

ROLA MODELI KOMPUTEROWYCH W EUROPEJSKICH ZINTEGROWANYCH SYSTEMACH ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ POWIETRZA W OBSZARACH MIEJSKICH

Lucyna BRZOWSKA, Krzysztof BRZOWSKI

Streszczenie: W pracy omówiono rolę komputerowych modeli obliczeniowych w zintegrowanych systemach zarządzania jakością powietrza. Rozważania ograniczono do systemów wykorzystywanych w mezoskali przestrzennej odpowiadającej skali miasta. Przedstawiono wymagania funkcjonalne stawiane przed tą klasą systemów oraz podstawowe elementy integrowane w ramach systemów zarządzania jakością powietrza. Wskazano miejsce modeli komputerowych w ramach typowej struktury funkcjonalnej tych systemów. W dalszej części pracy analizowano wybrane zagadnienia zarządzania jakością powietrza w odniesieniu do emisji ze środków transportu drogowego. Pracę kończy krótki przegląd wybranych europejskich systemów zarządzania jakością powietrza w obszarach miejskich ze względu na ich strukturę i możliwości operacyjne.

Słowa kluczowe: Modele komputerowe, system zarządzania, transport, jakość powietrza.

1. Wprowadzenie

W Europie w obszarach aglomeracji miejskich mieszka prawie 80% populacji. W rejonach tych skoncentrowana jest także większość przemysłu i infrastruktury transportowej. Działania podejmowane w przeciągu ostatnich dekad w celu ograniczenia pogarszania jakości powietrza w związku z emisją przemysłową oraz emisją związaną z eksploatacją środków transportu doprowadziło do poprawy ogólnej sytuacji. Jednakże następujący w tym samym czasie równoczesny wzrost liczby eksploatowanych środków transportu a co za tym idzie również natężenia ruchu przekłada się do dzisiaj na niezadowalającą jakość powietrza oraz znaczną emisję hałasu w wielu miastach Europy [15]. Pomimo wprowadzania przez Komisję Europejską coraz bardziej restrykcyjnych wymagań w zakresie dopuszczalnej emisji związków szkodliwych przez silniki nowo produkowanych pojazdów, w dłuższym okresie czasu znacząca poprawę w obszarach miejskich będzie można osiągnąć poprzez zmiany w mobilności obejmujące zarówno transport indywidualny jak i publiczny. Realizacja zmian wymagać będzie zarówno działań związanych z przebudową infrastruktury i sieci transportowych jak również relokacją obszarów przemysłowych i usługowych w taki sposób, aby wyprowadzić główne potoki transportowe poza centra miast i osiedla mieszkaniowe [15].

Do czasu realizacji tej optymalnej długoterminowej strategii, wymagane jest wdrażanie nowych sposobów i narzędzi zarządzania jakością powietrza, które pozwolą w obszarach miejskich na ocenę aktualnej jakości powietrza i poziomu hałasu w czasie bliskim rzeczywistości i podjęcie odpowiednich działań zaradczych. Stężenia związków szkodliwych w powietrzu atmosferycznym oraz poziom hałasu mogą być ograniczane poprzez wprowadzanie efektywnych mechanizmów zarządzających infrastrukturą i ruchem drogowym w obrębie aglomeracji miejskich. Jednocześnie niezastąpionymi, a przy tym wymaganymi

poprzez odpowiednie regulacje prawne EU, stają się odpowiednie modele umożliwiające wiarygodny opis procesów transportowych oraz analizę jakości powietrza i poziomu hałasu, które powinny być wykorzystywane do oceny skuteczności opracowywanych strategii zarządzania przed ich, kosztownym z reguły, wdrożeniem do praktyki [2, 15]. Tym zagadnieniom poświęcony był między innymi projekt HEAVEN, w ramach którego opracowano projekt systemu podejmowania decyzji, wykorzystywany do oceny oddziaływania środowiskowego, zarówno w odniesieniu do hałasu, jak i emisji związków szkodliwych spalin [6].

2. Struktura funkcjonalna zintegrowanego systemu zarządzania jakością powietrza w obszarach miejskich

W odniesieniu do europejskiej polityki w zakresie ochrony powietrza atmosferycznego oczekiwanym celem wdrożenia i implementacji systemów zarządzania jakością powietrza w obszarach miejskich jest przede wszystkim uzyskanie następujących możliwości:

- pozyskiwania w krótkim okresie czasu informacji o ruchu drogowym oraz stężeniu zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym jak i poziomie hałasu,
- wykonywania oceny skuteczności ekologicznej aktualnej strategii transportowej,
- przeprowadzania analiz planowanych scenariuszy w zakresie strategii zarządzania transportem pomocnych w identyfikacji rozwiązania optymalnego ze względu na stosunek zysków ekologicznych do poniesionych nakładów,
- informowania użytkowników systemu oraz społeczeństwa o aktualnym i przewidywanym zanieczyszczeniu powietrza i poziomie hałasu,
- wykorzystywania systemu w procesie formułowania lokalnej polityki ochrony powietrza i tworzenia planu jego ochrony.

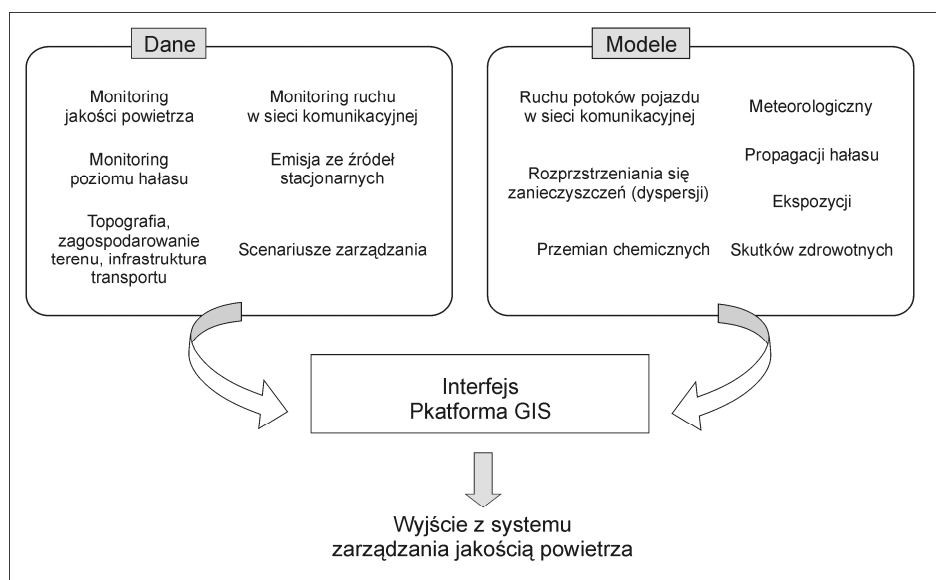
Wobec powyższego, zaimplementowany, operacyjny zintegrowany system zarządzania jakością powietrza w obszarze miasta powinien [12]:

- zapewniać dostęp do danych z sieci monitoringu w czasie bliskim rzeczywistemu wraz z bezpośrednią możliwością ogólnodostępnej prezentacji stanu jakości powietrza (Internet, serwisy GSM),
- być wyposażony w odpowiednie narzędzia wizualizacyjne umożliwiające prezentację wyników, zarówno dla użytkowników systemu, jak i mieszkańców zarządzanego obszaru, za pośrednictwem różnych mediów,
- wspomagać sterowanie aktywnością krótkookresowych działań i strategii zarządzania w celu ograniczenia poziomu stężeń zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym,
- wykonywać ocenę stanu aktualnego i udostępniać możliwość oceny i analizy zmian czasowo-przestrzennych dla danych archiwizowanych w systemie,
- prognozować krótkookresowe zmiany jakości powietrza (prognoza na następny dzień) i je upubliczniać,
- posiadać odpowiednie narzędzia planistyczne umożliwiające wykonywanie obliczeń prognostycznych jakości powietrza dla planowanych strategii rozwoju i obniżania stężeń zanieczyszczeń,
- udostępniać narzędzia do budowy efektywnych ekonomicznie strategii zarządzania z możliwością porównania kosztów planowanych na realizację z wartością dodaną wprowadzenia danej strategii, w tym narzędzie poszukujące rozwiązania optymalnego w danym zakresie możliwych strategii działania.

Wśród wymienionych głównych oczekiwanych funkcjonalności systemu zarządzania jakością powietrza w obszarach miejskich, trzy ostatnie wymagają implementacji odpowiednich obliczeniowych modeli komputerowych. W szczególności samo prognozowanie zmian jakości powietrza oraz poziomu hałasu wymaga stosowania kilku specjalizowanych modeli, w tym przede wszystkim:

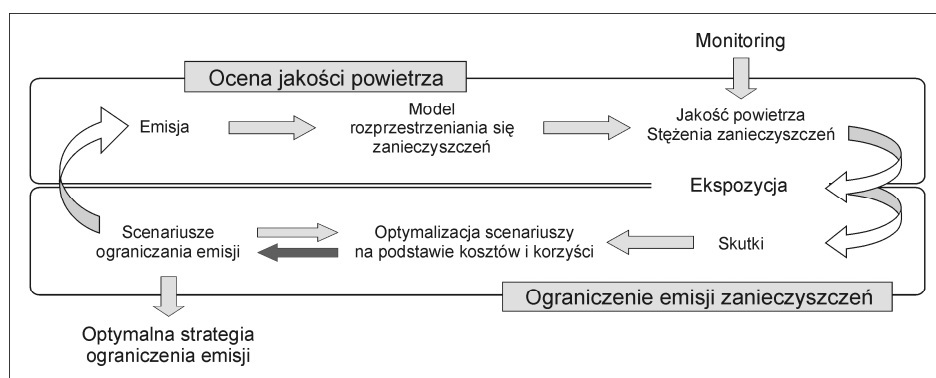
- modelu meteorologicznego (poła prędkości powietrza),
- modelu emisji związków szkodliwych i modelu emisji hałasu w powiązaniu z modelem ruchu w sieci transportowej,
- modelu rozprzestrzeniania się związków szkodliwych i ich przemian w atmosferze oraz modelu propagacji hałasu.

Modele te mogą należeć do różnych klas w zależności od rozpatrywanych skal przestrzennych i czasowych [3]. Inne wymagania w stosunku do danych wejściowych, dokładności, struktury i szczegółowości opisu procesu determinują wykorzystywanie różnych modeli w mikro i mezoskali przestrzennej [2, 3]. Dotyczy to w równym stopniu każdego z wymienionych modeli. Należy tutaj jednak dodać, że w pewnym ograniczonym zakresie (bez możliwości dokładnej analizy rozkładów przestrzennych), przewidywanie krótkookresowe można realizować również przy użyciu metod sztucznej inteligencji, szczególnie sztucznych sieci neuronowych. Z kolei prowadzenie analiz efektywności ekonomicznej rozważanych strategii zarządzania z możliwością porównania kosztów planowanych na realizację z wartością dodaną wprowadzenia danej strategii wymaga dodatkowo modelu ekspozycji i modelu ryzyka (skutków zdrowotnych). Poszczególne elementy, które są integrowane w ramach systemu zarządzania jakością powietrza przedstawiono na rys. 1. Środowiskiem integracyjnym jest system informacji przestrzennej, umożliwiający zarządzanie, udostępnianie i wizualizację danych przechowywanych i przetwarzanych w systemie



Rys. 1. Główne elementy integrowane w ramach systemów zarządzania jakością powietrza

Problematyka tworzenia, utrzymywania i wykorzystywania zintegrowanych systemów zarządzania jakością powietrza dla obszarów miejskich była jednym z elementów europejskiego podprogramu SATURN realizowanego w ramach szerszego programu EUROTRAC-2. Wyniki analiz dotyczących sposobów integracji poszczególnych elementów systemu wraz z syntetycznym opisem jedenastu systemów zarządzania jakością powietrza, wykorzystywanych i rozwijanych w ramach tego projektu, przedstawiono w pracy [12]. Poszczególne elementy wchodzące w skład zintegrowanego systemu zarządzania jakością powietrza można pogrupować ze względu na zadania, w jakich są one bezpośrednio wykorzystywane. Na tej podstawie, wyróżnić można grupę elementów wykorzystywanych w procesie oceny jakości powietrza oraz grupę elementów wykorzystywanych w analizie skuteczności strategii zmniejszenia stężeń zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym. Typową strukturą funkcjonalną systemu zarządzania jakością powietrza wraz z przyporządkowaniem poszczególnych elementów do danej grupy przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Struktura funkcjonalna elementów zintegrowanego systemu zarządzania jakością powietrza na podstawie pracy [12]

Jak można zauważyć, zarówno proces oceny jakości powietrza, jak i proces podejmowania decyzji, a więc optymalnego (ze względu na stosunek kosztów do zysków) wdrażania strategii zmniejszania zanieczyszczenia powietrza nie można zrealizować bez odpowiednich modeli komputerowych. Przy tym, jedynie do oceny stanu bieżącego można wykorzystywać, zamiast wyników modelowania, odpowiednie techniki interpolacyjno-ekstrapolacyjne wyników monitoringu (natężenia ruchu, struktury rodzajowej, stężeń zanieczyszczeń, poziomu hałasu). Jednakże już w przypadku analiz prognostycznych, szczególnie długookresowych lub związanych ze zmianami w strategii organizacji ruchu drogowego, modele komputerowe pozostają jedynym dostępnym narzędziem. W tym aspekcie istotne jest implementowanie wiarygodnych modeli, tj. takich, które wcześniej zostały poddane procesowi weryfikacji i walidacji.

3. Zarządzanie jakością powietrza w odniesieniu do emisji ze środków transportu drogowego

Wprowadzenie systemu zarządzania jakością powietrza leży w interesie lokalnych społeczności i władz w każdym z miast, w których dochodzi do przekraczania dopuszczalnych poziomów stężeń zanieczyszczeń (tzw. epizody przekroczeniowe). Brak takiego systemu skutkuje wprowadzaniem w odpowiedzi na występujące epizody strategii z założenia tymczasowych. Opóźniane jest w ten sposób wprowadzenie rozwiązań strukturalnych i strategii kompleksowych, wyłonionych z wykorzystaniem analiz modelowych, które dałyby znacznie lepsze efekty. Dla przykładu, staje się wręcz tradycją sposób chronienia centrów miast i obszarów wrażliwych poprzez całkowity lub częściowy (np. wykluczający niektóre kategorie pojazdów, czy ograniczony w czasie) zakaz ruchu pojazdów w ich obrębie [7]. Niemniej jednak pytanie o efekty podejmowania takich działań, w kontekście prawdopodobnego istnienia lepszych rozwiązań, bez wcześniejszej analizy modelowej pozostaje wciąż otwarte. Zakres możliwych interwencji i sposobów działania podejmowanych przez lokalne władze w celu redukcji i minimalizacji zanieczyszczenia powietrza obejmuje rozwiązania o różnej kosztocłonności. Zastosowanie modeli obliczeniowych umożliwia wyłonienie tych o najkorzystniejszym stosunku poniesionych kosztów do uzyskanego efektu. Niestety rozwiązania, które przyniosłyby najsilniejszy efekt są trudne do uzyskania, podczas gdy te niskokosztowe i łatwe w zastosowaniu nie prowadzą często do znaczącego polepszenia jakości powietrza.

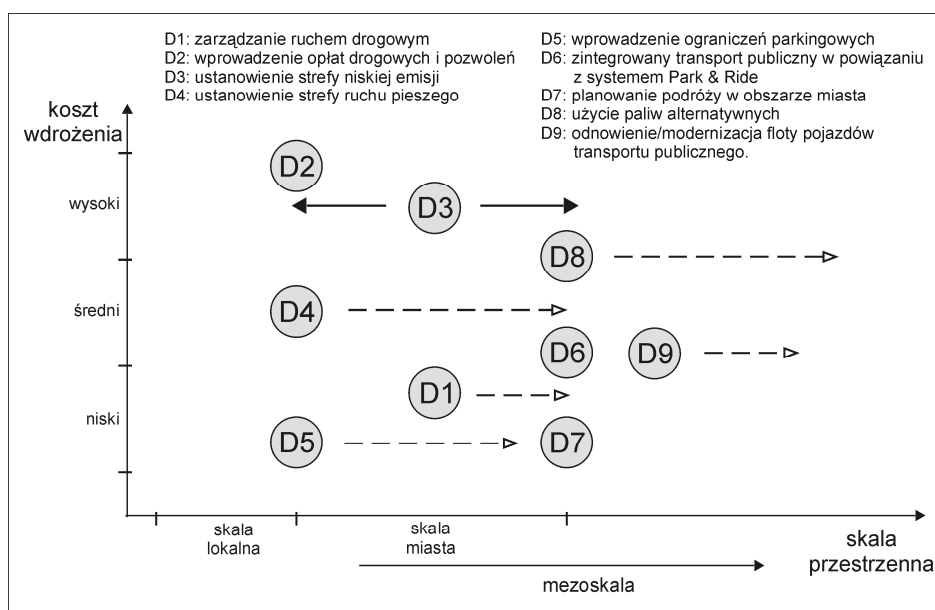
Funkcjonujące w niektórych miastach Europy systemy zarządzania jakością powietrza umożliwiają lokalnej administracji opracowanie skutecznego planu działań z wykorzystaniem tych strategii zarządzania, które z jednej strony zostały wskazane na podstawie wcześniejszej analizy przydatności jako prowadzące do uzyskania maksymalnego efektu, a z drugiej są do zaakceptowania przez społeczność mieszkańców miasta. Wybór pomiędzy możliwymi do zastosowania strategiami zarządzania i realizowanym później sposobami redukcji zanieczyszczenia powietrza zależy również od takich czynników jak [7]:

- położenie geograficzne, topografia i plan zagospodarowania miasta,
- istniejąca infrastruktura (w tym komunikacyjna),
- ograniczenia polityczno-ekonomiczno-społecznościowe.

Zakres możliwych działań, w odniesieniu do strategii redukcji emisji zanieczyszczeń ze środków transportu drogowego obejmuje przede wszystkim [7]:

- D1.: odpowiednie zarządzanie ruchem drogowym (czasowe zamykanie ruchu na niektórych ulicach, czasowa zmiana prędkości dopuszczalnej, zmiana kierunku ruchu, pasy ruchu wyłącznie dla komunikacji publicznej itp.), realne (opłacalne) tylko jeżeli system sterowania ruchem drogowym już istnieje,
- D2: wprowadzenie opłat drogowych i pozwoleń,
- D3: ustanowienie strefy niskiej emisji,
- D4: ustanowienie strefy ruchu pieszego,
- D5: wprowadzenie ograniczeń parkingowych,
- D6: zintegrowany transport publiczny w powiązaniu z systemem Park & Ride,
- D7: planowanie podróży w obszarze miasta,
- D8: użycie paliw alternatywnych,
- D9: odnowienie/modernizacja floty pojazdów transportu publicznego.

Na rys. 3 przedstawiono relacje kosztu wprowadzenia danego rozwiązania w stosunku do skali przestrzennej, w której będzie zauważalny pozytywny efekt w zakresie polepszenia jakości powietrza.

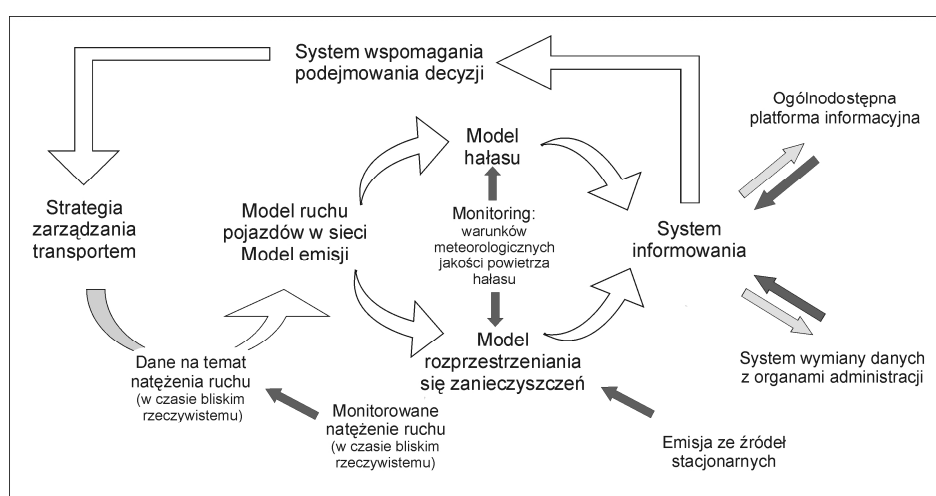


Rys. 3. Relacja kosztu strategii redukcji emisji zanieczyszczeń w stosunku do skali przestrzennej w której efekt będzie zauważalny

Należy podkreślić, że modele komputerowe wykorzystywane w procesie zarządzania jakością powietrza, umożliwiając wstępną ocenę skutków wprowadzenia poszczególnych rozwiązań. Na podstawie wyników symulacji można dokonać wyboru jednej lub kilku komplementarnych strategii. Proces wyboru strategii nie jest jednak działaniem ograniczonym jedynie do interpretacji wyników symulacji komputerowych. W szczególności wybór krótkookresowej (taktycznej) strategii wymaga zastosowania odpowiedniej metodyki, związanej z procesem podejmowania decyzji. Odpowiednia metodyka jest jednak dostępna, np. w przypadku realizacji strategii D1 związanej z odpowiednim zarządzaniem ruchem drogowym (a więc w warunkach krótkiego okresu czasu na podjęcie decyzji) wykorzystać można gotową architekturę systemu podejmowania decyzji wypracowanego w ramach projektu HEAVEN.

Podstawowym celem tego projektu, realizowanego w ramach V Programu Ramowego UE było opracowanie i wdrożenie systemu wspomagania decyzji, który znajdzie zastosowanie w zadaniu ewaluacji efektów środowiskowych (w zakresie jakości powietrza i poziomu hałasu) wynikających z wdrożenia systemu zarządzania transportem w dużych obszarach miejskich. W ramach projektu opracowano nowe narzędzia oceny wpływu ruchu drogowego na jakość powietrza i poziom hałasu w czasie bliskim rzeczywistości, łącząc systemy monitoringu z systemami symulacyjnymi (modele prognostyczne rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń i hałasu) i w konsekwencji tworząc zintegrowany

system o budowie modułowej. System testowano w warunkach rzeczywistych w takich europejskich miastach jak Berlin, Leicester, Paryż, Praga, Rzym i Rotterdam. W każdym z przypadków wprowadzając zróżnicowane działania uzyskano pozytywny efekt ekologiczny, a więc zmniejszenie poziomu stężeń i hałasu [6]. Cechą charakterystyczną systemu jest stały monitoring ruchu kołowego, dostarczający danych wejściowych do modeli emisji w czasie rzeczywistym (mała zwłoka), oraz możliwość pracy w systemie online, jak i offline, w celu ewaluacji średnio- lub długoterminowych koncepcji zarządzania transportem, ze względu na hałas oraz stężenia związków szkodliwych spalin [9]. Podstawowe elementy tego systemu przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Elementy systemu wspomagania podejmowania decyzji zaproponowanego w ramach projektu HEAVEN na podstawie pracy [9]

Na zakończenie można dodać, że architektura systemu HEAVEN została zaprojektowana i zrealizowana jako otwarta, co oznacza, że umożliwia integrację nowych modułów (modeli).

4. Przegląd wybranych europejskich systemów zarządzania jakością powietrza w obszarach miejskich ze względu na ich strukturę i możliwości operacyjne

Systemy zarządzania jakością powietrza w obszarach miejskich, których próby zastosowań zostały opisane w literaturze, mają różną strukturę a więc implementują niekoniecznie wszystkie modele składowe, przedstawione wcześniej na rys. 1. Wobec powyższego funkcjonalność operacyjna poszczególnych rozwiązań jest różna, niemniej jednak każdy z systemów spełnia co najmniej rolę narzędzia wspomagającego proces decyzyjny. Do takich systemów zarządzania jakością powietrza w obszarach miejskich można zaliczyć między innymi: SIMTRAP [16], AirGIS [8], TEMMS [14], MOBILEE [11], ARIA-Regional [4], FUTURE [5] oraz systemy przedstawione w pracach [1, 10, 13].

System SIMTRAP (S1) przedstawiony w pracy [16] składa się z modeli: ruchu pojazdów i emisji, meteorologicznego i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń oraz modelu

przemian chemicznych. Poszczególne modele zintegrowano z wykorzystaniem systemu informacji przestrzennej, który dostarcza jednocześnie narzędzi do interpretacji i wizualizacji wyników obliczeń. Ze względu na zastosowanie modelu ruchu pojazdów system może być zastosowany do oceny i implementacji strategii redukcji emisji zanieczyszczeń ze środków transportu drogowego poprzez odpowiednie zarządzanie ruchem drogowym (działanie D1). Ze względu na założenia poczynione w modelach: meteorologicznym i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń nie będzie przydatny w analizie oddziaływania w mikroskali przestrzennej.

W pracy [8] przedstawiono projekt systemu AirGIS (S2) do zarządzania jakością powietrza w dużych duńskich miastach. Cechą wyróżniającą system jest implementacja modelu ekspozycji. Ze względu na zastosowanie hybrydowego modelu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, system można zastosować do oceny skuteczności strategii zarządzania jakością powietrza w mezoskali przestrzennej (skala miasta). Możliwe są również analizy w mikroskali przestrzennej, jednakże ograniczone ze względu na brak modelu meteorologicznego. System zintegrowano z platformą GIS ArcView.

Zagadnienie ekspozycji populacji miejskiej było realizowane również z wykorzystaniem innego systemu (S3), między innymi w Helsinkach [10]. Przedstawiony system, ze względu na model rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń znajduje zastosowanie wyłącznie w mezoskali, a brak modelu ruchu potoku pojazdów ogranicza jego przydatność. Jako postprocessor i integrator wyników dla całego systemu wykorzystano system GIS MapInfo. Przedstawione w pracy [10] wyniki ilustrują średni wskaźnik ekspozycji.

Kolejnym systemem wspierającym zadania związane z oceną jakości powietrza w obszarach miejskich jest system TEMMS (S4) przedstawiony w pracy [14]. System TEMMS umożliwia modelowanie jakości powietrza w mikro i mezoskali przestrzennej, ale podobnie jak w jednym z systemów wcześniej omawianych, ze względu na brak modelu meteorologicznego, możliwości analizy jakości powietrza w mikroskali przestrzennej są ograniczone. Całość systemu zintegrowano z wykorzystaniem MapInfo.

Niektóre z systemów są z kolei predysponowane do zadań oceny jakości powietrza w mikroskali, np. systemy (S5, S6) przedstawione w pracach [1, 13]. Ze względu między innymi na wykorzystywane prognostyczne meteorologiczne modele numeryczne (klasy CFD), i co za tym idzie znacznie mniejszą efektywność czasową symulacji, systemy te nie znajdują zastosowania w zadaniach analizy skuteczności krótkoterminowych działań.

Z kolei system ARIA-Regional (S7) jest systemem wspierającym zarządzanie jakością powietrza wyłącznie w mezoskali, przekraczającej nawet skalę przestrzenną miasta [4]. System ten składa się z kilku modeli, przy czym największe ograniczenie systemu stanowi zastosowany inwentaryzacyjny model emisji. Stąd system ten można wykorzystać do analiz skuteczności podejmowanych strategii w zakresie działań, których efekty środowiskowe są widoczne w skali miasta lub większej (głównie działania D8 i D9).

Z nowszych systemów warto wymienić systemy MOBILEE (S8) i FUTURE (S9). Pierwszy z systemów przedstawiono w pracy [11]. To co wyróżnia MOBILEE to mikroskopowy model ruchu potoku pojazdów, który umożliwia wykorzystanie systemu do oceny skuteczności strategii redukcji emisji zanieczyszczeń poprzez odpowiednie zarządzanie ruchem drogowym. Niestety w systemie brak zintegrowanego modelu meteorologicznego, co ogranicza, podobnie jak w przypadku dwóch innych wcześniej opisywanych systemów, jego zastosowanie do oceny zmian jakości powietrza w mikroskali i to pomimo implementacji jednego z najbardziej adekwatnych w modelowaniu mikroskalowym modelu emisji. Autorzy nie podają szczegółów dotyczących oprogramowania integrującego system.

Drugi z wymienionych systemów, FUTURE [5], zbudowano dla Turynu jako wynik realizacji projektu badawczego FUMAPEX, w ramach V Programu Ramowego UE. W systemie zintegrowano model meteorologiczny z modelem rozprzestrzenia się związków szkodliwych spalin i modelem przemian chemicznych. Pomimo założeń projektu system nie posiada modelu ekspozycji. Ograniczenia wynikające z braku modelu potoku pojazdów i zastosowania uproszczonego inwentaryzacyjnego modelu emisji nie pozwalają na wykorzystanie tego systemu w analizach mikroskalowych. System FUTURE zaimplementowano w Turynie dla rozdzielczości siatki przestrzennej 1 km.

Zbiorcze porównanie struktury analizowanych europejskich systemów zarządzania jakością powietrza w obszarach miejskich przedstawiono w tabeli 1. W żadnym z prezentowanych systemów nie zaimplementowano modelu propagacji hałasu, choć w przypadku systemów posiadających model ruchu potoku pojazdów byłoby to stosunkowo proste.

Tab. 1. Porównanie struktury analizowanych europejskich systemów zarządzania jakością powietrza w obszarach miejskich

System	Model ruchu potoku pojazdów	Model emisji	Model meteorologiczny	Model dyspersji	Przemiany chemiczne NOx	Model ekspozycji	Integracja – GIS	Zastosowanie Mikro/Mezokal
S1	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak	Nie/Tak
S2	Nie	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak*/Tak
S3	Nie	Tak	Nie	Tak -2	Tak	Tak	Tak	Nie/Tak
S4	Nie	Tak	Nie	Tak -2	Tak	Nie	Tak	Tak*/Tak
S5	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Tak	Tak/Nie
S6	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak/Nie
S7	Nie	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie	b.d.	Nie/Tak
S8	Tak	Tak	Nie	Tak -2	Tak	Nie	b.d.	Tak*/Tak
S9	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	b.d.	Nie/Tak

(*) w ograniczonym zakresie

5. Podsumowanie

Efektywny zintegrowany system zarządzania jakością powietrza powinien dostarczać decydom i lokalnej społeczności informacji o stanie aktualnym oraz o przewidywanej w przyszłości jakości powietrza oraz poziomie hałasu, a także wskazywać obszary, w których zanotowano epizody przekroczeniowe, lub dla których prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest wysokie. W tym kontekście rola komputerowych modeli obliczeniowych w miejskich systemach zarządzania jakością powietrza jest pierwszoplanowa. Modelowanie komputerowe wykorzystywane jest nie tylko w celu identyfikacji stanu aktualnego, bo w tym zadaniu może być zastąpione poprzez sieć zdalnego monitoringu, ale przede wszystkim w przypadku przygotowywania scenariuszy i planów naprawczych, związanych z przyjętą strategią zarządzania jakością powietrza w zakresie oceny skutków ekologicznych planowanych i podejmowanych działań.

Literatura

1. Borrego C., Tchepel O., Costa A.M., Amorim J.H., Miranda A.I.: Emission and dispersion modelling of Lisbon air quality at local scale. *Atmospheric Environment* 37, 2003, 5197-5205.
2. Brzozowska L., Brzozowski K., Draj Ł.: Transport drogowy a jakość powietrza. Modelowanie komputerowe w mezoskali. WKŁ, Warszawa, 2009.
3. Brzozowski K.: Mikroskalowe modele emisji i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń samochodowych. Wydawnictwo ATH, Rozprawy Naukowe nr 18, Bielsko-Biała, 2006.
4. Calori G., Clemente M., De Maria R., Finardi S., Lollobrigida F., Tinarelli G.: Air quality integrated modeling in Turin urban area. *Environmental Modelling & Software* 21, 2006, 468-476.
5. Finardi S., De Maria R., D'Allura A., Cascone C., Calori G., Lollobrigida F.: A deterministic air quality forecasting system for Torino urban area, Italy. *Environmental Modelling & Software* 23, 2008, 344-355.
6. Healthier Environment through Abatement of Vehicle Emission and Noise. Project Heaven, IST-1999-112444. Final Report, 2003.
7. Hodges N., Obszynska J., Lad Ch., Swaton R.: Air Quality Management Guidebook. CiteAir Project Report, 2007.
8. Jensen S.S., Berkowicz R., Hansen H.S., Hertel O.: A Danish decision-support GIS tool for management of urban air quality and human exposures. *Transportation Research Part D* 6, 2001, 229-241.
9. Kazmukova M., Janota J., Písa V.: Air pollution abatement in Prague city. *Reviews in Environmental Sciences and Biotechnology* 5, 2006, 399-414.
10. Kousa A., Kukkonen J., Karppinen A., Aarnio P., Koskentalo T.: A model for evaluating the population exposure to ambient air pollution in an urban area. *Atmospheric Environment* 36, 2002, 2109-2119.
11. Mensink C., Cosemans G.: From traffic flow simulations to pollutant concentrations in street canyons and backyards. *Environmental Modelling & Software* 23, 2008, 288-295.
12. Moussiopoulos N.(ed.): SATURN. Studying atmospheric pollution in urban areas. Final Report, Thessaloniki, 2003.
13. Mumovic D., Crowther J.M., Stevanovic Z.: Integrated air quality modelling for a designated air quality management area in Glasgow. *Building and Environment* 41, 2006, 1703-1712.
14. Namdeo A., Mitchell G., Dixon R.: TEMMS: an integrated package for modeling and mapping urban traffic emissions and air quality. *Environmental Modelling & Software* 17, 2002, 179-190.
15. Nussio F., Moreto F., Bartolini P., Cagnoli M., Mastropaolo P., Heich H-J.: Transferring a traffic environment model chain to an European Region. CiteAir Project Report: Component 4 -Transfer Guidebook, 2007.
16. Schmidt M., Schäfer R-P.: An integrated system for traffic induced air pollution. *Environmental Modelling & Software* 13, 1998, 295-303.

Dr inż. Lucyna BRZOZOWSKA

Dr hab. inż. Krzysztof BRZOZOWSKI, prof. ATH

Katedra Informatyki Stosowanej, Wydział Zarządzania i Informatyki

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała

tel./fax (33) 8279 289; e-mail: kbrzozowski@ath.eu; www.cst.ath.bielsko.pl