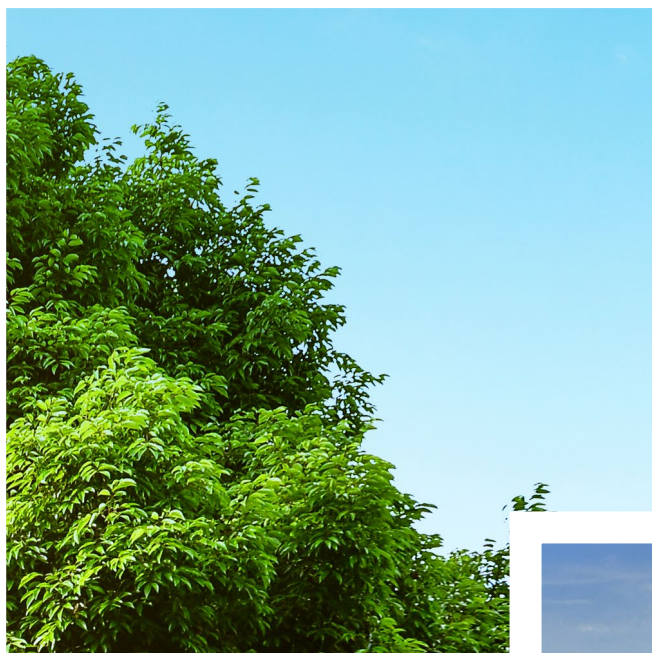


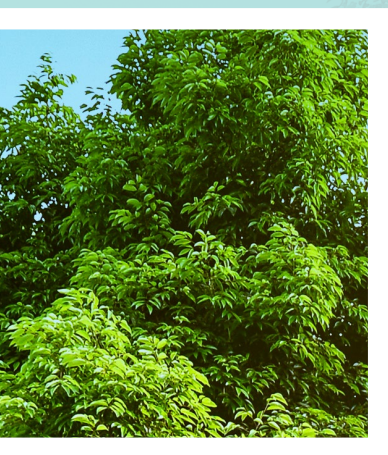


IOŚ-PIB

INSTYTUT OCHRONY ŚRODOWISKA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY



Korzyści środowiskowe wynikające
z redukcji zanieczyszczeń powietrza
towarzyszących emisji CO₂.
Analiza z wykorzystaniem modelu
jakości powietrza dla obszaru Polski.

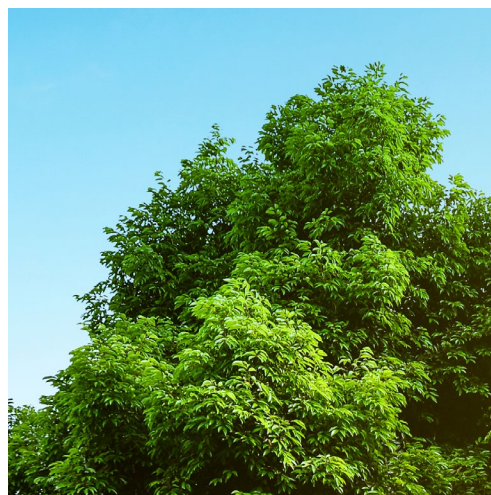
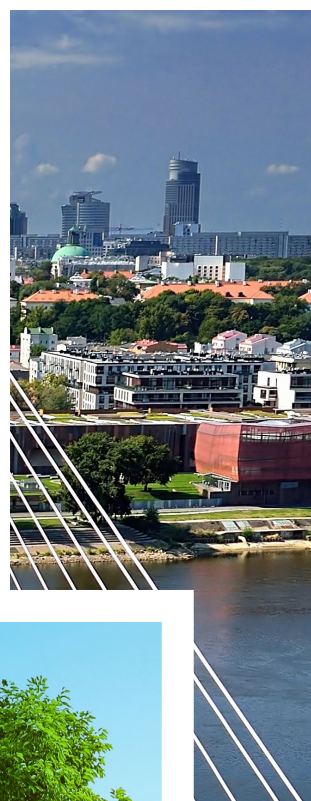


Autorzy

dr hab. inż. Jacek W. Kamiński, dr inż. Joanna Strużewska, mgr inż. Grzegorz Jeleniewicz, mgr inż. Paweł Durka,
mgr inż. Paulina Jagiełło, mgr Aneta Gienibor, mgr inż. Tomasz Majchrzak, mgr Sylwia Kryłowicz,
inż. Justyna Tomczyk, mgr inż. Przemysław Chrzan, inż. Paweł Maliński

Spis treści

Wstęp	04
Wybrane akty prawne związane z ochroną powietrza	04
Krajowy kontekst implementacji Dyrektywy NEC	05
Poziom redukcji emisji zanieczyszczeń w Polsce w kontekście wymagań dyrektywy NEC	07
Metodyka obliczeń	08
Model GEM-AQ	09
Konfiguracja modelu GEM-AQ	09
Dane emisyjne	10
Archiwizacja wyników	10
Analiza wyników	11
Stężenia średnioroczne PM_{10}	12
Stężenia średnioroczne $PM_{2,5}$	13
Stężenia średnioroczne SO_2	15
Stężenia średnioroczne NO_2	16
Stężenia średnioroczne NO_x	17
Stężenia średnioroczne O_3	19
Wpływ redukcji emisji na narażenie zdrowotne i na ekosystemy	22
Podsumowanie	26



Wstęp

Zanieczyszczenie powietrza jest jednym z ważniejszych problemów cywilizacji. Negatywne oddziaływanie zanieczyszczeń atmosfery na zdrowie człowieka, ekosystemy i infrastrukturę potwierdzają liczne badania. Z największym narażeniem ludności na ponadnormatywne stężenia substancji mamy do czynienia na obszarach zurbanizowanych, zarówno wskutek koncentracji emisji, jak i dużej gęstości zaludnienia. Zanieczyszczenie powietrza ma bezpośredni wpływ na zdrowie ludzi, powodując wiele chorób układu oddechowego i krwionośnego. Najbardziej narażone są dzieci, osoby starsze oraz ludzie z chorobami dróg oddechowych. Problemy zdrowotne wywołane ekspozycją na zanieczyszczenia powietrza powodują zwiększone koszty społeczne. W trosce o jakość powietrza, w krajach europejskich prowadzi się systematyczne obserwacje stanu zanieczyszczenia atmosfery i podejmuje środki prawne ku ograniczeniu emisji.

Równoległe z ograniczaniem emisji substancji szkodliwych dla zdrowia ludzi, zwierząt i roślin, podejmuje się wysiłki ku ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych, powodujących globalne ocieplenie. Systematyczny wzrost temperatury notowany jest od drugiej połowy XX wieku. Od lat 90-tych XX w. obserwowane trendy zmian klimatu m.in. wzrost temperatury powietrza, zmiana wysokości opadów, redukcja pokrywy lodowej czy podnoszenie się poziomu morza są przedmiotem badań Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change). Efekty tych prac publikowane są co kilka lat w formie Raportów Oceniających (Assessment Reports), obejmujących szczegółową analizę obserwowanych zmian oraz prognoz klimatycznych, szeroko rozumianych aspektów adaptacji do zmian klimatu, a także rekomendacji odnośnie do działań związanych z ograniczaniem zmian klimatu.

Na podstawie wyników licznych i dobrze udokumentowanych badań naukowych, 5 Raport Oceniający (AR5, 2013) formułuje tezę o wysokim prawdopodobieństwie dominującego wpływu działalności człowieka na obserwowane od połowy XX wieku ocieplenie¹. Projekcje zmian klimatycznych wskazują, że decyzje dotyczące łagodzenia zmian klimatu podjęte w bliskim horyzoncie będą miały znaczący wpływ na trend zmian do końca XXI wieku. Jednocześnie, Raport wskazuje, że żaden spośród rozpatrywanych scenariuszy redukcji emisji nie jest wystarczający do zahamowania globalnego ocieplenia, zaś skuteczność tych działań silnie zależy od współpracy międzynarodowej we wdrażaniu polityki redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Zarówno w przypadku ograniczania zmian klimatu, jak również działań podejmowanych na rzecz poprawy jakości powietrza, podstawą działań jest redukcja emisji zanieczyszczeń z różnego rodzaju procesów związanych ze spalaniem paliw kopalnych.

Wybrane akty prawne związane z ochroną powietrza

Dyrektywa 2008/50/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (Dz. U. UE L. 152 z 11.06.2008 r., str. 1) (zwana dalej dyrektywą CAFE) wskazuje w art. 15 ust. 1 Krajowe Cele Redukcji Narażenia na pył PM_{2,5} dla poszczególnych krajów, określone na podstawie krajowych wskaźników średniego narażenia. Cele te winny być osiągnięte w terminie do dnia 1 stycznia 2020 r.

Dla wzmocnienia działań w zakresie poprawy jakości powietrza w roku 2016 przyjęto kolejny akt prawny, który odnosi się do redukcji całkowitej emisji zanieczyszczeń powietrza - dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, zmiany dyrektywy 2003/35/WE oraz uchylenia dyrektywy 2001/81/WE² (National Emissions Ceilings Directive - NEC). Akt ten ma na celu dalsze ograniczenie zanieczyszczeń powietrza i związanego z nim zagrożenia dla zdrowia ludzkiego oraz środowiska. Przedmiotowa dyrektywa ustanowiła krajowe zobowiązania w zakresie redukcji emisji dla poszczególnych państw członkowskich w odniesieniu do następujących zanieczyszczeń: dwutlenku siarki (SO₂), tlenków azotu (NO_x), niemetanowych lotnych związków organicznych (NMLZO), amoniaku (NH₃) oraz pyłu drobnego (PM_{2,5}). Zrealizowanie tych celów redukcyjnych przyczyni się także do osiągnięcia długoterminowych celów Unii w zakresie jakości powietrza, zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Zdrowia (WHO).

¹ 'It is extremely likely that human influence has been the dominant cause of the observed warming since the mid-20th century.' (IPCC 2013)

² Dz. Urz. UE L 344 z 17.12.2016, s.9

Redukcja emisji SO₂, NO_x, NH₃ oraz NMLZO objęta była uchyloną dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2001/81/WE w sprawie krajowych pułapów emisji niektórych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego³ (dyrektywa 2001/81/WE). Celami dyrektywy 2001/81/WE było ograniczenie emisji substancji zakwaszających i eutrofizujących prowadzące do zmniejszenia narażenia na depozycję zakwaszającą i eutrofizującą poniżej wartości uznawanej za szkodliwą dla środowiska oraz ograniczenie emisji prekursorów ozonu, wystarczające do obniżenia wielkości stężeń ozonu przyziemnego do poziomu zalecanego przez WHO, podyktowanego wymaganiami ochrony zdrowia ludzkiego i ochrony roślinności przed zanieczyszczeniem fotochemicznym. Dyrektywa ta określała limity emisji czterech zanieczyszczeń, jakie docelowo, w 2010 roku, miały być dotrzymane przy uwzględnieniu wszystkich źródeł zanieczyszczeń zlokalizowanych na obszarze UE, z wyłączeniem międzynarodowej żeglugi morskiej oraz emisji z samolotów, ale z uwzględnieniem emisji towarzyszących cyklowi lądowania i startu, które to emisje są uwzględniane w bilansie.

Dyrektywa NEC jest częścią ogłoszonego w 2013 r. Pakietu „The Clean Air Policy Package” w ramach, którego został przyjęty Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – Program „Czyste Powietrze dla Europy” (COM(2013)918 final), jak również dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2015/2193 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie ograniczenia emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza ze średnich obiektów energetycznego spalania.

Przyjęte w ramach pakietu „The Clean Air Policy Package” akty prawne kontynuują długofalową politykę Unii w zakresie poprawy jakości powietrza, polegającą na osiągnięciu takich poziomów zanieczyszczenia powietrza, które wykluczyłyby znaczne negatywne skutki i zagrożenia dla zdrowia ludzkiego i środowiska. Stąd też, ustanowiony w dyrektywie 2001/81/WE system krajowych pułapów emisji został zmieniony w celu dostosowania międzynarodowych zobowiązań Unii i państw członkowskich. Dyrektywa NEC określiła zatem krajowe zobowiązania w zakresie redukcji emisji poszczególnych zanieczyszczeń w stosunku do roku 2005 dla lat 2020 – 2029 zgodnie ze zmienionym Protokołem z Göteborga⁴, zaś dla roku 2030 i następnych lat zakres redukcji poszczególnych zanieczyszczeń w oparciu o oszacowany potencjał redukcyjnego każdego państwa członkowskiego.

Krajowy kontekst implementacji Dyrektywy NEC

Polska poprzez ratyfikację traktatów międzynarodowych oraz realizację zobowiązań wynikających z konwencji i Dyrektyw Parlamentu Europejskiego bierze aktywny udział w polityce ograniczania zanieczyszczenia powietrza.

Na podstawie Traktatu o Przystąpieniu Rzeczypospolitej Polskiej do Unii Europejskiej⁵ Polska była zobowiązana do redukcji zanieczyszczeń określonych w dyrektywie 2001/81/WE na poziomie określonym w Protokole z Göteborga⁶ (przed zmianą) tj. Protokołu w sprawie zwalczania zakwaszenia, eutrofizacji i ozonu przyziemnego do Konwencji (EKG ONZ) w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości⁷, sporządzonego w Genewie dnia 13 listopada 1979 r. (LRTAP). Polska zobowiązania te zrealizowała.

Zgodnie z Dyrektywą 2008/50/WE, transponowaną do prawa krajowego w ustawie z dnia 27 kwietnia 2001 Prawo Ochrony Środowiska⁸ (dalej: „POŚ”), corocznie w Polsce dokonywana jest ocena jakości powietrza w strefach. Pomimo stałej poprawy jakości powietrza w Polsce istotnym problemem nadal pozostają: w sezonie zimowym – ponadnormatywne stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5} oraz benzo(a)pirenu, a w sezonie letnim przekroczenia normowanych poziomów stężeń ozonu przyziemnego. Ponadto, obserwowane są pojedyncze przypadki występowania ponadnormatywnych stężeń dwutlenku azotu, których główną przyczyną jest emisja związana z intensywnym ruchem pojazdów w centrach miast oraz na głównych drogach w pobliżu stacji pomiarowych. Krajowy Wskaźnik Średniego Narażenia na pył PM_{2,5} dla Polski również systematycznie jest redukowany. W perspektywie trzech lat uległ on obniżeniu o prawie 11%. Do osiągnięcia Krajowego Celu Redukcji Narażenia wynoszącego dla Polski 18 µg/m³, jako trzyletnia średnia krocząca uśredniona ze wszystkich punktów pomiarowych prowadzących pomiary wskaźnika średniego narażenia na pył PM_{2,5}, niezbędne jest podjęcie dodatkowych działań, które wpłyną na dalsze zmniejszenie tego wskaźnika. Podstawowym celem działań w zakresie ochrony powietrza jest ograniczenie emisji zanieczyszczeń do powietrza w sposób pozwalający na osiągnięcie poprawy jego jakości i dotrzymania norm jakości powietrza określonych prawem unijnym oraz krajowym.

³ Dz. Urz. UE L 390 z 27.11.2001, s.22

⁴ Protokół z 1999 r. w sprawie przeciwdziałania zakwaszenia, eutrofizacji i powstawaniu ozonu w warstwie przyziemnej, zmienionego w 2012 r. (zwanego dalej „zmienionym protokołem z Göteborga”)

⁵ Dz. Urz. UE L 236 z 23.09.2003 r.

⁶ W dniu 30 maja 2000 roku Polska podpisała Protokół w sprawie zwalczania zakwaszenia, eutrofizacji i ozonu przyziemnego do Konwencji Europejskiej Komisji Gospodarczej Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości, sporządzonej w Genewie dnia 13 listopada 1979 r.

⁷ Dz. U. z 1985r. Nr 60, poz. 311, Dz. U. z 1988r. Nr 40, poz. 313 i 314.

⁸ t.j. Dz.U. z 2018, poz. 799

W Polsce do chwili obecnej głównym paliwem wykorzystywanym zarówno w sektorze wytwarzania i transformacji energii, przemyśle oraz sektorze komunalno-bytowym są paliwa stałe, tj. węgiel kamienny oraz węgiel brunatny, które stanowią ok. 80% udział w miksie paliwowym kraju. Zastosowanie paliw stałych wiąże się z relatywnie największą emisją zanieczyszczeń w porównaniu do innych paliw kopalnych (np. gaz), dlatego też tak duży udział paliw stałych w polskiej gospodarce wiąże się z jej dużą emisyjnością. Konieczne jest zatem wprowadzenie zmian w stosowanych paliwach. Polska chce dalej korzystać z zasobów węgla, ale zmieniając technologie jego wykorzystania i przetwarzania np. zgazowanie węgla. Duży nacisk kładzie największe wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, jak również wykorzystania energii jądrowej. Ponadto, wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań technologicznych w zakresie poprawy efektywności energetycznej na każdym etapie wytwarzania produktów.

Planowany udział energii ze źródeł odnawialnych systematycznie wzrasta, co związane jest między innymi ze zobowiązaniami państw członkowskich Unii, dla których w aktach legislacyjnych zostało określone zobowiązanie do osiągnięcia celu wykorzystania OZE w 2030 r. na poziomie co najmniej 32% w całej Unii. Dlatego też Rząd RP wprowadza działania legislacyjne i pozalegisłacyjne, które mają wspomóc rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) oraz stabilizacji niezawodności źródeł OZE, rozwoju energetyki rozproszonej, czy też wsparcie innowacyjnych rozwiązań w zakresie wytwarzania biokomponentów II generacji i innych paliw odnawialnych.

Procesy spalania paliw występują w różnego rodzaju instalacjach, należących do wszystkich kategorii działalności gospodarczej człowieka w tym, w szczególności, wytwarzania ciepła i energii, w przemyśle, w transporcie i sektorze komunalno – bytowym czy rolnictwie. Z tego powodu projektowane działania muszą odnosić się do poszczególnych kategorii odpowiedzialnych za największy udział emisji zanieczyszczeń do powietrza. Katalog krajowych strategii i polityk, jak również działań pozwalających zrealizować cele redukcyjne wynikające zarówno z dyrektywy NEC, jak również osiągnięcia norm jakości powietrza określonych w dyrektywie 2004/107/WE oraz dyrektywie 2008/50/WE, odnoszącej się do sektora produkcji i transformacji energii zawiera Polityka energetyczna Polski. W chwili obecnej trwają konsultacje nowej Polityki energetycznej Polski do roku 2040, która zakłada średnioroczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w latach 2018-2040 na poziomie 1,7%, ponadto planuje zmiany miks paliwowego, w tym przewiduje się większy udział energii ze źródeł odnawialnych oraz energetykę jądrową. Polska musi zrealizować do roku 2030 cel 27% udziału OZE w wytwarzaniu energii elektrycznej i zamierza to osiągnąć poprzez wykorzystanie fotowoltaiki oraz morskich farm wiatrowych, ponadto do roku 2035 zostanie uruchomiony pierwszy blok elektrowni jądrowej. Wdrożenie tych założeń spowoduje unik-

nięcie lub redukcję emisji zarówno w zakresie zanieczyszczeń powietrza wynikających z dyrektywy NEC, jak również z polityki klimatycznej. Jednocześnie działania legislacyjne oparte o wdrożenie dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych⁹ w odniesieniu do nowych standardów emisji SO₂, NO_x, NMLZO, NH₃ oraz PM_{2,5} pozwolą zrealizować zobowiązania redukcyjne oraz wpłyną na poprawę jakości powietrza w Polsce.

Dla sektora komunalno – bytowego, w którym to zidentyfikowano duży potencjał redukcyjny związany z redukcją zanieczyszczeń mających znaczący wpływ na jakość powietrza, zostało opracowane i wdrożone działanie mające za zadanie poprawę efektywności energetycznej budynków mieszkalnych i zmianę wykorzystywanych paliw. Wprowadzone działanie tzw. program „Czyste Powietrze” jest skierowany na poprawę jakości powietrza poprzez uniknięcie czy też zmniejszenie emisji pyłów i innych zanieczyszczeń wprowadzonych do atmosfery przez domy jednorodzinne. Program koncentruje się na kompleksowych działaniach: wymianie starych pieców oraz kotłów na paliwo stałe oraz termomodernizacji budynków jednorodzinnych. Działania podejmowane w ramach tego programu, to m.in. wymiana starego, wysokoemisyjnego kotła grzewczego, docieplenie domu, wymiana okien i drzwi, instalacje odnawialnych źródeł energii (kolektorów słonecznych i instalacji fotowoltaicznych), montaż wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła, montaż lub modernizacja instalacji centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej.

Szansą na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń powietrza, w tym emisji gazów cieplarnianych jest zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w finalnym zużyciu energii, w tym elektryfikacja transportu i wzrost udziału paliw alternatywnych, np. wodoru czy gazu ziemnego w formie LNG i CNG, w zużyciu paliw transportowych. Emisja groźnych dla zdrowia pyłów, niemetanowych lotnych związków organicznych, tlenków siarki oraz azotu może być ograniczana poprzez intensywniejsze działania w sektorze transportu związane z elektromobilnością i wymianą przestarzałego taboru na mniej emisyjny – pojazdy wyposażone w silniki spełniające najwyższe normy emisyjne, pojazdy hybrydowe lub o napędzie elektrycznym.

Sektor transportu, w tym w szczególności transport drogowy, przyczynia się do znacznego zanieczyszczania powietrza i jest jednym z głównych sektorów odpowiedzialnych za pogarszający się stan jakości powietrza w aglomeracjach i miastach. Dlatego też Strategia rozwoju transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku) obok rozwiązań legislacyjnych wprowadzających normy spalania paliw w silnikach, planuje rozbudowę infrastruktury drogowej poprzez budowę obwodnic miast, a także rozbudowę autostrad, które to działania mają na celu wyprowadzenie ruchu drogowego poza miasta. Wspar-

⁹ Dz. Urz. UE L334 z 17.12.2010, s.17

ciem w zmniejszaniu emisji z transportu w aglomeracjach ma być Plan Rozwoju Elektromobilności „Energia dla Przyszłości”, przyjęty przez Radę Ministrów 16 marca 2017 r., który opisuje główne założenia, cele, mechanizmy oraz skutki wprowadzenia na dużą skalę pojazdów elektrycznych, którego założeniem jest osiągnięcie liczby 1 mln aut elektrycznych do 2025 r.

Obecnie przygotowany jest Krajowy Program Ograniczania Zanieczyszczenia Powietrza (KPOZP), wynikający z zapisów dyrektywy NEC (2016). W szczególności konieczne jest utrzymanie korzystnych tendencji w zakresie poprawy jakości powietrza i spadku ryzyka zdrowotnego wynikającego z narażenia na występujące w powietrzu substancje szkodliwe dla zdrowia, tj. pył zawieszony PM₁₀ i PM_{2,5}, benzo(a)piren oraz ozon.

Podjęcie działań wymienionych powyżej pozwoli na osiągnięcie zobowiązań w zakresie redukcji emisji przyjętych w Dyrektywie NEC i wynoszących dla Polski odpowiednio: dla SO₂ w 2020 redukcja o 59%, a w 2030 o 70%; w przypadku NO_x pułapy redukcji określono w roku 2020 – na poziomie 30%, a 2030 - 39%; dla NMLZO – w 2020 - 25%, i 26% - 2030 roku, dla NH₃ - 2020 - 1%, a w 2030 - 17% oraz dla pyłu drobnego PM_{2,5} w 2020 - 16%, a 2030 - 58%; w stosunku do 2005 r.

Zrealizowanie krajowych zobowiązań redukcyjnych, określonych w dyrektywie NEC, dla ww. zanieczyszczeń, w tak krótkim czasie, będzie wiązało się ogromnymi nakładami finansowymi, a także działaniami legislacyjnymi i pozalegisacyjnymi. Ponadto należy podkreślić, iż tylko w przypadku prawidłowego wdrażania wszystkich kierunków interwencji i wynikających z nich działań możliwe będzie osiągnięcie zakładanych celów redukcyjnych, przy zastosowaniu wszelkich niezbędnych środków określonych prawem UE oraz krajowym.

W ramach analiz, związanych z przygotowaniem Krajowy Programu Ograniczania Zanieczyszczenia Powietrza IOŚ-PIB przeprowadził studium modelowe wpływu założonych redukcji emisji zanieczyszczeń atmosferycznych na poziom stężeń zanieczyszczeń w Polsce. Niniejszy raport stanowi opracowanie pilotażowe wyników obliczeń, koncentrujące się na zmianie stężeń średniorocznych oraz ocenie udziału emisji z obszaru Polski w kształtowaniu się poziomu stężeń średniorocznych. Zastosowana metodyka obliczeń jest spójna z przyjętą na potrzeby realizacji zadań ustawowych IOŚ-PIB w zakresie wsparcia krajowej polityki zarządzania jakością powietrza z wykorzystaniem modelowania matematycznego transportu i przemian substancji w powietrzu (POŚ Art. 88 ust. 6).

Poziom redukcji emisji zanieczyszczeń w Polsce

w kontekście wymagań Dyrektywy NEC

Dyrektywa NEC definiuje poziom redukcji emisji zanieczyszczeń do atmosfery dla następujących związków:

- pył zawieszony PM_{2,5}
- tlenki azotu
- tlenki siarki
- niemetanowe lotne związki organiczne (ang. NMVOC – non-methane volatile organic compounds)
- amoniak

Oczekiwana wartość redukcji odniesiona jest do poziomu emisji raportowanych dla roku 2005.

W opracowaniu wykorzystano dane pochodzące z inwentaryzacji emisji EMEP10 w rozdzielczości 0.1° x 0.1° dla roku 2005 (do stworzenia prognoz 2025 i 2030) oraz najnowszych dostępnych emisji dla roku 2016 do przygotowania scenariusza

referencyjnego. Wykorzystanie emisji EMEP jako oficjalnie raportowanych przez poszczególne kraje w ramach Konwencja w sprawie transgranicznego przenoszenia zanieczyszczeń powietrza na dalekie odległości daje gwarancję spójności metodyki inwentaryzacji w skali europejskiej. Dane w rozdzielczości 0.1° x 0.1° to obecnie jedyny dostępny format inwentaryzacji EMEP, przygotowany w roku 2018 dla okresu 2000-2016. Dane te są obecnie poddawane wszechstronnej ewaluacji w ramach prac FAIRMODE (Forum on Air Quality Modelling in Europe), ponieważ co do wartości wykazują różnice z udostępnianymi wcześniej danymi w rozdzielczości 0.5° x 0.5° oraz 50 km x 50 km w projekcji polarnej stereograficznej.

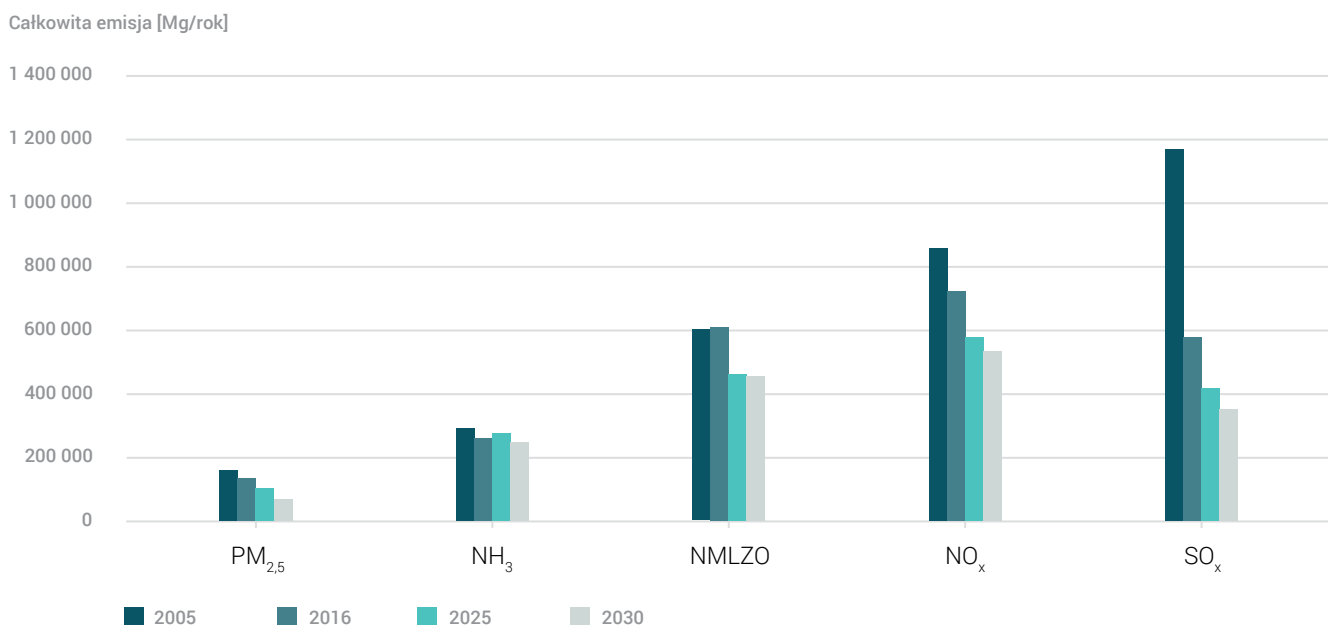
Wielkość celu redukcyjnego dla poszczególnych krajów i poszczególnych zanieczyszczeń została zawarta w Załączniku 1. Poziom redukcji zastosowano proporcjonalnie do wszystkich sektorów aktywności.

¹⁰ http://www.ceip.at/new_emep-grid/01_grid_data

Do przygotowania scenariuszy emisji modyfikacji wg. współczynników zgodnie z dyrektywa NEC poddano wszystkie kraje uwzględnione w strategii redukcji. Dla krajów nie uwzględnionych w Dyrektywie NEC założono że strumień emisji w roku 2025 i 2030 jest taki sam jak raportowany w roku 2016.

W przypadku frakcji grubej pyłu założono że współczynnik redukcji jest identyczny jak dla PM_{2,5}. Ze względu na brak odniesień w Dyrektywie NEC do tlenku węgla nie założono redukcji emisji dla tego związku.

Rysunek 1. Całkowity ładunek emisji zanieczyszczeń raportowany dla lat 2005 i 2016 oraz prognozowany wg. założeń dyrektywy NEC dla 2025 i 2030 w Polsce



Rysunek 1 pokazuje zestawienie wielkości emisji raportowanej przez Polskę do EMEP dla lat 2005 i 2016 oraz wielkość ładunku emisji prognozowanego wg. założeń dyrektywy NEC dla 2025 i 2030. W zależności od zanieczyszczenia zauważyć można duże różnice w zakresie redukcji. W przypadku tlenków siarki i w nieco mniejszym stopniu tlenków azotu oczekiwana redukcja jest bardzo duża, a proces redukcji emisji istotnie postępuje, co można stwierdzić porównując wielkość

emisji w roku 2005 i 2016. Podobnym zakresem charakteryzuje się redukcją PM_{2,5}, przy czym redukcja w horyzoncie od 2025 do 2030 jest nadal znacząca.

W przypadku lotnych związków organicznych poziom emisji w latach 2005 i 2016 niewiele się zmienił i osiągnięcie celu ustalonego dla roku 2025 i 2030 wymagałoby zainicjowania zmian w wybranych sektorach.

Metodyka obliczeń

Do obliczeń stężeń zanieczyszczeń przy powierzchni ziemi zastosowano model jakości powietrza GEM-AQ (Kamiński i inni, 2008). Model ten jest uznany na forum europejskim w serwisie Copernicus (CAMS50 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 (t.j. Dz. U. z 2018 r. poz. 799).

Wykonano sześć symulacji obejmujących okres jednego roku kalendarzowego:

- Trzy symulacje odzwierciedlały kolejne scenariusze redukcji emisji – 2016 – scenariusz referencyjny oraz 2025 i 2030 – jako prognoza w oparciu o wytyczne Dyrektywy NEC.

- Celem określenia udziału krajowej emisji w kształtowaniu się poziomów stężeń ozonu w Polsce i wpływu na zanieczyszczenie w krajach sąsiednich, a także celem oszacowania wpływu transportu transgranicznego zanieczyszczeń na obserwowane przekroczenia wartości normowanych, wykonano dodatkowe trzy symulacje przy w całości wyłączonej emisji antropogenicznej nad obszarem Polski. Wszystkie pozostałe elementy konfiguracji modelu i danych wejściowych pozostały niezmienione (metoda wrażliwości tzw. „brute force” dla modeli zorientowanych na źródło).

Model GEM-AQ

Model GEM-AQ został opracowany na bazie numerycznego modelu prognoz pogody GEM (Global Environmental Multi-scale Model), eksploatowanego przez Kanadyjskie Centrum Meteorologiczne (Côté i inni, 1998a, 1998b). W ramach projektu MAQNet model meteorologiczny został rozbudowany przez wprowadzenie kompleksowego modułu chemii troposfery (Kamiński i inni, 2008). Model GEM-AQ może być używany w szerokim zakresie skal przestrzennych: od globalnej do skali meso-γ. Opis transportu i procesów fizycznych w GEM-AQ pochodzi z modelu meteorologicznego.

Moduły jakości powietrza wprowadzane są on-line do modelu meteorologicznego. W odniesieniu do chemii fazy gazowej posiada on 35 transportowanych w drodze adwekcji, głębokiej konwekcji i dyfuzji turbulencyjnej i 15 niepodlegających transportowi – ze względu na krótki czas życia – związków gazowych. Mechanizm opisujący właściwości chemiczne fazy gazowej w modelu GEM-AQ oparty jest na modyfikacji modelu ADOM [*Acid Deposition and Oxidants Model* (Lurmann i inni, 1986)]. Model ten został rozszerzony o 4 dodatkowe związki (CH₃OOH, CH₃OH, CH₃O₂, CH₃CO₃H)

i 22 reakcje. Zmodyfikowany mechanizm zawiera 50 związków, 116 chemicznych i 19 fotochemicznych reakcji.

Obliczenie trójwymiarowych pól stężeń jest osiągane poprzez rozwiązanie układu równań zachowania masy dla każdej z modelowanych substancji chemicznych. Adwekcja i dyfuzja pionowa substancji chemicznych jest liczona wewnątrz GEM, zgodnie z algorytmem używanym do adwekcji i dyfuzji dla pary wodnej – wykorzystany został schemat semi-lagrangowski. Dla niektórych substancji chemicznych wymagane są obliczenia dodatkowych wielkości zależnych od aktualnych wartości parametrów meteorologicznych, tj. prędkości depozycji suchej, współczynników fotolizy.

Integralną częścią modelu GEM-AQ jest moduł aerozolowy, który pozwala na symulacje aerozolu atmosferycznego oraz jego interakcje ze związkami chemicznymi fazy gazowej. W szczególności pozwala na symulacje reakcji heterogenicznej hydrolizy N₂O₅ prowadzącej do powstawania HNO₃. Reakcja ta zachodzi na powierzchni aerozolu atmosferycznego i ma bardzo duży wpływ na koncentrację ozonu troposferycznego (Jacob, 2000; Thornton i inni, 2003). Intensywność reakcji zależy zarówno od stężenia, jak i powierzchni aerozolu.

Procesy aerozolowe reprezentowane są poprzez parametryzację nukleacji, koagulacji, procesów wewnątrz-chmurowych, z uwzględnieniem chemii fazy ciekłej dla związków siarki i wymywania wewnątrz chmury, jak również sedymentacji oraz suchej i mokrej depozycji. Procesy transportu uwzględniają adwekcję, dyfuzję turbulencyjną oraz głęboką konwekcję. Rozkład masy reprezentowany jest w 12 przedziałach wielkości cząstek aerozolu opisujących logarytmiczny wzrost promienia cząstek (Tabela 1). Modelowane wartości stężeń pyłów PM₁₀ i PM_{2,5} są obliczane jako suma odpowiednich frakcji poszczególnych komponentów chemicznych.

Tabela 1. Rozkład wielkości aerozolu w modelu CAM

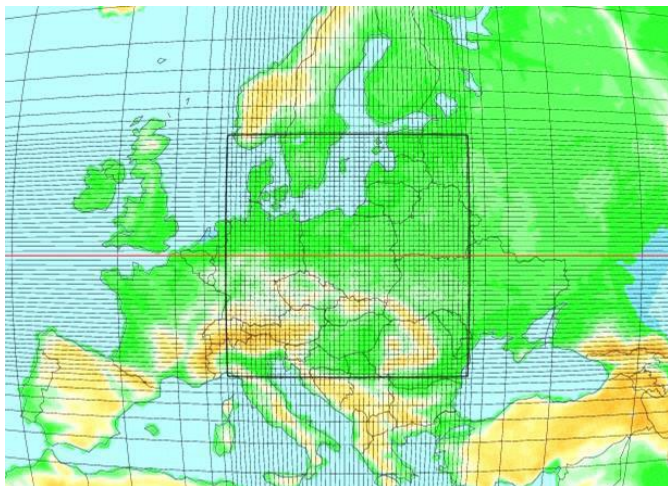
Zakres zmienności	0.005 - 0.01	0.01 - 0.02	0.02 - 0.04	0.04 - 0.08	0.08 - 0.16	0.16 - 0.32	0.32 - 0.64	0.64 - 1.28	10.28 - 2.56	20.56 - 5.12	55.12 - 10.24	110.24 - 20.48
Średni promień aerodynamiczny	0.0075	0.015	0.03	0.06	0.12	0.24	0.48	0.96	10.92	30.84	70.68	15.36

Konfiguracja modelu GEM-AQ

Obliczenia modelem GEM-AQ były wykonywane na siatce globalnej o zmiennej rozdzielczości, przy czym rozdzielczość nad Europą Środkową wynosiła ok. 10 km (Rysunek 2) Konfi-

guracja taka zapewnia właściwe odtworzenie napływu transgranicznego. Krok czasowy wykorzystany w obliczeniach wynosił 600 sekund. Na potrzeby niniejszej analizy do wszystkich symulacji modelowych wykorzystano pola meteorologiczne z roku 2017.

Rysunek 2. Konfiguracja siatki globalnej o zmiennej rozdzielczości: czarny kwadrat obejmuje obszar o rozdzielczości 10 km, czerwona linia obrazuje równik w obróconym układzie współrzędnych



Dane emisyjne

W odniesieniu do emisji antropogenicznej, dla obszaru Europy wykorzystano najnowsze dostępne dane raportowane przez kraje członkowskie w ramach Konwencji LRTAP.

Baza emisyjna EMEP została w roku 2018 udostępniona w wyższej niż dotąd rozdzielczości 0.1° x 0.1° (ok. 10 km). Na podstawie danych emisyjnych dla tlenków siarki obliczono emisje SO₂ i SO₄, zaś na podstawie emisji NO_x obliczono emisje NO i NO₂. Emisje niemetanowych lotnych związków organicznych poddano dezagregacji na substancje i grupy substancji istotne dla modelowania przemian chemicznych.

Poza obszarem Europy zastosowano emisje ECLIPSE przygotowane przez IIASA (<http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/air/ECLIPSEv5.html>).

Archiwizacja wyników

Wszystkie pola meteorologiczne i chemiczne były archiwizowane w interwałach 1-godzinnych dla następujących zmiennych:

1) meteorologicznych:

- temperatura (°C),
- wilgotność właściwa (kg/kg),
- ciśnienie (hPa);

2) chemicznych:

- stężenie O₃,
- stężenia NO₂,
- stężenia SO₂,
- stężenia PM₁₀,
- stężenia PM_{2,5},

Wartości stężeń zanieczyszczeń dla najniższej warstwy modelu, która ma reprezentować wartości „przy powierzchni ziemi”, poddawane były przeliczeniu do jednostki µg/m³, z uwzględnieniem mas cząsteczkowych zanieczyszczeń oraz gęstości powietrza obliczonej na podstawie chwilowych wartości parametrów meteorologicznych.

Obliczone diagnostyki dla poszczególnych zanieczyszczeń obejmowały zakres identyczny z wykonywanym dla rocznej oceny jakości powietrza, zawartym w rozporządzeniu Ministra Środowiska W sprawie zakresu i sposobu przekazywania informacji dotyczących zanieczyszczenia powietrza z dnia 6 czerwca 2018 r. (Załącznik nr. 6, punkt 3) tj.:

- O₃
 - liczbę dni, w których maksimum dobowe ze stężeń 8-godzinnych średnich kroczących przewyższało wartość docelową 120 µg/m³,
 - liczba dni z maksymalnym dobowym stężeniem przekraczającym poziom 180 µg/m³ (próg informowania społeczeństwa),
 - liczba dni z maksymalnym dobowym stężeniem przekraczającym poziom 240 µg/m³ (próg alarmowy),
 - percentyl 93,2 w rocznej serii maksimów dobowych stężenia ośmiogodzinnego kroczącego,
 - AOT40 liczone w godzinach pomiędzy 8:00–20:00 czasu środkowoeuropejskiego w okresie 01.05–31.07,
- NO₂
 - liczba godzin z przekroczeniami wartości jednogodzinnej 200 µg/m³ w roku kalendarzowym,
 - percentyl 99,8 z rocznej serii stężeń jednogodzinnych,
 - stężenie średnie roczne,
- NO_x
 - stężenie średnie roczne,

- SO₂
 - liczba godzin z przekroczeniami wartości jednogodzinnej 350 µg/m³ w roku kalendarzowym,
 - liczba dni z przekroczeniami wartości dobowej 125 µg/m³ w roku kalendarzowym,
 - percentyl 99,7 z rocznej serii stężeń jednogodzinnych,
 - percentyl 99,2 z rocznej serii stężeń dobowych,
 - stężenie średnie w okresie zimowym (01.10–31.03),
 - stężenie średnie roczne,
- PM₁₀
 - liczba dni z przekroczeniami wartości dobowej 50 µg/m³ w roku kalendarzowym,

- percentyl 90,4 z rocznej serii stężeń dobowych,
- stężenie średnie roczne,

- PM_{2,5}
 - stężenie średnie roczne.

W niniejszym raporcie wstępna analiza skupia się wyłącznie na zmianie stężeń średniorocznych PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, NO_x, SO₂ oraz poziomie narażenia ze względu na ochronę zdrowia i ochronę roślin dla ozonu.

Analiza wyników

Na podstawie wyników modelowania dla wartości 1-godzinnych wykonano dla obszaru Polski:

- Mapy analizowanych diagnostyk (w przypadku niniejszej analizy średnie roczne NO₂, NO_x, SO₂, PM₁₀ i PM_{2,5} oraz poziom narażenia ze względu na ochronę roślin i ochronę zdrowia dla ozonu)
- Mapy różnic stężeń pomiędzy stanem bazowym emisji (2016) i scenariuszami emisji (2025 i 2030). Różnice relatywne obliczono jako wartości uśrednione dla okresu całego roku, wyrażone wzorem:

$$RD = \frac{C_{2025/2030} - C_{2016}}{C_{2016}} 100\%$$

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

Wartości dodatnie tak zdefiniowanej miary świadczą o wzroście zanieczyszczeń w danym scenariuszu, zaś wartości ujemne o ich spadku w stosunku do scenariusza na podstawie emisji dla roku 2016.

- Mapy udziału emisji z obszaru Polski w kształtowaniu się poziomu stężeń zanieczyszczeń w regionie. Różnice relatywne obliczono jako wartości uśrednione dla okresu całego roku, wyrażone wzorem:

$$TRD = \frac{C_{noPL} - C}{C} 100\%$$

Wartości dodatnie tak zdefiniowanej miary mogą wystąpić dla zanieczyszczeń wtórnych i oznaczają wzrost zanieczyszczenia na skutek redukcji emisji nad Polską, zaś poziom wartości ujemnych świadczy o poziomie wpływu redukcji emisji z Polski na poziom zanieczyszczeń.

Wstępna analiza sprawdzalności z danymi ze stacji pomiarowych PMS dla scenariusza bazowego wskazuje na niedoszacowanie wartości obliczonych stężeń średniorocznych. W oparciu o te same emisje podobne tendencje zanotował także model EMEP, gdzie również w wyniku obliczeń uzyskano zaniżone stężenia średnioroczne nad Europą, zwłaszcza dla PM₁₀ i PM_{2,5} (EMEP Status Report 1/2018). Wzmiankowany raport EMEP zwraca także uwagę na wątpliwości w zakresie przestrzennego rozkładu emisji w Polsce w sektorze transportu drogowego, dla rozdzielczości 0.1° x 0.1°, co może wpływać na pole stężeń tlenków azotu i ozonu. Stężenia zbliżone do uzyskanych dla scenariusza referencyjnego publikowane są dla obszaru Polski również jako produkty serwisu Copernicus, uzyskiwane z wykorzystaniem innej inwentaryzacji i z wykorzystaniem innych modeli. Wskazywać to może na szerszy problem z prawidłową reprezentacją emisji z obszaru Polski, który do tej pory, z powodu braku weryfikacji raportowanych emisji z wykorzystaniem krajowego modelowania, nie został prawidłowo zdiagnozowany.

Prezentowane wartości stężeń średniorocznych różnią się od publikowanych przez GIOŚ wyników oceny rocznej, co wynika nie tylko z wykorzystania innej inwentaryzacji emisji, ale również innej rozdzielczości obliczeń (1 km nad obszarem województw, 0,5 km nad obszarem aglomeracji i miast z liczbą mieszkańców powyżej 100 tys.), co pozwala na znacznie dokładniejsze wychwycenie obszarów charakteryzujących się wysokimi stężeniami.

Niezależnie od niepewności modelowania dla roku bazowego, uzyskane wartości różnic dla scenariuszy redukcji emisji mogą być podstawą wnioskowania o względnym zmniejszeniu się narażenia na ponadnormatywne wartości stężeń zanieczyszczeń.

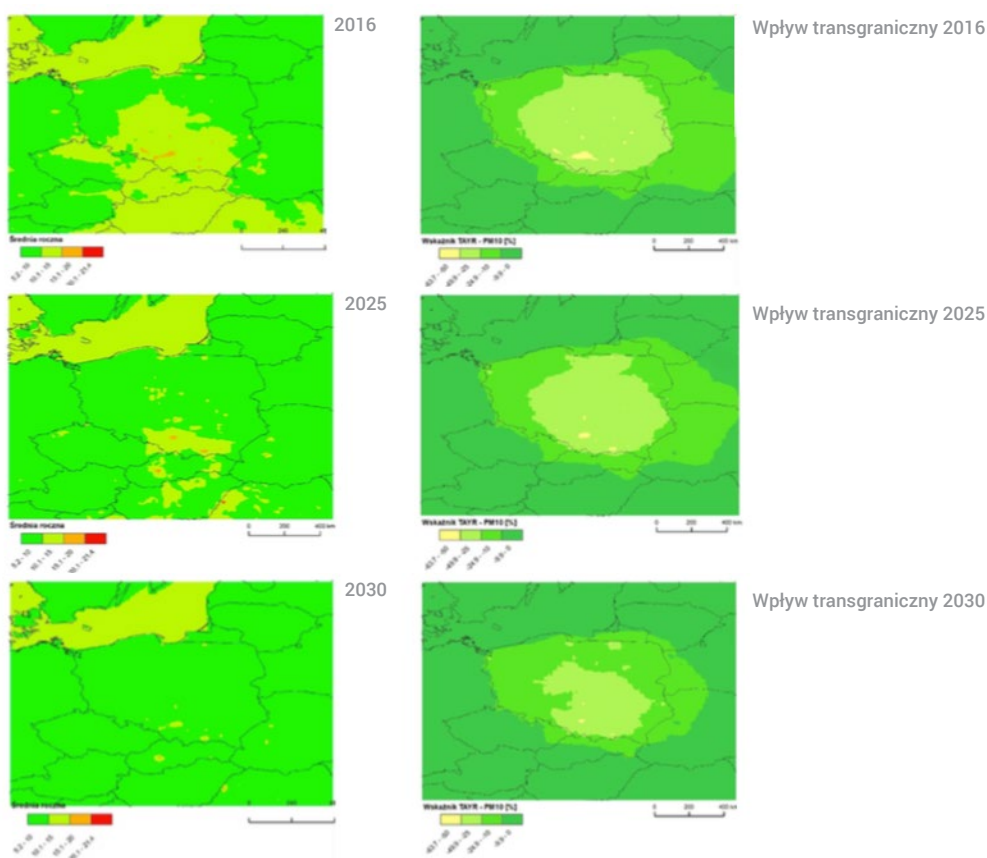
Stężenia średnioroczne PM₁₀

W północnej, wschodniej i zachodniej części kraju w scenariuszu referencyjnym wartości średniego rocznego stężenia pyłu PM₁₀ wystąpiły w przedziale od 5,2 do 10 µg/m³. Natomiast w środkowej i południowej części Polski wystąpiły wyższe stężenia - od 10 do 15 µg/m³, a na niewielkich obszarach dochodziły nawet do 20 µg/m³. Jak wspomniano są to wartości niższe od wskazań wynikających z pomiarów, co wynika z niepewności związanej z nowym i nie w pełni zweryfikowanym podejściem EMEP do inwentaryzacji emisji.

Prognoza na rok 2025 i 2030 przedstawia spadek stężenia pyłu. W 2030 roku praktycznie na terenie całej Polski wartości stężeń pyłu PM₁₀ nie będą przekraczały 10 µg/m³, z wyjątkiem niewielkich obszarów na południu kraju, gdzie prognozowane są stężenia do 15 µg/m³. Różnice procentowe względem stanu bazowego opisane zostały poniżej.

Analizując wpływ zanieczyszczeń transgranicznych, prognozowane zmiany przedstawiają zwiększenie wpływu zanieczyszczeń spoza Polski. W 2016 roku na zachodzie kraju oraz w północno-wschodniej części Polski wartość wskaźnika wpływu emisji z Polski na poziomy pył PM₁₀ jest w przedziale od -24,9 do -10, natomiast na pozostałej części kraju od -49,9 do -25. W 2030 roku w centrum i na południu kraju wartości współczynnika średniodobowego poziomego stężeń dla pyłu prognozowane są w przedziale od -49,9 do -25, a na pozostałej powierzchni Polski od -24,9 do -10.

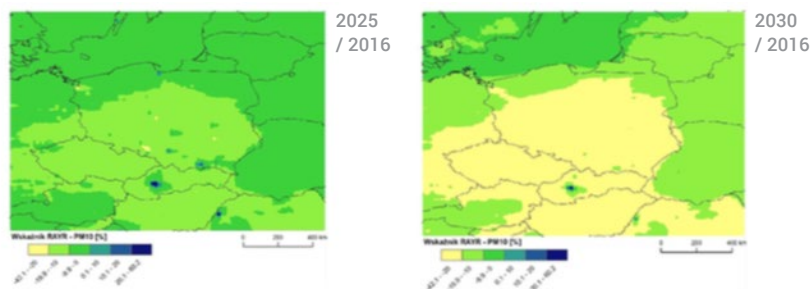
Rysunek 3. Przedstawia rozkład przestrzenny średniego rocznego stężenia pyłu PM₁₀ (lewa strona) oraz rozkład przestrzenny udziału emisji z Polski w średniodobowym poziomie stężeń dla pyłu PM₁₀ (prawa strona) w latach 2016, 2025 i 2030.



Rysunek 4 przedstawia zmniejszenie stężenia średniorocznego pyłu PM₁₀ w 2025 i 2030 roku względem roku 2016. W 2025 roku na północy kraju prognozowana jest poprawa o maksymalnie 10%, natomiast na pozostałym terenie kraju

o 10-20%. W 2030 roku na północy kraju prognozowana jest dalsza poprawa poziomu stężeń średniorocznych o 10-20% a w pozostałej części Polski o 20-40%.

Rysunek 4. Względna zmiana stężenia średniorocznego PM₁₀ w roku 2025 (lewy panel) i 2030 (prawy panel) w stosunku do roku 2016.

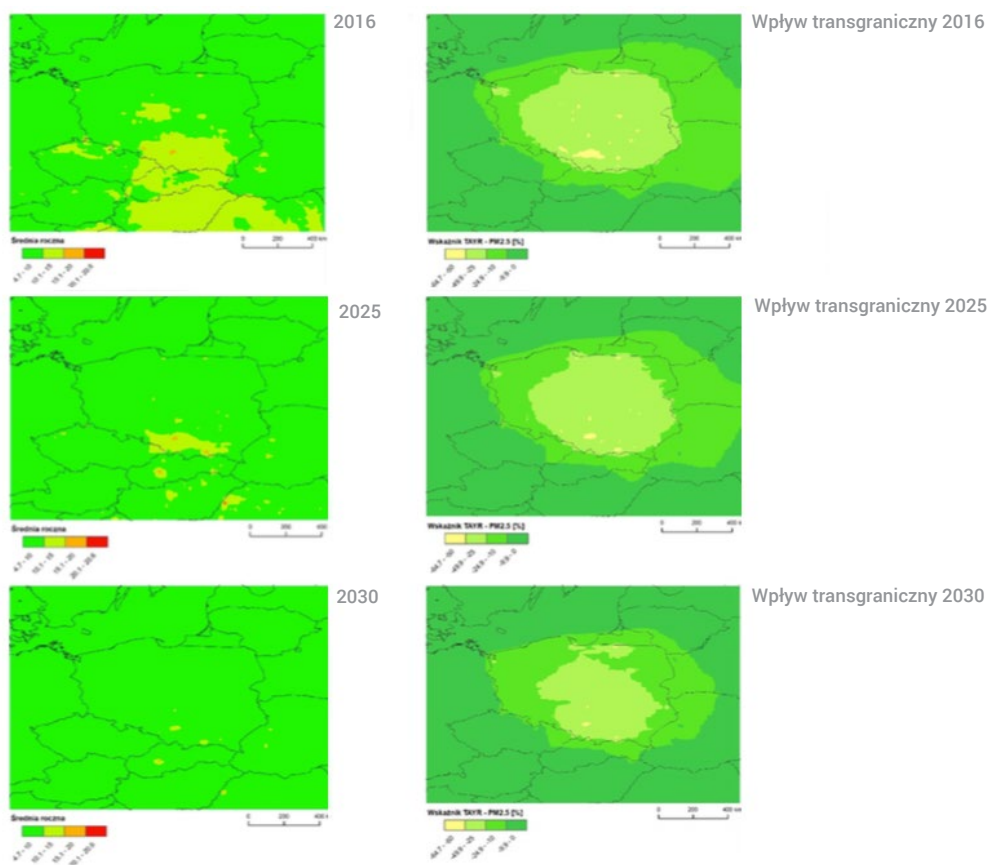


Stężenia średnioroczne PM_{2,5}

W 2016 roku najwyższe stężenia pyłu PM_{2,5} miały miejsce w województwie śląskim, małopolskim, podkarpackim i świętokrzyskim oraz w centrum kraju. Wartości stężeń wystąpiły w przedziale 10-15 µg/m³, jednak wystąpiły niewielkie obszary gdzie stężenia sięgały wartości 15-20 µg/m³ (woj. śląskie). Na pozostałym terenie Polski stężenia PM_{2,5} kreowały się w przedziale 4,7-10 µg/m³. Podobnie jak w przypadku PM₁₀ modelowane wartości są zaniżone względem poziomów stężeń wynikających z pomiarów na stacjach PMS. W roku 2025 widać znaczną poprawę. Podwyższone stężenia prognozowane są w województwie śląskim i małopolskim. Natomiast w 2030 roku praktycznie na terenie całego kraju średnia roczna wartość stężenia pyłu PM_{2,5} nie przekroczy 10 µg/m³. Różnice procentowe względem stanu bazowego opisane zostały poniżej.

Analizując wpływ zanieczyszczeń transgranicznych prognozowane jest zwiększenie wpływu zanieczyszczeń napływających. W 2016 roku we wschodniej i środkowej części Polski udział emisji z Polski w średniorocznym poziomie emisji dla pyłu PM_{2,5} osiągał wartości w przedziale od -50 do -25. W zachodniej części kraju wartość wskaźnika osiągnęła wartości od -25 do -10. W kolejnych latach 2025 i 2030 prognozowane jest zwiększenie wpływu zanieczyszczeń transgranicznych. Zwiększenie wskaźnika prognozowane jest na terenie wschodniej i zachodniej części kraju, natomiast w środkowej części Polski wartości nie ulegną zmianie do 2030 roku.

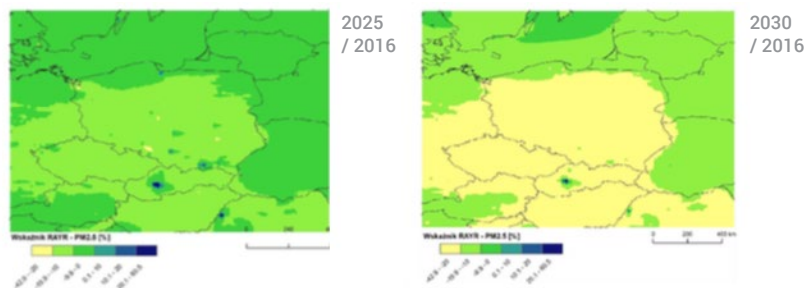
Rysunek 5. Rozkład przestrzenny średniego rocznego stężenia pyłu PM_{2,5} (lewa strona) oraz rozkład przestrzenny udziału emisji z Polski w średniodobowym poziomie stężeń dla pyłu PM_{2,5} (prawa strona) w latach 2016, 2025 i 2030.



Prognozy do 2025 i 2030 roku pokazują redukcję stężenia średniorocznego pyłu PM_{2,5} w stosunku do 2016r. (Rysunek 11). W roku 2025 na północy kraju stężenie pyłu PM_{2,5} zmniejszy się w granicach 0-10%, natomiast na pozostałym terenie kraju

o 10-20%. Natomiast w roku 2030 na północy kraju nastąpi zmniejszenie stężenia PM_{2,5} o 10-20%, na pozostałym terenie Polski o 20-42% względem 2016 roku.

Rysunek 6. Względna zmiana stężenia średniorocznego PM_{2,5} w roku 2025 (lewy panel) i 2030 (prawy panel) w stosunku do roku 2016.

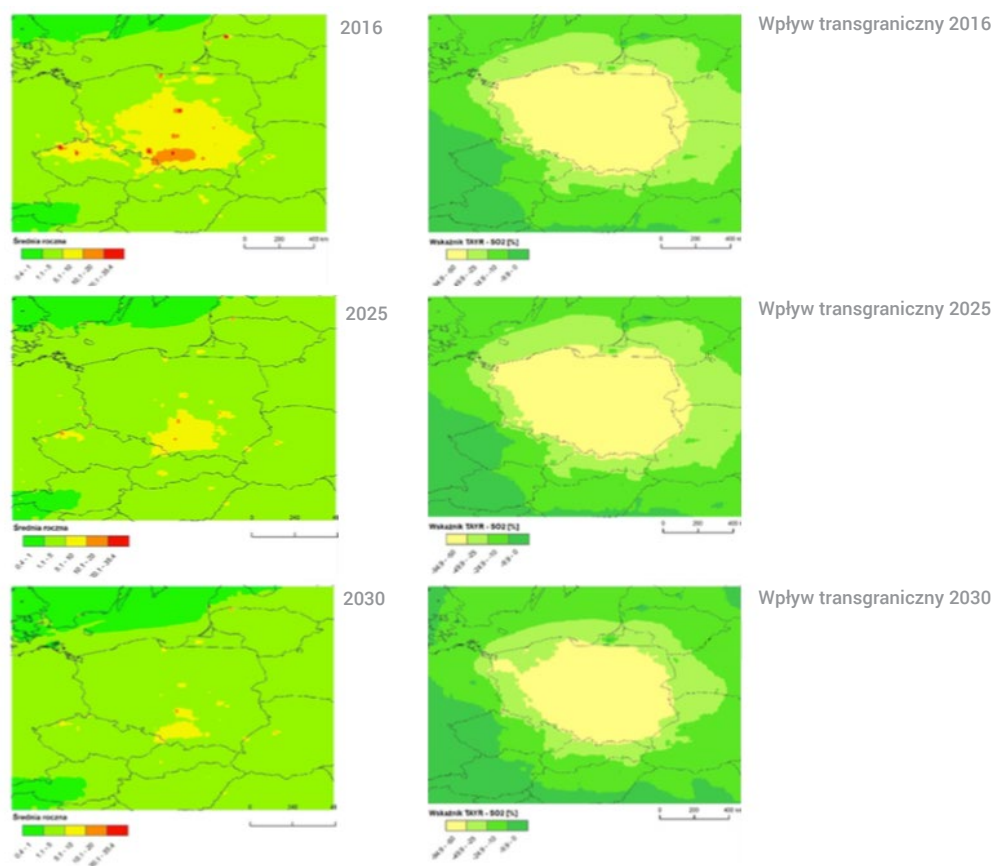


Stężenia średnioroczne SO₂

W 2016 roku najwyższe średnie roczne wartości stężeń dwutlenku siarki wystąpiły na terenie województwa śląskiego i małopolskiego oraz w centrum kraju i Zatoce Gdańskiej - nawet do 35,4 µg/m³. Niższe wartości - do 5 µg/m³ wystąpiły na północnym wschodzie i północnym zachodzie kraju. W przypadku SO₂, odmiennie niż dla pyłów zaznacza się przeszacowanie stężeń średniorocznych. Prognoza dla roku 2030 wykazuje zmniejszenie stężeń dwutlenku siarki. W 2030 roku praktycznie na terenie całego kraju stężenia SO₂ nie przekroczą 5 µg/m³, wyjątkiem jest województwo śląskie gdzie stężenia osiągną wartości do 10 µg/m³. Różnice procentowe względem stanu bazowego opisane zostały poniżej.

Wpływ zanieczyszczeń transgranicznych w 2016 roku był bardzo niski. Praktycznie na całym terenie Polski wskaźnik wystąpił w przedziale od -100 do -50%. Wyjątkiem jest teren przy zachodniej granicy, gdzie wpływ transgraniczny zanieczyszczeń SO₂ wystąpił od -49,9 do -25%. Prognoza do 2030 roku wykazuje bardzo niewielkie pogorszenie tego wskaźnika. Wpływ zanieczyszczeń napływających zwiększy się na krańcach zachodnich kraju, na pobrzeżach oraz w Suwałkach - wartość wskaźnika udziału emisji z Polski w średniorocznym poziomie waha się od -49,9 do -25%.

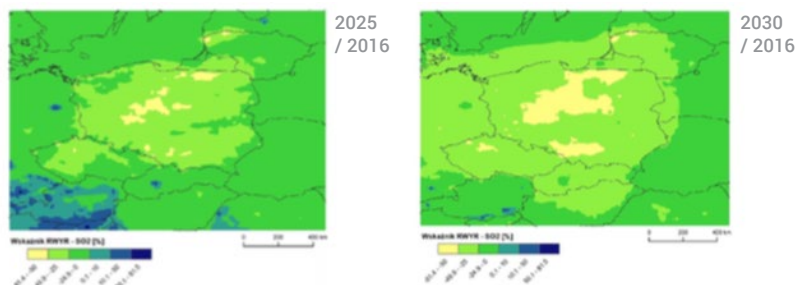
Rysunek 7. Rozkład przestrzenny średniej rocznej wartości stężenia dwutlenku siarki (lewa strona) oraz rozkład przestrzenny wskaźnika wpływu udziału emisji z Polski dla dwutlenku siarki (prawa strona) w latach 2016, 2025 i 2030.



Prognozowane zmiany stężenia średniorocznego SO₂ na skutek zmniejszenia emisji tego zanieczyszczenia (Rysunek 6) wykazują w 2025 poprawę do 82%. Największa różnica prognozowana jest w centrum kraju i na terenie Pojezierza Mazurskiego, natomiast najmniejsza na wschodzie i północnym-zachodzie.

W 2030 największe zmiany, tak samo jak w 2025 roku wystąpią w centrum i na Pojezierzu Mazurskim oraz w województwie śląskim - do 82%, a na pozostałym terenie Polski od 25 do 50%.

Rysunek 8. Względna zmiana stężenia średniorocznego SO₂ w roku 2025 (lewy panel) i 2030 (prawy panel) w stosunku do roku 2016.

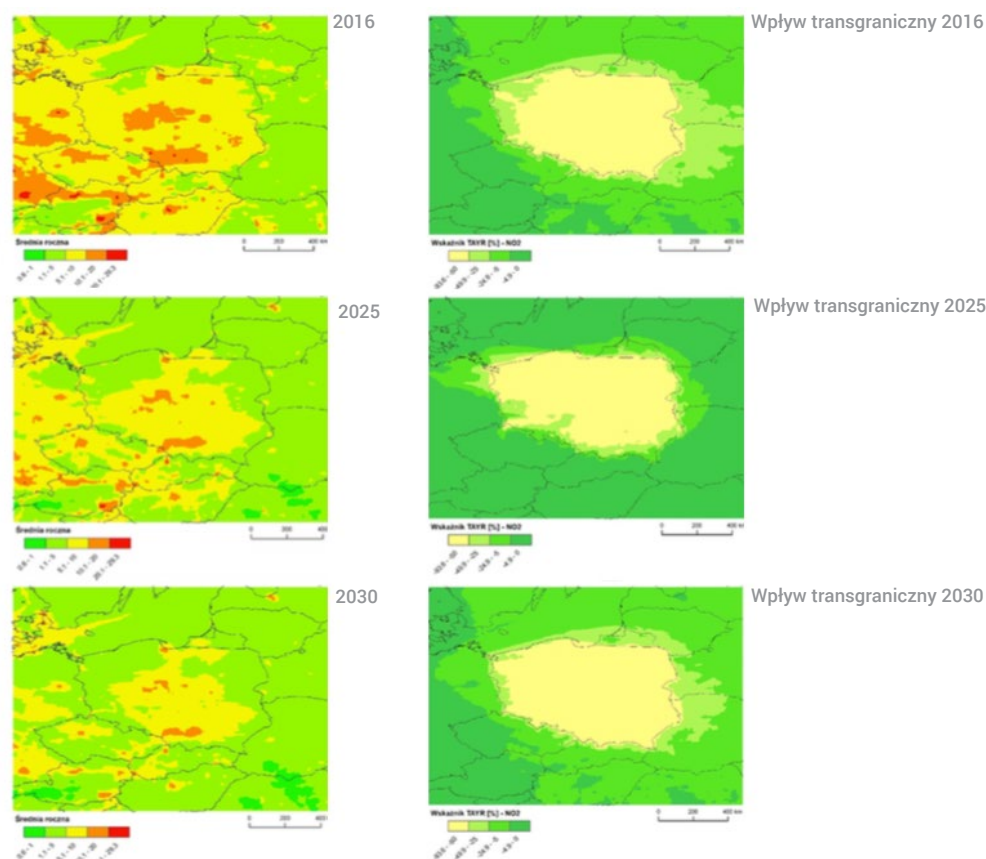


Stężenia średnioroczne NO₂

W 2016 roku najwyższe stężenia dwutlenku azotu wystąpiły w centralnej i południowej części kraju - szczególnie województwo śląskie, małopolskie i wielkopolskie. Na tych terenach stężenia wystąpiły w przedziale od 10 do 20 µg/m³, jednak są też miejsca gdzie stężenia osiągnęły wartość do 29 µg/m³. Najniższe stężenia wystąpiły na terenach nadmorskich i w północno-wschodniej części kraju do 5 µg/m³. W pozostałej części Polski stężenia NO₂ osiągnęły wartości od 5 do 10 µg/m³. Raportowane w ocenie rocznej dla Polski stężenia tlenków azotu są wyższe. Różnice te wiązać należy z niepewnością inwentaryzacji EMEP, oraz niezdolnością modelu EMEP do prawidłowego odtworzenia poziomów stężeń tego związku względem pomiarów ze stacji w Polsce. Na skutek redukcji, w kolejnych horyzontach czasowych widać spadek stężenia NO₂. W 2025 roku większość północnej części kraju: województwo zachodnio-pomorskie i pomorskie oraz na terenach wschodniej i południowej części kraju prognozowane wartości nie przekroczą 5 µg/m³. Natomiast w częściach kraju w najwyższymi stężeniami prognozowane wartości osiągną wartości maksymalne do 20 µg/m³. W 2030 roku we wschodniej i zachodniej części kraju prognozowane wartości stężeń NO₂ nie przekroczą 5 µg/m³. Na terenie całego kraju prognozowana jest znaczna redukcja dwutlenku azotu. Różnice procentowe względem stanu bazowego opisane zostały poniżej.

Analizując wskaźnik udziału emisji z Polski w średniorocznym poziomie emisji dla NO₂ dla horyzontu czasowego 2016-2030 widać zmniejszenie wpływu zanieczyszczeń transgranicznych. Niewielki wpływ zanieczyszczeń transgranicznych występuje w 2016 roku na terenie zachodniej części Polski i terenach nadmorskich, natomiast w 2020 roku prognozowany jest wpływ tych zanieczyszczeń w południowej części Polski. W roku 2030 jedynie przy zachodniej granicy Polski prognozowany jest niewielki wpływ zanieczyszczeń transgranicznych, a w pozostałej części kraju wartości wskaźnika udziału emisji krajowych prognozowana jest w przedziale -100 do -50%.

Rysunek 9. Rozkład przestrzenny średniego rocznego stężenia dwutlenku azotu (lewa strona) oraz rozkład przestrzenny wskaźnika TAYR dla NO₂ (prawa strona) w latach 2016, 2025 i 2030.



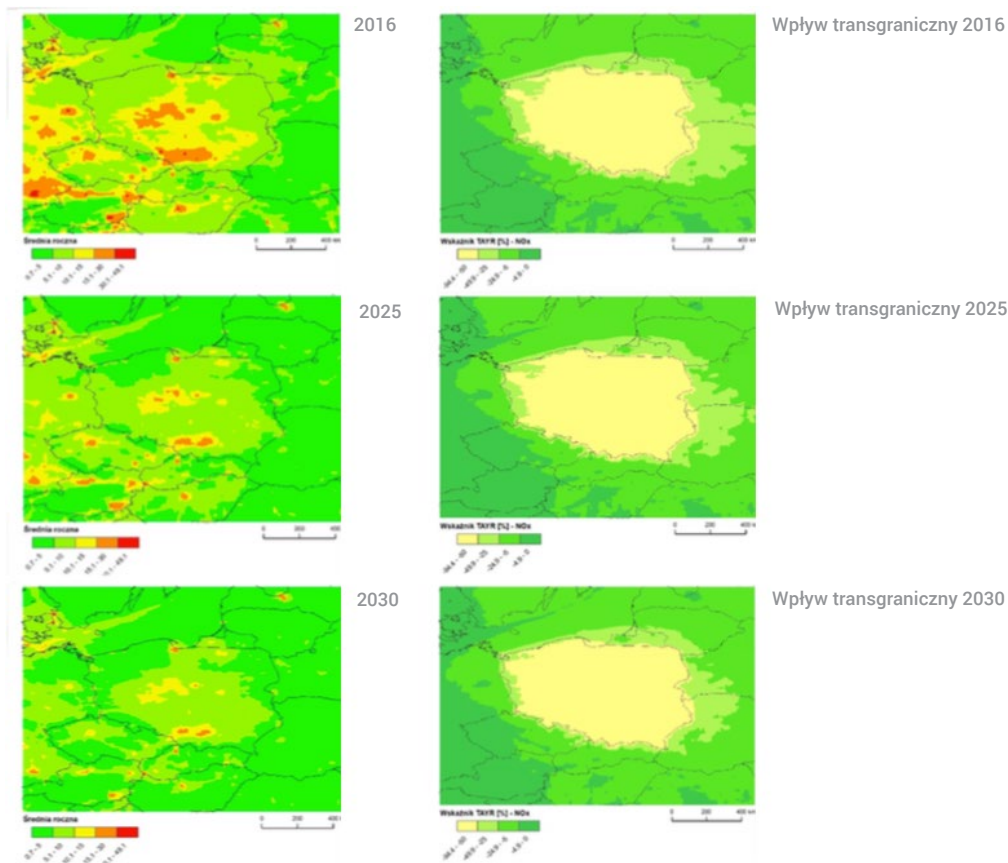
Stężenia średnioroczne NO_x

W 2016 roku najwyższe stężenia tlenków azotu wystąpiły w centralnej i południowej części kraju - szczególnie województwo śląskie, małopolskie i wielkopolskie. Na tych terenach stężenia wystąpiły głównie w przedziale od 15 do 30 µg/m³, jednak są też miejsca gdzie stężenia osiągnęły wartość do 49 µg/m³. Najniższe stężenia wystąpiły w zachodniej i wschodniej części Polski od 5 do 10 µg/m³. W 2025 roku najwyższe stężenia prognozowane są na terenie województwa śląskiego i w centralnej części kraju - do 30 µg/m³. Na wschodzie Polski i na terenach nadmorskich prognozowane stężenia NO_x nie przekroczą 5 µg/m³. W 2030 roku prognozowane stężenia NO_x są znacznie niższe na terenie całego kraju.

Prognozowane są niewielkie powierzchnie na terenie województwa śląskiego gdzie stężenie tlenków azotu osiągnie maksymalnie wartość 30 µg/m³. Różnice procentowe względem stanu bazowego opisane zostały poniżej.

Analizując udział emisji z Polski w średniorocznym poziomie emisji dla NO_x dla horyzontu czasowego 2016-2030 widać zmniejszenie wpływu zanieczyszczeń transgranicznych na terenie przy zachodniej granicy Polski. Na pozostałym terenie kraju wpływ tych zanieczyszczeń jest niewielki - od -100 do -50%.

Rysunek 10. Rozkład przestrzenny średniego rocznego stężenia tlenków azotu (lewa strona) oraz rozkład przestrzenny udziału emisji z Polski w średniorocznych poziomach emisji dla NO_x (prawa strona) w latach 2016, 2025 i 2030.



Stężenia średnioroczne O₃

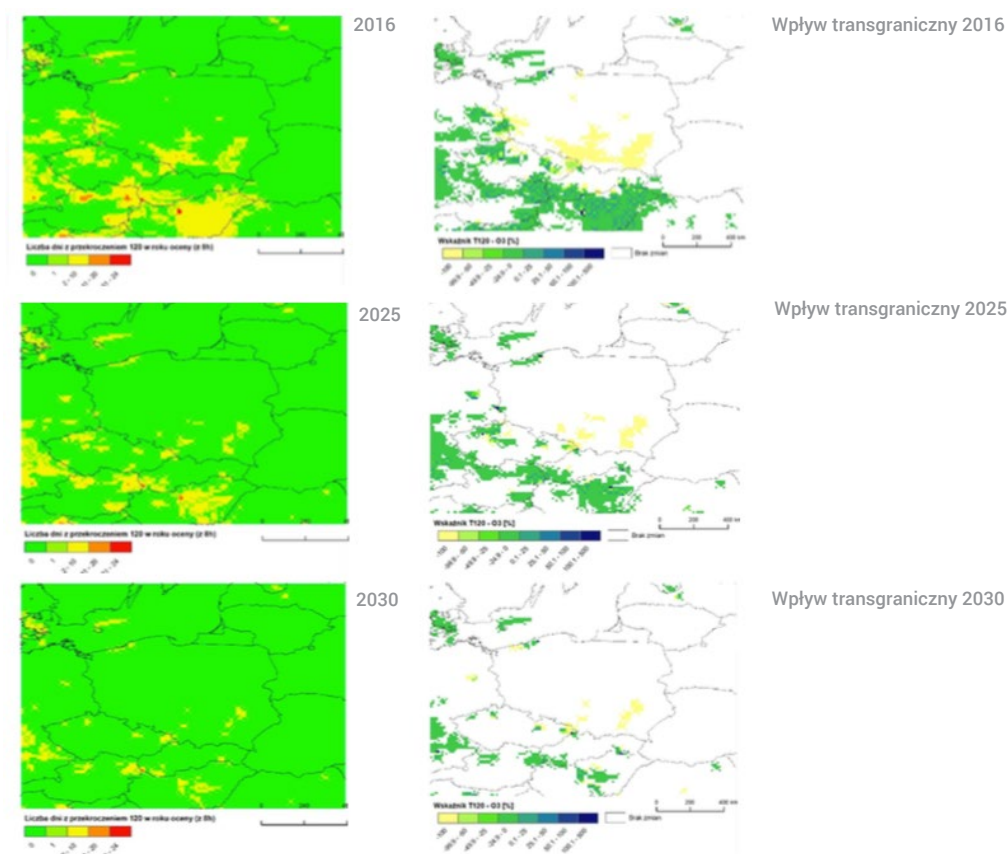
W 2016 roku najwięcej dni ze średnią 8-godzinną ozonu większą od 120 µg/m³ wystąpiło w województwie śląskim i małopolskim, na pobrzużu morza Bałtyckiego oraz przy zachodniej granicy województwa lubuskiego - do 10 dni. Na pozostałej części Polski analizowanych dni nie wystąpiło więcej niż 1. Są to wartości niższe niż wynikające z rocznej oceny jakości powietrza publikowanej przez GIOŚ, prawdopodobnie ze względu na niepewność rozkładu przestrzennego i wielkości emisji tlenków azotu w inwentaryzacji EMEP0.1 nad obszarem Polski. Prognoza do 2030 roku pokazuje zmniejszenie liczby tych dni. W 2030 roku praktycznie na terenie całego kraju wystąpi maksymalnie 1 dzień z przekroczeniami średniej 8-godzinnej powyżej 120 µg/m³. Wyjątkiem są niewielkie

obszary w województwie świętokrzyskim i śląskim. Różnice procentowe względem stanu bazowego opisane zostały poniżej.

W 2016 wskaźnik narażenia na ponadnormatywne stężenia ozonu ze względu na ochronę roślin najwyższe wartości osiągnął na pobrzeżach morza Bałtyckiego - od -24,9 do 0%.

Na terenie województwa śląskiego i małopolskiego wystąpił bardzo mały wpływ zanieczyszczeń transgranicznych. Natomiast w pozostałej części kraju zanieczyszczenia napływające nie wykazały żadnego wpływu na analizowany indeks. Prognoza do 2030 roku wykazuje, że napływające zanieczyszczenia nie wpłyną na pojawienie się przekroczeń 120 µg/m³ średniej 8-godzinnej stężeń ozonu.

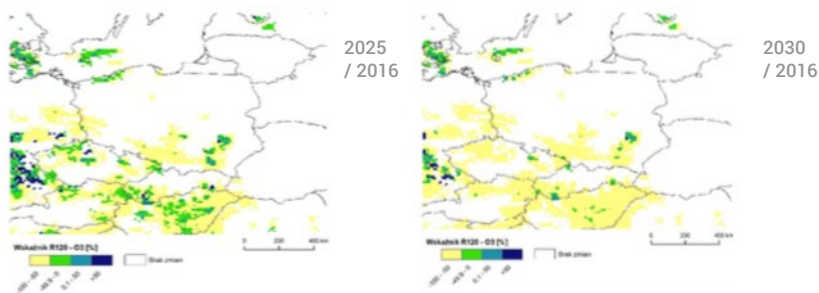
Rysunek 12. Rozkład przestrzenny liczby dni w których średnia ośmiogodzinna ozonu jest wyższa niż 120 µg/m³ (lewa strona) oraz rozkład przestrzenny wpływu zanieczyszczeń transgranicznych dla liczby dni w których średnia ośmiogodzinna ozonu jest większa niż 120 µg/m³ (prawa strona), w latach 2016, 2025 i 2030.



Według rysunku 13. liczba dni z przekroczeniem ozonu powyżej 120 µg/m³ dla najwyższej ośmiogodzinnej średniej kroczącej stężeń ozonu w ciągu doby została znacząco zredukowana. Wyjątkiem są tereny województwa opolskiego,

śląskiego, małopolskiego i świętokrzyskiego oraz pobraże morza Bałtyckiego. W 2025 i 2030 wystąpi podobna poprawa względem 2016 roku. Na północy kraju nastąpi poprawa w granicach 0-50%, natomiast na południu od 50 do 100%.

Rysunek 13. Liczba dni z przekroczeniem poziomu 120 µg/m³ dla najwyższej ośmiogodzinnej średniej kroczącej stężeń ozonu w ciągu doby

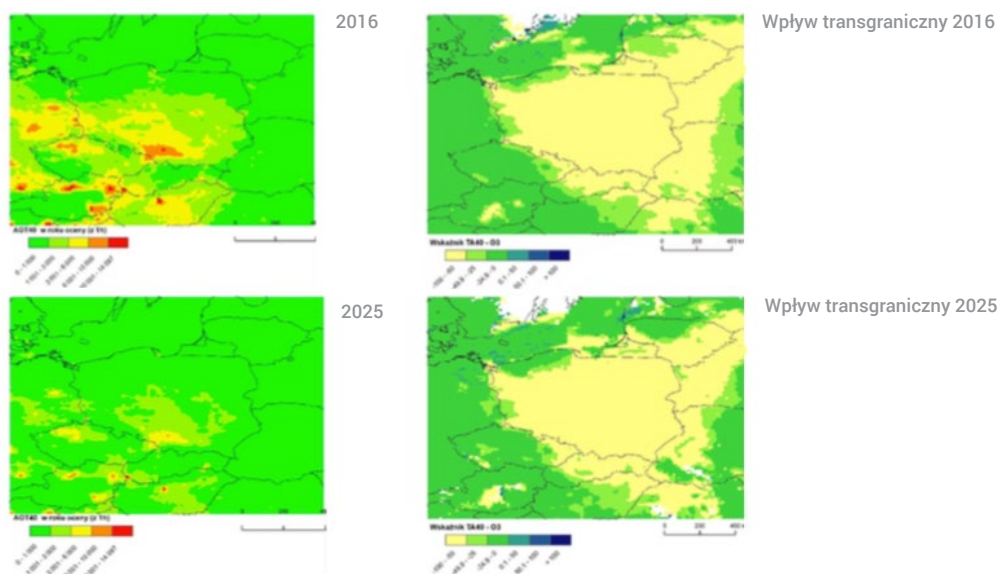


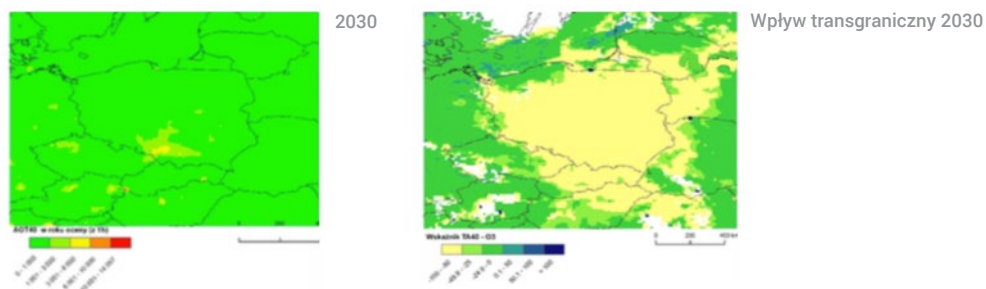
W 2016 roku wskaźnik AOT40 najwyższe wartości osiągnął w województwie śląskim – wartości wystąpiły w przedziale 10 001 do 14 097 µg/m³h. W środkowej części kraju wskaźnik wystąpił w granicach 3 001 do 6 000 µg/m³h. Najniższe wartości wystąpiły na północy kraju oraz na pojezierzach - do 1 000 µg/m³h. W kolejnych latach wyniki modelowania pokazują, że wartość badanego wskaźnika będzie malała. Nadal najwyższe wartości będą występować w województwie śląskim, jednak w 2025 roku najwyższe wartości będą dochodziły do 10 000 µg/m³h, a w 2030 r. już tylko do 6 000 µg/m³h

na małym obszarze województwa. Na pozostałej części kraju AOT40 nie przekroczy 1000 µg/m³h.

Wskaźnik AOT40 dla ozonu na przeważającej części kraju w każdym analizowanym roku wykazuje wartości w przedziale od -100 do -50. Oznacza to bardzo mały udział zanieczyszczeń napływających z zagranicy w stężeniach ozonu występujących w Polsce. Niewielki wpływ zanieczyszczeń transgranicznych występuje na terenach przy zachodniej granicy Polski oraz na terenach nadmorskich.

Rysunek 14. Rozkład przestrzenny wskaźnika AOT40 (wskaźnik ochrony roślin) w latach 2016, 2025 i 2030 (lewa strona) oraz rozkład przestrzenny wskaźnika TA40 (wpływ zanieczyszczeń transgranicznych) dla zanieczyszczeń ozonu w latach 2016, 2025 i 2030 (prawa strona).

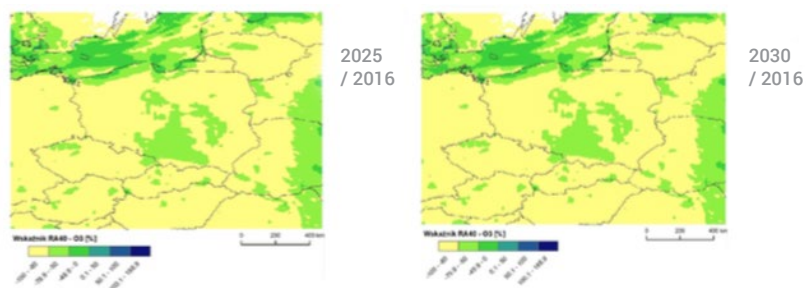




Analizując względne zmiany indeksu AOT40 (Rysunek 15) dla roku 2025 względem 2016 w centrum, na południu i pobrzeżach morza Bałtyckiego nastąpi redukcja poziomu nara-

żenia od 50 do 80%, natomiast na pozostałej części kraju od 80 do 100%. W roku 2030 poziom narażenia ze względu na ochronę roślin jest zbliżony do wartości dla roku 2025.

Rysunek 15. Względna zmiana AOT40 w roku 2025 (lewy panel) i 2030 (prawy panel) w stosunku do roku 2016.



Wpływ redukcji emisji

na narażenie zdrowotne i na ekosystemy

Jednym z celów implementacji Dyrektywy NEC jest poprawa jakości powietrza w Europie, ze względu na negatywne skutki zdrowotne i szkodliwe działanie jakie zanieczyszczenia w wysokich stężeniach wywierają na ekosystemy.

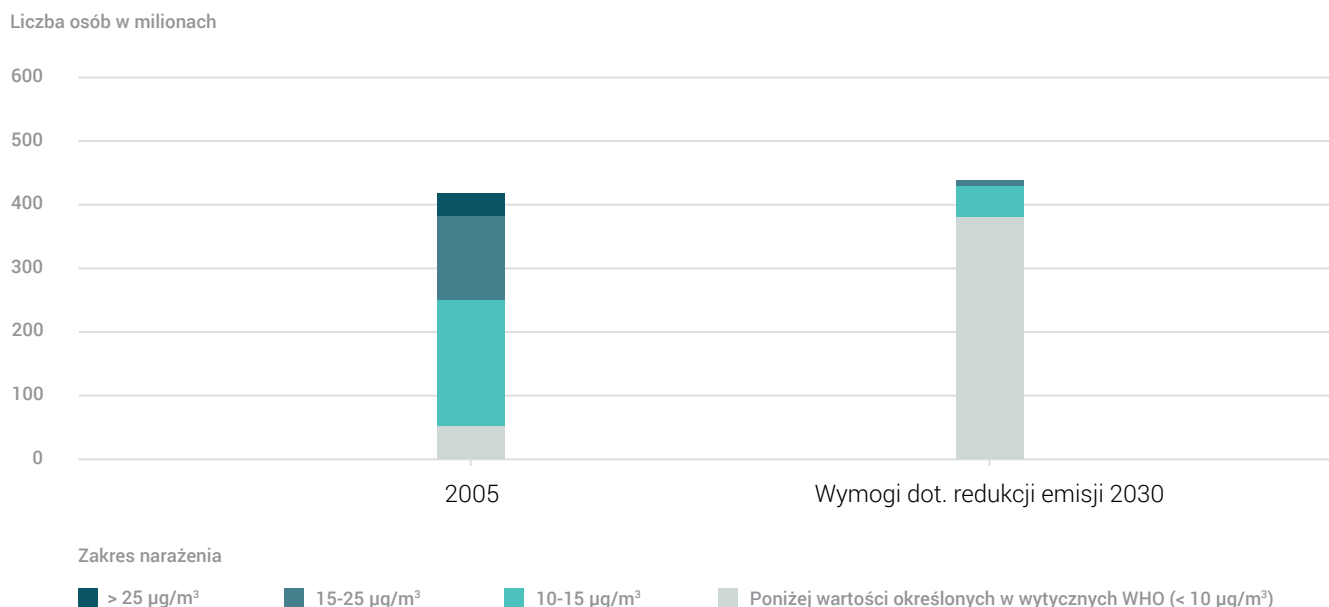
Według szacunków Europejskiej Agencji Środowiska w 2015 r. 82% populacji UE narażone było na stężenia PM_{2,5} przekraczające wartość progową wytycznych WHO na poziomie 10 µg/m³. Zgodnie z dokumentem Komisji Europej-

skiej pt. „Pierwsza Prognoza W Sprawie Czystego Powietrza” w wyniku wdrożenia polityki redukcyjnej nastąpi znaczne ograniczenie negatywnych skutków zdrowotnych i środowiskowych (Tabela 2). Z 88% populacji narażonej w 2005 r. na stężenia przekraczające wartość określoną w wytycznych WHO ma nastąpić spadek do poziomu 13% w 2030r., a przekroczenia mają ograniczać się tylko do kilku obszarów w Europie, przy czym w większości mają mieścić się w granicach 5 µg/m³ wartości dopuszczalnej (Rysunek 16).

Tabela 2. Korzyści polityki w zakresie powietrza przewidziane na 2030r, które mają zostać osiągnięte dzięki dyrektywie NEC, oraz całemu prawodawstwu źródłowemu przyjętemu od 2014r. w porównaniu z wnioskami w ramach programu „Czyste powietrze dla Europy” (2005 r. jako rok odniesienia). Źródło: COM/2018/446 final

	Spodziewana redukcja negatywnych skutków zdrowotnych w porównaniu z 2005 r. (przedwczesne zgony spowodowane obecnością cząstek stałych i ozonu)	Spodziewane zmniejszenie obszarów ekosystemu przekraczających ograniczenie eutrofizacji w porównaniu z 2005r.
Program „Czyste powietrze dla Europy” (z grudnia 2013 r.) stosujący poziom bazowy, który nie obejmuje prawodawstwa źródłowego przyjętego od 2014r.	52%	35%
Wpływ dyrektywy NEC według szacunków w chwili jej przyjęcia (grudzień 2016 r.) z wykorzystaniem tego samego poziomu bazowego co powyżej	49,6%	-
Wpływ dyrektywy NEC z zastosowaniem poziomu bazowego, który uwzględnia wpływ prawodawstwa źródłowego przyjętego od 2014r.	54%	27%

Rysunek 16. Rozkład narażenia populacji w UE na poziomy PM_{2,5} w 2005 r. i w 2030 r. przy założeniu pełnego wdrożenia wymogów dotyczących redukcji emisji zawartych w Dyrektywie NEC oraz całego prawodawstwa źródłowego.
Źródło: COM/2018/446 final.



Według szacunków Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) w latach 2012-2015 w Polsce liczba przedwczesnych zgonów związanych ze złą jakością powietrza utrzymywała się na zbliżonym poziomie (Tabela 3).

Tabela 3 Liczba przedwczesnych zgonów w Polsce związanych ze złą jakością powietrza.
Źródło: EEA 2015, 2016, 2017, 2018.

Lata	Liczba ludności (*1 000)	PM _{2,5}			NO ₂			O ₃	
		Stężenie średnie roczne	Liczba przedwczesnych zgonów		Stężenie średnie roczne	Liczba przedwczesnych zgonów		SOMO 35	Liczba przedwczesnych zgonów
			C ₀ =0	C ₀ =2.5		C ₀ =20	C ₀ =10		
2015	38 006	21,6	44 500	-	15,6	1 700	-	4 530	1 300
2014	38 018	23	46 020	41 300	15,1	1 700	10 020	3 425	970
2013	38 062	22,8	48 270	-	16,1	1 610	-	3 792	1 150
2012	38 103	23,9	44 600	-	16,72	1 600	-	4 045	1 100

Ocena efektów narażenia na ponadnormatywne stężenia zanieczyszczeń w kontekście zdrowia publicznego jest niezwykle istotnym zagadnieniem. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO/Europe) udostępnia software AirQ+ który pozwala na wykonanie obliczeń dotyczących oszacowania efektów zdrowotnych związanych z ekspozycją na wysokie stężenia zanieczyszczeń z uwzględnieniem estymowanej redukcji długości życia.

Z wykorzystaniem AirQ+, na podstawie wyników symulacji dla scenariuszy redukcji emisji zgodnych z Dyrektywą NEC, dla horyzontu 2025 i 2030, obliczono zmianę liczby przedwczesnych zgonów ze względu na poziom średniorocznych stężeń PM₁₀, PM_{2,5} i NO₂. Zakładając że wielkość narażonej populacji byłaby taka sama jak w roku 2016, a redukcji uległyby średnie stężenia na obszarze kraju, liczba przedwczesnych zgonów związanych ze złą jakością powietrza uległaby znaczącemu

zmniejszeniu (Tabela 4). Największa redukcja związana jest z ekspozycją na stężenia NO₂ – do 29% dla scenariusza redukcji dla 2025 r. i 8,6% dla scenariusza 2030 r. Narażenie na wysoki poziom pyłu zawieszonego również maleje,

choć poziom redukcji jest nieco mniejszy – i w stosunku do 2016 r. wynosi 65,9% dla PM₁₀ i 74,2% dla PM_{2,5} w 2025 r. oraz odpowiednio 44,7% i 43,8% w 2030 r.

Tabela 4. Procentowa redukcja przedwczesnych zgonów związanych z jakością powietrza, w stosunku do roku 2016 w oparciu o wyniki modelowania, obliczona na podstawie AirQ+

	2025	2030
PM ₁₀	65,9%	44,7%
PM _{2,5}	74,2%	43,8%
NO ₂	29,2%	8,6%

Na podstawie wyników symulacji obliczono dodatkowo wielkość obszaru ze względu na narażenie ekosystemów oraz wielkość populacji narażonej na ponadnormatywne stężenia zanieczyszczeń.

Ze względu na ochronę roślin analizie poddano wielkość obszarów pozamiejskich poddanych działaniu ponadnormatywnych stężeń ozonu (wyrażonych jako AOT40) i tlen-

ków azotu (średnia roczna) (Tabela 5). W przypadku ozonu redukcja narażenia jest bardzo znacząca i dla scenariusza redukcji do roku 2025 wynosi zaledwie 8,7% obszaru objętego ryzykiem w 2016, zaś w przypadku scenariusza 2030 jest to zaledwie 1,6%. Dla tlenków azotu organicznie poziomów stężeń skutkuje zmniejszeniem obszaru narażonego do 18% w roku 2025 i 5,5% w roku 2030, w stosunku do roku 2016.

Tabela 5. Procentowa redukcja powierzchni obszarów pozamiejskich poddanych ponadnormatywnym stężeniom ze względu na ochronę roślin, w stosunku do roku 2016 w oparciu o wyniki modelowania (strefy z wyłączeniem stref aglomeracji i miast z ludnością > 100 tys.)

	2025	2030
AOT40 (O ₃)	8,7%	1,6%
NO _x	18,0%	5,5%

Wprowadzenie redukcji emisji wg. wymagań dyrektywy NEC spowoduje także znaczące ograniczenie wielkości populacji narażonej na ponadnormatywne stężenia zanieczyszczeń (Tabela 6). Analizie poddano zmianę wielkości populacji narażoną na stężenie średnioroczne NO₂ i stężenie średnioroczne PM_{2,5}. W przypadku NO₂ już w horyzoncie 2025 stęże-

nia ponadnormatywne nie występują, a w związku z tym nie wystąpi długookresowa ekspozycja. W przypadku PM_{2,5} dla emisji prognozowanych na rok 2025 wielkość populacji narażonej zmniejszy się o połowę (średnio dla całej Polski do 47,9%, zaś obszarach miejskich narażenie będzie nieco wyższe, 52,3% populacji w porównaniu do 2016 r.)

Tabela 6 Procentowa redukcja populacji poddanych ponadnormatywnym stężeniom ze względu na ochronę zdrowia, w stosunku do roku 2016 w oparciu o wyniki modelowania.

	Na terenie aglomeracji oraz miast z ludnością >100 tys.		Cały obszar polski	
	2025	2030	2025	2030
NO₂	-	-	-	-
PM_{2,5}	52,3%	8,9%	47,9%	5,1%

Redukcja poziomu narażenia zdrowotnego na stężenia pyłu PM_{2,5}, oszacowana dwoma metodami, wykazuje dobrą zgodność i wskazuje na dwukrotne organicznie liczebności narażonej populacji oraz dwukrotne zmniejszenie liczby przedwczesnych zgonów związanych z długoterminową ekspozycją na wysokie stężenia tego związku w przypadku zastosowania redukcji emisji zgodnie z wymogami Dyrektywy NEC dla horyzontu 2030.



Podsumowanie

Na podstawie wyników obliczeń można stwierdzić że zarówno w odniesieniu do zanieczyszczeń pierwotnych, jak też do ozonu, przy założeniu proporcjonalnej redukcji poziomu emisji dla głównych sektorów aktywności, w wyniku implementacji Dyrektywy NEC w horyzoncie 2025 i 2030, jakość powietrza w Polsce ulegnie znaczącej poprawie, zarówno dla zanieczyszczeń pierwotnych, jak i wtórnych.

Ozon jest jedynym zanieczyszczeniem wtórnym poddanym analizie

Narażenie na ponadnormatywne stężenia ozonu ze względu na ochronę roślin, wyrażone indeksem AOT40, maleje znacząco przy założeniu redukcji emisji do poziomu określonego przez Dyrektywę w horyzoncie 2025, dalszy spadek narażenia ma miejsce dla horyzontu 2030. Znaczący spadek tego indeksu zaznacza się również w krajach sąsiadujących. Ze względu na ochronę zdrowia analizie poddano przekroczenia poziomu 120 µg/m³ dla najwyższej 8-godzinnej średniej kroczącej stężeń ozonu w ciągu doby (TV – ang. Target Value), liczba dni z przekroczeniem poziomu docelowego została znacząco zredukowana.

Tlenki azotu

Najwyższe średnie roczne stężenia dwutlenku azotu wykazane przez model na podstawie emisji z roku 2016 w centralnej i południowej części kraju, w kolejnych horyzontach obliczeniowych uległy znacznemu zmniejszeniu. Obszary objęte stężeniami powyżej 20 µg/m³ ograniczają się do niewielkich obszarów na południu i w centrum Polski

Znaczące obniżenie stężeń jest prognozowane również w krajach sąsiednich. Wyjątkiem są strefy nad akwenem Morza Bałtyckiego, gdzie nie zastosowano redukcji emisji, ze względu na brak wytycznych w treści Dyrektywy.

Dla rozkładu średniorocznego stężenia tlenków azotu NO_x (NO_x = NO₂ + NO) rozkład przestrzenny jest zbliżony. Dla poziomu emisji w latach 2025 i 2030 stężenia NO_x są znacznie niższe na terenie całego kraju niż w przypadku symulacji na podstawie aktualnie raportowanej emisji. Najwyższe stężenia tlenków azotu, przy założeniu redukcji emisji na poziomie wymaganym Dyrektywą NEC, prognozowane są w południowej części kraju.

Dwutlenek siarki

Prognoza stężeń średniorocznych dwutlenku siarki wskazuje na znaczące ograniczenie zarówno wartości najwyższych jak i obszaru objętego podwyższonymi stężeniami tego związku.

Zanieczyszczenie pyłem zawieszonym

W odniesieniu do stężenia średniorocznego pyłu PM_{2,5} wyniki obliczeń na podstawie emisji prognozowanej na rok 2025 wskazują na znaczące zmniejszenie się wielkości stężeń w stosunku do stanu bieżącego. Po zastosowaniu redukcji wymaganych Dyrektywą dla roku 2030 na terenie całego kraju stężenia nie przekraczałyby 10 µg/m³.

W przypadku średniego rocznego stężenia pyłu PM₁₀ obliczone dla emisji z roku 2016 wskazują na najwyższe stężenia w środkowej i południowej części Polski. Prognoza stężeń na lata 2025 i 2030 wskazuje na znaczący spadek stężenia pyłu PM₁₀.

Analiza wpływu transgranicznej emisji spoza kraju wykazuje różnice w zależności od zanieczyszczenia, wielkości redukcji emisji oraz rozkładu źródeł na terenie Polski:

Dla wskaźnika AOT40 udział stężeń prekursorów z obszaru Polski przekracza 50% na przeważającym obszarze kraju, nieco niższy jest wzdłuż zachodniej i północno zachodniej granicy. Emisje krajowe prekursorów są również w głównej mierze odpowiedzialne za powstawanie przekroczeń wartości docelowej ze względu na ochronę zdrowia.

- W odniesieniu do udziału zanieczyszczeń z obszaru Polski na stężenia średnioroczne NO₂ i NO_x przekracza on 50%. Nieco większy wpływ transgraniczny zaznacza się wzdłuż zachodniej i południowo-zachodniej granicy.
- Dla SO₂ wpływ emisji z obszaru Polski odpowiada w ponad 50% w stężeniu średniorocznym. W horyzoncie 2030 w zachodniej części kraju przeważający wpływ ma napływ transgraniczny co świadczy o znaczącej redukcji stężeń tego zanieczyszczenia na terenie Polski.
- W odniesieniu do stężeń średniorocznych pyłów PM_{2,5} i PM₁₀ na przeważającym obszarze kraju model wskazuje na przekraczający 50% wpływ zanieczyszczeń spoza kraju na poziom stężeń pyłu w Polsce. W horyzoncie 2030 na skutek znaczącej redukcji emisji pyłów na terenie Polski udział stężeń spoza granic kraju rośnie.

Wprowadzenie redukcji emisji wg. wymagań dyrektywy NEC spowoduje znaczące ograniczenie liczby przedwczesnych zgonów związanych z jakością powietrza. Przy założeniu że narażona będzie populacja tej samej wielkości, liczba przedwczesnych zgonów ze względu na zanieczyszczenie pyłem PM₁₀ i PM_{2,5} zmaleje o ponad 50%, a ze względu na ponadnormatywne stężenia NO₂ o ponad 90%. Zakładając mniejszy zasięg stężeń ponadnormatywnych, a zatem ograniczenie liczby mieszkańców narażonych na wysokie stężenia zanieczyszczeń, redukcja narażenia zdrowotnego będzie jeszcze bardziej znacząca.

Zmniejszeniu ulegną również obszary ekosystemów poddanych negatywnemu działaniu ponadnormatywnych stężeń

zanieczyszczeń ze względu na kryterium ochrony roślin – w przypadku ozonu do zaledwie ok. 1,6%, zaś dla tlenków azotu do ok. 5,5% powierzchni narażonych przy obecnym poziomie emisji.

Dodatkowe wnioski dotyczą konieczności weryfikacji emisji raportowanych do EMEP z wykorzystaniem modelowania, ponieważ różne źródła wskazują iż dane te nie odtwarzają prawidłowo rozkładu i wielkości stężeń na obszarze Polski. Synergia modelowania w skali kraju na potrzeby realizacji ustawy POŚ oraz działań na rzecz konwencji LRTAP i implementacji Dyrektywy NEC będzie znaczącą wartością dodaną w odniesieniu do analiz jakości powietrza w Polsce oraz zanieczyszczenia transgranicznego.

Korzyści środowiskowe wynikające z redukcji
zanieczyszczeń powietrza towarzyszących emisji CO₂.
Analiza z wykorzystaniem modelu jakości powietrza
dla obszaru Polski.



Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy

ADRES

ul. Krucza 5/11D
00-548 Warszawa

TELEFON

tel.: 22 37 50 511
tel.: 22 37 50 556

E-MAIL

sekretariat@ios.edu.pl
www.ios.edu.pl



Sfinansowano ze środków
Narodowego Funduszu
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej