływu na globalne ocieplenie stosowane są wskaźniki emisji bezpośredniej CO_2. Wskaźniki te obejmują jednak wyłącznie emisje pochodzące ze spalania i nie biorą pod uwagę emisji, które obciążają procesy pozyskania i transportu paliwa. Bezpośrednia emisja CO_2 pochodząca ze spalenia jednostkowej ilości paliwa jest znacznie wyższa w przypadku węgla kamiennego niż gazu ziemnego. Porównanie bezpośrednich wskaźników emisji jest głównym argumentem stosowanym powszechnie przeciwko technologiom węglowym. W rezultacie technologie wykorzystujące gaz ziemny są traktowane jako bardziej przyjazne dla klimatu niż ich odpowiedniki węglowe. Biorąc jednak pod uwagę, że w Polsce i wielu innych krajach europejskich większość gazu ziemnego transportowana jest z dużych odległości, np. gaz transportowany rurociągami z Syberii, oczywiste jest, że aby dokonać rzetelnego porównania technologii węglowych i gazu ziemnego, emisja gazów cieplarnianych związana z transportem gazu na bardzo duże odległości oraz wycieki gazu w związku z nieszczelnościami systemów transportowych muszą być brane pod uwagę. Analiza wpływu procesów spalania paliw na efekt globalnego ocieplenia powinna bezwzględnie obejmować wskaźniki emisji globalnych a nie lokalne emisji wynikające wyłącznie z procesu spalania. W pracy [1] jednoznacznie wykazano, że gdy pod uwagę brane są wycieki gazu przy jego wydobyciu i transporcie oraz zużycie gazu w turbosprężarkach zainstalowanych w systemie przesyłowym spalanie gazu ziemnego wywiera podobny wpływ z punktu widzenia emisji gazów cieplarnianych co spalanie węgla kamiennego. W dalszej części przedstawiono algorytm obliczania emisji skumulowanych oraz porównanie wyników obliczeń emisji bezpośrednich i skumulowanych.

3.6.1 Charakterystyka systemu przesyłania gazu

W warunkach polskich około 70% gazu ziemnego w krajowym bilansie to gaz importowany. Do momentu uruchomienia terminalu LNG w Świnoujściu, głównie był to gaz transportowany z Syberii. Aby podkreślić konieczność globalnego ujęcia wskaźników emisji CO_2 (emisje skumulowane) warto przytoczyć kilka liczb dotyczących wspomnianego systemu transportowego [2,3,4,5,6]:

- całkowita długość rurociągów wynosi około 22 000 km;
- liczba sprężarek napędzanych przez turbiny gazowe opalane częścią transportowanego gazu - około 600;
- średnia moc sprężarki - około 10 MW.

Przy analizowaniu emisji skumulowanych CO_2 istotne jest właściwe założenie w zakresie poziomu wycieku gazu w procesie wydobycia i transportu. Publikacje Wuppertal Institute [2,3,4,5] i Dedikov [1] twierdzą, że poziom ten dla rosyjskiego systemu przesyłowego jest bardzo niski około 0,1% całkowitej produkcji gazu. Bogaty zestaw publikacji innych niż wyżej wymienione prezentuje znacznie wyższy poziom wycieków. W badaniach [7, 8] zebrano całkowite wskaźniki emisji metanu odniesione do całej ilości wydobywanego gazu dla lat

sprzed 2000 r. Wyniki były następujące: Minayev 1996 – 1,67%; UN-FCCC 1996 – 3,9%; Marakov – 1,7% w 1990; Rabczuk 1991 4 – 9,35%; Andronow 1993 – 2%; Subak 1993 – 4%; EPA 1994 2,9 – 6,5%; WRI 1996 – 2,1%; Mathess 1993 1,6 – 3,95%; Hein 1994 około 5%. Chociaż trudno jest oszacować najbardziej prawdopodobną wartość wycieku, można stwierdzić, że wszystkie wartości są znacznie wyższe niż zakładane przez Wuppertal Institute wskaźniki dotyczące rosyjskiego systemu przesyłowego. Znajduje to potwierdzenie również w publikacjach Pacific Northwest National Laboratory [9], gdzie podawane są następujące wartości dla niektórych wybranych lat - 1990 - 3,7%; - 1994 r. - 3,6% - 1997 r. - 1%. Również te wartości są znacznie wyższe niż liczby podane przez Wuppertal Institute i Dedikov. Nowsze publikacje podają następujące wartości wycieków:

- [10] około 1,0 - 1,5% wyprodukowanego gazu;
- [11,12] około 1,5% wyprodukowanego gazu (dla warunków USA),
- [1] poziom 4,2%,
- [6] poziomy w zakresie 1,7 - 6,0% dla gazu uzyskanego w technologii konwencjonalnej oraz 3,6 - 7,9% dla gazu łupkowego.

W związku z dużą zmiennością wskaźników dotyczących wycieków, obliczenia emisji skumulowanych prezentowane w dalszej części, wykonano dla różnych poziomów wycieków. Z zaprezentowanych danych wydaje się, że najbardziej prawdopodobne jest założenie wskaźników wycieku w przedziale 3,5 – 4,2 %.

3.6.2 Algorytm obliczeń wskaźników emisji bezpośredniej i skumulowanej

Bezpośrednia emisja dwutlenku węgla pochodzącego ze spalenia paliwa może być z wystarczającą dokładnością wyznaczona zakładając spalanie zupełne i całkowite. Przy takim założeniu emisja bezpośrednia ε_F [1]:

$$\varepsilon_F = n'_C \frac{M_{CO2}}{(\mathrm{LHV})} \tag{1}$$

gdzie: n'_C – zawartość pierwiastka węgla w paliwie kmol C / kg paliwa lub w kmol C / kmol paliwa, (LHV) – wartość opałowa paliwa w MJ/kg lub MJ/kmol. Dla znanego udziału gramowego pierwiastka węgla w paliwie *c* jednostkowa zawartość pierwiastka C w paliwie określa się jako n'_C = c/12, M_{CO2} – masa drobinowa CO_2, kg/kmol.

Bezpośrednie emisje CO_2 związane ze spalaniem paliw pierwotnych wyznaczone zgodnie z zależnością (1) i podstawową charakterystyką tych paliw przedstawiono w tablicy 3.8.

Tabela 3.8. Bezpośrednia emisja CO_2 ze spalania paliwa i podstawowa charakterystyka paliw

Paliwo	Udział gramowy pierwiastka węgla, *c*		LHV		Emisja bezpośrednia t CO_2 / TJ
Gaz ziemny	92,0	kmol/kmol	778,3	MJ/kmol	56,0
Olej opałowy	80,5	kg/kg	39,9	MJ/kg	74,0
Węgiel kamienny	60,0	kg/kg	24,0	MJ/kg	92,0
Węgiel brunatny	23,5	kg/kg	7,8	MJ/kg	111,0

Powszechnie stosowane porównanie wpływu różnych paliw na globalne ocieplenie w oparciu o wskaźniki przedstawione w tabeli 4 nie jest poprawne. Aby ocenić pełny stosowania danego rodzaju paliwa lub danej technologii energetycznej na emisję gazów cieplarnianych, należy wziąć pod uwagę ich emisję we wszystkich ogniwach procesu wytwarzania rozpatrywanego nośnika energii. Podejście takie jest możliwe przy zastosowaniu rachunku emisji skumulowanych omówionych szczegółowo w pracy [1]. Całkowita skumulowana emisja gazów cieplarnianych może być wyznaczona z następującego równania bilansowego:

$$e_j^* = \sum_i \left(a_{ij} - f_{ij}\right) e_i^* + \sum_k (GWP)_k e_{jk} \qquad (2)$$

gdzie: e_j^* – skumulowana emisja gazów cieplarnianych w *j*-tej gałęzi produkcyjnej, a_{ij} – wskaźnik jednostkowego zużycia *i*-tego nośnika energii lub materiału w *j*-tej gałęzi wytwórczej, f_{ij} – wskaźnik ubocznego wytwarzania *i*-tego użytecznego produktu w *j*-tej gałęzi produkcyjnej, e_i^* – wskaźnik skumulowanej emisji gazów cieplarnianych obciążający wytwarzanie *i*-tego produktu użytecznego, $(GWP)_k$ – wskaźnik charakteryzujący potencjał globalnego ocieplenia odniesiony do *k*-tego gazu cieplarnianego w odniesieniu do potencjału dla CO_2, e_{jk} – wskaźnik bezpośredniej emisji *k*-tego gazu cieplarnianego w j-tej gałęzi produkcyjnej.

Wielowariantowe obliczenia emisji skumulowanych z zastosowaniem opisanej metodyki przeprowadzono dla założenia różnych poziomów wycieku gazu oraz dla różnych wartości GWP dla metanu. Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 3.9.

Tabela 3.9. Wyniki wielowariantowej analizy emisji CO2 dla importowanego gazu ziemnego

Lp.	Wariant obliczeń	Jednostka	Wartość
1	Natural gas – direct emission	t CO_2/TJ	56,00
2	Wariant 1: 21 GWP + 0,11 % wycieku		71,55
3	Wariant 2: 21 GWP + 3,25 % wycieku		85,04
4	Wariant 3: 30 GWP + 0,11 % wycieku		71,75
5	Wariant 4: 30 GWP + 1,5 % wycieku		80,30
6	Wariant 5: 30 GWP + 3,25 % wycieku		91,02
7	Wariant 6: 30 GWP + 4,2 % wycieku		96,85

Literatura rozdziału:

[1] Stanek W., Białecki R.: Can natural gas warm the climate more than coal? FUEL 136 (2014) 341–348.

[2] Dedikov JV et al. Estimating methane releases from natural gas production and transmission in Russia. Atmos Environ 1999;33:3291–9.

[3] Lechtenböhmer S et al. Greenhouse Gas Emissions from the Russian Natural Gas Export Pipeline System. Wupertal Institute for Climate, Environment andEnergy and Max-Planck Institute for Chemistry. Wupertal and Mainz; 2005.

[4] Lechtenböhmer S, Dienst C. GHG-emissions of Russian long distance gas transport pipelines and options for mitiation. Wupertal Institute.
<http://epub.wupperinst.org/files/2725/2725_Lechtenboehmer.pdf>, last [accessed .05.13].

[5] Lechtenböhmer S, Dienst C. Future development of the upstream greenhouse gas emissions from natural gas industry, focussing on Russian gas fields and export pipelines. J Integrative Environ Sci 2010;7(S1):39–48.

[6] Lechtenböhmer S et al. Tapping the leakages: methane losses, mitigation options and policy issues for Russian long distance gas transmission pipelines. Int J Greenhouse Gas Control 2007;1:387–95.

[7] Zittel W. Methane emissions from Russian gas supply and measures to control them. In: van Ham J, Janssen LJHM, Swart RJ, editors. Non-CO2 greenhouse gases. Why and how to control. Dordrecht (Netherlands): Kluwer Academic Publishers; 1994. p. 329–34.

[8] Zittel W. Untersuchungen zum Kenntnisstand uK ber Methanemissionen beim Export von Erdgas aus Rusland nach Deutschland. Ottobrunn (Germany): Ludwig-BoK lkow-Systemtechnik GmbH; 1997.

[9] Pacific Northwest National Laboratory. Estimating Methane Emissions From the Russian Natural Gas Sector. 2001.

[10] International Energy Agency Optimising Russian Gas. Reform and Climate Policy. OECD/IEA; 2006. <www.iea.org/textbase/npsum/opt_russ_gas.pdf>, [accessed 05.13].

[11] Environmental Protection Agency (<www.epa.gov>). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2009. U.S. Environmental Protection Agency <http://www.epa.gov/climatechange/Downloads/ghgemissions/US-GHG-Inventory-2011-Complete_Report.pdf>, last [accessed 05.13].

[12] Environmental Protection Agency (<www.epa.gov>). Greenhouse Gas Emissions Reporting from the Petroleum and Natural Gas Industry. <http:// www.epa.gov/ghgreporting/documents/pdf/2010/Subpart-W_TSD.pdf>, last [accessed 05.13].

4 Analiza kosztów

4.1 Koszty inwestycyjne

Koszty inwestycyjne zostały oszacowane dla źródeł o mocy kolejno 10kW, 15kW, 25kW. Typoszereg mocy określono na podstawie zapotrzebowania mocy urządzenia grzewczego wyliczonego dla poszczególnych klas budynków wg normy Norma PN-EN 12831:2006.

Oszacowanie opracowano z wykorzystaniem dostępnych ofert katalogowych producentów. W grupie urządzeń zasilanych paliwem gazowym wykorzystano katalogi takich producentów jak:

- Ferroli,
- Beretta,
- Buderus,
- De Detrih,
- Immergas,
- Junkers,
- Viessmann oraz

dla urządzeń zasilanych paliwem stałym wykorzystano przede wszystkim katalogi rodzimych wytwórców:

- Stalmark,
- Defro,
- Kostrzewa,
- Klimosz,
- Viadrus,
- Atmos,
- Kołton,
- Galmet.

Wybrano 208 kotłów spełniających określone wyżej kryteria.

Oprócz źródła ciepła użytecznego do analizy kosztów inwestycyjnych wzięto pod uwagę dodatkowe składowe wynikające z konieczności przebudowy lub uzupełnienia infrastruktury, w tym:

- konieczność modernizacji instalacji kominowej (szczególnie dla paliw gazowych),
- zakup lub dzierżawę zbiornika magazynowego na paliwo LPG,
- wyposażenie w sterownik pokojowy i/lub pogodowy,
- rozbudowę instalacji zasilanych paliwem stałym o zbiornik akumulacyjny odpowiednio dobrany do mocy urządzenia, oraz
- zawór trójdrożny z siłownikiem i sterowaniem.

Należy podkreślić, że elementy te są niezbędnym wyposażeniem nowoczesnej instalacji grzewczej w sposób poprawny i ekologiczny realizującej proces spalania paliw gazowych i stałych.

Wszystkie koszty elementów modernizujących zarówno kotłownie jak i instalację CO zostały oszacowane na podstawie przeglądu produktów różnych producentów, powszechnie dostępnych w wielu punktach sprzedaży na terenie całego kraju.

Dodatkowo, mając na uwadze, konieczność pokrycia kosztów usługi montażu poszczególnych podzespołów (urządzenia, instalacji kominowej czy zbiornika buforowego) w kosztorysie uwzględniono ceny katalogowe bez rabatu, który zwykle jest udzielany klientowi dokonującemu kompleksowego zakupu w jednym punkcie dystrybucyjnym.

Zestawienie Kostów przedstawiono w tabelach 4.1., 4.1.a-c

Tabela 4.1. Koszty inwestycyjne urządzeń grzewczych i elementów instalacji magazynowania i dystrybucji ciepła użytecznego

Lp.	Urządzenie	Koszt inwestycyjny, źródło PLN			Koszt inwestycyjny, wyposażenie i oprzyrządowanie dodatkowe PLN					
		od	do	średnia	Bufor ciepła	Zawór mieszający	Sterownik pokojowy	Sterownik pogodowy	Instalacja kominowa	Zbiornik magazynowy
1	Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	5000	22000	11000	949-15150	200-365	67-1049	344-1040	1700-6600	nie dotyczy
3	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	5000	22000	11000	949-15150	200-365	67-1049	344-1040	1700-6600	5000-10000
4	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	3000	19000	8000	nie dotyczy	nie dotyczy	67-1049	344-1040	1700-6600	nie dotyczy
5	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	3000	19000	8000	nie dotyczy	nie dotyczy	67-1049	344-1040	1700-6600	5000-10000
6	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	9700	18000	13850	949-15150	200-365	67-1049	344-1040	nie dotyczy	nie dotyczy
7	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	7400	17200	12300	949-15150	200-365	67-1049	344-1040	nie dotyczy	nie dotyczy
8	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	9700	18000	13850	949-15150	200-365	67-1049	344-1040	nie dotyczy	nie dotyczy
9	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	9700	13700	11700	949-15150	200-365	67-1049	344-1040	nie dotyczy	nie dotyczy
10	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	2500	5000	3750	949-15150	200-365	67-1049	344-1040	nie dotyczy	nie dotyczy
11	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	3700	8900	6300	949-15150	200-365	67-1049	344-1040	nie dotyczy	nie dotyczy
12	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	6600	16600	11600	949-15150	200-365	67-1049	344-1040	nie dotyczy	nie dotyczy
13	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	6600	13000	9800	949-15150	200-365	67-1049	344-1040	nie dotyczy	nie dotyczy

Tabela 4.1.a. Koszty inwestycyjne dla źródeł o mocy 10kW

10 kW											
		Koszt inwestycyjny, źródło			Koszt inwestycyjny, wyposażenie i oprzyrządowanie dodatkowe						Całkowity koszt
Lp.	Urządzenie	od	do	średnia	Bufor ciepła	Zawór mieszający	Sterownik pokojowy	Sterownik pogodowy	Instalacja kominowa	Zbiornik magazynowy	inwestycyjny PLN
1	Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem										
2	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	5 539,00 zł	9 627,00 zł	7 632,00 zł	3 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		2 500,00 zł	nd	14 532,00 zł
3	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	6 000,00 zł	10 368,00 zł	8 231,00 zł	3 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		2 500,00 zł	5 000,00 zł	20 131,00 zł
4	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	2 999,00 zł	5 539,00 zł	4 269,00 zł	nd	nd	400,00 zł		2 500,00 zł	nd	7 169,00 zł
5	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	3 068,00 zł	5 640,00 zł	4 354,00 zł	nd	nd	400,00 zł		2 500,00 zł	5 000,00 zł	12 254,00 zł
6	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	8 980,00 zł	13 919,00 zł	11 772,00 zł	3 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	16 172,00 zł
7	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012			7 400,00 zł	3 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	11 800,00 zł
8	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	9 702,00 zł	13 919,00 zł	11 862,00 zł	3 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	16 262,00 zł
9	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing			8 100,00 zł	3 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	12 500,00 zł
10	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	2 990,00 zł	4 550,00 zł	3 770,00 zł	3 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	8 170,00 zł
11	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	3 680,00 zł	3 680,00 zł	3 680,00 zł	3 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	8 080,00 zł
12	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	8 300,00 zł	11 057,70 zł	9 678,85 zł	3 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	14 078,85 zł
13	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	10 270,00 zł	11 057,70 zł	10 663,85 zł	3 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	15 063,85 zł

Tabela 4.1.b. Koszty inwestycyjne dla źródeł o mocy 15kW

15 kW											
		Koszt inwestycyjny, źródło PLN			Koszt inwestycyjny, wyposażenie i oprzyrządowanie dodatkowe PLN						Całkowity koszt inwestycyjny PLN
Lp.	Urządzenie	od	do	średnia	Bufor ciepła	Zawór mieszający	Sterownik pokojowy	Sterownik pogodowy	Instalacja kominowa	Zbiornik magazynowy	
1	Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem										
2	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	5 224,00 zł	9 800,00 zł	7 772,00 zł	4 500,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		3 000,00 zł	nd	16 672,00 zł
3	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	5 750,00 zł	10 600,00 zł	8 175,00 zł	4 500,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		3 000,00 zł	5 000,00 zł	22 075,00 zł
4	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	2 999,00 zł	6 919,00 zł	4 420,00 zł	nd	nd	400,00 zł		3 000,00 zł	nd	7 820,00 zł
5	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	3 068,00 zł	7 500,00 zł	5 284,00 zł	nd	nd	400,00 zł		3 000,00 zł	5 000,00 zł	13 684,00 zł
6	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	9 561,00 zł	14 643,00 zł	12 566,00 zł	4 500,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	18 466,00 zł
7	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	6 500,00 zł	10 209,00 zł	8 706,00 zł	4 500,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	14 606,00 zł
8	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	10 616,00 zł	13 500,00 zł	12 448,00 zł	4 500,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	18 348,00 zł
9	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	6 500,00 zł	9 500,00 zł	8 000,00 zł	4 500,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	13 900,00 zł
10	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	3 600,00 zł	6 916,00 zł	4 556,00 zł	4 500,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	10 456,00 zł
11	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	3 600,00 zł	6 916,00 zł	5 258,00 zł	4 500,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	11 158,00 zł
12	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	8 600,00 zł	12 150,00 zł	10 430,00 zł	4 500,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	16 330,00 zł
13	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	9 200,00 zł	11 309,00 zł	10 462,00 zł	4 500,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	16 362,00 zł

Tabela 4.1.c. Koszty inwestycyjne dla źródeł o mocy 25 kW

25 kW

Lp.	Urządzenie	Koszt inwestycyjny, źródło PLN			Koszt inwestycyjny, wyposażenie i oprzyrządowanie dodatkowe PLN						Całkowity koszt inwestycyjny PLN
		od	do	średnia	Bufor ciepła	Zawór mieszający	Sterownik pokojowy	Sterownik pogodowy	Instalacja kominowa	Zbiornik magazynowy	
1	Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem										
2	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	4 600,00 zł	9 200,00 zł	7 730,00 zł	5 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		3 500,00 zł	nd	17 630,00 zł
3	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	4 800,00 zł	9 400,00 zł	7 930,00 zł	5 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		3 500,00 zł	5 000,00 zł	22 830,00 zł
4	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	4 900,00 zł	10 530,00 zł	8 020,00 zł	nd	nd	400,00 zł		3 500,00 zł	nd	11 920,00 zł
5	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	5 100,00 zł	10 730,00 zł	8 220,00 zł	nd	nd	400,00 zł		3 500,00 zł	5 000,00 zł	17 120,00 zł
6	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	8 281,00 zł	15 220,00 zł	13 204,00 zł	5 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	19 604,00 zł
7	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	7 419,00 zł	11 319,00 zł	9 503,00 zł	5 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	15 903,00 zł
8	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	11 863,00 zł	14 901,00 zł	13 905,00 zł	5 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	20 305,00 zł
9	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	11 319,00 zł	12 090,00 zł	11 705,00 zł	5 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	18 105,00 zł
10	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	4 200,00 zł	8 388,00 zł	5 421,00 zł	5 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	11 821,00 zł
11	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	8 388,00 zł	8 388,00 zł	8 388,00 zł	5 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	14 788,00 zł
12	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	9 600,00 zł	12 751,00 zł	11 267,00 zł	5 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	17 667,00 zł
13	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	10 100,00 zł	12 375,00 zł	11 394,00 zł	5 000,00 zł	1 000,00 zł	400,00 zł		nd	nd	17 794,00 zł

Na podstawie powyższego zestawienia określono całkowite koszty inwestycyjne instalacji grzewczych (tabela 4.2) o mocach dopasowanych do klas energetycznych budynków objętych analizą.

Tabela 4.2. Całkowite koszty instalacji grzewczych

Lp.	Urządzenie	***koszt***		
		10 kW	15 kW	25 kW
1	Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem	- zł	- zł	- zł
2	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	14 532,00 zł	16 672,00 zł	17 630,00 zł
3	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	20 131,00 zł	22 075,00 zł	22 830,00 zł
4	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	7 169,00 zł	7 820,00 zł	11 920,00 zł
5	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	12 254,00 zł	13 684,00 zł	17 120,00 zł
6	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	16 172,00 zł	18 466,00 zł	19 604,00 zł
7	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	11 800,00 zł	14 606,00 zł	15 903,00 zł
8	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	16 262,00 zł	18 348,00 zł	20 305,00 zł
9	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	12 500,00 zł	13 900,00 zł	18 105,00 zł
10	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	8 170,00 zł	10 456,00 zł	11 821,00 zł
11	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	8 080,00 zł	11 158,00 zł	14 788,00 zł
12	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	14 078,85 zł	16 330,00 zł	17 667,00 zł
13	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	15 063,85 zł	16 362,00 zł	17 794,00 zł

4.2 Koszty zakupu nośników energii

W analizie wyodrębnione zostały 3 teoretyczne obszary o zróżnicowanych kosztach logistyki paliw. Obszary te w przyjętym uproszczeniu reprezentowane są przez 3 województwa

- Mazowieckie,
- Śląskiego,
- Pomorskiego.

Koszty zakupu paliwa dla poszczególnych województw oszacowano na podstawie oficjalnych danych, dostępnych na stronach autoryzowanych sprzedawców Polskiej Grupy Górniczej [318], [319], [320]. Tabela 4.3 przestawia przedział cen i wartości opałowych analizowanych paliw.

Tabela 4.3. Zestawienie cen oraz wartości opałowej analizowanych paliw w trzech województwach.

Rodzaj Paliwa		Wartość opałowa				Koszt jednostkowy				Koszt en. pierwotnej
		od	do	średnia	Jednostka	od	do	średnia	Jednostka	PLN/MJ
Województwo Mazowieckie	**węgiel, groszek**	25	28	26,4	MJ/kg	740	870	803,8	PLN/Mg	0,0304
	drewno kawałkowe (DĄB)	15,12	15,12	15,12	MJ/kg	380	520	428	PLN/Mg	0,0425
						190	260	214	PLN/m.p.	
						285	390	321	PLN/m^3	
	pellet	17,07	19,08	18,366	MJ/kg	850	925	894	PLN/Mg	0,0487
	gaz ziemny	34	34	34	MJ/m^3	1,98	2,28	2,14	PLN/m^3	0,0629
	Gaz LPG	46,3	46,3	46,3	MJ/kg	2,3	2,67	2,485	PLN/Mg	0,0537
Województwo Śląskie]	**węgiel, groszek**	24	28	26	MJ/kg	541,2	750	664,84	PLN/Mg	0,0256
	drewno kawałkowe (DĄB)	15,12	15,12	15,12	MJ/kg	320	360	350	PLN/Mg	0,0347
						160	180	175	PLN/m.p.	
						240	270	262,5	PLN/m^3	
	pellet	18,56	19,7	18,972	MJ/kg	700	915	761	PLN/Mg	0,0401
	gaz ziemny	34	34	34	MJ/m^3	1,98	2,28	2,14	PLN/m^3	0,0629
	Gaz LPG	46,3	46,3	46,3	MJ/kg	2,3	2,67	2,485	PLN/Mg	0,0537
Województwo Pomorskie	**węgiel, groszek**	24	28	27	MJ/kg	710	860	791,4	PLN/Mg	0,0293
	drewno kawałkowe (DĄB)	15,12	15,12	15,12	MJ/kg	300	380	356	PLN/Mg	0,0353
						150	190	178	PLN/m.p.	
						225	285	267	PLN/m^3	
	pellet	18	19,7	18,44	MJ/kg	779	850	829,8	PLN/Mg	0,0450
	gaz ziemny	34	34	34	MJ/m^3	1,98	2,28	2,14	PLN/m^3	0,0629
	Gaz LPG	46,3	46,3	46,3	MJ/kg	2,3	2,67	2,485	PLN/Mg	0,0537

Zmienność cen węgla wynika przede wszystkim ze zróżnicowanych kosztów logistyki hurtowej. Dla paliw gazowych przyjęto jednakowe średnie ceny zakupu wraz z uśrednionymi opłatami przesyłowymi, stałymi i zmiennymi.

4.3 Zewnętrzne koszty środowiskowe

Emisja zanieczyszczeń z każdego procesu produkcyjnego, w tym systemów konwersji energii, prowadzi do szkód środowiskowych w różnych dziedzinach. Istotna jest właściwa ocena ekonomiczna tych strat. W praktyce powszechnie stosuje się wskaźniki opłat za emisje wynikające z obwieszczenia ministra odpowiedzialnego za sprawy środowiska [1,2]. Wskaźniki te są jednak zakładane na drodze czysto administracyjnej i nie odzwierciedlają rzeczywistych kosztów strat w środowisku naturalnym. Poprawnym podejściem oceny strat ekologicznych i ich wycena monetarna jest metodyka tak zwanych zewnętrznych kosztów środowiskowych (*externalities*) zaproponowana w ramach zrealizowanego projektu ExternE [3,4,5,6]. Wspomniane opłaty wynikające z [2] są o wiele niższe od oszacowanych w [3,7] strat. W przypadku zaniżonego poziomu opłat środowiskowych przedsiębiorstwa nie mają ekonomicznej zachęty, aby powyższe szkody eliminować

Ogólna definicja kosztów zewnętrznych technologii energetycznych odnosi się do wszystkich negatywnych efektów związanych z wytwarzaniem danego produktu z uwzględnieniem tak zwanego pełnego cyklu istnienia (LCA – life cycle assessment), czyli uwzględnienie komponentów na wszystkich etapach technicznego procesu wytwórczego, takich jak: budowa i likwidacja elektrowni, wydobycie i transport surowców energetycznych oraz emisja zanieczyszczeń w trakcie produkcji nośnika energii. Przy szacowaniu tak zwanych zewnętrznych kosztów środowiskowych bierze się pod uwagę takie kategorie oddziaływania jak: zdrowie ludzkie, materiały, uprawy rolne, bioróżnorodność oraz zmiana charakteru użytkowania powierzchni ziemi. Wpływ różnych substancji szkodliwych na efekt zewnętrzny w różnych obszarach oddziaływania zestawiono w tablicy 4.4.

Tabela 4.4. Kategorie oddziaływania przy analizowaniu zewnętrznych kosztów środowiskowych[4]

Obszar oddziaływania	Substancja	Efekt zewnętrzny
Zdrowie ludzkie	PM, SO_2, NOx, O_3, NH_3, NMVOC, Cd, As, Ni, Pb, Hg, Cr, dioksyny	zmniejszenie długości życia ludzkiego, leczenie szpitalne związane z chorobami sercowo-naczyniowymi, układu oddechowego itd.
Szkody materiałowe	SO_2, NO_X	korozja metali, niszczenie elewacji budynków, ubytki materiałów itp.
Szkody w zbiorach	SO_2, NO_X	zmniejszenie produktywności plonów rolnych, straty leśne, konieczność zwiększenia azotowania gleb
Utrata bioróżnorodności	NH_3, SO_2, NO_X, NMVOC	zachwianie równowagi biologicznej
Globalne ocieplenie	CO_2, CH_4, N_2O	zagrożenie życia, powodzie, straty w rolnictwie, turystyce itp.

Jedną z najbardziej kompleksowych prób oszacowania zewnętrznych kosztów środowiskowych, w tym przez elektrownie oraz inne procesy konwersji energii, zrealizowano w ramach europejskich projektow ExternE-POL, NewExt i NEEDS [3,4,7]. Metodyka uwzględnia szerokie spektrum niekorzystnych efektów zewnętrznych powodowanych na etapie produkcji i transportu paliw energetycznych i ich energetycznego zużycia. Algorytm wykorzystywany w analizie kosztów zewnętrznych obejmuje następujące etapy [4]:

- **emisja** (emission): wielkości emisji zanieczyszczeń emitowanych przez dane źródło; zależy od zastosowanej technologii energetycznej i typu paliwa, wyrażana najczęściej w jednostkach ilości substancji danej emisji przypadającej na jednostkę produktu energetycznego (np. kg NOx/GWh),

- **rozprzestrzenianie** (dispersion): oszacowanie zmian odpowiednich miar jakości środowiska jako funkcji emisji; np. poprzez wzrost koncentracji emisji na pewnym obszarze (wyrażony w g/m3),

- **wpływ** (impact): oszacowanie fizycznych efektów zmian jakości środowiska dla poszczególnych rodzajów oddziaływań według kategorii zawartych w tablicy 4.4; w ocenie wpływu stosuje się tzw. funkcje „dawka-skutek" (dose-response functions),

- **koszt** (cost): zastosowanie jednostkowych miar wyceny ekonomicznej do przekształcenia fizycznych efektów związanych z odprowadzaniem substancji szkodliwych w monetarną wartość kosztów zewnętrznych (np. koszt leczenia astmy).

Przy określaniu zewnętrznych kosztów środowiskowych w oparciu o metodykę ExternE [X], pod uwagę dodatkowo bierze się transport i rozprzestrzenianie zanieczyszczeń.

Do modelowania transportu zanieczyszczeń pierwotnych i wtórnych (część pierwotnych zanieczyszczeń bierze udział w reakcjach chemicznych w atmosferze tworząc tak zwane zanieczyszczenia wtórne) wykorzystywane są powszechnie trzy modele rozprzestrzeniania [4] zanieczyszczeń:

• **ISC** *(Industrial Source Complex Model)* - do modelowania rozprzestrzeniania zanieczyszczeń pierwotnych (SO2, NOx i cząstek stałych PM) w skali lokalnej (sieć 10x10 km, zasięg do 50 km od źrodła emisji);

• **WTM** *(Wind Trajectory Model)* - do modelowania rozprzestrzeniania zanieczyszczeń pierwotnych i wtórnych (azotany, siarczany) w skali regionalnej (sieć 50x50 km, zasięg powyżej 50 km od źródła emisji);

• **SROM** *(The Source-Receptor Ozone Model)*, który bazując na rocznych emisjach NOx i NMVOC oblicza roczną średnią koncentrację ozonu (O_3).

Modele rozprzestrzeniania zanieczyszczeń dostarczają niezbędnych danych dotyczących zmian koncentracji zanieczyszczeń w miejscach depozycji. Informacje te

wykorzystywane są w tzw. funkcjach dawka-skutek (dose- response functions), opisujących relacje pomiędzy zwiększoną wielkością koncentracji i fizycznymi skutkami (np. w postaci zwiększonej ilości zachorowań). Funkcje dawka-skutek określone zostały na podstawie licznych, długoletnich badań epidemiologicznych, laboratoryjnych i doświadczalnych. Na obecnym etapie najbardziej rozpoznane są zależności funkcyjne wpływu emisji zanieczyszczeń na zdrowie ludzkie, niszczenie materiałów budowlanych, budynków oraz plony rolnicze. Ogólnie zewnętrzne koszty środowiskowe z uwzględnieniem transportu zanieczyszczeń szacowane są w następujących obszarach:

- skutki zdrowotne,
- niszczenie budynków i szkody materiałowe np. korozja metali,
- wpływ na uprawy rolne i eko-systemy,
- utrata bioróżnorodności.

W tablicy 4.4 przedstawiono porównanie zewnętrznych kosztów środowiskowych w_k ze stawkami opłat za korzystanie ze środowiska c_k zgodnie z obowiązującymi przepisami [2] (dane dla wybranego roku)

Tabela 4.4. Porównanie zewnętrznych kosztów środowiskowych w_k ze stawkami opłat za korzystanie ze środowiska [3],[7]

Wskaźnik	Jednostka	Substancja szkodliwa		
		SOx	NOx	Pył
c_k	EUR/kg	0,12	0,12	0,08
w_k	EUR/kg	12,8	9,4	7,0

Z przedstawionych danych wynika, że rzeczywiste straty ekologiczne wyrażone w jednostkach monetarnych są około 100 razy większe niż obowiązujące opłaty za korzystanie ze środowiska. Uwzględnienie zewnętrznych kosztów środowiskowych w opłatach za korzystanie ze środowiska z całą pewnością byłoby bardzo silną zachętą ekonomiczną, aby powyższe szkody eliminować. W tablicy 4.5 zawarto wartości zewnętrznych strat środowiskowych przyjęte w niniejszej analizie.

Tabela 4.5. Zewnętrzne koszty środowiskowe

Lp.	Zanieczyszczenie	Koszty zewnętrzne,	
		eur/kg	PLN/kg
1	CO	1,96	8,232
2	TSP	*	*
3	PM10	1,33	5,586
4	PM2.5	24,57	103,194
5	SO_2	6,75	28,35
6	NOx	7,06	29,652
7	BaP	b.d.	b.d.
8	CO_2	0,05	0,21
9	CO_2**	0,05	0,21

* Dla biomasy TSP=0,9*PM2.5+0,1*PM10
Dla węgla TSP=0,6*PM2.5+0,4*PM10

b.d. brak danych

** wynika ze strat przetłaczania na dalekie odległości

Literatura w rozdziale:

[1] USTAWA z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (z późniejszymi zmianami). http://isap.sejm.gov.pl

[2] OBWIESZCZENIE Ministra Środowiska z dnia 31 sierpnia 2017 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2018. http://isap.sejm.gov.pl

[3] Czarnowska L.: Thermo-ecological cost of products with emphasis on external environmental costs. Praca doktorska Gliwice, 2014.

[4] Kudełko M.: Koszty zewnętrzne produkcji energii elektrycznej z projektowanych elektrowni dla kompleksów złożowych węgla brunatnego Legnica i Gubin oraz sektora energetycznego w Polsce. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2012.

[5] Bickel, P. and Friedrich, R. (2005) ExternE Externalities of Energy, Methodology Update, European Commission, available at http://www.externe.info (accessed on 4.07.2012).

[6] Schleisner, L. (2000) 'Comparison of methodologies for externality assessment', Energy Policy, Vol. 28, No. 15, pp.1127–1136.

[7] Czarnowska L., Frangopoulos C.A.: Dispersion of pollutants, environmental externalities due to a pulverized coal power plant and their effect on the cost of electricity. Energy Vol.41, pp.212-219, May 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.004

5 Analiza ekonomiczna

5.1 Algorytm obliczeń do wyznaczenia opłacalności inwestycji

Wyznaczenie wskaźników oceny opłacalności eliminacji pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła użytkowego małej mocy z węgla na nowoczesne niskoemisyjne urządzenia grzewcze zasilane paliwami gazowymi i paliwami stałymi wymaga dostępu do informacji nt. klasyfikacji energetycznej analizowanych budynków. Jednym z dokumentów, który dostarcza te informacje, jest *Klasyfikacja energetyczna budynków wg Stowarzyszenia na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju we Wrocławiu* [301], [302], [303]. Dokument ten, zawiera wykaz klas budynków (od litery A do F) na podstawie wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło [303]:

Tabela 5.1. Wykaz klas energetycznych budynków na podstawie wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło.

Klasa energetyczna	Ocena energetyczna	Wskaźnik E_A kWh/(m^2 rok)	Okres budowy
A+	Pasywny	do 15	aktualnie
A	Niskoeneregtyczny	15 – 45	
B	Energooszczędny	45 – 80	
C	Średnio energooszczędny	80 – 100	
D	Średnio energochłonny	100 – 150	od 1990
E	Energochłonny	150 – 250	do 1998
F	Wysoko energochłonny	ponad 250	do 1982

Budynek oznaczony klasą energetyczną A+ (A) charakteryzuje się niskim wskaźnikiem sezonowego zapotrzebowania na ciepło, co przekłada się bezpośrednio w przyszłości na niższe rachunki za energię niezbędną do jego ogrzewania. Klasa F określa obiekty nisko energooszczędne, które dla zapewnienia optymalnych warunków mieszkaniowych potrzebują duże porcje energii. W praktyce zaliczają się do niej budynki nie posiadające zewnętrznych ociepleń, mające nieszczelne okna, wyposażone w nieefektywną i nieszczelna instalację grzewczą starego typu. Dodatkowo dla dwóch typów najwyższych klas głównych wyróżnia się kategorie pośrednie (A1, A2, B1, B2) [302].

Na potrzeby przeprowadzonej analizy analizowano trzy klasy budynków:

1. Budynek energooszczędny (klasa B) – wskaźnik $E_A = 70\ kWh/(m^2\ rok)$
2. Budynek średnio energochłonny (klasa D) – wskaźnik $E_A = 140\ kWh/(m^2\ rok)$
3. Budynek wysoko energochłonny (klasa F) – wskaźnik $E_A = 280\ kWh/(m^2\ rok)$

Do obliczeń przyjęto powierzchnię budynku równą $A = 120\ m^2$

5.2 Algorytm obliczeń rocznego zapotrzebowania na ciepło do celów centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej

W oparciu o Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej wyznaczono roczne zapotrzebowanie na energię użytkową do przygotowania ciepłej wody użytkowej $Q_{W,nd}$ ze wzoru [304]:

$$Q_{W,nd} = V_{Wi} \cdot A_f \cdot c_w \cdot \rho_w \cdot (\theta_w - \theta_0) \cdot k_R \cdot t_R/3600 \quad kWh/rok \tag{1}$$

gdzie,

V_{Wi} – jednostkowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową, $[dm^3/(m^2\ doba)]$; przyjęto $V_{Wi} = 1{,}4\ dm^3/(m^2\ doba)$;

A_f – powierzchnia ogrzewana, $[m^2]$; przyjęto $A_f = 120\ m^2$;

c_w – ciepło właściwe wody, $[kJ/(kg \cdot K)]$; $c_w = 4{,}19\ kJ/(kg \cdot K)$;

ρ_w – gęstość wody, $[kg/dm^3]$; $\rho_w = 1\ kg/dm^3$;

θ_w – obliczeniowa temperatura wody użytkowej w zaworze czerpalnym, [°C]
przyjęto $\theta_w = 55$ °C

θ_0 – obliczeniowa temperatura wody przed podgrzaniem, [°C]; przyjęto $\theta_0 = 10$ °C;

k_R – współczynnik korekcyjny ze względu na przerwy w użytkowaniu ciepłej wody użytkowej, $[-]$; $k_R = 0{,}9$;

t_R – liczba dni w roku; $[doba]$; $t_R = 365$;

Moc szczytowana do przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u) wyznacza się ze wzoru [305]:

$$\dot{Q}_{c.w.u} = \frac{Q_{W,nd}}{t_R \cdot V_{h\ śr}} \cdot 9{,}32 \cdot l^{-0{,}244} \quad kW \tag{2}$$

gdzie,

$V_{h\ śr}$ – czas dyspozycji systemu c.w.u dla użytkownika, $[h]$; przyjęto $V_{h\ śr} = 18\ h$;

l – liczba użytkowników, przyjęto $l = 4$;

W oparciu o wartość wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło E_A oraz rocznego zapotrzebowania na ciepło do celów c.w.u. $Q_{W,nd}$ ze wzoru (3) wyznacza się ilość ciepła potrzebnego do celów centralnego ogrzewania (c.o.) [306] :

$$Q_{k,H} = E_A - Q_{W,nd} \quad kWh/rok \tag{3}$$

Średnie sezonowe zapotrzebowanie ciepła na cele c.o. wyznacza się w oparciu o wzór [306], [307], [308]:

$$\dot{Q}_{c.o}^{śr} = Q_{k,H} \cdot \frac{t_{p.w.} - t_{p.z.}^{o.obl.}}{t_{p.w.} - t_{p.z.}} \cdot \tau \quad kW \tag{4}$$

gdzie,

$t_{p.w.}$ – temperatura powietrza wewnętrznego, [°C]; przyjęto $t_{p.w.} = 20$ °C;

$t_{p.z.}$ – temperatura powietrza zewnętrznego, [°C];

$t_{p.z.}^{o.obl.}$ – projektowa temperatura zewnętrzna, [°C]; przyjęto w zależności od strefy klimatycznej.

τ – długość sezonu grzewczego;

Rysunek 5.1 przedstawia podział terytorium Polski na strefy klimatyczne, natomiast tablica 5.2 podaje wartości projektowej i średniej temperatury zewnętrznej dla każdej strefy klimatycznej [309], [310].

Rys. 5.1. Podział terytorium Polski na strefy klimatyczne

Tablica 5.2 Projektowa temperatura zewnętrzna i średnia roczna temperatura zewnętrzna

Strefa klimatyczna	Projektowa temperatura zewnętrzna, ℃	Średnia roczna temperatura zewnętrzna, ℃
Strefa 1	-16	7,7
Strefa 2	-18	7,9
Strefa 3	-20	7,6
Strefa 4	-22	6,9
Strefa 5	-24	5,5

W oparciu o [310] wyznaczono współczynnik nagrzewania, określany jako nadwyżka mocy cieplnej na potrzeby c.o. do skompensowania skutków osłabienia dla przestrzeni ogrzewalnej.

$$\Delta\dot{Q}_{c.o} = A_f \cdot f_{RH} \quad kW \tag{5}$$

gdzie,

f_{RH} – współczynnik nagrzewania, $[kW/m^2]$; przyjęto $f_{RH} = 0{,}022\ kW/m^2$;

Maksymalna moc cieplna na potrzeby centralnego ogrzewania wyznaczana jest ze wzoru:

$$\dot{Q}_{c.o} = \dot{Q}_{c.o}^{śr} + \Delta\dot{Q}_{c.o} \quad kW \tag{6}$$

Maksymalna (obliczeniowa) moc źródła wytwarzania ciepła użytkowego na cele zarówno c.o. i c.w.u, jest obliczana ze wzoru:

$$\dot{Q}_{kocioł}^{max} = \dot{Q}_{c.o} + \dot{Q}_{c.w.u} \quad kW \tag{7}$$

Tablica 5.3 przedstawia wyznaczone wartości obliczeniowej (szczytowej) mocy źródła ciepła użytkowego dla trzech analizowanych typów (klas) budynków oraz 5 stref klimatycznych.

Tabela 5.3. Wartości obliczeniowej mocy cieplnej źródła ciepła użytkowego dla analizowanych klas budynków i stref klimatycznych.

Moc szczytowa na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej [kW]					
Klasa budynku	Strefa 1	Strefa 2	Strefa 3	Strefa 4	Strefa 5
Budynek energooszczędny (klasa B)	8,61	8,83	8,92	8,90	8,72
Budynek średnio energochłonny (klasa D)	13,24	13,81	14,03	13,98	13,53
Budynek wysoko energochłonny (klasa F)	22,52	23,76	24,25	24,14	23,15

Uzyskane wartości mocy szczytowej źródła ciepła użytkowego dla poszczególnych stref klimatycznych praktycznie się nie zmieniają. Dlatego też, postanowiono uśrednić powyższe moce cieplne dla jednej strefy klimatycznej uzyskując wartości :

Tabela 5.4. Wartości obliczeniowej mocy cieplnej źródła ciepła użytkowego dla analizowanych klas budynków i uśrednionej strefy klimatycznej.

Moc szczytowa na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej [kW]	
Klasa budynku	Strefa uśredniona
Budynek energooszczędny (klasa B)	8,79
Budynek średnio energochłonny (klasa D)	13,72
Budynek wysoko energochłonny (klasa F)	23,56

Wartości maksymalnej mocy cieplnej praktycznie pokrywają się z wartościami przedstawionymi w tablicy 5.3 dla strefy 2. Dlatego, dalsze obliczenia zostały wykonane przy założeniu $t_{p.z.}^{o.obl.} = -18$ °C.

Równanie (7) umożliwia wyznaczenie obliczeniowej (maksymalnej) mocy źródła ciepła użytkowego, która odpowiada obliczeniowym zimowym warunkom temperaturowym (wartość ta jest wyznaczana dla temperatury $t_{p.z.}^{o.obl.}$). Ze wzrostem temperatury powietrza zewnętrznego zapotrzebowanie na ciepło odpowiednio maleje. Zgodnie z prawami teorii wymiany ciepła, bieżące zapotrzebowanie ciepła na cele c.o. jest wprost proporcjonalne do bieżącej różnicy temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego [306], [311], [312]. Zgodnie z [308] względne zapotrzebowanie ciepła na potrzeby c.o. i c.w.u φ_0 jest to stosunek bieżącego $\dot{Q}_{kocioł}$ i maksymalnego $\dot{Q}_{kocioł}^{max}$ zapotrzebowania ciepła:

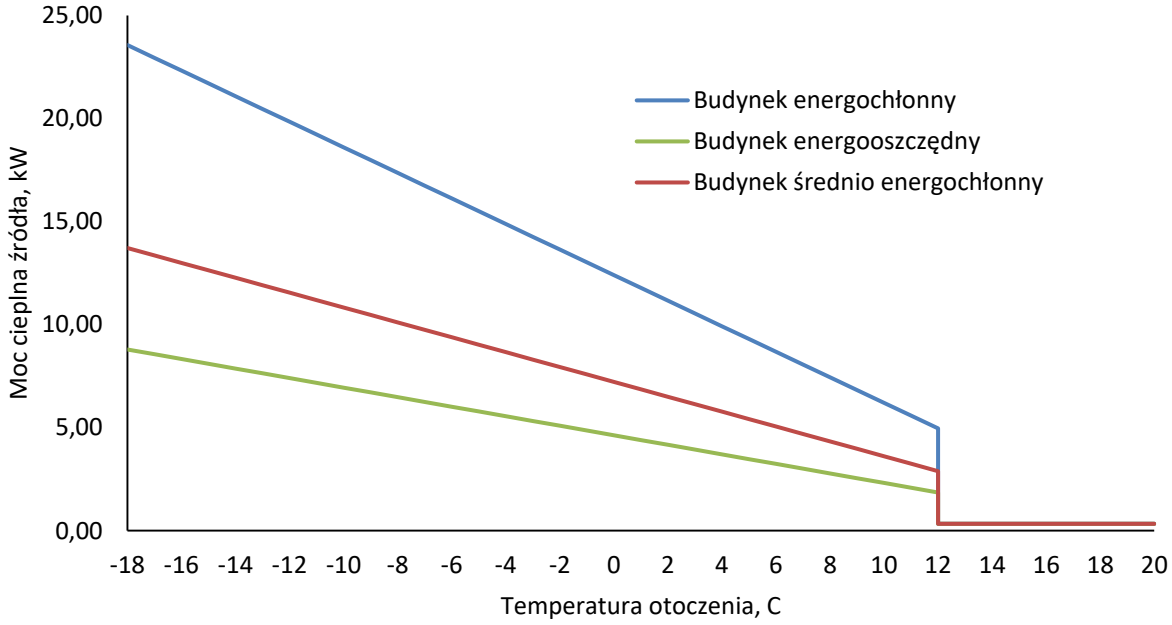
$$\varphi_0 = \frac{\dot{Q}_{kocioł}}{\dot{Q}_{kocioł}^{max}} \quad \text{lub} \quad \dot{Q}_{kocioł} = \varphi_0 \cdot \dot{Q}_{kocioł}^{max} \tag{8}$$

gdzie [306],

$$\varphi_0 = \frac{t_{p.w.} - t_{p.z.}}{t_{p.w.} - t_{p.z.}^{o.obl.}} \tag{9}$$

Za górną granicę wydajności centrali cieplnej przyjmuje się często temperaturę $t_{p.z.} = 12$ °C.

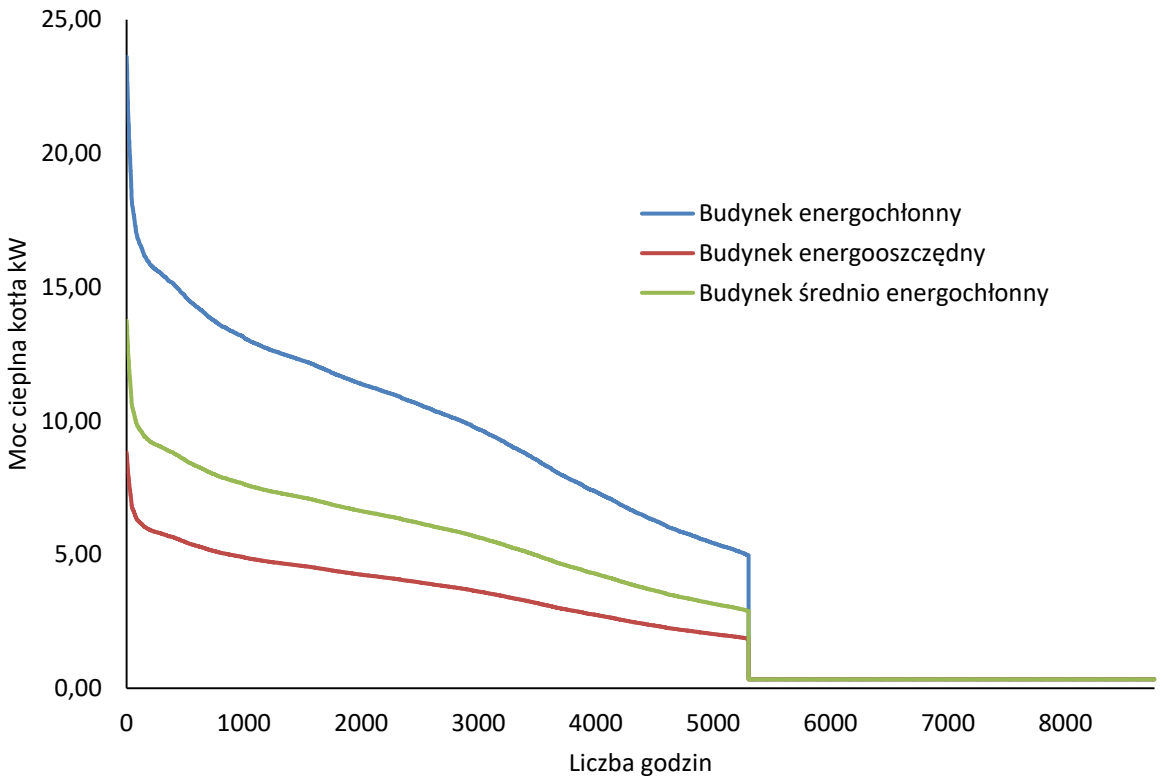
W oparciu o opisany powyżej algorytm opracowano wykres zmiany zapotrzebowania na ciepło użytkowe w zależności od temperatury zewnętrznej:



Rys. 5.2 Wykres zmiany zapotrzebowania na ciepło użytkowe w zależności od temperatury zewnętrznej dla analizowanych klas budynków.

W oparciu o dostępne dane dotyczące częstości występowania danej temperatury zewnętrznej w roku opracowano wykres uporządkowany rocznego zapotrzebowania na ciepło użytkowe. Wykres ten, jest wynikiem zestawienia przebiegu obciążeń godzinowych w ciągu całego roku, tzn. w ciągu 8760 h. Do obliczeń przyjęto 2 strefę klimatyczną, dla której długość sezonu grzewczego $\tau = 5300\ h$ [313].

Rysunek 5.3 przedstawia wykres roczny uporządkowany dla analizowanych klas budynków od częstotliwości występowania określonej temperatury zewnętrznej [305], [307], [308].



Rys.5.3. Zmiana zapotrzebowania na ciepło użytkowe w zależności od częstości występowania danej temperatury zewnętrznej.

Całoroczny rozchód ciepła można obliczyć ze wzoru [307]:

$$Q_{kocioł}^{rok} = \int_0^{8760} \dot{Q}_{kocioł}\, dt \qquad kWh \tag{10}$$

Tablica 5.5 przedstawia wyniki obliczeń ilości ciepła użytkowego w ciągu roku dla analizowanych klas budynków na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej.

Tabela 5.5. Zestawienie wyników obliczeń ilości ciepła użytkowego w ciągu roku dla analizowanych klas budynków na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej.

Ilość ciepła użytkowego w ciągu roku na potrzeby c.o. oraz c.w.u.		
Na potrzeby centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej		
Budynek oszczędny	21348,60	kWh
Budynek średnio energochłonny	32663,76	kWh
Budynek wysoko energochłonny	55294,09	kWh
Na potrzeby centralnego ogrzewania		
Budynek oszczędny	18458,13	kWh
Budynek średnio energochłonny	29773,29	kWh
Budynek wysoko energochłonny	52403,62	kWh
Na potrzeby ciepłej wody użytkowej		
Budynek oszczędny	2890,47	kWh
Budynek średnio energochłonny	2890,47	kWh
Budynek wysoko energochłonny	2890,47	kWh

5.3 Algorytm wyznaczenia zużycia paliwa

W oparciu o dane dotyczące wartości opałowej analizowanych paliw, wymaganej ilości ciepła użytkowego w ciągu roku oraz przedstawione w tablicy 6 wartości sprawności analizowanych źródeł ciepła użytkowego wyznaczono ze wzoru (11) ilość spalonego paliwa w ciągu roku kalendarzowego.

$$P = \frac{Q_{kocioł}^{rok}}{\eta_{źr} \cdot W_{d\ pal}} \qquad t/rok \text{ lub } m^3/rok \tag{11}$$

gdzie,

$\eta_{źr}$ – sprawność źródła ciepła użytkowego, $[-]$;

$W_{d\ pal}$ – wartość opałowa paliwa, $[MJ/kg]$ lub $[MJ/m^3]$.

Wyniki obliczeń ilości spalonego paliwa w ciągu roku kalendarzowego przedstawiono w tablicy 5.6:

Tabela 5.6. Zestawienie wartości zużycia paliwa w roku kalendarzowym dla analizowanych klas budynków.

		Zużycie paliwa												
		Węgiel, Mg/a	Gaz ziemny, m^3/a		LPG, Mg/a		Pellet, Mg/a		Drewno kawałkowe, Mg/a		Węgiel, groszek, Mg/a			
Lp.	Standard budynku	Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing
1	B, Oszczędny	4,55	2306,57	2306,57	1,69	1,69	4,45	4,45	5,52	5,52	3,32	3,32	3,32	3,32
2	D, Średnioenergochłonny	6,96	3529,10	3529,10	2,59	2,59	6,81	6,81	8,45	8,45	5,08	5,08	5,08	5,08
3	F, energochłonny	11,78	5974,15	5974,15	4,39	4,39	11,53	11,53	14,31	14,31	8,60	8,60	8,60	8,60

5.4 Algorytm wyznaczenia kosztów eksploatacji oraz emisji szkodliwych substancji do otoczenia

Koszt wynikający z eksploatacji źródła ciepła użytkowego obliczany jest ze wzoru:

$$K_{eksp} = P \cdot k_{jedn} \qquad zł/rok \tag{12}$$

gdzie,

k_{jedn} – koszt jednostkowy zakupu paliwa, $[zł/Mg]$ lub $[zł/m^3]$.

Koszt całkowity w analizowanym okresie eksploatacji źródła ciepła użytkowego – tj. 15 lat jest wyznaczany z następującego wzoru:

$$K_{całk} = L \cdot K_{eksp} + I_o \qquad zł \tag{13}$$

gdzie,

L – okres eksploatacji źródła ciepła użytkowego, $L = 15\ lat$;

I_0 – koszt inwestycyjny, $[zł]$.

W oparciu o wskaźniki emisji przedstawione w tablicy 4 wyznaczono emisje szkodliwych substancji dla wszystkich analizowanych typów źródeł ciepła użytkowego ze wzoru:

$$E_i = P \cdot W_{d\ pal} \cdot e_i \qquad kg/rok \tag{14}$$

gdzie,

E_i – emisja i-tej szkodliwej substancji do otoczenia, $[kg/rok]$ lub $[m^3/rok]$;

e_i – wskaźnik emisji i-tej substancji do otoczenia, $[kg/GJ]$.

$i = CO, TSP, PM10, PM2.5, SO_2, NO_x, BaP, CO_2, CO_2^*$

Wskaźnik emisji unikniętej wyznaczono ze wzoru:

$$\Delta E_i = E_i^{new} - E_i^{old} \qquad kg/rok \tag{15}$$

gdzie,

E_i^{new} – emisja i-tej szkodliwej substancji do otoczenia dla nowego, nowoczesnego i niskoemisyjnego urządzenia grzewczego zasilanego paliwami gazowymi i paliwami, $[kg/rok]$ lub $[m^3/rok]$;

E_i^{old} – emisja i-tej szkodliwej substancji do otoczenia dla pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła użytkowego, $[kg/rok]$;

Tablice 5.7÷5.10 przedstawiają odpowiednio zestawienia kosztów eksploatacyjnych, emisji szkodliwych substancji oraz unikniętej emisji zanieczyszczeń w okresie obliczeniowym (rok) jak również koszty całkowite w całym analizowanym okresie eksploatacji (15 lat).

Tabela 5.7. Zestawienie wartości kosztów eksploatacyjnych w roku kalendarzowym dla analizowanych klas budynków oraz województw.

Lp.	Standard budynku	Województwo	***Koszty eksploatacyjne***													
			Węgiel, PLN/a	Gaz ziemny, PLN/a		LPG, PLN/a		Pellet, PLN/a		Drewno kawałkowe, PLN/a		Węgiel, groszek, PLN/a			
			Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing
1	B, Oszczędny	Mazowieckie	3 655,39 zł	4 936,06 zł	4 936,06 zł	4 209,12 zł	4 209,12 zł	3 979,85 zł	3 979,85 zł	2 364,70 zł	2 364,70 zł	2 669,66 zł	2 669,66 zł	2 669,66 zł	2 669,66 zł
		Śląskie	3 023,45 zł	4 936,06 zł	4 936,06 zł	4 209,12 zł	4 209,12 zł	3 279,56 zł	3 279,56 zł	1 933,75 zł	1 933,75 zł	2 208,14 zł	2 208,14 zł	2 208,14 zł	2 208,14 zł
		Pomorskie	3 598,99 zł	4 936,06 zł	4 936,06 zł	4 209,12 zł	4 209,12 zł	3 679,23 zł	3 679,23 zł	1 966,90 zł	1 966,90 zł	2 628,48 zł	2 628,48 zł	2 628,48 zł	2 628,48 zł
2	D, Średnioenergochłonny	Mazowieckie	5 592,81 zł	7 552,27 zł	7 552,27 zł	6 440,03 zł	6 440,03 zł	6 089,25 zł	6 089,25 zł	3 618,04 zł	3 618,04 zł	4 084,64 zł	4 084,64 zł	4 084,64 zł	4 084,64 zł
		Śląskie	4 625,93 zł	7 552,27 zł	7 552,27 zł	6 440,03 zł	6 440,03 zł	5 017,79 zł	5 017,79 zł	2 958,67 zł	2 958,67 zł	3 378,49 zł	3 378,49 zł	3 378,49 zł	3 378,49 zł
		Pomorskie	5 506,53 zł	7 552,27 zł	7 552,27 zł	6 440,03 zł	6 440,03 zł	5 629,29 zł	5 629,29 zł	3 009,39 zł	3 009,39 zł	4 021,62 zł	4 021,62 zł	4 021,62 zł	4 021,62 zł
3	F, energochłonny	Mazowieckie	9 467,66 zł	12 784,68 zł	12 784,68 zł	10 901,86 zł	10 901,86 zł	10 308,05 zł	10 308,05 zł	6 124,71 zł	6 124,71 zł	6 914,58 zł	6 914,58 zł	6 914,58 zł	6 914,58 zł
		Śląskie	7 830,90 zł	12 784,68 zł	12 784,68 zł	10 901,86 zł	10 901,86 zł	8 494,25 zł	8 494,25 zł	5 008,52 zł	5 008,52 zł	5 719,20 zł	5 719,20 zł	5 719,20 zł	5 719,20 zł
		Pomorskie	9 321,60 zł	12 784,68 zł	12 784,68 zł	10 901,86 zł	10 901,86 zł	9 529,41 zł	9 529,41 zł	5 094,38 zł	5 094,38 zł	6 807,91 zł	6 807,91 zł	6 807,91 zł	6 807,91 zł

Tabela 5.8. Zestawienie wartości kosztów całkowitych w całym analizowanym okresie eksploatacji

Lp.	Standard budynku	Województwo	***Koszty całkowite, bez zewnętrznych przy założeniu 15 lat żywotności***													
			Węgiel, Mg/a	Gaz ziemny, m^3/a		LPG, Mg/a		Pellet, Mg/a		Drewno kawałkowe, Mg/a		Węgiel, groszek, Mg/a			
			Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing
1	B, Oszczędny	Mazowieckie	54 830,78 zł	88 572,93 zł	81 209,93 zł	83 267,78 zł	75 390,78 zł	79 912,78 zł	80 025,28 zł	50 220,50 zł	51 095,50 zł	50 257,45 zł	50 144,95 zł	57 643,51 zł	58 874,76 zł
		Śląskie	45 351,70 zł	88 572,93 zł	81 209,93 zł	83 267,78 zł	75 390,78 zł	69 408,40 zł	69 520,90 zł	43 756,25 zł	44 631,25 zł	43 334,53 zł	43 222,03 zł	50 720,59 zł	51 951,84 zł
		Pomorskie	53 984,92 zł	88 572,93 zł	81 209,93 zł	83 267,78 zł	75 390,78 zł	75 403,40 zł	75 515,90 zł	44 253,50 zł	45 128,50 zł	49 639,69 zł	49 527,19 zł	57 025,75 zł	58 257,00 zł
2	D, Średnioenergochłonny	Mazowieckie	83 892,14 zł	129 956,04 zł	121 104,04 zł	118 675,48 zł	110 284,48 zł	114 421,25 zł	114 273,75 zł	72 528,04 zł	71 645,54 zł	74 339,54 zł	75 217,04 zł	81 682,04 zł	81 722,04 zł
		Śląskie	69 388,96 zł	129 956,04 zł	121 104,04 zł	118 675,48 zł	110 284,48 zł	98 349,33 zł	98 201,83 zł	62 637,61 zł	61 755,11 zł	63 747,33 zł	64 624,83 zł	71 089,83 zł	71 129,83 zł
		Pomorskie	82 597,96 zł	129 956,04 zł	121 104,04 zł	118 675,48 zł	110 284,48 zł	107 521,80 zł	107 374,30 zł	63 398,41 zł	62 515,91 zł	73 394,35 zł	74 271,85 zł	80 736,85 zł	80 776,85 zł
3	F, energochłonny	Mazowieckie	142 014,86 zł	209 400,26 zł	203 690,26 zł	186 357,88 zł	180 647,88 zł	179 125,68 zł	180 001,93 zł	111 749,37 zł	114 501,87 zł	118 494,97 zł	122 203,72 zł	125 802,47 zł	125 961,22 zł
		Śląskie	117 463,49 zł	209 400,26 zł	203 690,26 zł	186 357,88 zł	180 647,88 zł	151 918,71 zł	152 794,96 zł	95 006,59 zł	97 759,09 zł	100 564,20 zł	104 272,95 zł	107 871,70 zł	108 030,45 zł
		Pomorskie	139 824,03 zł	209 400,26 zł	203 690,26 zł	186 357,88 zł	180 647,88 zł	167 446,11 zł	168 322,36 zł	96 294,50 zł	99 047,00 zł	116 894,93 zł	120 603,68 zł	124 202,43 zł	124 361,18 zł

Tabela 5.9. Zestawienie wielkości rocznej emisji szkodliwych substancji do atmosfery

Lp.	Standard budynku	zanieczyszczenie	***Ładunki zanieczyszczeń, kg/a***												
			Węgiel	Gaz ziemny		LPG		Pellet		Drewno kawałkowe		Węgiel, groszek			
			Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing
1	B, Oszczędny	CO	549,81	1,73	1,73	1,73	1,73	21,26	21,26	36,76	36,76	34,54	34,54	24,18	24,18
		TSP	63,85	0,02	0,02	0,02	0,02	1,64	1,64	3,34	3,34	3,45	3,45	1,90	1,90
		PM10	44,93	0,02	0,02	0,02	0,02	1,55	1,55	2,51	2,51	2,68	2,68	1,73	1,73
		PM2.5	18,92	0,02	0,02	0,02	0,02	1,55	1,55	2,51	2,51	2,33	2,33	1,64	1,64
		SO2	79,81	0,02	0,02	0,02	0,02	0,90	0,90	0,92	0,92	51,81	51,81	51,81	51,81
		NO_x	18,92	3,29	3,29	3,29	3,29	10,63	8,18	10,02	10,02	16,41	16,41	23,32	16,41
		BaP	46,11	0,04	0,04	0,04	0,04	0,82	0,82	1,25	1,25	2,59	2,59	1,30	1,30
		CO_2	12296,79	4078,02	4078,02	4078,02	4078,02	0,00	0,00	0,00	0,00	7961,83	7961,83	7961,83	7961,83
		CO_2^*	12391,38	6297,40	6297,40	4078,02	4078,02	0,00	0,00	0,00	0,00	7961,83	7961,83	7961,83	7961,83

2	D, Średnioenergochłonny	CO	841,22	2,64	2,64	2,64	2,64	32,52	32,52	56,24	56,24	52,85	52,85	36,99	36,99
		TSP	97,69	0,02	0,02	0,02	0,02	2,50	2,50	5,11	5,11	5,28	5,28	2,91	2,91
		PM10	68,74	0,02	0,02	0,02	0,02	2,38	2,38	3,83	3,83	4,10	4,10	2,64	2,64
		PM2.5	28,95	0,02	0,02	0,02	0,02	2,38	2,38	3,83	3,83	3,57	3,57	2,51	2,51
		SO2	122,11	0,04	0,04	0,04	0,04	1,38	1,38	1,41	1,41	79,27	79,27	79,27	79,27
		NO_x	28,95	5,04	5,04	5,04	5,04	16,26	12,51	15,34	15,34	25,10	25,10	35,67	25,10
		BaP	70,55	0,07	0,07	0,07	0,07	1,25	1,25	1,92	1,92	3,96	3,96	1,98	1,98
		CO_2	18814,33	6239,45	6239,45	6239,45	6239,45	0,00	0,00	0,00	0,00	12181,75	12181,75	12181,75	12181,75
		CO_2^*	18959,05	9635,14	9635,14	6239,45	6239,45	0,00	0,00	0,00	0,00	12181,75	12181,75	12181,75	12181,75
3	F, Energochłonny	CO	1424,04	4,47	4,47	4,47	4,47	55,06	55,06	95,20	95,20	89,46	89,46	62,63	62,63
		TSP	165,37	0,04	0,04	0,04	0,04	4,24	4,24	8,65	8,65	8,95	8,95	4,92	4,92
		PM10	116,37	0,04	0,04	0,04	0,04	4,02	4,02	6,49	6,49	6,93	6,93	4,47	4,47
		PM2.5	49,00	0,04	0,04	0,04	0,04	4,02	4,02	6,49	6,49	6,04	6,04	4,25	4,25
		SO2	206,71	0,06	0,06	0,06	0,06	2,33	2,33	2,38	2,38	134,20	134,20	134,20	134,20
		NO_x	49,00	8,53	8,53	8,53	8,53	27,53	21,18	25,96	25,96	42,50	42,50	60,39	42,50
		BaP	119,44	0,11	0,11	0,11	0,11	2,12	2,12	3,25	3,25	6,71	6,71	3,35	3,35
		CO_2	31849,40	10562,30	10562,30	10562,30	10562,30	0,00	0,00	0,00	0,00	20621,59	20621,59	20621,59	20621,59
		CO_2^*	32094,39	16310,63	16310,63	10562,30	10562,30	0,00	0,00	0,00	0,00	20621,59	20621,59	20621,59	20621,59

* wynika ze strat przetłaczania na dalekie odległości

Tabela 5.10. Zestawienie wielkości rocznej emisji unikniętej

Lp.	Standard budynku	ieczyszcze	***Emisja uniknięta, kg/a - zastąpienie starego źródła węglowego przez:***											
			Gaz ziemny		LPG		Pellet		Drewno kawałkowe		Węgiel, groszek			
			Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing
1	B, Oszczędny	CO	548,08	548,08	548,08	548,08	528,55	528,55	513,05	513,05	515,27	515,27	525,63	525,63
		TSP	63,83	63,83	63,83	63,83	62,21	62,21	60,51	60,51	60,39	60,39	61,95	61,95
		PM10	44,91	44,91	44,91	44,91	43,38	43,38	42,42	42,42	42,25	42,25	43,20	43,20
		PM2.5	18,90	18,90	18,90	18,90	17,36	17,36	16,41	16,41	16,59	16,59	17,28	17,28
		SO2	79,79	79,79	79,79	79,79	78,91	78,91	78,89	78,89	28,00	28,00	28,00	28,00
		NO_x	15,62	15,62	15,62	15,62	8,29	10,74	8,89	8,89	2,51	2,51	-4,40	2,51
		BaP	46,07	46,07	46,07	46,07	45,30	45,30	44,86	44,86	43,52	43,52	44,82	44,82
		CO_2	8218,77	8218,77	8218,77	8218,77	12296,79	12296,79	12296,79	12296,79	4334,96	4334,96	4334,96	4334,96
		CO_2^*	6093,98	6093,98	8313,37	8313,37	12391,38	12391,38	12391,38	12391,38	4429,56	4429,56	4429,56	4429,56

2	D, Średnioenergochłonny	CO	838,58	838,58	838,58	838,58	808,69	808,69	784,98	784,98	788,37	788,37	804,22	804,22
		TSP	97,67	97,67	97,67	97,67	95,19	95,19	92,58	92,58	92,40	92,40	94,78	94,78
		PM10	68,72	68,72	68,72	68,72	66,37	66,37	64,91	64,91	64,65	64,65	66,10	66,10
		PM2.5	28,92	28,92	28,92	28,92	26,57	26,57	25,11	25,11	25,38	25,38	26,43	26,43
		SO2	122,08	122,08	122,08	122,08	120,74	120,74	120,71	120,71	42,84	42,84	42,84	42,84
		NO_x	23,91	23,91	23,91	23,91	12,68	16,44	13,61	13,61	3,84	3,84	-6,73	3,84
		BaP	70,49	70,49	70,49	70,49	69,30	69,30	68,64	68,64	66,59	66,59	68,57	68,57
		CO_2	12574,88	12574,88	12574,88	12574,88	18814,33	18814,33	18814,33	18814,33	6632,58	6632,58	6632,58	6632,58
		CO_2^*	9323,91	9323,91	12719,61	12719,61	18959,05	18959,05	18959,05	18959,05	6777,30	6777,30	6777,30	6777,30
3	F, Energochłonny	CO	1419,57	1419,57	1419,57	1419,57	1368,98	1368,98	1328,83	1328,83	1334,57	1334,57	1361,41	1361,41
		TSP	165,33	165,33	165,33	165,33	161,14	161,14	156,72	156,72	156,43	156,43	160,45	160,45
		PM10	116,33	116,33	116,33	116,33	112,35	112,35	109,88	109,88	109,44	109,44	111,90	111,90
		PM2.5	48,96	48,96	48,96	48,96	44,98	44,98	42,51	42,51	42,96	42,96	44,75	44,75
		SO2	206,65	206,65	206,65	206,65	204,39	204,39	204,33	204,33	72,52	72,52	72,52	72,52
		NO_x	40,47	40,47	40,47	40,47	21,47	27,82	23,03	23,03	6,50	6,50	-11,39	6,50
		BaP	119,32	119,32	119,32	119,32	117,32	117,32	116,19	116,19	112,73	112,73	116,08	116,08
		CO_2	21287,10	21287,10	21287,10	21287,10	31849,40	31849,40	31849,40	31849,40	11227,81	11227,81	11227,81	11227,81
		CO_2^*	15783,76	15783,76	21532,09	21532,09	32094,39	32094,39	32094,39	32094,39	11472,80	11472,80	11472,80	11472,80

* wynika ze strat przetłaczania na dalekie odległości

5.5 Algorytm wyznaczenia kosztów zewnętrznych związanych z eksploatacją analizowanych źródeł ciepła

W analizie ekonomicznej uwzględniono środowiskowe koszty zewnętrzne, tablica 5.1.

Tabela 5.11. Zestawienie wartości kosztów zewnętrznych dla analizowanych emitowanych substancji szkodliwych do otoczenia.

Lp.	Zanieczyszczenie	Koszty zewnętrzne, PLN/kg
1	CO	8,232
2	TSP	0
3	PM10	5,586
4	PM2.5	103,194
5	SO2	28,35
6	NO_x	29,652
7	CO_2	0,21
8	CO_2^*	0,21

Przedstawione w tablicy 5.11 wartości kosztów zewnętrznych poszczególnych składników spalin stanowią dane wejściowe do wyznaczenia kosztów zewnętrznych poniesionych w roku kalendarzowym. Zostały one wyznaczone ze wzoru:

$$K_{zew} = E_i \cdot k_{zew} \qquad kg/rok \tag{16}$$

gdzie,

k_{zew} – koszt zewnętrzny emitowanej substancji, $[zł/kg]$ lub $[zł/m^3]$

Wyniki obliczeń kosztów zewnętrznych poszczególnych substancji przedstawiono w tablicach 5.12.

Tabela 5.12. Zestawienie wartości kosztu zewnętrznego emitowanej substancji w danym roku kalendarzowym dla analizowanych klas budynków

				Koszty zewnętrzne, PLN/a													
				Węgiel	Gaz ziemny		LPG		Pellet		Drewno kawałkowe		Węgiel, groszek				
Lp.	Standard budynku	Województwo	Zanieczyszczenie	Istniejące źródło, przestarzały kocioł opalany węglem	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz ziemny, dwufunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, jednofunkcyjny	Kocioł kondensacyjny na gaz LPG, dwufunkcyjny	Kocioł na pellet, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na pellet, klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł zgazowujący na drewno kawałkowe , klasy 5 wg EcoDesing	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z ręcznym załadunkiem zgodny z EcoDesing	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem, klasy 5 wg PN-EN 303-5: 2012	Kocioł na węgiel, z automatycznym załadunkiem zgodny z EcoDesing
1	B, Oszczędny	Mazowieckie	CO	4526,02	14,20	14,20	14,20	14,20	174,99	174,99	302,58	302,58	284,35	284,35	199,04	199,04
			TSP	1271,74	1,47	1,47	1,47	1,47	145,14	145,14	234,16	234,16	150,34	150,34	105,45	105,45
			PM10	250,98	0,09	0,09	0,09	0,09	8,68	8,68	14,00	14,00	14,95	14,95	9,65	9,65
			PM2.5	1952,24	1,62	1,62	1,62	1,62	160,31	160,31	258,62	258,62	240,60	240,60	169,31	169,31
			SO2	2262,64	0,67	0,67	0,67	0,67	25,50	25,50	26,05	26,05	1468,88	1468,88	1468,88	1468,88
			NO_x	560,96	97,67	97,67	97,67	97,67	315,17	242,44	297,25	297,25	486,51	486,51	691,35	486,51
			BaP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			CO_2	2582,33	856,38	856,38	856,38	856,38	0,00	0,00	0,00	0,00	1671,98	1671,98	1671,98	1671,98
			CO_2^*	2602,19	1322,45	1322,45	856,38	856,38	0,00	0,00	0,00	0,00	1671,98	1671,98	1671,98	1671,98
		Śląskie	CO	4526,02	14,20	14,20	14,20	14,20	174,99	174,99	302,58	302,58	284,35	284,35	199,04	199,04
			TSP	1271,74	1,47	1,47	1,47	1,47	145,14	145,14	234,16	234,16	150,34	150,34	105,45	105,45
			PM10	250,98	0,09	0,09	0,09	0,09	8,68	8,68	14,00	14,00	14,95	14,95	9,65	9,65
			PM2.5	1952,24	1,62	1,62	1,62	1,62	160,31	160,31	258,62	258,62	240,60	240,60	169,31	169,31
			SO2	2262,64	0,67	0,67	0,67	0,67	25,50	25,50	26,05	26,05	1468,88	1468,88	1468,88	1468,88
			NO_x	560,96	97,67	97,67	97,67	97,67	315,17	242,44	297,25	297,25	486,51	486,51	691,35	486,51
			BaP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			CO_2	2582,33	856,38	856,38	856,38	856,38	0,00	0,00	0,00	0,00	1671,98	1671,98	1671,98	1671,98
			CO_2^*	2602,19	1322,45	1322,45	856,38	856,38	0,00	0,00	0,00	0,00	1671,98	1671,98	1671,98	1671,98
		Pomorskie	CO	4526,02	14,20	14,20	14,20	14,20	174,99	174,99	302,58	302,58	284,35	284,35	199,04	199,04
			TSP	1271,74	1,47	1,47	1,47	1,47	145,14	145,14	234,16	234,16	150,34	150,34	105,45	105,45
			PM10	250,98	0,09	0,09	0,09	0,09	8,68	8,68	14,00	14,00	14,95	14,95	9,65	9,65
			PM2.5	1952,24	1,62	1,62	1,62	1,62	160,31	160,31	258,62	258,62	240,60	240,60	169,31	169,31
			SO2	2262,64	0,67	0,67	0,67	0,67	25,50	25,50	26,05	26,05	1468,88	1468,88	1468,88	1468,88
			NO_x	560,96	97,67	97,67	97,67	97,67	315,17	242,44	297,25	297,25	486,51	486,51	691,35	486,51
			BaP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			CO_2	2582,33	856,38	856,38	856,38	856,38	0,00	0,00	0,00	0,00	1671,98	1671,98	1671,98	1671,98
			CO_2^*	2602,19	1322,45	1322,45	856,38	856,38	0,00	0,00	0,00	0,00	1671,98	1671,98	1671,98	1671,98

* wynika ze strat przetłaczania na dalekie odległości

2	D, Średnioenergochłonny	Mazowieckie	CO	6924,90	21,73	21,73	21,73	21,73	267,74	267,74	462,96	462,96	435,05	435,05	304,54	304,54
			TSP	1945,78	2,24	2,24	2,24	2,24	222,07	222,07	358,26	358,26	230,03	230,03	161,34	161,34
			PM10	384,01	0,13	0,13	0,13	0,13	13,28	13,28	21,42	21,42	22,88	22,88	14,76	14,76
			PM2.5	2986,96	2,48	2,48	2,48	2,48	245,27	245,27	395,69	395,69	368,13	368,13	259,05	259,05
			SO2	3461,88	1,02	1,02	1,02	1,02	39,01	39,01	39,86	39,86	2247,41	2247,41	2247,41	2247,41
			NO_x	858,28	149,43	149,43	149,43	149,43	482,21	370,93	454,80	454,80	744,37	744,37	1057,78	744,37
			BaP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			CO_2	3951,01	1310,28	1310,28	1310,28	1310,28	0,00	0,00	0,00	0,00	2558,17	2558,17	2558,17	2558,17
			CO_2^*	3981,40	2023,38	2023,38	1310,28	1310,28	0,00	0,00	0,00	0,00	2558,17	2558,17	2558,17	2558,17
		Śląskie	CO	6924,90	21,73	21,73	21,73	21,73	267,74	267,74	462,96	462,96	435,05	435,05	304,54	304,54
			TSP	1945,78	2,24	2,24	2,24	2,24	222,07	222,07	358,26	358,26	230,03	230,03	161,34	161,34
			PM10	384,01	0,13	0,13	0,13	0,13	13,28	13,28	21,42	21,42	22,88	22,88	14,76	14,76
			PM2.5	2986,96	2,48	2,48	2,48	2,48	245,27	245,27	395,69	395,69	368,13	368,13	259,05	259,05
			SO2	3461,88	1,02	1,02	1,02	1,02	39,01	39,01	39,86	39,86	2247,41	2247,41	2247,41	2247,41
			NO_x	858,28	149,43	149,43	149,43	149,43	482,21	370,93	454,80	454,80	744,37	744,37	1057,78	744,37
			BaP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			CO_2	3951,01	1310,28	1310,28	1310,28	1310,28	0,00	0,00	0,00	0,00	2558,17	2558,17	2558,17	2558,17
			CO_2^*	3981,40	2023,38	2023,38	1310,28	1310,28	0,00	0,00	0,00	0,00	2558,17	2558,17	2558,17	2558,17
		Pomorskie	CO	6924,90	21,73	21,73	21,73	21,73	267,74	267,74	462,96	462,96	435,05	435,05	304,54	304,54
			TSP	1945,78	2,24	2,24	2,24	2,24	222,07	222,07	358,26	358,26	230,03	230,03	161,34	161,34
			PM10	384,01	0,13	0,13	0,13	0,13	13,28	13,28	21,42	21,42	22,88	22,88	14,76	14,76
			PM2.5	2986,96	2,48	2,48	2,48	2,48	245,27	245,27	395,69	395,69	368,13	368,13	259,05	259,05
			SO2	3461,88	1,02	1,02	1,02	1,02	39,01	39,01	39,86	39,86	2247,41	2247,41	2247,41	2247,41
			NO_x	858,28	149,43	149,43	149,43	149,43	482,21	370,93	454,80	454,80	744,37	744,37	1057,78	744,37
			BaP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			CO_2	3951,01	1310,28	1310,28	1310,28	1310,28	0,00	0,00	0,00	0,00	2558,17	2558,17	2558,17	2558,17
			CO_2^*	3981,40	2023,38	2023,38	1310,28	1310,28	0,00	0,00	0,00	0,00	2558,17	2558,17	2558,17	2558,17
3	F, energochłonny	Mazowieckie	CO	11722,66	36,79	36,79	36,79	36,79	453,24	453,24	783,70	783,70	736,47	736,47	515,53	515,53
			TSP	3293,87	3,80	3,80	3,80	3,80	375,93	375,93	606,48	606,48	389,40	389,40	273,11	273,11
			PM10	650,06	0,23	0,23	0,23	0,23	22,48	22,48	36,26	36,26	38,73	38,73	24,99	24,99
			PM2.5	5056,41	4,19	4,19	4,19	4,19	415,20	415,20	669,84	669,84	623,17	623,17	438,53	438,53
			SO2	5860,37	1,73	1,73	1,73	1,73	66,04	66,04	67,47	67,47	3804,48	3804,48	3804,48	3804,48
			NO_x	1452,92	252,96	252,96	252,96	252,96	816,30	627,92	769,89	769,89	1260,08	1260,08	1790,64	1260,08
			BaP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			CO_2	6688,37	2218,08	2218,08	2218,08	2218,08	0,00	0,00	0,00	0,00	4330,53	4330,53	4330,53	4330,53
			CO_2^*	6739,82	3425,23	3425,23	2218,08	2218,08	0,00	0,00	0,00	0,00	4330,53	4330,53	4330,53	4330,53
		Śląskie	CO	11722,66	36,79	36,79	36,79	36,79	453,24	453,24	783,70	783,70	736,47	736,47	515,53	515,53
			TSP	3293,87	3,80	3,80	3,80	3,80	375,93	375,93	606,48	606,48	389,40	389,40	273,11	273,11
			PM10	650,06	0,23	0,23	0,23	0,23	22,48	22,48	36,26	36,26	38,73	38,73	24,99	24,99
			PM2.5	5056,41	4,19	4,19	4,19	4,19	415,20	415,20	669,84	669,84	623,17	623,17	438,53	438,53
			SO2	5860,37	1,73	1,73	1,73	1,73	66,04	66,04	67,47	67,47	3804,48	3804,48	3804,48	3804,48
			NO_x	1452,92	252,96	252,96	252,96	252,96	816,30	627,92	769,89	769,89	1260,08	1260,08	1790,64	1260,08
			BaP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			CO_2	6688,37	2218,08	2218,08	2218,08	2218,08	0,00	0,00	0,00	0,00	4330,53	4330,53	4330,53	4330,53
			CO_2^*	6739,82	3425,23	3425,23	2218,08	2218,08	0,00	0,00	0,00	0,00	4330,53	4330,53	4330,53	4330,53
		Pomorskie	CO	11722,66	36,79	36,79	36,79	36,79	453,24	453,24	783,70	783,70	736,47	736,47	515,53	515,53
			TSP	3293,87	3,80	3,80	3,80	3,80	375,93	375,93	606,48	606,48	389,40	389,40	273,11	273,11
			PM10	650,06	0,23	0,23	0,23	0,23	22,48	22,48	36,26	36,26	38,73	38,73	24,99	24,99
			PM2.5	5056,41	4,19	4,19	4,19	4,19	415,20	415,20	669,84	669,84	623,17	623,17	438,53	438,53
			SO2	5860,37	1,73	1,73	1,73	1,73	66,04	66,04	67,47	67,47	3804,48	3804,48	3804,48	3804,48
			NO_x	1452,92	252,96	252,96	252,96	252,96	816,30	627,92	769,89	769,89	1260,08	1260,08	1790,64	1260,08
			BaP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			CO_2	6688,37	2218,08	2218,08	2218,08	2218,08	0,00	0,00	0,00	0,00	4330,53	4330,53	4330,53	4330,53
			CO_2^*	6739,82	3425,23	3425,23	2218,08	2218,08	0,00	0,00	0,00	0,00	4330,53	4330,53	4330,53	4330,53

* wynika ze strat przetłaczania na dalekie odległości

5.6 Algorytm obliczeń analizy ekonomicznej opłacalności eliminacji pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła użytkowego na nowoczesne niskoemisyjne urządzenia grzewcze.

Ocena opłacalności wymiany pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła użytkowego małej mocy z węgla na nowoczesne niskoemisyjne urządzenia grzewcze zasilane paliwami gazowymi i paliwami stałymi opiera się na zasadach rachunku dyskonta [316].

Jednym ze wskaźników oceniających efekt ekonomiczny przedsięwzięcia modernizacyjnego jest przyrost zdyskontowanego zysku netto ΔNPV który jest wyznaczany ze wzoru [317]:

$$\Delta NPV = \sum_{t=1}^{N} \frac{\Delta CF_t^*}{(1+r)^t} - \Delta I_0 \qquad (17)$$

gdzie,

ΔCF_t^* – różnica przepływów pieniężnych, $[zł/rok]$; $\Delta CF^* = CF_2^* - CF_1^*$; indeks 1 dotyczy przepływów pieniężnych dla przestarzałego kotła opalanego węglem, natomiast indeks 2 dotyczy przepływów pieniężnych dla analizowanych nowoczesnych niskoemisyjnych urządzeń grzewczych.

CF^* – przepływy pieniężne, $[zł/rok]$; $CF^* = -K_e + L$;
K_e – poniesione koszty eksploatacyjne danego źródła ciepła użytkowego, $[zł/rok]$;
L – wartość likwidacyjna analizowanych źródeł ciepła użytkowego, $[zł/rok]$;

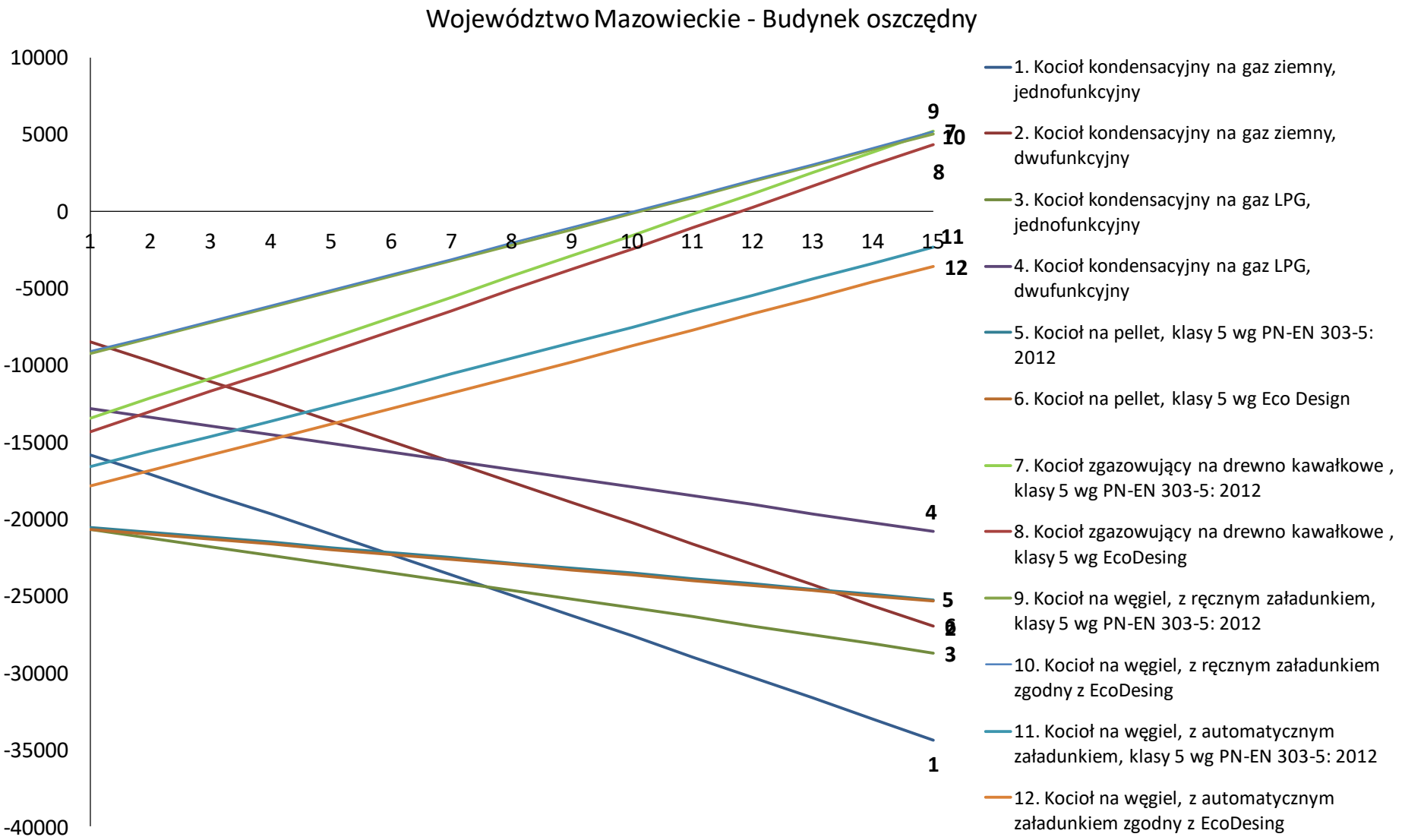
r – realna (tzn uwzględniająca inflację) stopa dyskonta, $[\%]$;
N – ilość lat eksploatacji, $[rok]$;
t – kolejny rok realizacji projektu, $[rok]$;
ΔI_0 – dodatkowy nakład inwestycyjny poniesiony na realizację modernizacji, $[zł]$;

Jako dane wejściowe do analizy posłużyły dane zawarte w następujących tablicach:

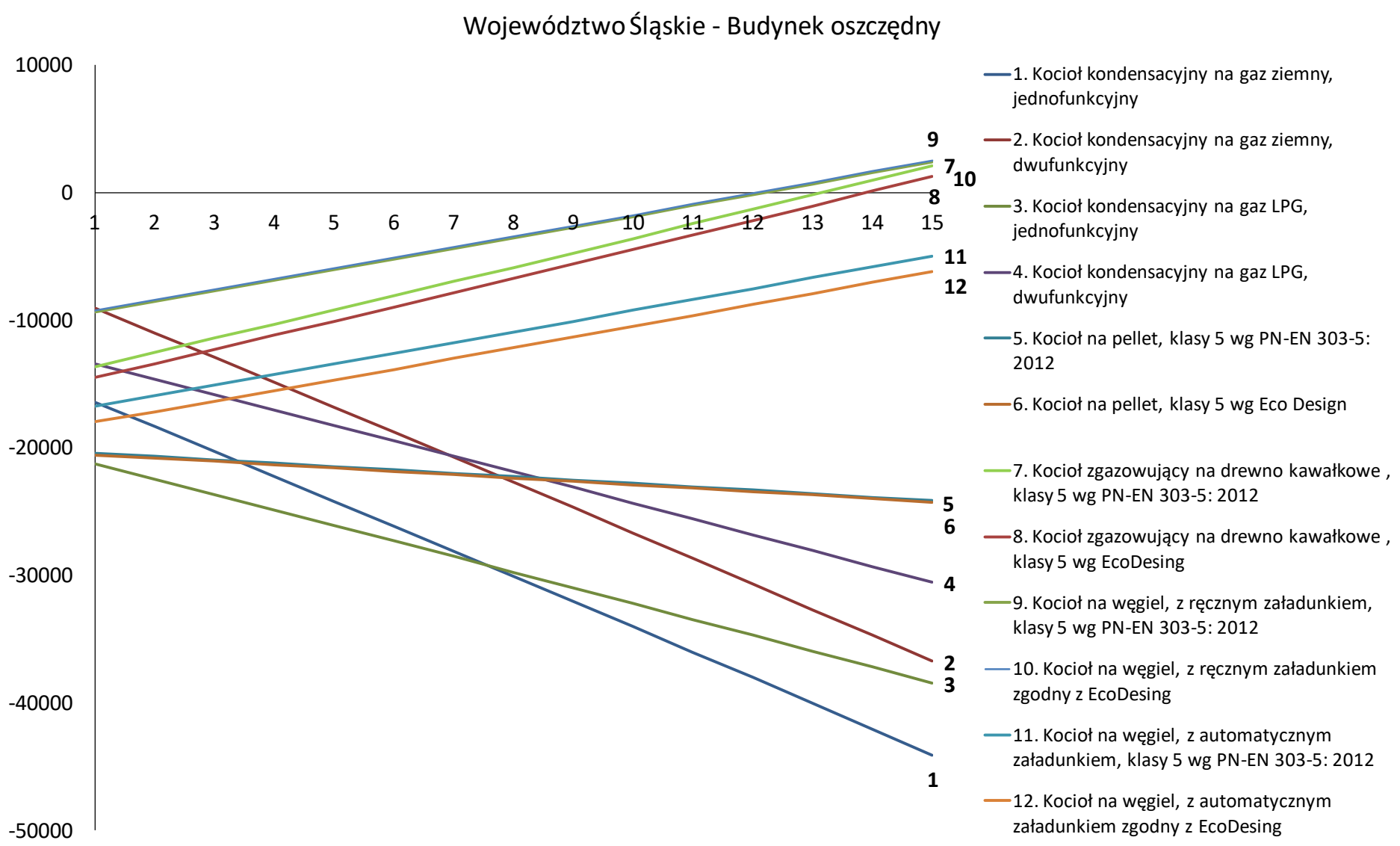
- Tablica 6 przedstawiająca dane dotyczące nakładów inwestycyjnych poszczególnych urządzeń grzewczych;
- Tablice 5.7 i 5.12 przedstawiające dane dotyczące kosztów eksploatacyjnych poszczególnych urządzeń grzewczych.

5.7 Ocena opłacalności wymiany pozaklasowego źródła wytwarzania ciepła użytkowego na nowoczesne niskoemisyjne urządzenia grzewcze dla analizowanych klas budynków bez oraz z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych.

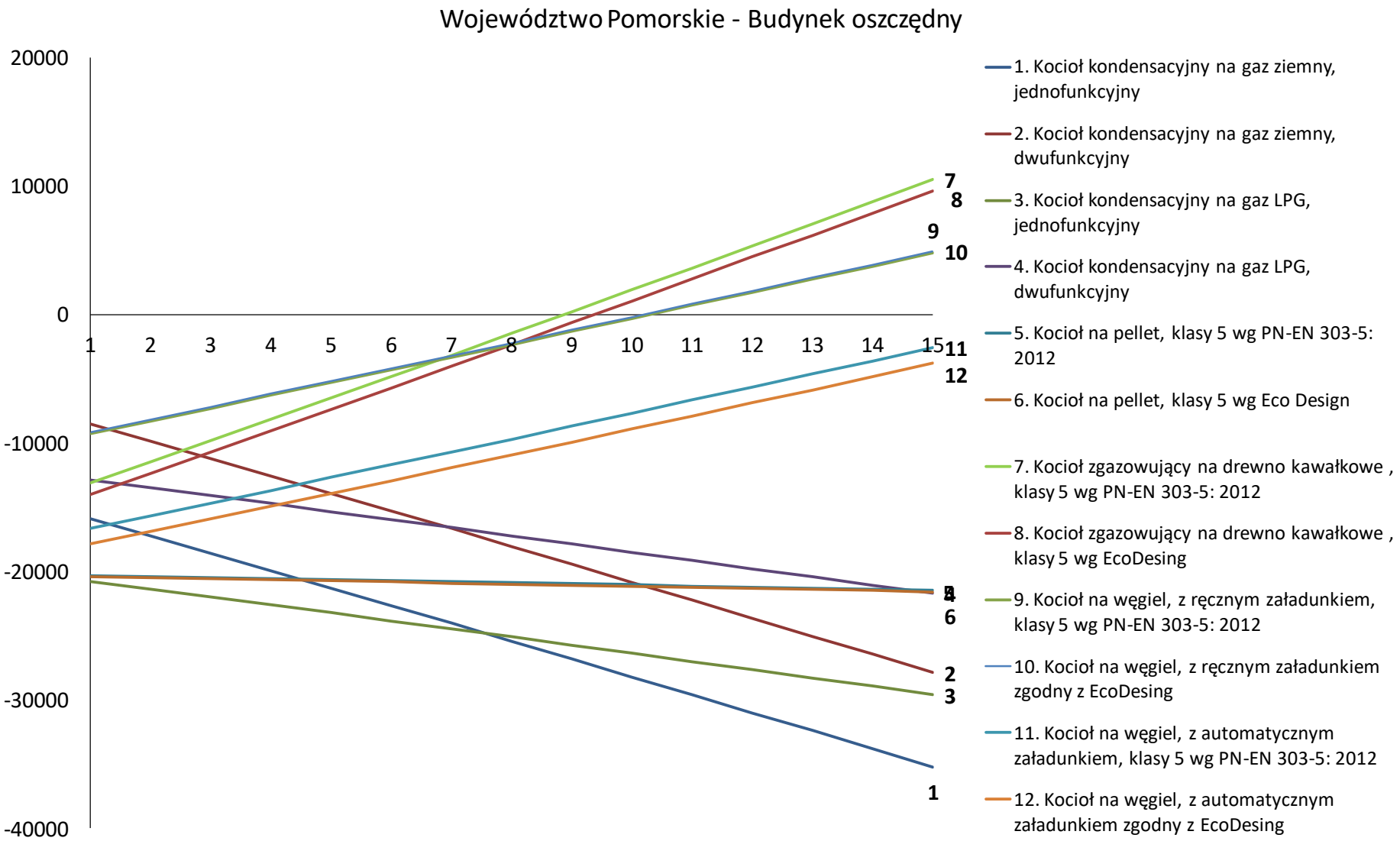
Rysunki 5.4÷5.30 przedstawiają interpretację graficzną przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla analizowanych klas budynków bez i z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych.



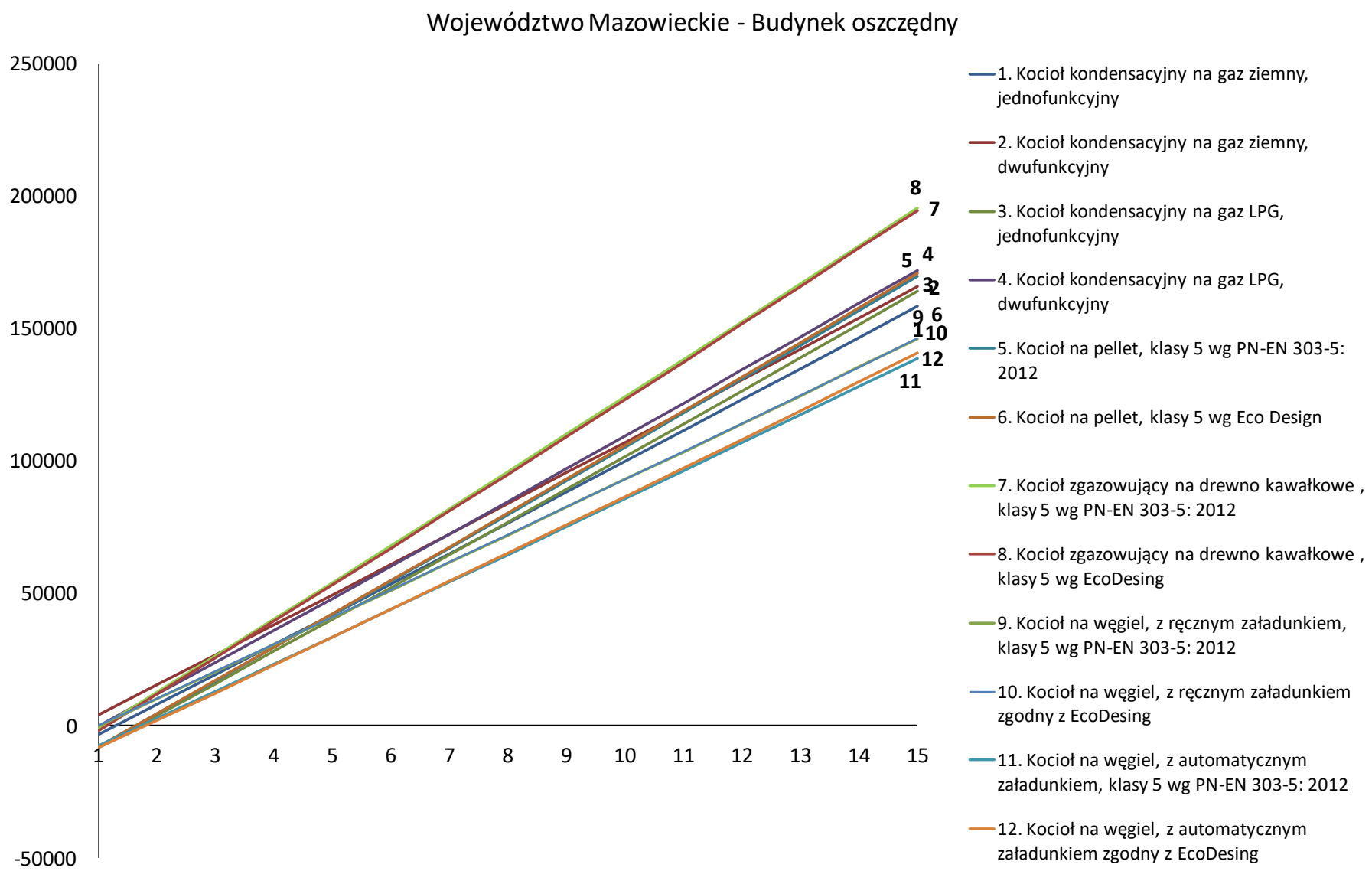
Rys. 5.4 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku B – Budynek energooszczędny –Województwo Mazowieckie bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych



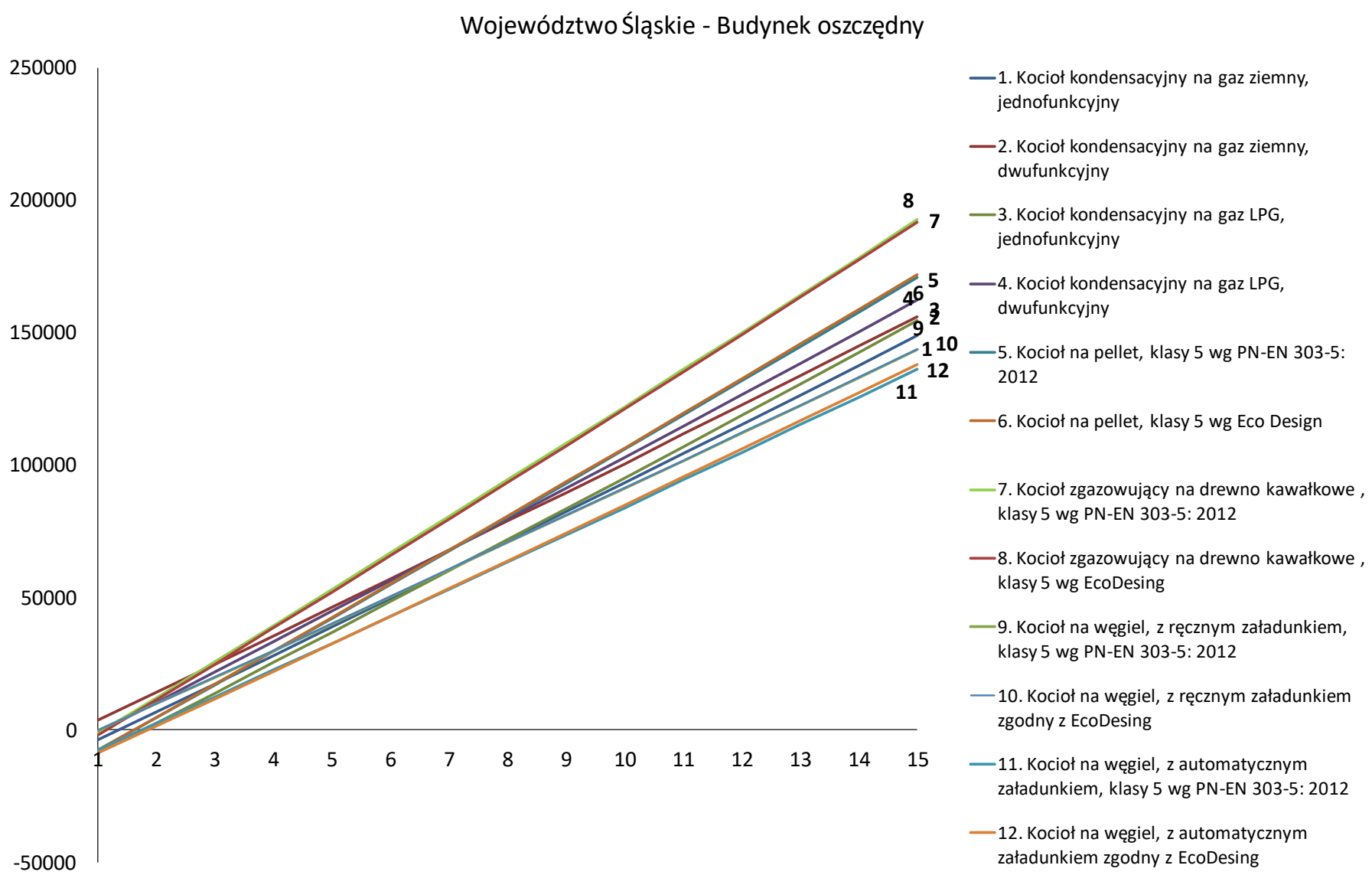
Rys. 5.5 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku B – Budynek energooszczędny –Województwo Śląskie bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych



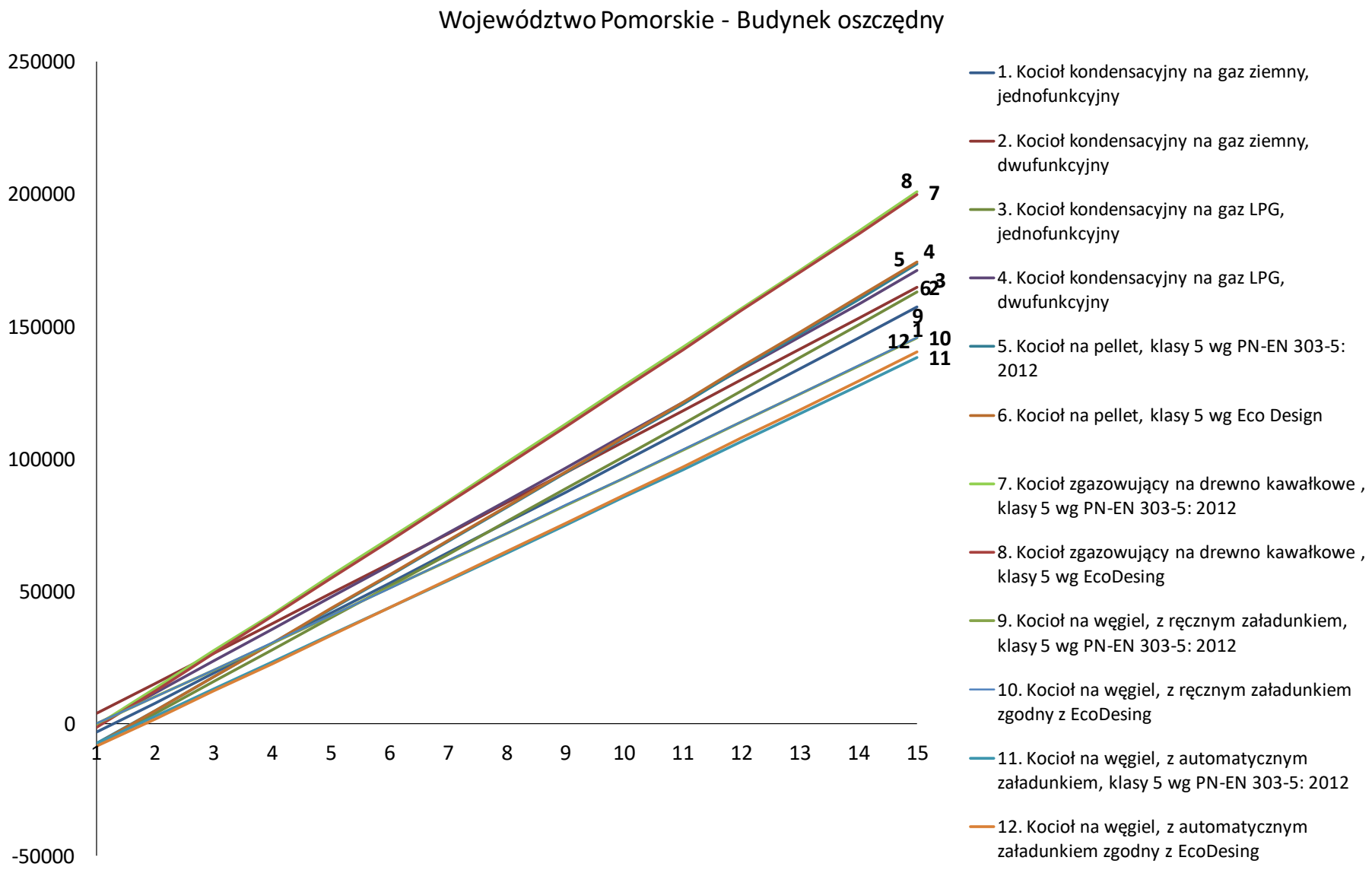
Rys. 5.6 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku B – Budynek energooszczędny –Województwo Pomorskie bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych



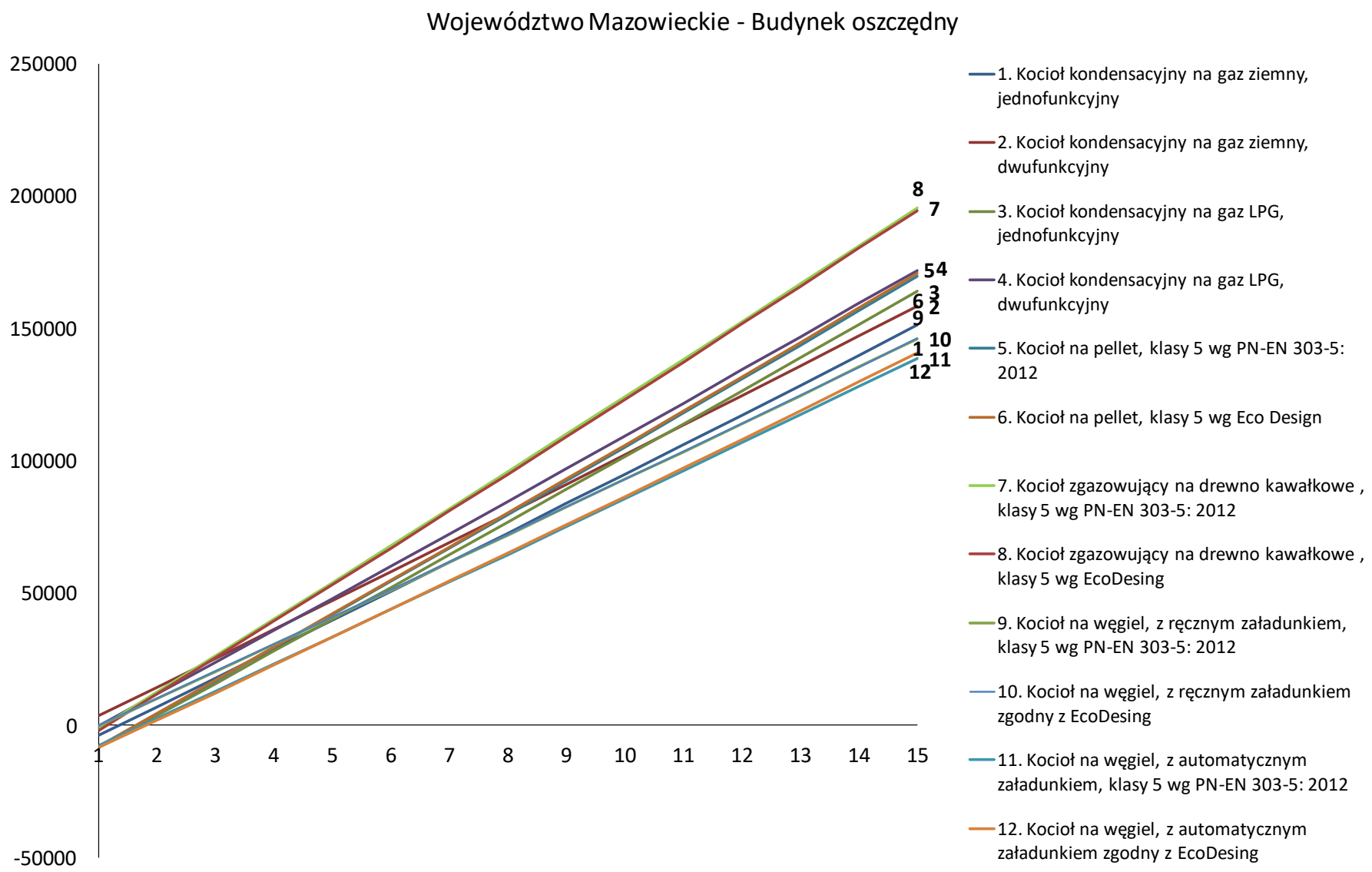
Rys. 5.7 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku B – Budynek energooszczędny –Województwo Mazowieckie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych



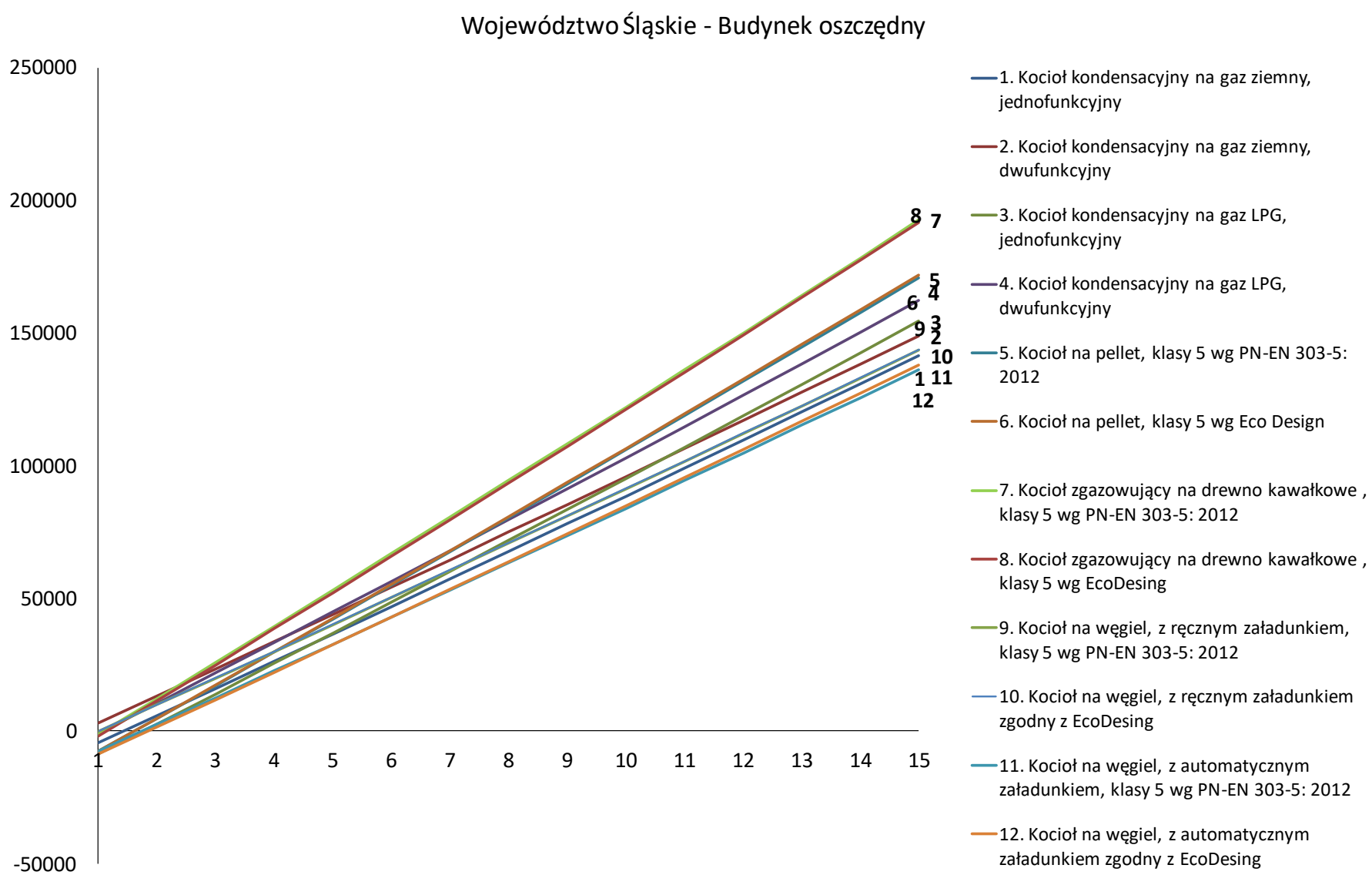
Rys. 5.8 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku B – Budynek energooszczędny –Województwo Śląskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych



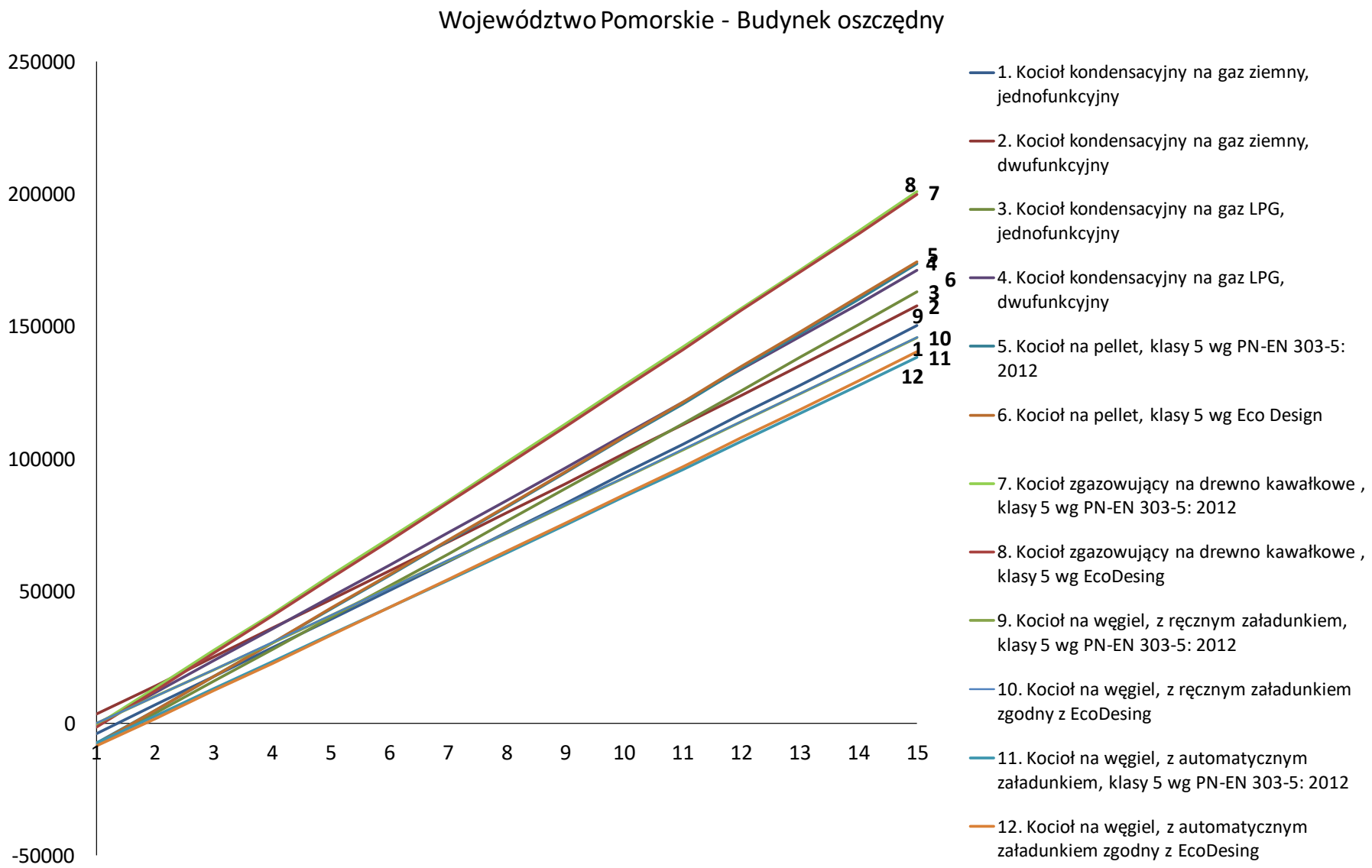
Rys. 5.9 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku B – Budynek energooszczędny –Województwo Pomorskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych



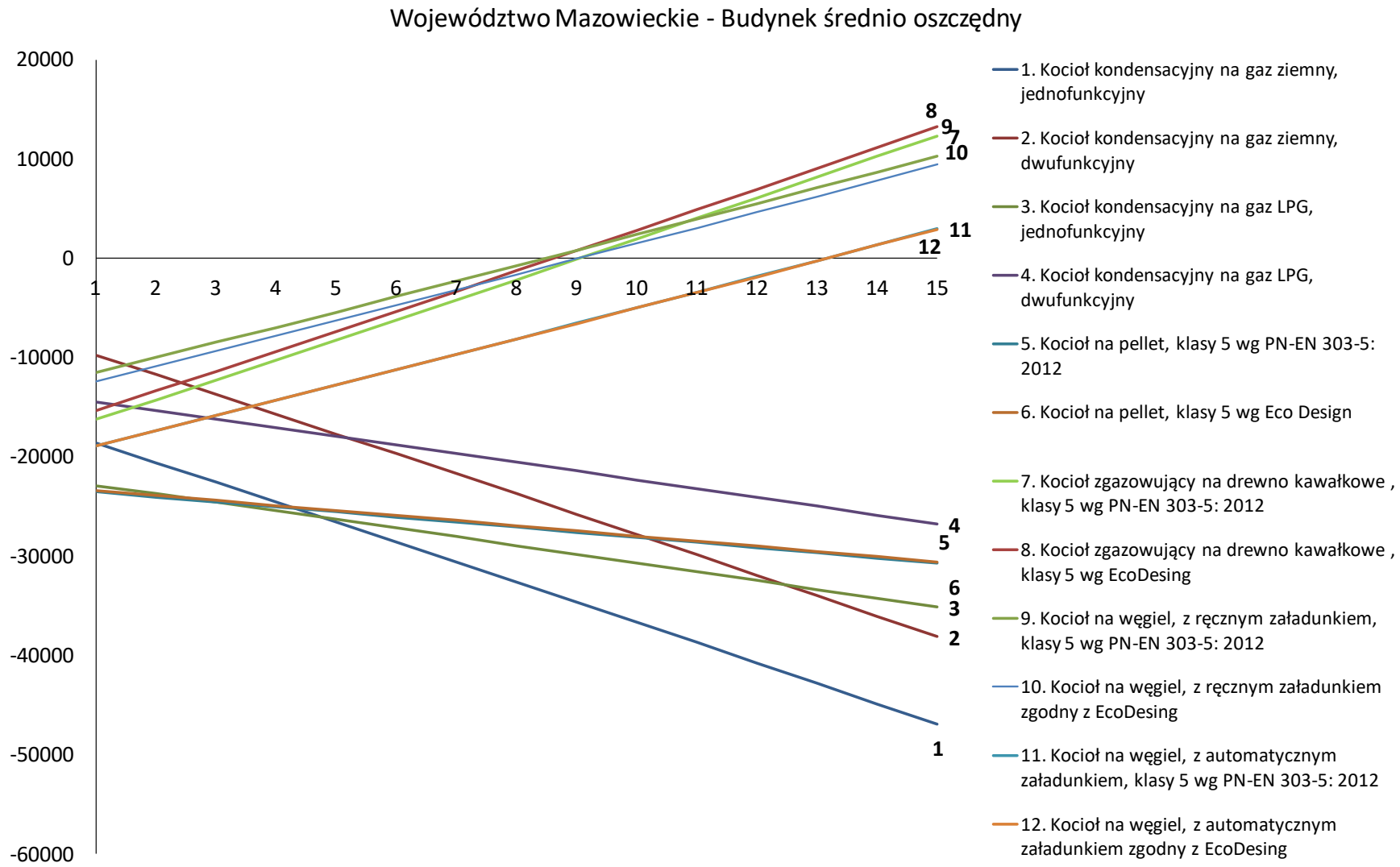
Rys. 5.10 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku B – Budynek energooszczędny –Województwo Mazowieckie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych (skumulowana emisja CO_2)



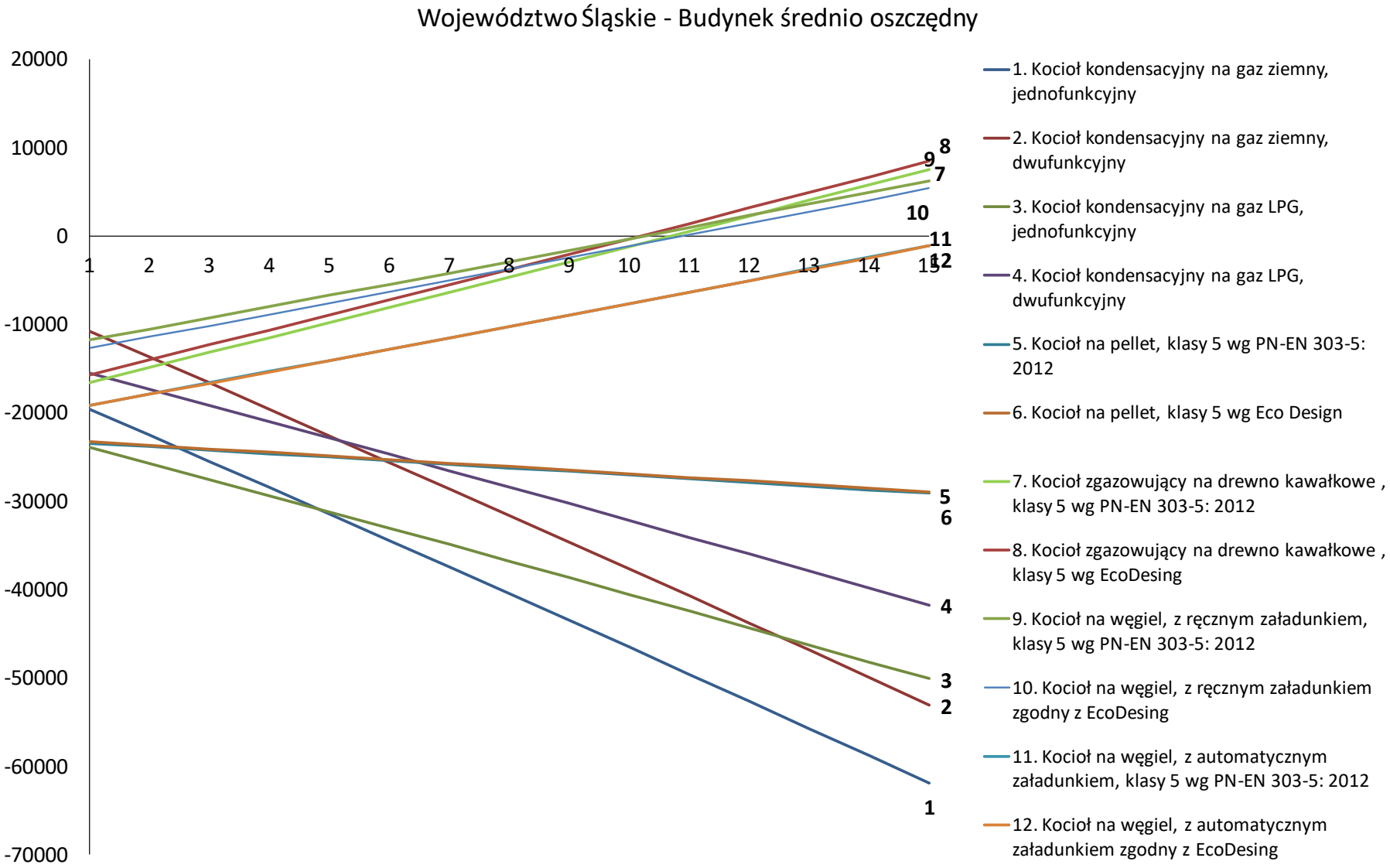
Rys. 5.11 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku B – Budynek energooszczędny –Województwo Śląskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych (skumulowana emisja CO_2)



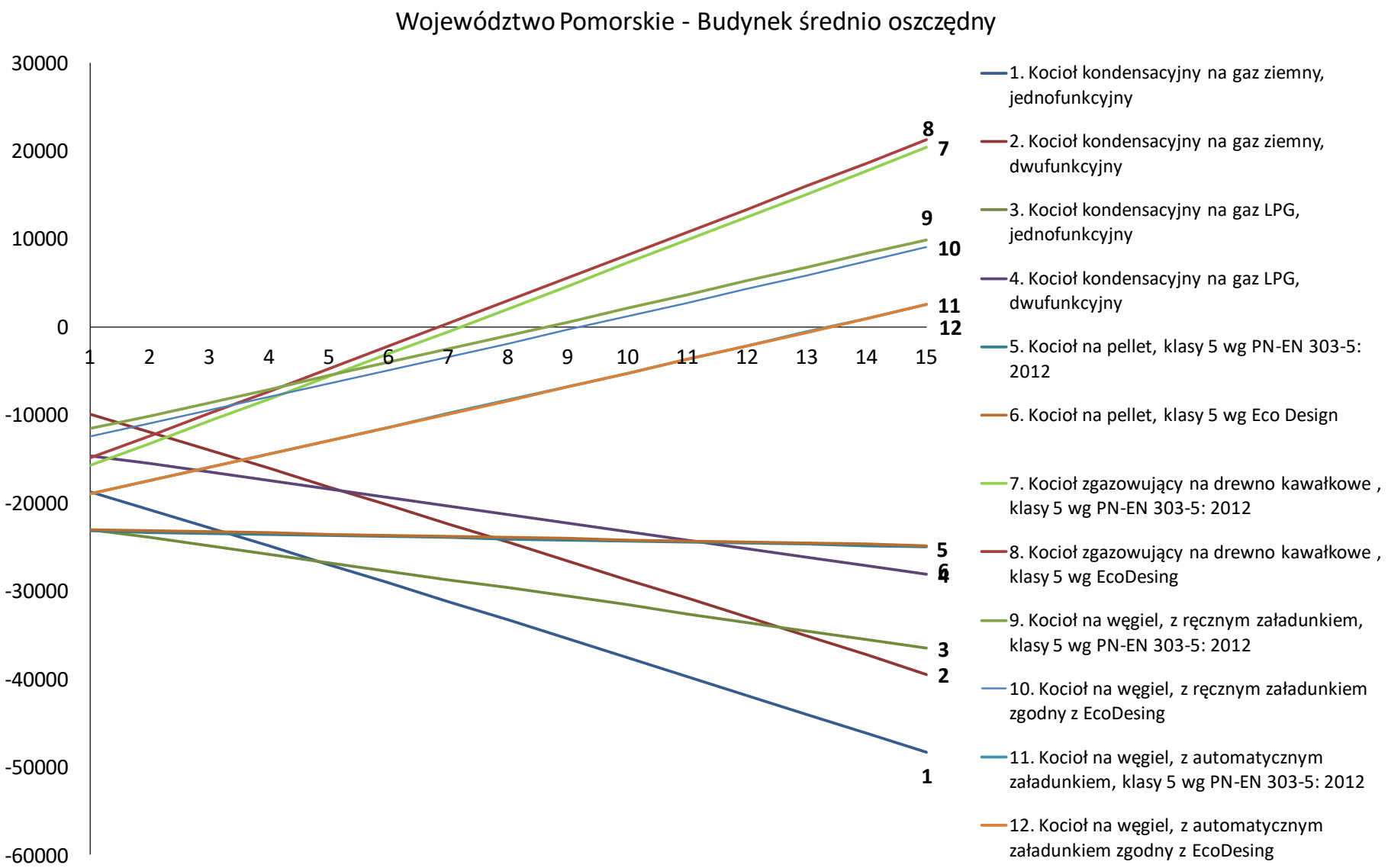
Rys. 5.12 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku B – Budynek energooszczędny –Województwo Pomorskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych (skumulowana emisja CO_2)



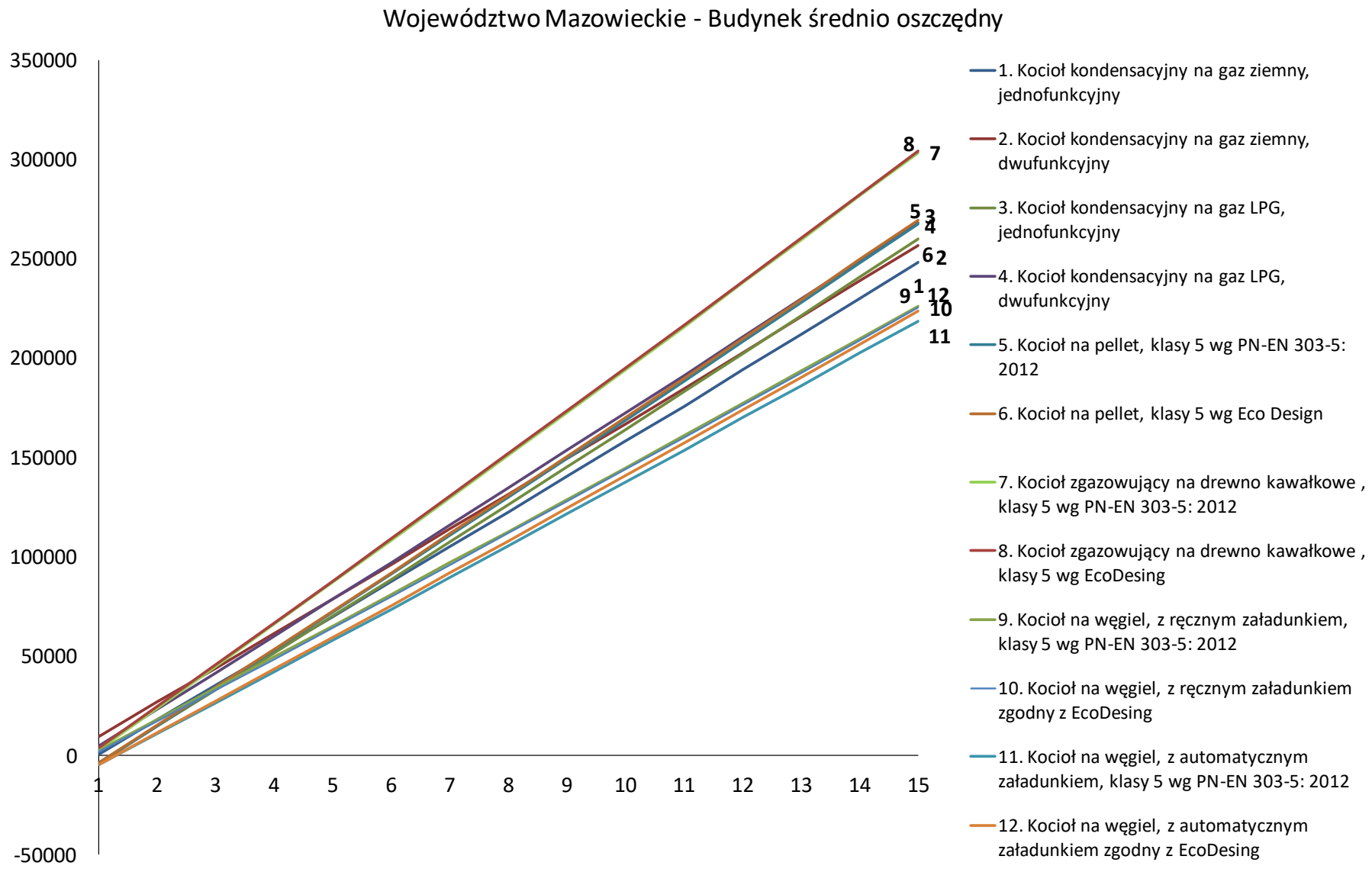
Rys. 5.13 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku D – Budynek energochłonny –Województwo Mazowieckie bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych



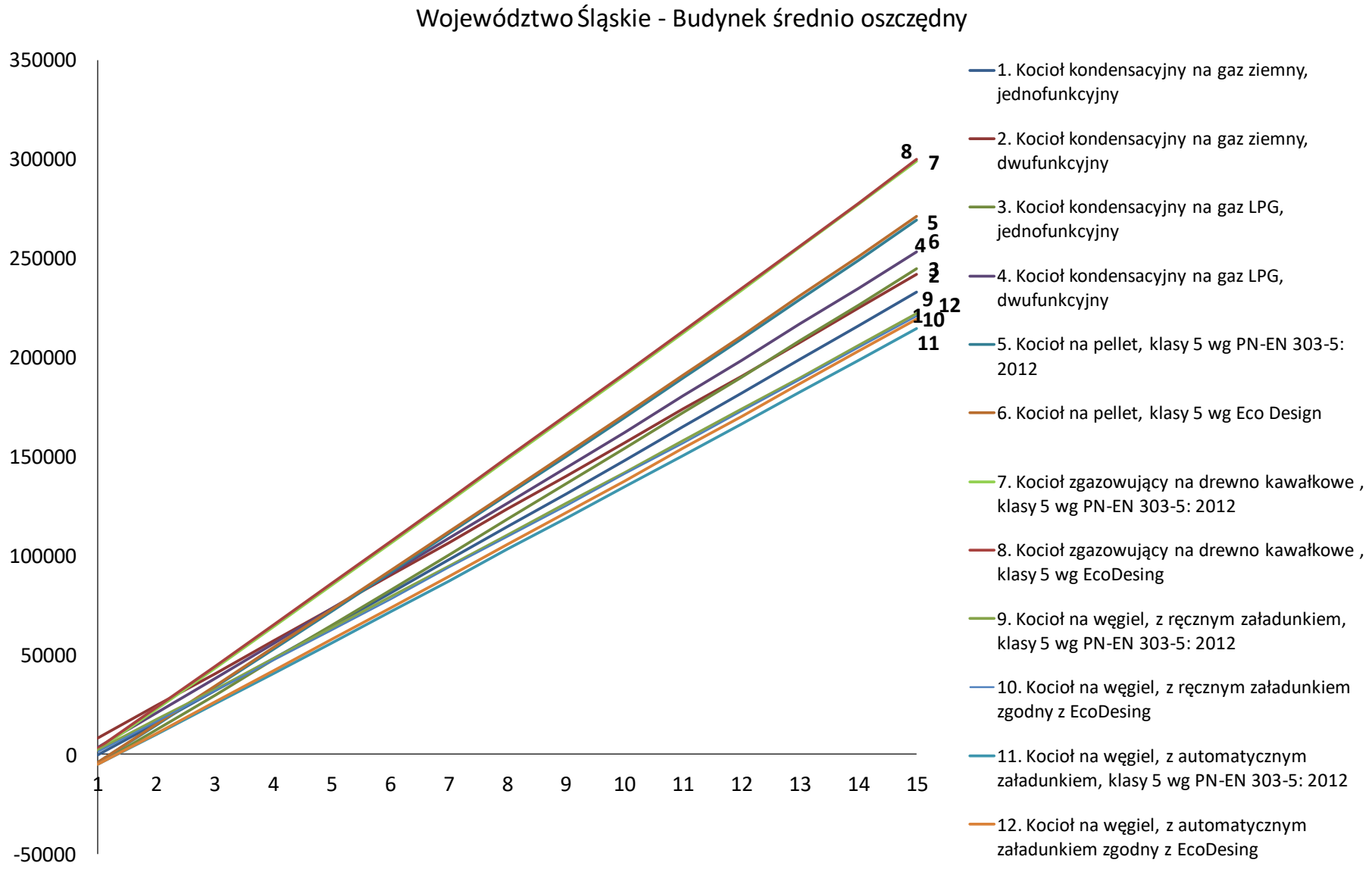
Rys. 5.14 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku D – Budynek energochłonny –Województwo Śląskie bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych



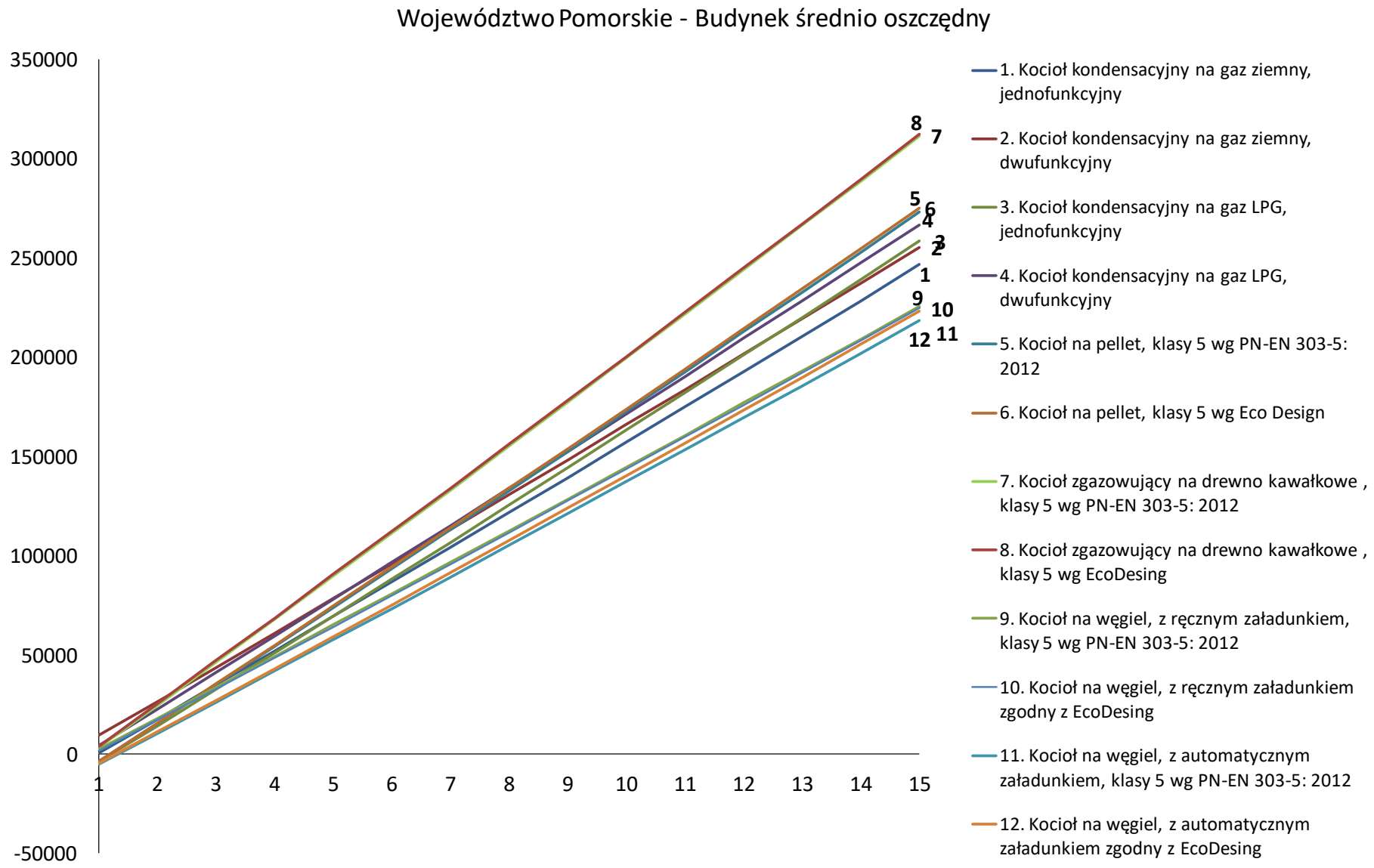
Rys. 5.15 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku D – Budynek energochłonny –Województwo Pomorskie bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych



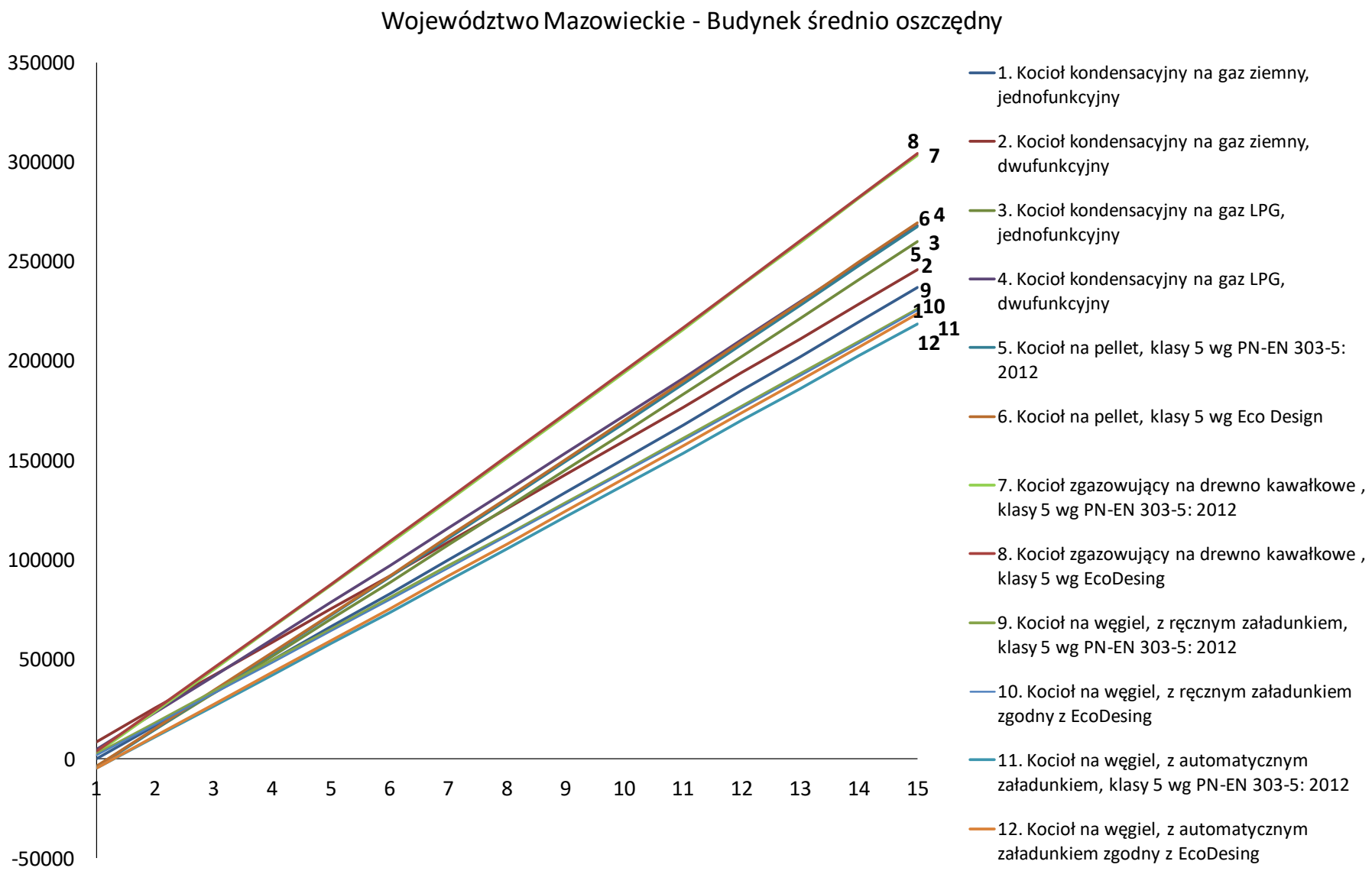
Rys. 5.16 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku D – Budynek energochłonny –Województwo Mazowieckie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych



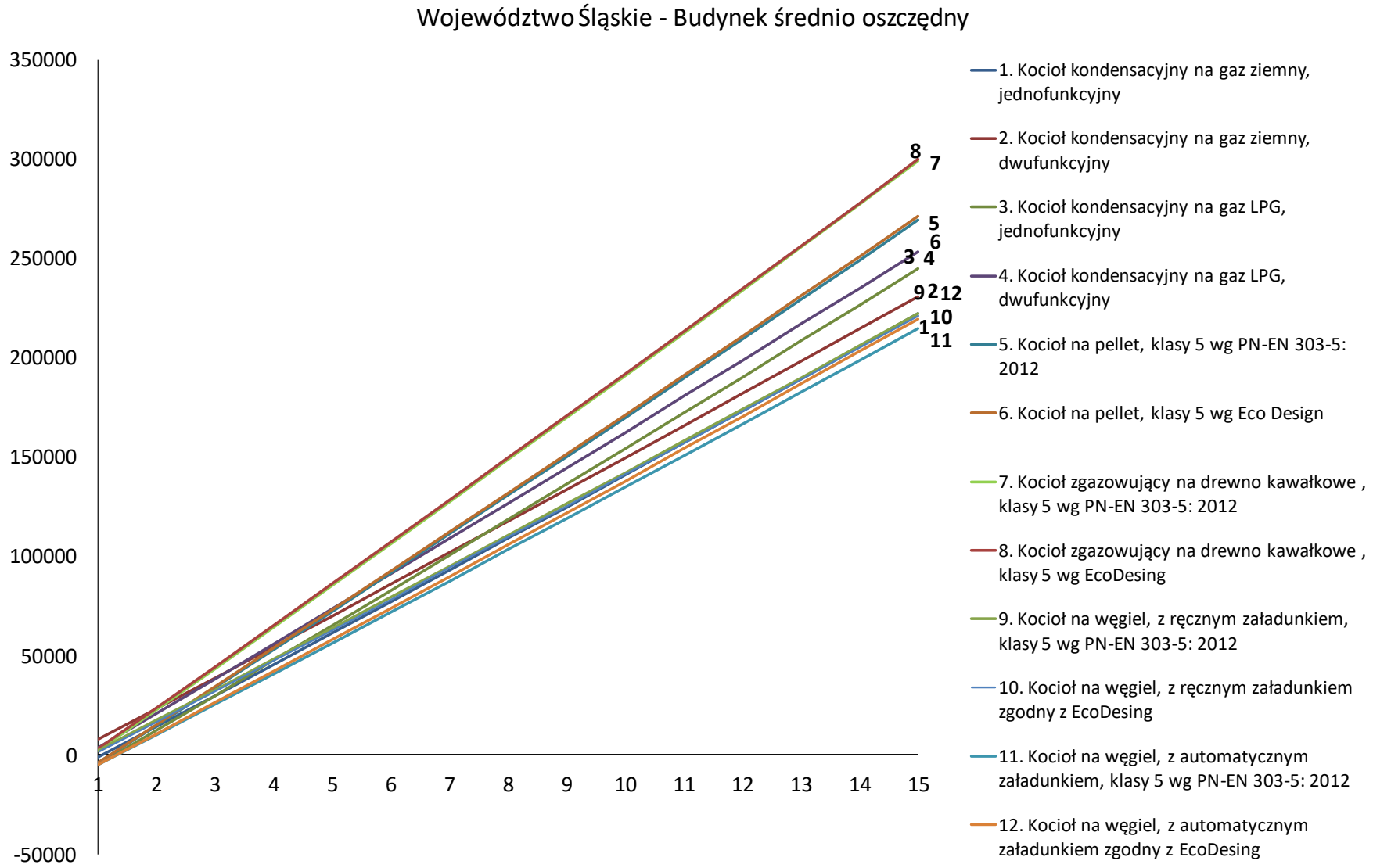
Rys. 5.17 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku D – Budynek energochłonny –Województwo Śląskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych



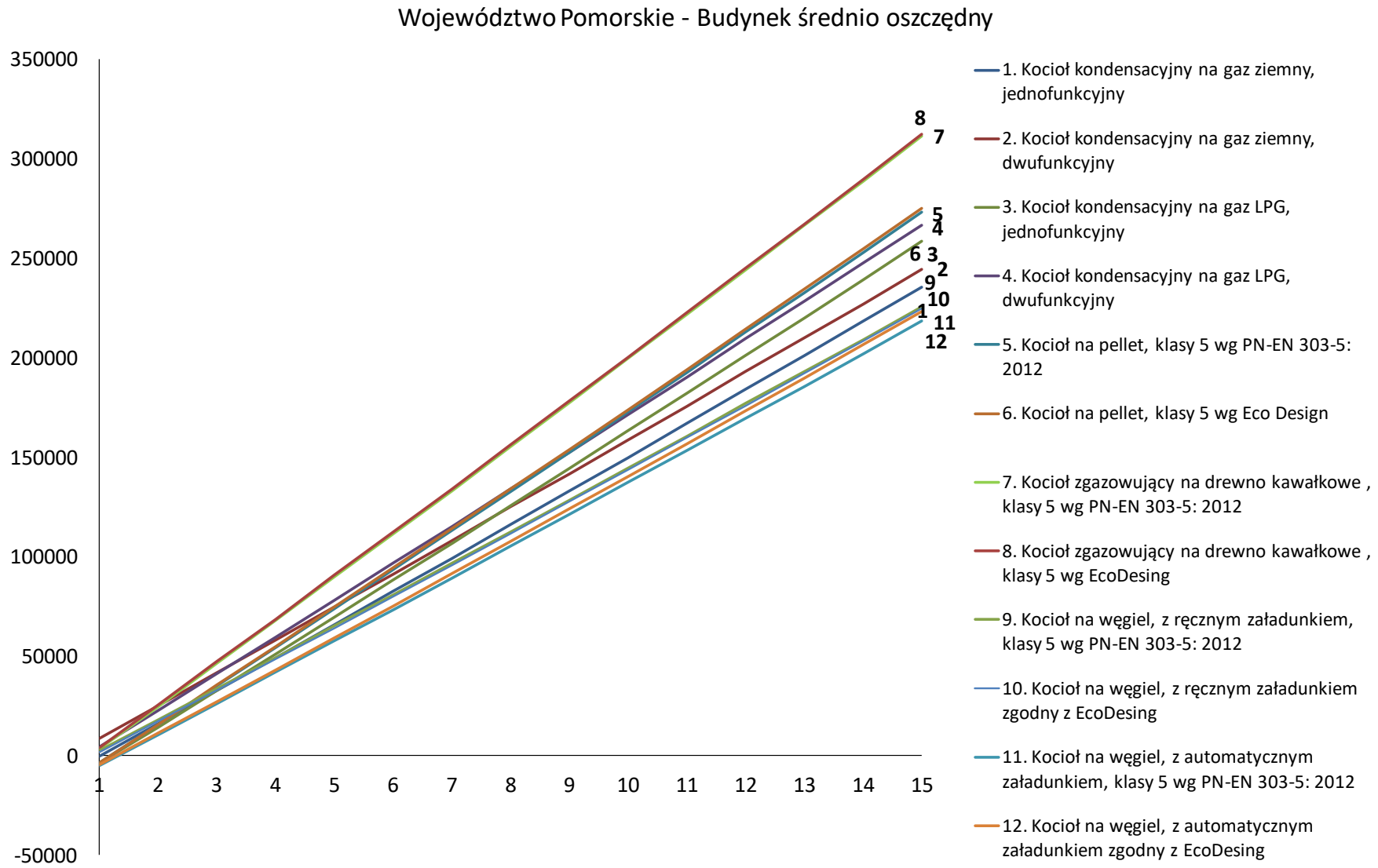
Rys. 5.18 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku D – Budynek energochłonny –Województwo Pomorskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych



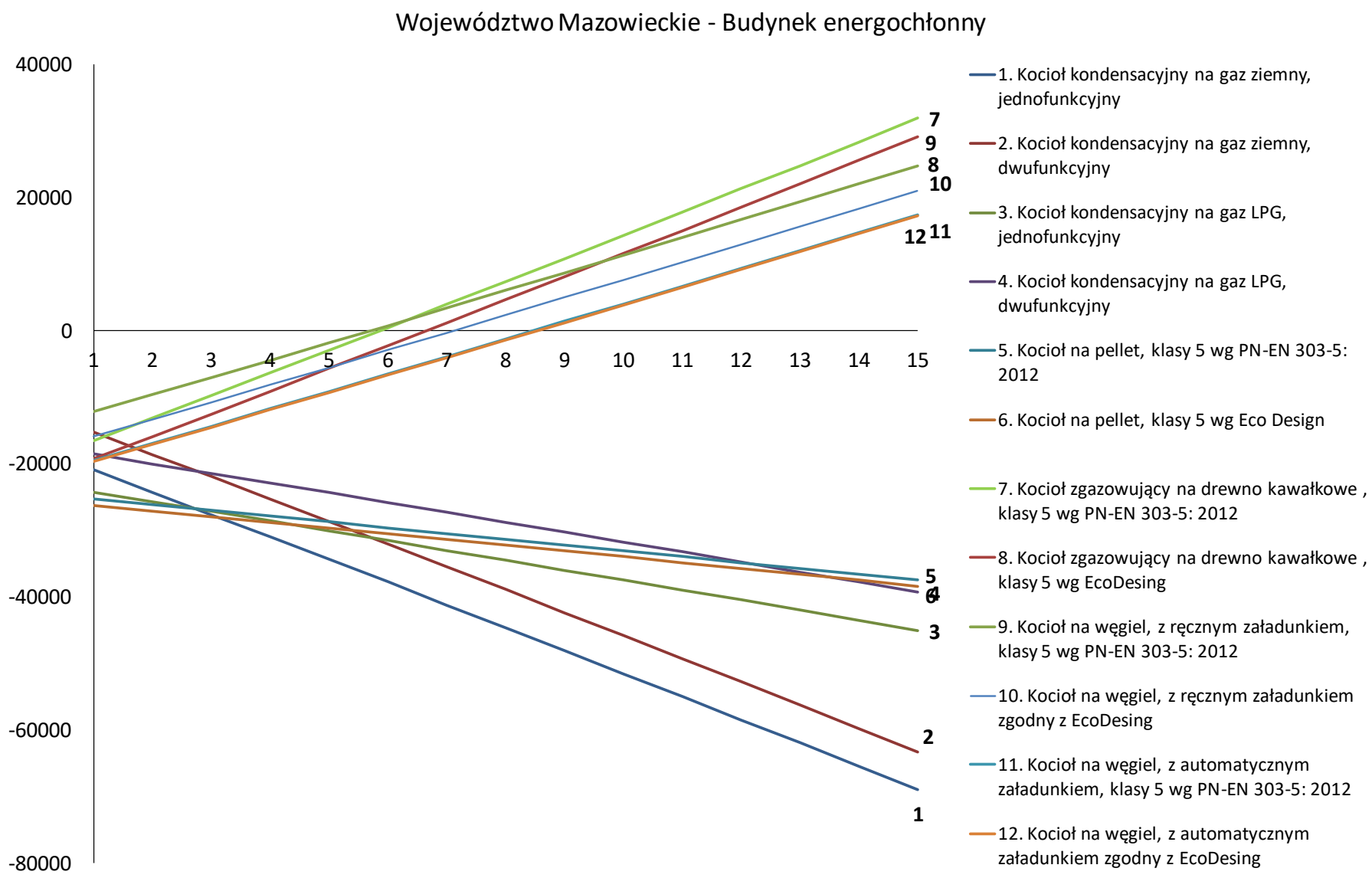
Rys. 5.19 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku D – Budynek energochłonny –Województwo Mazowieckie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych (skumulowana emisja CO_2)



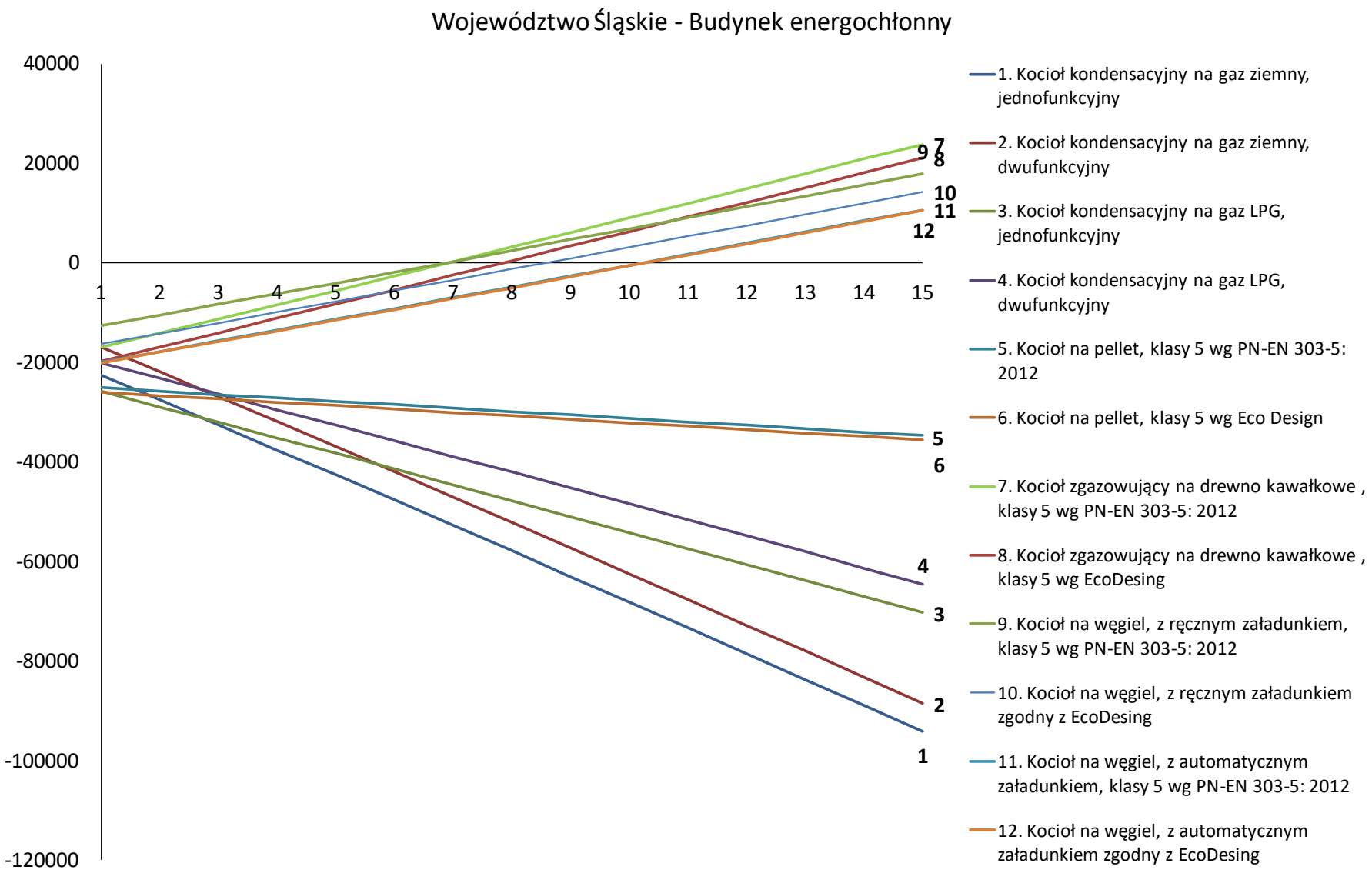
Rys. 5.20 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku D – Budynek energochłonny –Województwo Śląskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych (skumulowana emisja CO_2)



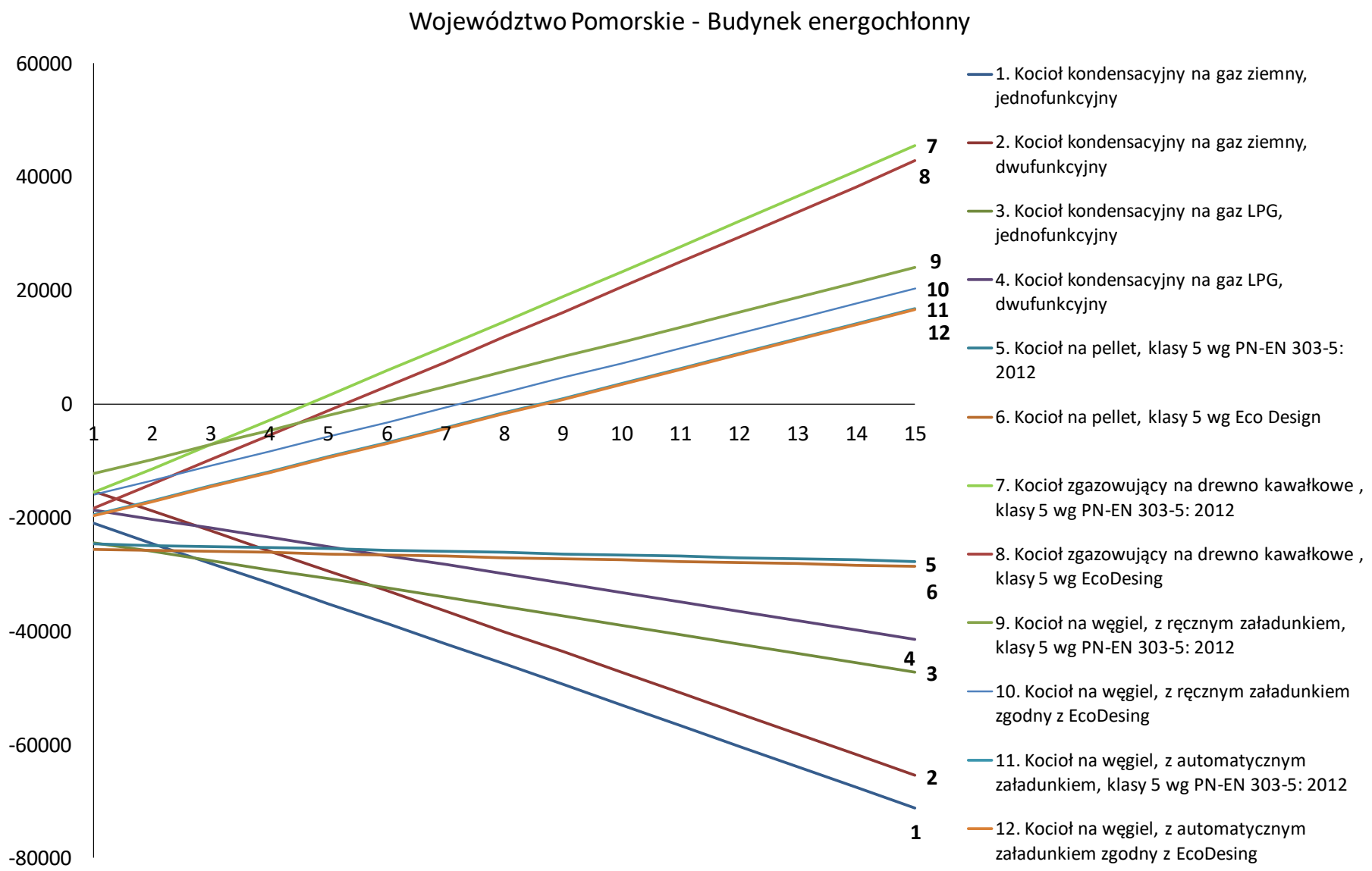
Rys. 5.21 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku D – Budynek energochłonny –Województwo Pomorskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych (skumulowana emisja CO_2)



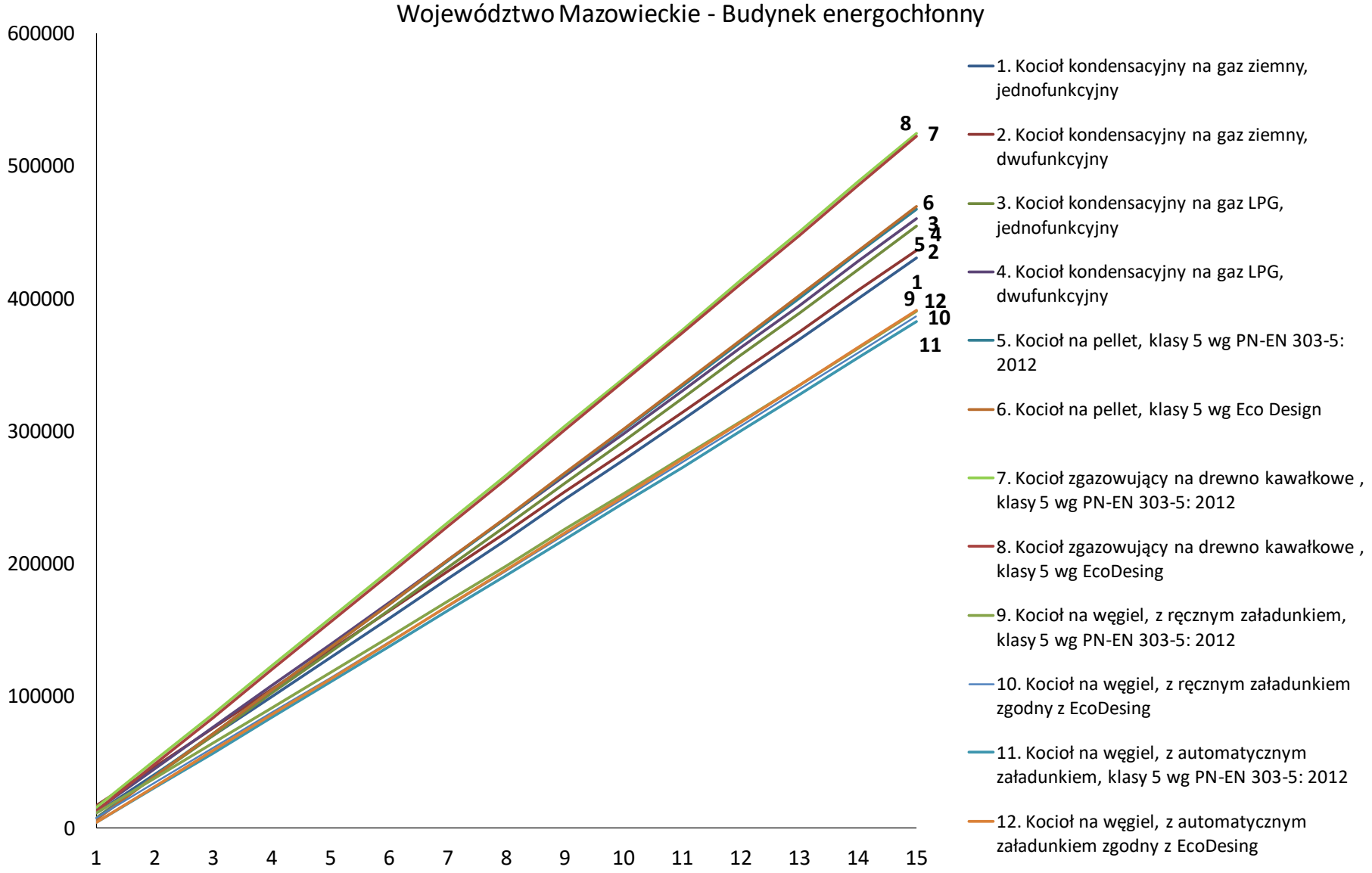
Rys. 5.22 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku F – Budynek wysoko energochłonny –Województwo Mazowieckie bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych



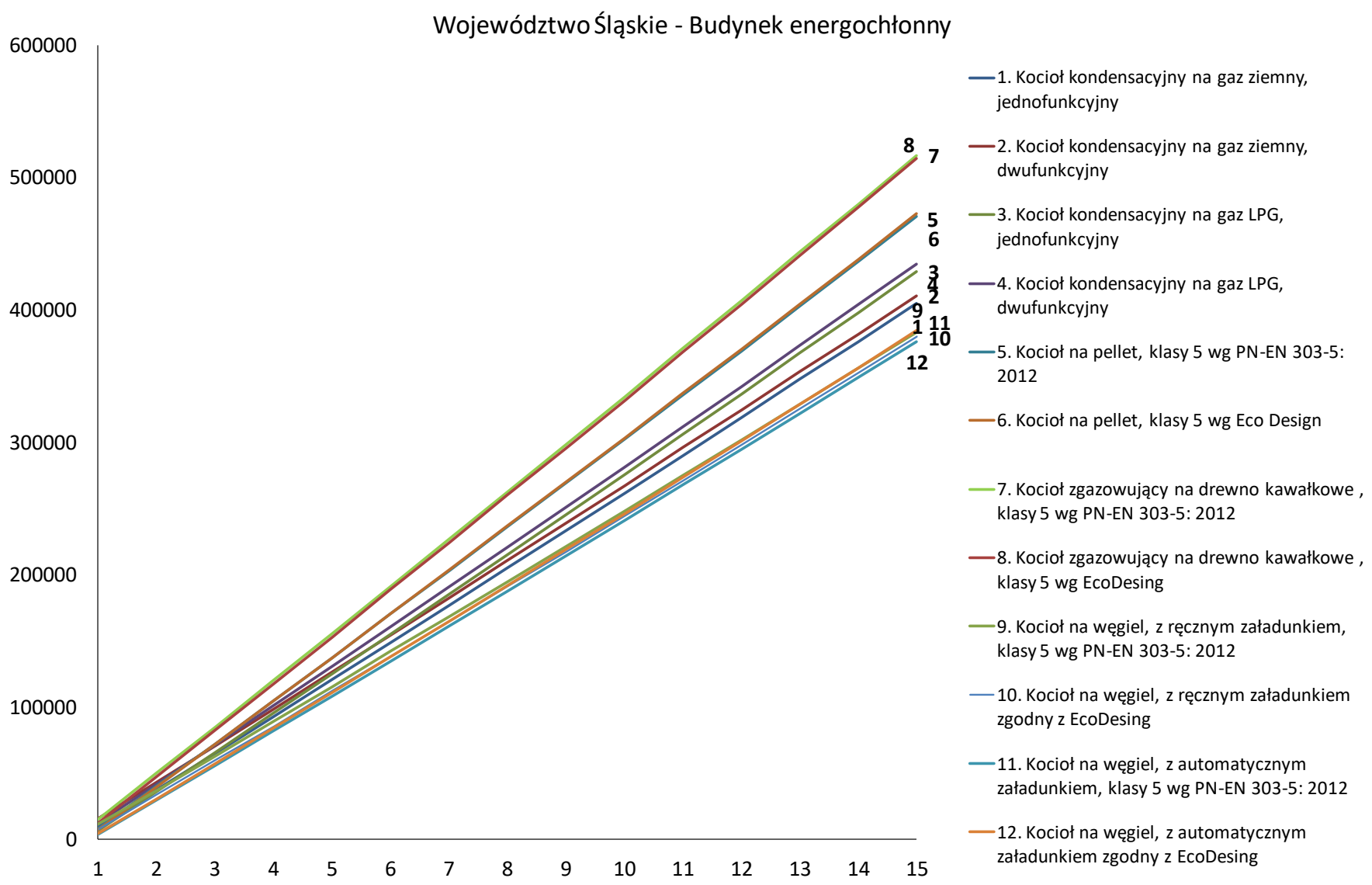
Rys. 5.23 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku F – Budynek wysoko energochłonny –Województwo Śląskie bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych



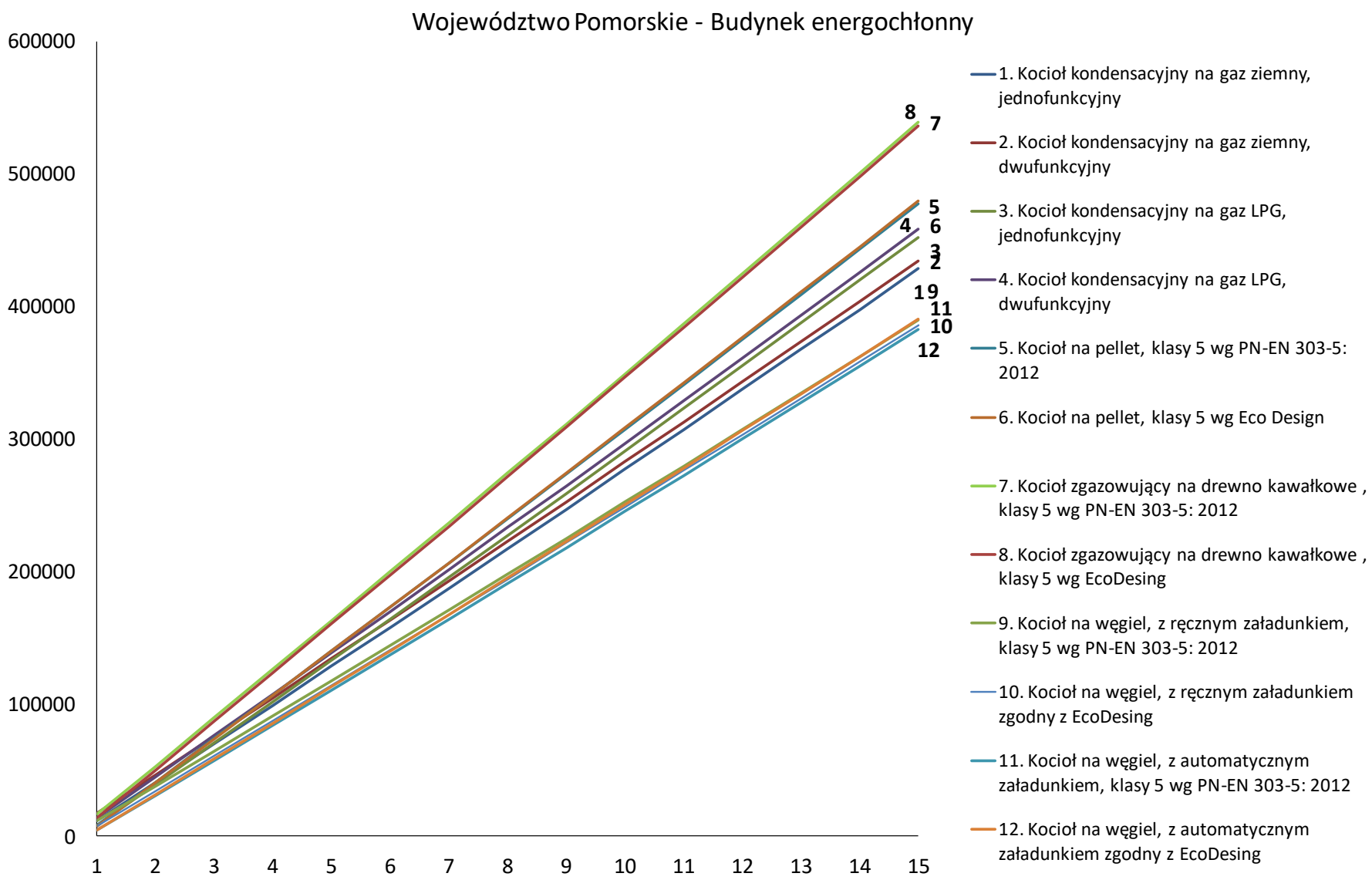
Rys. 5.24 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku F – Budynek wysoko energochłonny –Województwo Pomorskie bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych



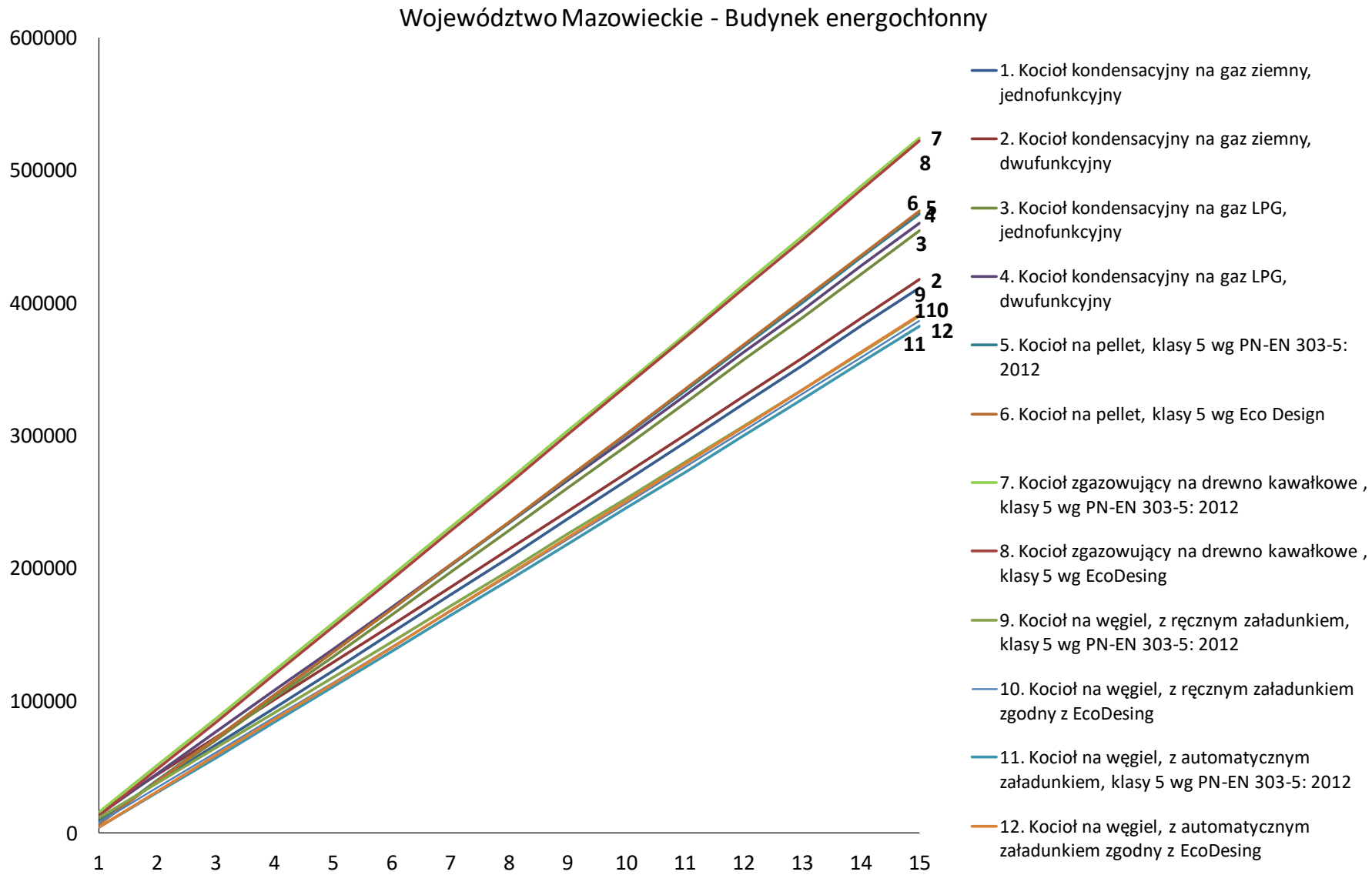
Rys. 5.25 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku F – Budynek wysoko energochłonny –Województwo Mazowieckie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych



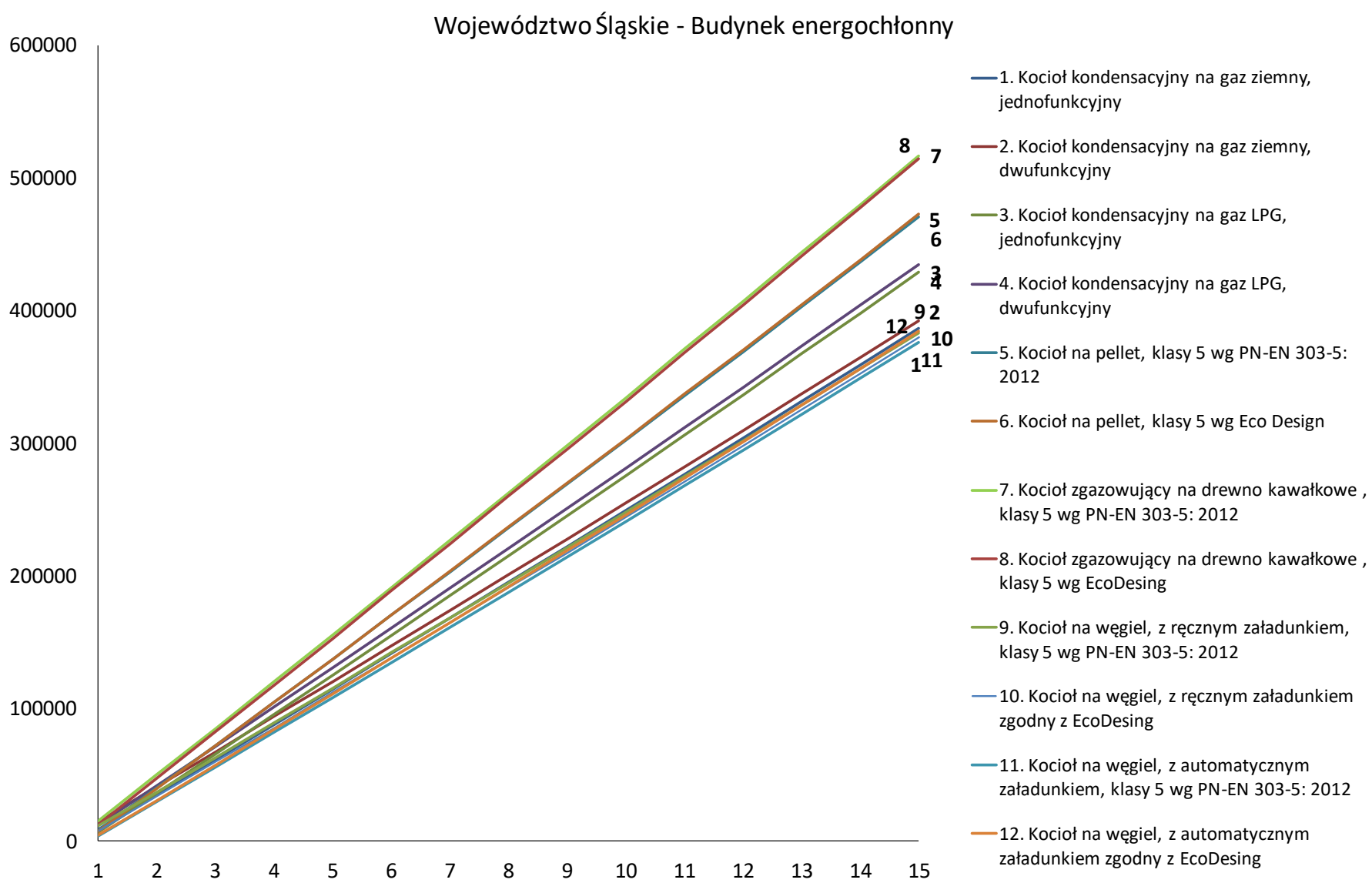
Rys. 5.26 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku F – Budynek wysoko energochłonny –Województwo Śląskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych



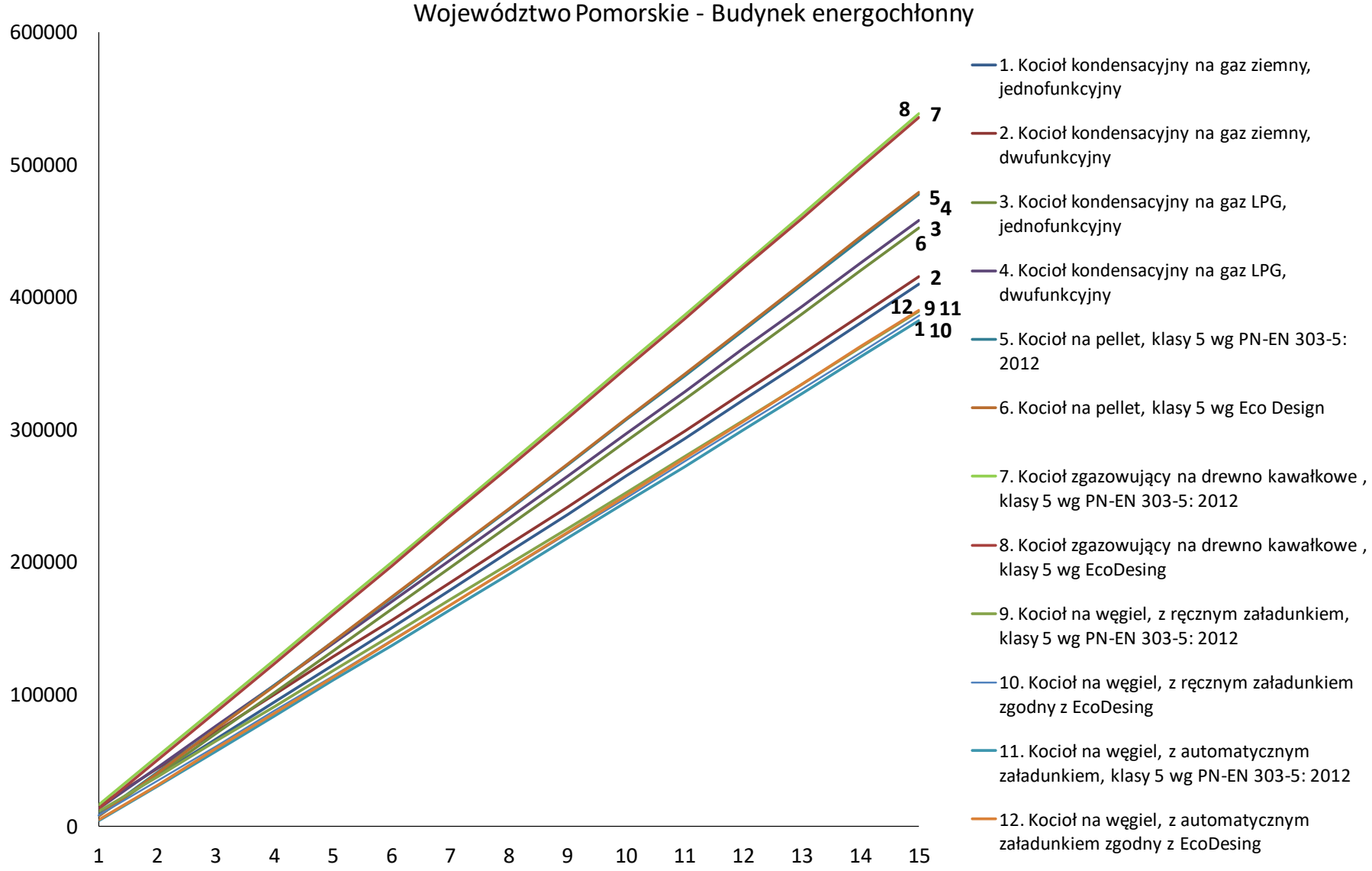
Rys. 5.27 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku F – Budynek wysoko energochłonny –Województwo Pomorskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych



Rys. 5.28 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku F – Budynek wysoko energochłonny –Województwo Mazowieckie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych (skumulowana emisja CO_2)



Rys. 5.29 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku F – Budynek wysoko energochłonny –Województwo Śląskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych (skumulowana emisja CO_2)



Rys. 5.30 Interpretacja graficzna przyrostu zdyskontowanego zysku netto ΔNPV dla klasy budynku F – Budynek wysoko energochłonny –Województwo Pomorskie z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych (skumulowana emisja CO_2)

Podsumowanie

Bez zewnętrznych:

Zdecydowanie korzystne są paliwa stałe, szczególności drewno. Dla budynku oszczędnego, typ B:

Czas zwrotu około 8-10 lat dla kotłów zgazowujących i węglowych z ręcznym załadunkiem (śląskie, mazowieckie i pomorskie).

Czas zwrotu około 12-14 lat dla kotłów węglowych z automatycznym załadunkiem (mazowieckie i pomorskie). Im niższe koszty węgla tym dłuższy czas zwrotu – brak opłacalności dla kotłów automatycznych na Śląsku.

Budynek typ F:

Im bardziej energochłonny budynek tym krótszy czas zwrotu.

Czas zwrotu około 4-6 lat dla kotłów zgazowujących i węglowych z ręcznym załadunkiem (śląskie, mazowieckie i pomorskie).

Czas zwrotu około 7-8 lat dla kotłów węglowych z automatycznym załadunkiem (śląskie, mazowieckie i pomorskie).

Każdorazowo brak opłacalności dla gazu i LPG oraz Pelletu, ze względu na koszt paliwa.

Z kosztami zewnętrznymi w tym stratami przesyłu

Zdecydowanie najkorzystniejsza jest biomasa drzewna (drewno kawałkowe i pellet)

Paliwa gazowe zrównują się z paliwami węglowymi zyskiem z tytułu emisji unikniętej, również w przypadku wariantu z uwzględnieniem strat przesyłu.

Im wyższe koszty węgla (mazowieckie i pomorskie) tym korzystniejszy wariant z paliwami gazowymi.

Literatura rozdziału:

[1] Kopańska A. i inni, *Plan Gospodarki Niskoemisyjnej dla Gminy Strzelce Opolskie*, Centrum Doradztwa Energetycznego Sp. z o.o, Strzelce Opolskie, 2015

[2] Strona internetowa: http://certyfikatenergetyczny.wroclaw.pl/certyfikat-energetyczny1/

[3] Strona internetowa: http://www.termo-systemy.pl/klasa-energetyczna-budynku

[4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.

[5] Bronk L. i inni, *Kalkulator energetyczny dla jednostek samorządu terytorialnego. Załącznik nr. 1,* Instytut Energetyki, Zakład Strategii i Rozwoju Systemu, Oddział Gdańsk, Gdańsk 2015

[6] Szkarowski A., Łatowski L., *Ciepłownictwo*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006

[7] Kamler W., *Ciepłownictwo,* Wydanie 2, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1979

[8] Nantka M., *Ogrzewnictwo i ciepłownictwo,* Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006

[9] Strzeszewski M., Wereszczyński P., *Nowa metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego. Poradnik.* Rettig Heating Sp. z.o.o., Warszawa 2009

[10] Norma PN-EN 12831

[11] Kostowski E. *Przepływ ciepła,* Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010

[12] Cengel Y. A., Heat Transfer: A Practical Approach 2nd Edition, Mcgraw-Hill, 2002,

[13] Strona internetowa Instytutu Meteorologii I Gospodarki Wodnej: http://www.imgw.pl/

[14] Strona internetowa Rocznika Statystycznego: http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/

[15] Wieprow J., *Ocena efektywności inwestycji rzeczowych za pomocą metody NPV.* Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu Nr6(38)/2013, Wrocław 2013.

[16] Skorek J., Kalina J., *Gazowe układy kogeneracyjne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005

[17] Kotowicz J., *Analiza efektywności wybranych układów z turbiną gazową*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003

[18] Strona internetowa: https://www.pgg.pl/sprzedaz-wegla/jak-i-gdzie-kupic-wegiel/przedstawiciele-handlowi-sklady/typPh/ autoryzowani-sprzedawcy#7

[19] Strona internetowa: https://www.olx.pl

[20] Strona internetowa: http://www.pgnig.pl

6 Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza ekonomiczna miała na celu ocenę opłacalności eliminacji pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła użytkowego małej mocy z węgla na nowoczesne niskoemisyjne urządzenia grzewcze zasilane paliwami gazowymi i paliwami stałymi.

W analizach uwzględniano zarówno koszty eksploatacyjne urządzeń wytwórczych jak również koszt eksploatacyjne powiększone o tzw. koszty zewnętrzne dla trzech typów budynków oraz w trzech analizowanych województwach.

Dla klasy budynku B – budynek energooszczędny, przeprowadzona analiza wykazała opłacalność wymiany analizowanych pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła z wyłączeniem źródeł opalanych peletem oraz gazem ziemnym i LPG. W przypadku analizy przeprowadzonej z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych – wszystkie typu nowoczesnych, niskoemisyjnych urządzeń grzewczych zwróciły się w ciągu analizowanego kosztu eksploatacji.

Dla klasy budynków D – budynek energochłonny, przeprowadzona analiza wykazała opłacalność wymiany analizowanych pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła z wyłączeniem źródeł opalanych peletem oraz gazem ziemnym i LPG. W przypadku analizy przeprowadzonej z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych – wszystkie typu nowoczesnych, niskoemisyjnych urządzeń grzewczych zwróciły się w ciągu analizowanego kosztu eksploatacji.

Dla klasy budynków F – budynek wysoko energochłonny, przeprowadzona analiza wykazała opłacalność wymiany analizowanych pozaklasowych źródeł wytwarzania ciepła z wyłączeniem źródeł opalanych peletem oraz gazem ziemnym i LPG. W przypadku analizy przeprowadzonej z uwzględnieniem kosztów zewnętrznych – wszystkie typu nowoczesnych, niskoemisyjnych urządzeń grzewczych zwróciły się w ciągu analizowanego kosztu eksploatacji.

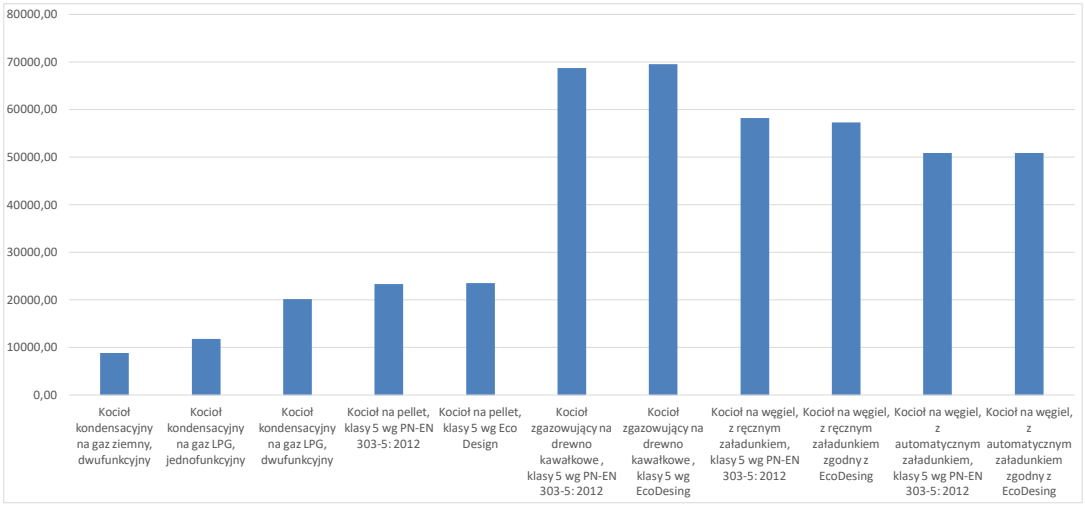
Analizując uzyskane wyniki nie uwzględniając kosztów środowiskowych, można zauważyć, że kotły opalane pelletem jak również gazem LPG i gazem ziemnym charakteryzują się ujemnym wskaźnikiem ΔNPV niezależnie od analizowanej klasy budynku i województwa. W przypadku uwzględnienia kosztów zewnętrznych, wszystkie analizowane niskoemisyjne źródła wytwarzania ciepła charakteryzują się dodatnim wskaźnikiem ΔNPV.

W tablicy 6.1. przedstawiono zestawienie korzystnych i niekorzystnych opcji technicznych dla analizowanych przypadków.

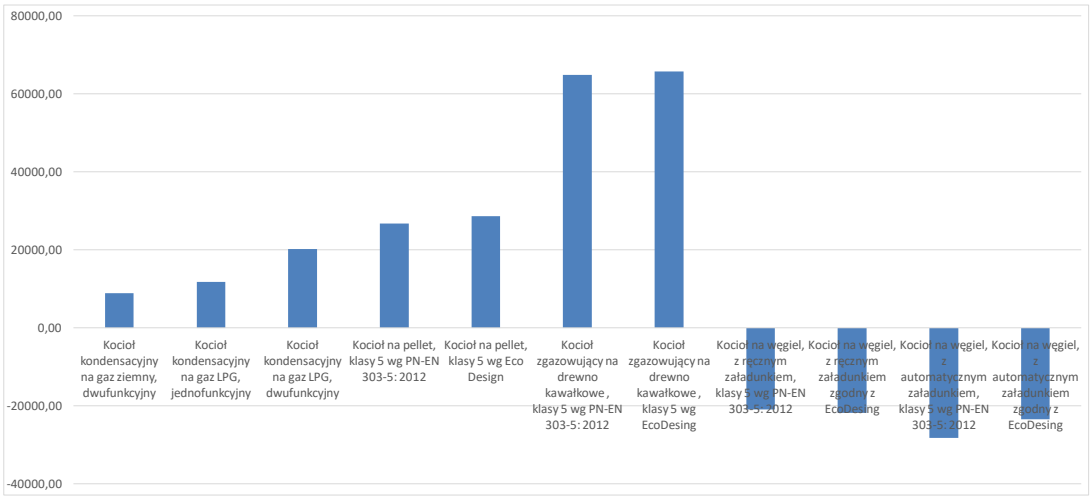
Tabela 6.1. Ocena analizowanych przypadków – wybór korzystnych opcji technicznych

		Budynek								
		KLASA B								
		Bez kosztów zewnętr								
		Mazowieckie	Śląskie							
Wariant najlepszy		Węgiel ręczny załadunek, drewno kocioł zgazowywujący	Węgiel ręczny załadunek, drewno kocioł zgazowywujący	zgazowywujący	zgazowywujący	zgazowywujący	zgazowywujący	zgazowywujący	zgazowywujący	zgazowywujący
Wariant najgoszy		Gaz ziemny kocioł kondensacyjny jednofunkcyjny	Gaz ziemny kocioł kondensacyjny jednofunkcyjny	Gaz ziemny kocioł kondensacyjny jednofunkcyjny	Węgiel, kocioł z podajnikiem automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym
		KLASA D								
		Bez kosztów zewnętrznych			Koszty zewnętrzne			Koszty zewnętrzne (CO_2^*)		
		Mazowieckie	Śląskie	Pomorskie	Mazowieckie	Śląskie	Pomorskie	Mazowieckie	Śląskie	Pomorskie
Wariant najlepszy		Węgiel ręczny załadunek, Drewno kocioł zgazowywujący	Węgiel ręczny załadunek, Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący
Wariant najgoszy		Gaz ziemny kocioł kondensacyjny jednofunkcyjny	Gaz ziemny kocioł kondensacyjny jednofunkcyjny	Gaz ziemny kocioł kondensacyjny jednofunkcyjny	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym
		KLASA F								
		Bez kosztów zewnętrznych			Koszty zewnętrzne			Koszty zewnętrzne (CO_2^*)		
		Mazowieckie	Śląskie	Pomorskie	Mazowieckie	Śląskie	Pomorskie	Mazowieckie	Śląskie	Pomorskie
Wariant najlepszy		Drewno, kocioł zgazowywujący,	Drewno, kocioł zgazowywujący,	Drewno, kocioł zgazowywujący,	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący	Drewno kocioł zgazowywujący
Wariant najgoszy		Gaz ziemny kocioł kondensacyjny jednofunkcyjny i dwufunkcyjny	Gaz ziemny kocioł kondensacyjny jednofunkcyjny i dwufunkcyjny	Gaz ziemny kocioł kondensacyjny jednofunkcyjny i dwufunkcyjny	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym	Węgiel, kocioł z podajnikiem ręcznym i automatycznym

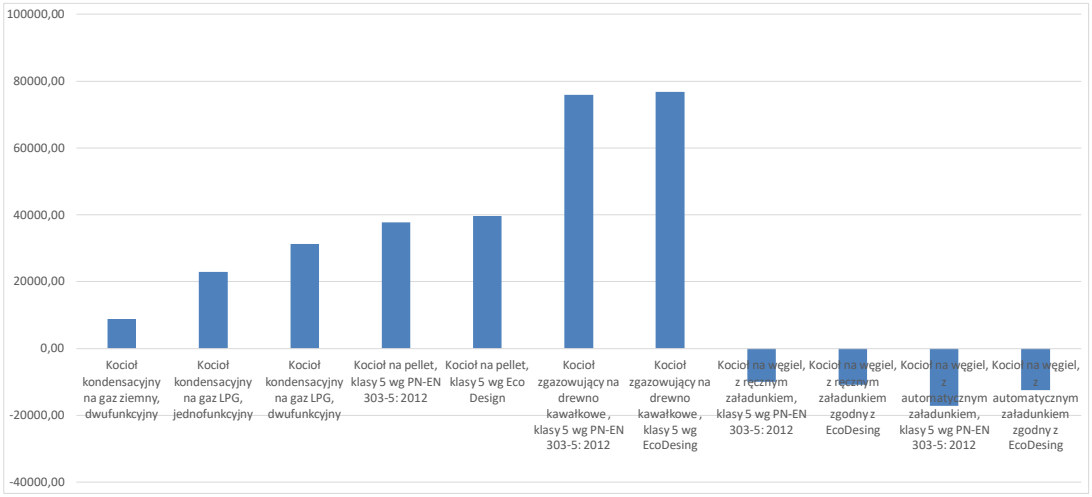
Porównanie skumulowanych kosztów poszczególnych opcji zastosowanych w budynku średnio energochłonnym, dla wybranego województwa przedstawiono na rysunkach 6.1-6.3.



bez zewnętrznych

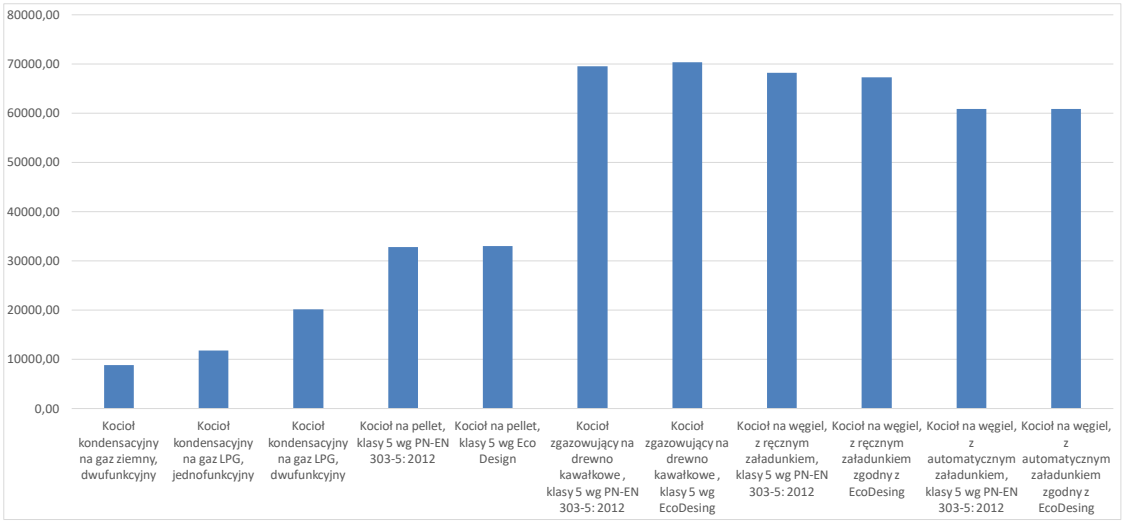


z zewnętrznymi

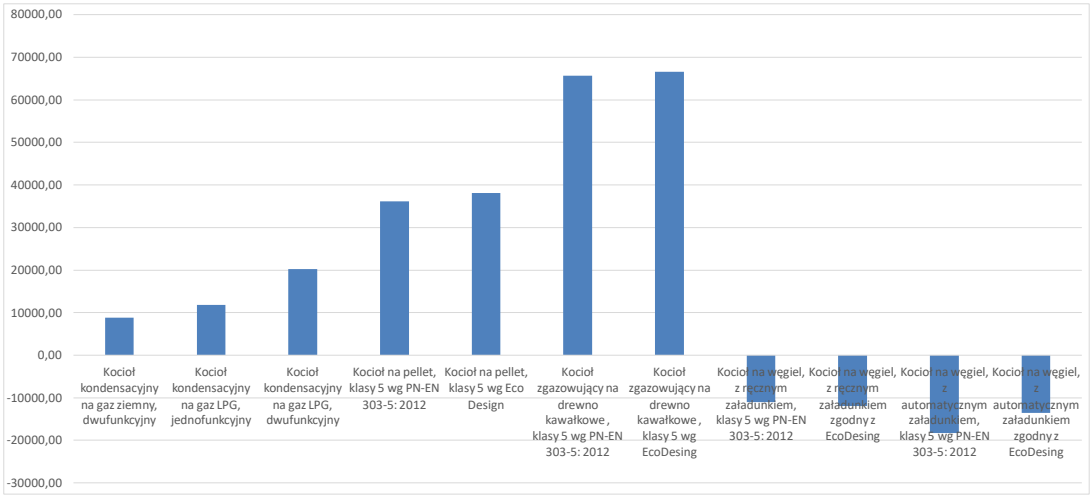


z zewnętrznymi + skumulowane CO2

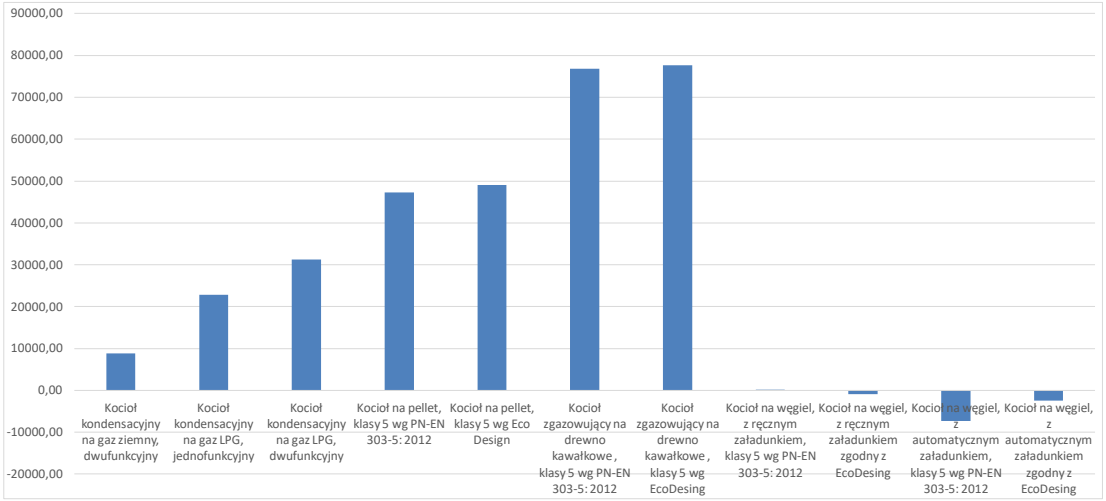
Rys.6.1. porównanie kosztów skumulowanych dla woj. Pomorskiego



bez zewnętrznych

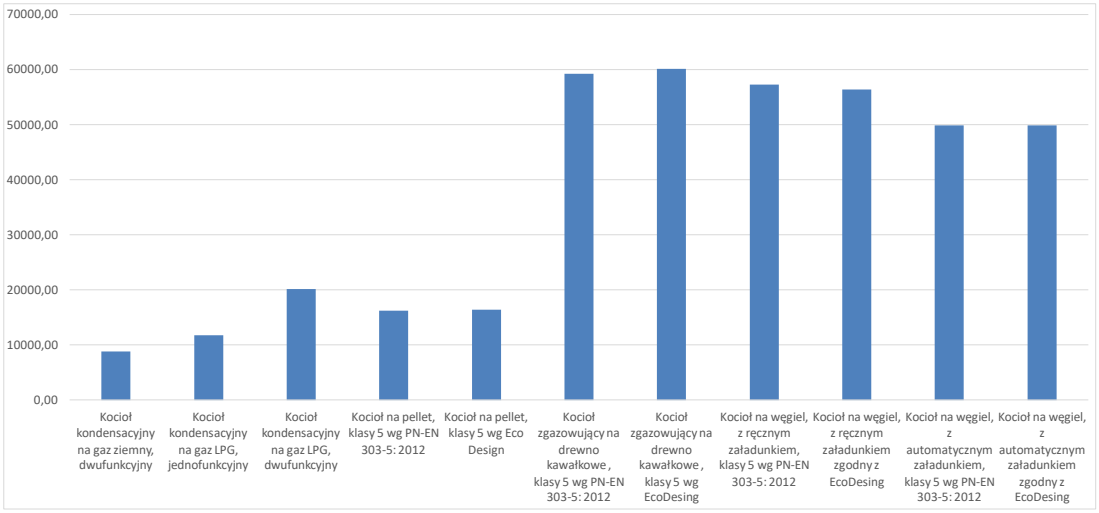


z zewnętrznymi

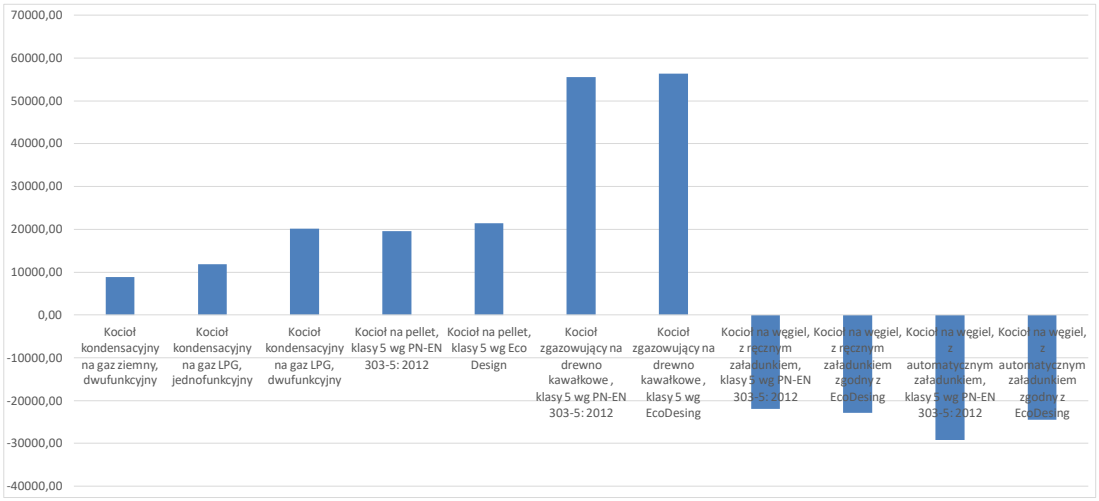


z zewnętrznymi + skumulowane CO2

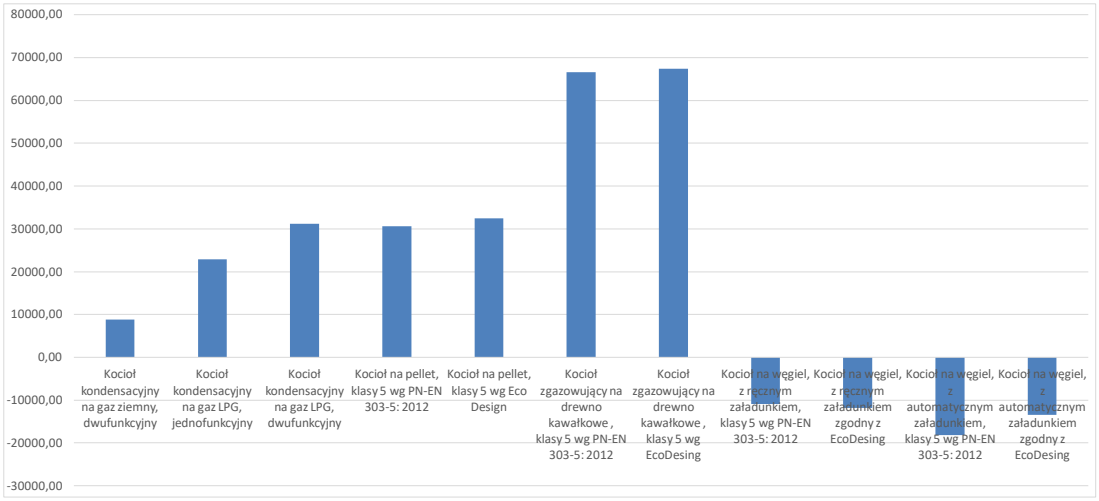
Rys.6.2. porównanie kosztów skumulowanych dla woj. Śląskiego



bez zewnętrznych



z zewnętrznymi



z zewnętrznymi + skumulowane CO2

Rys.6.3. porównanie kosztów skumulowanych dla woj. Mazowieckiego

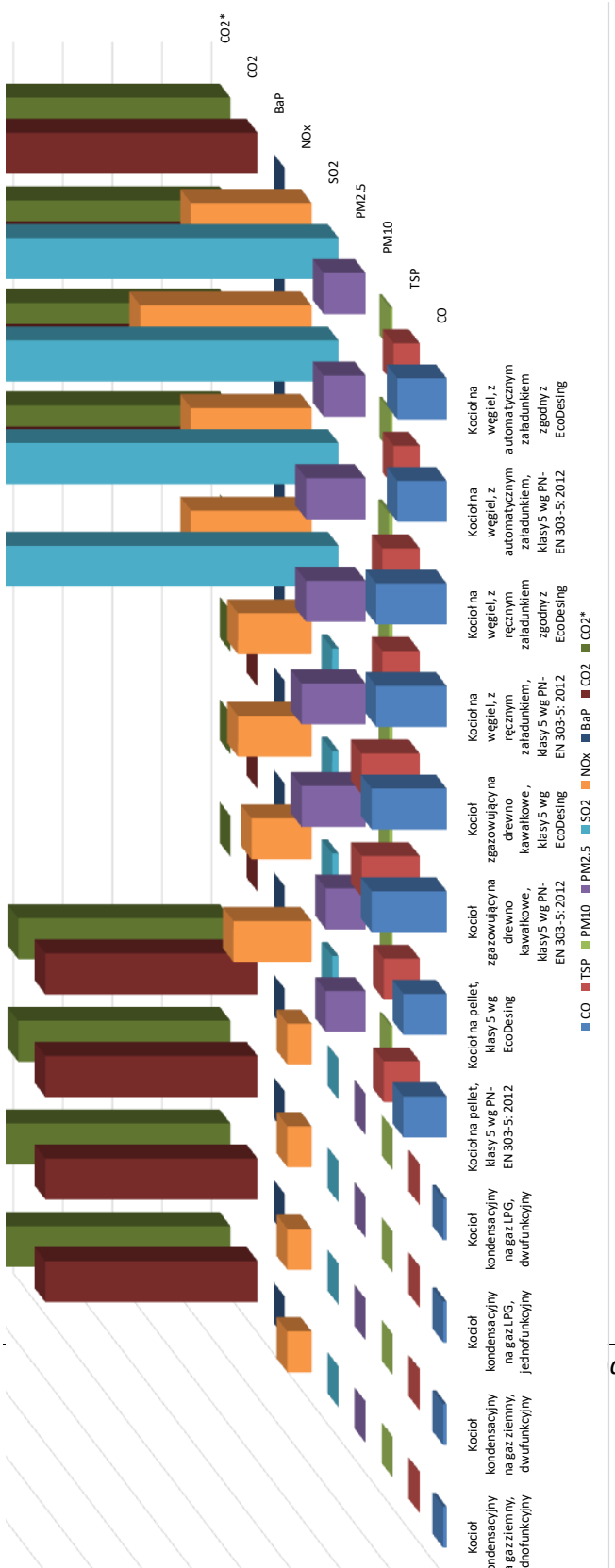
Porównując poszczególne opcje techniczne, odnosząc je do najczystszego wariantu tj. kotła kondensacyjnego jednofunkcyjnego opalanego gazem, można stwierdzić co następuje.

W przypadku bezpośrednich kosztów ogrzewania w analizowanych przypadkach energochłonności budynków zdecydowanie korzystne efekty ekonomiczne osiągane są w przypadku paliw stałych, przy czym najniższe koszty osiągane są przez ogrzewanie drewnem kawałkowym a ogrzewanie pelletem jest najdroższe. Ogrzewanie pelletem jest tylko nieco tańsze niż ogrzewanie gazem czy LPG.

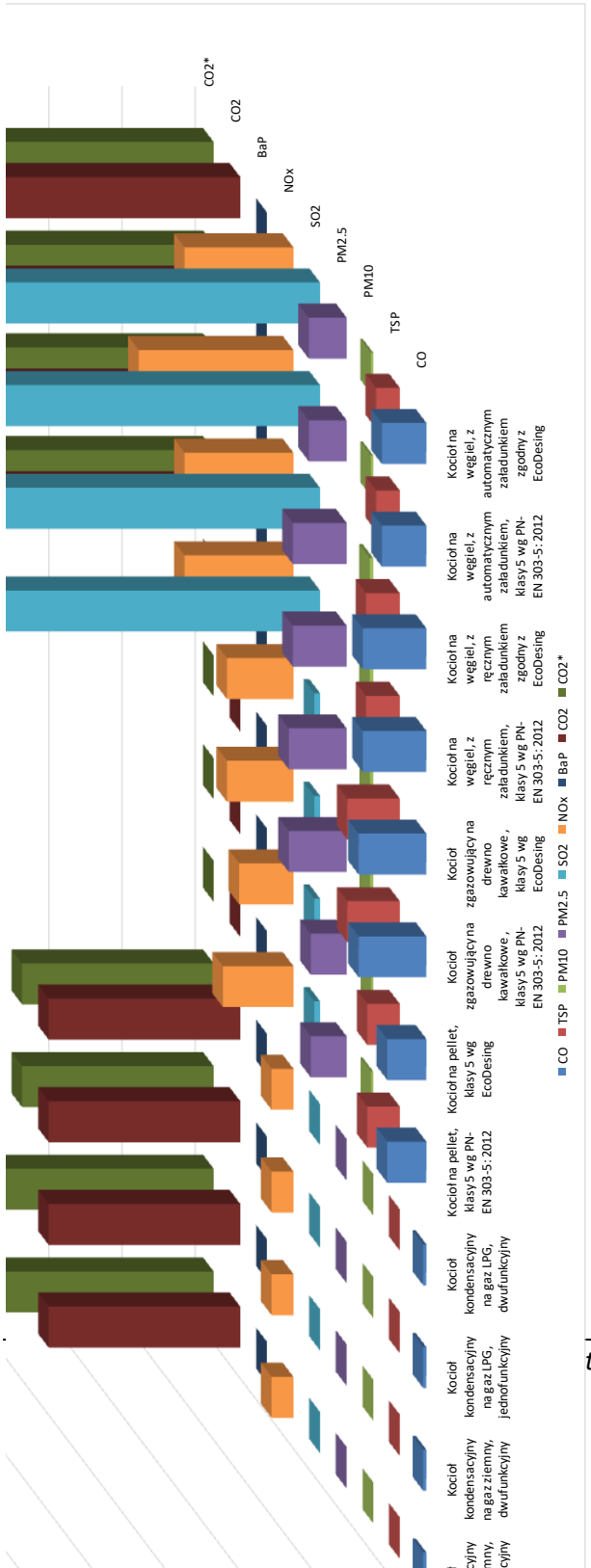
Uwzględniając zewnętrzne koszty środowiskowe stwierdzić można, że dodatni skumulowany zysk względny (odniesiony do kotła gazowego) jest niezmiennie największy w przypadku opalania drewnem kawałkowym. Co ważne ogrzewanie węglem prowadzi do ujemnych wartości zysku względnego, odniesionego do eksploatacji kotła gazowego jako przypadku bazowego.

Podobnie jest w przypadku uwzględnienia skumulowanej emisji CO_2, choć tutaj różnice pomiędzy węglem a paliwami gazowymi są nieco mniejsze.

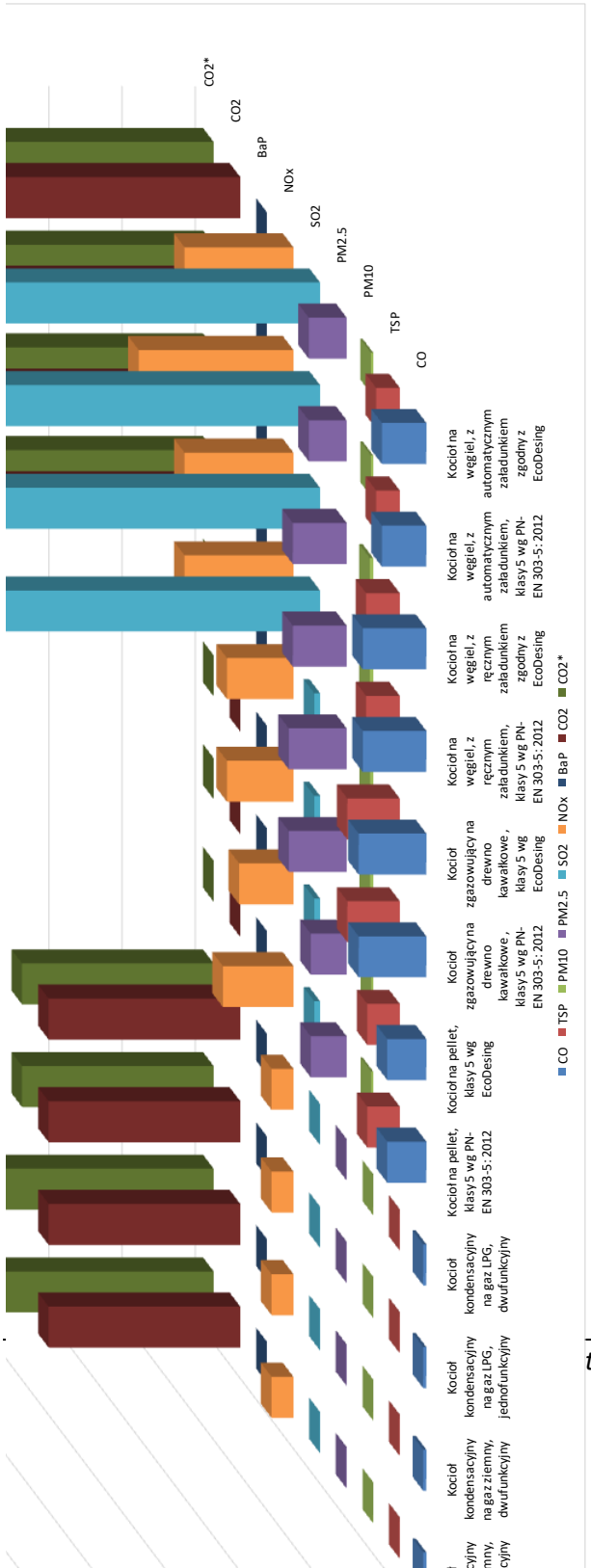
Zestawienie kosztów zewnętrznych poszczególnych zanieczyszczeń emitowanych z wybranych urządzeń grzewczych zainstalowanych w różnych typach budynków przedstawione zostało na rys. 6.4-6.6.



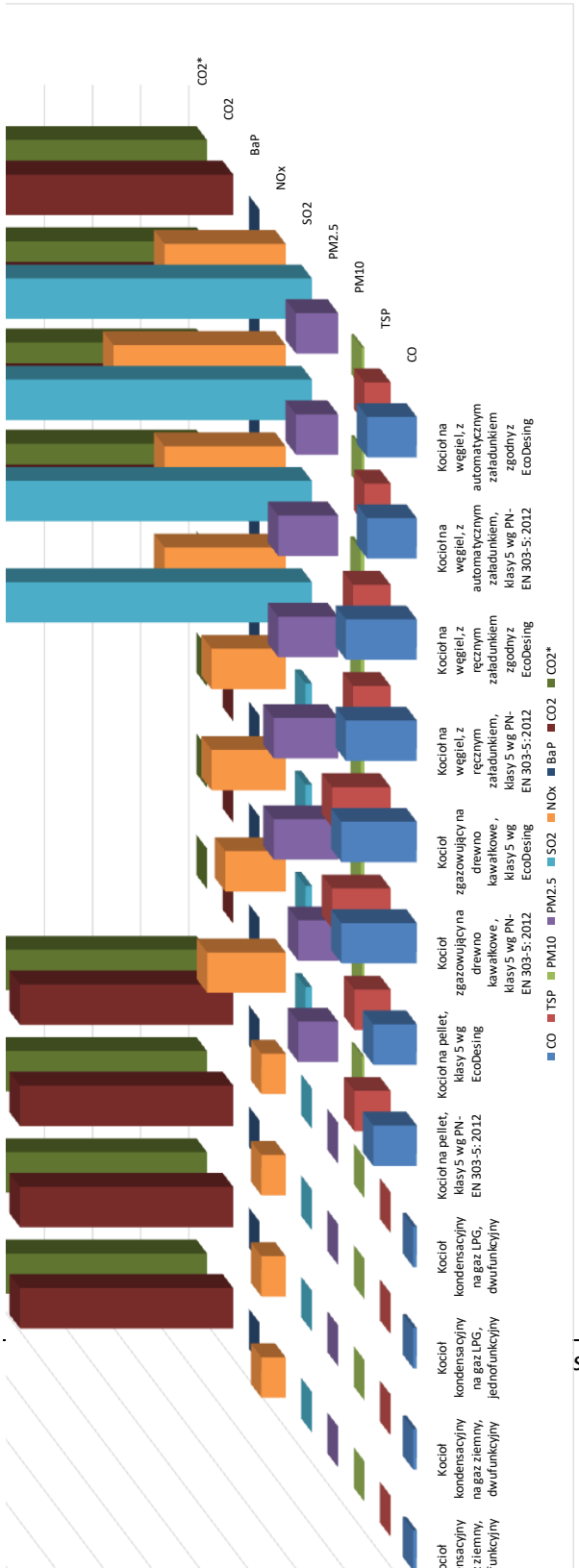
Rys.6.4. Skumulowane koszty zewnetrzne dla budynku klasy B



Rys.6.4. Koszty zewnetrzne dla budynku klasy B



Rys.6.4. Koszty zewnetrzne dla budynku klasy D



Rys.6.4. Koszty zewnetrzne dla budynku klasy F

Podsumowując powyższe można zauważyć że jednym z kluczowych składników kosztów jest koszt emisji CO_2. Gdyby opcje techniczne oceniać pod katem skutecznej walki z tzw. smogiem czy emisją niską, koszty te należałoby pominąć.

Zestawienie skumulowanych kosztów zewnętrznych dla wybranych urządzeń grzewczych zainstalowanych w różnych typach budynków przedstawione zostało na rys. 6.7.

Rys.6.5. Skumulowane koszty zewnetrzne dla wybrancyh opcji technicznych