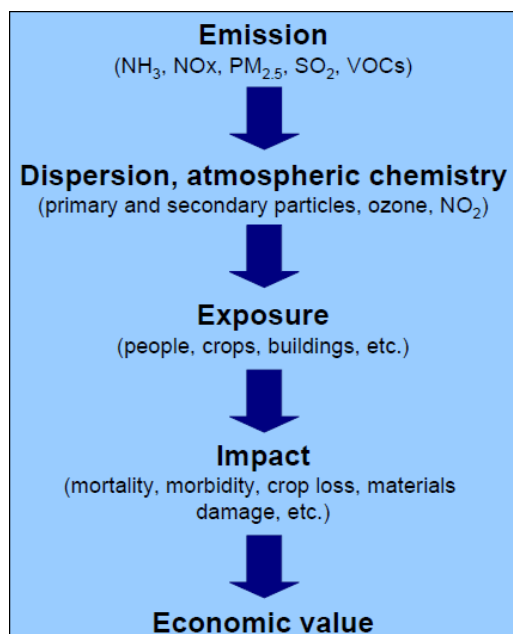


## Metodyka obliczeń zewnętrznych kosztów zdrowotnych

Modelowanie zewnętrznych kosztów zdrowotnych elektrowni zostało przeprowadzone zgodnie z 5-etapową metodyką, która jest wykorzystywana przez Komisję Europejską<sup>1</sup> i Światową Organizację Zdrowia<sup>2</sup>.



Rysunek 1 Metodyka obliczeń

**1 etap** dotyczy określenia poziomu emisji zanieczyszczeń, np. elektrowni

**2 etap** charakteryzuje wzrost stężeń zanieczyszczeń wynikający z funkcjonowania źródła zanieczyszczeń

**3 etap** polega na określeniu liczby ludności narażonej na zanieczyszczone powietrze spowodowane przez analizowane źródło

**4 etap** dotyczy analizy wpływu zanieczyszczeń powietrza na zdrowie, za pomocą funkcji stężenie - odpowiedź

**5 etap** to monetyzacja skutków zdrowotnych, który jest w obliczeniach zewnętrznych kosztów zdrowotnych

### Emisja

Dane dotyczące emisji pochodzą z raportu o oddziaływaniu na środowisko dla projektu 500 MWe elektrowni w Starej Wsi niedaleko miejscowości Łęczna. Obliczenia wykonano dla strumienia emisji paliw 1 288 000 Nm<sup>3</sup>/h, ze stężeniem emisji: NO<sub>x</sub> 150 mg/Nm<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> 200 mg/Nm<sup>3</sup>. Pył PM<sub>10</sub> stężenie emisji obliczono jako 70% TSP, który wynosi 7 mg/Nm<sup>3</sup>. Dane zostały przeliczone do emisji na sekundę dla celów modelowania. Roczny czas pracy elektrowni, wysokość stosu i średnicy uzyskano z tego samego raportu.

### Dyspersja zanieczyszczeń powietrza

Dyspersja zanieczyszczenia powietrza została wykonana przy użyciu jednego z najnowszych modeli, który umożliwia na znacznie bardziej precyzyjne obliczenia niż model opisany w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu, załącznik 3*. Do obliczeń został wykorzystana rodzina modeli wchodząca w skład systemu modelowania CALPUFF, który złożony jest z 3 głównych modułów: CALPUFF, CALMET, CALPOST.

CALPUFF jest gaussowskim modelem obłoku (puff model) wykorzystującym metodą Lagrange'a. Jest modelem rekomendowanym przez EPA (Environmental Protection Agency, odpowiednik polskiego Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska) w USA. Uwzględnia rzeźbę terenu oraz czasową

<sup>1</sup> Mike Holland for European Commission, Cost-benefit Analysis of Final Policy Scenarios for the EU Clean Air Package, 2014

<sup>2</sup> World Health Organization, Health risks of air pollution in Europe, 2013

i trójwymiarową zmienność warunków meteorologicznych. Jest to wielowarstwowy, niestacjonarny model przygotowany i wykorzystywany powszechnie do obliczania stężeń różnych rodzajów zanieczyszczeń powietrza z różnych źródeł, np. kominów. Uwzględnia suchą i morką depozycję oraz proste przemiany chemiczne substancji w powietrzu.

CALMET jest modelem meteorologiczny, który zawiera generator pola wiatru, potrzebny do obliczeń dyspersji zanieczyszczeń wykonywanych przez model CALPUFF.

The Air Pollution Model (TAPM) prognozuje trójwymiarowe dane meteorologiczne. TAPM posiada globalną bazę danych z informacjami o: wysokości terenu, rodzaju gleby i roślinności, wskaźnikiem pokrycia liściowego, temperaturą powierzchni i morza, a także inne dane meteorologiczne. Dane są zapisane w formie siatki, co pozwala na ich przestrzenną interpretację. TAPM posiada możliwość przygotowania danych wejściowe do modelu CALMET.

CALPOST jest modelem wykorzystywanym do analiz wyników CALPUFF, pozwala na obliczenia średnich stężeń zanieczyszczeń uwzględniając przemiany chemiczne substancji w atmosferze oraz ich depozycję.

Pierwszym etapem modelowania dyspersji zanieczyszczeń powietrza było przygotowanie danych meteorologicznych do obliczeń. Wykorzystano model TAPM, który umożliwia stworzenie trójwymiarowej siatki wiatru. Jest to kluczowy element modelowania zanieczyszczeń powietrza, ponieważ pozwala na rzeczywiste odwzorowanie transportu gazów i pyłów w atmosferze ze źródła emisji. Metoda ta wykorzystywana w najnowszych modelach dyspersji zanieczyszczeń. Dla porównania starsze modele stosują klasy stabilności atmosferycznych tj. klasy Pasquilla, które używane są np. w raportach oceny oddziaływania elektrowni na środowisko. Obliczenia wykonane z wykorzystaniem klas stabilności atmosferycznej oznacza przyjęcie założenia, że w głównej mierze nie ma zmiennych warunków meteorologicznych, co znacząco obniża jakość danych. Wykorzystanie trójwymiarowej siatki wiatru pozwala na znacznie dokładniejsze określenie zasięgu i stężeń zanieczyszczeń powietrza emitowanych ze źródła np. komin lub chłodni kominowej.

Model TAPM został uruchomiony w konfiguracji zagnieżdżonych siatek 50x50 z horyzontalną rozdzielczością 30 km, 10 km i 2,5 km oraz 35 poziomami wertykalnymi. Model przestrzenny wykorzystujący siatkę 50x50 oznacza, że wykonywano obliczenia dla 2500 punktów horyzontalnie. Ponieważ jest to model trójwymiarowy i posiada 35 poziomów wertykalnych uzyskano dane dla 87500 punktów, w tym przypadku to dane meteorologiczne. Rozdzielczość w modelach dyspersji zanieczyszczeń oznacza jaka jest szczegółowość danych, im mniejsza różnice pomiędzy poszczególnymi punktami w siatce tym większa szczegółowość wyników modelu. Model wykorzystujący zagnieżdżoną siatkę oznacza, że aby uzyskać najwyższą rozdzielczość w tym przypadku 2,5 km należy najpierw wykonać obliczenia dla niższej rozdzielczości, w tym przypadku 10 km, a do uzyskania tej dokładności było potrzebne obliczenia z rozmiarem siatki 30 km. Oznacza to, że obszar o najmniejszej rozdzielczości ma powierzchnię 1500x1500km, z większą 500x500km, a najdokładniejszy obliczenia wykonano dla obszaru oddalonego do 125km od elektrowni. Należy zauważyć, że obliczenia dyspersji zanieczyszczeń powietrza wykonywane w raportach oceny oddziaływania na środowisko mają na ogół zasięg kilku kilometrów. Wyniki z modelu TAPM zostały wykorzystane jako dane wejściowe do modelu CALMET, który z kolei posłużył do obliczenia: trójwymiarowych danych o wietrze, temperatury, opadu, wilgotności, zachmurzenia, oraz innych parametrów meteorologicznych. Wyniki obliczeń modelu CALMET pozwoliły na rozpoczęcie obliczeń wpływu emisji elektrowni na wzrost stężenia zanieczyszczeń.

Uzyskane wyniki stężeń zanieczyszczeń zostały wykorzystane do dalszych obliczeń w dwóch modelach CALPOSTu – ISORROPIA II i POSTUTIL. ISORROPIA II modeluje przemiany fizykochemiczne

w atmosferze, które prowadzą do powstania tzw. pyłu wtórnego. Dodatkowo służy do obliczeń stężeń ozonu troposferycznego. POSTUTIL posłużył do obliczeń stężeń płynnego kwasu azotowego i stałego jonu azotanowego, który wchodzi w skład pyłu. Model CALPOST pozwolił na obliczenie wzrostu średniorocznego stężenia pyłu  $PM_{2,5}$  (wraz z pyłem wtórnym), który miałyby miejsce w przypadku uruchomienia elektrowni.

## Ekspozycja na zanieczyszczenia powietrza

Oceny ekspozycji człowieka na zanieczyszczenia powietrza z elektrowni dokonano na podstawie danych o populacji z rocznika statystycznego Głównego Urzędu Statystycznego - *Ludność. Stan i struktura w przekroju terytorialnym, stan w dniu 30 VI 2014*. Obliczenia wykonano w programie do analiz przestrzennych Quantum GIS, a bazę danych przygotowano w arkuszu kalkulacyjnym Excel. Warstwą gmin do analiz przestrzennych pobrano ze zbioru danych państwowego rejestru granic i powierzchni jednostek podziałów terytorialnych kraju. Dla każdej gminy przypisano populację z podziałem na 5-letnie grupy wiekowe. Utworzono w sumie 15 grup wiekowych, zaczynając od 0-4 lat, 5-9 lat, a kończąc na powyżej 70 lat dla wszystkich 2479 gmin. Kolejnym etapem było przypisanie średniorocznego stężenia pyłu  $PM_{2,5}$  (wraz z pyłem wtórnym) do poszczególnych gmin z modelu CALPUFF. Wynik modelowania w postaci siatki został przetworzony na mapę z użyciu interpolacji z wykorzystaniem metody siatki nieregularnych trójkątów (Triangulated Irregular Network). Przypisano wyłącznie stężenie pyłu  $PM_{2,5}$ , za które odpowiedzialne byłaby planowana elektrownia. Nie uwzględniono istniejącego tła zanieczyszczeń powietrza pyłem. Uzyskana mapa pozwoliła na ocenę, na jaki wzrost stężenia pyłu  $PM_{2,5}$  będą narażeni mieszkańcy poszczególnych gmin Polski. Domena obszaru wpływu elektrowni na jakość powietrza została zmniejszona z powierzchni 1500x1500km do granic Polski. Oznacza to, że rzeczywisty wpływ planowanej elektrowni na zdrowie ma charakter transgraniczny. Szczegółowe dane zawarte są zarówno w postaci pliku GIS jak i w postaci tekstowej.

Ocena wpływu zanieczyszczeń powietrza na zdrowie człowieka wymaga posiadania danych o: liczbie populacji narażonej na stężenie danej substancji, stężeniu zanieczyszczeń powietrza, wielkości danego efektu zdrowotnego w populacji oraz zastosowaniu odpowiedniej funkcji stężenie odpowiedź. Liczba populacji narażonej to liczba mieszkańców danej gminy w danej grupie wiekowej. Stężenia zanieczyszczeń powietrza w niniejszym opracowaniu to średnioroczne stężenie pyłu  $PM_{2,5}$  (wraz z pyłem wtórnym) pochodzące z modelu CALPUFF, które zostało przypisane poszczególnym gminom, czyli określonym populacją. Wielkość danego efektu zdrowotnego w danej populacji to np. liczba zgonów w danym regionie, czy też liczba osób chorych na przewlekłą chorobę oskrzeli. W analizie skorzystano z danych GUS, WHO oraz ZUS. Funkcje stężenie odpowiedź to wyniki międzynarodowych badań naukowych, które określiły o ile wzrośnie dany efekt zdrowotny w danej populacji po określonym wzroście stężenia zanieczyszczeń w danym czasie. Głównie wykorzystuje się wzrost średniorocznego stężenia pyłu  $PM_{2,5}$  o  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  jako argument w funkcji stężenie odpowiedź. W niniejszym skorzystano z funkcji opisanych w raporcie HRAPIE WHO. Wybrano następujące efekty zdrowotne: przedwczesne zgony, utracone lata życia, zapalenie oskrzeli u dzieci i przewlekłe zapalenie oskrzeli u dorosłych oraz liczbę utraconych dni pracy. **Wszystkie efekty zdrowotne zostały przedstawione jako sumaryczny wpływ 40 lat emisji zanieczyszczeń powietrza z elektrowni.** Nie uwzględniono pozostałych efektów zdrowotnych z powodu zbyt niskiej jakości danych na poziomie krajowym i regionalnym. Oznacza to, że przyjęto scenariusz bezpieczny i można spodziewać się wyższych efektów zdrowotnych w rzeczywistości niż w przyjętej metodyce.

Analizę wpływu zanieczyszczeń powietrza na zdrowie człowieka przeprowadzono przy użyciu arkusza kalkulacyjnego stworzonego w ramach projektu badawczego APHEKOM<sup>3</sup>. Program pozwala na uwzględnianie wpływu zanieczyszczeń powietrza na dany efekty zdrowotny w danej populacji. Na potrzeby oceny wpływu elektrowni na zdrowie Polaków arkusz kalkulacyjny został zmodyfikowany, w celu zautomatyzowania procesu obliczeń dla wszystkich gmin w Polsce.

## Ocena wpływu zanieczyszczeń powietrza na zdrowie

Podczas obliczeń liczby przedwczesnych zgonów korzystano z bazy danych o populacji z rocznika Głównego Urzędu Statystycznego - *Ludność. Stan i struktura w przekroju terytorialnym, stan w dniu 30 VI 2014* tabela 17. Liczbę zgonów zaczerpnięto z rocznika populacji z opracowania Głównego Urzędu Statystycznego - *Rocznik Demograficzny 2014* - tabela 95 (154). Populacja i grupy wiekowe są podane z dokładnością, co do gminy. W przypadku zgonów największa dokładność terytorialna to województwa i miasta powyżej 100 tys. osób. Zgony do gmin zostały przypisane proporcjonalnie do poszczególnych grup wiekowych na podstawie stosunku liczby osób zamieszkałych w danej gminie do liczby osób w danym województwie. Wykorzystano funkcję stężenie odpowiedź z raportu WHO HRAPIE (Health risks of air pollution in Europe) wynoszącą 1,062 dla wzrostu średniorocznego stężenia pyłu PM<sub>2,5</sub> o 10µg/m<sup>3</sup>. Funkcję stosuję się wyłącznie dla osób powyżej 30 roku życia, to oznacza, że uwzględnia się wyłącznie długotrwały wpływ zanieczyszczeń powietrza na zdrowie ludzi, co zresztą charakteryzują działalność elektrowni. Według badań WHO nie ma bezpiecznego dla zdrowia poziomu stężenia pyłu PM<sub>2,5</sub>. Następnie przy pomocy arkusza APHEKOM obliczono liczbę przedwczesnych zgonów w każdej gminie, która miałaby miejsce w przypadku uruchomienia elektrowni. Liczbę utraconych lat życia uzyskano również na podstawie tych samych danych, jako że metodyka jest ściśle powiązana ze sposobem obliczeń liczby przedwczesnych zgonów.

Obliczenia liczby przewlekłych zapaleń oskrzeli u dorosłych i zapaleń oskrzeli wśród dzieci zostało wykonane zgodnie z metodyką WHO HRAPIE (Health risks of air pollution in Europe). Informacje dotyczące chorobowości Polaków dostępne są w bazie danych *Badania Chorobowości Szpitalnej Ogólnej* stworzonej przez *Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny*, a także w bazie *Europejska Chorobowość Szpitalna Ogólna. Biura Regionalnego dla Europy Światowej Organizacji Zdrowia*. Należy pamiętać, że dotyczy to wyłącznie chorób diagnozowanych i leczonych w szpitalach. Oznacza to, że zdecydowana większa liczba osób, lecząca się w przychodniach lub domowym sposobem nie została ujęta w niniejszej analizie z powodu braku danych. Liczbę osób chorych w Polsce na przewlekłe zapalenie oskrzeli oceniono na podstawie rekomendacji WHO – 3,9 osób na 1000 osób, z czego wynika, że w Polsce w grupie powyżej 30 lat jest 97 tys. osób chorych to schorzenie. W przypadku zapalenia oskrzeli wśród dzieci w wieku 6-12 lat, WHO rekomenduje, określenie liczby chorych jako 18,6% populacji, co w przypadku Polski wynosi ok. 707 tys. osób. Wykorzystano dwie funkcje stężenie odpowiedź z opracowania WHO HRAPIE dla wzrostu liczby przypadków zachorowań na zapalenie oskrzeli wśród dzieci wynoszącą 1,08 oraz przewlekłe zapalenie oskrzeli wynoszącą 1,117 wśród dorosłych wzrostu średniorocznego stężenia pyłu PM<sub>10</sub> o 10µg/m<sup>3</sup>. Funkcje opierają się na średniorocznym stężeniu pyłu PM<sub>10</sub>, natomiast wynik modelu CALPUFF przedstawiony jest w pyłe PM<sub>2,5</sub>. Zastosowano konwersję, zakładając, że w pyłe PM<sub>10</sub> znajduje się 58% pyłu PM<sub>2,5</sub>. Funkcję zastosowano dla następujących przedziałów wiekowych: dzieci 6-12 lat, dorośli powyżej 30 lat. Funkcja WHO pozwala na zastosowanie jej nawet dla grupy powyżej

---

<sup>3</sup> <http://www.aphekom.org/web/aphekom.org/publications>

18 lat, jednak w większości opracowań dla Komisji Europejskiej korzysta się z powyższych przedziałów.

Obliczenia liczby utraconych dni pracy zostały oparte na podstawie danych z Zakładu Ubezpieczeń Społecznych. Wykorzystano tabelę *Absencja chorobowa w 2014 r. z tytułu choroby własnej osób ubezpieczonych w ZUS według płci i wieku*. Dane dotyczą całej Polski, dlatego podobnie jak w przypadku liczby osób chorych na zapalenie oskrzeli należało przypisać dane do poszczególnych gmin. Wykorzystano funkcję z raportu WHO HRAPIE 1,046 dla wzrostu średniorocznego stężenia pyłu PM<sub>2,5</sub> o 10µg/m<sup>3</sup>. Dane dotyczą osób pracujących w wieku 20-64 lata.

## Monetyzacja skutków zdrowotnych

Do uzyskanych wyników przypisano jednostkowe koszty zdrowotne. Wykorzystano metodykę opracowaną na potrzeby Komisji Europejskiej, która jest przedstawiona w raporcie *Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe* oraz w raporcie Światowej Organizacji Zdrowia HRAPIE. Najnowsza informacja o kosztach jednostkowych powiązanych z zanieczyszczeniami powietrza wykorzystywana m.in. w politykach UE w sprawie jakości powietrza została zawarta w raporcie *Cost-benefit Analysis of Final Policy Scenarios for the EU Clean Air Package* w tabeli 2.5. W niniejszej analizie przyjęto następujące koszty jednostkowe:

- Przedwczesne zgony (30 lat +) od 0,73 mln Euro do 1,45 mln Euro za jeden zgon
- Przedwczesne zgony (30 lat +) od 38 tys. Euro do 89 tys. Euro za utracony rok życia
- Przewlekłe zapalenie oskrzeli (27 lat +) - 36 tys. Euro za każdy przypadek
- Zapalenie oskrzeli wśród dzieci (6-12 lat) - 594 Euro za każdy przypadek
- Utracone dni pracy (20-64 lata) - 87 Euro za każdy utracony dzień pracy

Wymnożenie każdego efektu zdrowotnego z jednostkowy kosztom pozwoliło na obliczenia zewnętrznych kosztów zdrowotnych wynikających z funkcjonowania elektrowni.