

## Załącznik

# MATERIAŁY I METODY

Analiza wpływu na zdrowie oraz kosztów przedstawiona w niniejszym raporcie została przygotowana przez Centrum Badań nad Energią i Czystym Powietrzem (CREA). W raporcie zastosowano najpowszechniejsze podejście do badania wpływu emisji zanieczyszczeń powietrza na zdrowie, metodę „ścieżki wpływu”, która śledzi zanieczyszczenie powietrza pochodzące z emisji z badanych źródeł, poprzez dyspersję i chemiczną przemianę emisji, aż po wynikające z nich poziomy zanieczyszczenia w różnych lokalizacjach, narażenie populacji, wynikający z tego rosnący wpływ na zdrowie, a ostatecznie całkowity wpływ na zdrowie na poziomie populacji.

# EMISJE ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA

Dane dotyczące emisji zanieczyszczeń powietrza dla polskich elektrowni i elektrociepłowni za rok 2019 zostały zaczerpnięte z przemysłowej bazy danych EEA Industrial Reporting Database, do której polski rząd raportuje oficjalne roczne dane dotyczące emisji z tych obiektów.

Na podstawie tych danych określono główne paliwo dla każdego obiektu spalania, przy czym jako paliwo główne wyznaczono to używane najczęściej. Elektrownie były wskazywane przede wszystkim na podstawie „głównej działalności” zgłoszonej dla każdego obiektu. W przypadku, gdy brakowało informacji o głównej działalności, elektrownie wskazywano na podstawie nazwy obiektu, biorąc pod uwagę takie słowa jak „elektrociepłownia” i „ZEC” (dla Zakładu Energetyki Ciepłej) oraz „energetyka”. Następnie tak oznaczone obiekty zostały sprawdzone ręcznie.

Ponieważ wszystkie obiekty spalania są zobowiązane do zapewnienia przestrzegania wartości emisji zawartych w dokumencie referencyjnym dotyczącym najlepszych dostępnych technologii dla dużych obiektów spalania (LCP BREF) do roku 2023, przyszłe scenariusze emisji muszą uwzględniać powiązane redukcje emisji.

Na podstawie Graham et al (2012) oszacowano bieżące średnie stężenia zanieczyszczeń w spalinach (FGC) na podstawie danych o zużyciu paliwa z IRD oraz właściwych dla danego paliwa współczynników średnich dla określonej objętości spalin na ciepło wejściowe (SFGV, w Nm<sup>3</sup>/GJ) dla węgla kamiennego, brunatnego, paliw gazowych, biomasy i oleju opałowego.

$$FGC_{P,S} = \frac{E_{P,S}}{\sum_F (SFGV_F \times H_{P,F})}$$

gdzie indeksy dolne P, S i F odnoszą się do obiektu, substancji i rodzaju paliwa, E to masowy wskaźnik emisji (t/rok), a H to ciepło dostarczone przez paliwo (GJ/rok)

Następnie prognozowano emisje w pełnej zgodności z LCP BREF (BAT\_emisje) przy użyciu wzoru:

$$BAT\_emissions = E_{P,S} \times \frac{BATAEL_{P,S}}{FGC_{P,S}}$$

gdzie BATAEL odnosi się do górnego poziomu emisji dostosowanego do BAT, określonego w LCP BREF dla danego paliwa, substancji i wydajności obiektu.

Dla nowych, planowanych elektrowni węglowych i gazowych emisje prognozowano na podstawie limitów emisji LCP BREF, mocy wytwórczych i sprawności cieplnej z GCPT i GGPT, przy założeniu aktualnego średniego wykorzystania według typu obiektu (gazowy lub węglowy; elektrociepłownia lub elektrownia).

$$E_{P,S} = \frac{CAP_p}{EFF_p} \times SFGV_F \times CF_F \times BATAEL_p,$$

gdzie CAP to moc elektryczna netto obiektu, EFF to wydajność cieplna netto (stosunek wydajności paliwa do mocy), a CF to współczynnik wydajności

Polityka Energetyczna Polski (PEP 2040) określa wytwarzanie energii i mocy w podziale na rodzaj paliwa, typ instalacji (kogeneracja lub konwencjonalna) i na lata do roku 2040. Aby prognozować emisje w ramach PEP 2040, uszeregowano elektrownie w każdej kategorii w kolejności ich wyłączenia, na podstawie ogłoszonych lat wyłączenia z eksploatacji i lat rozruchu, zaczynając w pierwszej kolejności od tych elektrowni, których ogłoszona data wycofania z eksploatacji minęła, a następnie umieszczając najstarsze z pozostałych. Następnie dostosowano godziny pracy pozostałych elektrowni tak, aby łączna produkcja odpowiadała produkcji prognozowanej w PEP. Emisje zostały skorygowane przy założeniu, że są one wprost proporcjonalne do produkcji energii.

Przewidywano emisje w czasie dla trzech różnych scenariuszy wycofywania:

- **Odejście od węgla do 2030:** cała produkcja energii z paliw kopalnych zostanie zakończona do końca 2030 r. Wytwarzanie energii z biomasy i biogazu odbywać się będzie zgodnie ze scenariuszem zawartym w PEP do 2040 r., a następnie zostanie zatrzymane na poziomie z roku 2040.
- **Odejście od węgla do 2035:** tak samo jak w powyższym scenariuszu, ale wszystkie paliwa kopalne zostaną wycofane do końca 2035 r.
- **Odejście od węgla do 2049:** wszystkie paliwa będą wykorzystywane zgodnie z PEP do roku 2040, a następnie do końca 2049 r. stopniowo wycofywany będzie węgiel, wytwarzanie energii z pozostałych paliw kopalnych zostanie zatrzymane na poziomie z roku 2040.

W przypadku odejścia od węgla do 2030 r. założono, że w 2025 r. zostanie osiągnięta 10% redukcja produkcji energii z paliw kopalnych w stosunku do poziomów określonych w PEP, zwiększając się liniowo do 80% w 2030 r. i 100% w 2031 r. W scenariuszu odejścia od węgla do roku 2035 przyjęto, że począwszy od 2025 r. wycofywanie będzie przebiegać liniowo do osiągnięcia 80% w roku 2035 i 100% w roku 2036. W scenariuszu odejścia od węgla do roku 2049 przyjęto, że począwszy od 2040 r. wycofywanie będzie przebiegać liniowo do osiągnięcia 80% w roku 2049 i 100% w roku 2050.

# MODELOWANIE ATMOSFERYCZNE

Wpływ różnych scenariuszy na jakość powietrza i zdrowie prognozowano przy użyciu modelu dyspersji zanieczyszczeń w atmosferze dla regionu europejskiego, opracowanego w ramach Europejskiego Programu Monitorowania - Meteorologiczne Centrum Syntetyzujące Zachód (EMEP MSC-W) zgodnie z Konwencją w sprawie Transgranicznego Zanieczyszczania Powietrza na Dalekie Odległości (CLRTAP). Kod modelu (wersja rv4.36, oparta na wersji używanej w raportowaniu stanu EMEP za rok 2020) oraz wymagane zbiory danych wejściowych zostały dostarczone przez EMEP MSC-W i Norweski Instytut Meteorologiczny. Te dane wejściowe obejmują bazową inwentaryzację emisji za 2015 r., zawierającą emisje ze wszystkich sektorów źródłowych i lokalizacji. Wykorzystano wersję „wysokiej rozdzielczości” modelu, z rozdzielczością poziomą 0,1x0,1 stopnia (około 10 km).

W ramach EMEP opracowano również bazową inwentaryzację emisji dla modelu, obejmującą emisje ze wszystkich sektorów, we wszystkich krajach, w rozdzielczości 0,1x0,1 stopnia. Zaktualizowano zasoby do najnowszych danych dotyczących emisji dla elektrowni, zastępując wartości emisji sektora elektrycznego w komórkach sieci zawierających elektrownie danymi dotyczącymi emisji dla tych elektrowni.

Modelowano wpływ polskich elektrowni na jakość powietrza w czterech różnych scenariuszach: emisje z 2019 r., emisje z 2023 r. przy pełnej zgodności z BREF oraz emisje z 2035 i 2050 r. w ramach prognoz PEP 2040 w zakresie wytwarzania i mocy, w połączeniu z naszymi przewidywanymi wyłączeniami elektrowni. Dla każdego z tych scenariuszy porównano wyniki jakości powietrza z wynikami modelu „zero-out”, w którym z modelu całkowicie usunięto emisje polskich elektrowni. Różnica stężeń pomiędzy scenariuszem a symulacjami zero-out to szacowany wpływ elektrowni na stężenia zanieczyszczeń powietrza.

Wpływ na jakość powietrza w innych scenariuszach wyprowadzono z tych wyników modelowania poprzez zredukowanie stężeń zanieczyszczeń o zmiany w emisjach w porównaniu z modelowanym scenariuszem PEP 2040.

# OCENA WPŁYWU NA ZDROWIE

Wpływ zmian stężeń zanieczyszczeń na zdrowie określono oceniając wynikową ekspozycję populacji w oparciu o dane populacji w formie siatki dla 2020 r. z CIESIN (2017), a następnie stosując zalecenia dotyczące oceny wpływu na zdrowie WHO HRAPIE (2013), zastosowane w Huescher et al (2017). Zaktualizowano funkcję stężenie-odpowiedź dla śmiertelności związanej z długotrwałym narażeniem na NO<sub>2</sub> w oparciu o ostatnie metaanalizy dostępnych badań epidemiologicznych przeprowadzonych w celu dostarczenia informacji dla aktualizacji wytycznych Światowej Organizacji Zdrowia dotyczących jakości powietrza autorstwa Huangfu & Atkinsona (2020).

Wyjściową śmiertelność spowodowaną różnymi przyczynami i dla różnych grup wiekowych oraz krajów pozyskano z wyników Global Burden of Disease (IHME 2020), a wyjściową częstość występowania innych skutków zdrowotnych z tych samych źródeł co w Huescher et al (2017).

Należy zauważyć, że chociaż większość skutków zdrowotnych przypisywanych emisjom z elektrowni gazowych w naszych wynikach jest związana z pyłem PM<sub>2,5</sub>, głównym czynnikiem do nich się przyczyniającym są emisje NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> i LZO poprzez ich wpływ na powstawanie zanieczyszczeń pyłowych w atmosferze.

Prognozy wpływu na zdrowie uwzględniają prognozowany wzrost liczby ludności na poziomie krajowym oraz wpływ na śmiertelność, wykorzystując prognozowane zmiany współczynnika umieralności w zależności od wieku, na podstawie średniego wariantu UN DESA (2019). Wykorzystanie współczynników umieralności dla poszczególnych grup wiekowych pozwala uchwycić wpływ spodziewanej poprawy stanu zdrowia ludności i usług zdrowotnych, co skutkuje niższą śmiertelnością dzieci, przy jednoczesnym zwiększeniu podatności populacji dorosłych na choroby niezakaźne związane z zanieczyszczeniem powietrza.

Tabela A1.

**Współczynniki ryzyka (RR) zastosowane do oceny wpływu na zdrowie przy zmianie średniorocznego stężenia zanieczyszczeń o 10 g/m<sup>3</sup>.**

ZANIECZYSZCZENIE	SKUTEK	RR: ŚRODKOWY	RR: NISKI	RR: WYSOKI	ODNIESIENIE
<b>PM10</b>	Zapalenie oskrzeli u dzieci, PM10	<b>1.08</b>	<b>0.98</b>	<b>1.19</b>	WHO 2013
<b>PM10</b>	Objawy astmy u dzieci chorych na astmę, PM10	<b>1.028</b>	<b>1.006</b>	<b>1.051</b>	WHO 2013
<b>PM10</b>	Częstość występowania przewlekłego zapalenia oskrzeli u dorosłych, PM10	<b>1.117</b>	<b>1.04</b>	<b>1.189</b>	WHO 2013
<b>PM2.5</b>	Śmiertelność przy narażeniu długoterminowym, wszystkie przyczyny	<b>1.062</b>	<b>1.04</b>	<b>1.083</b>	WHO 2013
<b>PM2.5</b>	Przyjęcia szpitalne z przyczyn sercowo-krążeniowych	<b>1.0091</b>	<b>1.0017</b>	<b>1.0166</b>	WHO 2013
<b>PM2.5</b>	Hospitalizacje z powodu chorób układu oddechowego	<b>1.019</b>	<b>0.9982</b>	<b>1.0402</b>	WHO 2013
<b>PM2.5</b>	Dni ograniczonej aktywności (dotyczy ludności w wieku nieprodukcyjnym)	<b>1.047</b>	<b>1.042</b>	<b>1.053</b>	WHO 2013
<b>PM2.5</b>	Utracone dni pracy	<b>1.046</b>	<b>1.039</b>	<b>1.053</b>	WHO 2013
<b>NO2</b>	Objawy zapalenia oskrzeli u dzieci chorych na astmę	<b>1.021</b>	<b>0.99</b>	<b>1.06</b>	WHO 2013
<b>NO2</b>	Hospitalizacje z powodu chorób układu oddechowego	<b>1.018</b>	<b>1.0115</b>	<b>1.0245</b>	WHO 2013
<b>NO2</b>	Śmiertelność długofalowa, wszystkie przyczyny	<b>1.02</b>	<b>1.01</b>	<b>1.04</b>	Huangfu & Atkinson 2020

# KOSZTY EKONOMICZNE

Zanieczyszczenie powietrza powoduje szereg negatywnych skutków zdrowotnych: przewlekłe choroby układu oddechowego, hospitalizacje, nasilenie objawów astmy oraz inne skutki zdrowotne prowadzące do wzrostu kosztów opieki zdrowotnej. Spada wydajność pracowników z powodu choroby i niezdolności do pracy albo z powodu konieczności opieki nad chorym dzieckiem lub inną osobą niesamodzielną. Skrócenie średniej długości życia i zwiększone ryzyko przedwczesnej śmierci spowodowane zanieczyszczeniem powietrza oznacza pogorszenie dobrostanu osób dotkniętych tymi zjawiskami.

Podstawą wyceny kosztów ekonomicznych skutków zdrowotnych prognozowanych w niniejszym raporcie są wyceny zastosowane w raporcie EEA (2014) „Koszty zanieczyszczenia powietrza z europejskich obiektów przemysłowych 2008–2012”. Ocenę skutków zdrowotnych głównych zanieczyszczeń powietrza przedstawiono w tabeli A2.

Wartości w EEA (2014) zostały podane dla Unii Europejskiej w 2010 roku w cenach z 2005 roku. Wartości zostały najpierw przeliczone na ceny z 2019 r. za pomocą wskaźników inflacji Unii Europejskiej, a następnie wyceny zostały skorygowane o różne poziomy PKB per capita i kosztów. Podstawę korekty każdego kosztu podano w tabeli A2. Stosując te same wyceny we wszystkich krajach UE wzorowano się na EEA (2014), zamiast wyceniać według wyższej wartości ryzyko śmiertelności w państwach członkowskich o wyższych dochodach. Na potrzeby polskiej wersji raportu wszystkie wartości w euro zostały przewalutowane na PLN według średniego kursu NBP z dnia 24.01.2023, tj. 1 EUR = 4,71 PLN. Wyceny zostały skorygowane o inflację do 2021 roku przy użyciu średniej inflacji ważonej PKB państw UE. Następnie wyceny skorygowano w czasie i przeniesiono na kraje spoza UE, stosując następującą logikę:

- Wycena zgonów i innych skutków na podstawie „gotowości do zapłaty” została skorygowana przy użyciu PKB na mieszkańca według parytetu siły nabywczej, z elastycznością 0,8, zgodnie z zaleceniami OECD (2012).
- Koszty opieki zdrowotnej zostały skorygowane o współczynniki przeliczeniowe PPP.
- Straty produktywności (utracone roboczodni) zostały skorygowane o PKB w cenach rynkowych.

Przyszłą wartość kosztów opieki zdrowotnej prognozuje się na podstawie długoterminowych prognoz PKB przygotowanych przez OECD (2018) dla każdego kraju. Nominalny wzrost PKB i wzrost cen są prognozowane na podstawie historycznych zależności statystycznych między długookresowym nominalnym i realnym wzrostem PKB (elastyczność poziomu cen względem PKB). Przyszłe koszty są dyskontowane w wysokości 3%/rok. Wszystkie wymagane dane ekonomiczne uzyskano z Banku Danych Banku Światowego.

Tabela A2.

**Wycena wpływu na zdrowie w krajach UE (na podstawie EEA 2014)**

SKUTEK	SKUTEK	WYCENA W EUR CENY 2005	WYCENA W EUR CENY 2021	PODSTAWA KOREKTY
Objawy astmy u dzieci chorych na astmę	dni	<b>42</b>	<b>56</b>	inflacja
Objawy zapalenia oskrzeli u dzieci chorych na astmę	dni	<b>588</b>	<b>785</b>	inflacja
Hospitalizacje z powodu chorób układu krążenia	przypadki	<b>2,200</b>	<b>2,937</b>	inflacja
Częstość występowania przewlekłego zapalenia oskrzeli u dorosłych	nowe przypadki	<b>53,600</b>	<b>78,597</b>	PKB PPP
Śmiertelność dorosłych	przypadki	<b>2,200,000</b>	<b>3,225,990</b>	PKB PPP
Przypadki RAD (reaktywnej choroby dróg oddechowych)	dni	<b>42</b>	<b>62</b>	PKB PPP
Śmiertelność poporodowa	przypadki	<b>3,300,000</b>	<b>4,838,985</b>	PKB PPP
Hospitalizacje z powodu chorób układu oddechowego	przypadki	<b>2,200</b>	<b>2,937</b>	inflacja
Dni ograniczonej aktywności	dni	<b>42</b>	<b>62</b>	PKB PPP
Utracone dni pracy	dni	<b>130</b>	<b>177</b>	PKB



# ŹRÓDŁA

Bank Światowy <https://databank.worldbank.org/>

Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) - Columbia University 2018: Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density Adjusted to Match 2015 Revision UN WPP Country Totals, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4F47M65>.

Europejska Agencja Środowiska (EEA) 2014: Costs of air pollution from European industrial facilities 2008–2012 — an updated assessment. EEA Technical report No 20/2014. <https://www.eea.europa.eu/publications/costs-of-air-pollution-2008-2012>

Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2019 (GBD 2019) Results. Seattle, United States: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2020. <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.

Graham et al 2012: Validated methods for flue gas flow rate calculation with reference to EN 12952-15. KEMA Nederland B.V. [https://www.vgb.org/vgbmultimedia/rp338\\_flue\\_gas.pdf](https://www.vgb.org/vgbmultimedia/rp338_flue_gas.pdf)

Huscher, Myllyvirta, Gierens 2017: Modellbasiertes Health Impact Assessment zu grenzüberschreitenden Auswirkungen von Luftschadstoffemissionen europäischer Kohlekraftwerke. Umweltmedizin - Hygiene - Arbeitsmedizin Band 22, Nr. 2 (2017) <https://www.ecomed-umweltmedizin.de/archiv/umweltmedizin-hygiene-arbeitsmedizin-band-22-nr-2-2017>

OECD 2012. Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies. <https://doi.org/10.1787/9789264130807-en>

OECD 2018. GDP long-term forecast (indicator). <https://doi.org/10.1787/d927bc18-en>

Organizacja Narodów Zjednoczonych, Departament Spraw Gospodarczych i Społecznych, Wydział ds. Ludności [UN DESA] 2017.

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) 2013: Health risks of air pollution in Europe-HRAPIE project. [http://www.euro.who.int/\\_\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/238956/Health\\_risks\\_air\\_pollution\\_HRAPIE\\_proje](http://www.euro.who.int/___data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_proje)

World Population Prospects: The 2017 Revision. <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/>



[www.env-health.org](http://www.env-health.org)