

Justyna SORDYL, Krzysztof BRZOZOWSKI

CHARAKTERYSTYKA LOKALNEJ ZABUDOWY NA POTRZEBY LOKALIZACJI STACJI SYSTEMU MONITORINGU ODDZIAŁYWANIA RUCHU DROGOWEGO

Zapobieganie nadmiernemu obciążeniu środowiska w wyniku emisji ze środków transportu wymaga skutecznego systemu monitoringu. Skuteczność takiego systemu w pierwszej kolejności determinuje właściwa lokalizacja. W artykule przedstawiono sposób oceny potencjalnych lokalizacji w obszarze skrzyżowań ze względu na charakter lokalnej zabudowy. Jako miarę ilościową zaproponowano wykorzystanie stopnia widoczności nieba. Do jej wyznaczenia wykorzystano dwie metody, wskazując na wysoką korelację uzyskanych wyników dla wybranych skrzyżowań w Bielsku-Białej.

WSTĘP

Tworzenie systemu zarządzania jakością powietrza w obszarze miejskim umożliwiające podejmowanie decyzji w zakresie realizowanych scenariuszy sterowania ruchem drogowym wymaga odpowiednio przygotowanej sieci monitoringu. Zadaniem sieci monitoringu jest rejestracja w czasie rzeczywistym zarówno warunków ruchowych jak i wielkości charakteryzujących stopień oddziaływania ruchu drogowego na środowisko. Monitoring ruchu stanowi przy tym bezpośrednie źródło danych dla algorytmu sterowania w ramach inteligentnego systemu transportowego, natomiast informacja o poziomie oddziaływania ruchu na środowisko stanowi źródło danych umożliwiające modyfikację funkcji celu realizowanego przez system i tym samym wprowadzanie zmodyfikowanych scenariuszy zarządzania ruchem.

W związku z powyższym, zagadnienie właściwej lokalizacji stacji monitoringu oddziaływania ruchu drogowego stanowi istotny problem w kontekście implementacji systemu zarządzania ruchem. Ponieważ w pierwszej kolejności realizowane strategie zarządzania ruchem powinny umożliwiać zapobieganie tzw. epizodom emisyjnym, czyli powstawaniu wysokich poziomów stężeń w sąsiedztwie układów komunikacyjnych, monitoring stopnia oddziaływania powinien być realizowany w tych lokalizacjach, w których prawdopodobieństwo ich występowania jest największe. Będą to zatem te lokalizacje, w których ruch drogowy ma decydujący wpływ na poziom stężeń zanieczyszczeń powietrza. Poziom tego oddziaływania kwantyfikowany poprzez stężenia zanieczyszczeń zależy przede wszystkim od [1,2]:

- liczby, rodzaju i wzajemnego położenia źródeł,
- natężenia emisji każdego ze źródeł,
- intensywności rozpraszania zdeterminowanej warunkami atmosferycznymi, ukształtowaniem terenu oraz charakterem lokalnej zabudowy.

Potencjalne lokalizacje stacji monitoringu obejmować będą zatem te obszary lokalne, w których przede wszystkim występuje wysoki poziom emisji ze środków transportu drogowego a charakter zabudowy powoduje zaburzenie swobodnej wymiany powietrza prowadząc do zmniejszenia intensywności rozpraszania wyemitowanych zanieczyszczeń. Jednym z istotnych kryteriów lokalizacji stacji monitoringu oddziaływania ruchu drogowego na jakość powietrza jest ocena charakteru lokalnej zabudowy wokół ciągu komunikacyjnego. Istotność wpływu lokalnej zabudowy na warunki determinujące proces rozpraszania zanieczyszczeń omówiono w kolejnym punkcie.

1. ISTOTNOŚĆ CHARAKTERU LOKALNEJ ZABUDOWY

Proces rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń gazowych prowadzący do obniżania się poziomu stężenia powstałego w wyniku emisji w obszarze ciągów komunikacyjnych jest wynikiem działania trzech głównych mechanizmów:

- adwekcji – czyli unoszenia zanieczyszczeń w powietrzu w kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu powietrza,
- dyfuzji molekularnej i turbulentnej, przy czym rozpraszanie turbulenne wynika nie tylko z charakteru ośrodka, ale jest również powodowane oddziaływaniem powstałym w wyniku ruchu strumienia pojazdów,
- przemian chemicznych (w tym rozpadu), ten mechanizm jest jednak istotny tylko w przypadku tlenków azotu emitowanych z silników pojazdów, bowiem jedynie w przypadku NO_x skala przestrzenno-czasowa, w jakiej zachodzą reakcje ma znaczenie przy rozpatrywaniu oddziaływania transportu na jakość powietrza w najbliższym otoczeniu ciągu komunikacyjnego.

Mając na uwadze przedstawione mechanizmy determinujące proces rozpraszania zanieczyszczeń, łatwo skonstatować, że skuteczność adwekcyjno-turbulentnego transportu zanieczyszczeń w obszarze ciągu komunikacyjnego jest warunkowana nie tylko stanem ośrodka (powietrza), ale jest także wypadkową szeregu czynników. W warunkach rzeczywistych otoczenie źródła emisji stanowi istotną determinantę w odniesieniu do lokalnych (mikroskalowych) warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. W przypadku ciągów komunikacyjnych podstawową powszechnie wykorzystywaną miarą charakteryzującą lokalne warunki jest wskaźnik proporcji, zdefiniowany, jako iloraz wysokości zabudowy otaczającej ciąg komunikacyjny do jego szerokości. Niemniej jednak charakterystyka lokalnej zabudowy na potrzeby lokalizacji stacji monitoringu z zastosowaniem wyłącznie wskaźnika proporcji może zostać uznana za jednoznaczna wyłącznie dla układu komunikacyjnego, którego jezdnia zajmuje położenie centralne względem równoległych ścian budynków tworzących kanion uliczny o jednakowej wysokości z obu stron. Różnicowane wysokości budynków sąsiadujących z układem komunikacyjnym (w tym kształt dachów), przerwy w zabudowie (rejon m.in. skrzyżowań) a także niecentralne umieszczenie jezdni oraz wzajemne położenie budynków ma istotne znaczenie w kontekście warunków rozpraszania [1]. Oznacza to, że do oceny potencjalnych lokalizacji posługiwanie się wskaźnikiem proporcji nie będzie wystar-

czające. Z oczywistych powodów, rozwiązaniem nie jest też zastosowanie opisu jakościowego w stosunku do lokalnej zabudowy, bowiem poprzez brak możliwości zautomatyzowania algorytmu szeregowania potencjalnych lokalizacji utrudni to zdecydowanie proces wyboru najistotniejszych lokalizacji. Rozwiązaniem, spełniającym wymagania charakterystyki ilościowej, niesubiektywnej, uwzględniającym wszystkie istotne czynniki i jednocześnie umożliwiającym późniejszą automatyzację procesu wyboru lokalizacji, jest zastosowanie wskaźnika opisującego stopień widoczności nieba.

2. STOPIEŃ WIDOCZNOŚCI NIEBA JAKO MIARA CHARAKTERYSTYKI

Stopień widoczności nieba SVF (ang. Sky view factor) jest bezwymiarową miarą określającą widoczność nieba w danej lokalizacji. Stopień widoczności nieba przyjmuje wartości z zakresu $\langle 0;1 \rangle$, dolną granicę osiągając dla warunków odpowiadających tunelowi drogowemu, a górną w obszarze płaskim, w którego otoczeniu nie ma żadnych stałych obiektów [3,4]. Miara ta jest stosowana przy wyznaczaniu bilansu energetycznego dla powierzchni gruntu, istotnego m. innymi w modelach predykcji temperatury nawierzchni drogi. Do wyznaczenia stopnia widoczności nieba dla danej lokalizacji można zastosować aparat z obiektywem typu rybie oko zapewniającym kąt widzenia wynoszący nie mniej niż 180 stopni. Na podstawie zdjęcia, przy wykorzystaniu dostępnego oprogramowania [5], wyznacza się wartość SVF. Istnieje także możliwość wyznaczania wartości SVF na podstawie danych cyfrowych przy zastosowaniu systemu informacji przestrzennej [6]. Z kolei w warunkach znacznej długości wyidealizowanego kanionu ulicznego tworzonego przez ściany budynków o zbliżonej wysokości oraz z centralnym położeniem jezdni wartość SVF może być estymowana wprost na podstawie wskaźnika proporcji. Określenie stopnia widoczności nieba, którego wartość jest zależna od wysokości i umiejscowienia elementów zabudowy względem osi układu komunikacyjnego, pozwoli na uszeregowanie potencjalnych lokalizacji stacji monitoringu. Ranking lokalizacji ze względu na obliczone wartości stopnia widoczności nieba dla każdej z rozpatrywanych hipotetycznych lokalizacji stacji jest tworzony po przyjęciu, że preferowane są jak największe wartości tego wskaźnika. Przykład zastosowania takiej metodologii przedstawiono dla projektowanego systemu monitoringu w Bielsku-Białej.

3. ZASTOSOWANE METODY OBLICZANIA STOPNIA WIDOCZNOŚCI NIEBA

Wartość stopnia widoczności nieba obliczono za pomocą dwóch metod. Pierwsza z wykorzystanych w niniejszej pracy metod opracowana została przez Johnsona i Watsona [4]. Opiera się ona na podziale obrazu na 45 pierścieni z 5 stopniowym azymutem. W drugiej z wykorzystanych metod, autorstwa Holmera, Postgarda i Erikssona [6] pod uwagę brane są wszystkie piksele z obrazu. Do obliczeń wykorzystano oprogramowanie implementujące obie metody – SVF Calculator pracujące w środowisku MatLab [7]. Algorytm obsługi SVF Calculator przedstawiono na Rys. 1.



Rys.1. Algorytm postępowania w programie SVF Calculator

3.1. Obliczanie stopnia widoczności nieba według metody Johnsona i Watsona

Metoda autorstwa Johnsona i Watsona powstała w 1984 r. [4] analizuje stopień widoczności ścian, czyli obszar zajmowany przez ściany, które kształtują kaniony miejskie. Stworzona została do oceny wymiany promieniowania cieplnego w obrębie miast.

Metoda polega na identyfikacji pojedynczych ścian w obszarze fotografii i obliczeniu dla każdej ze ścian jej obszaru widoczności. Przyjmując, że kąty γ_1, γ_2 są kątami między elementem powierzchni gruntu ΔA a krawędziami ściany, β jest kątem powstałym między punktem odniesienia O (stanowiącym środek zdjęcia) a krawędzią elewacji, to stopień widoczności ścian obliczany jest, jako:

$$\psi_w = \frac{1}{2\pi} \{(\gamma_1 - \gamma_2) + \cos\beta [\tan^{-1}(\cos\beta \tan\gamma_1) - \tan^{-1}(\cos\beta \tan\gamma_2)]\} \quad (1)$$

a stopień widoczności nieba:

$$\psi_{sky} = 1 - \sum_{i=1}^n \psi_w(i) \quad (2)$$

gdzie n stanowi liczbę budynków otaczających element powierzchni ΔA .

W pracy Johnsona i Watsona [4] do obliczania stopnia widoczności nieba na podstawie zdjęcia wykonanego z użyciem obiektywu typu rybie oko autorzy zaproponowali zmodyfikowanie metody Steyna. Analizowany obraz zostaje podzielony na n koncentrycznych pierścieni o jednakowej szerokości. W kolejnym kroku dla każdego pierścienia określa się jaką część obrazu przedstawia niebo a następnie oblicza się stopień widoczności nieba z równania [4]:

$$\psi_{sky} = \frac{1}{2\pi} \sin \frac{\pi}{2n} \sum_{i=1}^n \sin \left[\frac{\pi(2i-1)}{2n} \right] \alpha_i \quad (3)$$

gdzie α_i jest szerokością kątową nieba w i -tym pierścieniu a n całkowitą liczbą pierścieni.

3.2. Obliczanie stopnia widoczności nieba według metody Holmera, Postgarda i Erikssona

Metoda obliczania SVF autorstwa Holmera, Postgarda i Erikssona z 2001 r. [6] pierwotnie stosowana była do oceny widoczności nieba w lasach. Polega na analizie każdego piksela obrazu i przypisuje każdemu z nich, reprezentującą go w obszarze nieba wartość procentową. Wartość ta jest pochodną kątowej odległości od środka sklepienia.

W metodzie tej poszczególnym pikselem obrazu przypisane zostają dwie wartości: indeks kolumny (c) i wiersza (r). Aby obliczyć stopień widoczności nieba należy określić środek obrazu (c_0, r_0) i promień (R). Następnie wyznacza się okręgi, których liczba równa jest liczbie pikseli w promieniu. Liczba pikseli w i -tym okręgu wynosi więc $2\pi i$, zaś szerokość kątowa piksela wynosi $2\pi(2\pi i)^{-1} = i^{-1}$. Wagę dla piksela (c, r) w odległości $i = (c^2 + r^2)^{0.5}$ od środka obrazu oblicza się, jako:

$$\psi_{c,r} = \frac{1}{2\pi i} \sin\left(\frac{\pi}{2R}\right) \sin\left(\frac{\pi(2i-1)}{2R}\right) \quad (4)$$

gdzie i przyjmuje wartości od 1 do R , R zaś równe jest liczbie okręgów. Wyznaczenie wartości stopnia widoczności nieba wymaga zsumowania wag (4) dla pikseli reprezentujących niebo.

4. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA STOPNIA WIDOCZNOŚCI NIEBA DO OCENY CHARAKTERU LOKALNEJ ZABUDOWY

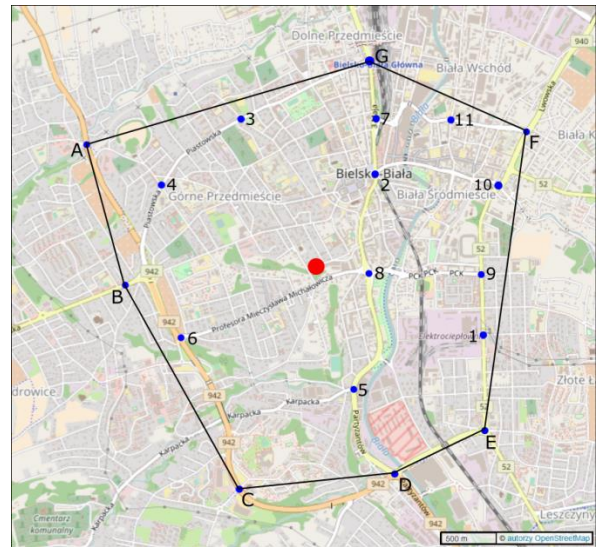
W celu dokonania charakterystyki lokalnej zabudowy na podstawie SVF zastosowano kamerę GoPro Hero 3 wraz z dedykowanym konwerterem fisheye Lensbaby Circular 180+ i pilotem, (Rys.2). Konwerter pozwala na poszerzenie obrazu w stosunku do standardowego obiektywu aż o 58%, co skutkuje pojawieniem się tzw. efekt rybiego oka. Urządzenie zostało zamontowane płasko na dachu pojazdu, w płaszczyźnie równoległej do jezdni za pomocą przyssawki. Dzięki temu przekątna pola widzenia kamery wynosiła 180° i umożliwiały wykonanie zdjęć hemisferycznych. W kolejnym kroku wykonane zostały zdjęcia, które stanowiły materiał do obliczenia SVF.



Rys.2. Sprzęt wykorzystany do wykonania badań

Badania zrealizowano w Bielsku-Białej dla 18 lokalizacji w centrum miasta (Rys.3). Determinantą wyboru skrzyżowań był fakt opomiarowania ich przez sieć systemu OnDynamic (multimodalny inteligentny system monitorowania ruchu) [8]. Część systemu OnDynamic

wkrótce wyposażona zostanie w moduł do monitorowania wpływu ruchu drogowego na środowisko. Wyniki obliczeń stopnia widoczności nieba w połączeniu z danymi o ruchu drogowym z systemu OnDynamic pozwolą na wytypowanie lokalizacji szczególnie narażonych na występowanie epizodów emisyjnych.



Rys.3. Lokalizacja skrzyżowań wytypowanych do badań

W celu uzyskania reprezentatywnych zdjęć, ze względu na charakterystykę badanych lokalizacji (ciągły ruch), należało wykonać kilka prób. Zdjęcia rozmyte lub ukazujące bryły pojazdów były odrzucane. Dla każdej lokalizacji wykonano przynajmniej 2 zdjęcia - dla dwóch przeciwnych zwrotów kierunku ruchu, gdy pojazd oczekiwał na przejazd przez skrzyżowanie. Przykładowe zdjęcia przedstawiono na Rys.4. Dla jezdni dwupasowych zdjęcia wykonano na pasach ruchu umiejscowionych bliżej osi drogi. Jeżeli na skrzyżowaniu wydzielone były pasy do skrętu w lewo, wówczas zdjęcia wykonywano z tego pasa. Dla zdjęć, które uznane zostały za reprezentatywne obliczana była wartość średniej arytmetycznej stopnia widoczności nieba.

WYNIKI I PODSUMOWANIE

Stopień widoczności nieba jest efektywną miarą oceny stopnia intensywności lokalnej zabudowy w obszarze skrzyżowania. Pozwala przejść z informacji jakościowej (patrz rysunki w tab.1.) na informację ilościową. Następnie na podstawie wartości stopnia widoczności nieba można w miarodajny sposób porównywać ze sobą poszczególne lokalizacje. Uszeregowanie rozpatrywanych w pracy lokalizacji pod kątem wartości stopnia widoczności nieba obliczonego z wykorzystaniem metody Holmera oraz Johnsona i Watsona przedstawiono w tabeli. 2. Uzyskany na podstawie obliczonego stopnia widoczności nieba ranking lokalizacji nie jest identyczny, ale różni się



Rys. 4. Zdjęcia wykonane na ul. Żywieckiej w dwóch przeciwnych zwrotach kierunku ruchu, SVF odpowiednio 0,844 i 0,927 (liczony metodą Holmera, Postgarda, Erikssona)







zaledwie uszeregowaniem trzech pozycji (patrz wyróżnienie w Tab.2). Dla analizowanego w pracy przypadku, na podstawie oceny eksperckiej można przyjąć, że właściwe uszeregowanie tych przypadków uzyskano dla metody wykorzystującej liczenie pikseli (metoda Holmera). Uzyskane wyniki dostarczają niezbędnych danych do procesu analizy wielokryterialnej, której rezultatem będzie wskazanie pożądaných lokalizacji dla stacji monitoringu stopnia oddziaływania ruchu drogowego na środowisko w obszarze miasta Bielsko-Biała.

W prezentowanym w pracy podejściu, najwięcej problemów podczas obliczania SVF dla skrzyżowań następcza pierwszy etap – wykonywanie zdjęć bez zakłóceń potoku ruchu. Uzyskanie reprezentatywnych fotografii wymagało kilku przejazdów i wykonania kilkunastu zdjęć, tak aby lokalizacja pojazdu podczas wykonywania zdjęć była optymalna a zdjęcie miało dostateczną ostrość.

Tab. 2. Uszeregowanie końcowe lokalizacji pod względem SVF

Nr	SVF Holmer, Postgard, Eriksson [6]	Nr	SVF Johnson i Watson [4]
D	0,985	D	0,992
A	0,980	A	0,986
E	0,979	E	0,986
10	0,978	10	0,984
F	0,976	F	0,983
B	0,972	B	0,977
6	0,968	C	0,974
C	0,967	8	0,970
8	0,959	6	0,967
9	0,955	9	0,965
3	0,949	3	0,958
4	0,942	4	0,952
5	0,933	5	0,949
1	0,927	1	0,937
G	0,922	G	0,934
7	0,897	7	0,907
2	0,860	2	0,872
11	0,785	11	0,796

Tab. 1. Porównanie obliczonych stopni widoczności nieba oraz zdjęć dla przykładowych lokalizacji

Lokalizacja		Skrzyżowanie ulic Andersa i Partyzantów	Skrzyżowanie ulic Piłsudskiego i Komorowickiej
SVF	Holmer, Postgard, Eriksson	0,985	0,785
	Johnson i Watson	0,992	0,796
Lokalizacja (źródło openstreetmap.org)			
Zdjęcie wykonane z użyciem obiektywu fisheye (źródło: materiały własne)			
Zdjęcie lokalizacji (źródło: materiały własne)			

BIBLIOGRAFIA

1. Brzozowski K., *Mikroskalowe modele emisji i dyspersji zanieczyszczeń samochodowych*, „Zeszyty Naukowe ATH”, Seria Rozprawy Naukowe Nr 18, Bielsko-Biała 2006.
2. Brzozowska L., Brzozowski K., Drag Ł., *Transport drogowy a jakość powietrza atmosferycznego. Modelowanie komputerowe w mezoskali*, WKŁ, Warszawa 2009.
3. Chapman L., Thornes J. E., Bradley A. V., *Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets*, “Theoretical and Applied Climatology” 2001, nr 69, pp. 81±89.
4. Johnson G.T., Watson I.D., *The determination of view-factors in urban canyons*, “Journal of Climate and Applied Meteorology” 1984, nr 23, pp. 329-335.
5. Link do oprogramowania: <http://gvc.gu.se/english/research/climate/urban-climate/software/download> [27.03.2017].
6. Holmer B., Postgård U., Eriksson M., *Sky view factors in forest canopies calculated with IDRISI*, “Theoretical and Applied Climatology” 2001, nr 68, pp.33-40.
7. Lindberg F., Holmer B., *Sky View Factor Calculator, User Manual - Version 1.1*, University of Gothenburg: https://www.researchgate.net/publication/267768871_Sky_View_Factor_Calculator [27.03.2017].

8. OnDynamic: <https://apm.pl/systemy/ondynamic/> [27.03.2017].

The characteristic of a local buildings needed for location of station of road traffic impact monitoring system

An effective monitoring system is required in order to prevent excessive environmental burden due to transport means emission. The effectiveness of such kind of a system is determined in the first place by the proper location. The article presents the method of assessing potential locations on the intersections taking into account data about local surroundings. The sky view factor is proposed as a quantitative measure, which were calculated using two different methods. A high correlation of results was achieved for the selected set of intersections in Bielsko-Biala.

Autorzy:

mgr inż. **Justyna Sordyl** – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej – Wydział Zarządzania i Transportu, Katedra Transportu, jsordyl@ath.eu

dr hab. inż. **Krzysztof Brzozowski**, prof. ATH – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej – Wydział Zarządzania i Transportu, Katedra Transportu, kbrzozowski@ath.eu