



IOŚ-PIB

Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy

Raport podsumowujący projekt: opracowanie badawczo-naukowe

ReduCOST

Ocena potencjału redukcji emisji
zanieczyszczeń do powietrza i
kosztów działań redukcyjnych, z
uwzględnieniem aspektów
technicznotechnologicznych,
finansowych i społecznych –
pilotaż

Warszawa 2025



IOŚ-PIB
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy



**Instytut Badań
Stosowanych**

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ SP. Z O.O.



**Politechnika
Śląska**



**UNIWERSYTET
PRZYRODNICZY**
w Lublinie

Raport przygotowany przez:

Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy we współpracy z:

- Instytutem Badań Stosowanych Politechniki Warszawskiej,
- Politechniką Śląską wraz z Wydziałem Chemicznym, Katedrą Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego oraz Wydziałem Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedrą Techniki Ciepłej,
- Ministerstwem Infrastruktury,
- Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie.

Opracowanie raportu:

dr hab. inż. Joanna Strużewska, mgr inż. Paweł Durka, mgr. Aleksandra Łojek, mgr inż. Aleksandra Starzomska, inż. Aleksander Norowski, mgr inż. Krzysztof Olendrzyński.

Współautorzy:

Rozdział 4.1: dr hab. inż. Robert Kubica, prof. PŚ, dr inż. Tomasz Mirowski, IGSMiE, dr inż. Jacek Kocurek, dr inż. Krystyna Kubica, prof. dr hab. inż. Wojciech Stanek, dr inż. Tomasz Simla

Rozdział 4.2: mgr Sylwia Waśniewska, mgr inż. Katarzyna Bebkiewicz, prof. dr hab. inż. Zdzisław Chłopek, dr n. techn. Paulina Grzelak

Rozdział 4.3: dr hab. Monika Skowrońska, prof. UP W Lublinie, prof. dr hab. inż. Roman Niżnikowski, SGGW w Warszawie, dr hab. inż. Jacek Walczak, ITP – PIB w Falentach

Rozdział 4.4: prof. dr hab. inż. Janusz Lewandowski, mgr inż. Krzysztof Melka, dr inż. Krzysztof Zagrajek, dr hab. inż. Mariusz Kłos

Rozdział 5: dr inż. Karol Szymankiewicz, mgr inż. Jadwiga Maciejewska, mgr Dorota Kawicka

Rozdział 6: dr hab. inż. Joanna Strużewska, mgr inż. Paweł Durka, mgr inż. Aleksandra Starzomska, inż. Aleksander Norowski,

Rozdział 7: dr hab. inż. Joanna Strużewska, mgr inż. Krzysztof Olendrzyński, mgr inż. Paulina Jagiełło, mgr inż. Aleksandra Starzomska

Rozdział 8: dr inż. Anna Dubel, dr inż. Ewelina Siwiec, dr inż. Mariusz Trela

Spis treści

1. Wstęp.....	5
2. Normowane poziomy stężeń.....	6
3. Koncepcja projektu: scenariusze, przepływ danych i narzędzia	9
4. Scenariusze zmian emisji	11
4.1 Sektor komunalno - bytowy	11
4.1.1 Wprowadzenie	11
4.1.2 Metodyka prac i przyjęte założenia.....	13
4.1.3 Kluczowe rezultaty prac badawczych	25
4.1.4 Wnioski.....	27
4.2 Sektor transportu.....	29
4.2.1. Wstęp	29
4.2.2. Scenariusze prognozy BAU i MFR w transporcie drogowym	31
4.2.3. Krajowa emisja roczna zanieczyszczeń z pojazdów drogowych	34
4.2.4. Pozostałe rodzaje transportów	36
4.2.5. Analiza kosztów.....	40
4.2.6. Podsumowanie.....	40
4.3 Sektor rolnictwa.....	42
4.3.1 Wstęp	42
4.3.2 Założenia scenariuszy zmian emisji.....	42
4.3.3 Produkcja zwierzęca.....	43
4.3.4 Produkcja roślinna.....	50
4.3.5 Założenia do scenariuszy redukcji.....	50
4.4 Sektor elektroenergetyczny	53
4.4.1 Wprowadzenie	53
4.4.2 Przyjęta struktura mocy w celu pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną w sektorze komunalno - bytowym i transporcie	53
4.4.3 Koszty zewnętrzne wynikające z emisji zanieczyszczeń do powietrza	54
4.4.4 Koszty sektora elektroenergetycznego.....	55
4.4.5 Ocena kosztów i korzyści	57

5. Zmiany poziomu emisji w skali kraju z uwzględnieniem analizowanych sektorów	59
5.1 Założenia pakietu	59
5.2 Opracowanie scenariusza bazowego	59
5.3 Opracowanie scenariuszy BAU i MFR	61
5.4 Redukcja emisji w scenariuszach BAU i MFR	61
5.5 Rozkład przestrzenny emisji ze wszystkich sektorów	63
5.6 Wpływ projektu na rozwój CBE	66
6. Wpływ zmian emisji na poziom stężeń zanieczyszczeń	68
6.1 Założenia pakietu	68
6.2 Stężenia zanieczyszczeń powietrza w scenariuszach modelowych	69
6.3 Redukcja stężeń względem scenariusza bazowego	71
6.4 Narażenie na ponadnormatywne stężenia w scenariuszach	71
6.5 Podsumowanie	74
7. Wpływ zmiany poziomu stężeń na narażenie zdrowotne	74
7.1 Założenia i cele pakietu	74
7.2 Ocena skutków zdrowotnych	75
7.3 Podsumowanie wpływu scenariuszy na narażenie zdrowotne	78
7.4 Wstępne analizy z wykorzystaniem narzędzia ALPHA-Riskpoll v4.	79
8. Analiza ekonomiczna	81
8.1 Wprowadzenie	81
8.2 Metodyka	82
8.3 Wyniki szacowania kosztów zewnętrznych	84
9. Podsumowanie	88
9.1 Korzyści dla systemu oceny jakości powietrza	88
9.2 Wskazanie kierunków działań w obszarze systemu zarządzania jakością powietrza i dla systemu oceny jakości powietrza	89
9.3 Potencjalne efekty wprowadzenia zaproponowanych działań	91
9.4 Dodatkowe korzyści i możliwości rozwoju	93

1. Wstęp

W październiku 2021 r. Międzynarodowa Organizacja Zdrowia (WHO - World Health Organization) opublikowała nowe wytyczne dotyczące rekomendowanych poziomów stężeń zanieczyszczeń, z punktu widzenia wpływu na zdrowie. 23 października 2024 roku opublikowano dyrektywę w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy, której jednym z celów jest zaostrzenie norm stężeń dopuszczalnych i docelowych. Podobnie dnia 24 kwietnia 2024 r. weszła w życie nowa Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1785 z w sprawie zmiany dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola) i dyrektywy Rady 1999/31/WE w sprawie składowania odpadów. Rozważania jest również aktualizacja dyrektywy NEC (w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych). Biorąc pod uwagę, że pomimo znaczącej poprawy jakości powietrza w ciągu ostatnich 10 lat Polska nadal nie spełnia obowiązujących norm dla wybranych zanieczyszczeń powietrza, konieczne jest wykorzystanie nowych podejść i narzędzi, wykraczających poza dotychczasową wiedzę i stosowane kierunki działań w zakresie ograniczania emisji zanieczyszczeń.

W celu określenia czy z technicznego punktu widzenia możliwe jest obniżenie w Polsce stężeń zanieczyszczeń atmosferycznych do poziomów rekomendowanych przez Światową Organizację Zdrowia (WHO) oraz wynikających z przeglądu dyrektywy AAQD, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy we współpracy z Politechniką Śląską, Politechniką Warszawską oraz Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie podjął się realizacji pilotażowej pracy mającej na celu przeprowadzenie analizy potencjału redukcji emisji i kosztów działań redukcyjnych. Celem wsparcia Ministerstwa Klimatu i Środowiska w dialogu z Komisją Europejską i w kontekście planowania programów strategicznych, określających nową politykę poprawy jakości powietrza, uwzględniono również aspekty techniczno-technologiczne, finansowe i społeczne.

Zarówno planowana ekspertyza jak też potencjalne wdrożenie systemu analitycznego w zakresie obliczania redukcji emisji na podstawie zaplanowanych działań, jak kosztów redukcji emisji zanieczyszczeń i korzyści środowiskowych może stanowić wsparcie Ministerstwa Klimatu i Środowiska w zakresie realizacji zadań na poziomie krajowym jak i w ramach współpracy międzynarodowej. Opracowane koncepcje narzędzi (bądź też same rozwiązania) mogą wesprzeć jednostki samorządu terytorialnego na poziomie województw, przy planowaniu i opracowywaniu Programów Ochrony Powietrza oraz planów działania na rzecz jakości powietrza.

Głównym celem projektu było udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy technicznie realistyczne scenariusze ograniczania emisji w sektorze komunalno-bytowym, transporcie, produkcji energii (w odniesieniu do zmian w dwóch wymienionych wcześniej sektorach) oraz w rolnictwie mogą zagwarantować obniżenie stężeń zanieczyszczeń do poziomów określonych w dyrektywie AAQD.

Cele i założenia szczegółowe obejmowały:

- dostarczenie informacji niezbędnych do wyznaczenia emisji wybranych zanieczyszczeń (objętych monitoringiem) z sektora komunalno-bytowego (spalanie paliw) oraz ocenę możliwości zmniejszenia emisji zanieczyszczeń z tego sektora, w perspektywie do 2030 r. wraz z wyznaczeniem kosztów bezpośrednich i zewnętrznych wynikających z podejmowanych działań,
- analizę technicznych możliwości zmniejszenia emisji rozpatrywanych zanieczyszczeń w obszarze środków transportu: drogowego, terenowego, szynowego, wodnego i powietrznego oraz mobilnych maszyn roboczych, a także analizę rozwiązań w obszarze inżynierii ruchu i organizacji ruchu,
- dostarczenie informacji o metodach i zakresie ilościowym mitygacji emisji gazowych i pyłów z krajowego rolnictwa dla osiągnięcia znowelizowanych przez WHO i UE norm jakości powietrza,
- analizę Krajowego Systemu Elektroenergetycznego w kontekście zaproponowanych działań w sektorach: komunalno-bytowym, transporcie i związaną z tym zmianą zapotrzebowania na energię elektryczną, wynikającą z rozwoju elektromobilności i wykorzystaniem instalacji OZE w zabudowie mieszkaniowej,
- zaproponowanie scenariuszy ograniczenia emisji z uwzględnieniem aspektów technologicznych dla dwóch wariantów BAU (Business As Usual) i MFR (Maximum Feasible Reduction),
- ocenę zmian zanieczyszczenia powietrza nad obszarem Polski na skutek założonych działań mitygacyjnych oraz ocenę wpływu zanieczyszczeń na zdrowie człowieka w poszczególnych scenariuszach,
- oszacowanie kosztów zewnętrznych dla braku działań (zaniechania) oraz kosztów podejmowania technicznych działań redukcyjnych.

2. Normowane poziomy stężen

Aktualne krajowe normy jakości powietrza definiowane są przez Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu z dnia 5 maja 2021 r. (Dz.U. 2021 poz. 845). W tym dokumencie określone są poziomy dopuszczalne, docelowe oraz poziomy informowania społeczeństwa i poziomy alarmowe. Dyrektywa CAFE (2008/50/WE) jest w większości przypadków tożsama z prawem krajowym. Wyjątkiem jest poziom dopuszczalny średniorocznego stężenia pyłu PM_{2,5}, w przypadku którego wartość progowa obowiązująca w Polsce jest bardziej restrykcyjna - niższa o 5 µg/m³, i wynosi 20 µg/m³.

Celem nowej dyrektywy AAQD jest przekształcenie i uproszczenie istniejących przepisów dotyczących jakości powietrza (dyrektyw 2004/107/WE i 2008/50/WE) w celu dalszej poprawy jakości powietrza w UE zgodnie z Europejskim Zielonym Ładem oraz nowymi wytycznymi WHO dotyczącymi jakości powietrza. Wyznaczanie obecnych i przyszłych norm jakości powietrza oraz ich dostosowanie do wytycznych WHO do 2050 r. ma być realizowane etapowo.

Aktualizacje powyższych wytycznych z 2021 roku uwzględniają nowe dowody naukowe na wpływ wysokiego poziomu zanieczyszczeń na zdrowie i proponują niższe poziomy dla pyłu zawieszonego i dwutlenku azotu. Analizy wskazują na dodatkowe korzyści społeczno-gospodarcze wynikające z redukcji zanieczyszczeń, które przewyższają koszty wdrożenia. Państwa członkowskie, Parlament Europejski, Rada UE i Komisja Europejska powinny kierować się zasadą ostrożności, podejmowania działań prewencyjnych, „zanieczyszczający płaci” i „nie szkodzić”, a także uznawać prawo do czystego i zdrowego środowiska. Dyrektywa AAQD przyczynia się do osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju ONZ, w szczególności celów nr 3, 7, 10, 11 i 13. Należy stosować wspólne kryteria oceny, w tym pomiary stałe i aplikacje modelujące, aby lepiej rozumieć i kontrolować poziomy zanieczyszczeń. Wprowadzenie referencyjnych metod pomiaru oraz zachęcanie państw członkowskich do korzystania z narzędzi monitorujących, takich jak program Copernicus.

Dokument podkreśla znaczenie wspólnego podejścia do oceny jakości powietrza, monitorowania zanieczyszczeń i wdrażania polityk, które przyczynią się do poprawy zdrowia publicznego i ochrony środowiska naturalnego.

Tabela 1 Zestawienie obowiązujących i przyszłych norm dotyczących stężeń zanieczyszczeń w powietrzu UE.

Okres uśrednienia	Normy jakości powietrza wg. dyrektywy 2008/50/WE oraz 2004/107/WE	Normy jakości powietrzawg. Dyrektywy 2024/2881
Pył PM_{2,5}		
1 dzień	-	25 µg/m ³ , nie może zostać przekroczona więcej niż 18 razy w roku kalendarzowym
rok kalendarzowy	25 µg/m ³	10 µg/m ³
Pył PM₁₀		
1 dzień	50 µg/m ³ , nie może zostać przekroczone więcej niż 35 razy w roku kalendarzowym	45 µg/m ³ , nie może zostać przekroczona więcej niż 18 razy w roku kalendarzowym
rok kalendarzowy	40 µg/m ³	20 µg/m ³
Dwutlenek azotu (NO₂)		
1 godzina	200 µg/m ³ , nie może zostać przekroczona więcej niż 18 razy w roku kalendarzowym	200 µg/m ³ , nie może zostać przekroczona więcej niż 3 razy w roku kalendarzowym
1 dzień	-	50 µg/m ³ - nie może zostać przekroczona więcej niż 18 razy w roku kalendarzowym
rok kalendarzowy	40 µg/m ³	20 µg/m ³
Dwutlenek siarki (SO₂)		
1 godzina	350 µg/m ³ , nie może zostać przekroczona więcej niż 24 razy w roku kalendarzowym	350 µg/m ³ , nie może zostać przekroczona więcej niż 3 razy w roku kalendarzowym

Okres uśrednienia	Normy jakości powietrza wg. dyrektywy 2008/50/WE oraz 2004/107/WE	Normy jakości powietrza wg. Dyrektywy 2024/2881
1 dzień	125 µg/m ³ , nie może zostać przekroczona więcej niż 3 razy w roku kalendarzowym	50 µg/m ³ , nie może zostać przekroczona więcej niż 18 razy w roku kalendarzowym
rok kalendarzowy	-	20 µg/m ³
Benzen (C₆H₆)		
rok kalendarzowy	5 µg/m ³	3,4 µg/m ³
Tlenek węgla (CO)		
dobowa maksymalna średnia ośmiogodzinna (1)	10 mg/m ³	10 mg/m ³
1 dzień	-	4 mg/m ³ , nie może zostać przekroczona więcej niż 18 razy w roku kalendarzowym
Ołów (Pb)		
rok kalendarzowy	0,5 µg/m ³	0,5 µg/m ³
Arsen (As)		
rok kalendarzowy	*6 ng/m ³	6,0 ng/m ³
Kadm (Cd)		
rok kalendarzowy	*5 ng/m ³	5,0 ng/m ³
Nikiel (Ni)		
rok kalendarzowy	*20 ng/m ³	20 ng/m ³
Benzo(a)piren (BaP)		
rok kalendarzowy	*1 ng/m ³	1,0 ng/m ³

*normy zostały określone w 2004/107/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu

Dyrektywa AAQD zobowiązuje państwa członkowskie do sporządzania planów ochrony powietrza (w polskim prawie nazywanych programami ochrony powietrza) oraz planów działania na rzecz jakości powietrza dla obszarów, w których poziomy zanieczyszczeń przekraczają dopuszczalne i docelowe wartości, oraz do podejmowania działań mających na celu skrócenie czasu trwania tych przekroczeń. Ponadto znacząco rozszerzono wymagania dotyczące monitorowania i modelowania jakości powietrza. Oczekiwane jest również wzmocnienie współpracy między państwami członkowskimi w zakresie zanieczyszczeń transgranicznych. Dodatkowo dyrektywa kładzie nacisk na szersze i bardziej przejrzyste informowanie opinii publicznej o jakości powietrza.

W kontekście programów ochrony powietrza należy podkreślić, że obecnie administracja rządowa i regionalna nie dysponuje systemem ani narzędziami umożliwiającymi oszacowanie zarówno potencjału redukcji emisji w poszczególnych sektorach, jak i kosztów związanych z ich realizacją. Brak rzetelnych i precyzyjnych informacji w tym zakresie stanowi poważną barierę w dialogu z Komisją Europejską. Przedstawienie koncepcji takiego systemu wraz ze

wstępnymi analizami jest pierwszym krokiem w kierunku opracowania narzędzi odpowiadających na te potrzeby.

3. Koncepcja projektu: scenariusze, przepływ danych i narzędzia

Projekt ReduCost angażował ekspertów z różnych dziedzin oraz cztery wiodące jednostki naukowe w Polsce. W projekcie przeprowadzono analizę technicznego potencjału wdrożenia działań ograniczających emisję zanieczyszczeń do atmosfery. Uwzględniono przy tym aktualny poziom zaawansowania technologicznego, koszty i korzyści ekonomiczne oraz społeczne, a także krajowe i europejskie uregulowania prawne, w tym dokumenty strategiczne, dokumenty referencyjne BAT, normy produktowe i normy testowania. Analizie poddane zostały następujące sektory:

- sektor komunalno-bytowy,
- sektor transportu,
- sektor elektroenergetyczny jako odpowiedź na działania podjęte w sektorach: komunalno-bytowym i transporcie,
- sektor rolnictwa.

Na podstawie zaproponowanych, możliwych do wdrożenia działań zwymiarowana została redukcja emisji zanieczyszczeń oraz dwa scenariusze jej ograniczania:

- “business as usual” (BAU) zakładający dostosowanie emisji zanieczyszczeń do obowiązujących i przewidywanych norm,
- “maximum feasible reduction” (MFR) odzwierciedlający maksymalny możliwy potencjał redukcji emisji zanieczyszczeń do atmosfery z poszczególnych rozważanych sektorów pod względem technologicznym.

Na podstawie danych z poszczególnych sektorów przygotowano dane emisyjne, zgodnie z metodyką wypracowaną w Centralnej Bazie Emisyjnej (CBE) rozwijanej przez KOBIZE IOŚ-PIB na potrzeby modelowania. Umożliwiło to następnie przeprowadzenie obliczeń poziomów stężeń zanieczyszczeń z wykorzystaniem modelu jakości powietrza oraz analizę narażenia zdrowotnego. Równolegle wykonano analizy ekonomiczne kosztów działań redukcyjnych oraz wycenę kosztów zewnętrznych, obejmujących wpływ emisji zanieczyszczeń na zdrowie ludzi i środowisko naturalne.

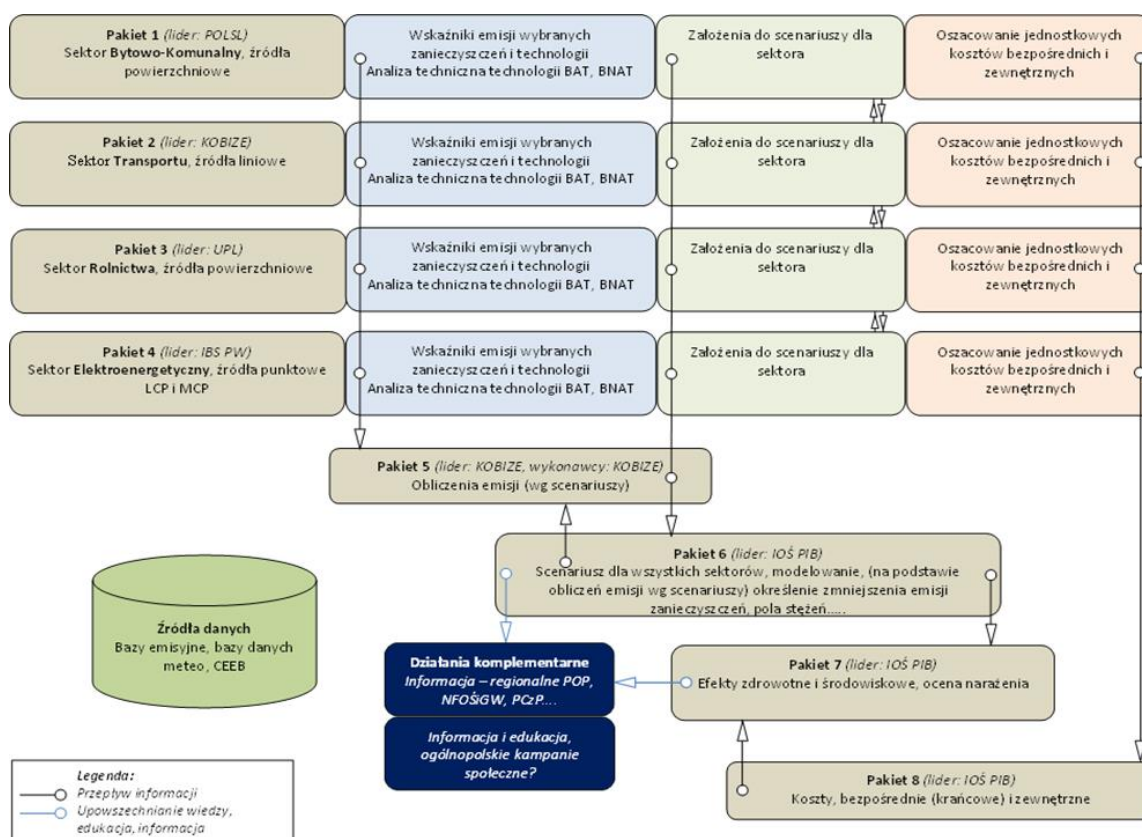
Jako bazowy rok przyjęto 2022 zarówno pod kątem dostępnej bazy emisji zanieczyszczeń do powietrza (opisanej w rozdziale 5) jak i matematycznego modelowania transportu i przemian substancji w powietrzu. Redukcje związane ze scenariuszami, przyjęte do wprowadzenia do umownego roku 2040 (dla obu scenariuszy), obliczono z wykorzystaniem danych meteorologicznych dla przyjętego roku bazowego, by zachować spójność i otrzymać różnice w stężeniach, będące skutkiem wyłącznie redukcji danych emisyjnych.

Należy w tym miejscu podkreślić, że rok 2040 to rok umowny, który został ustalony w trakcie dyskusji wszystkich zaangażowanych ekspertów. Z powodu ilości, skomplikowania i przewidywanych kosztów do poniesienia w kwestii zmian technologii i redukcji ograniczających emisję zaproponowanych w projekcie, wcześniejsze wprowadzenie wszystkich zaproponowanych zmian wydaje się być niezwykle wymagające. Jednakże, jest to propozycja ekspercka, a osiągnięte rezultaty przedstawione w wynikach niniejszego projektu mogą być osiągnięte wcześniej, w zależności od szybkości wprowadzania zaproponowanych rozwiązań.

Wynikiem pilotażowego opracowania jest niniejsze opracowanie przedstawiające możliwości zmniejszenia emisji zanieczyszczeń w ww. sektorach w tym:

- propozycje działań z uwzględnieniem obecnego stanu oraz technicznych i pozatechnicznych możliwości redukcji,
- analizę wpływu zmniejszenia emisji rozpatrywanych zanieczyszczeń na poziom stężeń zanieczyszczeń, z uwzględnieniem oceny ryzyka przekroczenia obecnych i przyszłych progów normowanych,
- analizę skutków zdrowotnych związanych z jakością powietrza,
- analizę kosztów realizacji działań redukcyjnych w poszczególnych sektorach,
- analizę kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń w odniesieniu do analizowanych scenariuszy,
- analizę zmniejszenia kosztów zewnętrznych, z uwzględnieniem kosztów zdrowotnych, osiągniętych dzięki podjęciu działań redukcyjnych.

Jak wskazano powyżej, projekt był interdyscyplinarny, realizowany w podziale na pakiety robocze, w których pracowali poszczególni eksperci. Przepływ danych i informacji pomiędzy poszczególnymi pakietami obrazuje poniższy diagram:



Rysunek 1 Struktura projektu i przepływu danych w projekcie ReduCOST.

4. Scenariusze zmian emisji

4.1 Sektor komunalno - bytowy

4.1.1 Wprowadzenie

Udział źródeł powierzchniowych, rozproszonych instalacji spalania małej mocy, zasilanych paliwami stałymi: węglem lub drewnem, w bilansie emisji zanieczyszczeń do powietrza jest dominujący¹. Głównym źródłem emisji zanieczyszczeń, w szczególności pyłu i jego frakcji PM₁₀ i PM_{2,5} a także benzo(a)pirenu są instalacje spalania małej mocy na paliwa stałe. W kontekście przyjętego celu projektu tj. skuteczności działań naprawczych

¹ Krajowy bilans emisji zanieczyszczeń 2024 – Raport syntetyczny;
https://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/aktualnosci/2025/55_Krajowy_bilans_emisji_pylow_metalicznych.pdf, dostęp 30.08.2025

podejmowanych na rzecz poprawy jakości powietrza, sektor komunalno-bytowy wydaje się kluczowy.

Poprawa jakości powietrza może być osiągnięta przez wielokierunkowe działania techniczne, obejmujące stosowanie nowych technologii w źródłach pozaprzemysłowych – instalacjach grzewczych wykorzystywanych do produkcji energii użytecznej w indywidualnych gospodarstwach domowych, rolnictwie. Obniżenie stężeń zanieczyszczeń w powietrzu możliwe jest również dzięki działaniom pozatechnicznym, jak wprowadzanie lokalnych uregulowań dla dopuszczalnych poziomów emisji, wymagań względem jakości paliw stosowanych w sektorze komunalno-bytowym, stosowanie efektywnych metod ograniczających zapotrzebowanie na energię (termomodernizacja budynków, stosowanie systemów smart), promowanie wykorzystania OZE, stosowanie zintegrowanej gospodarki odpadami, a także stosowanie narzędzi kontrolujących i stymulujących stosowanie czystych źródeł ciepła użytecznego (podatek paliwowy, akcyza, finansowe programy wspierające zastosowanie nowych technologii i paliw w sektorze komunalno-bytowym).

Dla opracowania scenariuszy działań na rzecz poprawy jakości powietrza i możliwie dokładnej oceny ich efektywności, konieczne jest dokonanie szczegółowej analizy poszczególnych grup źródeł emisji pod kątem aktualnie dostępnych najlepszych rozwiązań technicznych i działań pozatechnicznych redukcji emisji, wraz z oceną aktualnie obowiązujących oraz planowanych do wprowadzenia rozwiązań legislacyjnych, zarówno krajowych jak i unijnych a także kosztów tych działań.

W związku z powyższym, w odniesieniu do sektora komunalno-bytowego przeprowadzono kompleksową ocenę metod technicznych i działań pozatechnicznych redukcji emisji pyłu całkowitego, TSP i jego subtrakcji PM₁₀, PM_{2,5} oraz zanieczyszczeń gazowych emitowanych ze źródeł powierzchniowych, instalacji spalania małej mocy. W szczególności, praca miała na celu weryfikację bazowych wielkości wskaźników emisji wybranych zanieczyszczeń (zgodnie z metodyką EMEP, Tier 2²) oraz możliwego do osiągnięcia stopnia redukcji emisji wynikającego ze stosowania technicznych rozwiązań typu BAT (najlepsze dostępne technologie), BNAT (najlepsze, jeszcze niedostępne technologie) oraz regulacji prawnych, właściwych dla krajowych uwarunkowań społecznych i gospodarczych. Ponadto analizą objęto koszty inwestycyjne i eksploatacyjne a także tzw. koszty zewnętrzne, w tym uniknięte koszty środowiskowe i zdrowotne wynikające z podejmowanych działań.

Przyjęty w analizie rzeczowy zakres prac obejmował następujące elementy:

1. Ekspertyzę w zakresie weryfikacji wskaźników emisji badanych zanieczyszczeń (dla grup paliw i urządzeń grzewczych) z sektora komunalno-bytowego oraz możliwego zmniejszenia emisji zanieczyszczeń dla wybranych opcji technicznych i pozatechnicznych. Opracowanie narzędzia informatycznego do agregacji wskaźników emisji zanieczyszczeń w oparciu o model statystyczno-emisyjny,
2. Ekspertyzę dotyczącą technicznych i pozatechnicznych opcji redukcji emisji zanieczyszczeń z sektora komunalno-bytowego (KOMBYT), również w odniesieniu do polityk horyzontalnych i strategii na poziomie krajowym i europejskim,
3. Ekspertyzę określającą założenia dla scenariuszy BAU i MFR dla sektora komunalno-bytowego. Przyjęte w ekspertyzie założenia do scenariuszy redukcji uwzględniają strukturę przestrzenną i funkcjonalną Centralnej Bazy Emisyjnej (CBE), którą prowadzi Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) na potrzeby

² EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>, dostęp 30.08.2025

modelowania matematycznego transportu i przemian substancji w powietrzu, wykonywanego przez koordynatora projektu, IOŚ-PIB,

4. Ekspertyzę w zakresie skumulowanych kosztów bezpośrednich i zewnętrznych dla sektora komunalno-bytowego oraz wybranych indywidualnych opcji technicznych przyjętych w scenariuszach zmniejszenia emisji z tego sektora.

4.1.2 Metodyka prac i przyjęte założenia

Prace analityczne i obliczenia w czterech wskazanych obszarach prowadzone były zgodnie z metodyką i założeniami opisanymi niżej.

4.1.2.1 Zagregowane wskaźniki emisji zanieczyszczeń

Zagregowane wskaźniki emisji zanieczyszczeń (stosowane dalej zgodnie z metodyką EMEP, Tier 1³) wyznaczone zostały dla roku bazowego 2022 oraz dla roku docelowego 2040. Agregację prowadzono z wykorzystaniem:

- przyjętych wartości indywidualnych wskaźników emisji zanieczyszczeń dla źródeł objętych analizą oraz wytypowanych opcji technicznych (wyznaczonych zgodnie z metodyką EMEP EIG Tier 2), na podstawie analizy dostępnych danych literaturowych w tym raportów z badań,
- danych dotyczących struktury urządzeń grzewczych, w tym liczebności kotłów i miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń (MOP) zainstalowanych na rynku, w podziale na rodzaj paliwa i klasę efektywności energetycznej, w oparciu o dane z CEEB (Centralnej Ewidencji Emisyjności Budynków) oraz dane o sprzedaży MOP w latach 2015-2019 pozyskanych od organizacji branżowych,
- danych dotyczących zmian struktury urządzeń do roku 2040 wynikającej z przyjętych scenariuszy MFR i BAU, w analizowanych wariantach,
- danych o aktywnościach; strumieniach energii chemicznej zużywanej w poszczególnych grupach i klasach urządzeń wyznaczonych z wykorzystaniem wag wyznaczonych na podstawie m.in. średniej mocy i sprawności różnych typów urządzeń grzewczych, w klasach efektywności energetycznej, stopniu przewymiarowania, ilości godzin pracy w roku.

Zestawienie wskaźników emisji zanieczyszczeń dla poszczególnych typów i klas urządzeń przedstawione zostało w tabelach 2-4. Dane o strukturze urządzeń zawarte zostały w tabeli 5. Wartości wskaźników emisji pyłu całkowitego, oraz PM₁₀ i PM_{2.5}, przyjęte w analizie, uwzględniają frakcję pyłów kondensacyjnych.

³ EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>, dostęp 30.08.2025

Tabela 2 Wskaźniki emisji zanieczyszczeń z urządzeń o mocy cieplnej ≤500kW, opalanych stałymi biopaliwami.

Lp.	Urządzenie grzewcze	Zanieczyszczenia								
		CO	OGC	FTSP	CPM	PM10	PM2,5	SO ₂	NO _x	BaP
Kotły ręcznie zasilane drewnem, brykietem drzewnym, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; BaP (mg/GJ)										
1.	Kocioł konwencjonalny	4 166	696,0	200	350	514	470	11	60	124
2.	Kocioł zaawansowany	2 507	196,0	60	65	95	93	11	86	10
3.	Kocioł zgazowujący wg Ekoprojekt	191	12,0	9	1,8	9,5	9,5	11	84	0,5
Kotły automatycznie zasilane paliwem, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; BaP (mg/GJ)										
1.	Kocioł pelletowy konwencjonalny	300	71,0	40	22	60	60	8	80	10
2.	Kocioł pelletowy zaawansowany	232	14,0	15	4,5	18,5	18,5	8	85	1,0
3.	Kocioł pelletowy wg Ekoprojekt	130	6,0	10,0	2,0	12	12	8	85	0,8
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń ręcznie zasilane stałym biopaliwem – piece fabryczne, kominki, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; BaP (mg/GJ)										
1.	Piece wolnostojące, kominki, konwencjonalne	5 250	705,0	390	450	798	756	11	60	126
2.	Piece wolnostojące, kominki, zaawansowane	2 000	370,0	100	250	330	320	11	80	10
3.	Piece wolnostojące, kominki wg Ekoprojekt	700	70,0	24	25	42	40	11	80	2
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń ręcznie zasilane stałym biopaliwem – wolnostojące kuchnie i piecokuchnie, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; BaP (mg/GJ)										
1.	Kuchnie konwencjonalne	6 900	810	450	500	900	890	11	60	170
2.	Kuchnie zaawansowane	4 000	440	150	300	430	410	11	80	30
3.	Kuchnie wg Ekoprojekt	1 340	80	24	40	60	54	11	80	5
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń automatycznie zasilane stałym biopaliwem, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; BaP (mg/GJ)										
1.	Piece peletowe	300	40	56	6	60	60	8	80	10
2.	Piece peletowe wg Ekoprojekt	140	20	11	3	13,5	13,5	8	85	1
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń ręcznie zasilane stałym biopaliwem - piece kaflowe, piece z akumulacyjnymi kanałami, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; BaP (mg/GJ)										
1.	Piece kaflowe, konwencjonalne	4 200	350	110	150	247	234	11	80	105
2.	Piece kaflowe wysokoefektywne, zaawansowane	1 375	80	66	15	75	75	11	90	10

Tabela 3 Propozycje wskaźników emisji z urządzeń o mocy cieplnej ≤500kW opalanych stałym paliwem kopalnym/węglem.

Lp.	Urządzenie grzewcze	Zanieczyszczenia								
		CO	OGC	FTSP	CPM	PM10	PM2,5	SO ₂	NO _x	BaP
Kotły ręcznie zasilane stałym kopal. paliwem, węglem, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; BaP (mg/GJ)										
1.	Kocioł konwencjonalny	5 040	260	454	144	380	290	480	170	280
2.	Kocioł zaawansowany	2 625	174	181	100	255	197	480	163	90
3.	Kocioł wg Ekoprojekt	346	11	12	5	16	14	480	173	9,6
Kotły automatycznie zasilane stałym kopal. paliwem, węglem, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; BaP (mg/GJ)										
1.	Kocioł automatyczny	502	23	71	20	77	60	415	274	15
2.	Kocioł automatyczny, zaawansowany	350	11	40	10	43	40	415	175	6,0
3.	Kocioł wg Ekoprojekt	220	7,0	15	3	12	11	415	159	3,4
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń ręcznie zasilane stałym paliwem kopalnym, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; BaP (mg/GJ)										
1.	Piecokuchnie, piece wolnostojące, kominki konwencjonalne	3 182	600	642	322	667	517	405	192	504
2.	Piecokuchnie, piece wolnostojące, kominki zaawansowane	2 000	300	130	120	240	220	405	150	150
3.	Piecokuchnie, piece wolnostojące, kominki wg Ekoprojekt	1 008	81	25	15	30	24	405	150	11
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń ręcznie zasilane stałym paliwem kopalnym, piece z akumulacyjnymi kanałami, piece kaflowe, murowane, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; BaP (mg/GJ)										
1.	Piece kaflowe, konwencjonalne	2 797	300	430	112	495	409	405	202	150
2.	Piece wysokoefektywne, zaawansowane	1 375	80	60	15	65	55	405	150	14
3.	Piece kaflowe wg Ekoprojekt	900	25	30	10	35	30	405	150	11

Tabela 4 Propozycje wskaźników emisji z urządzeń zasilanych paliwami ciekłym i gazowym, kotły niezależnie od funkcji.

Lp.	Urządzenie grzewcze	Zanieczyszczenia							
		CO	OGC	TSP	PM10	PM2,5	SO ₂	NO _x	BaP
Kotły, Wskaźniki emisji EF, g/GJ; ¹⁾ BaP (mg/GJ)									
1.	Paliwa gazowe, gaz ziemny	26	1,9	1,2	1,2	1,2	0,3	51	0,00056
2.	Paliwa gazowe, LPG	26	1,9	1,2	1,2	1,2	0,3	51	0,00056
3.	Paliwa olejowe	57	0,69	1,9	1,9	1,9	79	51	0,08

Tabela 5 Struktura urządzeń grzewczych przyjęta dla roku bazowego 2022 oraz wybrane, właściwe dla nich parametry.

Paliwo	Typ i klasa urządzenia	liczba urządzeń	moc grzewcza, kW	stopień przewymiarowania	sprawność, %
Węgiel	Kotły tradycyjne z ręcznym podawaniem paliwa	1 323 259	20	0,45	75%
	Kotły ręczne zaawansowane	194 053	20	0,3	85%
	Kotły ręczne wg Ekoprojekt	350 379	20	0,3	90%
	Kotły automatyczne tradycyjne	775 092	18	0,3	82%
	Kotły automatyczne zaawansowane	113 666	16	0,3	86%
	Kotły automatyczne wg Ekoprojekt	205 232	15	0,3	92%
	Piece kaflowe/akumulacyjne konwencjonalne	951 300	8	0	80%
	Piece kaflowe/akumulacyjne zaawansowane	105 700	8	0	87%
	Piece kaflowe/akumulacyjne wg Ekoprojekt	0	8	0	90%
	Piecokuchnie konwencjonalne	712 335	8	0	53%
	Piecokuchnie zaawansowane	126 450	8	0	67%
	Piecokuchnie wg Ekoprojekt	4 215	8	0	75%
	Piece wolnostojące konwencjonalne	451 355	8	0%	60%
	Piece wolnostojące zaawansowane	0	8	0%	71%
	Piece wolnostojące wg Ekoprojekt	0	8	0%	75%
Biopaliwa stałe	Kotły tradycyjne z ręcznym podawaniem paliwa	778 152	20	0,45	75%
	Kotły zaawansowane na drewno, brykiet	114 114	20	0,3	85%
	Kocioł zgazowujący wg Ekoprojekt	217 043	20	0,3	91%
	Kotły pelletowe konwencjonalne	0	18	0,3	82%
	Kotły pelletowe zaawansowane	96 240	15	0,3	86%
	Kotły pelletowe wg Ekoprojekt	173 770	14	0,3	92%
	Piece kaflowe/akumulacyjne konwencjonalne	724 045	8	0	80%
	Piece kaflowe/akumulacyjne zaawansowane	317 100	8	0	87%
	Piece kaflowe/akumulacyjne wg Ekoprojekt	15 855	8	0	90%
	Piecokuchnie konwencjonalne	577 455	8	0	60%
	Piecokuchnie zaawansowane	252 900	8	0	67%
	Piecokuchnie wg Ekoprojekt	12 645	8	0	75%
	Kominki konwencjonalne	120 738	8	0	55%
	Kominki zaawansowane	743 836	8	0	71%
	Kominki wg Ekoprojekt	265 072	8	0	80%
	Piece pelletowe	6 000	8	0	84%
	Piece pelletowe wg Ekoprojekt	5 000	8	0	85%

Agregacja przeprowadzona została zgodnie z modelem statystyczno-emisyjnym zaproponowanym przez Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla (obecnie Instytut Technologii Paliw i Energii)⁴. Algorytm został zmodyfikowany dla dopasowania do dostępnych danych o strukturze urządzeń i paliw w tym informacji zawartych w Centralnej Ewidencji Emisyjności Budynków (CEEB)⁵. Udziały poszczególnych urządzeń w strukturze rynku szacowano na podstawie danych zawartych w raporcie IChPW, opracowania Ministerstwa Klimatu i

⁴ Opracowanie wskaźników emisji dla źródeł spalania paliw w sektorze komunalno-bytowym. MODUŁ I i MODUŁ II – raport z prac IChPW 2019

⁵ <https://zone.gunb.gov.pl/system-zone>

Środowiska⁶, danych GUS⁷, oraz danych pochodzących z CEEB. Biorąc pod uwagę jakość danych i ich strukturę postanowiono przyjąć jako podstawowy zestaw danych informacje zawarte w CEEB. Obliczenia prowadzono z wykorzystaniem opracowanego narzędzia informatycznego do agregacji wskaźników, przekazanego do stosowania przez zespół KOBIZE, IOŚ-PIB.

Opracowano zestaw danych cyfrowych obejmujący wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania dla paliw stosowanych i urządzeń w sektorze (tablice 1-3) strukturę i parametry zainstalowanych urządzeń (tablica 4) oraz:

- a. zapotrzebowanie na ciepło, na poziomie budynku mieszkalnego, z uwzględnieniem typu budynku wg Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT), liczby kondygnacji budynków mieszkalnych, rodzaju gminy, w jakiej znajduje się budynek: wiejska, miejska itp.,
- a. sezonową i dobową zmienność zapotrzebowania na ciepło oraz wydajności OZE,
- b. sposób pokrycia zapotrzebowania na ciepło na danym obszarze bilansowym (gmina, część miasta), określonym jako udział paliw (w podziale na następujące kategorie: węgiel, drewno, gaz, olej) oraz udział bezemisyjnego pokrycia zapotrzebowania na ciepło (sieć ciepłownicza, energia elektryczna, odnawialne źródła energii (OZE).

4.1.2.2 Analiza technicznych i pozatechnicznych metod zmniejszenia emisji

Analiza metod zmniejszenia emisji zanieczyszczeń z sektora, w tym w odniesieniu do polityk horyzontalnych i strategii na poziomie krajowym i europejskim, obejmowała:

- a. Przegląd i dyskusję odnośnych regulacji prawnych, strategii i scenariuszy zarówno krajowych jak i zagranicznych (w tym akty prawa lokalnego, jak np. „uchwały antysmogowe”),
- b. Przegląd technicznych metod redukcji emisji zanieczyszczeń, w tym zarówno metod pierwotnych jak i wtórnych (np. systemy zarządzania energią SMART, wysokosprawne kotły i MOP czy elektrofiltry),
- c. Przegląd pozatechnicznych środków ograniczenia emisji, w szczególności mechanizmów wsparcia finansowego dedykowanych dla działań adresowanych do przedmiotowego sektora (programy typu „Czyste Powietrze”).

⁶ „Szacunki danych o zużyciu energii w gospodarstwach domowych w 2020” publikacja Ministerstwa Klimatu i Środowiska: <https://www.gov.pl/web/klimat/badania-statystyczne> (7.05.2024)

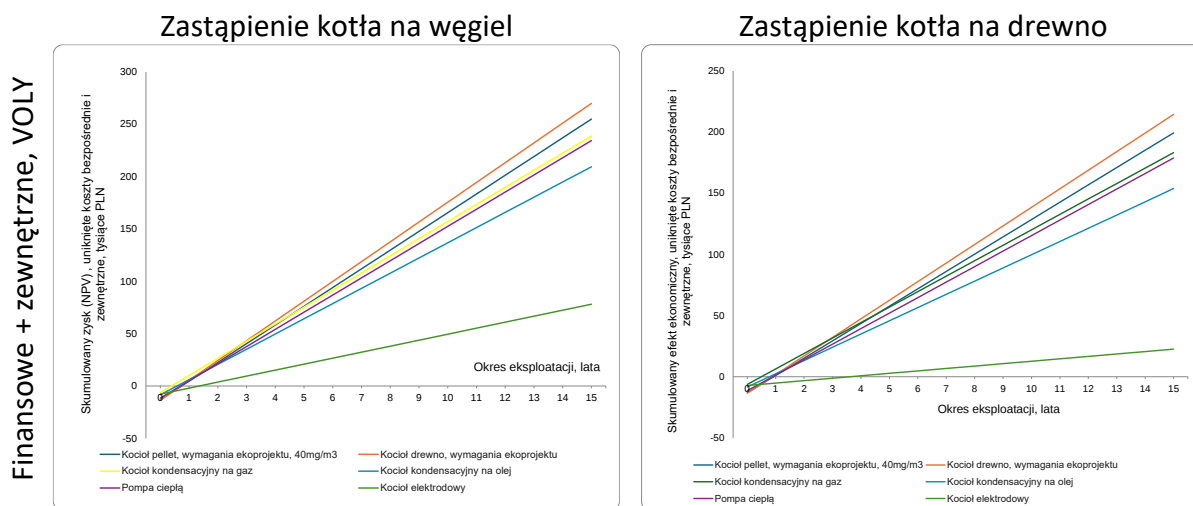
⁷ Zużycie nośników energii w gospodarstwach domowych w 2021 r. GUS; - <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-nosnikow-energii-w-gospodarstwach-domowych-w-2021-r-,13,1.html>

Ponadto, przeprowadzono porównawczą ocenę efektywności środowiskowej i ekonomicznej z uwzględnieniem kosztów finansowych i zewnętrznych dla wybranych opcji technicznych, w tym:

- kocioł na pellet, zgodny z ekoprojektem (TSP 40 mg/m³) oraz wyposażony w elektrofiltr i o podwyższonej klasie (TSP 20 mg/m³),
- kocioł zgazowujący na drewno zgodny z ekoprojektem (TSP 40 mg/m³) oraz o podwyższonej klasie (TSP 20 mg/m³),
- piec/kominek na drewno, piec na pellet, zgodne z ekoprojektem (TSP 40 mg/m³),
- kocioł kondensacyjny na gaz oraz na olej,
- pompa ciepła (powietrze/woda),
- kocioł elektrodowy.

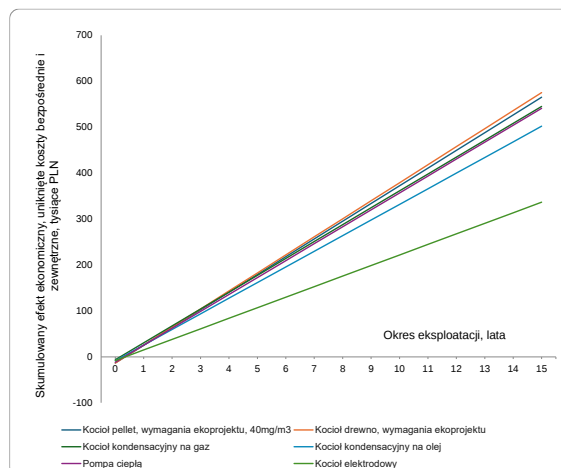
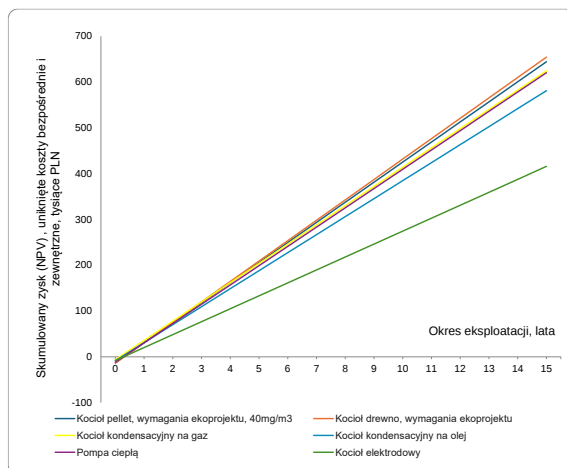
W ocenie wykorzystano indywidualne wskaźniki emisji zanieczyszczeń dla poszczególnych typów urządzeń grzewczych oraz przyjęte koszty inwestycyjne i eksploatacyjne a także koszty zewnętrzne (wg metod VOLY i VSL⁸). Rezultaty oceny wykorzystano w opracowaniu założeń do scenariuszy sektorowych BAU oraz MFR w obu przyjętych wariantach.

Obliczenia przeprowadzono dla przypadku domu jednorodzinnego o średnim rocznym zapotrzebowaniu na energię użyteczną równym 15 MWh. Założono żywotność urządzeń grzewczych równą 15 lat. Na podstawie przyjętych założeń i oszacowanego potencjału zmniejszenia emisji określono skumulowany efekt ekonomiczny wynikający z unikniętych kosztów bezpośrednich (koszt zakupu paliwa) oraz zewnętrznych (środowiskowych i zdrowotnych). Porównanie wykonano w odniesieniu do urządzeń konwencjonalnych na drewno i węgiel (kopciuchów). Obliczenia uwzględniają utratę wartości pieniądza w czasie, metodą NPV (ang. Net Present Value). Do obliczeń przyjęto wartość stopy dyskontowej 4%. Wyniki obliczeń przedstawiono w formie graficznej na wykresach (Rysunek 2).

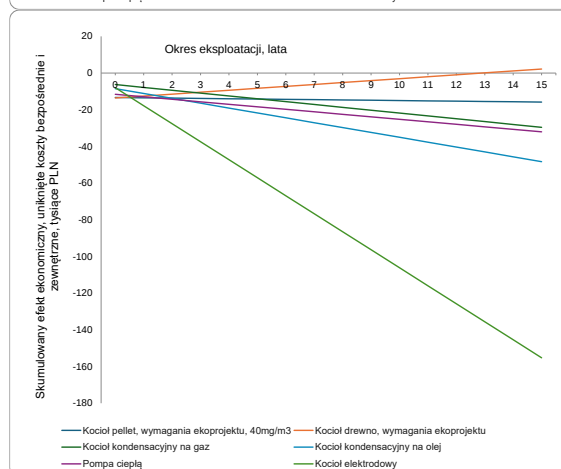
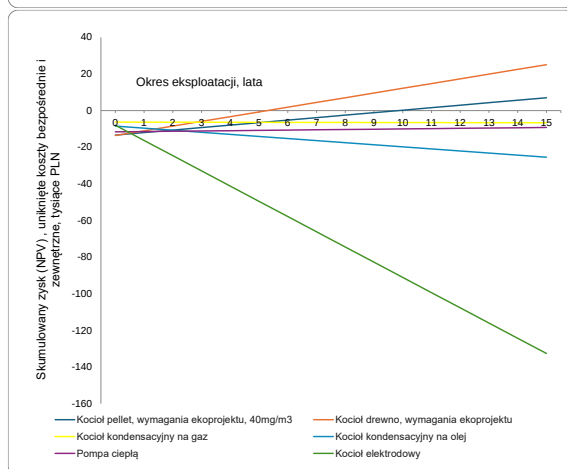


⁸ https://www.eea.europa.eu/publications/the-cost-to-health-and-the/technical-note_estimating-the-external-costs/view

Finansowe + zewnętrzne, VSL



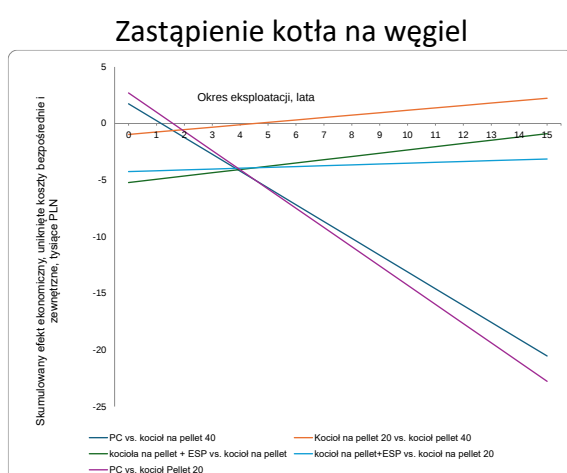
Finansowe bez zewnętrznych



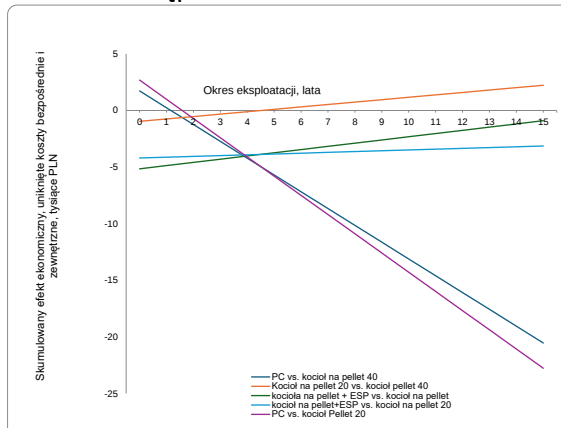
Rysunek 2 Porównanie skumulowanego zysku NPV analizowanych opcji przy zastąpieniu głównych źródeł emisji.

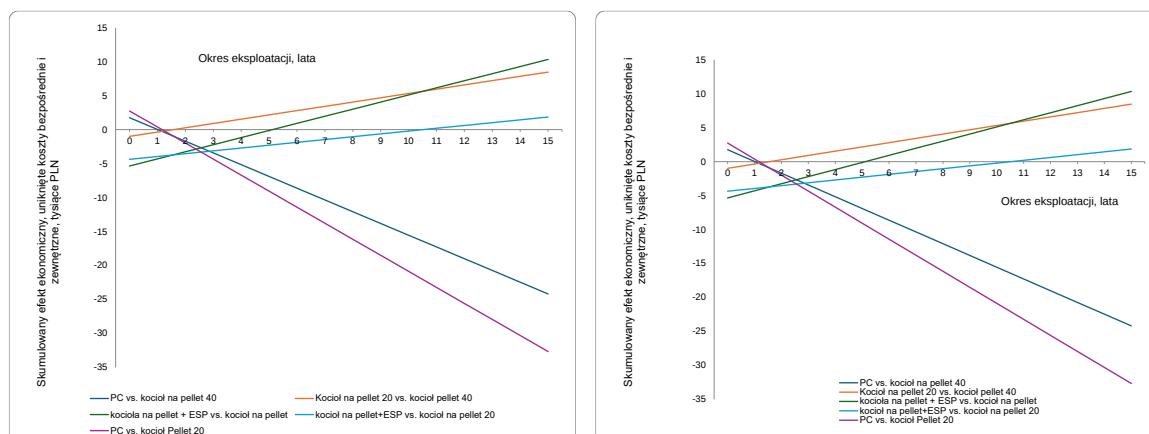
Ponadto, tzw. czyste źródła ciepła porównano ze sobą bezpośrednio uwzględniając koszty zewnętrzne i finansowe, wg metody VOLY oraz VSL (Rysunek 3).

Finansowe + zewnętrzne, VOLY



Zastąpienie kotła na drewno





Rysunek 3 Bezpośrednie porównanie dla tzw. czystych źródeł.

Wyniki prac studialnych oraz analizy porównawczej wykorzystane zostały do opracowania założeń w sektorowych scenariuszach BAU i MFR.

4.1.2.3 Sektorowe scenariusze zmniejszenia emisji zanieczyszczeń

Scenariusze opracowane zostały na podstawie założeń przyjętych w trzech obszarach: efektywności energetycznej, zmian struktury urządzeń oraz zmian dystrybucji obszarowej nośników energii.

Na podstawie analizy danych we wszystkich wskazanych obszarach przyjęto następujące założenia:

1. Zmniejszenie zapotrzebowania na energię - efektywność energetyczna

W scenariuszach MFR oraz BAU wykorzystano dane bazowe dla roku 2022 dotyczące źródeł ciepła tj. urządzeń na węgiel⁹, gaz ziemny¹, biomasę¹⁰ (biopaliwa stałe)², ciepła sieciowego¹, energię elektryczną¹¹ oraz pomp ciepła³ i OZE³, w sektorze komunalno-bytowym. Następnie przeprowadzono interpolację tych wartości do prognozowanych na rok 2040 z uwzględnieniem zmniejszenia zapotrzebowania na energię wynikającego z przyjętych strategii termomodernizacji.

W obu scenariuszach termomodernizacja budynków jest priorytetem, zgodnie z zasadą trójkąta energetycznego, co jest kluczowe dla poprawy efektywności energetycznej i redukcji zapotrzebowania na energię, prowadzącego do ograniczenia emisji zanieczyszczeń. Każdy ze scenariuszy opracowany został w 2 wariantach intensywności termomodernizacji budynków, odpowiadającej obniżeniu zapotrzebowania na energię użyteczną do 2040 roku o 20% (zgodnie z raportem „Czyste ciepło”³) i 60% (zgodnie z długoterminową strategią renowacji budynków, wariant głębokiej i szybkiej termomodernizacji¹²):

- Scenariusz BAU zakłada umiarkowane podejście do wykorzystania biomasy, która nie jest strategicznie priorytetowa, ale odgrywa znaczącą rolę. Węgiel zostaje wyeliminowany do roku 2035 a gaz pozostaje integralną częścią miksu energetycznego

⁹ „Zużycie paliw i nośników energii 2022” – Główny Urząd statystyczny – Portal GUS.pl (www.gus.pl)

¹⁰ „Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2021 i 2022” – Główny Urząd statystyczny – Portal GUS.pl (www.gus.pl)

¹¹ Raport „Czyste ciepło” – Ministerstwo Klimatu i Środowiska – Portal GOV.pl (www.gov.pl)

¹² Długoterminowa strategia renowacji budynków - Ministerstwo Rozwoju i Technologii - Portal Gov.pl (www.gov.pl)

do 2040 roku, przy czym jego udział jest stopniowo zmniejszany. Przyjęto, że OZE to kolektory słoneczne,

- Scenariusz MFR -20% zakłada intensywne wykorzystanie zasobów biomasy, biopaliw stałych nieprzetworzonych i przetworzonych (drewno kawałkowe i pellet), pozyskiwanych w sposób zrównoważony, jako stabilnego źródła energii odnawialnej. Zużycie biomasy przyjęto na poziomie zbliżonym do aktualnego bilansu dla sektora (dane GUS). Zdaniem autorów wykorzystanie krajowych zasobów biomasy może odegrać ważną rolę w transformacji energetycznej sektora,
- W przypadku głębokiej termomodernizacji, jak w scenariuszu MFR -60%, zużycie biomasy znacząco maleje dając potencjał na zasilenie sektora ciepłownictwa niewykorzystanym surowcem,
- W scenariuszach MFR węgiel zostaje wycofany z miksu energetycznego do roku 2035, podobnie jak w scenariuszu BAU. W scenariuszach MFR paliwa gazowe, kopalne są stopniowo zastępowane przez paliwa gazowe zdekarbonizowane (np. biometan). Energia elektryczna pełni tu rolę uzupełniającą w miksie energetycznym, z priorytetem dla energii odnawialnej.

2. Oba scenariusze zakładają zastąpienie emisyjnych źródeł na paliwa stałe przez:

- źródła tzw. bezemisyjne, w tym zasilane energią elektryczną (EE): przede wszystkim pompy ciepła (PC) oraz ogrzewanie elektryczne (kotły lub ogrzewacze),
- stosowanie kotłów i pieców na EE jako niskoefektywne, ograniczone zostaje do lokalizacji, w których brak jest możliwości zastosowania PC, kotłów na pellet i MOP na drewno/pellet,
- źródła wysokosprawne, niskoemisyjne na biopaliwa stałe, zgodne z ekoprojektem,
- zastosowanie palników na pellet lub gaz w piecach kaflowych w przypadku braku możliwości zastosowania innego źródła.

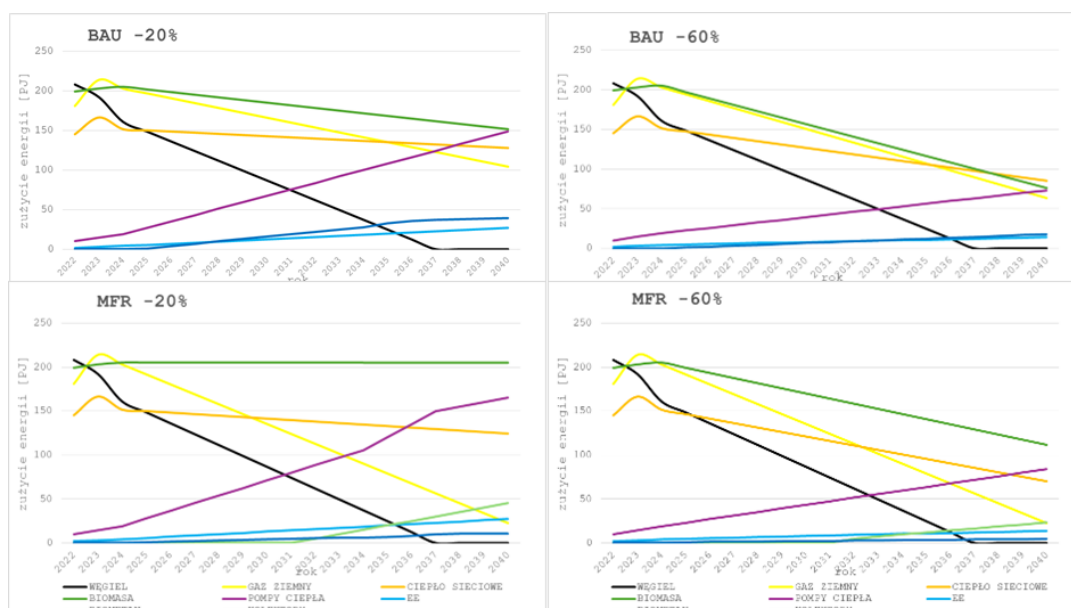
Dla scenariusza BAU

- Wszystkie kotły na węgiel zastąpione przez kotły na biopaliwa stałe (do maksymalnego potencjału biomasy) pozostała część zastąpiona przez źródła bezemisyjne (PC i KE w ograniczonym stopniu),
- Wszystkie kotły oraz MOP kominki i piece na biopaliwastałe zgodne z wymogami ekoprojektu,
- W grupie MOP, piece kaflowe oraz piecokuchnie na węgiel, konwencjonalne i zaawansowane:
 - 50% zmiana paliwa – węgiel zastąpiony przez drewno kawałkowe bez zmiany efektywności emisyjnej,
 - 50% zastąpienie przez źródła bezemisyjne.
- W grupie MOP, piece kaflowe oraz piecokuchnie na drewno:
 - 50% bez zmiany struktury i efektywności emisyjnej,
 - 50% zastąpienie przez źródła bezemisyjne.

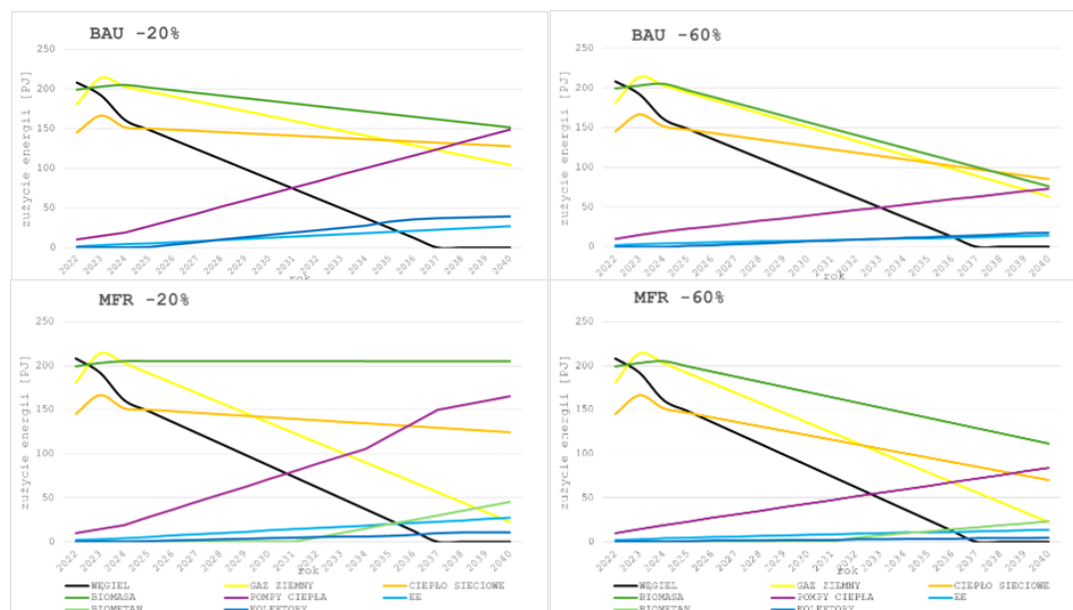
Dla scenariusza MFR

- kotły na węgiel zastąpione przez kotły na biopaliwa stałe (do maksymalnego potencjału biomasy),
 - pozostała część zastąpiona przez źródła bezemisyjne (PC, ogrzewanie elektryczne - kotły elektrodowe, w ograniczonym stopniu),
 - W grupie MOP, piece kaflowe oraz piecokuchnie:
 - zmiana paliwa – węgiel zastąpiony przez stałe biopaliwa (drewno kawałkowe lub pellet palniki peletowe), częściowo palniki gazowe (gaz ziemny).
 - Uwzględnienie wtórnych metod ograniczenia emisji zanieczyszczeń:
 - Wariant A – brak,
Wszystkie kotły i MOP na biopaliwa stałe zgodne z ekoprojektem
 - Wariant B,
Wszystkie kotły na biopaliwa stałe zgodne z ekoprojektem + filtry/elektrofiltry, zintegrowane w konstrukcji kotłów,
MOP zgodne z ekoprojektem – brak filtrów.
3. Struktura zużycia nośników energii – dystrybucja obszarowa; dane (KOBIZE) dla roku bazowego 2022 zmodyfikowano według następujących założeń:
- Zużycie gazu ziemnego - część gazu zostaje zastąpiona przez biometan, a pozostała część zostaje zastąpiona źródłami bezemisyjnymi,
 - Zużycie oleju zostało wyzerowane i zastąpione źródłami bezemisyjnymi,
 - W miastach dużych i wielkich wyeliminowano zużycie węgla i drewna i zastąpiono źródłami bezemisyjnymi,
 - W gminach wiejskich oraz małych i średnich miastach wyeliminowano zużycie węgla i zastąpiono zużyciem drewna. Istniejące zużycie drewna nie uległo zmianie.

Założone zmiany zużycia poszczególnych nośników energii przedstawiono w formie graficznej na wykresach (



Rysunek 4).



Rysunek 4 Zużycie energii według źródeł ciepła dla sektora komunalno-bytowego 2022-2040, scenariusze BAU oraz MFR.

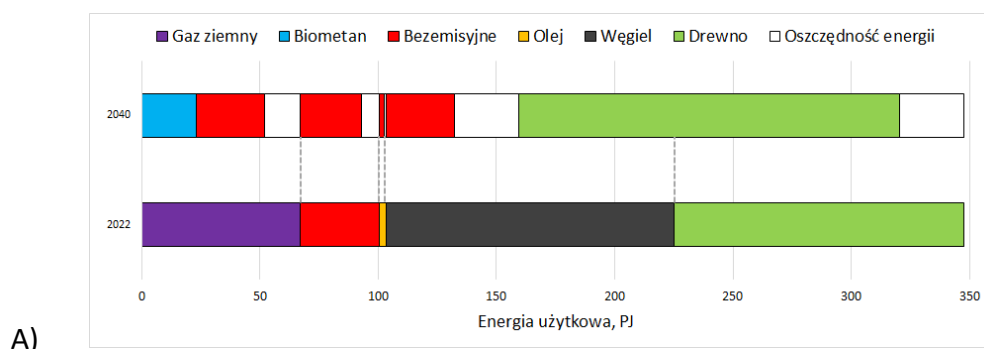
Struktura urządzeń grzewczych przyjęta dla roku docelowego 2040 wg scenariuszy oraz wybrane, właściwe dla nich parametry przedstawione została w Tabeli 6.

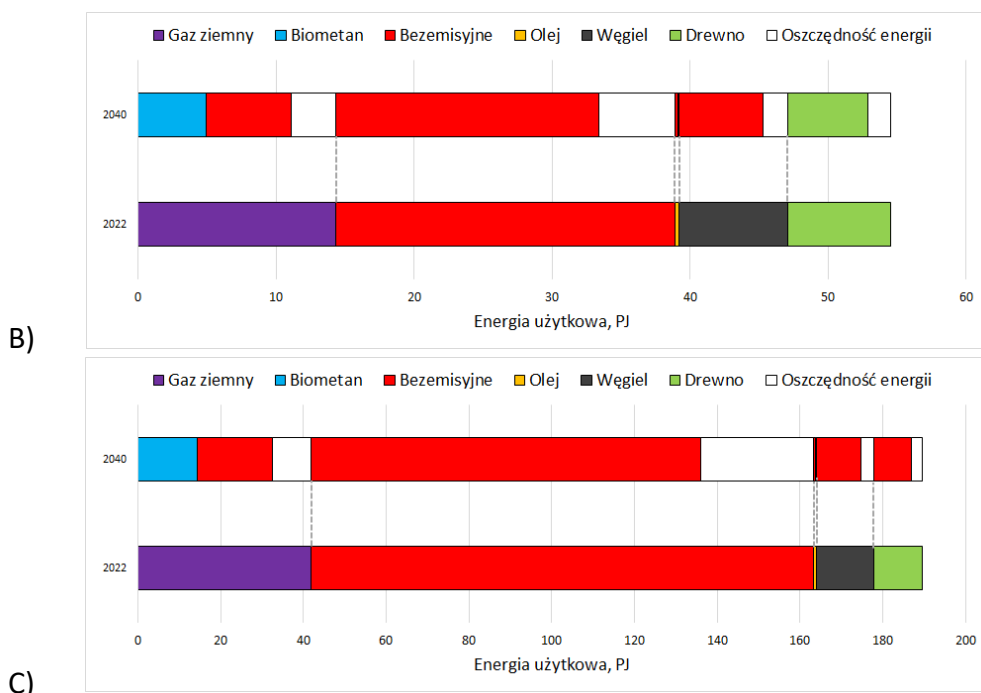
Tabela 6 Struktura urządzeń grzewczych przyjęta dla roku docelowego 2040.

Paliwo	Urządzenie, klasa urządzenia	liczba urządzeń	moc grzewcza, kW	stopień przewymiarowania	sprawność
Biopaliwa stałe BAU	Kotły tradycyjne z ręcznym podawaniem paliwa	0	20	0,45	75%
	Kotły zaawansowane na drewno, brykiet	0	20	0,3	85%
	Kocioł zgazowujący, Ekoprojekt	1109310	20	0,3	91%
	Kotły pelletowe konwencjonalne	0	18	0,3	82%
	Kotły pelletowe zaawansowane	0	15	0,3	86%
	Kotły pelletowe wg Ekoprojekt	716958	14	0,3	92%
	Piece kaflowe/akumulacyjne konwencjonalne	430397	8	0	80%
	Piece kaflowe/akumulacyjne zaawansowane	94946	8	0	87%
	Piece kaflowe/akumulacyjne Ekoprojekt	3157	8	0	90%
	Piecokuchnie konwencjonalne	329309	8	0	60%
	Piecokuchnie zaawansowane	88405	8	0	67%
	Piecokuchnie, Ekoprojekt	3786	8	0	75%
	Kominki konwencjonalne	0	8	0	55%
	Kominki zaawansowane	0	8	0	71%

Paliwo	Urządzenie, klasa urządzenia	liczba urządzeń	moc grzewcza, kW	stopień przewymiarowania	sprawność
	Kominki Ekoprojekt	1355323	8	0	80%
	Piece pelletowe		8	0	84%
	Piece pelletowe, Ekoprojekt	236677	8	0	85%
Biopaliwa stałe MFR A oraz B	Kotły tradycyjne z ręcznym podawaniem paliwa	0	20	0,45	75%
	Kotły zaawansowane na drewno, brykiet	0	20	0,3	85%
	Kocioł zgazowujący, Ekoprojekt	1109310	20	0,3	91%
	Kotły pelletowe konwencjonalne	0	18	0,3	82%
	Kotły pelletowe zaawansowane	0	15	0,3	86%
	Kotły pelletowe wg Ekoprojekt	716958	14	0,3	92%
	Piece kaflowe/akumulacyjne konwencjonalne	0	8	0	80%
	Piece kaflowe/akumulacyjne zaawansowane	0	8	0	87%
	Piece kaflowe/akumulacyjne Ekoprojekt	1057000	8	0	90%
	Piecokuchnie konwencjonalne	0	8	0	60%
	Piecokuchnie zaawansowane		8	0	67%
	Piecokuchnie, Ekoprojekt	843000	8	0	75%
	Kominki konwencjonalne	0	8	0	55%
	Kominki zaawansowane	0	8	0	71%
	Kominki Ekoprojekt	1355323	8	0	80%
	Piece pelletowe		8	0	84%
	Piece pelletowe, Ekoprojekt	236677	8	0	85%

Założone zmiany struktury użycia nośników energii przedstawiono w formie graficznej na wykresach Rysunek 5.





Rysunek 5 Zmiana struktury zużycia nośników energii do pokrycia zapotrzebowania na c.o. A) w gminach wiejskich i małych miastach, B) w średnich miastach C) w dużych i wielkich miastach.

4.1.2.4 Koszty bezpośrednie, finansowe oraz zewnętrzne, środowiskowe i zdrowotne

Analizę kosztów jednostkowych przeprowadzono zgodnie z metodyką przyjętą dla sektorów: transportu i elektroenergetycznego opisanych w opracowaniu „Produkt 8.1 Ekspertyza dotycząca kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń dla wyjściowego poziomu emisji dla sektora transportowego i sektora elektroenergetycznego”. Dla wskazanych zanieczyszczeń wartości bazowe stanowiły koszty zewnętrzne dla procesów spalania (inne źródła stacjonarne, other stationary GNFR C) oszacowane dla roku 2021 w opracowaniu „Estimating the external costs of industrial air pollution: Trends 2012-2021”¹³. W opracowaniu uwzględniano wartości VOLY (Value of Life Year) – wartość utraconych lat życia w wyniku narażenia na poszczególne substancje. VOLY jest niższą z dwóch wartości wyceny kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń (drugą jest VSL - wartość statystycznego życia) szacowanych na dwa różne sposoby. W przypadku emisji B(a)P przyjęto wartości charakterystyczne dla sektora transportu (określone w opracowaniu Produkt 8.1) jako wartości znacząco wyższe niż określone w opracowaniu EEA. Oszacowanie jednostkowych kosztów zewnętrznych na podstawie wartości bazowych obejmowało dodatkowe przeliczenia, w tym konwersję o parytet siły nabywczej, translację walutową, indeksację o inflację w Polsce i Unii Europejskiej, indeksację o Produkt Krajowy Brutto na mieszkańca (PKB per capita) w Polsce oraz w Unii Europejskiej.

Dla określenia korzyści tj. zysku z tytułu unikniętych kosztów zewnętrznych emisji, w wymiarze rocznym, wynikających z działań naprawczych ujętych w scenariuszach BAU i MFR, wykorzystano dane o emisjach wybranych zanieczyszczeń z sektora, dla roku bazowego 2022 i docelowego 2040 (opracowanie Pakiet 5).

¹³ Europejska Agencja Środowiska (EEA) we współpracy z European Topic Centre on Human Health and the Environment (ETC-HE) https://www.eea.europa.eu/publications/the-cost-to-health-and-the/technical-note_estimating-the-external-costs/view

Wielkości emisji w roku bazowym 2022 oraz docelowym 2040 według scenariuszy zmniejszenia emisji (BAU i MFR) wyznaczone zostały w oparciu o aktywności i zagregowane wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania węgla i drewna, właściwe dla sektora i scenariuszy; bazowego oraz BAU i MFR (Tabela 6).

Wyznaczone wielkości emisji pozwoliły na określenie efektu środowiskowego w postaci unikniętych, rocznych ładunków emisji zanieczyszczeń, zarówno dla scenariusza BAU jak i MFR. Wyznaczone wielkości tzw. unikniętej emisji wybranych zanieczyszczeń zostały wykorzystane do oszacowania rocznego zysku z tytułu unikniętych kosztów zewnętrznych, wynikających z przyjętych działań naprawczych, jako różnica pomiędzy wartościami skumulowanych kosztów zewnętrznych wyznaczonymi dla scenariusza bazowego a tymi wynikającymi ze scenariuszy BAU i MFR.

4.1.3 Kluczowe rezultaty prac badawczych

Na podstawie przeprowadzonych analiz oraz z wykorzystaniem opracowanych narzędzi wyznaczono zagregowane wskaźniki emisji zanieczyszczeń dla roku bazowego 2022 i docelowego 2040 wg założeń zgodnych ze scenariuszami. Wyniki obliczeń przedstawiono w Tabeli 7.

Tabela 7 Wartości zagregowanych wskaźników emisji zanieczyszczeń dla paliw stałych.

Scenariusz/Paliwo		Zagregowane wskaźniki emisji, g/GJ (BaP, mg/GJ)							
		FTSP	CPM	TSP	PM10	PM2,5	SO ₂	NO _x	B(a)P
Bazowy	Węgiel	397,1	174,4	571,5	402,3	314,2	430,7	192,6	277,5
	Drewno	193,9	257,8	451,8	426,4	411,2	10,8	73,3	86,5
BAU	Drewno	100,0	113,9	213,9	202,2	197,9	10,4	79,5	42,0
MFR_A	Drewno	15,1	14,2	29,4	26,5	24,7	10,5	84,1	2,2
MFR_B	Drewno	12,5	14,2	26,7	23,5	21,7	10,5	84,1	2,2

Na podstawie wyznaczonych wskaźników emisji obliczone zostały roczne ładunki zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery z sektora komunalno-bytowego (pakiet 5) według scenariuszy bazowego oraz BAU i MFR, w obu wariantach.

Wyliczone wielkości emisji wybranych zanieczyszczeń z sektora, dla roku bazowego 2022 i docelowego 2040 (opracowanie pakiet 5) zostały wykorzystane do określenia korzyści - zysku z tytułu unikniętych kosztów zewnętrznych emisji, w wymiarze rocznym, wynikających z działań naprawczych ujętych w scenariuszach BAU -20% i MFRA-60% (Tabela 8).

Tabela 8 Roczne koszty zewnętrzne emisji zanieczyszczeń z sektora i koszty uniknięte według scenariuszy, mln PLN/rok.

Scenariusz	Nazwa sektora	NMLZO	SO _x	NO _x	PM2,5	PM10	B(a)P	Razem
2022, 0_bazowy	P1 - Emisja bytowo-komunalna	1 220	9 228	5 651	71 170	6 646	3 037	96 952
2040, BAU -20%		340	190	1 783	19 083	245	318	21 959
2040, MFR -60%		71	252	2 163	3 164	136	22	5 808
Bazowy vs. BAU (koszty uniknione)		880	9 038	3 868	52 087	6 401	2 719	74 993

Bazowy vs. MFR (koszty uniknięte)	1 149	8 976	3 488	68 005	6 511	3 015	91 144
-----------------------------------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	--------

Część wyznaczonych efektów ekonomicznych wynika z działań naprawczych polegających na zastąpieniu urządzeń na paliwa stałe, kopalne przez urządzenia grzewcze zasilane energią elektryczną jak pompy ciepła czy kotły na prąd. W związku z tym na podstawie zmian zużycia energii końcowej w poszczególnych źródłach ogrzewania oraz zmniejszenia zużycia energii wynikającego z działań termomodernizacyjnych dla scenariuszy BAU i MFR określono współczynniki przeniesienia zysku pomiędzy sektorami komunalno-bytowym a elektroenergetycznym (Tabela 9).

Tabela 9 Roczne uniknięte koszty zewnętrzne emisji – przeniesienie pomiędzy sektorami z kom-byt do elektroenergetycznego, mln PLN/rok.

Scenariusz	Przeniesienie, %	NMLZO	SO _x	NO _x	PM2,5	PM10	B(a)P	Razem
2022, 0_bazowy	-	1 220	9 228	5 651	71 170	6 646	3 037	96 952
2040, BAU -20%	20,86	254	1 925	1 179	14 846	1 386	633	20 224
2040, MFR -60%	19,46	237	1 796	1 100	13 850	1 293	591	18 867

Na podstawie danych o strukturze urządzeń grzewczych oraz założeń dla scenariuszy określono łączną liczbę urządzeń wymagających wymiany do 2040 roku. Oszacowanie przeprowadzono dla obu grup urządzeń – zasilanych węglem i drewnem.

Wyznaczono ogólną liczbę urządzeń wymagających wymiany zgodnie ze scenariuszami. W grupie kotłów na paliwa stałe wymiana musi objąć 3 333 994 urządzenia, a w grupie MOP 2 934 464.

Na podstawie liczebności urządzeń oraz jednostkowych kosztów finansowych wybranych opcji technicznych (czystych źródeł) oszacowano ogólny koszt finansowy wymiany przestarzałych urządzeń grzewczych, zarówno w grupie kotłów (Tabela 9) jak i MOP (Tabela 10).

Tabela 10 Szacunkowy koszt wymiany kotłów i MOP według założeń scenariuszy.

Koszty inwestycyjne, źródło ciepła		
Pompa ciepła	PLN/szt	15 750
Kocioł na pellet (20mg/m³)		19 500
Kocioł na pellet, elektrofiltr (η=90%)		25 500
Kominek/piec na drewno (40mg/m³)		9 000
Piec na pellet (20mg/m³)		8 500
Łączny koszt wymiany, samych źródeł ciepła		
Pompa ciepła	mld PLN	52,5
Kocioł na pellet (20mg/m³)		65,0
Kocioł na pellet, elektrofiltr (η=90%)		85,0
Kominek/piec na drewno (40mg/m³)		26,4
Piec na pellet (20mg/m³)		24,9

Łączne koszty finansowe wymiany źródeł są wysokie i w zależności od wybranej opcji technicznej wahają się od około 79 mld PLN do około 110 mld PLN.

Wymianie źródeł ciepła towarzyszy zazwyczaj konieczna modernizacja instalacji grzewczej i kominowej. Praca nie obejmowała szczegółowej analizy tej składowej kosztów finansowych podobnie jak kosztów termomodernizacji. Biorąc jednak pod uwagę udział składowych kosztów w dofinansowaniach działań prośrodowiskowych realizowanych w ramach Programu Czyste Powietrze przyjąć można, że:

- Koszty finansowe modernizacji instalacji grzewczych, będą 2-3 krotnie większe niż koszty wymiany samych źródeł ciepła, co daje łączną kwotę 200-300mld PLN,
- Pełna, głęboka termomodernizacja odpowiadająca scenariuszom BAU-60% oraz MFR-60% (zgodnie ze Długoterminową strategią renowacji budynków¹⁴) może być warta około 1 540 mld PLN¹⁵,
- Termomodernizacja odpowiadająca scenariuszom BAU-20% oraz MFR-20% może odpowiednio tańsza, jej koszt jest jednak nadal wysoki i może sięgać 510 mld PLN.
- Powyższe kwoty nie uwzględniają kosztów związanych ze zwiększonym zużyciem energii elektrycznej, które opisane są w rozdziale 4.4.

4.1.4 Wnioski

Wyniki przeprowadzonej analizy prowadzą do następujących wniosków:

- Ocena dostępnych rozwiązań technicznych o obniżonej emisji zanieczyszczeń wskazuje na wyraźny pozytywny efekt środowiskowy i ekonomiczny, zdyskontowany zysk netto, wynikający z unikniętych kosztów zewnętrznych wskutek wymiany przestarzałych urządzeń grzewczych na paliwa stałe,
- Ze względu na niższe koszty eksploatacyjne kotły na biopaliwa stałe (rys.2. i 3), w tym drewno są najkorzystniejszą opcją spośród porównywanych. Biorąc pod uwagę koszty, zewnętrzne źródła na biopaliwa stałe ponownie wydają się być opcją najkorzystniejszą, nawet przy założeniu wartości wskaźników emisji zanieczyszczeń (tab. 3.), wyższych niż dopuszczalne wg Rozporządzenia Ekoprojekt, uwzględniających rzeczywiste warunki eksploatacji. Dane osiągnięte w projekcie wskazują, że efektywność środowiskowa tych źródeł przewyższa pompy ciepła i kotły elektrodowe ze względu na neutralność klimatyczną nowoczesnych źródeł bioenergii. Niskoemisyjne urządzenia na stałe biopaliwa są równo cennymi alternatywami dla PC, korzystnie kompensującymi problem „powszechnej elektryfikacji”. Biopaliwa stałe – nowoczesna bioenergia (wg. IEA – International Energy Agency), nie stanowią zagrożenia środowiskowego. Muszą one być istotnym komponentem przyszłego miksu energetycznego w sektorze. Rozważyć można promowanie/wsparcie dla BAT/BNAT, stymulowanie rynku, np. elektrofiltrowanie, jako opcji dodatkowo wspieranej (podwyższenie poziomu dofinansowania). W tym przypadku ważne jest jednak kontrolowanie poziomu gotowości rynkowej technologii (ang. Technology Readiness Level, TRL),
- W przyjętych, bieżących warunkach szacowania najniższą efektywnością ekonomiczną

¹⁴ <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/Dlugoterminowa-strategia-renowacji-budynkow>

¹⁵ [builderpolska.pl, Co ze strategią renowacji, 2025 https://builderpolska.pl/2025/01/29/co-ze-strategia-renowacji/](https://builderpolska.pl/2025/01/29/co-ze-strategia-renowacji/) [dostęp online 26.05.2025]

charakteryzują się kotły na prąd. Potwierdza to poprawność założeń przyjętych dla scenariuszy działań – ich stosowanie należy ograniczyć wyłącznie do przypadków gdzie inne czyste źródła nie mogą być instalowane,

- Ponadto, jeśli przyjąć wyższą wycenę kosztów zewnętrznych zgodnie z metodą VSL, to wtórne metody ograniczenia emisji (BAT, takie jak elektrofiltr) stają się rozwiązaniem efektywnym kosztowo, szczególnie jeśli wziąć pod uwagę możliwość uwzględnienia ich w przyszłości jako opcji dotowanej w ramach dedykowanych programów jak Program „Czyste Powietrze”,
- Scenariusz BAU w sektorze prowadzi do głębokiego zmniejszenia emisji, jest efektywny kosztowo nawet dla metody szacowania kosztów zewnętrznych VOLY,
- Scenariusz MFR jest bardziej efektywny i nieco bardziej kosztowny jeśli chodzi o wymianę źródeł, jednak koszty termomodernizacji są istotnie wyższe (około 1blnPLN),
- Chociaż koszty finansowe analizowanych działań są wysokie a czas zwrotu względnie długi to działania zgodne ze scenariuszami opracowanymi dla sektora charakteryzują się pozytywną stopą zwrotu,
- W zakresie porównania poszczególnych opcji technicznych ujętych w scenariuszach działań BAU i MFR, w szczególności źródeł ciepła charakteryzujących się niezerową emisją CO₂, analiza w kolejnych ujęciach powinna uwzględniać koszty wdrożenia systemu ETS2 w zakresie stosowania paliw kopalnych w sektorze komunalno-bytowym.

4.2 Sektor transportu

4.2.1. Wstęp

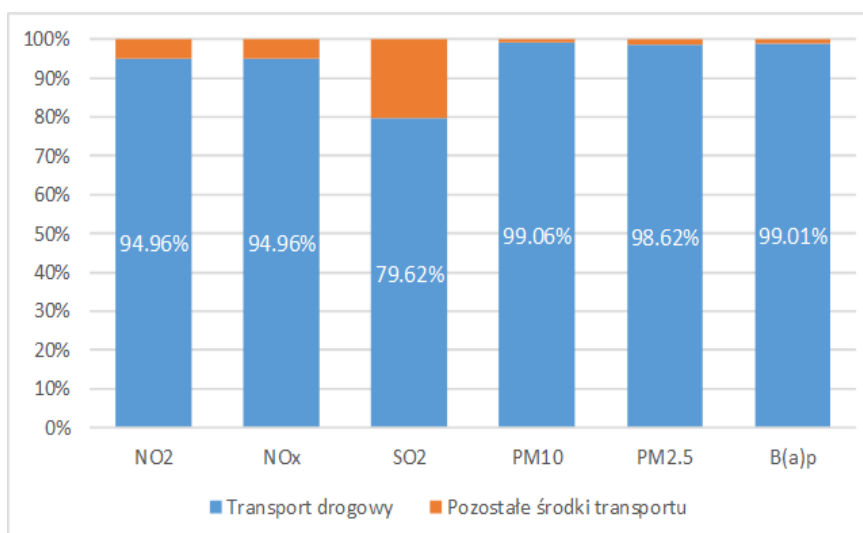
Na potrzeby raportowana do Konwencji Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości (*The Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution – CLRTAP*) oraz do Unii Europejskiej zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych (tzw. Dyrektywa NEC) prowadzona jest inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń, obejmująca również sektor transportu przez KOBiZE IOŚ-PIB.

Do wyznaczania emisji zanieczyszczeń ze środków transportu są wykorzystywane informacje przede wszystkim o:

- zużyciu paliw,
- liczności środków transportu,
- aktywności użytkowania środków transportu (przebiegów rocznych).

Sektor transportu jest jednym z większych źródeł emisji zanieczyszczeń w kraju. W ramach sektora transportu rozpatrywane są następujące kategorie: transport drogowy, transport kolejowy, transport wodny (żegluga) oraz transport lotniczy.

Na Rysunek 6 pokazano udział krajowej emisji zanieczyszczeń z pojazdów drogowych w całkowitej emisji zanieczyszczeń z sektora transportu w 2022 roku według raportu KOBiZE¹⁶.



Rysunek 6 Udział krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń z pojazdów drogowych w całkowitej emisji zanieczyszczeń z sektora transportu w roku 2022.

Jak widać dominującym źródłem emisji zanieczyszczeń ze środków transportu są pojazdy drogowe. Jedynie w wypadku emisji dwutlenku siarki znaczący jest udział transportu pozadrogowego jako źródła emisji tego zanieczyszczenia. **Dlatego główne działania mające na celu zmniejszenie emisji dotyczą w tym sektorze transportu drogowego.**

¹⁶ „Poland’s Informative Inventory Report 2024”, KOBiZE, IOŚ-PIB, Warszawa 2024.

Ogólne tendencje w zmianach transportu drogowego, mające na celu zmniejszenie emisji zanieczyszczeń, obejmują przede wszystkim zmianę struktury pojazdów drogowych. Działania te polegają na eliminacji starych i niesprawnych pojazdów, zastępowaniu pojazdów o niskich kategoriach emisji (według norm Euro) pojazdami charakteryzującymi się najlepszymi parametrami środowiskowymi, a także na zwiększaniu udziału pojazdów elektrycznych. Istotnym elementem jest również stopniowe zastępowanie transportu indywidualnego transportem zbiorowym, zwłaszcza wykorzystującym napędy elektryczne. Dodatkowo, wprowadzane są zmiany w organizacji ruchu drogowego poprzez modyfikacje infrastruktury oraz zarządzania ruchem, co prowadzi do ograniczenia udziału pojazdów generujących duże utrudnienia, szczególnie w warunkach zatorów ulicznych. Należy zauważyć, że wprowadzenie tak znaczących zmian w transporcie w skali całego kraju oznacza spełnienie (w skali kraju) znacznej części kryteriów stref czystego transportu. Dlatego w opracowaniu nie zakładano dodatkowych, lokalnych stref czystego transportu.

Z uwagi na to, że to transport drogowy ma dominujący wpływ na emisje w sektorze transportu, to działania w obszarze tego podsektora miały największe znaczenie w ograniczaniu emisji w prognozowanych scenariuszach BAU i MFR. Do realizacji pracy wykorzystano wyniki ekspertyz i raportów, m.in. scenariusze prognozy WEM – *With Existing Measures* (z uwzględnieniem istniejących środków) i WAM – *With Additional Measures* (z dodatkowymi środkami) pochodzące z aktualizacji Krajowego Planu w dziedzinie Energii i Klimatu.

Pojazdy drogowe, wzięte pod uwagę w obu analizowanych scenariuszach, podzielono na kategorie zgodnie z kryteriami: zastosowania pojazdów drogowych, umownej wielkości pojazdów drogowych (samochody osobowe, lekkie samochody ciężarowe, samochody ciężarowe, autobusy miejskie, autobusy dalekobieżne, pojazdy kategorii L – motocykle, motorowery, quady, mikrosamochody), rodzaj przetwornika energii, układu napędowego pojazdu drogowego, nośnika energii, poziomu technicznego pojazdu drogowego, mającego wpływ na emisję zanieczyszczeń (kategorie Euro).

Zmiany w analizowanych scenariuszach obejmowały zmiany struktury pojazdów oraz zmiany sposobu korzystania z pojazdów. Zmiany struktury pojazdów obejmowały zwiększenie udziału pojazdów spełniających wyższe normy emisji (Euro), oraz pojazdów elektrycznych, a także promowanie transportu zbiorowego zamiast indywidualnego. Zmiany sposobu korzystania z pojazdów natomiast uwzględniały w szczególności stabilizację prędkości i ograniczenie jazdy w zatorach ulicznych, co wpływa na zmniejszenie dynamicznego obciążenia silników spalinowych, zmniejsza emisję zanieczyszczeń (zarówno z silników jak i ze źródeł trybologicznych) oraz zużycie paliwa.

W obliczeniach krajowej emisji rocznej z transportu drogowego wykorzystano oprogramowanie COPERT (*Computer Programme to Calculate Emissions From Road Transport*) zgodne z procedurą EMEP/EEA (*European Monitoring and Evaluation Programme/European Environment Agency*), które stosowane jest do wyznaczania krajowej emisji rocznej z transportu drogowego w większości krajów europejskich. Program COPERT działa w oparciu o dane wejściowe, takie jak: liczność pojazdów kategorii elementarnych (samochody osobowe, ciężarowe, autobusy, pojazdy kategorii L), przebiegi roczne pojazdów,

warunki ruchu (średnie prędkości, a także udziały długości drogi przebywanej w warunkach zatorów ulicznych w miastach, poza zatorami w miastach, na drogach pozamiejskich oraz na drogach ekspresowych i autostradach), warunki atmosferyczne (np. temperatura i wilgotność powietrza).

Emisja drogowa zanieczyszczeń powietrza wyznaczana jest na podstawie wyników badań empirycznych i danych literaturowych i obejmuje poniższe dane:

- krajowa emisja roczna zanieczyszczeń obejmująca m.in.: tlenki azotu – NO_x, tlenki siarki – SO_x, pyły (ze spalania oraz procesów trybologicznych), lotne związki organiczne – LZO, tlenek węgla – CO, metan – CH₄, metale ciężkie, trwałe zanieczyszczenia organiczne,
- krajowa emisja roczna zanieczyszczeń w podziale na emisję tzw. „zimną” (dla rozruchu nienagrzanego silnika), emisję tzw. „gorącą” (po osiągnięciu normalnej temperatury silnika) i emisję całkowitą oraz w podziale na warunki drogowe dla każdej z kategorii elementarnej pojazdów.

Na podstawie ekspertyzy¹⁷ dotyczącej oceny organizacyjnych i technicznych sposobów ustabilizowania i ograniczania ruchu pojazdów drogowych w miastach, wyznaczono średnie prędkości oraz udziały długości drogi przebywanej przez pojazdy w modelowych warunkach ruchu, wykorzystane w obliczeniach dla scenariusza MFR. Rozwiązania te dotyczyły zastosowania inteligentnych systemów zarządzania ruchem oraz rozwiązań ograniczania ruchu określonych kategorii pojazdów drogowych. Należy podkreślić, że stabilizacja ruchu (zwiększenie płynności ruchu) ogranicza emisję zanieczyszczeń i zużycie nawierzchni, co pozytywnie wpływa na środowisko miejskie.

4.2.2. Scenariusze prognozy BAU i MFR w transporcie drogowym

W ramach założeń w scenariuszu BAU zaprognozowano licznosc pojazdów w kategoriach skumulowanych z uwzględnieniem kategorii ekologicznych ze względu na emisję zanieczyszczeń (kategorie Euro) oraz zużycie paliw i energii w oparciu o ekspertyzę Instytutu Transportu Samochodowego¹⁸. Rozróżniono strukturę pojazdów w miastach i poza miastami zakładając znacznie większy udział pojazdów elektrycznych w miastach, wpisując się w założenia tworzenia stref czystego transportu. Założono zwiększanie udziału transportu zbiorowego realizowanego pojazdami elektrycznymi (BEV), a także zwiększanie udziału transportu kolejowego (pasażerskiego i towarowego).

Liczba pojazdów drogowych (spalinowych i elektrycznych) w kategoriach skumulowanych została przedstawiona w Tabeli 11, a liczba pojazdów elektrycznych w kategoriach skumulowanych – w Tabeli 12.

Tabela 11 Liczba pojazdów drogowych (spalinowych i elektrycznych) w kategoriach

¹⁷ Ekspertyza w sprawie oceny organizacyjnych sposobów ustabilizowania i ograniczania ruchu pojazdów drogowych w miastach, Politraffic Sp. z o.o., Warszawa 2024.

¹⁸ Opracowanie prognoz zmian aktywności w sektorze transportu drogowego. Raport końcowy. Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie. Raport Nr 12160/COS.

skumulowanych w scenariuszu BAU [szt.].

Kategoria	2022	2025	2030	2035	2040
Samochody osobowe	19 495 888	20 171 273	21 341 811	23 494 752	26 060 236
Samochody lekkie ciężarowe	2 330 534	2 695 607	2 863 769	3 078 740	3 452 313
Samochody ciężarowe	797 981	776 110	779 430	769 439	777 933
Autobusy miejskie i dalekobieżne	78 796	69 268	68 042	65 719	62 036
Pojazdy kat. L	2 394 781	2 997 699	2 803 709	2 715 796	2 921 262

Tabela 12 Liczba pojazdów elektrycznych w kategoriach skumulowanych w scenariuszu BAU [szt.].

Kategoria	2022	2025	2030	2035	2040
Samochody osobowe	31 245	67 876	243 014	482 118	841 611
Samochody osobowe PHEV	30 321	51 847	201 474	480 088	837 761
Samochody dostawcze	2 948	8 748	40 582	122 396	257 395
Autobusy miejskie	821	1 609	3 181	4 962	6 752

W ramach założeń w scenariuszu MFR zaprognozowano licznosc pojazdów w kategoriach skumulowanych z uwzględnieniem kategorii ekologicznych ze względu na emisję zanieczyszczeń (kategorie Euro) w oparciu o skorygowane licznosci pojazdów według ekspertyzy Instytutu Transportu Samochodowego. W latach prognozy kategorię ekologiczną pojazdów Pre Euro ograniczono do zera i wyraźnie zmniejszono licznosc pojazdów w kategoriach Euro I i II, częściowo zastępując je pojazdami kategorii Euro 6 i Euro 7. Liczba elektrycznych pojazdów drogowych w Polsce została zaprognozowana zgodnie ze scenariuszem zielonym Polskich Sieci Elektroenergetycznych (PSE)¹⁹. Zużycie paliw i energii przyjęto według skorygowanego scenariusza WAM wg Agencji Rynku i Energii, wykorzystanego jako wkład do obliczeń w Krajowym Planie na rzecz Energii i Klimatu. Dodatkowo założono zmiany w charakterze ruchu pojazdów. Po pierwsze założono zwiększenie prędkości średnich w różnych warunkach ruchu (szczególnie w miastach w zatorach ulicznych, ale również w miastach poza zatorami ulicznymi, poza miastami oraz na drogach ekspresowych i autostradach). Ustabilizowanie procesu prędkości pojazdów drogowych ma wpływ na zmniejszenie udziału stanów dynamicznych pracy silnika i – w konsekwencji – sprzyja zmniejszeniu emisji zanieczyszczeń oraz zużycia paliwa. Po drugie założono zmniejszenie udziału ruchu pojazdów w miastach (za wyjątkiem autobusów miejskich) i na drogach pozamiejskich oraz zwiększono udział w ruchu pojazdów na drogach ekspresowych i na autostradach. Zmniejszenie udziału czasu jazdy pojazdów drogowych w zatorach ulicznych sprzyja pracy silników spalinowych przy małych obciążeniach, dla których zazwyczaj jest duża emisja tlenku węgla i związków organicznych, a przy przyspieszeniach pojazdów w takich warunkach występuje zwiększenie emisji tlenków azotu oraz cząstek stałych z silników oraz ze źródeł trybologicznych. Dodatkowo założono zmniejszenie przebiegów pojazdów drogowych napędzanych silnikami spalinowymi proporcjonalnie do stosunku liczby pojazdów drogowych kategorii skumulowanych napędzanych silnikami

¹⁹ Prognoza zapotrzebowania na energię i moc wynikająca z rozwoju elektromobilności w Polsce. Departament Rozwoju Systemu PSE S.A., czerwiec 2024 r.

elektrycznymi i liczby pojazdów drogowych kategorii skumulowanych napędzanych silnikami spalinowymi. Rozróżniono strukturę pojazdów w miastach i poza miastami zakładając znacznie większy udział pojazdów elektrycznych w miastach, wpisując się w założenia tworzenia stref czystego transportu. Założono maksymalizację udziału transportu zbiorowego realizowanego pojazdami elektrycznymi na rzecz ograniczenia liczby spalinowych pojazdów osobowych, a także maksymalizację udziału transportu kolejowego (pasażerskiego i towarowego).

Liczba pojazdów drogowych (spalinowych i elektrycznych) w kategoriach skumulowanych została przedstawiona w Tabeli 13, a liczba pojazdów elektrycznych w kategoriach skumulowanych – w Tabeli 14)

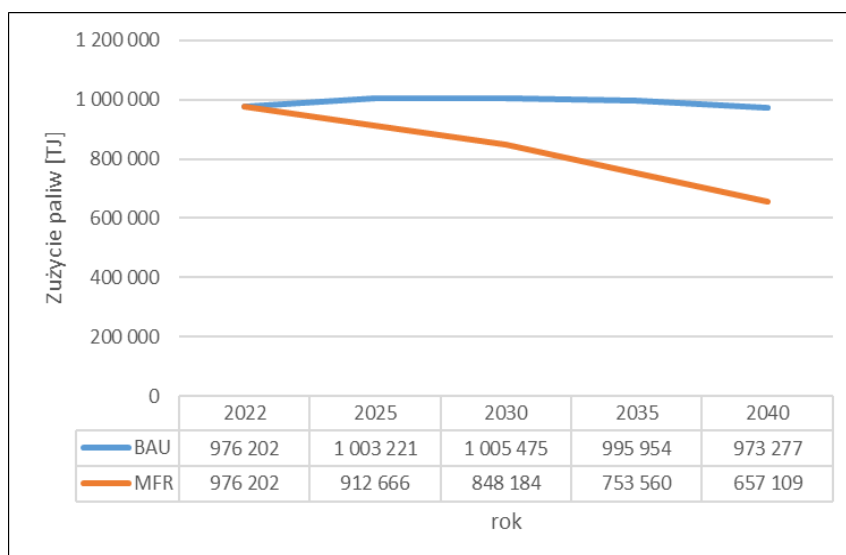
Tabela 13 Liczba pojazdów drogowych (spalinowych i elektrycznych) w kategoriach skumulowanych w scenariuszu MFR [szt.].

Kategoria	2022	2025	2030	2035	2040
Samochody osobowe	19 495 888	19 527 909	19 645 999	19 742 745	20 303 218
Samochody lekkie ciężarowe	2 330 534	2 375 463	2 422 950	2 485 229	2 481 135
Samochody ciężarowe	797 981	827 983	854 104	839 771	814 111
Autobusy miejskie i dalekobieżne	78 796	75 771	76 980	75 257	75 997
Pojazdy kat. L	2 394 781	2 720 656	3 120 314	3 499 367	3 802 973

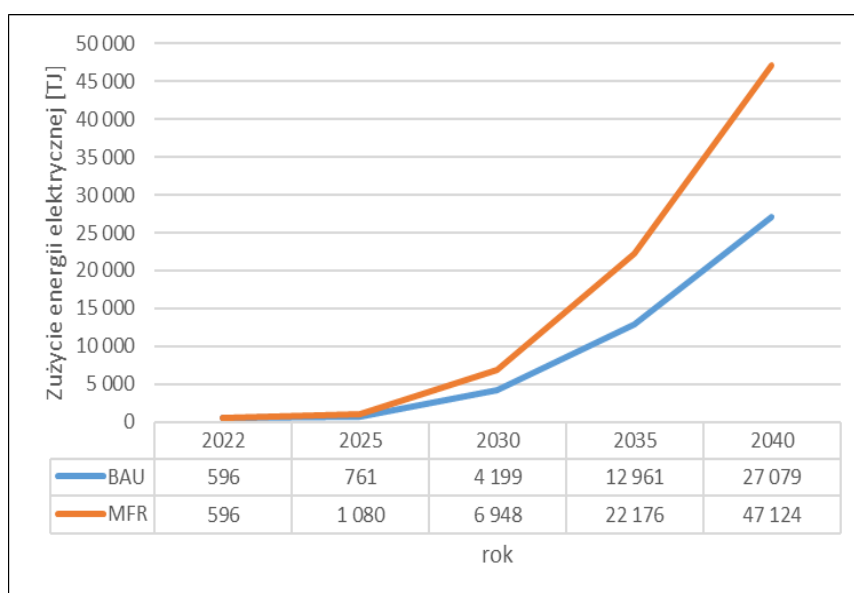
Tabela 14 Liczba pojazdów elektrycznych w kategoriach skumulowanych w scenariuszu MFR [szt.].

Kategoria	2022	2025	2030	2035	2040
Samochody osobowe	31 245	127 227	738 500	2 343 190	4 978 259
Samochody osobowe PHEV	30 321	97 806	374 979	832 300	1 339 179
Samochody dostawcze	2 948	18 660	131 475	373 935	671 834
Autobusy miejskie	821	1 690	3 340	5 210	7 090

Na Rysunek 7 i Rysunek 8 przedstawiono zużycie paliw i energii elektrycznej zgodnie z powyżej przytoczonymi założeniami w obu analizowanych scenariuszach prognozy.



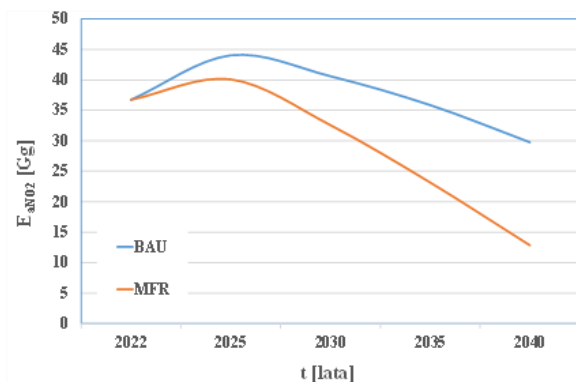
Rysunek 7 Zużycie paliw w scenariuszu BAU i MFR w transporcie drogowym w latach prognozy.



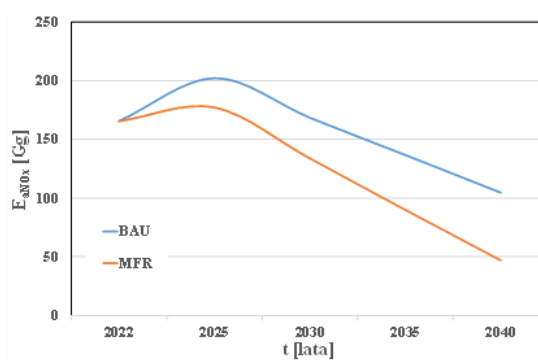
Rysunek 8 Zużycie energii elektrycznej w scenariuszu BAU i MFR w transporcie drogowym w latach prognozy.

4.2.3. Krajowa emisja roczna zanieczyszczeń z pojazdów drogowych

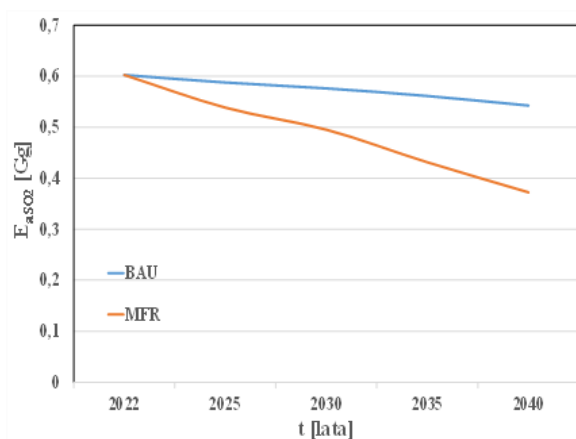
W ramach realizacji pracy wyznaczono charakterystyki emisji zanieczyszczeń – zależność emisji drogowej zanieczyszczeń od prędkości średniej pojazdu. Wyniki te posłużyły do rozkładu przestrzennego emisji zanieczyszczeń w kraju. Na podstawie wyznaczonych charakterystyk emisji zanieczyszczeń z pojazdów drogowych oraz prognoz liczności pojazdów i ich przebiegów, wyznaczono krajową emisję zanieczyszczeń z transportu drogowego dla dwóch scenariuszy w latach prognozy.



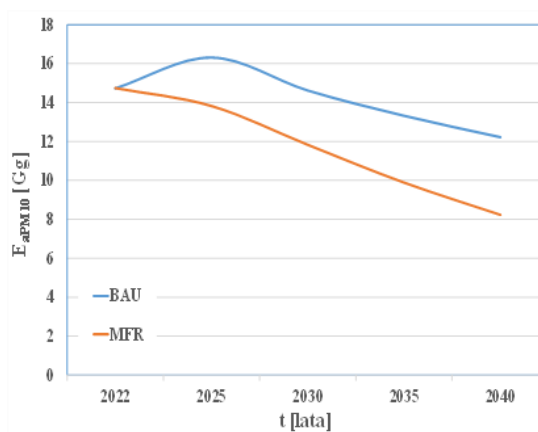
Rysunek 9 Przebieg krajowej emisji rocznej z pojazdów drogowych – E_a dwutlenku azotu – NO_2 dla lat bilansowania dla scenariuszy BAU i MFR.



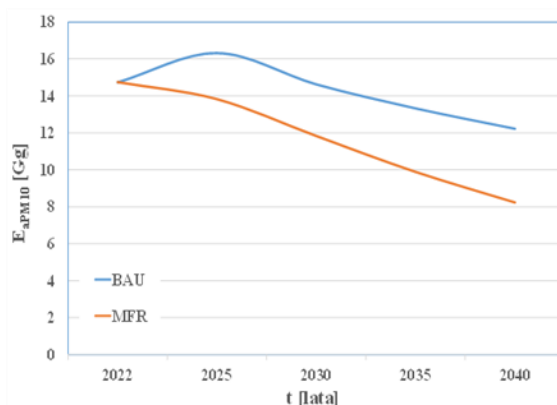
Rysunek 10 Przebieg krajowej emisji rocznej z pojazdów drogowych – E_a tlenków azotu – NO_x dla lat bilansowania dla scenariuszy BAU i MFR.



Rysunek 11 Przebieg krajowej emisji rocznej z pojazdów drogowych – E_a dwutlenku siarki – SO_2 dla lat bilansowania dla scenariuszy BAU i MFR.



Rysunek 12 Przebieg krajowej emisji rocznej z pojazdów drogowych – E_a cząstek stałych PM_{10} dla lat bilansowania dla scenariuszy BAU i MFR.



Rysunek 13 Przebieg krajowej emisji rocznej z pojazdów drogowych – E_a cząstek stałych $PM_{2,5}$ dla lat bilansowania dla scenariuszy BAU i MFR.

Wyraźne zmniejszenie krajowej emisji rocznej badanych zanieczyszczeń z pojazdów drogowych widoczne jest już dzięki wprowadzeniu scenariusza BAU, a szczególnie widoczne – w przypadku wprowadzenia scenariusza MFR.

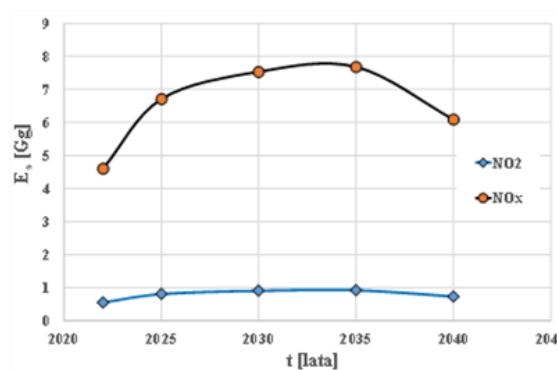
4.2.4. Pozostałe rodzaje transportów

Ocena emisji zanieczyszczeń, zużycia paliwa i energii w innych rodzajach transportu wynika głównie z częściowego zastępowania transportu drogowego transportem mieszanym, szczególnie multimodalnym i bimodalnym. Transport multimodalny obejmuje przewóz towarów różnymi gałęziami transportu z możliwością przeładunku, natomiast transport intermodalny (kombinowany) nie wymaga zmiany jednostki ładunkowej. W Polsce transport lotniczy i wodny są mniej konkurencyjne wobec drogowego i kolejowego ze względu na ograniczenia infrastrukturalne i odległości, dlatego najbardziej uzasadnionym rozwiązaniem jest bimodalny transport drogowo-kolejowy.

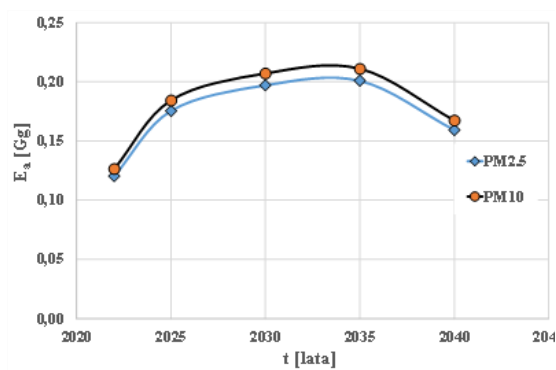
W latach prognozy zakłada się znaczny wzrost popytu na transport kolejowy, co wiąże się z poprawą jakości świadczonych usług i rozwojem tzw. kolei dużych prędkości. Ponadto prognozowany jest rozwój kolei, nie tylko elektrycznej, która jest wykorzystywana w dużej mierze do przewozów pasażerskich, ale także tej wyposażonej w silniki spalinowe (zwiększanie pracy przewozowej), które są wykorzystywane głównie do przewozów towarowych.

Emisja zanieczyszczeń w transporcie kolejowym wynika ze zużycia paliw ciekłych (oleju napędowego) przez lokomotywy wyposażone w silniki spalinowe. Prognozowane zużycie paliw, które wykorzystano na potrzeby obliczeń emisji zanieczyszczeń w transporcie kolejowym w scenariuszach BAU i MFR jest jednakowe i zaczerpnięto je z danych Agencji Rynku Energii.

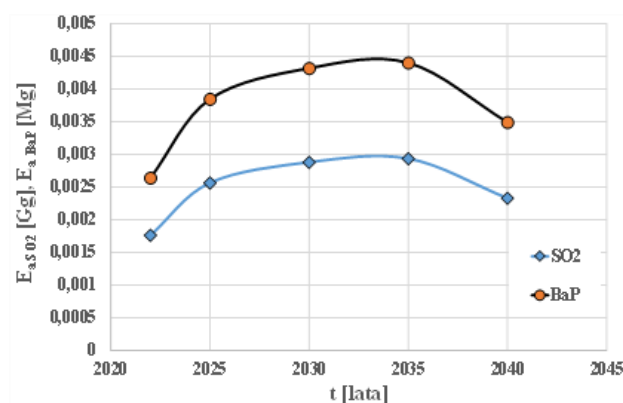
Prognozowana krajowa emisja roczna zanieczyszczeń z kolei w scenariuszach BAU i MFR zostały przedstawione na rysunkach poniżej.



Rysunek 14 Emisja dwutlenku azotu i tlenków azotu z transportu kolejowego w latach prognozy w scenariuszach BAU i MFR.



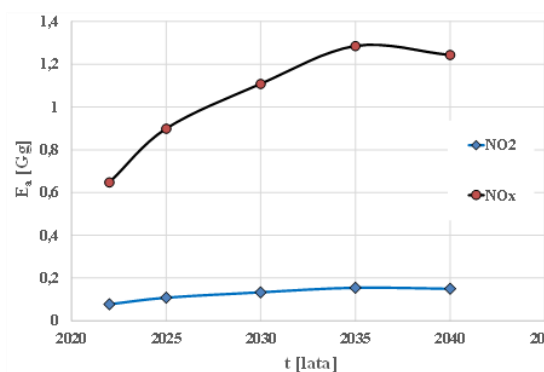
Rysunek 15 Krajowa emisja roczna cząstek stałych PM_{2,5} i PM₁₀ z transportu kolejowego w latach prognozy w scenariuszach BAU i MFR.



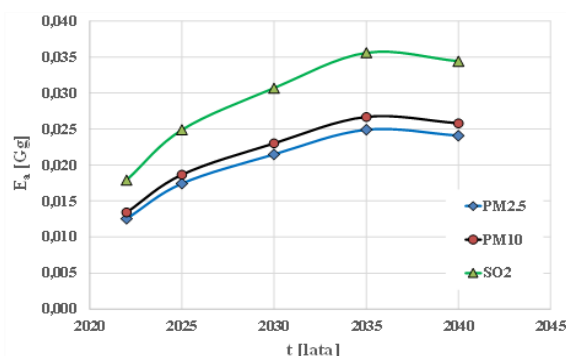
Rysunek 16 Krajowa emisja roczna dwutlenku siarki i benzo(a)pirenu z transportu kolejowego w latach prognozy w scenariuszach BAU i MFR.

Ze względu na niedostatecznie rozwiniętą infrastrukturę wodną oraz niesprzyjające warunki naturalne, udział żeglugi śródlądowej w przewozach towarowych i pasażerskich jest marginalny w porównaniu do innych krajów europejskich, a polska gospodarka morska jest mniejsza i mniej konkurencyjna niż np. w krajach Europy Zachodniej. W latach prognozy zakłada się jednak wzrost popytu na transport wodny. Emisja zanieczyszczeń w transporcie wodnym wynika ze zużycia paliw ciekłych (oleju napędowego) przez statki wyposażone w silniki spalinowe. Prognozowane zużycie paliw, które wykorzystano na potrzeby obliczeń emisji zanieczyszczeń w scenariuszu BAU i MFR w transporcie kolejowym zaczerpnięto z danych Agencji Rynku Energii.

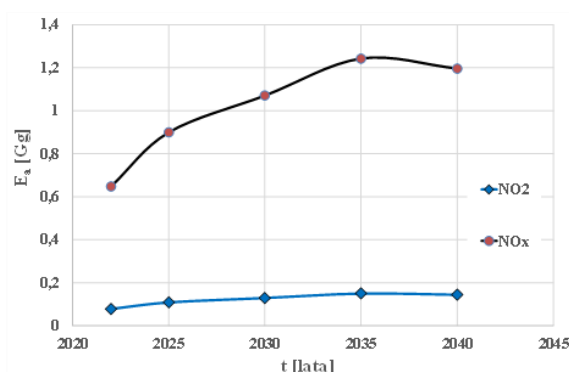
Prognozowany popyt na transport wodny w scenariuszach BAU i MFR jest jednakowy, a nieznaczna różnica w zużyciu paliw między scenariuszami wynika z zastąpienia części oleju napędowego paliwem odnawialnym, które nie zostało uwzględnione w obliczeniach. Prognozowana emisja zanieczyszczeń z transportu wodnego zostały przedstawione na rysunkach poniżej.



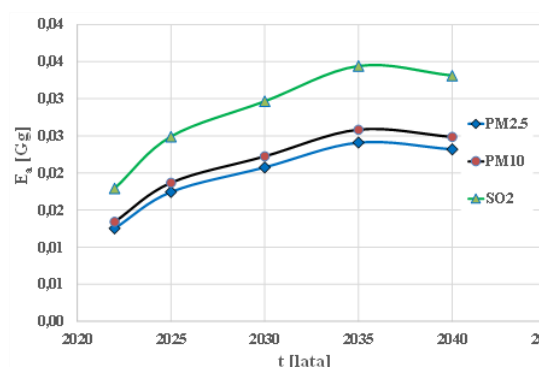
Rysunek 17 Krajowa emisja roczna dwutlenku azotu i tlenków azotu z transportu wodnego w latach prognozy w scenariuszu BAU.



Rysunek 18 Krajowa emisja roczna dwutlenku siarki i cząstek PM_{2,5} i PM₁₀ z transportu wodnego w latach prognozy w scenariuszu BAU.



Rysunek 19 Krajowa emisja roczna dwutlenku azotu i tlenków azotu z transportu wodnego w latach prognozy w scenariuszu MFR.

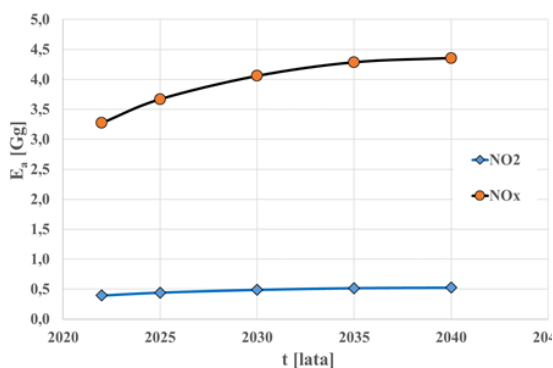


Rysunek 20 Krajowa emisja roczna dwutlenku siarki i cząstek PM_{2,5} i PM₁₀ z transportu wodnego w latach prognozy w scenariuszu MFR.

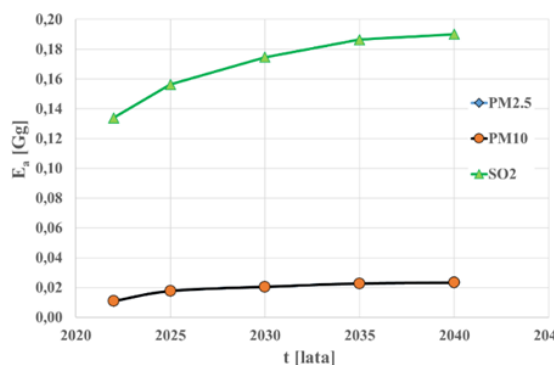
Istotny wzrost popytu odnotowuje transport lotniczy w wyniku rosnącej dostępności i popularności tej formy transportu. Według najnowszych prognoz przygotowanych dla Urzędu Lotnictwa Cywilnego ruch lotniczy w Polsce do 2040 r. ma szansę niemal się podwoić, a krajowy rynek lotniczy będzie jednym z najszybciej rozwijających się w Europie Środkowo-Wschodniej. Kluczowym czynnikiem umożliwiającym realizację prognozowanych wzrostów jest rozbudowa infrastruktury lotniskowej, w Warszawie (rozbudowa Lotniska Chopina), uruchomienie Centralnego Portu Komunikacyjnego (CPK), jak i rozbudowa portów regionalnych. Otwarcie CPK planowane jest na 2032 r., a dla zabezpieczenia rentowności nowego lotniska po jego otwarciu, zostanie na niego przeniesiony cały ruch komercyjny z Lotniska Chopina.

Zużycie paliw w obu scenariuszach przyjęto wg danych Agencji Rynku Energii. Prognozowany popyt na transport lotniczy w scenariuszach BAU i MFR jest zbliżony, a nieznaczna różnica w zużyciu paliw między scenariuszami wynika z zastąpienia części paliwa lotniczego paliwem odnawialnym, które nie zostało uwzględnione w obliczeniach.

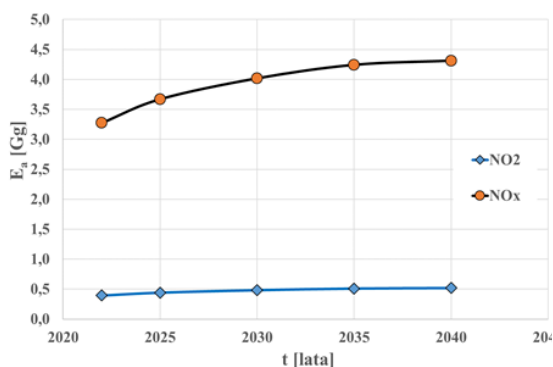
Prognozowana emisja zanieczyszczeń z transportu lotniczego zostały przedstawione na rysunkach 21 - 24. Emisje PM_{2,5} i PM₁₀ są sobie równe w obu scenariuszach, dlatego na wykresach krzywe dla PM_{2,5} i PM₁₀ nakładają się (Rysunek 22, Rysunek 24).



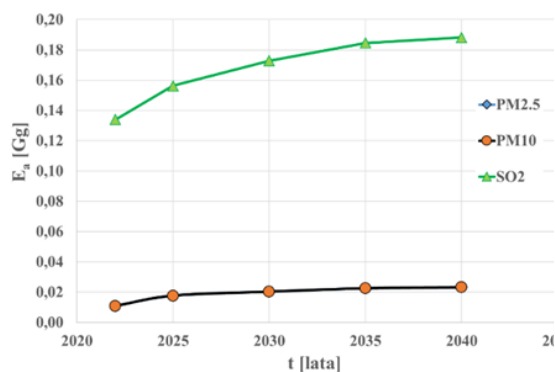
Rysunek 21 Krajowa emisja roczna dwutlenku azotu i tlenków azotu z transportu lotniczego w latach prognozy w scenariuszu BAU.



Rysunek 22 Krajowa emisja roczna dwutlenku siarki i cząstek PM_{2,5} i PM₁₀ z transportu lotniczego w latach prognozy w scenariuszu BAU.



Rysunek 23 Krajowa emisja roczna dwutlenku azotu i tlenków azotu z transportu wodnego w latach prognozy w scenariuszu MFR.

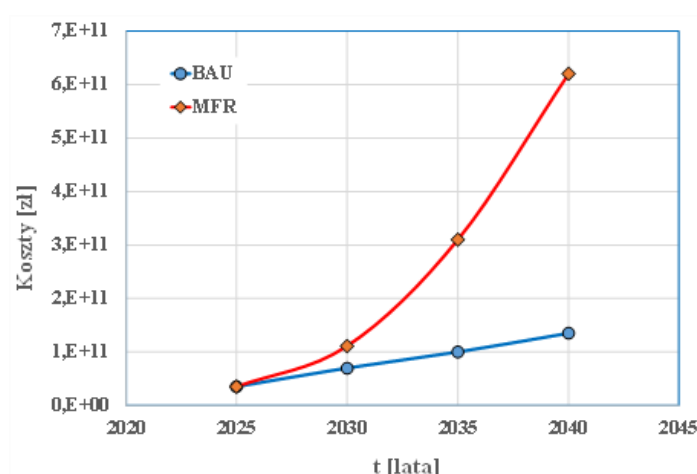


Rysunek 24 Krajowa emisja roczna dwutlenku siarki i cząstek PM_{2,5} i PM₁₀ z transportu lotniczego w latach prognozy w scenariuszu MFR.

4.2.5. Analiza kosztów

W ramach zrealizowanej analizy kosztowej usystematyzowano strukturę kosztów wprowadzenia scenariuszy BAU i MFR w transporcie drogowym. Przykłady symulacji wprowadzenia scenariuszy BAU i MFR przedstawiono na przykładzie zastosowania napędów elektrycznych w pojazdach drogowych.

Wyniki symulacji kosztów wprowadzenia napędów elektrycznych w pojazdach drogowych w Polsce w latach bilansowania dla scenariuszy BAU i MFR zostały zaprezentowane na Rysunek 25.



Rysunek 25 Wyniki symulacji kosztów wprowadzenia napędów elektrycznych w pojazdach drogowych w Polsce w latach bilansowania dla scenariuszy BAU i MFR.

4.2.6. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych obliczeń krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń stwierdzono średnie względne zmniejszenie krajowej emisji rocznej poszczególnych zanieczyszczeń z samochodów osobowych w latach 2025 – 2040, wynoszące dla:

- dwutlenku azotu: dla scenariusza BAU – 32%; dla scenariusza MFR – 68%,
- tlenków azotu: dla scenariusza BAU – 48%; dla scenariusza MFR – 73%,
- dwutlenku siarki: dla scenariusza BAU – 8%; dla scenariusza MFR – 31%,
- cząstek stałych PM₁₀: dla scenariusza BAU – 25%; dla scenariusza MFR – 49%,
- cząstek stałych PM_{2,5}: dla scenariusza BAU – 33%; dla scenariusza MFR – 64%,
- benzo(a)pirenu zawartego w cząstkach stałych PM₁₀ – B(a)P w PM₁₀: dla scenariusza BAU – 4%; dla scenariusza MFR – 35%.

Zaproponowane scenariusze umożliwiły znaczące zmniejszenie krajowej emisji rocznej badanych zanieczyszczeń z transportu drogowego, znacznie większe dla scenariusza MFR.

Napędy elektryczne znacząco zmniejszają emisje zanieczyszczeń w miejscach użytkowania pojazdów, przenosząc emisję do elektrowni, co zmniejsza zanieczyszczenie powietrza w miastach. Jednocześnie wiąże się to z istotnymi kosztami finansowymi – znacznie większymi dla scenariusza MFR.

Wprowadzone w scenariuszach BAU i MFR rozwiązania w zakresie struktury użytkowanych pojazdów drogowych ze względu na ich właściwości przede wszystkim charakteryzujące emisję zanieczyszczeń (normy Euro) oraz rozwiązania związane z inżynierią ruchu, skutkujące zmianami charakteru ruchu pojazdów, spełniają warunki techniczno-organizacyjne, które są stawiane ruchowi drogowemu w ramach idei stref czystego transportu.

4.3 Sektor rolnictwa

4.3.1 Wstęp

Rolnictwo jest gałęzią gospodarki mającą znaczący wpływ na jakość powietrza tak w UE, jak i dla naszego kraju. W przypadku niektórych zanieczyszczeń pełni ono wiodącą rolę, np. w przypadku emisji amoniaku (95,72% krajowej emisji).

W obecnej sytuacji geopolitycznej nadrzędnymi celami dla rolnictwa jest utrzymanie bezpieczeństwa żywnościowego i samowystarczalności żywnościowej. Przykład dewaluacji wdrażania Europejskiego Zielonego Ładu i strategii „od pola do stołu” oraz zastąpienie ich „Dialogiem strategicznym o przyszłości rolnictwa”, pokazuje jak trudne jest w rolnictwie uzyskanie konsensusu, co do przeciwdziałania zanieczyszczeniu środowiska, zmianom klimatu, czy restytucji zasobów przyrody. EU jest największym na świecie eksporterem żywności. W przypadku Polski ok 60-70% produkcji rolnej podlega eksportowi, głównie do pozostałych krajów Wspólnoty.

Metody działalności rolniczej, podobnie jak same surowce pochodzenia rolniczego, mają również aspekt jakościowy, oparty na metodach wytwarzania/produkcji. Przykładowo przygotowanie gleby do uprawy roślin można przeprowadzić albo klasycznie z głęboką orką i szeregiem uprawek poprawiających strukturę, czyli standardową emisją gazów i pyłów, albo w sposób uproszczony, z płytką uprawą i jednoczesnym siewem oraz rośliną okrywową po plonie głównym, czyli niskoemisyjnie bez straty plonu. Metody niskoemisyjne niekoniecznie związane są z wyższymi kosztami inwestycyjnymi. Czasami wymagają tylko zmian organizacyjnych, jak choćby natychmiastowe mieszanie z glebą, aplikowanych nawozów naturalnych. Innym przykładem zwiększenia dochodowości poprzez obniżenie kosztów operacyjnych jest nawożenie z użyciem ciągnikowego GPS lub przykrywanie przechowywanych nawozów naturalnych (konserwacja zawartości azotu do nawożenia, poprzez redukcję emisji amoniaku). Czynniki ekonomiczne gra pierwszorzędą rolę w upowszechnianiu metod niskoemisyjnych, gdyż aktualnie zyski w rolnictwie uzyskuje się poprzez redukcję kosztów jednostkowych, a ceny płodów rolnych dyktowane są przez rynek globalny. Sami rolnicy są też bardzo zachowawczy, co do wszelkich nowinek technicznych, zwłaszcza, że aż 57% europejskich producentów żywności jest wieku ponad 55 lat. Zatem wspomniana różnica jakościowa w stosunku do innych sektorów, jest bardzo dużym potencjałem dla redukcji zanieczyszczeń powietrza, lecz wcale nie łatwym do wdrożenia w praktyce.

4.3.2 Założenia scenariuszy zmian emisji

Zgodnie z wnioskiem projektu prace w zakresie sektora rolnictwa objęły zarówno kierunek produkcji roślinnej, jak i zwierzęcej i miały na celu przeprowadzenie analizy technicznego potencjału podjęcia dalszych działań redukcyjnych zanieczyszczeń wprowadzanych do atmosfery, z uwzględnieniem aktualnego stanu zaawansowania technologicznego, kosztów i korzyści ekonomicznych oraz społecznych, a także uregulowań prawnych na poziomie krajowym i europejskim. Stąd w Pakiecie 3 zaplanowano następujący zakres działań:

- Uzupełnienie dostępnych baz danych o nowe źródła i wartości emisji zanieczyszczeń z rolnictwa,
- Zebranie i zweryfikowanie informacji o efektywnych metodach ograniczania emisji zanieczyszczeń w rolnictwie,
- Zgromadzenie danych o wielkościach i uwarunkowaniach kosztów metod ograniczania emisji zanieczyszczeń,
- Opracowanie prognozy przewidywanych zmian w wielkości produkcji rolniczej na potrzeby scenariuszy BAU i MFR.

Wielość danych niezbędnych do oszacowania emisji wynika z procesów biochemicznych i technicznych, na których oparte jest rolnictwo. Generalnie, szacowania emisji dokonuje się poprzez bilans rozchodu związków odżywczych trafiających do chowu zwierząt lub uprawy roślin. Kwestie energetyki, czy transportu, znalazły swoje ujęcie w innych pakietach.

Do realizacji planowanych scenariuszy niezbędne było pozyskanie zaktualizowanych danych z sektora rolnictwa. Obejmowały one nie tylko podstawowe wielkości produkcji zwierzęcej i roślinnej, ale również stosowane w nich systemy utrzymania i wielkości stad, powierzchnie poszczególnych upraw, wielkość i rodzaj nawożenia, itp. Dane te pochodziły z nowo powstałego systemu IRZ PLUS oraz analizy wniosków o płatności w ramach Planu strategicznego dla WPR - realizowanej przez ARiMR, a w ograniczonej liczbie, wyników PSR GUS (2020 r.).

Uwzględniając omówione we wstępie jakościowe zróżnicowanie metod produkcji w rolnictwie, kluczowe odróżnienie między scenariuszami nie polega w sektorze na aspektach ilościowych, gdyż te narzucają czynniki zewnętrzne, czy to makroekonomiczne, czy klimatyczne, ale na aspektach jakościowych – ile i jakie metody niskoemisyjne zostaną włączone do praktyki, jakie obejmą one powierzchnie gruntów lub wielkości pogłowia. Zgodnie z praktyką produkcyjną całość prac zrealizowanych w pakiecie podzielono na produkcję zwierząt gospodarskich i produkcję roślinną.

4.3.3 Produkcja zwierzęca

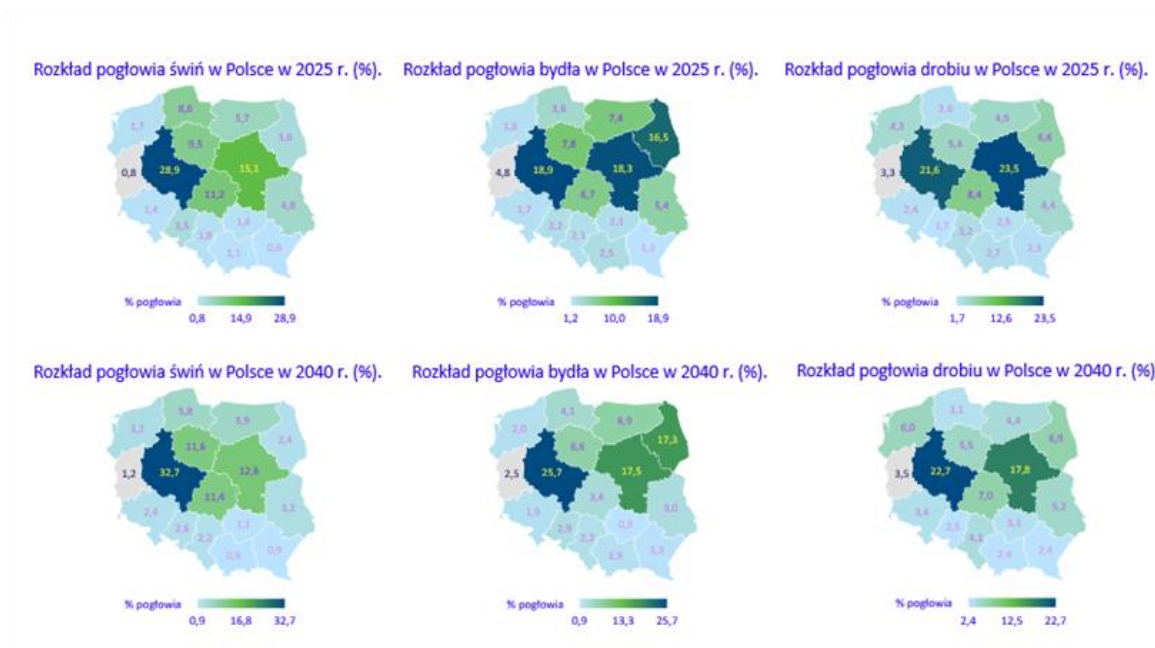
Prognozę pogłowia zwierząt gospodarskich do 2040 r. oparto o analizę trendów dla poszczególnych gatunków i grup technologicznych danych publikowanych przez GUS w latach 2019-2024. Wyliczone trendy skorygowano o zmiany w liczbie gospodarstw oraz wzrost skali i koncentracji produkcji, widoczne w bazach danych na przestrzeni ostatniej dekady. Dokonano również korekty uwzględniającej strukturę pogłowia. Uniknięto tym samym wcześniejszych błędów występujących w analizach MRiRW, gdzie przykładowo liczba cieląt znacząco przekraczała liczbę krów. Aktualna analiza zakłada, choć w niewielkim stopniu, import cieląt w latach 2035-2040, z przeznaczeniem na opas. Liczba krów mlecznych podlegać będzie, tak jak obecnie, dalszej redukcji, głównie na skutek wzrostu wydajności mlecznej. Na spadek pogłowia w 2040 r. wpływ będzie miała realizacja celów klimatycznych UE, w tym cel redukcyjny dla emisji metanu oraz włączenie przemysłowego chowu bydła w zakres regulacji BAT (dyrektywa IED). W przypadku świń pogłowie warchlaków i tuczników nadal nie będzie powiązane z liczbą

loch ze względu na blisko 70% import warchlaków. Pogłowie loch ulegnie niewielkiemu powiększeniu, głównie na skutek importu hybrydowych loch hodowlanych. Pogłowie drobiu kurzego po roku 2030, podlegać będzie redukcji głównie na skutek bardziej rygorystycznych przepisów BAT i związanego z tym wyższego kosztu produkcji, a zatem ograniczenia w eksporcie mięsa drobiowego. Na taki stan wpłynie również import tego rodzaju mięsa z Ukrainy oraz krajów MERCOSUR. W opracowaniu pominięto pogłowie koni ze względu na brak danych, których operatorem jest PZHK. Zaznaczyć jednak należy, że w kraju rośnie populacja koni zimnokrwistych utrzymywanych z przeznaczeniem na rzeź. Wybrane wyniki prognozy pogłowia ilustruje Tabela 15, a ich rozkład wojewódzki Rysunek 26.

Tabela 15 Prognoza pogłowia zwierząt gospodarskich dla scenariuszy BAU i MFR.

Rok	Bydło (tys. szt.)					Świnie (tys. szt.)					Drób (tys.szt.)	
	Bydło razem	Krowy	Cielęta	Bydło 1-2 lat	>2 lat	Świnie razem	Lochy	Tuczniaki	Warch- laki	Prosięta	Drób ogółem	Drób kurzy
2025	6 332	2 335	1 881	1 641	475	9 195	690	3 807	2 694	1 995	217 334	195 144
2030	6 541	2 210	2 039	1 778	515	8 260	620	3 420	2 420	1 792	224 820	201 663
2035	6 706	2 103	2 167	1 890	547	8 970	673	3 714	2 628	1 946	210 527	188 842
2040	6 359	1 974	2 064	1 800	521	6 359	725	4 004	2 834	2 099	195 262	175 150

Pod względem rozkładu pogłowia zwierząt gospodarskich od dziesięcioleci dominują te same województwa i regiony. Są to w kolejności Wielkopolska, Mazowsze, Podlasie, a także województwa łódzkie, kujawsko-pomorskie i pomorskie. Ich pozycja ulegała stopniowemu wzmacnianiu i nie ulegnie znaczeniu do 2040 r. Niemniej, na skutek uciążliwości samego chowu zwierząt, wzrastać będzie pogłowie i wielkość stad w regionach o mniejszym zaludnieniu oraz większych rozłogach gospodarstw. Już obecnie widoczne są tego przykłady, szczególnie w województwach zachodniopomorskim, dolnośląskim, czy lubuskim.



Rysunek 26 Prognoza zmiany rozmieszczenia pogłowie zwierząt gospodarskich dla scenariuszy BAU i MFR.

Pod względem zmian w systemach utrzymania (Rysunek 27), największy wpływ mają wzrost skali i koncentracji produkcji zwierzęcej, spadek liczby gospodarstw - głównie małych i średnich, a w przypadku drobiu regulacje prawne w zakresie dobrostanu ptaków oraz ochrony środowiska. Ten ostatni rodzaj chowu w całości zdominowany jest bowiem, przez obiekty przemysłowe z produkcją przeznaczoną na eksport. Punktem wyjścia dla opracowania scenariuszy były dane pozyskane z systemu IRZ Plus oraz wcześniejsze wyniki PSR GUS. Zaznaczyć należy, że już w danych z 2025 r. rysują się znaczne różnice, co do udziału systemów prezentowanych przez te dwie agendy. Dane IRZ Plus są bardziej precyzyjne, ponieważ specyfikują rodzaj stanowisk, czego brak w GUS. Pozwala to zakwalifikować ściółkowane legowiska i bezściółkowe korytarze spacerowo-odpasowe w chowie krów mlecznych, jako system bezściółkowy z produkcją gnojowicy. Takie zakwalifikowanie systemu po rodzaju produkowanego nawozu, a nie po ściółkowaniu legowiska, jest jedynym poprawnym podejściem. Niestety dane ARiMR w przekazanym stanie, były w stanie zagregowanym pod kątem zgłaszanych obiektów i olbrzymiego nakładu pracy wymagało ich przetworzenie. System IRZ Plus zawiera również lokalizację obiektów chowu, ale jest ona również zagregowana, a na jej przetworzenie nie uzyskano zgody. Dla drobiu scenariusz BAU zakłada legislacyjne utrzymanie możliwości chowu klatkowego kur niosek. Jednak już w przypadku MFR przyjęto zapowiadany od lat zakaz stosowania tego rodzaju systemu. Prognoza przewiduje wzrost wykorzystania systemów bezściółkowych w chowie bydła i świń. Wynika to z braku siły roboczej w rolnictwie i lepszych możliwości mechanizacji i automatyzacji usuwania gnojowicy. Systemy te są droższe pod względem inwestycyjnym, jednakże koszty operacyjne ich stosowania, wielokrotnie obniżają koszt produkcji w stosunku do systemów ściółkowych.

Przy okazji omawiania systemów utrzymania zwrócić należy uwagę na fakt wystąpienia nowego systemu chowu, a mianowicie systemu otwartego dla bydła i świń oraz wolnowybiegowego dla drobiu. Dane GUS w ogóle nie wykazują obecności takich rozwiązań w praktyce, co mocno rzutuje na ocenę ich wiarygodności. System otwarty polega na

utrzymaniu zwierząt bez budynków, albo tylko z czasowym ich wykorzystaniem. System ten nie ma nic wspólnego z pastwiskowaniem, gdyż na powierzchni poza budynkiem, zwierzęta nie pobierają paszy/runi pastwiskowej. Pasza dostarczana jest do strefy odpasu lub budynku. Sama powierzchnia systemu otwartego nie jest zadarniona, co przy znacznym zagęszczeniu zwierząt zwiększa depozycję i emisję związków azotu. Dla drobiu kurzego w systemie wolnowybiegowym, powierzchnia raczej bywa zadarniona, ale kontrole WIOŚ wykazują, że dla niektórych obiektów wolnowybiegowego chowu gęsi i kaczek również dochodzi do zniszczenia darni i przenawożenia. W systemie otwartym utrzymywane są również małe stada koni. System ten wymaga uwzględnienia w raportach KOBIZE, w tym opracowania dedykowanych wskaźników emisji. W metodologii EMEP, brak jest dla niego odpowiednich danych.

Kolejnym etapem przeprowadzonych prac były korekty wskaźników niezbędnych do szacowania emisji amoniaku oraz pyłów, które dokonano na podstawie założeń dla metodologii typu Tier 2, zawartych w EMEP, Guidebook 2019 z uwzględnieniem uwarunkowań krajowych. W kilku przypadkach (pyły, metody redukcji) uwzględniono również założenia do metodologii typu Tier 3, wykorzystywanej aktualnie w Niderlandach (WUR, Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands – update 2018). Z jednym wyjątkiem, wskaźniki te są identyczne dla obu scenariuszy BAU i MFR. Wyjątkiem tym jest czas spędzany w budynkach przez zwierzęta podlegające wypasowi. Jak wskazują dane IMiGW, na skutek zmian klimatu sezon wegetacyjny uległ aktualnie wydłużeniu o ponad miesiąc. Przykładowe wyniki ilustrują Tabela 16 i Tabela 17.



Rysunek 27 Zmiany w systemach utrzymania zwierząt gospodarskich dla scenariuszy BAU i MFR.

W kwestii współczynnika wydalania azotu (Nex), to generalnie zależy od produktywności zwierząt (wydajność mleka, przyrost wagi, nieśność, itp.). Im wyższe są jej wielkości, tym więcej białka i zawartego w nim azotu, musi być dostarczana zwierzęciu pod postacią paszy. Wynika to bezpośrednio z postępu hodowlanego, który realizowany jest bezpośrednio na wydajność. Na tą zależność nakłada się jednak postęp w żywieniu zwierząt, a zwłaszcza poprawa strawności paszy. Obejmuje ona dwa komponenty, energię metaboliczną i białko. Część z organicznych połączenia tego ostatniego, nie jest trawiona przez zwierzęta

monogastryczne, a nawet przeżuwacze i wraz z wydalonym kałem i moczem stanowi zagrożenie dla środowiska, w tym powietrza. Dodatki enzymów proteolitycznych, aminokwasów syntetycznych, chronionych form białka, pozwala na obniżenie Nex.

Tabela 16 Współczynnik wydalania azotu (Nex).

Grupa	kg N/1000/dobę	BAU/MFR
Bydło – krowy	0,55	0,489
Bydło pozostałe	0,33	0,326
Drób kurzy (nioski/brojlerzy)	0,90/1,19	0,959/0,986
Drób pozostały (indyki/kaczki/gęsi)	0,63/1,89/1,28	0,660/1,726/0,431
Konie	0,3	0,26
Trzoda chlewna – lochy	0,24	0,419
Trzoda chlewna – tuczniki	0,46	0,51

W bezpośrednim związku z Nex pozostaje wskaźnik emisji amoniaku. Na jego wielkość nakłada się dodatkowo udział wydalonego azotu w formie amonowej, będący prekursorem emisji gazowej. Korekta współczynników wynikała z konieczności uwzględnienia opisanego już wcześniej postępu hodowlanego oraz żywieniowego.

Tabela 17 Wskaźniki emisji amoniaku i pyłów.

Rodzaj aktywności	Substancja	Wskaźnik emisji [kg / zwierzę / rok], 2040 r. BAU/MFR	Wskaźnik emisji [kg / zwierzę / rok], 2022
Trzoda chlewna – lochy	NH ₃	12,3	8,09
Trzoda chlewna – tuczniki	NH ₃	3,9	4,1
Bydło – krowy pastwisko/bez	NH ₃	11,74/13,0	33,8
Bydło pozostałe	NH ₃	5,7	12,38
Drób kurzy nioska/brojler	NH ₃	0,160/0,118	0,1905
Drób poz. indyk/inne	NH ₃	0,932/0,210	0,8176
Konie	NH ₃	7,0	21,2890
Trzoda chlewna – lochy	PM10	0,1780	0,1700
Trzoda chlewna – tuczniki	PM10	0,1570	0,1400
Bydło – krowy pastwisko/bez	PM10	0,118/0,148	0,6300
Bydło poz. młode/stare	PM10	0,035/0,116	0,1938
Drób kurzy nioska/brojler	PM10	0,065/0,026	0,0250

Rodzaj aktywności	Substancja	Wskaźnik emisji [kg / zwierzę / rok], 2040 r. BAU/MFR	Wskaźnik emisji [kg / zwierzę / rok], 2022
Drób poz. indyk/inne	PM10	0,095/0,104	0,1243
Konie	PM10	0,2200	0,2200
Trzoda chlewna – lochy	PM2,5	0,0160	0,0100
Trzoda chlewna – tucz	PM2,5	0,0074	0,0060
Bydło–krowy pastwi/bez	PM2,5	0,032/0,046	0,4100
Bydło pozostałe młode/stare	PM2,5	0,01/0,032	0,1266
Drób kurzy nioska/brojler	PM2,5	0,001/0,002	0,0022
Drób poz. indyk/inne	PM2,5	0,044/0,005	0,0204
Konie	PM2,5	0,0140	0,1400

Mimo prób nie było możliwe wyznaczenie dodatkowych wskaźników emisji pyłów przemieszczających się na znaczne odległości, powiązanych z emisją amoniaku. Na ilość powstających pyłów na bazie amoniakalnych jąder agregacji w obecności tlenków bezwodników kwasowych, wpływ ma nie tylko stężenie tych ostatnich, ale również temperatura powietrza, prędkość ruchu powietrza itd.

Jak już wspomniano, **kluczowe znaczenie dla kształtowania jakości powietrza z punktu widzenia redukcji emisji z rolnictwa, mają metody wdrażane w praktyce produkcyjnej. Prognozując wykorzystanie metod redukcji dla scenariuszy BAU i MFR wzięto pod uwagę tak zmiany w systemach utrzymania, czynniki ekonomiczne, jak również planowane regulacje prawne na poziomie UE.** Czynniki ekonomiczne w zdecydowany sposób decyduje o aplikowalności metody. Stąd pod uwagę brano jedynie te z nich, które są bezkosztowe, lub koszt nie przekracza 15 zł na 1 m³ zredukowanej emisji amoniaku. Pośród metod są też i takie, które przynoszą dodatkowy zysk w gospodarstwie, jak choćby dogłębowa aplikacja nawozów naturalnych (redukcja strat azotu, jako nawozu). Wobec zaistniałej sytuacji ekonomicznej w krajowej produkcji zwierzęcej, aktualnie rekomendować należy całkowite odejście od żywieniowych metod redukcji w chowie świń, bydła i drobiu. Potwierdza to brak oferty rynkowej pasz o obniżonym poziomie białka ogólnego, jak i mieszanek paszowych do żywienia wielofazowego, czy dodatków poprawiających strawność białka. Brak tu również odpowiednich regulacji prawnych, czy zachęty w postaci oferty płatności w Planie Strategicznym dla WPR. Scenariusz MFR zakłada jednak wdrożenie takich rozwiązań prawnych już w 2027 r., na początek w zakresie BAT.

Oprócz metod żywieniowych ograniczających Nex i w ten sposób emisje z każdego liczonego etapu emisji, uwzględniono również szereg rozwiązań technicznych. Pierwszą z metod technologicznych jest redukcja udziału rusztów w bezściołowym chowie świń. Dla 50% zarusztowania podłogi w stosunku do 100% rusztu, redukcja emisji amoniaku wynosi 15-20%. Natomiast **redukcja rusztów do 1/3 powierzchni kojca pozwala już na 60% redukcji emisji amoniaku w stosunku do pełnego zarusztowania. Efekt ten uzyskuje się poprzez**

naizwyczajniejszą, fizyczną redukcję powierzchni emisji amoniaku. Metoda budzi wiele obiekcji ze strony hodowców, obawiających się konieczności doczyszczania podłóg częściowo-rusztowych. W praktyce nie stwierdzono takich mankamentów, gdyż świnie z natury wybierają wilgotniejszy, chłodniejszy ruszt na miejsce defekacji.

Tabela 18 Wskaźniki emisji dla wybranych metod redukcji.

Techniki redukcyjne	Potencjał redukcji dla NH ₃ [%]	Potencjał redukcji dla PM10 i PM2,5	% populacji objęty metodą w 2040 r.	
			BAU	MFR
Krowy mleczne rusztowo	20	15	1,1	28,7
Krowy mleczne rusztowo na uwięzi	20	15	0	0
Świnie częściowo rusztowy	20	15	14,7	18,9
Nioski szybkie usuwanie	32	26	29,6	0
Nioski podsuszanie	32	26	10,2	0
Bydło przykrywanie obornika	80	70	0	17,5
Świnie przykrywanie obornika	80	70	0	9,8
Nioski przykrywanie pomiotu/obornika	80	70	0	100
Brojlery przykrywanie obornika	80	70	0	100
Bydło przykrywanie gnojowicy	80	70	100	100
Świnie przykrywanie gnojowicy	80	70	100	100
Żywnienie bydło mleczne - redukcja BO	20	15	43	20,3
Nioski żywienie 3 fazowe	20	15	10,3	74,5
Brojlery żywienie 5 fazowe	20	15	8,7	100
Tuczniki żywienie 4 fazowe	30	25	11,2	36,4
Warchlaki żywienie 3 fazowe	30	25	9,3	40,6
Świnie chemiczna płuczka powietrza	95	80	0	30
Drób chemiczna płuczka powietrza	95	80	0	22,5
Drób biofiltr	95	80	0	
Świnie biofiltr	60	50	1,6	12,4
Bydło gnojowica, węże wleczone	74	64	0,9	7,1
Bydło, gnojowica, iniekcja	86	76	0,3	2,9
Bydło gnojowica dogłębowo	98	88	2,4	27,5
Świnie gnojowica dogłębowo	98	88	16,3	85,8
Świnie, wymieszanie obornika z glebą do 24 godzin	40	20	7,5	9,9

Bydło, wymieszanie obornika z glebą do 24 godzin	40	20	3,3	57,4
Drób, wymieszanie obornika z glebą do 24 godzin	40	20	1,9	20,1
Toaleta dla krów	40	20	0	3,3
Krowy zakwaszanie gnojowicy w budynku	70	60	0	1,5
Krowy zakwaszanie gnojowicy przy aplikacji	90	80	0	0,9
Świnie zakwaszanie gnojowicy w budynku	70	60	0	2
Świnie zakwaszanie gnojowicy przy aplikacji	90	80	0	5,4
Żywnie bydło mleczne wybiegi 20% BO	20	10	43	20,3
Żywnie bydło mleczne przechowywanie nawozów 20% BO	20	10	43	20,3
Żywnie bydło mleczne aplikacja 20% BO	20	10	43	20,3
Drób kompostowanie ściółki/pomiotu nawozy renure	20	10	0	11,1

4.3.4 Produkcja roślinna

Podstawą do wykonania założeń scenariuszy zmian emisji w produkcji roślinnej były udostępnione dane historyczne. W uzasadnionych przypadkach były one uzupełniane o dane statystyczne GUS, FAO, a także prognozy (trendów, scenariuszy). Ponadto w prognozach wykorzystano wiedzę ekspercką autorów oraz dostępną literaturę.

4.3.5 Założenia do scenariuszy redukcji

Zmiany w wartościach wskaźnika emisji amoniaku z nawozów zawierających azot w scenariuszu BAU w 2040 roku w stosunku do 2022 r. wynikają z różnic w wykorzystaniu poszczególnych nawozów w tych latach.

Prognozuje się, że w scenariuszu BAU trend zużycie nawozów azotowych wróci do poziomu z lat ubiegłych i w roku 2040 wyniesie 1 033 043 t.

W scenariuszu MFR uwzględniono założenia zawarte w koncepcji Europejskiego Zielonego Ładu, znajdujące odzwierciedlenie w Planie Strategicznym WPR 2023-2027, które wiążą się głównie z ograniczeniem strat składników pokarmowych i z redukcją zużycia nawozów mineralnych. Zgodnie z tym scenariuszem w 2040 r. zużycie nawozów azotowych wyniesie 998 000 t.

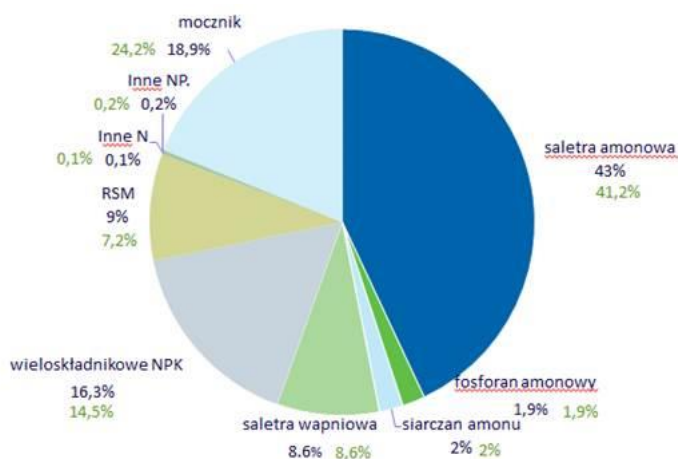
W obu scenariuszach (BAU i MFR) jest prognozowane zwiększenie zużycia saletry amonowej i nawozów wieloskładnikowych (0,5 pkt % co 5 lat) oraz zmniejszenie wykorzystania mocznika. Szacuje się przy tym, że do 2040 roku nastąpi wzrost zużycia RSM, ze względu na możliwość jego wszechstronnego stosowania na różnych glebach, przede wszystkim i pogłównie do nawożenia zbóż, rzepaku, buraków, ziemniaków, kukurydzy, użytków zielonych oraz upraw warzywniczych i sadowniczych, jak również w aplikacji poźniowej, wspomagającej mineralizację resztek pożywnych (Rysunek 28).

W scenariuszu MFR uwzględniono następujące metody redukcji amoniaku z nawozów zawierających azot:

A) Zwiększenie wykorzystania mocznika z inhibitorem ureazy kosztem mocznika otoczkowanego – z obecnych 50% do 90% (przy utrzymaniu się 40% udziału mocznika stosowanego do dolistnego dokarmiania) Aplikacja mocznika otoczkowanego polimerami może ograniczać emisję NH_3 o 30%, podczas gdy jego aplikacja z inhibitorami przyczynia się do redukcji tego wskaźnika o 70%. Wskaźnik emisji wyniesie przy zastosowaniu tej praktyki 0,02830.

B) Stosowanie inhibitorów ureazy wraz z RSM. Redukcja emisji gazowego amoniaku pod wpływem inhibitorów ureazy kształtuje się na poziomie 40% w przypadku jego zastosowania wraz z roztworem saletrano-mocznikowym (RSM). Wskaźnik emisji wyniesie przy zastosowaniu tej praktyki wraz z praktyką A) 0,02478.

C) Zwiększenie wykorzystania nawożenia precyzyjnego o 50% w polskim rolnictwie.



Rysunek 28 Udział poszczególnych nawozów zawierających azot w całkowitym ich zużyciu w 2022 r. i 2040 r.

Stosowanie systemów nawożenia GPS, oraz różnicowanie dawki nawozu w trakcie wysiewu, aby precyzyjnie stosować składniki pokarmowe (makro- i mikroelementy), z uwzględnieniem różnych dawek podawanych składników pokarmowych na każdym polu w oparciu o rozwój pokrywy roślinnej i dane z poprzednich zbiorów, zostało uwzględnione wśród najlepszych praktyk zarządzania środowiskowego. W scenariuszu MFR założono, że stosowanie technologii nawożenia precyzyjnego pozwoli na zwiększenie efektywności

wykorzystania nawozów i zmniejszenie emisji NH_3 o 5%, a stosowanie tej praktyki ulegnie zwiększeniu z obecnych 20% do 30%.

Łączne zastosowanie tych 3 metod redukcji (A+B+C) w Polsce umożliwi obniżenie wskaźnika emisji do 0,02466 kg NH_3 /kg N (Tabela 19).

W przypadku osadów ściekowych przyjęto wartości z 2022 roku (Tabela 19, Tabela 20).

Tabela 19 Wskaźniki emisji w 2040 r. w scenariuszu BAU.

Rodzaj aktywności	Substancja	Jednostka wskaźnika	Wskaźnik emisji
Zużycie nawozów mineralnych azotowych	NH_3	kg NH_3 /kg N	0,0311
Zużycie osadów ściekowych jako nawozu	NH_3	kg NH_3 /kg N	0,1300
Operacje rolnicze	PM10	kg/ha	2,0262
Operacje rolnicze	PM2,5	kg/ha	0,1142

Tabela 20 Wskaźniki emisji w 2040 r. w scenariuszu MFR.

Rodzaj aktywności	Substancja	Jednostka wskaźnika	Wskaźnik emisji
Zużycie nawozów mineralnych azotowych	NH_3	kg NH_3 /kg N	0,0247
Zużycie osadów ściekowych jako nawozu	NH_3	kg NH_3 /kg N	0,1300
Operacje rolnicze	PM10	kg/ha	1,9698
Operacje rolnicze	PM2,5	kg/ha	0,1113

Uprawa gleby jak również zbiór, czyszczenie oraz suszenie zebranych plonów roślin uprawnych stanowią źródło pyłów PM10 i PM2,5. Zmiany w wartościach wskaźnika emisji pyłów w scenariuszu BAU w 2040 roku w stosunku do 2022 r. wynikają z różnic w powierzchniach roślin uprawnych w tych latach (Tabela 19).

Ze względu na fakt, że metody uprawy mają bezpośredni wpływ na uwalnianie pyłów z pól uprawnych w scenariuszu MFR uwzględniono jako metodę redukcji emisji pyłów zwiększenie powierzchni z uproszczoną uprawą na gruntach ornych z obecnych 10% do 20% w 2040 r. Zgodnie z danymi literaturowymi uproszczona uprawa przyczynia się do redukcji PM10 i PM2,5 odpowiednio o 70% i 60% (Tabela 20).

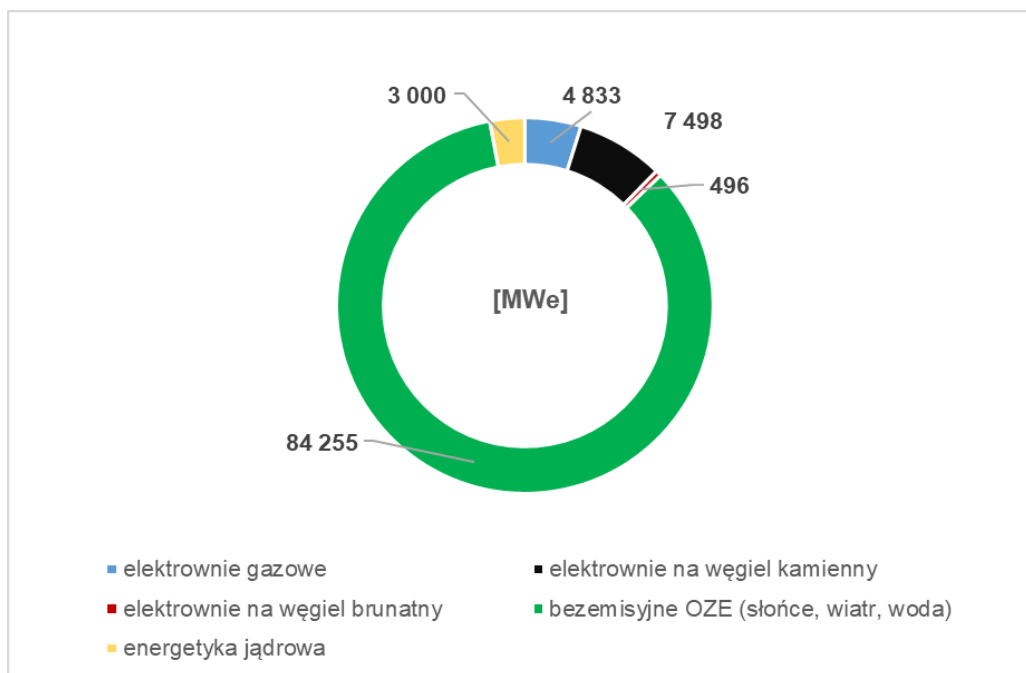
4.4 Sektor elektroenergetyczny

4.4.1 Wprowadzenie

W kontekście zaproponowanych działań w sektorach: komunalno-bytowym i transporcie, związanych ze zwiększonym zapotrzebowaniem na energię elektryczną, wynikającą z rozwoju elektromobilności i wykorzystaniem instalacji OZE w zabudowie mieszkaniowej, analizą został objęty Krajowy System Elektroenergetyczny (KSE). Działania w ww. sektorach związane są z koniecznością pokrycia rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną, jak również przesył i dystrybucję energii elektrycznej. Dlatego też istotnym aspektem jest ocena możliwości technicznych KSE, jego wpływu na jakość powietrza, a tym samym skutki społeczne, gospodarcze i środowiskowe w ujęciu całościowym.

4.4.2 Przyjęta struktura mocy w celu pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną w sektorze komunalno - bytowym i transporcie

W celu określenia możliwości pokrycia zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną, wynikającą z projektu ReduCost, przeanalizowano aktualne dokumenty strategiczne odnoszące się do rozwoju sektora elektroenergetycznego. Pierwszym dokumentem jest „Analiza dla sektora elektroenergetycznego z uwzględnieniem zmiany sytuacji polityczno-gospodarczej po inwazji Rosji na Ukrainę”, opublikowana w połowie 2023 r. Analiza ta powstała w celu aktualizacji Polityki energetycznej Polski do 2040 r. (PEP2040), a także Krajowego Planu na rzecz Energii i Klimatu (KPEiK). Drugim dokumentem jest „Projekt Krajowego Planu w dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 r.”. Projekt ten opublikowano w lutym 2024 r., a następnie jego uzupełnienie w październiku. Natomiast trzecim dokumentem jest „Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2025 – 2034”, który ukazał się w kwietniu 2024 r. Dokumenty te uwzględniają przepisy i cele UE oraz wyznaczają najważniejsze kierunki rozwoju sektora elektroenergetycznego. Na podstawie tych dokumentów określono strukturę mocy KSE w ramach projektu ReduCost, co obrazuje Rysunek 29.



Rysunek 29 Przyjęta w projekcie ReduCost struktura mocy dla 2040 r.

Przy czym obiekty ciepłownicze, obejmują tylko Jednostki Wytwórcze Centralnie Dysponowane (JWCD), które dla KSE, z punktu widzenia stabilnej i niezawodnej pracy są kluczowe.

4.4.3 Koszty zewnętrzne wynikające z emisji zanieczyszczeń do powietrza

Wielkość emisji zanieczyszczeń do powietrza wynika z dwóch składowych. Pierwsza z nich to ilość energii elektrycznej, wymaganej do wytworzenia, a druga związana jest z miksem energetycznym (struktura wytwarzania energii elektrycznej wg nośników energii). W przypadku ilości energii elektrycznej, wymaganej do pokrycia zużycia końcowego w sektorach komunalno-bytowym i transporcie oraz zapotrzebowanie na energię z uwzględnieniem strat przesyłowych wyznaczono dla dwóch scenariuszy to jest - "business as usual" (BAU) oraz "maximum feasible reduction" (MFR). Większe zapotrzebowanie na energię elektryczną pojawiło się w scenariuszu BAU. Podyktowane jest to stopniem przyjętej termomodernizacji budynków, dla których rozpatrywano dwa warianty: pasywny i intensywny. Wariant pasywny zakłada redukcję zapotrzebowania na energię o 20%, a intensywny poprzez zastosowanie zaawansowanych technologii (budownictwo pasywne, inteligentne systemy zarządzania energią), redukcję zapotrzebowania na energię o 60%. W Tabeli 21 przedstawiono przedmiotowe wyniki.

Tabela 21 Ilość energii elektrycznej na potrzeby sektora transportu (elektromobilność) i sektora komunalno-bytowego (ogrzewnictwo) w perspektywie 2040 r.

Scenariusz	Zapotrzeb. z uwzgl. strat przesył.	Zużycie końcowe
	[TWh]	
BAU	33,23	31,12
MFR	27,40	25,66

Na podstawie przedstawionej struktury wytwarzania i ilości energii elektrycznej, wymaganej do pokrycia strat przesyłowych oraz zapotrzebowania w transporcie i sektorze komunalno-bytowym, obliczono koszty zewnętrzne emisji zanieczyszczeń do powietrza, wynikające z działań przyjętych w projekcie ReduCost. Wyniki tych obliczeń przedstawia Tabela 22.

Tabela 22 Koszty zewnętrzne wynikające z emisji zanieczyszczeń do powietrza w sektorze elektroenergetycznym w celu pokrycia zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną.

Scenariusz	ReduCost Em. PM10 [PLN]	ReduCost Em. PM10- PM2,5 [PLN]	ReduCost Em. PM2,5 [PLN]	ReduCost Em. NO _x [PLN]	ReduCost Em. SO ₂ [PLN]	ReduCost Em. B(a)P [PLN]	Razem [PLN]
2040 BAU	7 899 526	3 273 626	7 123 992	101 769 672	81 243 080	746 159	202 056 055
2040 MFR	6 513 909	2 699 416	5 874 408	83 918 761	66 992 635	615 279	166 614 408

4.4.4 Koszty sektora elektroenergetycznego

Zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną związane jest kosztami modernizacji systemu elektroenergetycznego, zarówno w obszarze wytwórczym, jak i przesyłowym. W zakresie modernizacji infrastruktury sieciowej elektroenergetycznej zostały wykonane wielowariantowe symulacje jej rozwoju w latach 2022-2040. Do założeń scenariuszy BAU-20% oraz MFR-60% w zakresie elektryfikacji sektora komunalno-bytowego, konieczne było dodatkowe zamodelowanie trendów rozwoju instalacji prosumenckich PV oraz infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych. Zatem, aby określić koszty modernizacji

infrastruktury sieciowej, należało przeanalizować wszystkie warianty opisane w raporcie z etapu II prac, dla scenariuszy MFR-60% oraz BAU-20%. Następnie wzięto pod uwagę najgorszy przypadek, tzn. taki, w którym poziom modernizacji infrastruktury sieciowej jest największy. Wynika to z faktu, że infrastruktura powinna być przygotowana do przyjęcia potencjalnie większego zapotrzebowania na moc i energię niż wynika z założeń projektowych. Ponadto, na podstawie badań stwierdzono, że znaczącym składnikiem nadmiernie obciążającym infrastrukturę sieciową jest wprowadzenie punktów ładowania EV, a nie tylko sam proces elektryfikacji sektora komunalno-bytowego, wynikający z zastosowania scenariuszy BAU-20% lub MFR-60%. Dlatego też zaproponowano następujące działania modernizacyjne:

- wymiana transformatora SN/nN w stacji ST1,
- budowa 3 nowych linii nN (L1-BIS, L2-BIS, L3-BIS),
- wymiana 25 linii nN w polach 101 i 103.

Według powyższego założenia obliczono koszty modernizacji infrastruktury sieciowej modelowej stacji ST, zgodnie z powyższymi działaniami. Na podstawie obliczeń koszt modernizacji modelowej stacji ST1 wyniósł 1 604 592 zł. Następnie, posiadając nakład inwestycyjny na modernizację infrastruktury sieciowej w obszarze modelowej stacji ST1, można było dokonać estymacji kosztów w przypadku propagacji działań modernizacyjnych w każdej stacji SN/nN w Polsce.

Należy jednak podkreślić, że to działanie ma charakter wyłącznie orientacyjny, gdyż jak wspomniano wcześniej każda stacja SN/nN jest unikalna i zakres działań modernizacyjny, wymagałby wykonania szczegółowych analiz pracy takiej infrastruktury, jak zaprezentowano w raporcie z etapu II dla stacji ST1. Następnie wykonano obliczenia kosztów modernizacji dla całego kraju, wykorzystując matrycę rozwiązań, w których przyjęto że:

- nakłady inwestycyjne dla modelowej stacji ST1 zostaną zaprezentowane w funkcji procentowego ich udziału dla następujących wartości: 10%, 25%, 50%, 75%, 100%, 125%, 150%, 175%, 200%, 225%, 250%, 300%, 350%, 400%,
- zakłada się, że procent wszystkich stacji SN/nN wymagający modernizacji, będzie zawierać się w przedziale 5% - 100%, z interwałem co 5%.

W przypadku, gdy konieczne byłoby zmodernizowanie wszystkich stacji SN, zgodnie z założeniami wprowadzonymi dla analizowanej stacji ST1 to wówczas nakłady inwestycyjne w skali kraju powinny wynosić około 430 mld zł. Najmniejsza odnotowana wartość (przypadek 10% kosztów modernizacji stacji i 5% liczby stacji wymagających modernizacji) wynosiła 2,15 mld zł, zaś w przypadku, gdy konieczne byłoby zmodernizowanie wszystkich stacji SN/nN w Polsce oraz przyjmując współczynnik 400% kosztów modernizacji modelowej stacji ST1, to wówczas całkowity nakład inwestycyjny na modernizację infrastruktury wynosił 1 722 mld zł. Należy zwrócić uwagę, że powyższe wartości dotyczą modernizacji sieci dystrybucyjnych. Warto podkreślić, że same planowane działania modernizacyjne w obszarze sieci przesyłowej to koszt rzędu 66 mld złotych.

Natomiast w odniesieniu do źródeł wytwórczych określono, oprócz kosztów inwestycyjnych, również koszty operacyjne związane z pokryciem zapotrzebowania w ramach elektryfikacji ww. sektorów. Przeprowadzona analiza kosztów wykazała, że pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną, przy założonym miksie energetycznym i potrzebną do tego mocą obiektów wytwórczych, pracujących w KSE wymaga w zależności od przyjętego scenariuszu w perspektywie 2040 r. od 92,3 mld PLN (MFR) do 111,9 mld PLN (BAU).

Przedmiotowe wartości dotyczą, zarówno nakładów inwestycyjnych, jak i kosztów operacyjnych związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej.

W tabeli poniżej zestawiono sumaryczne koszty oszacowane dla sektora elektroenergetycznego.

Tabela 23 Koszty sektora elektroenergetycznego w perspektywie 2040 r. na potrzeby projektu ReduCost.

Scenariusz	Koszty inwestycyjne (CAPEX)	Koszty operacyjne (OPEX)	Koszty zew. Związane z emisjami	Razem
	[mld PLN]			
BAU	536,044	5,851	0,194	542,089
MFR	517,439	4,825	0,160	522,424

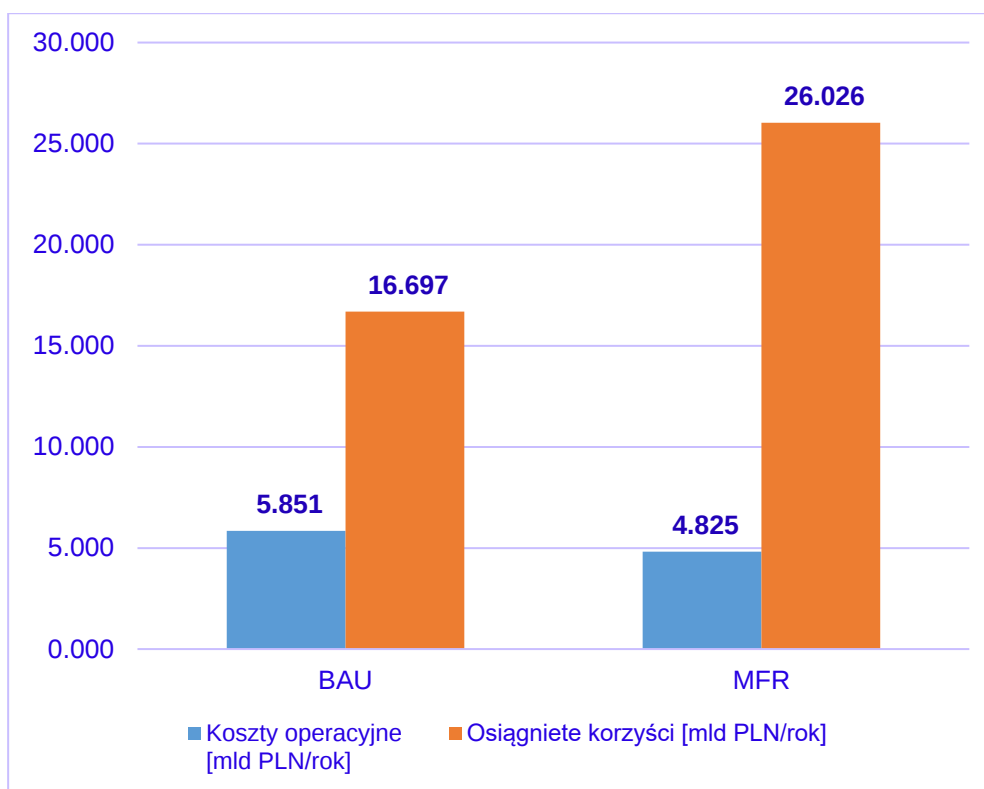
Ze względu, że rokiem odniesienia dla projektu ReduCost jest 2022 r., a rokiem bazowym 2040 r., koszty capex oszacowane są dla okresu inwestycyjnego w latach 2023 – 2039. Natomiast pozostałe koszty odnoszą się dla wielkości produkcji energii elektrycznej w 2040 r.

4.4.5 Ocena kosztów i korzyści

W sektorze elektroenergetycznym, wielkość kosztów związanych z działaniami zaproponowanymi w transporcie i sektorze komunalno-bytowym, wynika przede wszystkim z konieczności modernizacji systemu dystrybucji energii elektrycznej, gdzie nakłady inwestycyjne stanowią ok. 80% całkowitych kosztów (~430 mld PLN) jakie oszacowano w sektorze. W przypadku źródeł wytwórczych, zmiana miksu energetycznego i budowa nowych obiektów, nie wynika z potrzeby samego projektu ReduCost, ale z polityk i strategii krajowych, uwzględniających wymogi i cele unijne. Rozpatrując, w tym kontekście, same potrzeby projektu ReduCost, związane ze zwiększonym zapotrzebowaniem na energię elektryczną, spowodowaną rozwojem elektromobilności i elektryfikacją systemów grzewczych w gospodarstwach domowych, koszty inwestycje w odniesieniu do źródeł wytwórczych kształtują się na poziomie ok. $87,4 \div 106,0$ mld PLN (lata 2023 – 2039), a koszty operacyjne związane z wytwarzaniem energii na poziomie $4,8 \div 5,9$ mld PLN/rok, przy stałych cenach z 2022 r. Przy czym koszty zewnętrzne, wynikające z emisji zanieczyszczeń do powietrza wynoszą $0,19 \div 0,16$ mld PLN. W przypadku korzyści, to jest emisji unikniętej w sektorach

transportu i komunalno-bytowym, ze względu na wykorzystanie energii elektrycznej z sektora elektroenergetycznego, są na poziomie 16,7 mld PLN/rok dla scenariusza BAU i 26,0 mld PLN/rok dla scenariusza MFR.

Z przedstawionych danych wynika, że w skali roku, korzyści związane z unikniętą emisją pokrywają koszty operacyjne wytwarzania energii elektrycznej, w obu scenariuszach, co obrazuje Rysunek 30. Natomiast w odniesieniu do kosztów inwestycyjnych, korzyści te nie rekompensują kosztów w perspektywie 2040 r.



Rysunek 30 Koszty operacyjne wytwarzania energii elektrycznej względem osiągniętych korzyści związanych z unikniętą emisją.

W podsumowaniu należy przypomnieć, że w projekcie ReduCost, **sektor elektroenergetyczny, nie jest obszarem analiz związanych z określeniem możliwości redukcji emisji, ale elementem uzupełniającym. Pokrycie zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną w gospodarstwach domowych i transporcie, powoduje, że część kosztów z tych obszarów jest przesunięta do sektora elektroenergetycznego, a korzyści powstają w ww. obszarach.** Dlatego też sam sektor elektroenergetyczny nie decyduje o kosztach i korzyściach, a tylko w połączeniu z zaproponowanymi działaniami związanymi z elektryfikacją sektora komunalno-bytowym i transportu.

5. Zmiany poziomu emisji w skali kraju z uwzględnieniem analizowanych sektorów

5.1 Założenia pakietu

Partnerem odpowiedzialnym za realizację pakietu 5 jest Zespół Zarządzania Krajową Bazą w KOBiZE IOŚ-PIB (dalej: ZZKB KOBiZE, obecnie Zespół Centralnej Bazy Emisyjnej).

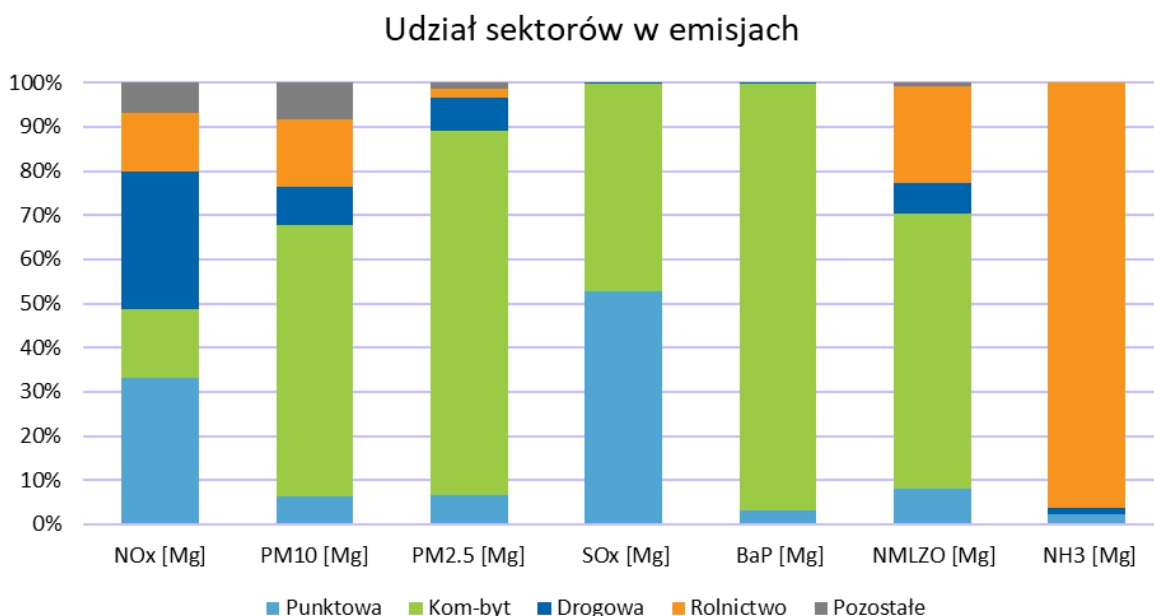
Podstawowym zadaniem pakietu 5 było przygotowanie danych emisyjnych dla roku bazowego 2022 oraz dla scenariuszy (BAU i MFR) w horyzoncie czasowym do 2040 r., na potrzeby modelowania matematycznego transportu i przemian substancji w powietrzu, wykonywanego przez Zespół Modelowania Atmosfery i Klimatu w IOŚ-PIB. Prognozowane dane emisyjne zostały opracowane na podstawie informacji uzyskanych od ekspertów realizujących zadania w ramach pakietów 1-4. Należy podkreślić, że ww. dane zostały przygotowane na podstawie metodyk ustalania wielkości emisji zanieczyszczeń ze źródeł powierzchniowych, liniowych i punktowych opracowywanych przez ZZKB KOBiZE w ramach zadań związanych z prowadzeniem Centralnej Bazy Emisyjnej (CBE), z której dane wykorzystywane są na potrzeby modelowania jakości powietrza, o którym mowa w art. 88 ust. 6 ustawy – Prawo ochrony środowiska. Głównym celem CBE jest dostarczenie wysokorozdzielczych danych emisyjnych do Oceny Rocznej (OR) jakości powietrza.

5.2 Opracowanie scenariusza bazowego

W ramach zadania ustalono kluczowe założenia dot. scenariusza bazowego m.in. rok bazowy (2022 rok) oraz wyznaczone zostały emisje dla poszczególnych sektorów. Scenariusz ten był niezbędny, gdyż został wykorzystany do porównania stanu aktualnego emisji w stosunku do tego zaproponowanego w scenariuszach redukcyjnych BAU i MFR i umożliwił tym samym określenie wielkości redukcji emisji w wyniku działań zaprojektowanych przez poszczególnych ekspertów działań.

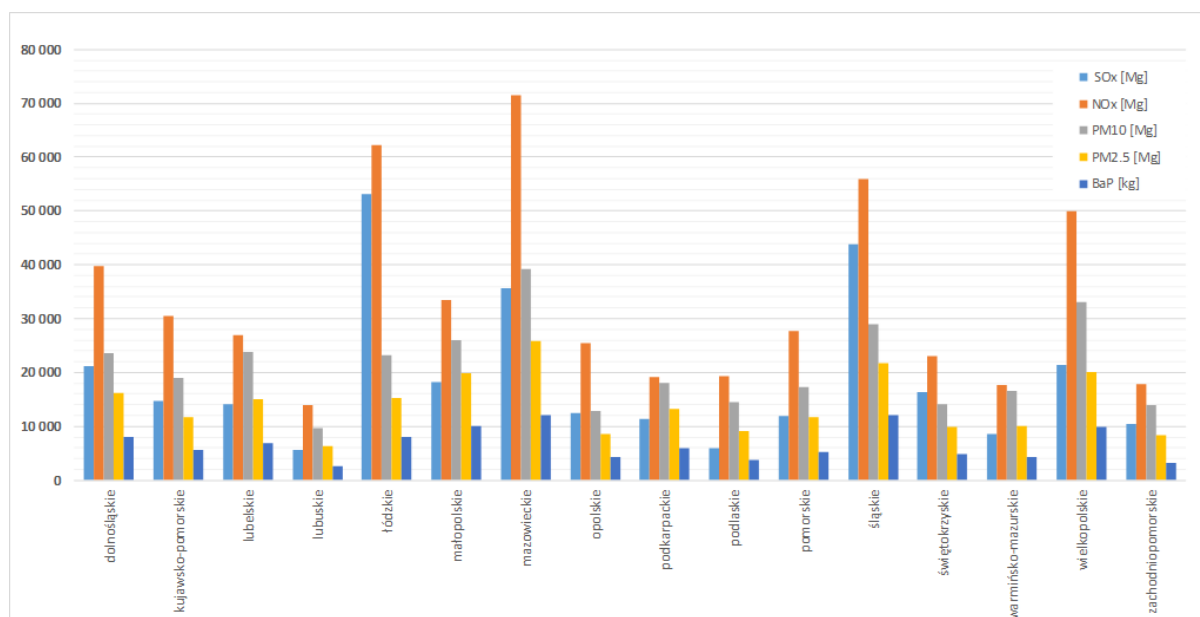
Poniżej podsumowano emisje dla scenariusza bazowego dla roku 2022 w podziale na analizowane sektory tj. komunalno-bytowy (pakiet 1), transport drogowy (pakiet 2), rolnictwo (pakiet 3) oraz emisję punktową, w tym emisje z sektora elektroenergetycznego (pakiet 4) i pozostałe. W przypadku NO_x , największy udział w całkowitej wielkości emisji mają emisje z transportu drogowego oraz emisje ze źródeł punktowych. Dla emisji PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ dominującym sektorem jest komunalno-bytowy, który odpowiada za największą część emisji (Rysunek 31). W emisjach SO_x największy udział ma sektor komunalno-bytowy i emisja punkтова. Z kolei w przypadku emisji B(a)P prawie cała emisja pochodzi z sektora komunalno-bytowego, ze spalania paliw stałych w gospodarstwach domowych. Dla NMLZO głównym źródłem jest także sektor komunalno-bytowy, ale również rolnictwo ma znaczący udział. Natomiast emisje amoniaku niemal w całości pochodzą z sektora rolnictwa, co podkreśla jego

dominującą rolę w tym zakresie. Podsumowując, największe emisje dla poszczególnych zanieczyszczeń pochodzą głównie z sektora komunalno-bytowego oraz rolnictwa, przy czym sektor transportu drogowego i źródła punktowe ma znaczący udział w emisjach NO_x . Można zauważyć, że analizowane w projekcie ReduCost sektory, są kluczowe w zakresie emisji głównych zanieczyszczeń w Polsce.



Rysunek 31 Udział emisji z poszczególnych sektorów w scenariuszu bazowym.

Rozkład wielkości emisji z poszczególnych sektorów jest zróżnicowany pomiędzy województwami (Rysunek 32). W znacznej mierze wynika to z gęstości zaludnienia poszczególnych województw. W przypadku emisji B(a)P najwyższe wartości odnotowano w województwie śląskim, mazowieckim i małopolskim. W emisji $\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10} największy udział mają te same województwa oraz dodatkowo - wielkopolskie. Z kolei dla NO_x (tlenków azotu) najwięcej zanieczyszczeń generują województwa mazowieckie, śląskie oraz wielkopolskie. W przypadku emisji SO_x (tlenków siarki) przodują województwa: śląskie, mazowieckie i łódzkie. Podsumowując, województwa śląskie, mazowieckie i małopolskie charakteryzują się najwyższą emisją zanieczyszczeń, szczególnie pyłów.



Rysunek 32 Wielkości emisji w poszczególnych województwach w scenariuszu bazowym.

5.3 Opracowanie scenariuszy BAU i MFR

Zadanie to składało się z kilku etapów, które były prowadzone równolegle dla wszystkich sektorów. Pierwszy z nich polegał na przeprowadzeniu serii konsultacji z ekspertami z poszczególnych pakietów w celu szczegółowego omówienia metodyk stosowanych w CBE i uzyskania danych wejściowych dla scenariuszy redukcyjnych możliwych do zaimplementowania w CBE. W kolejnym kroku wyliczone zostały emisje dla rozpatrywanych zanieczyszczeń we wszystkich sektorach. W ostatnim etapie przygotowano dane o emisji zanieczyszczeń w formacie danych przestrzennych, jako wkład do modelowania. Jako rok odniesienia ustalono rok 2040, co jest kluczowe przy określeniu założeń do scenariuszy w poszczególnych sektorach.

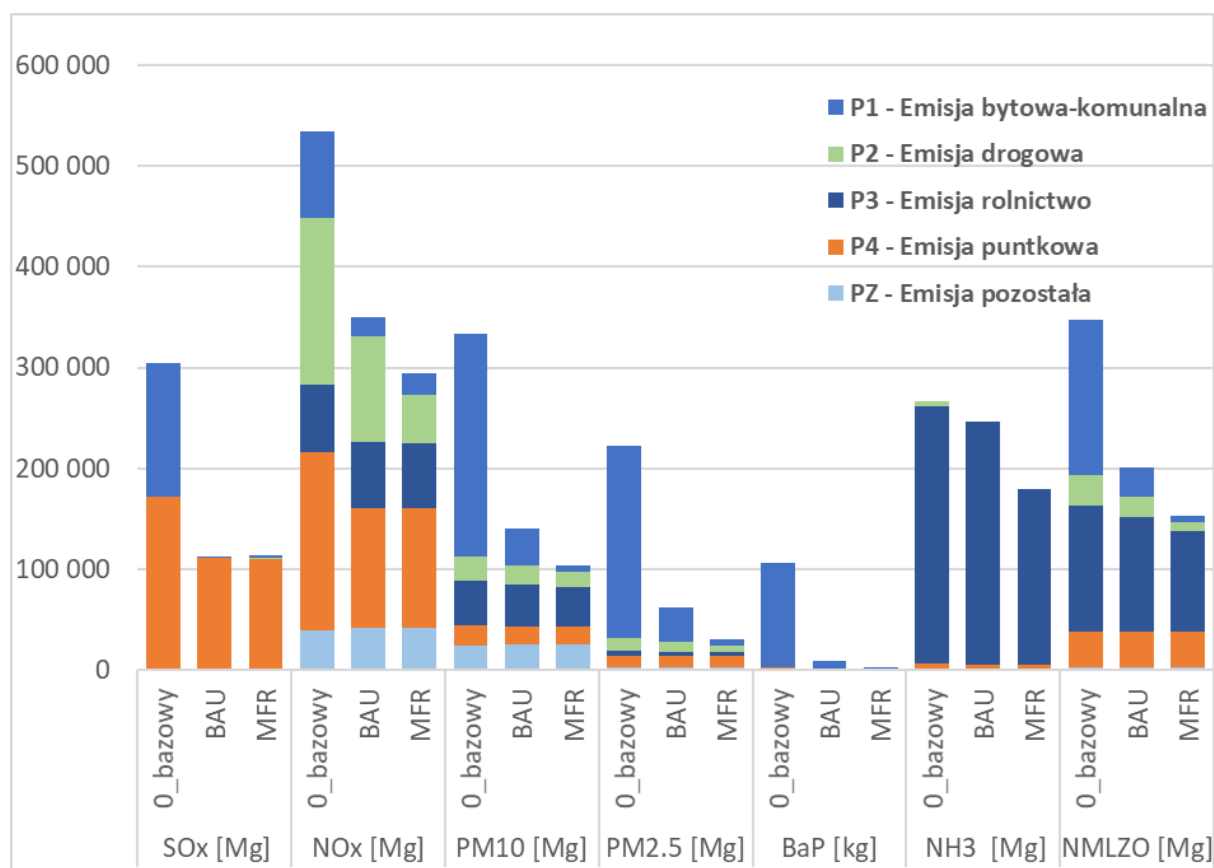
5.4 Redukcja emisji w scenariuszach BAU i MFR

Redukcja emisji w scenariuszach BAU i MFR względem emisji bazowej różni się w zależności od zanieczyszczenia i sektora. Podział na główne sektory dla trzech szczegółowo analizowanych zanieczyszczeń (NO_x , $\text{PM}_{2,5}$ i NH_3), przedstawiono w poniższej tabeli. Analizując redukcje emisji należy wziąć pod uwagę udział danego sektora w całkowitej emisji zanieczyszczenia (Rysunek 31).

Dla NO_x największy udział w emisji ma sektor drogowy i punktowy (odpowiednio 33% i 31%). Sektory komunalno-bytowy i rolniczy mają mniejsze znaczenie (odpowiednio 16% i 13%). Jednocześnie największy wpływ na jakość powietrza pod względem przekroczeń stężeń NO_2 ma także sektor drogowy (przede wszystkim na obszarach zurbanizowanych), stąd redukcje emisji z tego sektora są istotne z punktu widzenia jakości powietrza. Redukcje emisji

dla sektora transportowego wynoszą ok. 37% w scenariuszu BAU i aż 72% w scenariuszu MFR. Największymi redukcjami w scenariuszach charakteryzuje się sektor komunalno-bytowy (78% w BAU i 74% w MFR). Warto zauważyć, że redukcja emisji w tym sektorze jest mniejsza w MFR, niż w BAU – ma to związek z większą emisyjnością w zakresie NO_x nowoczesnych kotłów na paliwa stałe. Drugi najważniejszy sektor pod względem emisji NO_x – obejmujący przemysł i energetykę (emisja punktowa) wykazuje w obu scenariuszach redukcję emisji NO_x na poziomie 33%, warto jednak zaznaczyć, że scenariusze dla tego sektora obejmowały jedynie elektroenergetykę zawodową dużej mocy.

Emisja $\text{PM}_{2,5}$ jest zdominowana przez emisję z sektora komunalno-bytowego, dla którego prognozuje się jednocześnie największe redukcje emisji (82% BAU i 97% MFR). Sektor ten jest w głównej mierze odpowiedzialny za występowanie przekroczeń jakości powietrza dla zanieczyszczeń pyłowych. Znaczące redukcje pyłu $\text{PM}_{2,5}$ przewiduje się także dla sektora transportowego (23% i 44%), którego udział w emisji całkowitej wynosi zaledwie 6%, jednakże sektor ten ma wpływ na jakość powietrza na terenach zurbanizowanych wzdłuż ciągów komunikacyjnych. Warto zwrócić uwagę, że w scenariuszu MFR znacząco zmieniają się udziały emisji $\text{PM}_{2,5}$ z poszczególnych sektorów i przewiduje się wzrost znaczenia sektora przemysłowego/energetycznego oraz drogowego.



Rysunek 33 Wielkości emisji w scenariuszach w podziale na wybrane sektory.

W przypadku emisji NH_3 , podobnie jak dla pyłu $\text{PM}_{2,5}$, dominuje jeden sektor – rolniczy, którego udział w emisji dla roku bazowego wynosi aż 96%. Przewiduje się dla tego sektora nieznaczne redukcje (6%) w scenariuszu BAU oraz nieco większe (32%) w scenariuszu MFR (Tabela 24).

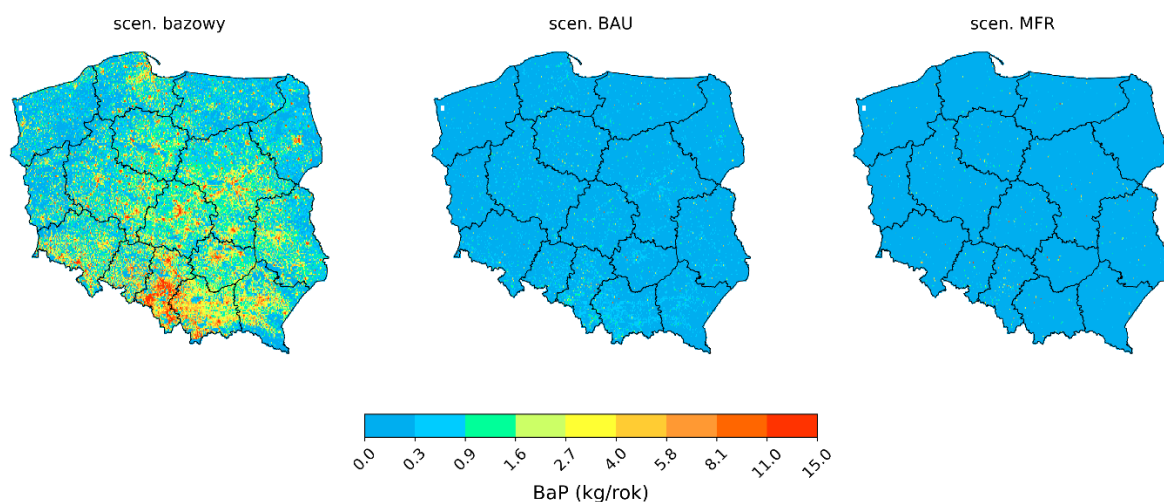
Tabela 24 Redukcja emisji w scenariuszach BAU 2040 i MFR 2040 w odniesieniu do scenariusza bazowego 2022.

	NO_x		$\text{PM}_{2,5}$		NH_3	
	BAU	MFR	BAU	MFR	BAU	MFR
Emisja bytowo-komunalna	78%	74%	82%	97%		
Emisja drogowa	37%	72%	23%	44%		
Emisja z rolnictwa	2%	3%	6%	12%	6%	32%
Emisja punktowa	33%	33%	7%	7%	2%	2%
Emisja krajowa	35%	45%	72%	86%	7%	33%

5.5 Rozkład przestrzenny emisji ze wszystkich sektorów

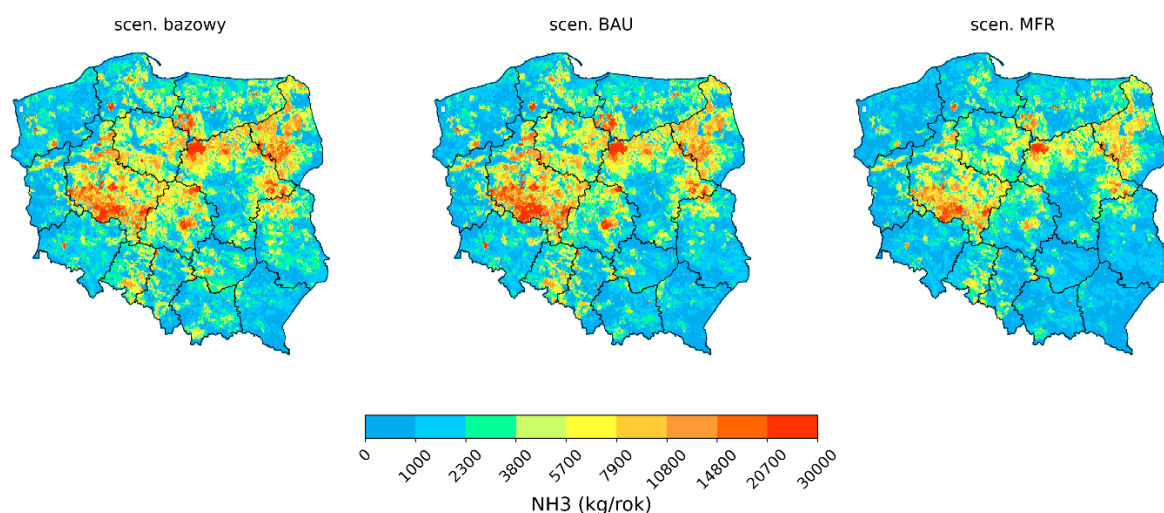
Zamieszczone poniżej mapy prezentują rozkład wielkości emisji pochodzących ze wszystkich sektorów - zarówno tych poddanych redukcji, jak i pozostałych - dla scenariuszy: bazowego, BAU i MFR, w siatce $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. W ujęciu sumarycznym można zaobserwować znaczące redukcje wielkości emisji w przypadku większości analizowanych substancji, a w niektórych przypadkach niemalże ich wyzerowanie (B(a)P - szczególnie w scenariuszu MFR. W przypadku SO_x na mapach z redukcją emisji zaobserwować można znaczącą redukcję, natomiast występuje wiele pojedynczych miejsc z wysokimi wartościami emisji - jest to prawdopodobnie efektem nieuwzględnienia redukcji z sektorów, które nie były przedmiotem analizy w ramach projektu (głównie przemysł). Jak wspomniano powyżej, pyły uległy znaczącej redukcji (głównie na skutek redukcji w sektorze komunalno-bytowym), można jednak po ich rozkładzie zaobserwować siatkę głównych dróg i aglomeracji w kraju. Szacowane emisje pyłów, po ich znacznym zredukowaniu w sektorze komunalno-bytowym powiązane są głównie z sektorem transportu drogowego. Również ten sektor odpowiedzialny jest za większość emisji tlenków azotu, wprowadzanych do powietrza po przeprowadzeniu działań redukcyjnych. Najmniej zauważalna redukcja, i to w przypadku obydwu scenariuszy, obserwowana jest w przypadku amoniaku, za który w znaczącej wielkości odpowiada sektor rolnictwa.

BaP ze wszystkich sektorów



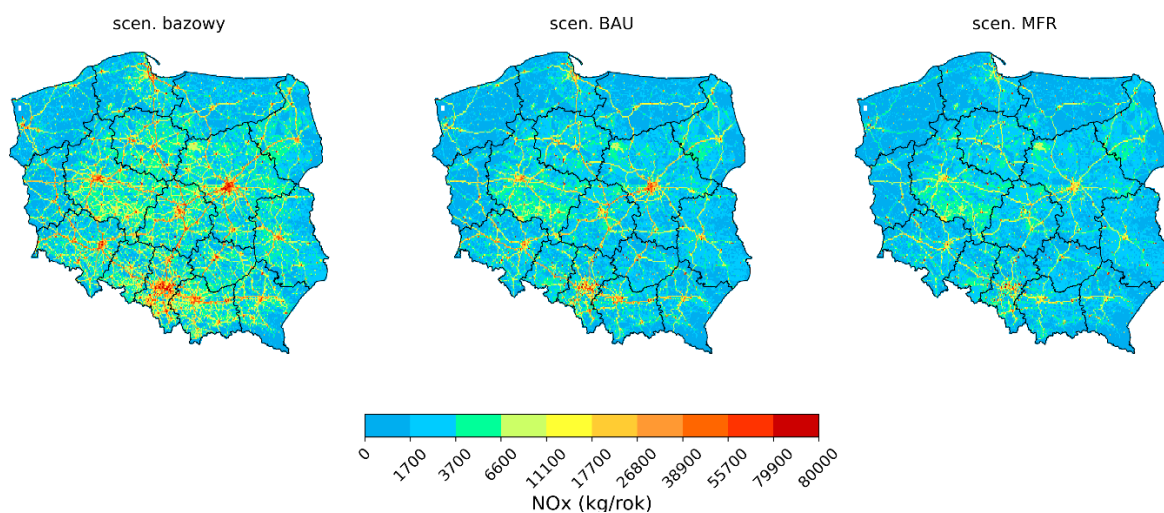
Rysunek 34 Emisje B(a)P ze wszystkich sektorów w scenariuszach bazowym, BAU i MFR.

NH₃ ze wszystkich sektorów



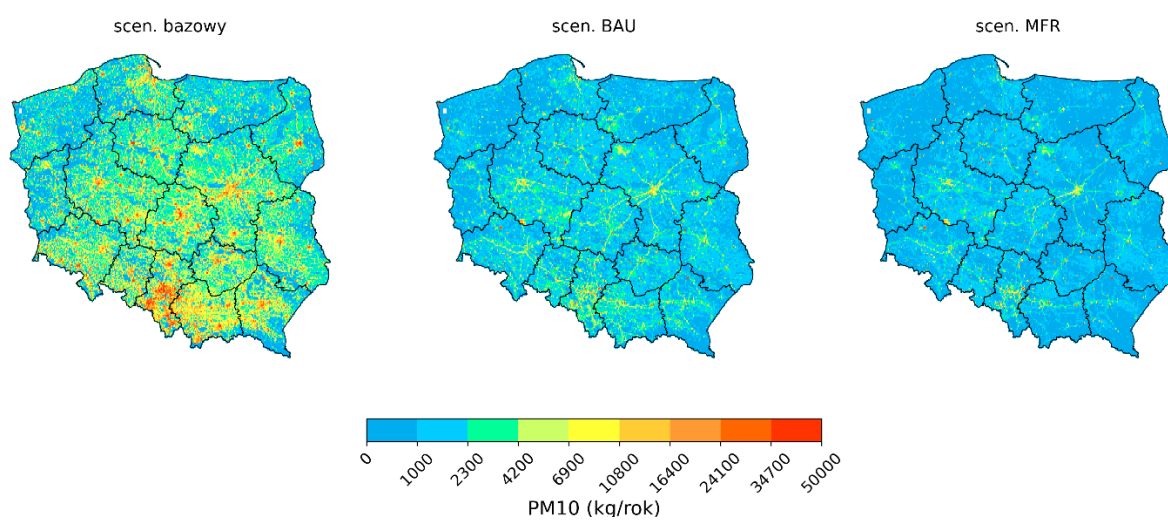
Rysunek 35 Emisje NH₃ ze wszystkich sektorów w scenariuszach bazowym, BAU i MFR.

NO_x ze wszystkich sektorów



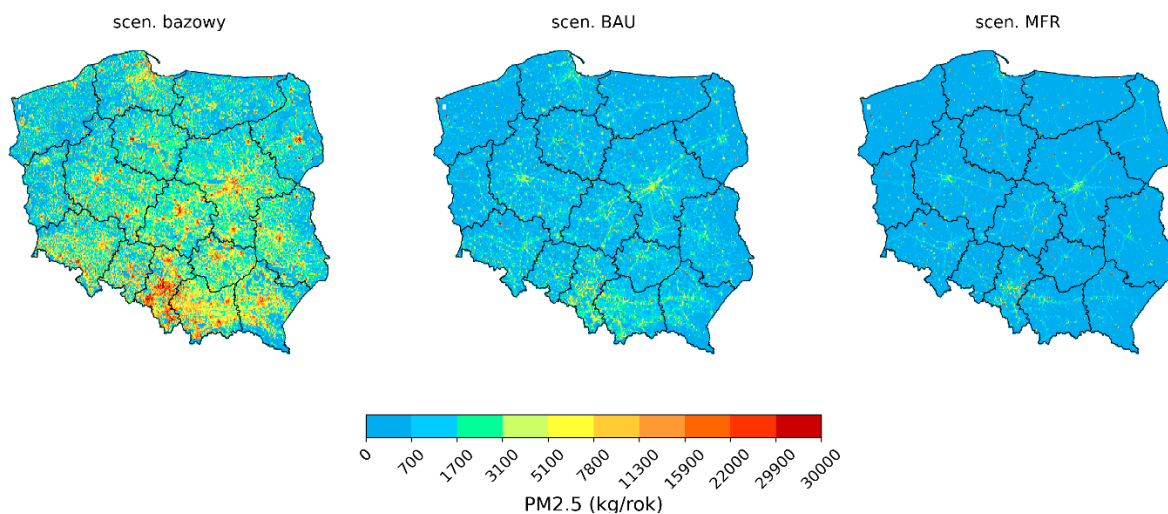
Rysunek 36 Emisje NO_x ze wszystkich sektorów w scenariuszach bazowym, BAU i MFR.

PM₁₀ ze wszystkich sektorów



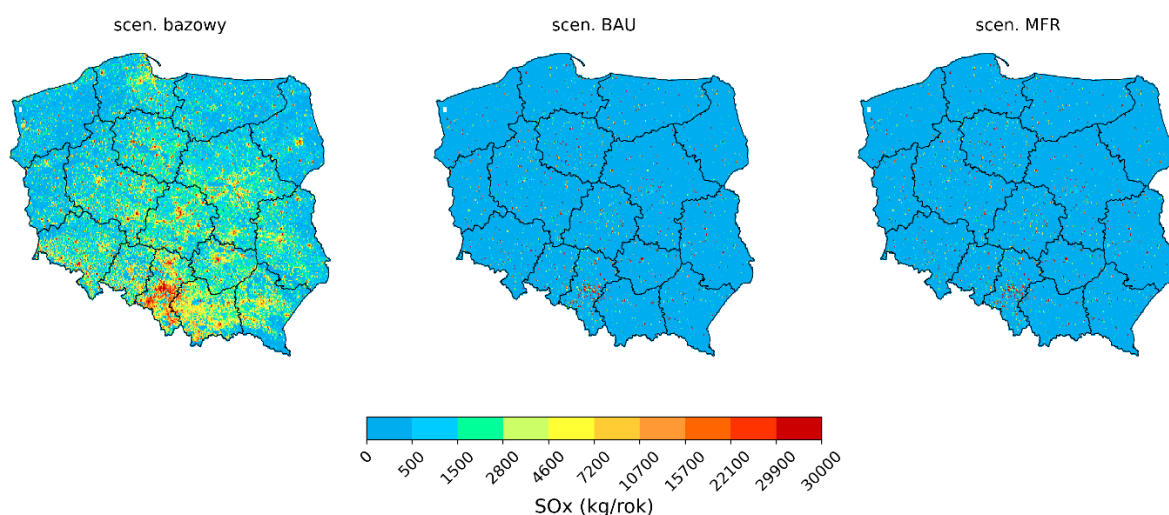
Rysunek 37 Emisje PM₁₀ ze wszystkich sektorów w scenariuszach bazowym, BAU i MFR.

PM2.5 ze wszystkich sektorów



Rysunek 38 Emisje PM2,5 ze wszystkich sektorów w scenariuszach bazowym, BAU i MFR.

SOx ze wszystkich sektorów



Rysunek 39 Emisje SOx ze wszystkich sektorów w scenariuszach bazowym, BAU i MFR.

5.6 Wpływ projektu na rozwój CBE

W ramach przeprowadzonych prac dokonano istotnych postępów w zakresie analiz emisji zanieczyszczeń oraz opracowywania scenariuszy ich redukcji w trzech głównych sektorach emisyjnych: komunalno-bytowym, transporcie drogowym i rolnictwie, oraz dodatkowo elektroenergetycznym jako odpowiedź na zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną. Wyniki i analizy z niniejszego projektu zostaną wykorzystane do rozwoju Centralnej Bazy Emisyjnej.

Opracowana przez ekspertów pakietu 1 we współpracy z KOBiZE **kompleksowa metodyka obliczania zagregowanego wskaźnika emisji dla paliw stałych w sektorze komunalno-bytowym, może stanowić kluczowe narzędzie analityczne w ramach działań prowadzonych na potrzeby CBE i naprawczych programów ochrony powietrza.**

Znaczną część analiz przeprowadzonych w ramach projektu poświęcono ocenie wpływu technologii niskoemisyjnych na poziomy emisji oraz infrastrukturę. **Przeanalizowano scenariusze zakładające szersze wykorzystanie biomasy oraz dynamiczny rozwój instalacji odnawialnych źródeł energii, takich jak pompy ciepła i fotowoltaika, wskazując na ich potencjał redukcyjny oraz konieczność rozbudowy i modernizacji sieci elektroenergetycznej. W przypadku transportu drogowego skupiono się na wpływie unowocześnienia i elektryfikacji floty** – zarówno w kontekście redukcji emisji gazów cieplarnianych, jak i tlenków azotu (NO_x), i spełnienia zaostrzonych norm jakości powietrza. **Oszacowano również wpływ zwiększonego udziału pojazdów elektrycznych na system elektroenergetyczny i określono wynikające z tego potrzeby inwestycyjne.**

W sektorze rolnictwa opracowano nowe przestrzenne rozkłady dla upraw, rozbudowano metodykę szacowania emisji, a także przygotowano katalog najskuteczniejszych technik ograniczania emisji amoniaku. Wskazano także, że **w świetle dyrektywy AAQD, emisje z rolnictwa, a w szczególności emisje amoniaku mogą zyskać na znaczeniu w kontekście udziału NH₃ w powstawaniu aerozoli. Bardzo restrykcyjne normy jakości powietrza dla pyłu PM_{2,5} będą wymagać głębokich redukcji emisji PM_{2,5} nie tylko o charakterze pierwotnym, ale i wtórnym (prekursory pyłów, w tym NH₃).**

Dodatkowo zidentyfikowano wpływ rezygnacji z węgla w jednostkach JWCD (centralnie dysponowanych) na znaczne ograniczenie emisji w elektroenergetyce oraz uwzględniono emisje z nowych jednostek wytwórczych w scenariuszach BAU i MFR.

Zidentyfikowano również obszary wymagające dalszego rozwoju Centralnej Bazy Emisyjnej. Należy do nich m.in. aktualizacja wskaźników emisji dla nowych kotłów na biomasę w warunkach rzeczywistych, wykorzystanie danych z Centralnej Ewidencji Emisyjności Budynków (CEEB) i ARiMR, na potrzeby poprawy dokładności inwentaryzacji. **Istotne jest także dalsze rozwijanie metodyk szacowania emisji uzyskanych w wyniku podejmowania działań naprawczych w miastach takich jak: wprowadzanie stref czystego transportu (LEZ), rozwój komunikacji publicznej, wdrażanie Inteligentnych Systemów Transportowych czy budowa obwodnic. Wskazano także na potrzebę poszerzenia analiz o inne gałęzie przemysłu, które mogą mieć lokalnie istotny wpływ na jakość powietrza.**

6. Wpływ zmian emisji na poziom stężeń zanieczyszczeń

6.1 Założenia pakietu

Do obliczeń stężeń zanieczyszczeń przy powierzchni ziemi zastosowano model jakości powietrza GEM-AQ (Kamiński i inni, 2008). Model ten jest wykorzystywany na forum europejskim w serwisie Copernicus (CAMS2_40 Copernicus Atmosphere Monitoring Service – Regional Production) oraz w ramach inicjatywy europejskiej FAIRMODE (Forum for Air Quality Modelling in Europe). W Polsce model ten był wielokrotnie stosowany do prognoz i analiz zanieczyszczenia powietrza w skali kraju. Obecnie jest podstawą systemu modelowania wdrażanego w IOŚ-PIB do celów realizacji zadań ustawowych zgodnie z art. 88 ust. 6 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska (tj. Dz. U. 2024 poz. 54).

Na potrzeby realizacji niniejszej pracy wykonane zostały trzy symulacje obliczeniowe obejmujące okres jednego roku kalendarzowego i odzwierciedlające kolejne scenariusze redukcji emisji:

- Bazowy – przebieg referencyjny do którego odniesiono wyniki scenariuszy,
- BAU (business as usual) - przebieg dla wybranego roku z wykorzystaniem emisji po redukcjach związanych z kontynuowaniem aktualnych działań,
- MFR (maximum feasible reduction) - przebieg dla wybranego roku z wykorzystaniem maksymalnych, technicznie możliwych redukcji emisji.

Obliczenia wykonano przyjmując 2022 jako bazowy rok, zarówno pod kątem modelowania procesów meteorologicznych jak i dostępnej bazy emisji (opisanej w rozdziale 5). Redukcje związane ze scenariuszami, przyjęte do wprowadzenia do roku 2040, obliczono z wykorzystaniem danych meteorologicznych dla przyjętego roku bazowego, by zachować spójność i otrzymać różnice w stężeniach, będące skutkiem wyłącznie redukcji danych emisyjnych.

Na podstawie wyników modelowania dla wartości 1-godzinnych wykonane zostały dla analizowanego obszaru:

- Mapy analizowanych diagnostyk dla NO₂, NO_x, SO₂, PM₁₀ i PM_{2,5}, B(a)P,
- Mapy względnych różnic stężeń pomiędzy stanem bazowym i scenariuszami emisji (BAU i MFR). Różnice względne [%] obliczone zostały jako wartości uśrednione dla całego roku, wyrażone wzorem:

$$RD = \frac{C_{BAU | MFR} - C_{BASE}}{C_{BASE}} * 100\%$$

Gdzie: C – wartość stężenia 1-godzinnego dla danego zanieczyszczenia w danym scenariuszu emisyjnym

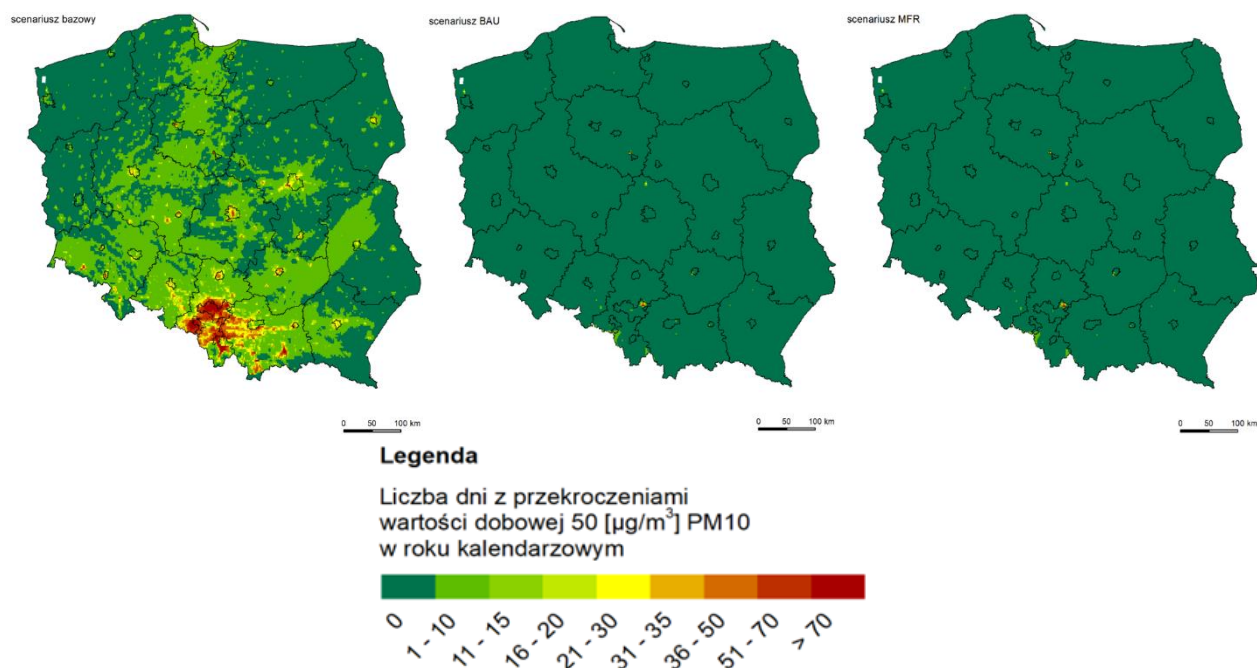
Wartości dodatnie tak zdefiniowanej miary świadczyły o wzroście stężeń zanieczyszczeń lub parametru diagnostycznego w danym scenariuszu, zaś wartości ujemne o ich spadku w stosunku do scenariusza bazowego.

6.2 Stężenia zanieczyszczeń powietrza w scenariuszach modelowych

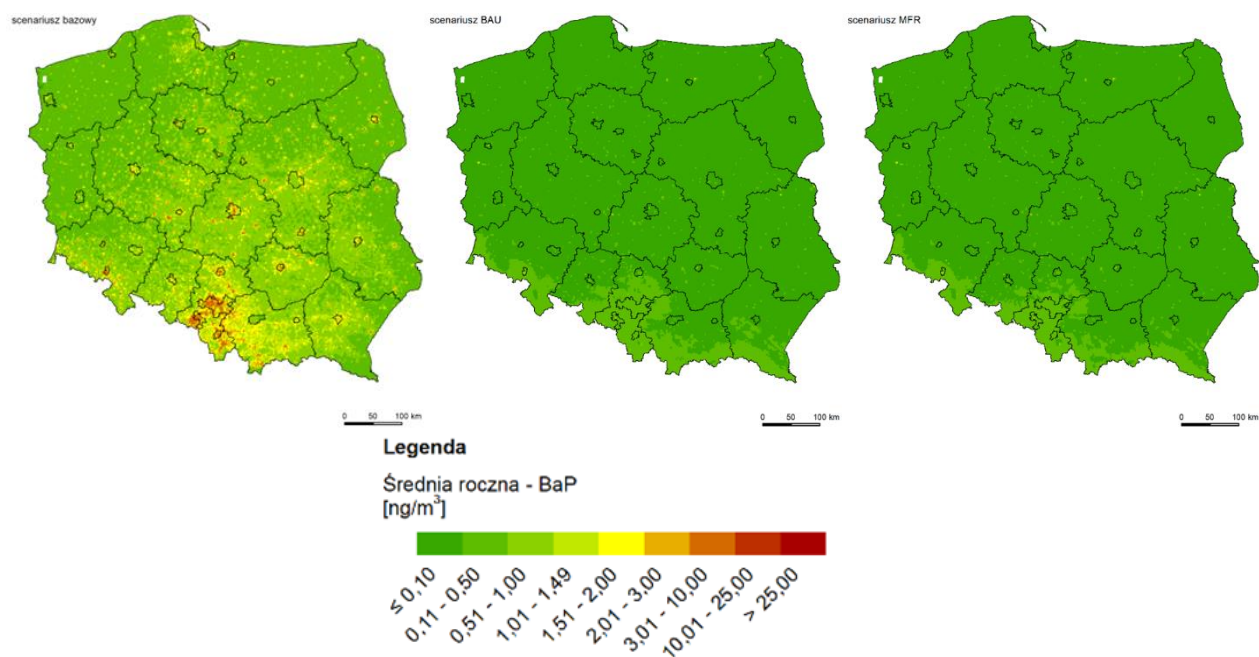
Zamieszczone, w tym podrozdziale jak i następnych, mapy przedstawiają wyniki modelowania obejmujące każdy z modelowanych scenariuszy, dla wybranych zanieczyszczeń - najbardziej problematycznych w kontekście stężeń przekraczających normy w Polsce. Wyniki modelowania dla wszystkich analizowanych zanieczyszczeń przedstawione są w pełnym raporcie z projektu.

Wykonane na potrzeby projektu modelowanie stężeń zanieczyszczeń wykazało zdecydowany spadek stężeń zanieczyszczeń już w scenariuszu BAU. Obniżenie stężeń, dotyczyło wszystkich związków, a jego skala odzwierciedlała redukcję wprowadzoną w bazie emisyjnej przygotowanej w pakiecie V.

Modelowanie zanieczyszczeń w przypadku scenariusza MFR wskazują na jeszcze niższe stężenia jak w przypadku porównań dla scenariusza BAU. Jednakże różnica pomiędzy samymi scenariuszami redukcyjnymi nie jest tak drastyczna jak w przypadku porównań ze scenariuszem bazowym.



Rysunek 40 Rozkład przestrzenny liczby dni z przekroczeniem wartości dopuszczalnej 50 µg/m³ ze względu na średniodobowe stężenia pyłu PM10 na obszarze Polski w scenariuszu bazowym, BAU, MFR.



Rysunek 41 Rozkład przestrzenny średniorocznego stężenia benzo(a)pirenu w scenariuszu base, BAU, MFR.

6.3 Redukcja stężeń względem scenariusza bazowego

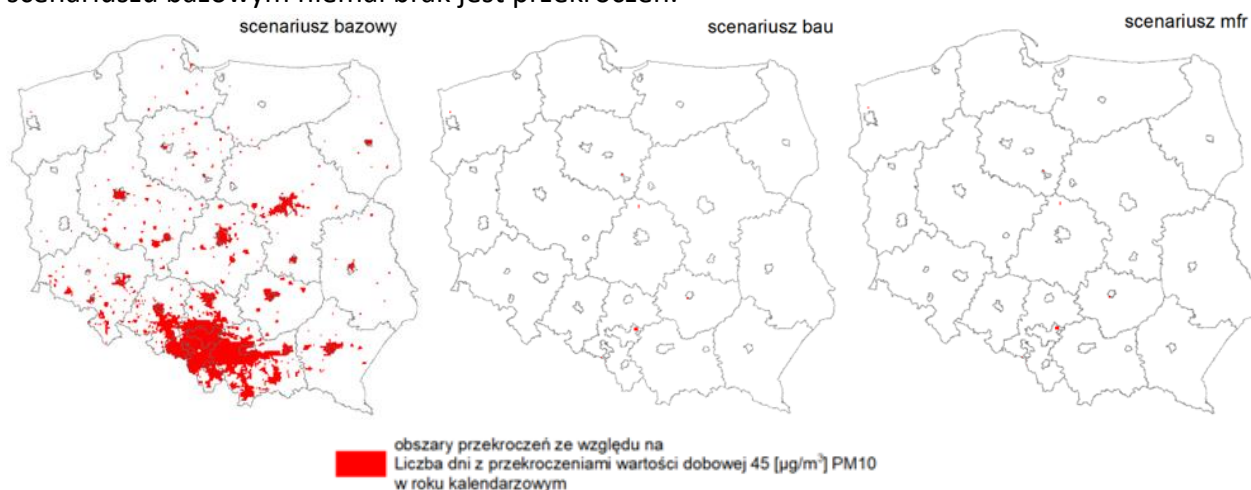
Na potrzeby projektu obliczono również redukcje stężeń dla scenariuszy BAU i MFR względem symulacji bazowej, zarówno w ujęciu bezwzględnym (zmiana poziomu zanieczyszczenia w jednostkach stężenia), jak i względnym (procentowa redukcja stężenia).

Mapy dla większości zanieczyszczeń wskazują na wyraźny spadek stężeń lokalnych w obszarach problemowych, przy jednocześnie mniejszej redukcji stężeń tła obejmującej znaczną część kraju.

W przypadku niektórych zanieczyszczeń gazowych (tlenki azotu, ozon) model wskazał na wzrost stężeń w scenariuszach. Zjawisko to wiąże się z wprowadzeniem do bazy emisyjnej planowanych inwestycji (np. Centralny Port Komunikacyjny) oraz, w przypadku ozonu, ze zmianami w ilości prekursorów tego zanieczyszczenia.

6.4 Narażenie na ponadnormatywne stężenia w scenariuszach

Obliczono i zwizualizowano narażenie na ponadnormatywne stężenia danego zanieczyszczenia. Obszary przekroczeń oznaczono kolorem czerwonym. Dla wszystkich zanieczyszczeń widoczna jest znaczna redukcja obszarów narażenia w scenariuszach redukcyjnych. Rysunek 42 prezentuje obszary przekroczeń kryterium dobowego dla pyłu PM10, według nowych przepisów. Wyjątek stanowi dwutlenek siarki, dla którego już w scenariuszu bazowym niemal brak jest przekroczeń.



Rysunek 42 Mapa przekroczeń normy dobowego poziomu dopuszczalnego pyłu zawieszonego PM10 w roku kalendarzowym, w analizowanych scenariuszach, wg norm obowiązujących od 2030 r.

Tabela 25 prezentuje zestawienie wielkości obszarów i liczby ludności narażonej na stężenia zanieczyszczenia powyżej wartości progowej z uwzględnieniem aktualnych i przyszłych przepisów.

Tabela 25 Redukcja obszarów i liczby ludności narażonej na stężenia zanieczyszczeń powyżej wartości progowej dla BAU i MFR względem scenariusza bazowego, z uwzględnieniem aktualnych zapisów oraz norm wprowadzonych przez dyrektywę AAQD. Kolor niebieski - aktualne normy jakości powietrza, kolor zielony – normy związane z wprowadzeniem dyrektywy AAQD.

Zanieczyszczenie	Norma	Dopuszczalna wartość	Redukcja obszaru narażenia względem scenariusza bazowego [%]		Redukcja narażonej ludności względem scenariusza bazowego [%]	
			BAU	MFR	BAU	MFR
Dwutlenek azotu (NO ₂)	Stężenie średnie roczne	40 µg/m ³	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Dwutlenek azotu (NO ₂)	Stężenie średnie roczne	20 µg/m ³	73.00%	77.91%	96.04%	96.33%
Dwutlenek azotu (NO ₂)	Liczba dni z przekroczeniem wartości dobowej 50 µg/m ³ w roku kalendarzowym	18 dni	64.93%	78.27%	90.23%	92.62%
Pył zawieszony PM ₁₀	Stężenie średnie roczne	40 µg/m ³	99.44%	99.44%	99.82%	99.82%
Pył zawieszony PM ₁₀	Stężenie średnie roczne	20 µg/m ³	96.67%	96.79%	99.42%	99.73%
Pył zawieszony PM ₁₀	Liczba dni z przekroczeniami wartości dobowej 50 µg/m ³ w roku kalendarzowym	35 dni	99.64%	99.64%	99.90%	99.90%
Pył zawieszony PM ₁₀	Liczba dni z przekroczeniami wartości dobowej 45 µg/m ³ w roku kalendarzowym	18 dni	99.39%	99.39%	99.85%	99.85%
Pył zawieszony PM _{2,5}	Stężenie średnie roczne	20 µg/m ³	99.78%	99.78%	99.97%	99.97%
Pył zawieszony PM _{2,5}	Stężenie średnie roczne	10 µg/m ³	84.29%	91.66%	83.66%	91.57%

Zanieczyszczenie	Norma	Dopuszczalna wartość	Redukcja obszaru narażenia względem scenariusza bazowego [%]		Redukcja narażonej ludności względem scenariusza bazowego [%]	
			BAU	MFR	BAU	MFR
Pył zawieszony PM_{2,5}	Liczba dni z przekroczeniami wartości dobowej 25 µg/m ³ w roku kalendarzowym	18 dni	99.69%	99.74%	99.41%	99.63%
Ozon (O₃)	Liczba dni z przekroczeniami wartości 120 µg/m ³ przez stężenia ośmiogodzinne kroczące w roku oceny (poziom celu długoterminowego)	0 dni	11.57%	19.77%	10.07%	21.00%
Ozon (O₃)	AOT40 liczone w godzinach 8 ⁰⁰ - 20 ⁰⁰ czasu środkowoeuropejskiego w okresie 01.05 - 31.07 uśrednione dla 5 lat (poziom docelowy)	18 000 (µg/m ³) · h	13.69%	69.70%	-	-
Benzo(a)piren (B(a)P)	Stężenie średnie roczne	1 ng/m ³	99.94%	99.94%	99.99%	99.99%
Benzo(a)piren (B(a)P)	Stężenie średnie roczne	1,0 ng/m ³	99.89%	99.89%	99.94%	99.94%

Przedstawione dane potwierdzają bardzo wysoką skuteczność zaproponowanych działań redukcyjnych w przypadku niemal wszystkich zanieczyszczeń już w przypadku scenariusza BAU. Narażenie dla scenariusza MFR jest dodatkowo zmniejszone w przypadku NO₂, O₃ oraz przyszłej normy rocznej dla pyłu PM_{2,5}. W przypadku pozostałych zanieczyszczeń dodatkowa redukcja dla bardziej rygorystycznego scenariusza jest nieznaczna.

Warto w tym miejscu podkreślić, że zdecydowana większość, bardzo małych obszarów i ludności narażonej na ponadnormatywne stężenia utrzymująca się w scenariuszach BAU i MFR wiąże się z pobliskimi emitarami przemysłowymi, w przypadku, których redukcja emisji nie była rozpatrywana w ramach niniejszego projektu. Sytuacja ta dotyczy również narażenia związanego z ewentualnym przekroczeniem norm SO₂ (nie wymienione w tabeli), które obejmowało znikome obszary przemysłowe, pozostające bez zmian bez względu na modelowany scenariusz.

6.5 Podsumowanie

Wyniki modelowania wskazują na wysoką skuteczność działań w obu scenariuszach, przy czym znacząca redukcja większości przekroczeń normowych jest już widoczna w scenariuszu BAU. Pozostałe przekroczenia wynikają głównie z emisji przemysłowej, która nie była objęta projektem.

Przy obecnym poziomie zanieczyszczeń obszary przekroczeń norm są relatywnie niewielkie, jednak zastosowanie progów dyrektywy AAQD znacząco zwiększa zarówno powierzchnię przekroczeń, jak i liczbę narażonej ludności, zwłaszcza dla pyłu zawieszonego i NO_2 .

Różnice poziomów stężeń między scenariuszami BAU i MFR są mniejsze niż oczekiwano, ponieważ działania w scenariuszu BAU w sektorze komunalno-bytowym były ambitnie zaprojektowane. BAU poprawia jakość powietrza w porównaniu do stanu bazowego, natomiast pełną zgodność z normami unijnymi umożliwia dopiero scenariusz MFR, szczególnie w przypadku PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$. Ozon pozostaje problemem mniej zaadresowanym, ze względu na brak działań dotyczących emisji jego głównych prekursorów.

7. Wpływ zmiany poziomu stężeń na narażenie zdrowotne

7.1 Założenia i cele pakietu

Celem pracy w Pakiecie 7 była ocena wpływu jakości powietrza na zdrowie człowieka w roku 2022 oraz w przypadku realizacji dwóch scenariuszy zmian emisji: BAU i MFR. Analizę wykonano na podstawie średnich rocznych stężeń pyłu $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 i B(a)P otrzymanych w wyniku obliczeń modelem jakości powietrza GEM-AQ, opisanych w rozdziale 6. W pracy została przedstawiona zmiana liczby przedwczesnych zgonów ze względu na stężenia pyłu $\text{PM}_{2,5}$ i NO_2 , utracone lata życia oraz oczekiwana długość życia ze względu na długotrwałe narażenie na pył $\text{PM}_{2,5}$ oraz liczba dodatkowych nowotworów raka płuc ze względu na stężenia benzo(a)pirenu. Wszystkie analizy zostały wykonane dla scenariusza bazowego 2022 oraz dla scenariuszy: BAU i MFR. Wysokość stężeń pyłu $\text{PM}_{2,5}$ i NO_2 w scenariuszu bazowym została również przeliczona na współczynnik PWMC (Population Weighted Mean Concentration), czyli stężenia ważone liczbą populacji.

Do wykonania analizy wykorzystano Model AirQ+. Jest to program do ilościowego określenia obciążeń zdrowotnych i wpływu zanieczyszczeń powietrza na zdrowie, opracowany

przez Światową Organizację Zdrowia. Narzędzie służy do oceny skutków długotrwałego i krótkotrwałego narażenia na zanieczyszczenia powietrza. AirQ+ wykorzystuje wyniki epidemiologicznych badań kohortowych wykazujących związek między średnimi długoterminowymi poziomami stężeń zanieczyszczeń powietrza a ryzykiem śmiertelności w narażonych populacjach.

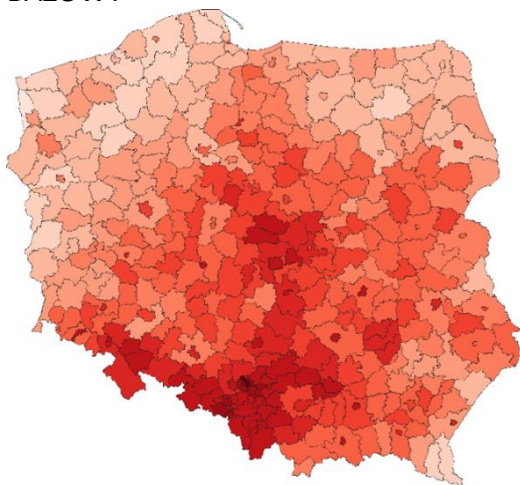
Model AirQ+ opiera się na szacowaniu ryzyka względnego (RR), które odzwierciedla zależność między narażeniem a chorobą. Współczynnik RR wskazuje prawdopodobieństwo rozwoju choroby w grupie narażonej (PDE) w stosunku do grupy nienarażonej (PDU).

7.2 Ocena skutków zdrowotnych

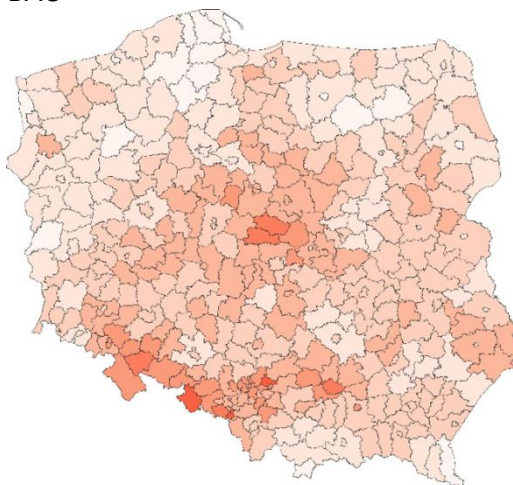
Dla średnich rocznych stężeń **pyłu PM_{2,5}** zostały oszacowane:

- Liczba przedwczesnych zgonów spowodowanych długotrwałym narażeniem na pył PM_{2,5}, których można byłoby uniknąć, gdyby stężenie pyłu nie przekraczało 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, próg zalecany przez WHO Air Quality Guidelines z 2021 roku (Rysunek 43),
- Utracone lata życia w całej populacji (danego powiatu) ze względu na długotrwałe narażenie na pył PM_{2,5} (zestawienie tabelaryczne w pełnym raporcie),
- Oczekiwana długość życia w chwili narodzin i w wieku 65 lat przy długotrwałym narażeniu na pył PM_{2,5} występującym na aktualnym poziomie (zestawienie tabelaryczne w pełnym raporcie).

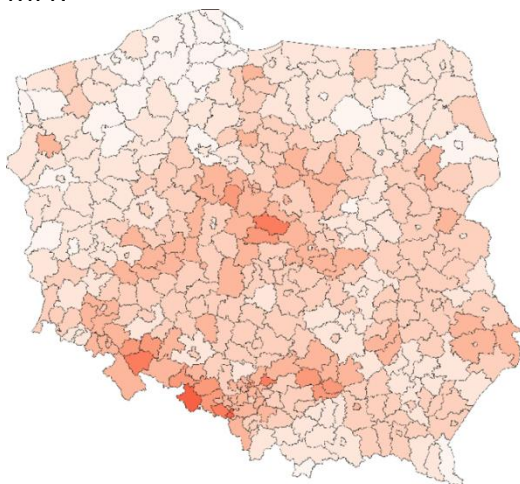
BAZOWY



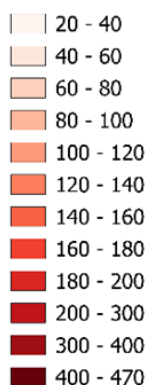
BAU



MFR



Pył PM2.5

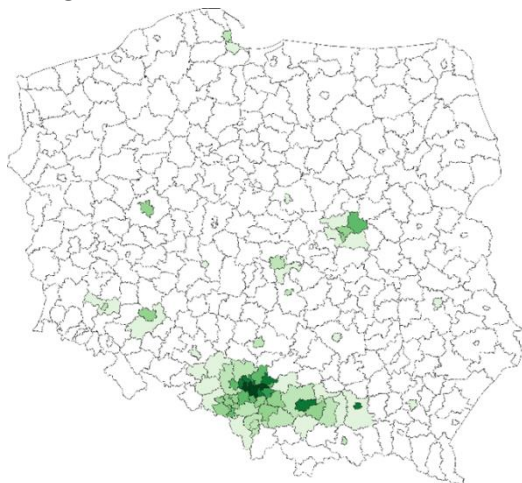
Liczba przedwczesnych zgonów
w przeliczeniu na 100tys. mieszkańców

Rysunek 43 Rozkład przestrzenny liczby przedwczesnych zgonów w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców ze względu na stężenia pyłu PM2,5 wśród mieszkańców powyżej 30 roku życia; pierwsza plansza – scenariusz bazowy 2022, druga plansza – scenariusz BAU, trzecia plansza – scenariusz MFR.

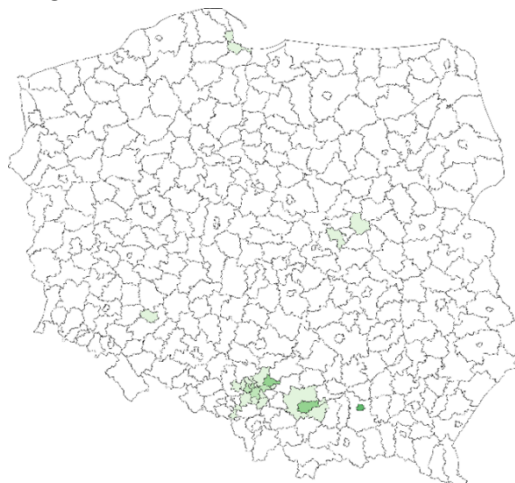
Dla średnich rocznych stężeń **dwutlenku azotu** została oszacowana:

- Liczba przedwczesnych zgonów spowodowanych długotrwałym narażeniem na NO₂, których można byłoby uniknąć, gdyby stężenie nie przekraczało 10 µg/m³, próg zalecany przez WHO Air Quality Guidelines z 2021 roku (Rysunek 44).

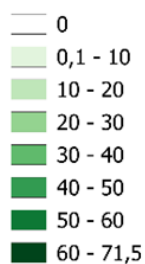
BAZOWY



BAU



MFR

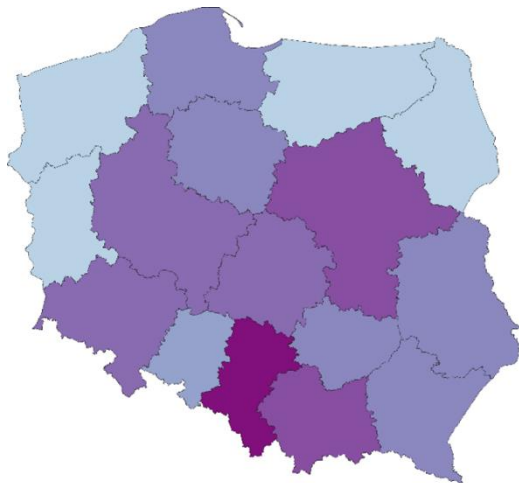
NO₂Liczba przedwczesnych zgonów
w przeliczeniu na 100tys. mieszkańców

Rysunek 44 Rozkład przestrzenny liczby przedwczesnych zgonów w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców ze względu na stężenia NO₂ wśród mieszkańców powyżej 30 roku życia; pierwsza plansza – scenariusz bazowy 2022, druga plansza – scenariusz BAU, trzecia plansza – scenariusz MFR.

Dla średnich rocznych stężeń **benzo(a)pirenu** została oszacowana:

- Liczba ludności narażonej na dodatkowe ryzyko zachorowania na raka płuc w ciągu całego życia (Rysunek 45).

BAZOWY



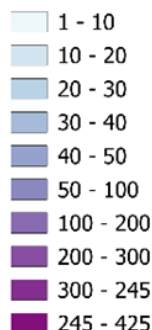
BAU



MFR



Benzo(a)piren

Dodatkowe ryzyko zachorowania
na raka płuc
w ciągu całego życia

Rysunek 45 Rozkład przestrzenny ryzyka dodatkowych przypadków zachorowania na raka płuc ze względu na stężenia benzo(a)pirenu wśród mieszkańców powyżej 30 roku życia; pierwsza plansza – scenariusz bazowy 2022, druga plansza – scenariusz BAU, trzecia plansza – scenariusz MFR.

7.3 Podsumowanie wpływu scenariuszy na narażenie zdrowotne

Analizę narażenia zdrowotnego wykonano dla trzech zanieczyszczeń: pyłu PM_{2,5}, dwutlenku azotu i benzo(a)pirenu. Dla pyłu PM_{2,5} oszacowano: liczbę przedwczesnych zgonów, których można byłoby uniknąć, gdyby średnie roczne stężenia były niższe od 5 µg/m³, liczbę utraconych lat życia w pierwszym roku życia, po 10 latach i po 20 latach oraz oczekiwaną długość życia w momencie narodzin i w wieku 65 lat. Dla NO₂ oszacowano liczbę przedwczesnych zgonów, których można byłoby uniknąć, gdyby średnie roczne stężenia NO₂ nie przekraczały 10 µg/m³. Natomiast dla benzo(a)pirenu oszacowano ryzyko dodatkowych przypadków nowotworu płuc. Wszystkie analizy wykonano dla scenariusza bazowego 2022 oraz dla dwóch scenariuszy redukcji stężeń zanieczyszczeń: BAU i MFR.

W skali całego kraju, liczba przedwczesnych zgonów w populacji powyżej 30 roku życia, ze względu na stężenia pyłu PM_{2,5} wyniosła w scenariuszu bazowym 38 400 przypadków. Wdrożenie scenariusza BAU zredukowałoby liczbę zgonów do 18 083 przypadków, a scenariusza MFR – do 16 760 przypadków.

Liczba utraconych lat życia w całej populacji po pierwszym roku życia w scenariuszu bazowym wyniosła 60 666 lat. Wdrożenie scenariusza BAU zredukowałoby liczbę utraconych lat życia po pierwszym roku do 28 478 lat, a scenariusza MFR – do 26 389 lat. Natomiast liczbę utraconych lat życia po 20 latach w całej populacji dla scenariusza bazowego oszacowano na 5 968 561 lat. Wdrożenie scenariusza BAU zredukowałoby liczbę ww. lat życia do 2 766 809 lat, a scenariusza MFR – do 2 562 070 lat. Oszacowanie oczekiwanej długości życia w chwili

narodzin pokazało, że w scenariuszu bazowym różnica między obecnymi stężeniami pyłu PM_{2,5} a osiągnięciem stężenia bezpiecznego dla zdrowia (5 µg/m³) powodują utratę 1 roku życia (średnia dla całego kraju). Przy wdrożeniu scenariusza BAU, różnica ta zostanie zredukowana do 0,5 roku, a scenariusza MFR – do 0,4 roku.

Podsumowując wszystkie analizy dotyczące stężeń pyłu PM_{2,5}, wdrożenie scenariusza BAU zredukuje skutki zdrowotne o 53% względem scenariusza bazowego, a w scenariusza MFR o 56% względem scenariusza bazowego.

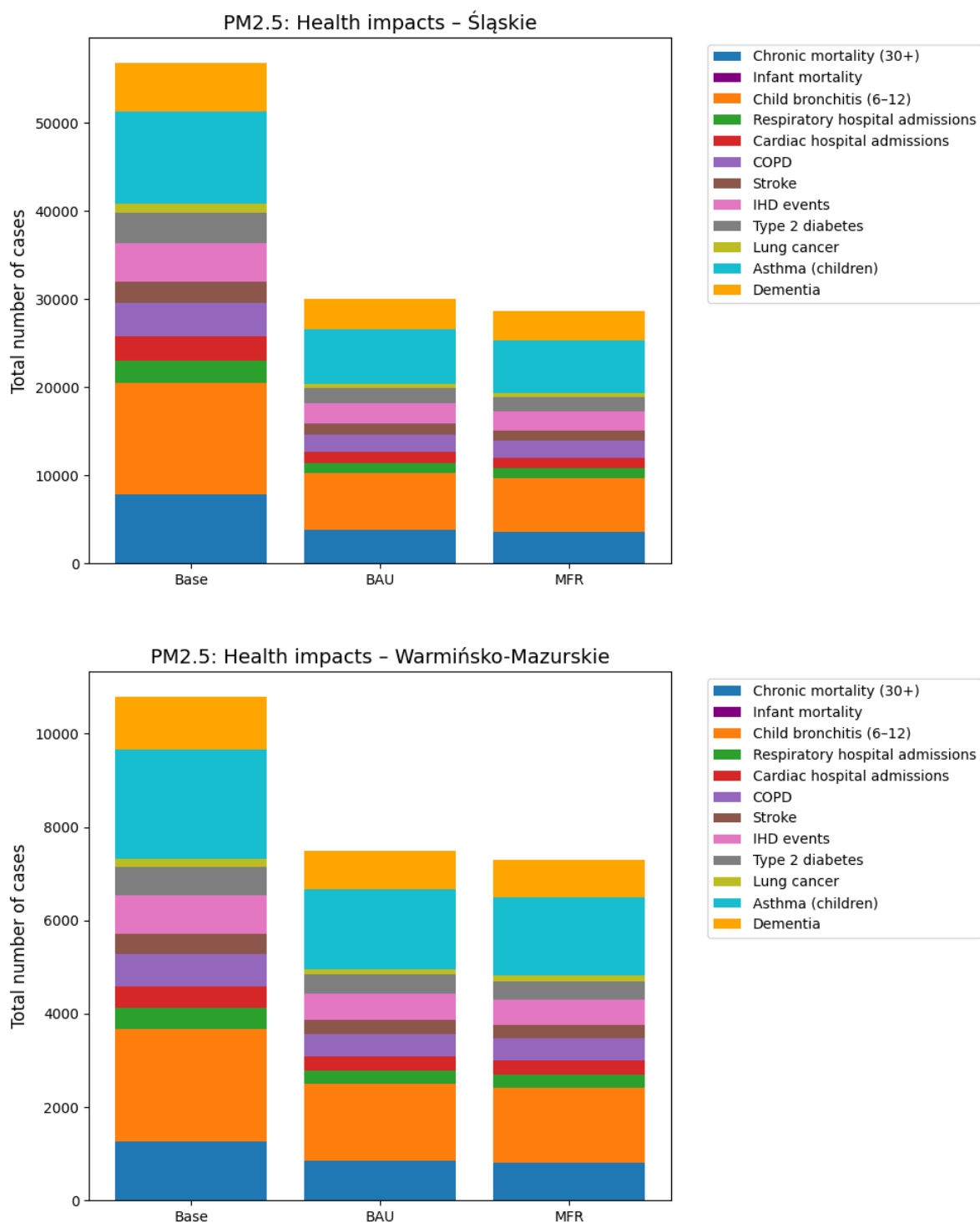
W skali całego kraju, liczba przedwczesnych zgonów ze względu na średnie roczne stężenia NO₂ w województwach, w scenariuszu bazowym wyniosła 307 przypadków. **Wdrożenie scenariusza BAU lub MFR spowodowałoby, że średnie roczne stężenia NO₂ w województwach byłyby poniżej progu odniesienia – 10 µg/m³, a przedwczesne zgony ze względu na stężenia NO₂ nie wystąpiłyby.**

W skali całego kraju, dodatkowe ryzyko zachorowania na nowotwór płuć ze względu na stężenia benzo(a)pirenu w scenariuszu bazowym oszacowano na 1720 przypadków. Redukcja stężeń, zgodnie z założeniami scenariusza BAU spowodowałaby redukcję dodatkowych nowotworów płuć do 151 przypadków, a w scenariuszu MFR do 129 przypadków. **Wdrożenie scenariusza BAU spowodowałoby redukcję dodatkowego ryzyka nowotworu płuć o 91% względem scenariusza bazowego, a scenariusza MFR o 92%.**

7.4 Wstępne analizy z wykorzystaniem narzędzia ALPHA-Riskpoll v4.

Dzięki współpracy w ramach projektu VALESOR (Valuation of environmental stressors) uzyskano dostęp do narzędzia pozwalającego obliczyć skutki zdrowotne i ekonomiczne związane z narażeniem na zanieczyszczenie powietrza - ALPHA-Riskpoll v4.

Narzędzie to umożliwia wykonanie analizy na podstawie modelowanych stężeń – w niniejszym projekcie wykonano obliczenia dla PM_{2,5}, O₃ i NO₂. Skutki zdrowotne podzielone są na wiele kategorii. Prace z narzędziem wciąż trwają, jednakże wstępne wyniki potwierdzają skuteczność scenariuszy redukcyjnych pod względem zmniejszenia narażenia na przedwczesną śmiertelność i choroby powiązane ze złą jakością powietrza atmosferycznego. Podobnie jak w przypadku analiz modelem AirQ+ dodatkowa redukcja w narażeniu zdrowotnym dla scenariusza MFR jest niewielka. Widoczna jest również duża rozbieżność pod względem narażeń występujących w poszczególnych województwach – Rysunek 46. Największe korzyści zdrowotne obserwuje się w związku z redukcją PM_{2,5}, zwłaszcza w przypadku populacji dziecięcej (astma, bronchit) oraz u osób starszych (dementia, stroke).



Rysunek 46 Skutki zdrowotne związane ze stężeniem pyłu PM_{2,5} w poszczególnych scenariuszach, w podziale na kategorie. Górny panel – wyniki dla województwa śląskiego, dolny panel – wyniki dla województwa warmińsko-mazurskiego.

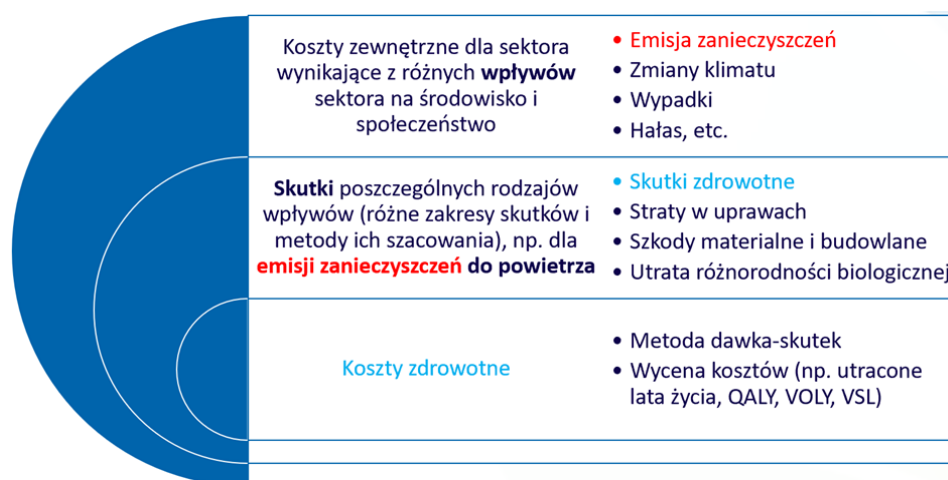
8. Analiza ekonomiczna

8.1 Wprowadzenie

Celem analizy było oszacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń dla braku działań (zaniechania) oraz podejmowania działań w odniesieniu do rekomendowanych przez WHO norm jakości powietrza. Szacowanie kosztów zewnętrznych w projekcie ReduCost obejmowało w szczególności następujące elementy:

- szacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń dla braku działań (zaniechania) dla sektora elektroenergetycznego i sektora transportu. (scenariusz BAU),
- szacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń dla podejmowania działań w zaproponowanych scenariuszach dla sektora elektroenergetycznego i sektora transportowego (scenariusz MFR),
- szacowanie kosztów zdrowotnych dotyczących emisji zanieczyszczeń dla podejmowania działań w zaproponowanych scenariuszach BAU i MFR, które uwzględniają koszty zewnętrzne dotyczących narażenia na wszystkie zanieczyszczenia.

Koncepcję przeprowadzenia oceny kosztów zewnętrznych dla analizowanych zanieczyszczeń przedstawiono na Rysunek 47.



Rysunek 47 Koncepcja przeprowadzenia oceny kosztów zewnętrznych w projekcie ReduCost.

W przedstawionym podejściu wskazywane są wpływy sektora na środowisko i społeczeństwo. Następnie określone są skutki wynikające z poszczególnych rodzajów wpływów i są one kwantyfikowane za pomocą funkcji dawka-skutek, gdzie określonym skutkom przypisuje się wartość pieniężną (wycenia się je) za pomocą metod takich jak: gotowość do zapłaty, wartość utraconych lat życia, czy wartość statystycznego życia. Metod wyceny środowiska jest wiele, np. metoda kosztu podróży, cen hedonicznych, czy kosztów choroby. Kluczowym elementem analizy jest dobranie odpowiedniej metody oraz określenie wartości wskaźników dawka-skutek i wskaźników kosztów jednostkowych.

8.2 Metodyka

Obliczenia kosztów zewnętrznych w sektorze transportu przeprowadzone zostały zgodnie z metodologią Handbook on the external costs of transport, ver. 2019. Metodologia ta jest rozwinięciem metodologii pochodzącej z 2008 roku pt.: Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Ponadto w metodyce bazowano również na publikacji Centrum Unijnych Projektów Transportowych (CUPT) pt.: Analiza kosztów i korzyści projektów transportowych współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej. Vademecum Beneficjenta.

Obliczenia kosztów zewnętrznych w sektorze elektroenergetycznym zostały przeprowadzone zgodnie z metodologią przedstawioną w „Wytycznych w zakresie odstępstw od granicznych wielkości emisyjnych dla instalacji przemysłowych wymienionych w Aneksie I Dyrektywy IED” opracowanych w 2023 roku nawiązujących do wcześniejszych badań i analiz takich jak: „Costs of air pollution from European industrial facilities 2008–2017” oraz na bazie publikacji „Podręcznik dotyczący zasad udzielania odstępstw od granicznych wielkości emisyjnych zawartych w Konkluzjach BAT dla dużych źródeł spalania (LCP), zgodnie z art. 204 ust. 2 Ustawy POŚ; Opracowanie Ernst & Young Business Advisory, Energoprojekt Warszawa i Kancelaria Dentons, Ministerstwo Środowiska, 2017”.

Przy obliczaniu kosztów zewnętrznych dla scenariuszy BAU i MFR do 2040 roku zastosowano analogiczną metodykę jak przedstawiono w opracowaniu: „Ekspertyza dotycząca kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń dla wyjściowego poziomu emisji dla sektora transportowego i sektora elektroenergetycznego.” W szczególności obliczono jednostkowe koszty zewnętrzne dla następujących zanieczyszczeń:

- Tlenki siarki (SO_x),
- Niemetanowe związki organiczne (NMLZO) czyli (NMVOC),
- Tlenki azotu (NO_x),
- Cząstki stałe ($\text{PM}_{2,5}$) oraz (PM_{10}),
- benzoapiren (B(a)P).

Dla powyższych związków chemicznych wartości bazowe stanowiły koszty zewnętrzne wskazane w metodologiach odpowiednio wytypowanych do obliczeń dla sektora transportu oraz dla sektora elektroenergetycznego. Uwzględniono wartości VOLY (Value of Life Year) – wartość utraconych lat życia w wyniku narażenia na poszczególne substancje. VOLY jest niższą z dwóch wartości wyceny kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń (drugą jest VSL - wartość statystycznego życia) szacowanych na dwa różne sposoby. Wybrano VOLY ze względu to, że jest bardziej powszechnie stosowana w analizach ekonomicznych dotyczących kosztów zewnętrznych, np. DG ENV (Second Clean Air Outlook, Amann et al., 2020). Wspomniane metody wyceny kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń były rozwijane w Programie Komisji Europejskiej "Czyste powietrze dla Europy" (CAFE) i częściowo zaktualizowane w ramach projektu HRAPIE (Health risks of air pollution in Europe - zagrożenia dla zdrowia powodowane zanieczyszczeniem powietrza w Europie). Są one regularnie stosowane w analizach kosztów i korzyści w celu wspierania krajowego, unijnego i międzynarodowego kształtowania polityk w

zakresie zanieczyszczenia powietrza i łagodzenia zmiany klimatu. Ponadto, zastosowanie niższej wartości w analizie kosztów i korzyści (gdy obie metody szacowania są dopuszczalne i poprawne merytorycznie), pozwoli uniknąć zawyżania korzyści, które są określane jako uniknięte koszty zewnętrzne.

W celu dokonania obliczeń jednostkowych kosztów zewnętrznych przy wykorzystaniu wartości bazowych konieczne było przeprowadzenie wybranych z następujących operacji:

- konwersja o parytet siły nabywczej,
- translacja walutowa,
- indeksacja o inflację w Polsce,
- indeksacja o inflację w Unii Europejskiej,
- indeksacja o Produkt Krajowy Brutto na mieszkańca (PKB per capita) w Polsce,
- indeksacja o Produkt Krajowy Brutto na mieszkańca (PKB per capita) w Unii Europejskiej.

Konwersję o parytet siły nabywczej przeprowadzono dla kosztu zewnętrznego dla pierwiastka chemicznego As, aby możliwe było określenie wartości bazowej dla Polski, gdyż w materiałach źródłowych wartość dotyczyła całej Unii Europejskiej. Ponadto, konwersję o parytet siły nabywczej przeprowadzono dla kosztu zewnętrznego dla każdej z substancji, przy wyznaczaniu jednostkowych kosztów zewnętrznych dla poszczególnych województw. Translację walutową przeprowadzono dla kosztu zewnętrznego dla wszystkich związków chemicznych, na podstawie kursu średniego rocznego NBP EUR/PLN dla 2016 roku oraz dla 2019 roku, w zależności od daty w jakiej były wyrażone wartości bazowe.

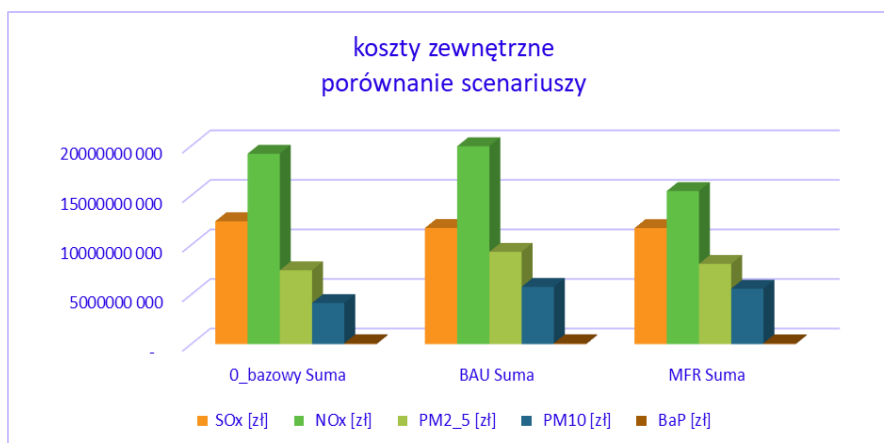
Indeksację o inflację w Polsce wykonano dla kosztu zewnętrznego dla wszystkich związków chemicznych z wyłączeniem CH₄, gdyż wartość bazową kosztu zewnętrznego CH₄ indeksowano z wykorzystaniem inflacji dla Unii Europejskiej ze względu na wartości jednostkowych kosztów zewnętrznych dla tej substancji podawanych dla Unii Europejskiej. W obydwu przypadkach wykorzystano zharmonizowany wskaźnik cen konsumpcyjnych HICP (Harmonised Indices of Consumer Prices). Wartości indeksowano do 2022 roku. Indeksacja o PKB per capita w Polsce została przeprowadzona dla kosztu zewnętrznego dla wszystkich substancji chemicznych z wyłączeniem CH₄. Wartość bazową kosztu zewnętrznego CH₄ indeksowano z wykorzystaniem PKB per capita dla Unii Europejskiej. Dodatkowo, w tym procesie indeksacji, uwzględniona została elastyczność, którą przyjęto na poziomie 0,8 na podstawie Analiza kosztów i korzyści... (CUPT, 2016). Wartości indeksowano do 2050 roku na podstawie prognozy PKB per capita, natomiast wyniki przedstawiono dla lat 2022, 2030, 2040, 2050. Aby możliwe było indeksowanie wartości do 2050 roku, konieczne było uprzednie określenie prognozowanych wartości PKB per capita dla Polski oraz PKB per capita dla Unii Europejskiej do 2050 roku. PKB per capita dla Polski obliczono na podstawie prognoz PKB Polski sporządzonych przez Ministerstwo Finansów oraz prognoz demograficznych GUS. PKB per capita dla Unii Europejskiej przyjęto na podstawie 2024 Ageing Report.

Obliczenia kosztów zdrowotnych przeprowadzono analogicznie do przedstawionych powyżej. Zastosowano metodykę uwzględniającą funkcję dawka-skutek oraz wynikające z niej wskaźniki omówione i przedstawione w wynikach prac nad narażaniem zdrowotnym będącym

konsekwencją emisji analizowanych zanieczyszczeń, a także wskaźniki kosztów zewnętrznych dla utraconych lat życia i śmiertelności (EEA, 2024).

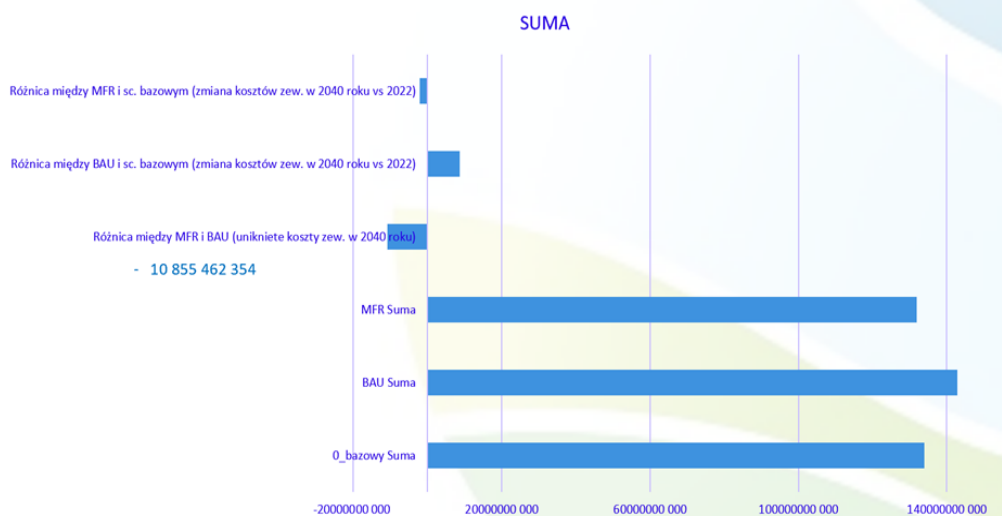
8.3 Wyniki szacowania kosztów zewnętrznych

Wyniki porównawcze kosztów zewnętrznych dla analizowanych w scenariuszach BAU i MFR wielkości emisji dla Polski przedstawiono na kolejnych rysunkach.



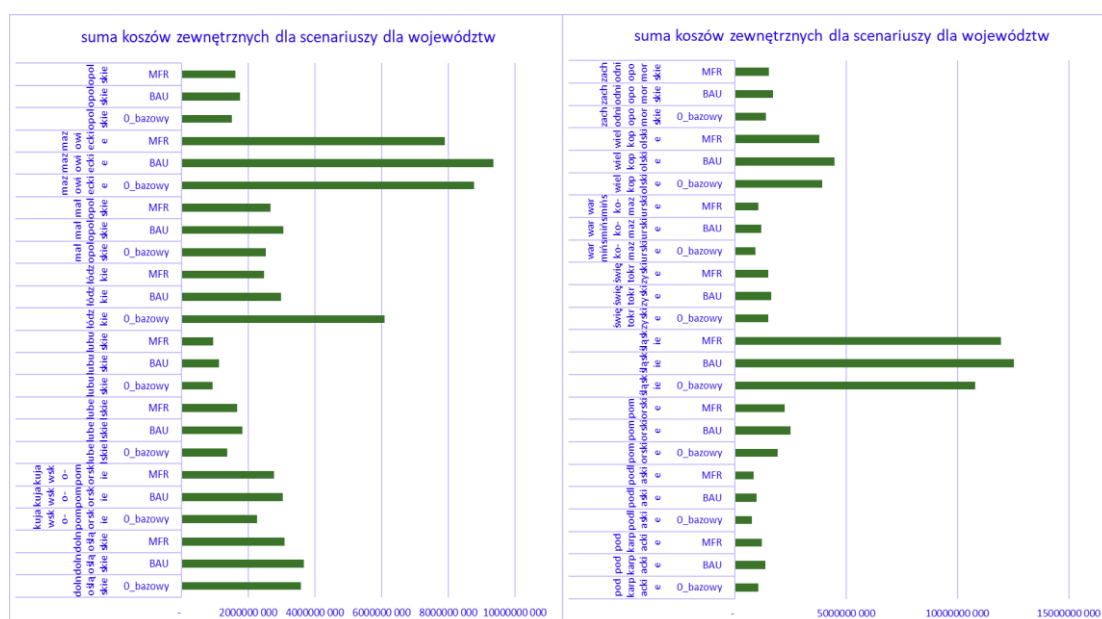
Rysunek 48 Koszty zewnętrzne dla Polski – porównanie scenariuszy.

Jak można zauważyć na Rysunek 48 najwyższe wartości kosztów dotyczą NO_x, a w dalszej kolejności SO_x, pyłów PM_{2,5} oraz pyłów PM₁₀. Można zaobserwować, iż praktycznie w każdym przypadku mamy do czynienia ze wzrostem wartości kosztów w przypadku scenariusza BAU w porównaniu z wartościami bazowymi (z wyjątkiem tlenków siarki). W przypadku SO_x koszty zewnętrzne w przyszłości są niższe niż w scenariuszu bazowym, jednak zgodnie z przewidywaniami niższe w scenariuszu MFR, niż w BAU. W scenariuszu MFR koszty zewnętrzne, w większości przypadków, również rosną jednak znacznie wolniej niż w scenariuszu BAU. Zaoszczędzone koszty zewnętrzne (różnica w kosztach zewnętrznych między scenariuszem MFR i BAU) wskazują na korzyści zewnętrzne wynikające z realizacji scenariusza MFR w porównaniu ze scenariuszem BAU. Równocześnie wskazane wartości różnicy w kosztach zewnętrznych między scenariuszami stanowią koszty zewnętrzne zaniechania w przypadku realizacji scenariusza BAU, przy możliwym, ale nie realizowanym scenariuszu MFR. Na Rysunek 49 przedstawiono podsumowanie wyników.



Rysunek 49 Koszty zewnętrzne dla Polski – suma.

Suma kosztów zewnętrznych wzrasta znacznie w przypadku scenariusza BAU w porównaniu z wartościami bazowymi, natomiast dzięki zastosowaniu scenariusza MFR możliwe jest obniżenie wartości kosztów zewnętrznych poniżej wartości bazowych (Rysunek 50).



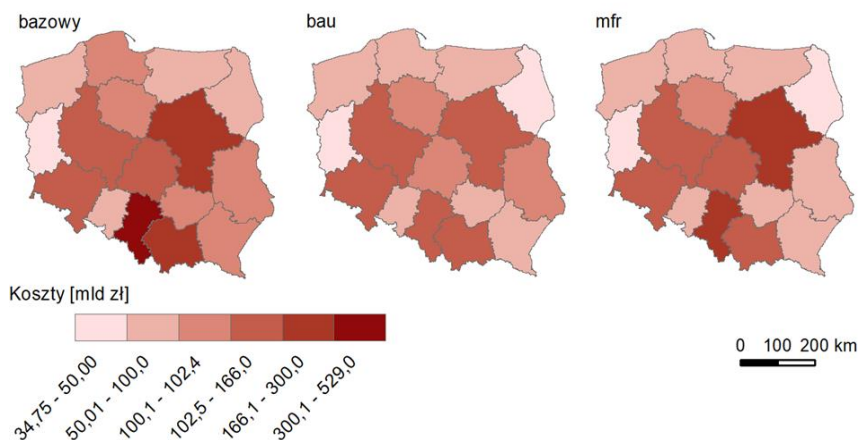
Rysunek 50 Wartości kosztów zewnętrznych w odniesieniu do województw.

Można zauważyć, iż najwyższe koszty zewnętrzne występują w województwach śląskim i mazowieckim, a najwyższy potencjał redukcji jest w województwie łódzkim.

Poniżej na Rysunek 51 i Rysunek 52 przedstawiono zewnętrzne koszty zdrowotne odpowiednio dla PM_{2,5} oraz dla benzo(a)pirenu w przekroju województw. Na Rysunek 53

przedstawiono koszty zewnętrzne zdrowotne możliwe do uniknięcia w przyszłości przy zastosowaniu scenariusza MFR a nie BAU (ujęcie dla 2040 roku).

PM2.5 - koszty zewnętrzne

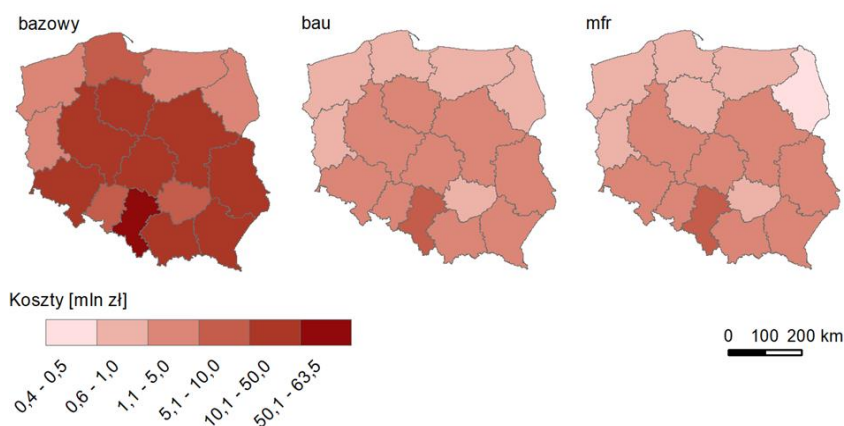


Rysunek 51 Porównanie scenariuszy bazowego, BAU i MFR dla kosztów zewnętrznych zdrowotnych dotyczących PM2,5.

Można zaobserwować, że koszty zewnętrzne zdrowotne oszacowane inną metodą niż koszty zewnętrzne dla sektorów transportu i elektroenergetycznego, wykazują w ujęciu województw, jak i w odniesieniu do kierunku zmian tych kosztów, podobną tendencję. Potwierdza to spójność analiz.

Pyły PM2,5 powodują znaczące koszty zewnętrzne, szczególności w odniesieniu do zdrowia. Przedstawione na rysunku 52 porównanie scenariuszy bazowego, BAU i MFR dla kosztów zewnętrznych zdrowotnych dotyczących PM2,5 wskazuje na obniżenie kosztów zewnętrznych zdrowotnych w obu scenariuszach w porównaniu ze scenariuszem bazowym, w tym większe wartości oszczędności w scenariuszu MFR.

BaP - koszty zewnętrzne

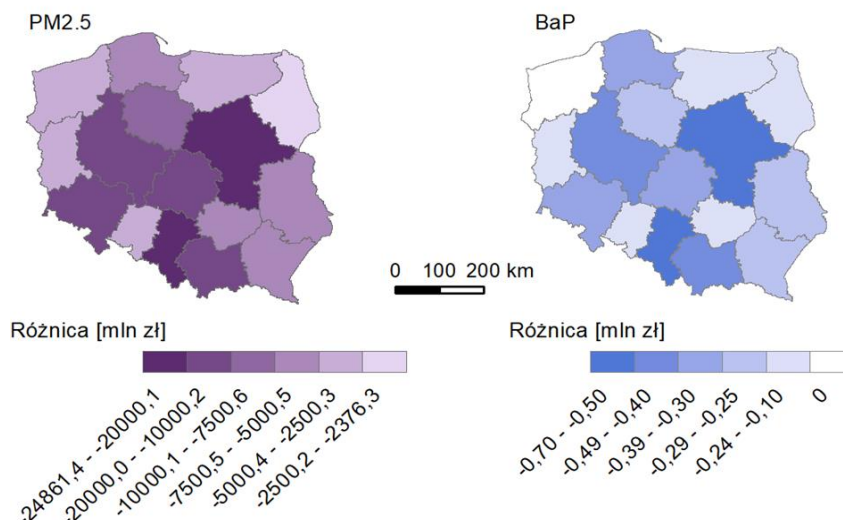


Rysunek 52 Porównanie scenariuszy bazowego, BAU i MFR dla kosztów zewnętrznych zdrowotnych dotyczących B(a)P.

W przypadku B(a)P przedstawione na Rysunek 52 porównanie scenariuszy bazowego, BAU i MFR dla kosztów zewnętrznych zdrowotnych dotyczących wskazuje na w miarę równomierne obniżanie wartości tych kosztów we wszystkich województwach.

Różnica MFR vs BAU

(koszty zewnętrzne których możemy uniknąć stosując MFR zamiast BAU)



Rysunek 53 Koszty zewnętrzne zdrowotne możliwe do uniknięcia przy zastosowaniu sc. MFR.

Analiza w układzie przestrzennym województw porównania zewnętrznych kosztów zdrowotnych wskazuje, iż największy potencjał oszczędności tych kosztów, czy też realizacji korzyści zewnętrznych, rozumianych jako uniknięte koszty zewnętrzne, jest w województwach śląskim i mazowieckim.

Oszacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń dla braku działań (zaniechania) oraz podejmowania działań w odniesieniu do proponowanych przez WHO norm jakości powietrza zostało przeprowadzone w oparciu o metodykę oceny emisji dla sektorów elektroenergetycznego i transportu oraz oceny kosztów zdrowotnych dla narażenia wynikającego z emisji we wszystkich sektorach. Wyniki wskazują szacunkowe wartości kosztów określonych na podstawie modelowania wysokości emisji w poszczególnych sektorach i w układzie przestrzennym województw.

Suma kosztów zewnętrznych, przy szacowaniu oboma metodami, wzrasta znacznie w przypadku scenariusza BAU w porównaniu z wartościami bazowymi, natomiast dzięki zastosowaniu scenariusza MFR możliwe jest obniżenie wartości kosztów zewnętrznych poniżej wartości bazowych.

9. Podsumowanie

9.1 Korzyści dla systemu oceny jakości powietrza

ReduCost, choć trwał zaledwie 18 miesięcy i był projektem pilotażowym przyniósł znaczące korzyści dla systemu oceny jakości powietrza w Polsce.

Jedną z kluczowych wartości projektu jest wykazanie w jaki sposób należałoby zaplanować wsparcie w przygotowaniu planów działania na rzecz jakości powietrza, programów ochrony powietrza oraz krajowego programu ochrony powietrza poprzez umożliwienie wymiarowania redukcji emisji na podstawie wiarygodnych danych dotyczących aktywności w poszczególnych sektorach oraz odpowiadających im wskaźników emisyjnych. Takie podejście pozwoliłoby na bardziej precyzyjne określenie, które działania mają największy potencjał redukcyjny, a tym samym na wspieranie podejmowania decyzji oparte na dowodach i realnych danych.

Zaproponowane scenariusze BAU i MFR stanowią przykładowe zestawienia możliwych działań redukcyjnych, jednak ich analiza wykazuje, że technicznie możliwe jest osiągnięcie istotnej i znaczącej redukcji poziomu zanieczyszczeń w Polsce.

Projekt umożliwił również opracowanie wiarygodnych szacunków korzyści zdrowotnych wynikających z ograniczenia emisji zanieczyszczeń. Analizy te obejmują m.in. uniknięte zgony, wydłużenie średniej długości życia, a także redukcję liczby przypadków zachorowań, zarówno w ujęciu ogólnym, jak i w rozbiciu na grupy wiekowe. Takie oszacowania pozwalają lepiej zobrazować społeczne i zdrowotne skutki podejmowanych działań oraz wspierają ocenę efektywności polityk ochrony powietrza w wymiarze społecznym. Zastosowanie spójnych narzędzi w programach ochrony powietrza przyczyniłoby się do wdrożenia jednolitego standardu opracowań.

W ramach projektu przeprowadzono pierwszą w Polsce kompleksową analizę kosztów i korzyści działań redukcyjnych. Analizy te obejmują zarówno koszty bezpośrednie związane z wdrożeniem działań w poszczególnych sektorach, jak i koszty zewnętrzne związane z wpływem emisji na zdrowie ludzi i środowisko. Podejście to umożliwia wyznaczenie priorytetów inwestycyjnych i efektywne planowanie działań w skali kraju oraz poszczególnych województw.

9.2 Wskazanie kierunków działań w obszarze systemu zarządzania jakością powietrza i dla systemu oceny jakości powietrza

Projekt ReduCost ma charakter innowacyjny, gdyż połączył różne sektory gospodarki – w tym sektor komunalno-bytowy, transport, produkcję energii oraz rolnictwo – z różnymi typami analiz: technicznymi, ekonomicznymi i zdrowotnymi. Takie kompleksowe podejście pozwala na pełniejsze zrozumienie interakcji między emisjami, ich skutkami zdrowotnymi i środowiskowymi, a także kosztami działań naprawczych. Poniżej przedstawiono kluczowe kierunki działań w poszczególnych sektorach. Szerszy opis rezultatów znajduje się w rozdziałach opisujących prace w ramach poszczególnych pakietów. Pełny zakres wyników znajduje się w raportach z poszczególnych etapów projektu.

W zakresie sektora komunalno-bytowego kluczowe rezultaty prac skupiały się na zaproponowaniu możliwie najczystszych źródeł, będących jednocześnie najmniej kosztownymi w eksploatacji. Następnie wyznaczono ogólną liczbę urządzeń wymagających wymiany zgodnie ze scenariuszami. W grupie kotłów na paliwa stałe wymiana musi objąć 3 333 994 urządzenia, a w grupie MOP 2 934 464. Łączne koszty finansowe wymiany źródeł są wysokie i w zależności od wybranej opcji technicznej wahają się od około 79 mld PLN do około 110 mld PLN. Podkreślono jednak, że chociaż koszty finansowe analizowanych działań są wysokie a czas zwrotu względnie długi to działania zgodne ze scenariuszami opracowanymi dla sektora charakteryzują się pozytywną stopą zwrotu.

Sektor transportu skupił się na działaniach mających na celu zmniejszenie emisji w sektorze transportu drogowego. Zmiany w analizowanych scenariuszach obejmowały zmiany struktury pojazdów oraz zmiany sposobu korzystania z pojazdów. Zmiany struktury pojazdów obejmowały zwiększenie udziału pojazdów spełniających wyższe normy emisji (Euro), oraz pojazdów elektrycznych, a także promowanie transportu zbiorowego zamiast indywidualnego. Zmiany sposobu korzystania z pojazdów natomiast uwzględniały w szczególności stabilizację prędkości i ograniczenie jazdy w zatorach ulicznych, co wpływa na zmniejszenie dynamicznego obciążenia silników spalinowych, zmniejsza emisję zanieczyszczeń (zarówno z silników jak i ze źródeł trybologicznych) oraz zużycie paliwa. Rozróżniono również strukturę pojazdów w miastach i poza miastami zakładając znacznie większy udział pojazdów elektrycznych w miastach, wpisując się w założenia tworzenia stref czystego transportu. Zaproponowane scenariusze umożliwiły znaczące zmniejszenie krajowej emisji rocznej badanych zanieczyszczeń z transportu drogowego, znacznie większe dla scenariusza MFR. Odzwierciedlone jest to w ilości i kosztach wprowadzenia napędów elektrycznych w pojazdach drogowych w Polsce w latach bilansowania wynoszących dla roku docelowego w scenariusz BAU i MFR odpowiednio 120 mld i 610 mld PLN.

Prace w zakresie sektora rolnictwa objęły zarówno kierunek produkcji roślinnej, jak i zwierzęcej. Z powodu wielości i zróżnicowania danych w sektorze rolnictwa, skupiono się na uzupełnieniu dostępnych baz danych o nowe źródła i wartości emisji zanieczyszczeń z rolnictwa; zebraniu i zweryfikowaniu informacji o efektywnych metodach ograniczania emisji zanieczyszczeń w rolnictwie, opracowaniu prognozy przewidywanych zmian w wielkości produkcji rolniczej na potrzeby scenariuszy BAU i MFR. Jednym z kluczowych wniosków było zwrócenie uwagi na znaczenie, z punktu widzenia kształtowania jakości powietrza, metod wdrażanych w praktyce produkcyjnej. Prognozując wykorzystanie metod redukcji dla scenariuszy BAU i MFR wzięto pod uwagę tak zmiany w systemach utrzymania, czynniki ekonomiczne, jak również planowane regulacje prawne na poziomie UE. W scenariuszu BAU skupiono się na różnicach w wykorzystaniu poszczególnych nawozów. W scenariuszu MFR zaproponowano trzy metody redukcji amoniaku z nawozów, pozwalające na obniżenie wskaźnika emisji do 0,02466 kg NH₃/kg N, oraz redukcję rusztów do 1/3 powierzchni kojca pozwalającą już na 60% redukcji emisji amoniaku w stosunku do pełnego zarusztowania. Dodatkowo w scenariuszu MFR uwzględniono jako metodę redukcji emisji pyłów zwiększenie powierzchni z uproszczoną uprawą na gruntach ornych z obecnych 10% do 20%, co zgodnie z danymi literaturowymi przyczyni się do redukcji PM₁₀ i PM_{2,5} odpowiednio o 70% i 60% z gruntów ornych.

Sektor elektroenergetyczny skupił się na zmianach wynikających bezpośrednio z zaproponowanych działaniach w sektorach komunalno-bytowym oraz sektorze transportu. Działania w ww. sektorach związane są z koniecznością pokrycia rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną, jak również przesył i dystrybucję energii elektrycznej. W ramach prac oceniono aspekt oceny możliwości technicznych Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, jego wpływu na jakość powietrza, a tym samym skutki społeczne, gospodarcze i środowiskowe w ujęciu całościowym. Obliczono, że większe zapotrzebowanie na energię elektryczną pojawiło się w scenariuszu BAU. Podyktowane jest to stopniem przyjętej termomodernizacji budynków, dla których rozpatrywano dwa warianty: pasywny i intensywny. Wariant pasywny zakłada redukcję zapotrzebowania na energię o 20%, a intensywny poprzez zastosowanie zaawansowanych technologii (budownictwo pasywne, inteligentne systemy zarządzania energią), redukcję zapotrzebowania na energię o 60%. Z przedstawionych danych wynika, że w skali roku, korzyści związane z unikniętą emisją pokrywają koszty operacyjne wytwarzania energii elektrycznej, w obu scenariuszach. Należy jednak podkreślić, że w projekcie ReduCost, sektor elektroenergetyczny, nie jest obszarem analiz związanych z określeniem możliwości redukcji emisji, ale elementem uzupełniającym. Pokrycie zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną w gospodarstwach domowych i transporcie, powoduje, że część kosztów z tych obszarów jest przesunięta do sektora elektroenergetycznego, a korzyści powstają w ww. obszarach. Dlatego też sam sektor elektroenergetyczny nie decyduje o kosztach i korzyściach, a tylko w połączeniu z zaproponowanymi działaniami związanymi z elektryfikacją sektora komunalno-bytowym i transportu.

Uzyskane rezultaty z poszczególnych pakietów, wraz ze wskazaniem głównych kierunków podsumowane są dodatkowo w rozdziale 5.6 pod kątem faktycznego wpływu na redukcje emisji zanieczyszczeń do środowiska.

9.3 Potencjalne efekty wprowadzenia zaproponowanych działań

Głównymi efektami wprowadzania zaproponowanych działań są zmiany w strukturze emisyjnej, przekładające się na wyniki modelowania jakości powietrza oraz oszacowanie skutków zdrowotnych. Dodatkowo na podstawie uzyskanych danych oszacowano koszty zewnętrzne przyjętych działań.

Prognozowane dane emisyjne zostały opracowane na podstawie informacji uzyskanych od ekspertów realizujących zadania w ramach pakietów 1-4. Należy podkreślić, że ww. dane zostały przygotowane na podstawie metodyk ustalania wielkości emisji zanieczyszczeń ze źródeł powierzchniowych, liniowych i punktowych opracowywanych przez ZZKB KOBiZE w ramach zadań związanych z prowadzeniem Centralnej Bazy Emisyjnej (CBE). W związku z zaproponowanymi działaniami redukcja emisji w scenariuszach kształtowała się w następujący sposób.

Dla NO_x redukcja emisji dla sektora transportowego wynoszą ok. 37% w scenariuszu BAU i aż 72% w scenariuszu MFR. Największymi redukcjami w scenariuszach charakteryzuje się sektor komunalno-bytowy (78% w BAU i 74% w MFR). Warto zauważyć, że redukcja emisji w tym sektorze jest mniejsza w MFR, niż w BAU – ma to związek z większą emisyjnością w zakresie NO_x nowoczesnych kotłów na paliwa stałe. Drugi najważniejszy sektor pod względem emisji NO_x – obejmujący przemysł i energetykę (emisja punktowa) wykazuje w obu scenariuszach redukcję emisji NO_x na poziomie 33%, warto jednak zaznaczyć, że scenariusze dla tego sektora obejmowały jedynie elektroenergetykę zawodową dużej mocy.

Emisja PM_{2,5} jest zdominowana przez emisję z sektora komunalno-bytowego, dla którego prognozuje się jednocześnie największe redukcje emisji (82% BAU i 97% MFR). Sektor ten jest w głównej mierze odpowiedzialny za występowanie przekroczeń jakości powietrza dla zanieczyszczeń pyłowych. Znaczące redukcje pyłu PM_{2,5} przewiduje się także dla sektora transportowego (23% i 44%), którego udział w emisji całkowitej wynosi zaledwie 6%, jednakże sektor ten ma wpływ na jakość powietrza na terenach zurbanizowanych wzdłuż ciągów komunikacyjnych. Warto zwrócić uwagę, że w scenariuszu MFR znacząco zmieniają się udziały emisji PM_{2,5} z poszczególnych sektorów i przewiduje się wzrost znaczenia sektora przemysłowego/energetycznego oraz drogowego.

W przypadku emisji NH₃, podobnie jak dla pyłu PM_{2,5}, dominuje jeden sektor – rolniczy, którego udział w emisji dla roku bazowego wynosi aż 96%. Przewiduje się dla tego sektora nieznaczne redukcje (6%) w scenariuszu BAU oraz nieco większe (32%) w scenariuszu MFR.

Wykonane na potrzeby projektu modelowanie stężeń zanieczyszczeń wykazało zdecydowany spadek stężeń zanieczyszczeń w obu scenariuszach. Obniżenie stężeń,

dotyczyło wszystkich związków, a jego skala odzwierciedlała redukcję wprowadzoną w bazie emisyjnej. Modelowanie zanieczyszczeń w przypadku scenariusza MFR wskazują na jeszcze niższe stężenia jak w przypadku porównań dla scenariusza BAU. Jednakże różnica pomiędzy samymi scenariuszami redukcyjnymi nie jest tak drastyczna jak w przypadku porównań ze scenariuszem bazowym.

Dla wszystkich modelowanych zanieczyszczeń widoczna jest znaczna redukcja obszarów narażenia oraz narażonej ilości ludności w scenariuszach BAU i MFR, związanych z wartościami ponadnormatywnymi, zarówno w ujęciu aktualnych norm jak i progów wskazanych w dyrektywie AAQD.

Analiza danych modelowych potwierdza bardzo wysoką skuteczność zaproponowanych działań redukcyjnych w przypadku niemal wszystkich zanieczyszczeń już w przypadku scenariusza BAU (od około 64 do 100% w zależności od zanieczyszczenia). Narażenie dla scenariusza MFR jest dodatkowo zmniejszone w przypadku NO₂, oraz przyszłej normy rocznej dla pyłu PM_{2,5} (od około 78 do 100% w zależności od zanieczyszczenia). W przypadku pozostałych zanieczyszczeń dodatkowa redukcja dla bardziej rygorystycznego scenariusza jest nieznaczna.

Pełna redukcja narażenia na ponadnormatywne stężenia scenariuszy BAU i MFR względem scenariusza bazowego przedstawia tabela 25.

Ocena wpływu jakości powietrza na zdrowie człowieka uwzględniała dane w roku bazowym 2022 oraz w przypadku realizacji dwóch scenariuszy zmian emisji: BAU i MFR. Do wykonania analizy wykorzystano Model AirQ+. Jest to program do ilościowego określenia obciążeń zdrowotnych i wpływu zanieczyszczeń powietrza na zdrowie, opracowany przez Światową Organizację Zdrowia. Analizę narażenia zdrowotnego wykonano dla trzech zanieczyszczeń: pyłu PM_{2,5}, dwutlenku azotu i benzo(a)pirenu. Dla pyłu PM_{2,5} oszacowano: liczbę przedwczesnych zgonów, których można byłoby uniknąć, gdyby średnie roczne stężenia były niższe od 5 µg/m³, dla NO₂ oszacowano liczbę przedwczesnych zgonów, których można byłoby uniknąć, gdyby średnie roczne stężenia NO₂ nie przekraczały 10 µg/m³. Natomiast dla benzo(a)pirenu oszacowano ryzyko dodatkowych przypadków nowotworu płuc.

Wszystkie analizy dotyczące stężeń pyłu PM_{2,5} wskazały że, wdrożenie scenariusza BAU zredukuje skutki zdrowotne o 53% względem scenariusza bazowego, a w scenariusza MFR o 56% względem scenariusza bazowego.

W skali całego kraju, liczba przedwczesnych zgonów ze względu na średnie roczne stężenia NO₂ w województwach, w scenariuszu bazowym wyniosła 307 przypadków. Wdrożenie scenariusza BAU lub MFR spowodowałoby, że średnie roczne stężenia NO₂ w województwach byłyby poniżej progu odniesienia – 10 µg/m³, a przedwczesne zgony ze względu na stężenia NO₂ nie wystąpiłyby.

W skali całego kraju, dodatkowe ryzyko zachorowania na nowotwór płuc ze względu na stężenia benzo(a)pirenu w scenariuszu bazowym oszacowano na 1720 przypadków. Wdrożenie scenariusza BAU spowodowałoby redukcję dodatkowego ryzyka nowotworu płuc o 91% względem scenariusza bazowego, a scenariusza MFR o 92%.

Celem analizy ekonomicznej było oszacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń dla braku działań (zaniechania) oraz podejmowania działań w odniesieniu

do rekomendowanych przez WHO norm jakości powietrza. Analiza w układzie przestrzennym województw porównania zewnętrznych kosztów zdrowotnych wskazuje, iż największy potencjał oszczędności tych kosztów, czy też realizacji korzyści zewnętrznych, rozumianych jako uniknięte koszty zewnętrzne, jest w województwach śląskim i mazowieckim.

Oszacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń dla braku działań (zaniechania) oraz podejmowania działań w odniesieniu do proponowanych przez WHO norm jakości powietrza zostało przeprowadzone w oparciu o metodykę oceny emisji dla sektorów elektroenergetycznego i transportu oraz oceny kosztów zdrowotnych dla narażenia wynikającego z emisji we wszystkich sektorach.

Wyniki wskazują szacunkowe wartości kosztów określonych na podstawie modelowania wysokości emisji w poszczególnych sektorach i w układzie przestrzennym województw. Suma kosztów zewnętrznych, przy szacowaniu obiema metodami, wzrasta znacznie w przypadku scenariusza BAU w porównaniu z wartościami bazowymi, natomiast dzięki zastosowaniu scenariusza MFR możliwe jest obniżenie wartości kosztów zewnętrznych poniżej wartości bazowych.

9.4 Dodatkowe korzyści i możliwości rozwoju

Dodatkową wartością projektu jest wypracowanie narzędzi i koncepcji systemu, który umożliwi ocenę potencjału redukcyjnego poszczególnych sektorów i prognozowanie efektów różnych scenariuszy działań. Narzędzia te mogą być wykorzystywane w przyszłości do bieżącego wsparcia programów ochrony powietrza, monitorowania postępów w realizacji krajowych i regionalnych celów oraz w dialogu z Komisją Europejską.

Ponadto zidentyfikowano obszary wymagające dalszego rozwoju Centralnej Bazy Emisyjnej (CBE), w tym: aktualizację wskaźników emisji dla nowych kotłów na biomasę, wykorzystanie danych z CEEB i ARiMR, rozwój metodyk szacowania emisji związanych z działaniami naprawczymi w miastach (takimi jak strefy czystego transportu, komunikacja publiczna, systemy ITS czy obwodnice), a także rozszerzenie analiz o dodatkowe sektory przemysłu.

Niniejszy raport podsumowujący prezentuje jedynie najważniejsze wnioski i rekomendacje wynikające z projektu. Pełne zrozumienie metodologii, szczegółowych analiz i danych wymaga zapoznania się z całością dokumentacji projektu, która dostarcza pełnego obrazu potencjału redukcji emisji i związanych z tym korzyści.