

Alina KUBIAK

Mgr, Zakład Geoinformacji, Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki
alinakubiak@tlen.pl

IDENTYFIKACJA CZYNNIKÓW WPŁYWAJĄCYCH NA ZANIECZYSZCZENIE POWIETRZA W ZDUŃSKIEJ WOLI W LATACH 2012–2014 Z WYKORZYSTANIEM NARZĘDZI GIS

Abstrakt: W artykule poruszono problem zanieczyszczenia powietrza w Zduńskiej Woli w latach 2012–2014. Skupiono się na identyfikacji czynników wpływających na zanieczyszczenie powietrza w mieście oraz lokalizacji tzw. obszarów problemowych. Celem było również wskazanie przydatności metod analiz przestrzennych opracowanych za pomocą narzędzi GIS w badaniach nad zanieczyszczeniem środowiska. Szczególną uwagę zwrócono na wpływ emisji dwutlenku węgla pochodzącego z budownictwa mieszkaniowego i komunalnego oraz z transportu na stan powietrza w mieście.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie powietrza, emisja CO₂, Zduńska Wola.

FACTORS AFFECTING THE AIR POLLUTION IN THE ZDUŃSKA WOLA CITY BETWEEN 2012 AND 2014 USING GIS TOOLS

Abstract: The article presented the problem of air pollution within Zduńska Wola City between 2012 and 2014. It focused on identifying factors influencing the air pollution and the location of problem areas. The aim of the article was also an indication of the useful methods of spatial analysis developed using GIS tools in the study of environmental pollution. Particular attention was paid to the impact of CO₂ emissions from the housing, utilities and transport on the air condition in this city.

Keywords: air pollution, carbon dioxide, Zduńska Wola.

1. WPROWADZENIE

Badaniem objęto Zduńską Wolę ze względu na występujące tam od 2012 r. przekroczenia dopuszczalnego stężenia pyłów w powietrzu. Występowały one w zakresie następujących wskaźników: pył zawieszony PM₁₀ (rok), pył zawieszony PM₁₀ (24-godziny), benzo(a)piren w pyłe PM₁₀ (rok). Na podstawie wyników pomiarów oraz matematycznego modelowania jakości powietrza na terenie Zduńskiej Woli w 2012 i 2013 roku stwierdzono przekroczeń poziomu dopuszczalnego stężenia (powiększonego o margines tolerancji) dla pyłu drobnego PM_{2,5}. Natomiast w 2014 r. poziom dopuszczalny stężenia tego pyłu bez uwzględnienia wskazanego marginesu tolerancji został przekroczony.

Przekroczenia rocznej wartości poziomu dopuszczalnego stężenia PM₁₀ w latach 2012–2014 (na podstawie wyników matematycznego modelowania jakości powietrza) obejmował niewielki obszar w północno-zachodniej części centrum miasta. W okresie tym przekroczenia 24-godzinnej wartości poziomu do-

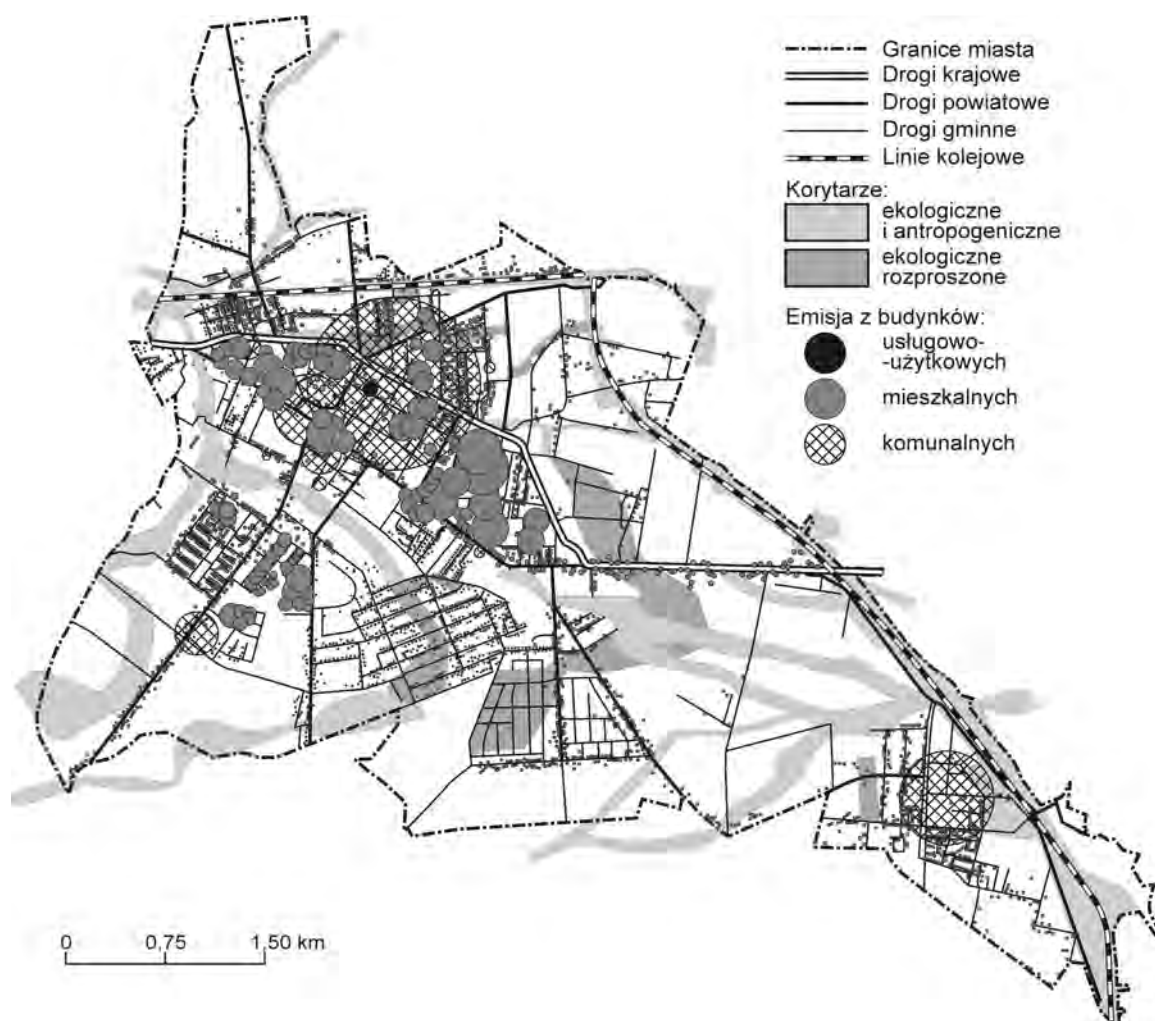
puszczalnego stężenia pyłu PM₁₀ obejmowały zaś całe centrum i zachodnią część badanego miasta. Ważny udział w kształtowaniu przekroczeń poziomu dopuszczalnego pyłu PM₁₀ miała emisja niska. Głównymi emitorami były obszary zabudowy śródmiejskiej niepodłączone do sieci ciepłowniczej oraz tereny komunikacyjne (zwłaszcza w centrum miasta, gdzie dominują wąskie i słabo przewietrzane ulice o dużym ruchu kołowym). Przyczyną występowania wysokich wartości stężenia benzo(a)pirenu w pyłe PM₁₀ jest emisja niska, a także nielegalne spalanie odpadów komunalnych w paleniskach domowych. W latach 2012–2013 zasięg przekroczeń poziomu docelowego stężenia rocznego benzo(a)pirenu wykraczał poza granice Zduńskiej Woli. Jednak w 2014 r. obszar ten zmalał do centrum i zachodniej części miasta, wykraczając tam poza jego granice. W roku 2014 przekroczenie stężenia pyłu PM_{2,5} wystąpiło w centralnej części miasta („Raport...” 2012, 2013, 2014).

2. METODY BADAWCZE I ŹRÓDŁA DANYCH

W celu obniżenia emisyjności miasta oraz poprawy efektywności wykorzystania energii Urząd Miasta Zduńska Wola zlecił przeprowadzenie inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń¹. Obliczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery dokonano w oparciu o zużycie energii przez podmioty zlokalizowane na terenie miasta. Badanie emisji zostało przeprowadzone dla roku bazowego 2014, m.in. w zakresie zużycia energii w budynkach oraz zużycia energii w transporcie.

Analizę czynników wpływających na zanieczyszczenie powietrza oraz lokalizację obszarów problemowych przeprowadzono w środowisku GIS (*ESRI ARC GIS*). Do wykonania analiz przestrzennych posłużono się referencyjnymi bazami danych opracowanymi pod-

czas przygotowywania „Planu gospodarki niskoemisyjnej dla miasta Zduńska Wola” oraz „Ekofizjografii miasta Zduńska Wola”. Lokalizacja emisji dwutlenku węgla została uwidoczniiona dzięki zastosowaniu narzędzia buforowania *Buffer*, czyli tworzeniu poligonów od obiektów o zadanej wielkości. Podczas przygotowania warstwy poligonowej wybrana została kolumna zawierająca wartość emisji CO₂. W celu wyznaczenia liczby zabudowań znajdujących się na obszarze oddziaływania korytarzy powietrznych użyto narzędzi analiz przestrzennych z grupy *Geoprocessing*. Aby przedstawić gęstość emisji zanieczyszczeń powietrza na 1 km² posłużono się metodą estymacji jądrowej *Kernel Function*, natomiast przy obliczaniu wielkości emisji obiektów liniowych na jednostkę powierzchni zastosowano narzędzie gęstości liniowej *Line Density* (ESRI 2004, Litwin, Myrda 2005, Białousz 2013, Gotlib, Olszewski 2016).



Rys. 1. Lokalizacja emisji CO₂ z budynków mieszkalnych, komunalnych oraz usługowo-użytkowych w Zduńskiej Woli w 2014 r.

Źródło rys. 1-5: opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z Urzędu Miasta Zduńska Wola

3. WYNIKI BADAŃ

3.1. ZUŻYCIE ENERGII W BUDYNKACH

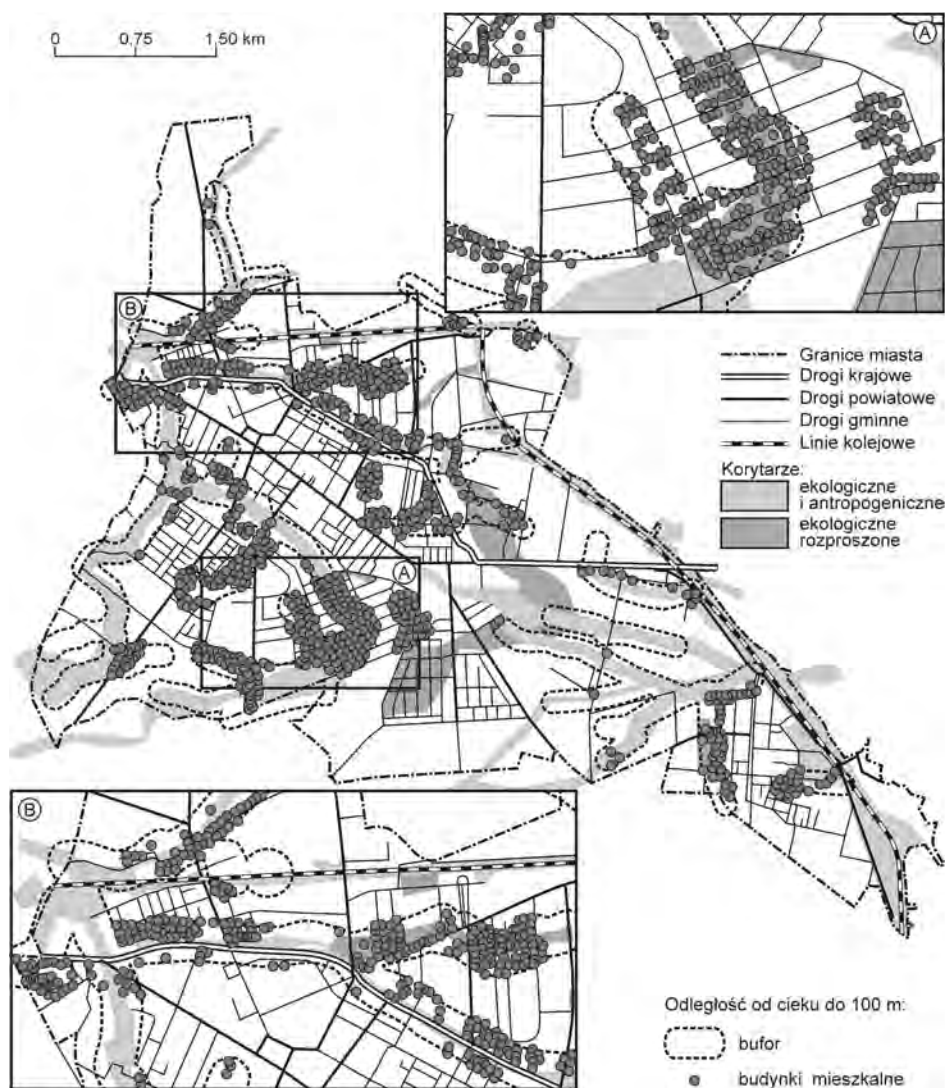
Podczas badania pod uwagę wzięto 4383 domy mieszkalne, 38 budynków komunalnych (szkół, przedszkoli, instytucji kulturalnych, budynków miejskich lub miejskich jednostek organizacyjnych) oraz dwa budynki usługowo-użytkowe². Z analizy danych wynika, iż największym (94%) źródłem emisji dwutlenku węgla były piece spalające węgiel kamienny.

Niewielka emisja CO₂ następuje wskutek zużycia energii elektrycznej (3%), gazu ziemnego (2%) oraz gazu ciekłego (1%). Największą emisję CO₂ stwierdzono w centrum Zduńskiej Woli, pomiędzy ulicą Sie-radzką, placem Wolności, ulicami Łaską i Łódzką oraz linią kolejową Łódź–Poznań, a także centralną częścią osiedla Karsznice (por. rys. 1).

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w największym stopniu na zanieczyszczenie powietrza w Zduńskiej Woli wpływają:

- 1) niewystarczająca sieć korytarzy powietrznych w centrum miasta,
- 2) zabudowywanie tych korytarzy powietrznych,
- 3) wysokość i intensywność zabudowy oraz jej usytuowanie,
- 4) występowanie miejskiej wyspy ciepła.

W dokumentach planistycznych nie wyznaczono korytarzy powietrznych w celu przewietrzania miasta. Funkcję tę mają pełnić korytarze ekologiczne i antropogeniczne oraz korytarze ekologiczne rozproszone. Dzięki naturalnym korytarzom przewietrzania, jakimi są doliny cieków wodnych (rzeki Pichny i rowów melioracyjnych), zanieczyszczenia szybciej wydostają się z miasta. Jednak obecna lokalizacja tych korytarzy



Rys. 2. Obszary o największym zagęszczeniu zabudowań w pobliżu korytarzy ekologicznych

nie zapewnia właściwego przewietrzania centrum miasta. Brakuje tam korytarza ekologicznego (parku, arterii zieleni), który przyczyniłby się do wywiewania zanieczyszczeń. Innym ważnym problemem uwidoczonym podczas analizy jest zabudowywanie korytarzy powietrznych. Domy lokalizowane są w strefach tych korytarzy, przez co zanieczyszczenia dłużej utrzymują się w mieście. W celu zidentyfikowania obszarów o największym zagęszczeniu zabudowań w odległości 50 m od cieków³ posłużono się narzędziami GIS. Z przeprowadzonej analizy wynika, że aż 569 domów wybudowano w odległości 50 m od cieków. Największe zagęszczenie tej zabudowy występuje w północnej części miasta oraz na tzw. osiedlu Pastwiska, na południu (rys. 2). Negatywny wpływ na jakość powietrza ma również wysokość i intensywność zabudowy oraz jej

usytuowanie względem kierunku przepływów powietrza. Intensywna zabudowa stawia opór wiatrowi, co można zauważyć szczególnie w centralnych częściach miasta, gdzie wiatr jest dużo słabszy niż na obrzeżach. To zmniejszenie prędkości wiatru związane jest ze zmienną wysokością budynków, co powoduje wzrost szorstkości aerodynamicznej podłoża. Średnia roczna prędkość wiatru w mieście jest często o 20–30% niższa niż na terenie pozamiejskim (Lee 1979). Usytuowanie budynków w znacznym stopniu wpływa na kształtowanie się prądów powietrznych. Wielopiętrowe zabudowania w północno-zachodniej części miasta nie usytuowano zgodnie z kierunkami przepływu powietrza. Z tego względu wiatr natrafia na przeszkody w postaci wysokich budynków, zwłaszcza pomiędzy ulicami Łódzką i Sieradzką oraz placem Wolności (rys. 3).

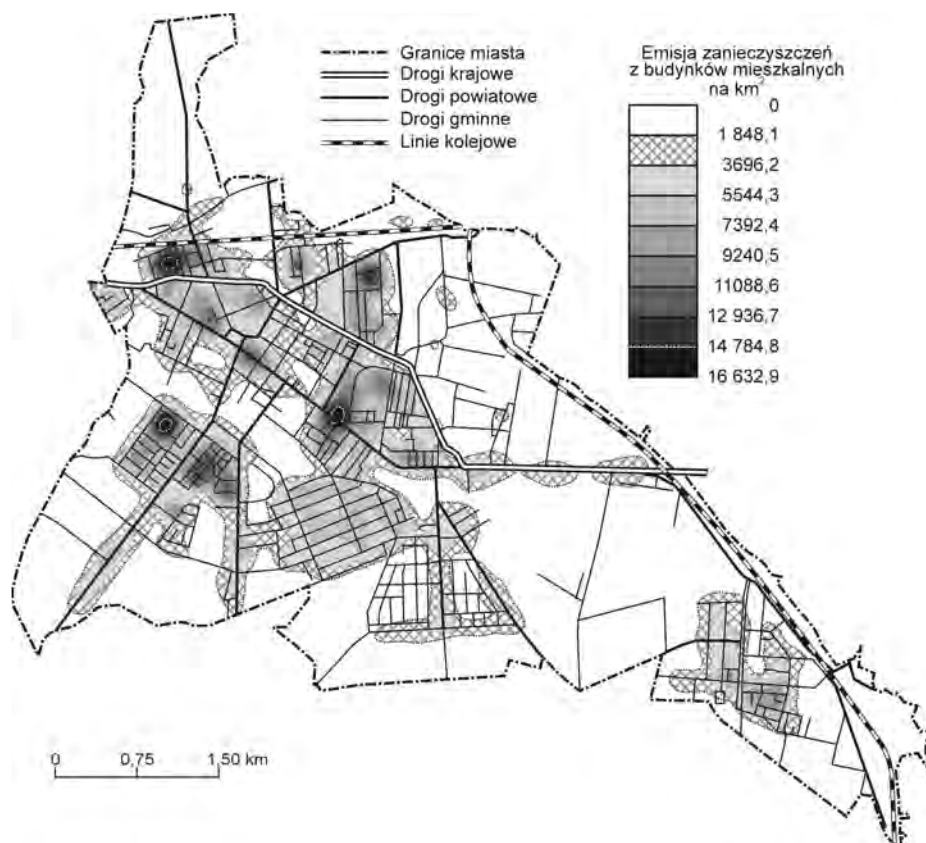


Rys. 3. Usytuowanie budynków wielorodzinnych w północno-zachodniej części Miasta Zduńska Wola

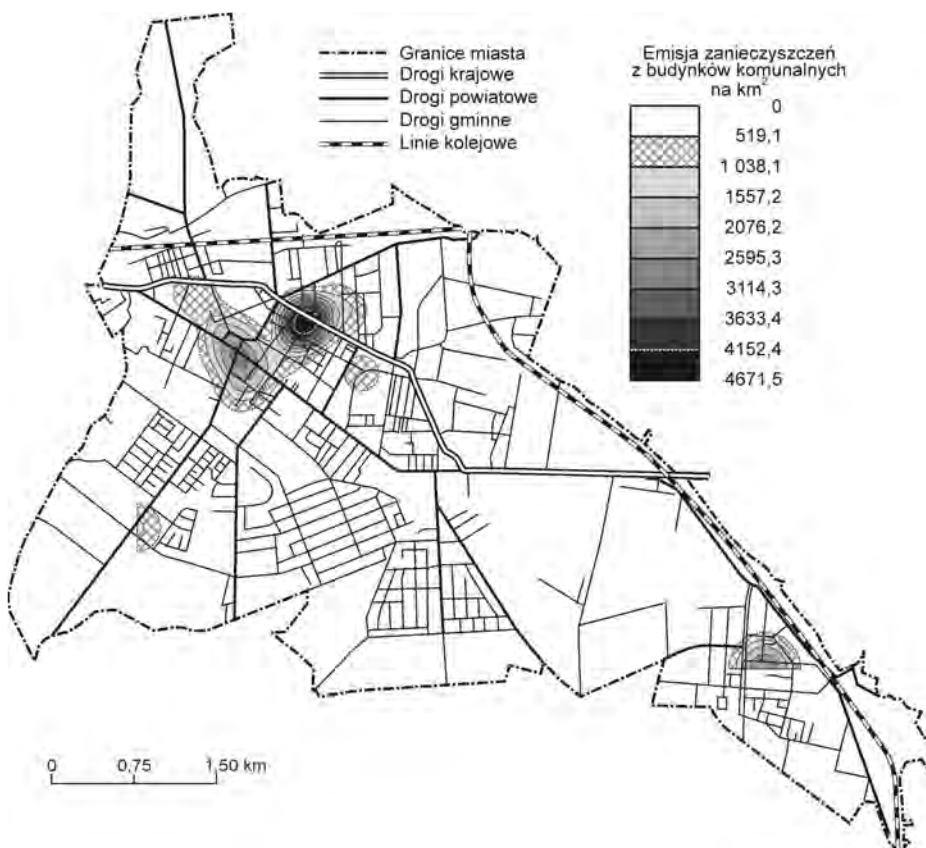
Z kolei na powstawanie miejskiej wyspy ciepła ma wpływ wiele czynników, wśród których ważne jest zanieczyszczenie powietrza. Powoduje ono zwiększenie promieniowania zwrotnego atmosfery na skutek zwiększonego pochłaniania promieniowania wyemitowanego przez powierzchnię Ziemi. Ciepłe powietrze

w śródmieściu unosi się do góry i wytwarza się niż, do którego napływa chłodne powietrze z okolic (Starkel 1999, Fortuniak 2003).

Wymienione czynniki mogą w różnym stopniu przyczyniać się do powstawania i utrzymywania się zanieczyszczenia powietrza w mieście. Wpływ ten za-



Rys. 4. Gęstość emisji zanieczyszczeń powietrza na 1 km² w budynkach mieszkalnych



Rys. 5. Gęstość emisji zanieczyszczeń powietrza na 1 km² w budynkach komunalnych

leży zarówno od samej struktury przestrzennej miasta, cech fizycznych obszaru, jak i zmieniających się warunków meteorologicznych.

W celu dokładniejszej analizy emisji CO₂ przez zabudowania posłużono się metodą estymacji jądrowej, wykorzystującą zbiór punktów w przestrzeni. Metoda ta ukazuje gęstość emitowanych zanieczyszczeń powietrza na 1 km². Z uwagi na znaczną różnicę wielkości emisji zanieczyszczeń przez budownictwo mieszkaniowe i komunalne postanowiono dokonać analiz odrębnych. Nie brano zaś pod uwagę emisji zanieczyszczeń z zabudowę usługowo-użytkową ze względu na znikomy zasób danych. Poddając analizie emisję zanieczyszczeń przez budynki mieszkaniowe zauważono kilka skupisk, w których wystąpiły znaczne przekroczenia stężenia dwutlenku węgla. Najwyższe wartości odnotowano w osiedlach domów jednorodzinnych oraz skupiskach kamienic, z powodu ich ogrzewania przy użyciu węgla. Również w osiedlach domów wielorodzinnych wystąpiły znaczne przekroczenia wskaźników zanieczyszczenia powietrza (rys. 4). Zdecydowanie wyższe wartości stężenia emisji CO₂ pojawiają się w budynkach komunalnych. Największych emitatorów zidentyfikowano w centrum miasta. Były to głównie obiekty niepodłączone do miejskiej sieci ciepłowniczej, wyposażone w kotły na paliwa stałe (rys. 5).

3.2. ZUŻYCIE ENERGII W TRANSPORCIE DROGOWYM

Wzrost liczby pojazdów na świecie sprawił, że transport jest odbiorcą 25% łącznego światowego zużycia energii. Ponieważ powszechnie dąży się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, nacisk położono również na ograniczanie emisji CO₂ w transporcie. W celu ochrony atmosfery w 2005 r. wprowadzono dyrektywę 2003/87/WE (European Union's Emissions Trading System – EU ETS). Limituje ona emisję gazów cieplarnianych oraz ocenia postęp w kierunku spełniania zobowiązań w odniesieniu do emisji gazów (Dyrektywa... 2003, Jastrzębska 2007).

Transport przyczynia się do emisji szkodliwych substancji do atmosfery wskutek spalania paliw tradycyjnych, takich jak: benzyna czy olej napędowy. Spaliny samochodowe są bardzo szkodliwe dla ludzi, gdyż rozprzestrzeniają się w dużych stężeniach na niskich wysokościach. Są więc znacznie bardziej szkodliwe, niż inne zanieczyszczenia powietrza, ponieważ osadzają się głęboko w płucach, a następnie niszczą komórki organizmu. Pyły zawieszane w powietrzu (m.in. pył

PM_{2,5}, pył PM₁₀ oraz benzo(a)piren) potęgują różne dolegliwości zdrowotne. W Zduńskiej Woli największa emisja transportowa CO₂ występuje ze spalania benzyny (56,82%) oraz oleju napędowego (43,03%).

Droga stanowi emitator liniowy złożony z wielu emitatorów punktowych. Przeprowadzona analiza w oprogramowaniu GIS za pomocą narzędzia *Line Density* (gęstości liniowej) pozwoliła obliczyć wielkość emisji obiektów liniowych na jednostkę powierzchni. Uzyskane wyniki potwierdzają występowanie zanieczyszczenia powietrza głównie w północno-zachodniej części Zduńskiej Woli, ponadto wskazują na jego nasilenie na skrzyżowaniach głównych ulic. Trzy punkty w mieście zostały wyznaczone jako miejsca pomiaru natężenia ruchu. Punkty pomiarowe znajdują się na przejazdach kolejowych, pomiary dokonywane są w odstępach pięcioletnich (Rozporządzenie... 1999). Z uzyskanych danych z trzech przełomów czasowych (lata 2002, 2007 i 2012) wynika, że na wszystkich przejazdach kolejowych notuje się wzrost ruchu drogowego. Największe natężenie ruchu występuje na przejeździe przy ulicy Przytorze w północnej części miasta. Pomiary z 2012 r. uwiaryściły 92-procentowy wzrost liczby przejeżdżających tam pojazdów od roku 2007 (rys. 6).

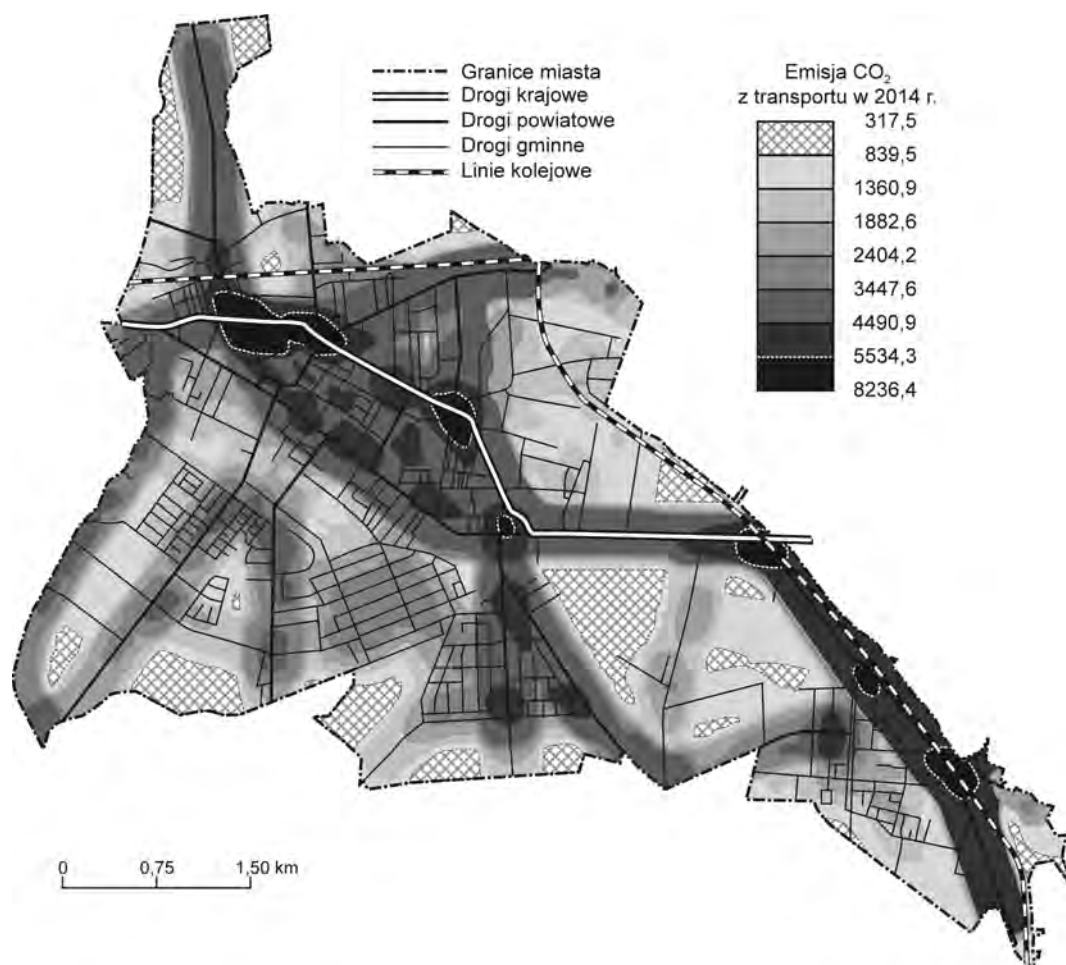
4. PODSUMOWANIE

Zduńska Wola, podobnie jak inne miasta w Polsce, stoi przed ważnym wyzwaniem transformacji – gospodarką niskoemisyjną. Eliminacja zanieczyszczeń powietrza przyniesie wiele wymiernych korzyści – zdrowotnych i społecznych. Gazowe lub pyłowe polutanty powodują skażenie wszystkich komponentów środowiska i mogą utrzymywać się w atmosferze nawet kilka lat. Z tego względu ograniczenie niskiej emisji jest bardzo ważnym krokiem prowadzącym do poprawy jakości życia społeczeństwa.

Należy zauważyć ogromne korzyści z zastosowania narzędzi GIS do analizy zanieczyszczenia powietrza. Umożliwiają one tworzenie szybkich syntetycznych opracowań kartograficznych obrazujących rozkład przestrzenny zjawisk, wyznaczanie stref buforowych, operacje na tabelach atrybutów, zaawansowane analizy przestrzenne.

Z analizowanych w opracowaniu danych wynikają następujące rekomendacje:

- 1) ze względu na występującą bardzo dużą liczbę kotłów na paliwa stałe trzeba dążyć do zmiany



Rys. 6. Emisja liniowa CO₂ z transportu drogowego w 2014 r. na terenie Zduńskiej Woli oraz natężenie ruchu drogowego w roku 2002, 2007, 2012

Źródło: opracowanie własne na podstawie „Planu gospodarki niskoemisyjnej dla miasta Zduńska Wola”

tego systemu ogrzewania na bardziej ekologiczny; w tym celu władze miejskie powinny dofinansowywać wymianę systemów ogrzewania;

- 2) należy podjąć współpracę międzygminną w celu wspólnych działań związanych z eliminacją zanieczyszczeń powietrza napływających z obszarów sąsiednich; np. wiatry zachodnie przynoszą do miasta zanieczyszczone powietrze, z miejscowości Czechy, gdzie większość mieszkańców ma piece na paliwa stałe; od tej właśnie strony należy tworzyć „zielone bufory” stanowiące naturalne „oczyszczalnie powietrza”;
- 4) w „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Zduńska Wola” trzeba wyznaczyć kliny napowietrzające, których nie powinno się zabudowywać, lecz przeznaczyć na tereny zielone; kliny takie są naturalnymi lub specjalnie projektowanymi obsza-

rami wolnymi od zabudowy, których zadaniem jest usprawnienie przepływu powietrza przez miasto.

Duży wpływ na wielkość niskiej emisji ma poziom emisji komunikacyjnej, której źródłem jest powstawanie produktów spalania w silnikach samochodowych. W celu redukcji tej emisji władze miasta powinny:

- 1) wprowadzić ograniczenie ruchu samochodów osobowych w centrum miasta;
- 2) promować komunikację publiczną, np. poprzez wprowadzenie korzystnych taryf i cen biletów komunikacji publicznej;
- 3) dążyć do wymiany taboru komunikacyjnego na ekologiczny (<http://www.google.pl>);
- 4) stworzyć odpowiednią infrastrukturę dla komunikacji samochodowej (sieć dróg i obwodnic) oraz rowerowej;
- 5) promować alternatywne formy komunikacji, tj.:

- *Park and Ride* (parkuj i jedź) – osoby mieszkające na przedmieściach miasta dojeżdżają swoimi pojazdami do najbliższej stacji czy przystanku i, pozostawiając samochód na parking, przesiadają się do komunikacji zbiorowej, aby kontynuować drogę do centrum miasta,
 - *Carpooling* – forma podróżowania polegająca na podwożeniu kogoś lub korzystaniu z wolnego miejsca w samochodzie innego użytkownika; to dobry sposób na codzienne dojazdy do pracy lub szkoły, a nawet na dalsze wycieczki;
- 6) promować ekonomiczną jazdę samochodem tzw. *ecodriving* (m.in. poprzez odpowiednią zmianę biegów, płynną jazdę, rozważne korzystanie z urządzeń elektrycznych w samochodzie, odpowiednią prędkość jazdy);
 - 7) promować pojazdy z napędem hybrydowym i elektrycznym.

Problem niskiej emisji to problem związany nie tylko bezpośrednio z ilością produkowanych spalin samochodowych czy pochodzących z domowych kominków, lecz również w dużej mierze od panujących w określonym położeniu geograficznym warunków naturalnych (klimatycznych, geomorfologicznych). Dzięki ograniczeniu i eliminacji emisji komunikacyjnej oraz emisji pyłów i szkodliwych gazów z domowych pieców i kotłowni, społeczeństwo ma szansę realizowania idei zrównoważonego rozwoju.

PRZYPISY

¹ Inwentaryzację przeprowadziło Centrum Badań i Innowacji Pro-Akademia opracowując dokument pn. „Plan gospodarki niskoemisyjnej dla miasta Zduńska Wola”.

² Znikoma liczba budynków usługowo-użytkowych wynika z niewypełnienia ankiety przez przedsiębiorców.

³ Obecnie decyzje o warunkach zabudowy wydawane w Zduńskiej Woli określają, iż w odległości 50 m od cieków wodnych nie należy lokalizować zabudowań.

BIBLIOGRAFIA

- Białousz S., 2013, *Informacja przestrzenna dla samorządów terytorialnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Dyrektywa 2003/87/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 13 października 2003 r. ustanawiająca system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie oraz zmieniająca dyrektywę Rady 96/61/WE, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2003 (L 275/32).
- ESRI, 2004, *ArcGIS 9. What is a ArcGis?*, Environmental System Research Institute, Redlands.
- Fortuniak K., 2003, *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*, Uniwersytet Łódzki, Łódź.
- Gnatowska R., 2013, *Planowanie terenów zabudowanych w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju z zastosowaniem metod modelowych*, „Inżynieria Ekologiczna”, 33, s. 35–40.
- Gotlib D., Olszewski R., 2016, *Smart City. Informacja przestrzenna w zarządzaniu inteligentnym miastem*, Wyd. Naukowe PWN SA, Warszawa.
- Jastrzębska G., 2007, *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Lee D.O., 1979, *The influence of atmospheric stability and the urban heat island on urban-rural wind speed differences*, „Atmospheric Environment”, 13, s. 1175–1180.
- Litwin L., Myrda G., 2005, *Systemy Informacji Geograficznej. Zarządzanie danymi przestrzennymi w GIS, SIP, SIT, LIS*, Helion, Gliwice.
- „Plan gospodarki niskoemisyjnej dla miasta Zduńska Wola”, 2016, Centrum Badań i Innowacji Pro-Akademia.
- Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim na podstawie badań przeprowadzonych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w 2012 r.*, 2014, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi, Oficyna Wydawniczo-Reklamowa „Sagalara”, Łódź.
- Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim na podstawie badań przeprowadzonych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w 2013 r.*, 2014, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi, Oficyna Wydawniczo-Reklamowa „Sagalara”, Łódź.
- Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim na podstawie badań przeprowadzonych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w 2014 r.*, 2015, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi, Oficyna Wydawniczo-Reklamowa „Sagalara”, Łódź.
- Rozporządzenie Ministra Transport i Gospodarki Morskiej z 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. z 1999 r., nr 43, poz. 430).
- Starkel L. 1999, *Geografia Polski, środowisko przyrodnicze*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- <http://www.google.pl/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwidr9P1xKzNAhUC2ywkHcJPBAYQjRwIBw&url=http://historyjki-bez-ladu-iskladu.blog.onet.pl/2010/10/23/historyjka5/&psig=AFQjCNE73kOTjw0L3FTkHoDOYX3DYBx2gA&ust=1466166207543409>

Artykuł wpłynął:
29 maja 2016

Zaakceptowano do druku:
8 września 2016