

Stężenie pyłów zawieszonych PM10 w Polsce w 2015 roku – porównanie danych z serwisu CAMS programu Copernicus z danymi Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska

Concentration of particulate matters PM10 in Poland in 2015 – the comparison of Copernicus Programme Services Data with the data published by the Chief Inspectorate for Environmental Protection

Agnieszka Hys, Joanna Dumańska, Krzysztof Tworek (Laboratorium Chemii, GUM)

W artykule przedstawiono porównanie wyników modeli obliczeniowych Programu Copernicus z danymi publikowanymi przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, dotyczącymi stężeń pyłów zawieszonych PM10 dla terenu Polski w roku 2015, zarówno w okresie letnim, jak i zimowym. Opisano Program Copernicus oraz zaprezentowano podstawowe modele obliczeniowe, stosowane w analizie zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego, które wykorzystują dane satelitarne dostarczane przez serwisy tego Programu. Przedstawiono teoretyczne zagadnienia dotyczące pyłów zawieszonych PM10 i ich udziału w zanieczyszczeniu powietrza atmosferycznego oraz zaprezentowano konkretne dane liczbowe dotyczące tematu opracowania.

The comparison of the Copernicus Programme Services data with the data published by the Chief Inspectorate for Environmental Protection on the concentration of particulate matters PM10 in Poland in 2015, both in summer and winter period, was presented. Program Copernicus was described and main calculation models for air pollution analysis based on Copernicus services satellite data were explained. The environmental aspects of PM10 and their impact on air pollution were presented as well as the figures related to the topic of this paper.

Program Copernicus

Copernicus to program Komisji Europejskiej, mający na celu monitorowanie naszej planety i jej licznych ekosystemów, a także przygotowanie ludzi na klęski żywiołowe oraz ochronę przed takimi zjawiskami. Program jest realizowany przy współpracy Komisji Europejskiej z państwami członkowskimi UE, Europejską Agencją Kosmiczną (ESA), Europejską Organizacją Eksploatacji Satelitów Meteorologicznych (EUMETSAT), Europejskim Centrum Prognoz Średnioterminowych (ECMWF), Europejską Agencją Środowiska (EEA) oraz Mercator Océan. Program Copernicus dąży do rozwijania innowacyjnych systemów obserwacji Ziemi oraz zapewnienia Europie autonomicznego dostępu do wiedzy na temat środowiska i kluczowych technologii w zakresie obserwacji naszej planety i geoinformacji. Usługi informacyjne programu są udostępniane użytkownikom bezpłatnie i bez przeszkód. Copernicus gromadzi ogromną liczbę wiarygodnych i aktualnych informacji o stanie planety. Są one ogólnodostępne dla wszystkich zainteresowanych. Dane analizowane są tak, aby wygenerować wskaźniki przydatne dla użytkowników. Głównymi użytkownikami

programu mogą być władze publiczne, a także użytkownicy komercyjni i prywatni, przedstawiciele sektora edukacyjnego i badawczego oraz organizacje non-profit. Copernicus składa się z trzech komponentów: kosmicznego, naziemnego i usługowego.

Komponent kosmiczny zapewnia ciągle obserwacje prowadzone z przestrzeni kosmicznej na potrzeby zestawu usług. Koordynacją komponentu kosmicznego oraz kierowaniem misjami kosmicznymi zajmuje się ESA (European Space Agency). Obserwacje z przestrzeni kosmicznej są prowadzone za pomocą satelitów obserwacyjnych, badawczych i pomiarowych. Specjalnie na potrzeby programu ESA buduje i obsługuje rodzinę satelitów Sentinel: satelity Sentinel-1, -2, -3, -5P, -6, instrumenty zainstalowane na satelitach EUMETSAT Sentinel-4 i 5.

Komponent naziemny gromadzi dane obserwacyjne uzyskane przez liczne czujniki naziemne, morskie lub powietrzne państw członkowskich UE, organizacji europejskich i pozaeuropejskich. Rolę koordynatora komponentu in-situ odgrywa EEA (European Environment Agency). Komponent ten zapewnia dostęp do danych głównie na rzecz usług programu Copernicus. Dane te dostarczają informacji na temat środowiska naturalnego,

ale także służą do walidacji i kalibracji pomiarów satelitarnych. Szczególny rodzaj informacji in-situ stanowią dane geoprzestrzenne. Są to ogólne informacje topograficzne, takie jak mapy sieci drogowych, granic administracyjnych, czy cyfrowe modele danych wysokościowych.

Komponent usługowy udostępnia ujednolicone dane i informacje, które mogą być wykorzystywane przez użytkowników końcowych do szerokiej gamy zastosowań w różnych obszarach, takich jak zrównoważony rozwój i ochrona przyrody, planowanie na szczeblu lokalnym oraz regionalnym, rolnictwo, leśnictwo, rybołówstwo, zdrowie, ochrona ludności, infrastruktura, transport i turystyka.

W programie Copernicus istnieje sześć serwisów, zajmujących się usługami, które dotyczą obszarów badań atmosfery, morskich, lądowych, sytuacji kryzysowych oraz bezpieczeństwa. CAMS (monitorowanie atmosfery) oferuje dane na temat globalnego składu atmosfery (zawartości gazów, m.in. CO₂, SO₂, CH₄, ozonu oraz aerozoli). Serwis zapewnia również analizę jakości powietrza oraz jej kilkudniową prognozę. Dostarcza informacji o sile radiacji słonecznej. CLMS (monitorowanie lądu) przekazuje informacje o pokryciu terenu, zróżnicowaniu krajobrazu (w tym obszarów antropogenicznych, leśnych i rolniczych), o gospodarce wodnej na danym obszarze, o stanie gleb oraz danych na temat bezpieczeństwa żywności. CMEMS (monitorowanie środowiska morskiego) udostępnia informacje m.in. o temperaturze wody mórz i oceanów, zasoleniu, zlodzeniu, prądach morskich, sile i kierunku wiatru; służy też do wykrywania i monitorowania wycieków oleju. Dane te przyczyniają się do ochrony i zrównoważonego gospodarowania zasobami morskimi oraz poprawy bezpieczeństwa na morzu. C3S (zmiany klimatu) to serwis mający na celu monitorowanie i prognozowanie zmienności klimatu oraz zmian klimatycznych spowodowanych przez działalność człowieka. Ma wspomóc proces dostosowywania się do nich i łagodzenia ich skutków. EMS (sytuacje kryzysowe) to usługa przeznaczona dla służb zaangażowanych w ograniczanie skutków klęsk żywiołowych oraz katastrof spowodowanych przez człowieka (powodzie, pożary lasów, trzęsienia ziemi), a także dla organizacji prowadzących akcje humanitarne. CSS (bezpieczeństwo) ma służyć ochronie granic lądowych i morskich Unii Europejskiej (zmniejszeniu liczby nielegalnych imigrantów, zapobieganiu przestępczości transgranicznej) oraz wspomagać zewnętrzne działania Wspólnoty EU. Serwisy informacyjne Copernicus osiągnęły różny poziom zaawansowania. Serwisy CLMS i EMS funkcjonują od 2012 r., a serwisy CAMS i CMEMS – od 2015 r., pozostałe (C3S i CSS) wciąż są w fazie rozwoju.

W artykule zaprezentowano dane pobrane z serwisu Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) [1],

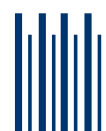
który dostarcza informacji o globalnym składzie atmosfery, poprzez obserwację i prognozowanie występujących w powietrzu składników, takich jak: gazy cieplarniane (dinitlenek węgla, metan), gazy reaktywne (tlenek węgla, dinitlenek siarki, tlenki azotu), ozon oraz aerozole. Monitoring składu, a więc i stanu atmosfery, jest niezwykle ważny ze względu na wpływ jakości powietrza na życie i zdrowie ludzkie. Wśród zagrożeń związanych ze złą jakością powietrza atmosferycznego, jednym z najistotniejszych jest zanieczyszczenie atmosfery pyłami zawieszonymi PM_{2,5} oraz PM₁₀, dlatego też CAMS uwzględnia obserwacje w tym zakresie.

Opracowywanie danych satelitarnych z monitoringu stężeń pyłu PM₁₀ – model ENSEMBLE

Model ENSEMBLE to model obliczeniowy, służący m.in. do generowania map zanieczyszczeń atmosfery dla Europy, obejmujący obszar pomiędzy długością geograficzną 25°W–45°E a szerokością geograficzną 30°N–70°N, z rozdzielczością 0,1°. Model ten dostarcza informacji o prognozowanych średnich i maksymalnych dobowych stężeniach zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego, takich jak: O₃, CO, NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, pyłki brzozy, pyłki traw, pyłki drzew oliwkowych, PANS, NMVOC, NH₃, NO do wysokości 5000 m powyżej powierzchni ziemi. Dla każdego punktu pomiarowego wartości stężeń są określane jako wypadkowa z siedmiu najnowocześniejszych modeli numerycznych: CHIMERE, EMEP, EURAD-IM, LOTOS-EUROS, MATCH, MOCAGE, SILAM dostarczanych przez partnerów z państw europejskich. Model ENSEMBLE jest dużo dokładniejszy, niż poszczególne modele z osobna. W konsekwencji zatem wszelkie analizy oraz prognozy realizowane w ramach CAMS są oparte o wspomniany model ENSEMBLE. Model ten posługuje się podejściem opartym na wartości mediany. Metoda ta zapewnia optymalne oszacowanie danych pomiarowych w sensie statystycznym.

Pyły zawieszone w atmosferze

Pyły to niejednorodne zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, powstające zarówno w procesach naturalnych (np. burze piaskowe), jak i antropogenicznych (np. spalanie paliw kopalnych), które podlegają wielu fizycznym i chemicznym procesom w atmosferze, oddziałując na zdrowie ludzkie, klimat i środowisko przyrodnicze. Pyły, drobne cząstki materii stałej lub ciekłej, po emisji do atmosfery, pozostają w niej w stanie zawieszonym, tworząc aerozol o różnych właściwościach, w zależności od morfologii, frakcji, powierzchni, kształtu oraz składu chemicznego cząstek. Za tak zwany całkowity pył



zawieszony uważa się wszystkie cząstki o średnicy od nanometrów do około stu mikrometrów.

Cząstki, w zależności od źródła emisji oraz czasu ich przebywania w atmosferze, mogą mieć różny skład chemiczny. Podstawowymi składnikami pyłu są materia węglowa, zarówno organiczna, jak i nieorganiczna oraz węgiel pierwiastkowy (sadza), materia mineralna, wtórny aerozol nieorganiczny (przede wszystkim siarczany, azotany i związki amonowe), a także woda. Wiele składników pyłu, na przykład benzopiren, arsen, ołów, kadm, czy nikiel ma poważnie negatywny wpływ na zdrowie ludzkie oraz ekosystemy lądowe i wodne.

Podział oraz skład chemiczny pyłów zawieszonych

Termin pył zawieszony PM (Particulate Matter) jest stosowany do fazy rozproszonej aerozolu. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/We z dnia 21 maja 2008 roku definiuje pyły PM10 oraz PM2,5 jako pyły przechodzące przez otwór sortujący, zdefiniowany w referencyjnej metodzie poboru próbek i pomiaru, przy 50 % granicy sprawności dla średnicy aerodynamicznej, odpowiednio do 10 μm oraz do 2,5 μm .

Pojęcia pył oraz pył zawieszony dość często są stosowane wymiennie i odnoszą się do cząstek stałych, a także kropeł cieczy, obserwowanych w atmosferze, najczęściej w zakresie cząstek emitowanych do atmosfery. Natomiast sformułowanie aerozol używa się do cząstek pyłu rozproszonych w ośrodku dyspersyjnym, jakim jest powietrze.

Ze względu na rozmiar cząstek, stosuje się następujący podział pyłów:

- całkowity pył zawieszony TSP (Total Suspended Particles) – pył zawieszony w powietrzu o średnicy cząstek zarówno poniżej, jak i powyżej 10 μm ,
- pył PM10 – frakcja pyłu zawieszonego o średnicach cząstek poniżej 10 μm ,
- pył PM2,5-10 – frakcja pyłu zawieszonego o średnicach cząstek pomiędzy 2,5 μm i 10 μm ,
- pył drobny PM2,5 – frakcja pyłu zawieszonego o średnicach cząstek poniżej 2,5 μm ,
- pył submikronowy PM1 – frakcja pyłu zawieszonego o średnicach cząstek poniżej 1 μm ,
- pył ultradrobny PM0,1 – frakcja pyłu zawieszonego o średnicach cząstek poniżej 0,1 μm .

Cząstki PM2,5-10 i większe powstają w sposób mechaniczny, w wyniku ścierania lub kruszenia różnego rodzaju materiałów. Są one zarówno pochodzenia naturalnego (pył mineralny, sól morską), jak i antropogenicznego (np. ścieranie opon oraz hamulców). Cząstki te mają duże prędkości opadania oraz są łatwo usuwane z atmosfery wraz z opadami atmosferycznymi. W związku z tym ich czas przebywania w powietrzu atmosferycznym jest

krótki (od minut do dni) i mogą być przenoszone na odległości od kilku do setek kilometrów. Pyły atmosferyczne są zanieczyszczeniami zarówno pierwotnymi, emitowanymi bezpośrednio do atmosfery, jak i wtórnymi, powstającymi w atmosferze w wyniku reakcji chemicznych. Źródła emisji pyłów pierwotnych, zarówno naturalnych jak i antropogenicznych, są bardzo liczne i różnorodne. Do naturalnych źródeł emisji pyłów zalicza się wybuchy wulkanów, pożary lasów, aerozole morskie, a także materiał pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Pyły antropogeniczne powstają głównie w procesach produkcyjnych i procesach spalania paliw, zwłaszcza paliw stałych. Duże ilości pyłów są emitowane przez przemysł energetyczny, wydobywczy, metalurgiczny, chemiczny, budowlany (produkcja cementu) oraz przez sektor transportu, gdzie znaczna część nie pochodzi z procesu spalania paliw, ale ze ścierania opon, hamulców i powierzchni dróg, a także z sektora komunalno-bytowego.

Skład chemiczny pyłu zawieszonego oraz jego główne składniki to:

- materiał mineralny (powstały w wyniku wietrzenia skał i gleb, pochodzący z terenów pustynnych i półpustynnych),
- sól morską (generowana bezpośrednio z powierzchni morza lub pośrednio podczas pęknięcia bąbelków gazowych na powierzchni morza),
- pierwotny bioaerozol (składający się z żywej i nieżywej materii biologicznej, tj. wirusów, bakterii, sporów mchów, porostów, paproci i grzybów),
- węgiel pierwiastkowy,
- węgiel organiczny,
- wtórne aerozole organiczne (węglowodorowe aerozole organiczne skorelowane z tlenkiem węgla i tlenkami azotu oraz utlenowane aerozole organiczne skorelowane między innymi z ozonem),
- wtórne aerozole nieorganiczne [występujące zarówno w formie cząstek jak i kropeł, najczęściej siarczan(VI) amonu oraz azotan(V) amonu],
- pierwiastki śladowe (pojawiające się w żywej materii w stężeniach poniżej 0,1 %, ale mogące mieć działanie toksyczne na organizm ludzki).

Pył zawieszony PM10 w atmosferze

Krytyczną cechą charakterystyczną cząstek fazy rozproszonej aerozolu jest ich wielkość. Wielkość cząstki fazy rozproszonej aerozolu określa się podając jej średnicę równoważną. Jest to średnica kuli mającej tę samą wartość rozważanego parametru fizycznego, co rozpatrywana cząstka o nieregularnym kształcie. W badaniu aerozoli atmosferycznych, ze względu na stosowane metody pobierania próbek, najczęściej stosowaną średnicą równoważną jest średnica aerodynamiczna. Zatem średnica

aerodynamiczna cząstki jest to średnica kuli materialnej o gęstości 1 g/cm^3 , mającej te same właściwości inercyjne (prędkość opadania w powietrzu) co dana cząstka. Cząstki aerozolu atmosferycznego mają średnicę aerodynamiczną pomiędzy $10^{-3} \mu\text{m}$ a $10^2 \mu\text{m}$. Przedział ten określa całość fazy rozproszonej aerozolu atmosferycznego, czyli TSP.

Najczęściej mierzoną własnością aerozolu atmosferycznego jest jego stężenie masowe lub liczbowe. Stężenie masowe jest to masa cząstek w jednostce objętości aerozolu, zaś stężenie liczbowe, to liczba cząstek w jednostce objętości aerozolu. Scharakteryzowanie stężeń fazy rozproszonej aerozolu atmosferycznego jest konieczne dla oceny jego wpływu na środowisko.

Z uwagi na powiązania z różnymi zjawiskami środowiskowymi oraz na charakter rozkładu stężeń TSP w punkcie pomiarowym, frakcja PM10 jest najintensywniej badaną frakcją pod względem stężenia masowego. Z prowadzonych badań wynika, iż frakcja PM10, to niemal całość TSP, gdzie udział PM10 w całkowitym pyłu zawieszonym, w zależności od dnia i okresu pomiarowego, waha się w granicach od 68 % do 99 %.

Metody pomiaru pyłu zawieszonego w atmosferze

Monitoring jakości powietrza, w tym pomiary stężeń pyłu zawieszonego, ze względu na swoją specyfikę, prowadzi się zarówno za pomocą metod referencyjnych, jak i równoważnych metod ciągłych.

Pomiary referencyjne pyłu zawieszonego PM10

Europejskie standardy pomiarów referencyjnych pyłu zawieszonego w atmosferze zostały zawarte w normie [2]. Zgodnie z jej wymaganiami, pomiar odbywa się za pomocą poborników, w których powietrze jest zasysane ze stałą prędkością nominalną, wynoszącą $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$, przez głowicę separacyjną. Właściwa frakcja pyłu osadza się na filtrze w ciągu 24 godzin. Masa pyłu na filtrze jest określana poprzez proces ważenia filtrów przed i po ekspozycji filtra.

Pomiary ciągłe pyłu zawieszonego PM10

Metody ciągłe pomiarów przeprowadza się przy pomocy mierników automatycznych, pod warunkiem, że metody te mają wykazaną, w stosunku do metody referencyjnej, równoważność.

Pomiar metodą wagi oscylacyjnej

Pomiar masy pyłu zgromadzonego na filtrze odbywa się poprzez redukcję drgań elementu oscylującego,

umieszczonego pod filtrem. Stężenie pyłu jest pochodną zmiany masy na jednostkę czasu i przepływu próbki.

Tłumienie promieniowania β

Frakcja mierzonego pyłu osadza się na filtrze bądź taśmie filtracyjnej, która w określonych odstępach czasu, prześwietlana jest przez promieniowanie β o małym natężeniu. Zwiększone obciążenie pyłem powoduje osłabienie poziomu promieniowania mierzonego przez detektor. Osłabienie to jest proporcjonalne do zwiększającej się masy pyłu.

Rozpraszanie światła

Metoda ta wykorzystuje technikę rozpraszania światła do zliczania cząstek pyłu zawieszonego. Pomiar odbywa się na zasadzie mierzenia frakcji rozproszenia światła w określonym kierunku i wprowadzania sygnału określonego przez wielkość i stężenie cząstek w strumieniu próbki. Stężenie masowe cząstek stałych (pyłu zawieszonego) jest obliczane poprzez przekształcenie liczby cząstek mierzonych w jednostce czasu na masę w jednostce objętości, stosując dedykowaną regresję wielokrotną lub z ustalonych gęstości cząstek.

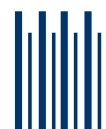
Metody teledetekcyjne

Nowoczesne metody teledetekcyjne umożliwiają zdalne badanie jakości powietrza atmosferycznego z wykorzystaniem technik satelitarnych. Dzięki danym satelitarnym na temat właściwości aerozoli, pozyskiwanym z satelitów oraz nowoczesnym metodom i narzędziom ich obróbki, pozyskuje się informacje o stężeniach pyłu zawieszonego przy powierzchni ziemi.

Stężenia pyłu zawieszonego PM10

Roczny przebieg stężeń pyłów charakteryzuje się wyraźną cykliczną zmiennością. Wartość stężeń zależy od wielkości emisji pyłu oraz od warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze, a także od intensywności procesów tworzenia się aerozolu i samooczyszczania atmosfery z pyłu.

W efekcie nakładania się zmian warunków meteorologicznych i wywołanych przez nie zmian w emisji pyłu, na zmiany emisji zanieczyszczeń wynikające z innych przyczyn (na przykład dobowy i tygodniowy cykl zmienności emisji zanieczyszczeń z komunikacji, dobowy, tygodniowy, roczny cykl zmienności emisji zanieczyszczeń z procesów technologicznych, sezonowy i zależny od temperatury powietrza cykl zmienności emisji zanieczyszczeń z ogrzewania budynków), stężenia pyłu PM10



zmieniają się w dużym zakresie. Zważywszy na powyższe, w niniejszej pracy zaprezentowano wyniki pomiarów z różnych okresów 2015 roku. Przedstawiono przebieg stężenia pyłu PM10 w skali trzech miast, na tle zmienności temperatury powietrza, czyli czynnika mającego istotny wpływ na stężenia pyłu zawieszonego w atmosferze. Podwyższone stężenia dobowe pyłu PM10 pojawiały się w sezonie chłodnym, zimowym, który to pokrywał się z sezonem grzewczym. Najwyższe stężenia występowały w okresie, gdy utrzymywały się w atmosferze niekorzystne, z punktu widzenia zanieczyszczenia powietrza, warunki meteorologiczne. W czasie tym, spadkiem temperatur (a co za tym idzie zwiększeniu związanej z ogrzewaniem budynków emisji pyłu zawieszonego), towarzyszyły sytuacje inwersyjne ze słabym wiatrem, sprzyjające kumulowaniu się zanieczyszczeń w atmosferze.

Porównanie danych z serwisu CAMS programu Copernicus z danymi Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ), zgodnie z przepisami ustawy „Prawo ochrony środowiska”, poprzez portal „Jakość Powietrza” [3], udostępnia szerokie spektrum informacji na temat jakości powietrza w Polsce oraz działań na rzecz jego poprawy. Na portalu znajdują się, między innymi, informacje o wynikach pomiarów, prowadzonych pod kątem pyłów zawieszonych w atmosferze, w tym PM10. Zarówno te sprawozdania, zawarte na stronie GIOŚ, jak również dane udostępniane przez serwis CAMS, pozwoliły na porównanie oraz podsumowanie danych o stężeniach pyłu PM10, jakie miały miejsce w wybranych okresach roku 2015. W analizie uwzględniono zarówno dane z pomiarów wykonanych z wykorzystaniem czujników naziemnych, jak i danych zgromadzonych przy użyciu pomiarów satelitarnych.

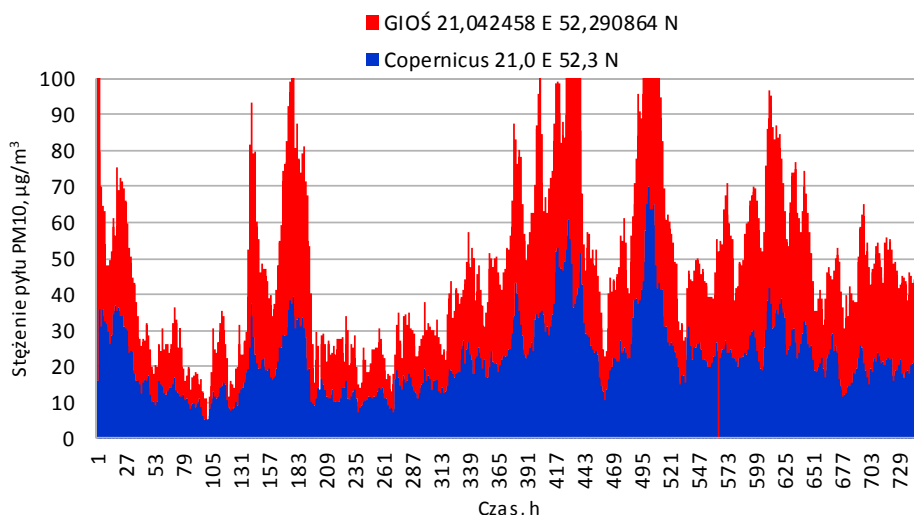
Kryterium oceny, przyjęte zarówno przez GIOŚ, jak również w niniejszym opracowaniu, były wartości dopuszczalnych stężeń pyłu PM10 w powietrzu oraz poziom ich przekraczania, w zależności od czasu ich pojawiania się. Ponadto uwzględniono obowiązujące w Polsce, według Ministerstwa Środowiska, dopuszczalne poziomy zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10, przedstawiające je w Tabeli 1.

Tab. 1. Kryteria oceny zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10

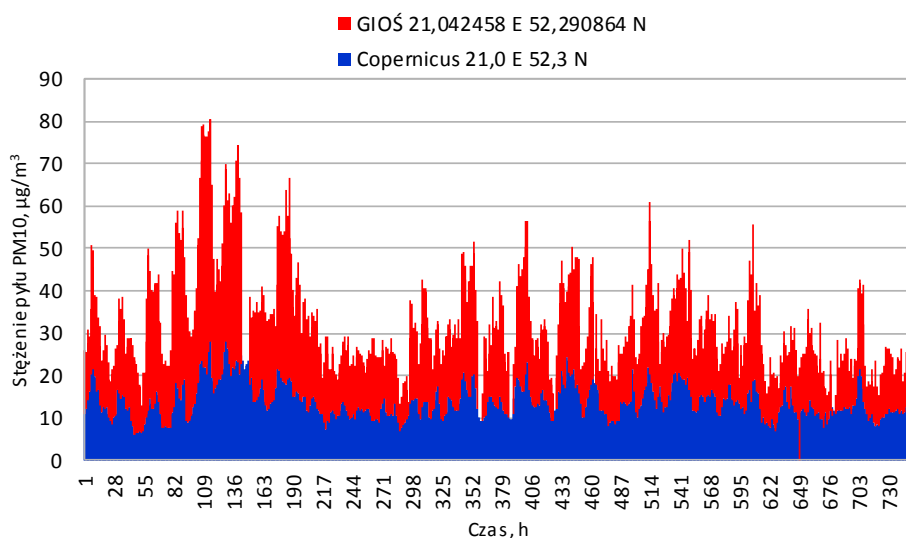
Okres uśredniania stężeń	Dopuszczalny poziom PM w powietrzu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dopuszczalna częstość przekroczenia dopuszczalnego poziomu w roku kalendarzowym
24 godziny	50	35 razy
rok kalendarzowy	40	nie dotyczy

W niniejszym opracowaniu uwzględniono pomiary z czujników naziemnych, które rejestrowały stężenia pyłów PM10 na terenie następujących miast: Warszawa (ul. Kondratowicza), Rybnik (ul. Borki) i Sulęcín (ul. Dudka) oraz odpowiadające im wartości notowane przez system satelitarny programu Copernicus z serwisu CAMS. Dokonano analizy poziomów pyłu zawieszonego w atmosferze, uwzględniając zarówno okres zimowy, jak i letni w roku 2015. Spośród serii wyników pomiarów stężeń pyłów PM10 zdecydowana większość spełniała wymagania kompletności serii pomiarowych, zarówno dla danych pobranych z portalu GIOŚ, jak również z serwisu CAMS, pozwalając tym samym na prawidłowe obliczenia oraz porównania zebranych informacji. W pracy wzięto pod uwagę miasta, gdzie zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym stanowi poważny problem (przekroczone progi dopuszczalnych stężeń pyłu PM10).

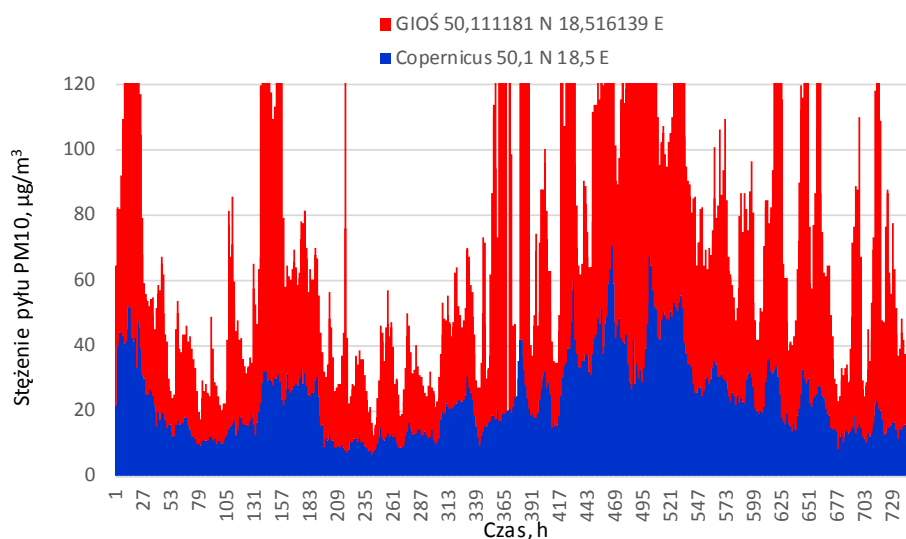
Na rys. 1-6 przedstawiono porównanie danych z CAMS (odczyty z systemu satelitarnego) oraz GIOŚ (odczyty z przyrządów na naziemnych stacjach pomiarowych), dotyczących wartości stężeń pyłów PM10 w kolejnych dniach stycznia oraz lipca 2015 r. Dane liczbowe, użyte do analizy zanieczyszczenia atmosfery pyłem PM10, zostały odczytane i przeliczone według zależności poziomu stężenia w jednostkach $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w funkcji czasu, w której następowała zmienność wspomnianego parametru. Odstęp czasowy pomiędzy odczytywanymi pomiarami to 1 godzina. Wartości stężeń pyłów PM10 udostępnione przez GIOŚ są wyższe od wartości stężeń pobranych z CAMS. Różnica ta może wynikać z innego sposobu pozyskiwania danych. Dane z GIOŚ pochodzą z lokalnych odczytów na stacjach umieszczonych na powierzchni ziemi, zaś dane CAMS są prognozowane i uśredniane dla danego obszaru, z dokładnością do $0,1^\circ$ (około $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$). Ponadto, model obliczeniowy może nie w pełni odzwierciedlać specyfikę mechanizmów powstawania pyłów na terenie Polski, fizycznych i chemicznych przemian prowadzących do powstawania wtórnych aerozoli nieorganicznych i organicznych oraz niebagatelnego udziału zanieczyszczeń pochodzących z resuspensji cząstek, które już wcześniej osiadły na powierzchni. Można zatem przypuszczać, że wartości pochodzące z modelu obliczeniowego CAMS są niedoszacowane [4]. Prognozowane dane podawane przez CAMS są również obarczone niepewnością. CAMS zapewnia [5], że dokłada wszelkich starań, aby regularnie prezentować raporty z walidacji podawanych wyników oraz, że prowadzi prace nad wprowadzeniem informacji o wartości niepewności. Niemniej jednak przebiegi zależności stężenia pyłu PM10 CAMS i GIOŚ od czasu są do siebie podobne, z wyraźnymi maksimami lokalnymi występującymi w tym samym czasie.



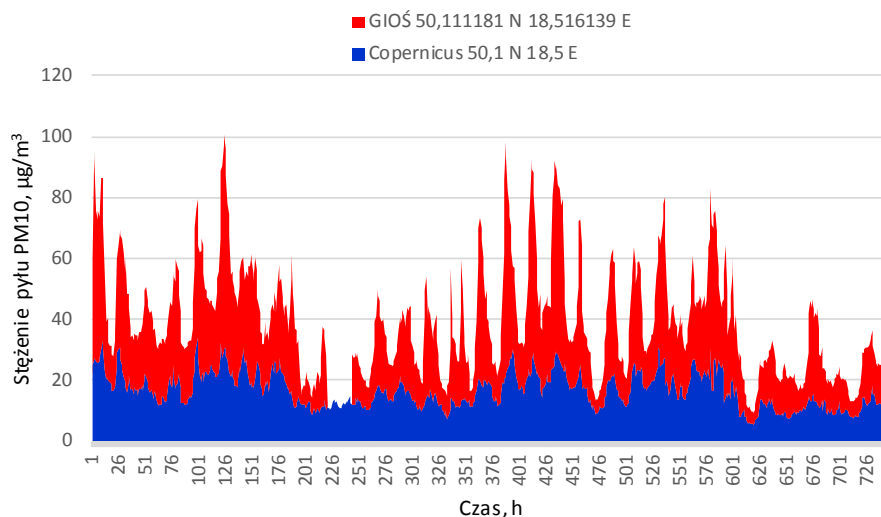
Rys. 1. Porównanie danych CAMS Copernicus i GIOŚ: stężenie pyłu zawieszonego PM10 (Warszawa, styczeń 2015 r.)



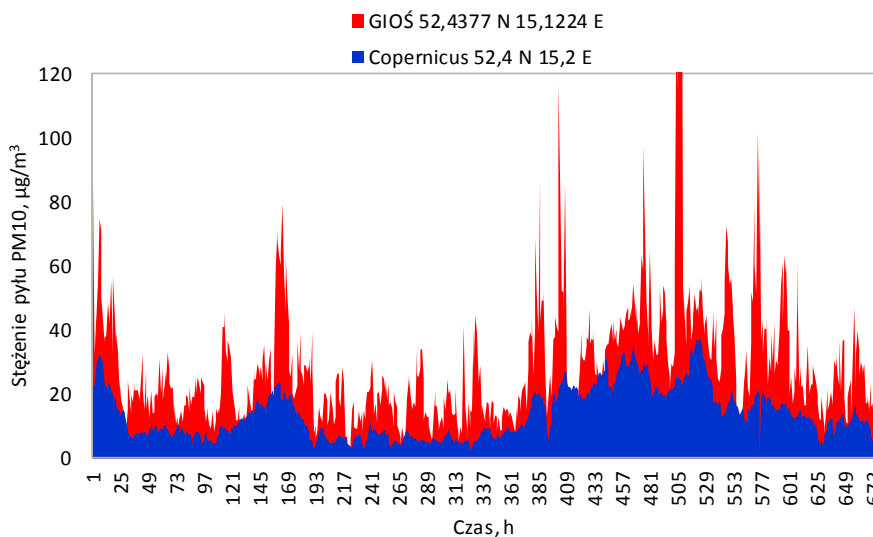
Rys. 2. Porównanie danych CAMS Copernicus i GIOŚ: stężenie pyłu zawieszonego PM10 (Warszawa, lipiec 2015 r.)



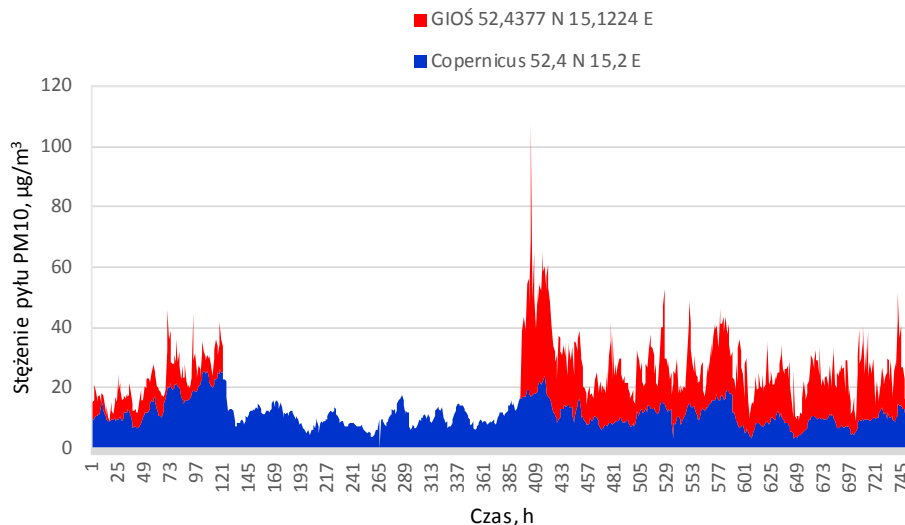
Rys. 3. Porównanie danych CAMS Copernicus i GIOŚ: stężenie pyłu zawieszonego PM10 (Rybnik, styczeń 2015 r.)



Rys. 4. Porównanie danych CAMS Copernicus i GIOŚ: stężenie pyłu zawieszzonego PM10 (Rybnik, lipiec 2015 r.)



Rys. 5. Porównanie danych CAMS Copernicus i GIOŚ: stężenie pyłu zawieszzonego PM10 (Sulęcín, styczeń 2015 r.)



Rys. 6. Porównanie danych CAMS Copernicus i GIOŚ: stężenie pyłu zawieszzonego PM10 (Sulęcín, lipiec 2015 r.)

Maksymalne stężenie pyłu PM₁₀, prezentowane przez GIOŚ, zanotowane na naziemnych stanowiskach pomiarowych w styczniu 2015 r., wynosiło od 200 µg/m³ do 300 µg/m³. Poziom dopuszczalny pyłu PM₁₀, wynoszący 50 µg/m³, został przekroczony w okresie zimowym blisko pięciokrotnie. Wartości stężeń pyłu PM₁₀ w miesiącach zimowych wyznaczone na podstawie danych liczbowych z serwisu CAMS zawierały się w zakresie (0–100) µg/m³.

W okresie zimowym na terenie Polski często kształtują się warunki pogodowe charakteryzujące się: średnią dobową temperaturą powietrza poniżej 0 °C, średnią dobową prędkością wiatru nie większą niż 1,5 m/s, brakiem opadu lub opadem śladowym, sytuacją antycyklonalną lub „zerową”. Występowanie maksymalnych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ (tak zwanych kulminacji) w tych właśnie okresach może świadczyć o tym, że największy udział w zanieczyszczeniu atmosfery na terenie Polski pyłem PM₁₀ mają emisje ze źródeł lokalnych, do których zalicza się sektor komunalno-bytowy (w tym ogrzewanie budynków mieszkalnych) oraz sektor komunikacyjny.

Podsumowanie

W artykule porównano wyniki modeli obliczeniowych programu Copernicus z danymi publikowanymi przez GIOŚ. Dane te dotyczyły stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ i obejmowały dwa wybrane miesiące 2015 r. dla trzech polskich miast: Warszawy, Rybnika i Sulęcina. Wartości stężeń podawane przez CAMS są prognozowanymi wartościami średnimi uzyskiwanymi dla obszaru o powierzchni około 100 km². Dane prezentowane przez GIOŚ natomiast pochodzą bezpośrednio z punktów pomiarowych zlokalizowanych przy powierzchni ziemi. Przebiegi zależności stężenia pyłu PM₁₀ CAMS i GIOŚ od czasu były podobne (z wyraźnymi maksimami lokalnymi występującymi w tym samym czasie), lecz wartości stężeń CAMS i GIOŚ różniły się od siebie. Przepuszczalnie wartości pochodzące z modelu obliczeniowego CAMS są niedoszacowane. Stan zanieczyszczenia powietrza pyłem

PM₁₀ okresowo znacznie przewyższał dopuszczalne normy dla pyłu zawieszonego w atmosferze, w szczególności w okresie zimowym.

Niestety, jak wskazują dane pomiarowe znajdujące się w raportach GIOŚ, emisja pyłu PM₁₀ w Polsce jest jedną z największych w Unii Europejskiej. W związku z utrzymującą się przewagą węgla w bilansie paliwowo-energetycznym Polski, emisja pyłów do atmosfery pochodzi głównie z sektora energetyki i ciepłownictwa, sektora komunalno-bytowego oraz z transportu drogowego.

Literatura

- [1] Strona internetowa Programu Copernicus www.copernicus.eu oraz witryna serwisu CAMS <http://atmosphere.copernicus.eu/>.
- [2] Norma PN-EN 12341:2014 Powietrze atmosferyczne – Standardowa grawimetryczna metoda pomiarowa do określenia stężeń masowych frakcji PM₁₀ lub PM_{2,5} pyłu zawieszonego.
- [3] Portal Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska pod nazwą „Jakość Powietrza”, dostępny na stronie internetowej <http://powietrze.gios.gov.pl/pip/home>.
- [4] Validation report of the MACC near – real time global atmospheric composition service. System evaluation and performance statistics. Status up to 1 March 2015.
- [5] Minutes of the CAMS User Workshop, Bilthoven, 13 June 2017.
- [6] Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce. Praca zespołowa pod redakcją Katarzyny Judy-Rezler i Barbary Toczko. Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2016.
- [7] Jakość powietrza w Polsce w roku 2015 w świetle wyników pomiarów prowadzonych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska. Praca wykonana na podstawie umowy nr 46/2015/F z dnia 3.11.2015 r. zawartej pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska a Instytutem Ochrony Środowiska – Państwowym Instytutem Badawczym, finansowanej ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na podstawie umowy nr 810/2014/Wn-50/MN-PO-CR/D z dnia 21.11.2014.