

Izabela SÓWKA, Yaroslav BEZYK, Łukasz PACHURKA

Politechnika Wrocławska
Wrocław University of Technology

Analiza i ocena stanu jakości powietrza na obszarze dwóch miast: Wrocławia (Polska) i Lwowa (Ukraina)

Analysis and assessment of air quality in the cities area of Wrocław (Poland) and Lviv (Ukraine)

Słowa kluczowe: emisja zanieczyszczeń, imisja, Polska, Ukraina

Key words: emission of pollutants, ambient air concentrations of pollutants, Poland, Ukraine

Wprowadzenie

W wielu współczesnych miastach głównym zagrożeniem dla środowiska i zdrowia ludności jest zanieczyszczenie powietrza. Prowadzone na świecie badania wykazały związek zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym, ditlenkiem azotu (NO_2), tlenkiem węgla (CO), ditlenkiem siarki (SO_2) a wzrostem zachorowalności populacji ludzkiej (Sterbeck i inni, 2002, Zwoździak i inni, 2010, Badyda i inni, 2012). Długotrwałe narażenie na podwyższone poziomy zanieczyszczeń wpływa na wzrost zachorowalności na choroby układu oddechowego, w tym nowotwory płuc (Juda-Rezler, 2006). Osobami najbardziej

narażonymi na skutki zanieczyszczeń powietrza są najczęściej osoby starsze, dzieci i osoby chore (Wcisło, 2008).

Emisja zanieczyszczeń gazowych do powietrza powoduje również pogorszenie stanu i zmniejszenie liczby zasobów środowiskowych, zakwaszenie gleb i akumulacji toksyn w organizmach roślinnych (Juda-Rezler, 2006).

Celem pracy było przeprowadzenie analizy porównawczej jakości powietrza atmosferycznego w aglomeracji miejskiej Lwowa (Ukraina) i Wrocławia (Polska). Wybrane miasta należą do kategorii miast o podobnej gęstości zaludnienia, odznaczają się wpływem źródeł przemysłowych, transportu samochodowego na jakość powietrza oraz są ważnymi ośrodkami nauki i kultury.

Ocena charakteru zanieczyszczenia i porównanie jakości powietrza we Wrocławiu i Lwowie polega na opracowaniu strategii poprawy jakości powietrza na

obszarach tych miast, odpowiednio do standardów obowiązujących w danym kraju, a także w ramach kontroli nad przestrzeganiem ustalonych kryteriów w Unii Europejskiej – UE (Dz.U. 2014 nr 1546, poz. 558, Państwowe przepisy sanitarne Ukrainy, 1997, Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE). Otrzymane wyniki stężeń zanieczyszczeń powietrza porównano z rekomendowanymi poziomami ze względu na ochronę zdrowia populacji, proponowanymi przez Światową Organizację Zdrowia – World Health Organization (WHO, 2005, 2014).

Interesującym w wykonanej analizie wpływu lokalnych źródeł emisji na stan jakości powietrza atmosferycznego z punktu analizy liniowych źródeł emisji było funkcjonowanie ważnego transportowego węzła komunikacji drogowej i kolejowej – III paneuropejski korytarz transportowy Berlin–Wrocław–Katowice–Lwów–Kijów, z odgałęzieniem IIIA Drezno–Krzywa (autostrada A4, linia kolejowa E30). W zakresie redukcji emisji ze źródeł punktowych i powierzchniowych ważnym było porównanie dynamiki i tempa przemiany energochłonności i wydajności, wdrożenia „know-how” oraz zmniejszenia potrzeb w surowcach produkcyjnych wymaganych dla rozwoju lokalnej gospodarki, ponieważ przemysł wskazanych miast przez długi czas rozwijał się pod wpływem Związku Radzieckiego i w różnym stopniu zmienił się po upadku ZSRR.

Material i metody

W pracy wykonano analizy poziomów emisji i stężeń zanieczyszczeń (pyły PM10, PM2,5, NO₂, SO₂, CO) powietrza

w latach 1998–2013 (emisja) oraz 2009–2013 (imisja), korzystając z materiałów i opracowań urzędów statystycznych we Lwowie i Wrocławiu, Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska we Wrocławiu, Lwowskiej Obwodowej Administracji Państwowej oraz Departamentu Ekologii i Zasobów Naturalnych Obwodu Lwowskiego. Wyniki stężeń zanieczyszczeń powietrza pyłami PM2,5, PM10 oraz innymi substancjami (ditlenek azotu – NO₂, tlenek węgla – CO, ditlenek siarki – SO₂) we Lwowie i Wrocławiu porównano ze standardami jakości powietrza WHO (WHO, 2006a, 2014).

W celu wyznaczenia tendencji zmian stężeń zanieczyszczeń w powietrzu obliczono średnie miesięczne wartości stężeń zanieczyszczeń na podstawie danych otrzymanych ze stacji pomiarowych położonych przy al. Wiśniowej, ul. Bartniczej oraz wybrzeżu J. Conrada-Korzeniowskiego we Wrocławiu oraz we Lwowie przy ul. Yunakiwa, Gorodotskiej, Sobornej i Zielonej.

Celem dokonania oceny jakości powietrza na wybranych obszarach przeanalizowano prawodawstwo krajowe Ukrainy i Polski w dziedzinie ochrony atmosfery, a także organizacji międzynarodowych (Światowa Organizacja Zdrowia, Światowa Organizacja Meteorologiczna).

Analiza jakości powietrza we Wrocławiu

Działalność gospodarcza i sieć transportowa we Wrocławiu

Na terenie województwa dolnośląskiego znaczącą rolę w kształtowaniu

jakości powietrza mają głównie indywidualne gospodarstwa domowe, lokalne kotłownie, zakłady usługowo-wytwórcze (źródła tzw. niskiej emisji), transport drogowy, zakłady przemysłowe i energetyczne (źródła tzw. wysokich emisji). Struktura zużycia paliw na terenie województwa dolnośląskiego może wskazywać na znaczny wpływ źródeł liniowych i punktowych na jakość powietrza atmosferycznego. Według danych GUS (2013a), zużycie paliw na terenie województwa dolnośląskiego klasyfikowało się następująco: węgiel kamienny – 2930 tys. Mg (71%), gazu ziemnego – 28 236 TJ (26%), zużycie gazu ciekłego (bez pojazdów, zużycie stacjonarne) – 40 tys. Mg (1%), lekkiego oleju opałowego – 54 tys. Mg (1,5%), ciężkiego oleju opałowego – 27 tys. Mg (0,5%). Surowcem dominującym na terenie gminy Wrocław w produkcji ciepła i energii elektrycznej jest węgiel oraz gaz ziemny. Małe lokalne kotłownie zużywają około 100 tys. m³ gazu rocznie. W najbliższych latach przewidywany jest wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną od 8,87 do 27,68% w 2016 roku, w zależności od scenariusza rozwoju gospodarczego oraz stopnia inwestycji w systemowe źródła zasilania w ciepło. Prognozowany jest niewielki wzrost zużycia gazu ziemnego o około 2% (Case-Doradcy, 2013), co wskazuje, iż problem zanieczyszczenia powietrza może być istotny.

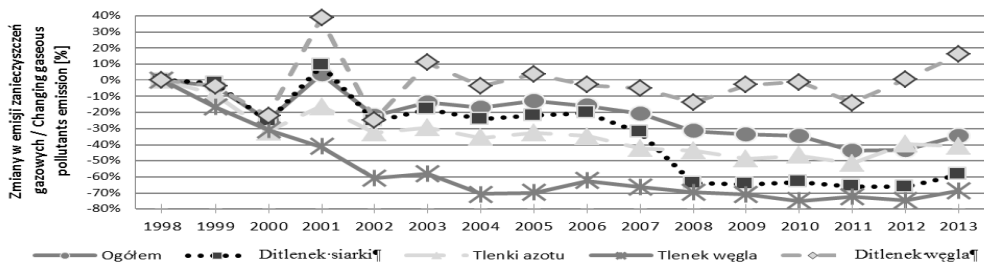
Miasto Wrocław jest ważnym węzłem komunikacyjnym. Przez miasto prowadzą drogi włączone do europejskich korytarzy drogowych: E261 (droga krajowa 5) oraz E67 (droga krajowa 8), powstała w ostatnich latach autostradowa obwodnica Wrocławia (AOW) o długości około 35 km. Oddana do

użytku w 2011 roku obwodnica łączy autostradę A4 z drogą 8, przez co w istotny sposób zostały odciążone centralne obszary miasta (Case-Doradcy, 2013).

Według danych GUS (2014a), w ostatnich latach widoczny jest wzrost liczby samochodów osobowych i motocykli na terenie miasta Wrocławia z 220,6 tys. sztuk w 2002 roku do 352,8 tys. sztuk w 2013 roku. Obserwowany jest spadek liczby pojazdów autobusowych. Wpływ na to może mieć wycofywanie zużytych autobusów z eksploatacji, które wpływają negatywnie na środowisko, zwiększając emisję zanieczyszczeń gazowych i pyłowych do atmosfery. Wzrastająca liczba pojazdów osobowych może być zatem istotnym źródłem emisji pyłów drobnych, a także ze względu na wzrost ilości pojazdów zasilanych mieszaniną propanu i butanu, powodować wzrost stężeń tlenków azotu – NO_x (EEA, 2013).

Monitoring stanu jakości powietrza atmosferycznego we Wrocławiu

Analizując dynamikę rocznej emisji zanieczyszczeń gazowych do powietrza we Wrocławiu (rys. 1), zaobserwowano zmniejszenie emisji głównych substancji zanieczyszczających w latach 1999–2013 w porównaniu do 1998 roku. Wzrost emisji w porównaniu do 1998 roku zauważono w 2001 roku dla ditlenku węgla (o 38%), ditlenku siarki (9%) i o 4% dla badanych zanieczyszczeń gazowych. W 2013 roku poziom emisji głównych zanieczyszczeń powietrza był od 25 do 69% niższy niż w 1998 roku; z wyjątkiem emisji CO₂, której wartość była o 16% większa niż w 1998 roku (GUS, 2014b).



RYSUNEK 1. Zmiana rocznej emisja zanieczyszczeń gazowych powietrza we Wrocławiu w latach 1998–2013

FIGURE 1. Annual change of emissions of gaseous air pollutants in Wrocław in 1998–2013

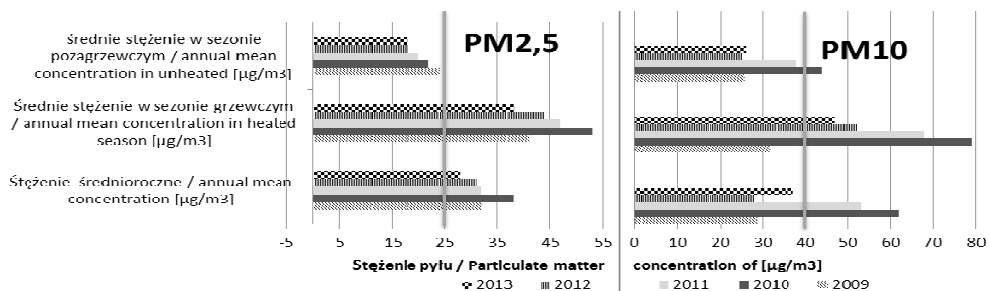
We Wrocławiu od 2005 roku działa system trzech automatycznych stacji pomiarowych, gdzie wykonywane są pomiary następujących substancji: dwutlenku siarki, dwutlenku azotu, benzenu, ozonu, pyłu zawieszonego PM₁₀, pyłu zawieszonego PM_{2,5} oraz benzo(a)pirenu (Mikołajczyk i inni, 2014).

Z analizy danych Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ Wrocław 2009, 2010, 2011, 2012) wynika, że w sezonie zimowym w badanych latach (2009–2012) we Wrocławiu stwierdzono przekroczenia średniego stężenia pyłu PM_{2,5} w powietrzu średnio o 25% od ustalonej normy państwowej. Dopuszczalny w prawie polskim poziom średnioroczny pyłu zawieszonego PM_{2,5} – 25 µg/m³, dopuszczalne

stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ – 40 µg/m³/rok (WIOŚ, 2013).

Przekroczenia średniorocznego stężenia pyłu PM₁₀ stanowiło około 40% w stosunku do poziomu dopuszczalnego w latach 2010–2013 (rys. 2) (WIOŚ Wrocław, 2010, 2011, 2012, 2013).

Przyczyną wysokich stężeń pyłu zawieszonego (PM₁₀ i PM_{2,5}) może być działalność przemysłowa i spalanie paliw w energetyce, systemach indywidualnego ogrzewania oraz emisja ze źródeł komunikacyjnych (transport samochodowy). Stężenia pyłu znacznie różnią się w zależności od sezonu. Najwyższe poziomy zanieczyszczeń pyłem (PM₁₀ i PM_{2,5}) we Wrocławiu występują w sezonie grzewczym (rys. 2). W 2013 roku średnioroczne stężenie pyłu PM_{2,5}



RYSUNEK 2. Średnioroczne stężenie pyłu zawieszonego we Wrocławiu w latach 2009–2012

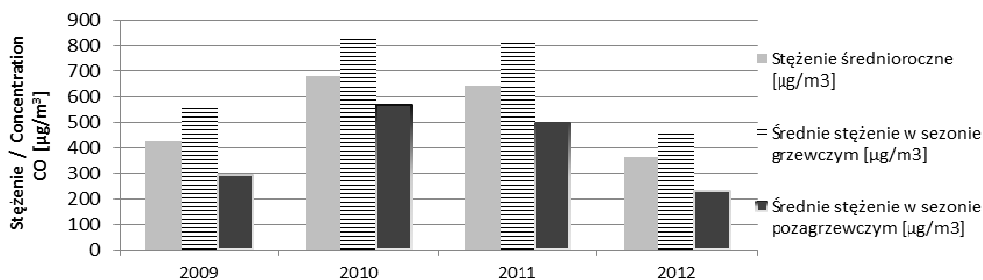
FIGURE 2. Average annual levels of particulate matter concentrations in Wrocław in 2009–2012

wyniosło od 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na stanowisku zlokalizowanym przy al. Wiśniowej do 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, przy ul. Na Grobli. Średnioroczne stężenie pyłu PM10 w 2013 roku wyniosło około 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WIOŚ Wrocław, 2014).

Zanieczyszczenie powietrza tlenkiem węgla ma ścisły związek ze spalaniem paliw węglowodorowych. Głównym źródłem emisji zanieczyszczeń jest transport drogowy i sektor komunalno-bytowy. Udział sektora komunalno-bytowego w kształtowaniu stężeń tlenku węgla jest zauważany wyraźnie w sezonie grzewczym, kiedy jego stężenie wzrasta o około 30% w porównaniu z wartością mierzoną w sezonie poza grzewczym (rys. 3). Ustawodawstwo polskie określa maksymalne stężenia ośmiogodzinne dla tlenku węgla

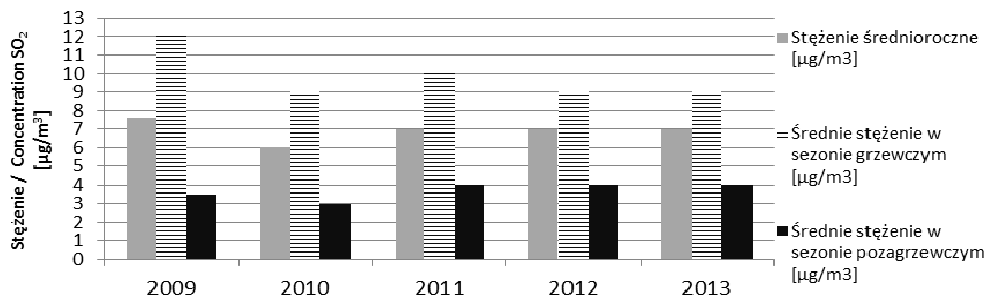
równe 10 tys. $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WIOŚ Wrocław, 2014).

Ditlenek siarki pochodzi głównie z procesów spalania paliw stałych, zwłaszcza z węgla. Największe stężenia SO_2 występują zatem w sezonie grzewczym. Średnioroczne stężenie SO_2 we Wrocławiu (wybrzeże J. Conrada-Korzoniowskiego) wyniosło około 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w latach 2011–2013. W sezonie grzewczym średnie stężenie wyniosło około 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w 2013 roku, co stanowi około 25% mniej w porównaniu do 2009 roku. Średnie stężenie SO_2 w sezonie pozagrzewczym w latach 2001–2013 utrzymywało się na poziomie 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rys. 4). Ustawodawstwo polskie określa dopuszczalne stężenie dla dwutlenku siarki



RYSUNEK 3. Średnioroczne stężenie tlenku węgla we Wrocławiu w latach 2009–2012

FIGURE 3. Average annual levels of carbon monoxide concentrations in Wrocław in 2009–2012



RYSUNEK 4. Średnioroczne poziomy stężenie ditlenku siarki we Wrocławiu w latach 2009–2013

FIGURE 4. Average annual levels of sulfur dioxide concentrations in Wrocław in 2009–2013

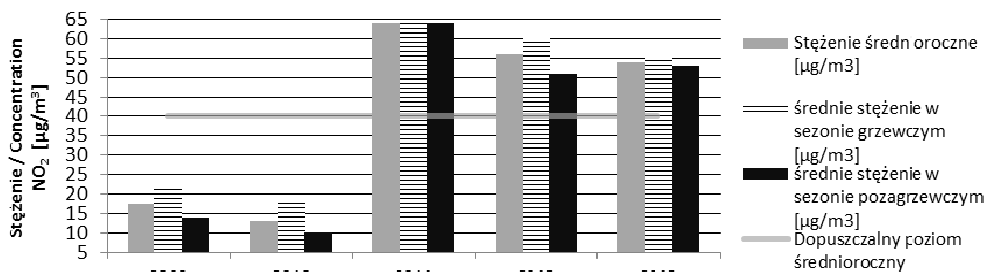
jest na poziomie $125 \mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ h}$ i $350 \mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ h}/1 \text{ h}$ (WIOŚ Wrocław, 2014).

We Wrocławiu średnioroczne wartości stężeń ditlenku azotu w latach 2011–2013 przekraczały wartości dopuszczalne (dopuszczalny poziom stężenia NO_2 – $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Średnioroczne stężenie zmierzone przy al. Wiśniowej stanowiło przekroczenia dopuszczalnych norm o 60% w 2011 roku i o 40% w 2012 roku. W 2013 roku zawartość ditlenku azotu w powietrzu pozostaje w wartości zbliżonej do poziomu z 2012 roku (rys. 5) (WIOŚ Wrocław, 2013, 2014).

Analiza jakości powietrza we Lwowie

Działalność gospodarcza i sieć transportowa we Lwowie

Lwów jest najważniejszym biznesowym centrum zachodniej Ukrainy. Według stanu na 01.01.2011 roku we Lwowie pracowało 219 dużych przemysłowych przedsiębiorstw i prawie 9 tys. małych przedsiębiorstw. Wśród branż przemysłu największą uwagę w objętości produkcji ma produkcja przemysłu spożywczego (31,6%), produkcja energii



RYSUNEK 5. Średnioroczne poziomy stężenie ditlenku azotu we Wrocławiu w latach 2009–2013
 FIGURE 5. The annual average levels of nitrogen dioxide concentration in Wrocław in 2009–2013

Prowadzone analizy i badania wskazują zatem, że głównymi przyczynami przekroczeń stężeń zanieczyszczeń powietrza we Wrocławiu są: emisja z obiektów sektora komunalno-bytowego (paleniska domowe i lokalne kotłownie posiadające niskie emitory) – szczególnie w sezonie grzewczym; emisja zanieczyszczeń pochodząca z transportu drogowego ma wysoki całoroczny poziom ditlenku azotu w powietrzu oraz wpływa na podwyższony poziom pyłów zawieszonych PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ w głównych węzłach komunikacyjnych.

elektrycznej (27,9%), budowy maszyn (15,1%) (GUS Obwodu Lwowskiego, 2012).

Jednym z głównych czynników, który wpływa na poziom zanieczyszczenia powietrza jest rodzaj i jakość paliwa kopalnego. Głównym paliwem wykorzystywanym we Lwowie w ciągu ostatnich 10 lat jest gaz ziemny (82% zużywanych paliw). Następnie wykorzystywane jest paliwo wyprodukowane z ropy naftowej w postaci benzyny i oleju napędowego, ich udział wynosi 16%. Udział węgla w procesach spalania na terenie Lwowa

to 0,5% (GUS Obwodu Lwowskiego, 2012).

Lwów to również największy transportowy węzeł zachodniej Ukrainy, przez który przechodzi wiele dróg i węzłów kolejowych. Miasto obciążone jest ruchem tranzytowym. Ze względu na rosnącą liczbę używanych samochodów sprowadzanych z zagranicy i „starzenie się” własnego transportu samochodowego, emisja substancji zanieczyszczających powietrza ma charakter wzrostowy. Według danych GUS Ukrainy (2011), w ciągu ostatnich 10 lat liczba pojazdów samochodowych w Lwowie wzrosła o ponad 30% (odpowiednio z 95,4 tys. sztuk w 2000 r. do 133,9 tys. sztuk w 2010 r.). We Lwowie zarejestrowanych jest 116,9 tys. samochodów osobowych, 8,1 tys. – ciężarowych, 3,1 tys. – autobusów i 4,7 jednostek specjalnego transportu samochodowego (stan na 2010 r.). Większość szlaków transportowych przechodzi przez centralną część miasta, przez którą przejazd może trwać do 30 minut.

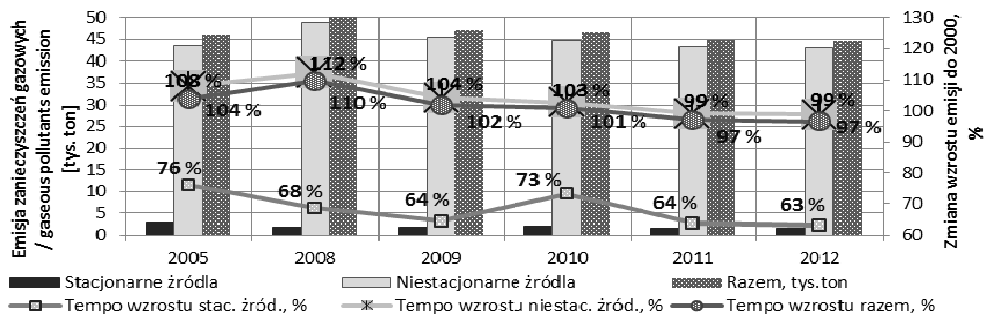
Historyczne śródmieście Lwowa znajduje się w obniżeniu reliefu, o niskim stopniu przewietrzania, co może wywoływać większą koncentrację ditlenku węgla, tlenków azotu i ditlenku siarki w powietrzu. W połączeniu z intensywnym ruchem samochodowym w centralnej części miasta może dochodzić w bezwietrznej pogodzie do powstawania sytuacji smogowych w centrum Lwowa (Projekt Meteoprog.Ua, 2015).

Monitoring stanu jakości powietrza atmosferycznego we Lwowie

Całkowita emisja zanieczyszczeń ze źródeł stacjonarnych oraz niestacjonarnych we Lwowie w 2012 roku wyniosła 44,73 tys. t (GUS Obwodu Lwowskiego, 2012), co stanowi około 19% całkowitej emisji w Obwodzie Lwowskim. Łączna emisja na mieszkańca wyniosła 59 kg (Obwodzie Lwowskim – 97,6 kg/os.), z tego 96% zanieczyszczeń przypadało ze źródeł mobilnych (samochodowy, lotniczy i kolejowy transport).

W 2012 roku całkowita emisja ze źródeł niestacjonarnych wyniosła 42,99 tys. t (GUS Obwodu Lwowskiego, 2012), co stanowi 31% wskaźnika obwodowego. Emisję ze źródeł mobilnych stanowią kolejno: tlenek węgla (do 74%), związku azotu (do 12%) i węglowodory (do 11%) (GUS Obwodu Lwowskiego, 2012). Wśród stacjonarnych źródeł zanieczyszczenia miasta Lwowa największy odsetek przypada na przedsiębiorstwa ciepłowniczego kompleksu miasta (blisko 40%): kotłownie, państwowe komunalne przedsiębiorstwa, które produkują ponad 90% ciepłej energii w mieście.

Od 2005 roku obserwuje się tendencję spadkową całkowitej emisji zanieczyszczeń we Lwowie (rys. 6). Zwiększa się natomiast udział zanieczyszczeń emitowanych ze źródeł niestacjonarnych – z transportu samochodowego. Obserwowany jest wzrost od 93% w 2005 roku do 96% w 2012 roku.



RYSUNEK 6. Dynamika emisji zanieczyszczeń do atmosfery Lwowa w latach 2005–2012
 FIGURE 6. Dynamics of air emissions in Lviv in 2005–2012

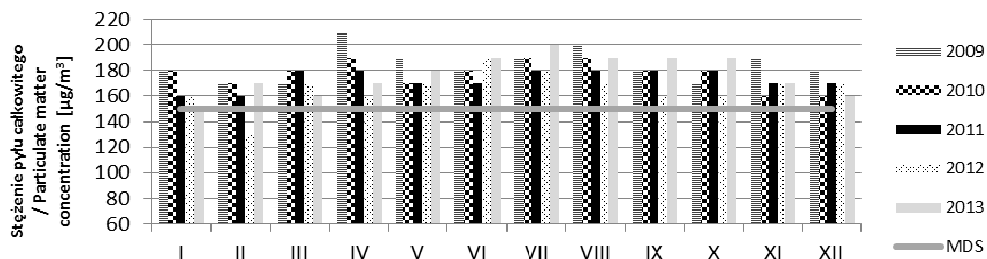
Monitoringiem powietrza atmosferycznego we Lwowie zajmuje się Lwowskie Obwodowe Centrum Hydrometeorologii. W mieście działają cztery stacjonarne stacje pomiarowe (Lwowski Centrum Hydrometeorologii, 2014), w których mierzone są stężenia tlenu węgla, ditlenku siarki, ditlenku azotu, pyłu zawieszonego, formaldehydu, fluorowodoru (Departament Stanu Ochrony Środowiska w Obwodzie Lwowskim, 2014).

Według danych Centrum Hydrometeorologii, głównymi źródłami zanieczyszczeń w powietrzu Lwowa są: w przypadku pyłu – transport, przemysł drzewny i przemysł materiałów budowlanych; ditlenku siarki – przedsiębiorstwa przemysłowe; tlenu węgla – transport, przedsiębiorstwa ciepłownictwa; ditlen-

ku azotu – przedsiębiorstwa ciepłownice (Lwowski Centrum Hydrometeorologii, 2014).

Stan zanieczyszczeń powietrza dla Lwowa przedstawiono w postaci trendów zmian w latach 2009–2013 (Departament Ekologii i Zasobów Naturalnych Miasta Lwów, 2014). W porównaniu do 2009 roku obserwuje się tendencję spadkową średniomiesięcznych stężeń badanych składników w atmosferze miasta zależną m.in. od działań w zakresie zapobiegania zanieczyszczeniom – przeprowadzono remont pokrycia dróg oraz modernizację systemu ciepłowniczego miasta.

Analizując dynamikę zmian średniomiesięcznego stężenia pyłów w powietrzu miasta Lwowa (rys. 7), zauważono że w latach 2009–2013 koncentracja



RYSUNEK 7. Porównanie średniomiesięcznego stężenia pyłu we Lwowie w latach 2009–2013
 FIGURE 7. Comparison of average monthly particulate matter concentration in Lviv in 2009–2013

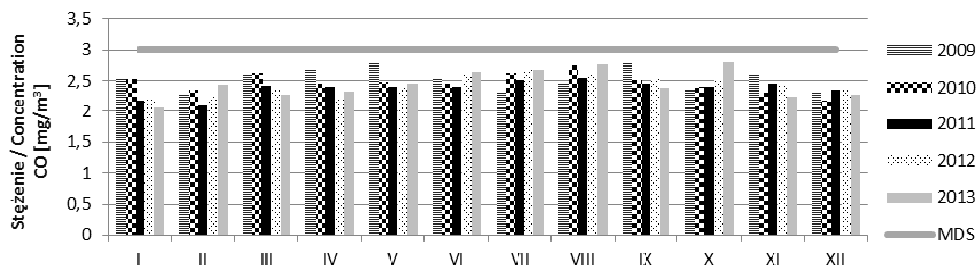
pyłu w powietrzu przekracza normy Ukrainy – maksymalnego dopuszczalnego stężenia – MDS (Ministerstwo Zdrowia Ukrainy, 1997): dopuszczalny poziom stężenia, jaki może wystąpić dla pyłu całkowitego, wynosi $150 \mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ h}$. Największy wzrost zanieczyszczenia powietrza pyłem obserwowano w miesiącach letnich, co związane jest ze wzrostem aktywności na drogach w sezonie ciepłym.

Analiza zmienności stężeń tlenu węgla wskazuje, że zawartość zanieczyszczeń w badanym okresie była w ramach ustanowionych norm MDS (maksymalne dopuszczalne stężenia). Ustawodawstwo ukraińskie określa dopuszczalne stężenie dla tlenu węgla na poziomie $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ h}$ (Ministerstwo Zdrowia Ukrainy, 1997). W 2013 roku przekroczeń norm nie obserwowano (rys. 8).

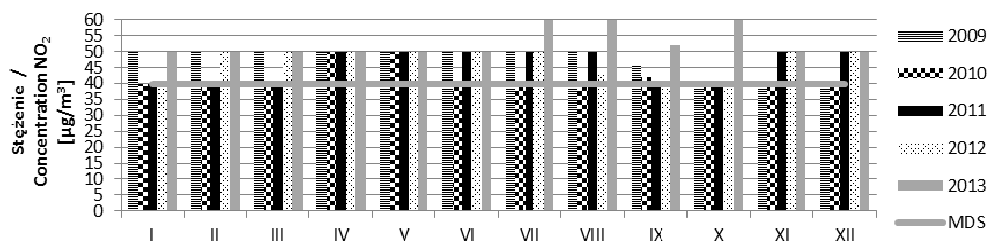
Wyniki analizy zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego ditlenkiem siarki (rys. 9) wskazują, że zawartość ditlenku siarki w badanym okresie mieściła się w granicach ustalonej ukraińskim ustawodawstwem normy (maksymalne dopuszczalne stężenie dla ditlenku siarki jest na poziomie $50 \mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ h}$) (Ministerstwo Zdrowia Ukrainy, 1997).

W przypadku stężeń ditlenku azotu zaobserwowano przekroczenia ustalonych norm (rys. 10). Ustawodawstwo ukraińskie określa dopuszczalne stężenie dla ditlenku azotu, jakie może wystąpić, na poziomie $40 \mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ h}$ (Ministerstwo Zdrowia Ukrainy, 1997).

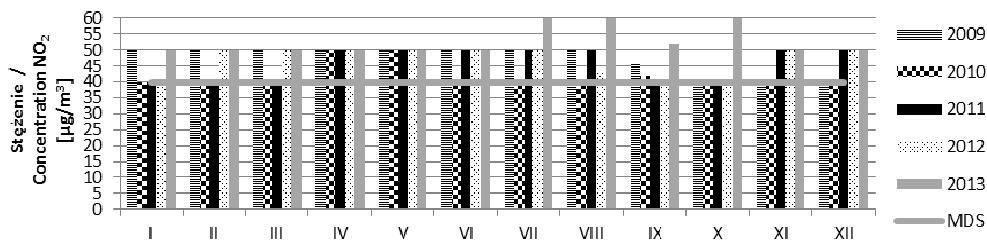
Z analizy zmian stężeń zanieczyszczeń powietrza w Lwowie możemy zatem wnioskować, że źródła liniowe – transport – pogarszają stan jakości powietrza atmosferycznego.



RYSUNEK 8. Porównanie średniomiesięcznego stężenia tlenu węgla we Lwowie w latach 2009–2013
 FIGURE 8. Comparison of average monthly carbon monoxide concentration in Lviv in 2009–2013



RYSUNEK 9. Porównanie średniomiesięcznego stężenia ditlenkiem siarki we Lwowie w latach 2009–2013
 FIGURE 9. Comparison of average monthly sulfur dioxide concentration in Lviv in 2009–2013



RYSUNEK 10. Porównanie średniomiesięcznego stężenia ditlenku azotu we Lwowie w latach 2009–2013
 FIGURE 10. Comparison of average monthly nitrogen dioxide concentrations in Lviv in 2009–2013

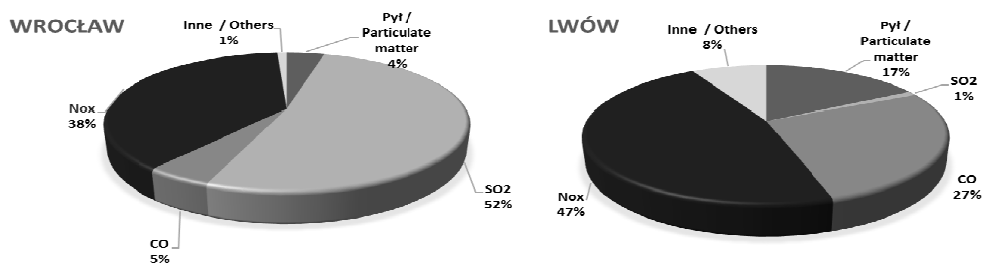
Porównanie zanieczyszczenia powietrza we Lwowie i Wrocławiu

Stopień zanieczyszczenia atmosfery określa się ze względu na wielkość zużycia różnych rodzajów i jakości paliw kopalnych oraz koncentracji przedsiębiorstw przemysłowych w aglomeracji miejskiej. We Lwowie głównym rodzajem paliw pierwotnych wykorzystanych w przemyśle i gospodarce komunalnej w ciągu ostatnich 10 lat jest gaz ziemny (ok. 83% w 2012 r.), powodujący większy udział procentowy emisji NO₂ bez uwzględniania emisji z pojazdów samochodowych (GUS Obwodu Lwowskiego, 2013). We Wrocławiu głównym źródłem energetycznym jest węgiel. Zgodnie z raportem WIOŚ, we Wrocławiu w 2012 roku 71% spalanych paliw do ogrzewania mieszkań stanowił węgiel (WIOŚ,

2013). Spalanie węgla powoduje wyższy procent emisji SO₂, około 52% z ogólnej emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

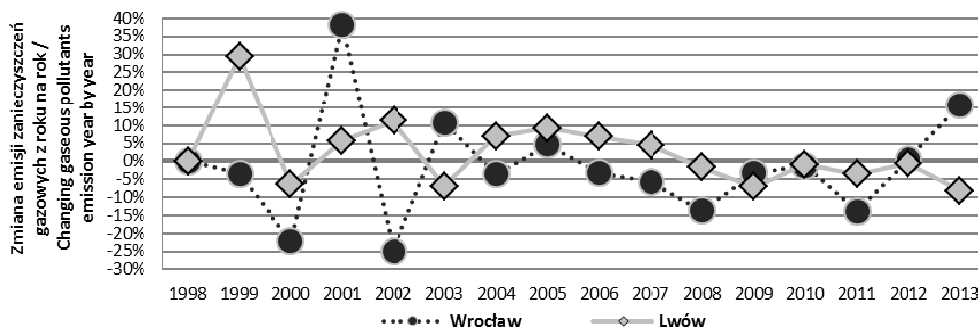
Strukturę emisji punktowej głównych zanieczyszczeń powietrza we Wrocławiu i Lwowie przedstawiono na rysunku 11 (GUS Obwodu Lwowskiego, 2014a, GUS, 2014b, GUS, 2015).

Na rysunku 12 przedstawiono zmienność emisji zanieczyszczeń gazowych (CO, NO₂, SO₂) we Wrocławiu i Lwowie w latach 1998–2013 (GUS Obwodu Lwowskiego, 2014, GUS Wrocław, 2014). Od 2000 roku obserwowane są tendencje do zmniejszenia stopnia zanieczyszczenia powietrza w obu miastach. W 2013 roku emisja zanieczyszczeń powietrza we Lwowie zmniejszyła się o 8% od 2012 roku. Poziom emisji zanieczyszczeń we Wrocławiu w ciągu



RYSUNEK 11. Struktura głównych zanieczyszczeń do atmosfery ze źródeł punktowych we Wrocławiu i Lwowie w 2012 roku

FIGURE 11. The structure of the main air pollutants from point sources in Wrocław and Lviv in 2012



RYSUNEK 12. Zmiany rocznej emisji zanieczyszczeń gazowych powietrza we Wrocławiu i Lwowie w latach 1998–2013

FIGURE 12. Change in annual air emissions of gaseous pollutants in Wrocław and Lviv in the years 1998–2013

ostatnich lat wykazał tendencje spadkową, jednak w 2011 roku zauważono wzrost emisji, która w 2013 roku była wyższa o 16% niż w 2012 roku.

Ocena wskaźników stanu powietrza atmosferycznego we Lwowie i Wrocławiu przeprowadzona została przez porównanie stężeń dla wybranych zanieczyszczeń powietrza w latach 2005–2013, z odpowiednimi normami stężeń substancji zanieczyszczających, tj. SO₂, NO₂, CO, pył, zalecanych przez Światową Organizację Zdrowia (WHO, 2006a) i wyraźnie wskazuje na ogromną różnicę w poziomach głównych zanieczyszczeń między analizowanymi miastami Lwo-

wem i Wrocławiem a wytycznymi WHO z 2013 roku (GUS, 2013b, GUS Obwodu Lwowskiego 2014, WHO, 2005, 2014) – tabela 1. We Lwowie obserwowane są wysokie poziomy zanieczyszczeń wszystkich badanych substancji i kilka razy przekraczane wartości stężeń rekomendowane przez WHO. Według państwowych norm Ukrainy, maksymalne dopuszczalne stężenia (MDS) zanieczyszczeń SO₂ i CO spełniają krajowe wymagania, które uwzględniają wyższe poziomy stężeń w porównaniu z wytycznymi WHO. Poziom stężenia pyłu zawieszonego we Lwowie jest ponad osiem razy wyższy niż zalecany średniorocz-

TABELA 1. Powierzchnia i gęstość zaludnienia oraz średnioroczne stężenia zanieczyszczeń powietrza w miastach w 2013 roku

TABLE 1. Area, population density and average annual pollutants concentrations in urban areas in 2013

Region	Zaludnienie, [tys. os]	Powierzchnia [km ²]	Gęstość zaludnienia [os./km ²]	Średnioroczna wartość stężenia [µg/ m ³]			
				Pył (PM10)	Ditlenek siarki	Ditlenek azotu	Tlenek węgla
Lwów	759,1	171,01	4 439	175	29	50	2 440
Wrocław	632,1	293	2 160	37	7	54	365
Światowa Organizacja Zdrowia rekomendowane maksymalne poziomy stężenia				20	20 µg/m ³ /24 h	40	10 000 µg/m ³ – 8 h

ny poziomu według WHO ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dane wskazują, że wartości rekomendowane przez WHO nie będą osiągalne we Lwowie w ciągu najbliższych lat, nawet jeśli całkowita emisja pochodząca z transportu i źródeł stacjonarnych będzie zmniejszona dwukrotnie.

Przeprowadzona analiza dla miasta Wrocławia wykazała natomiast przekroczenia dopuszczalnych poziomów stężeń zanieczyszczeń powietrza zgodnie z wytycznymi WHO oraz przekroczenie wartości dopuszczalnych według standardów jakości powietrza określonych w prawie polskim. Wykazano przekroczenia dla ditlenku azotu i pyłu zawieszonego (PM₁₀, PM_{2,5}). Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM₁₀ było dwukrotnie wyższe niż dopuszczalne średnioroczne stężenie rekomendowane przez WHO. Przekroczenie rocznego stężenia pyłu PM_{2,5} było trzykrotnie wyższe w porównaniu do poziomu rekomendowanego przez WHO ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Poziom stężenia NO₂ we Wrocławiu przekraczał normy WHO o 35%.

W analizowanych okresach obserwowano przekroczenia standardów krajowych i norm WHO dla jakości powietrza we Lwowie i Wrocławiu w odniesieniu do stężeń tlenków azotu i pyłu zawieszonego. Uzasadniony jest zatem stały monitoring zanieczyszczeń powietrza i zalecone jest opracowanie programów ochrony powietrza dla badanych miastach.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że przyczynami zmian stężeń głównych substancji zanieczyszczających (pyły za-

wieszane PM₁₀ i PM_{2,5}, tlenki węgla, tlenki azotu, ditlenek siarki) w powietrzu jest spalanie paliw różnych typów i jakości, używanych do produkcji energii elektrycznej i ciepła, charakter zagospodarowania terenu oraz znaczny wzrost liczby pojazdów samochodowych.

We Wrocławiu obserwowane są od lata przekroczenia poziomów zanieczyszczeń związanych z niską emisją, tj. pyłów zawieszonych PM₁₀ i PM_{2,5} oraz zanieczyszczeń komunikacyjnych (ditlenku azotu). Wśród dominujących źródeł emisji zanieczyszczeń do powietrza są małe kotłownie lokalne oraz pojazdy samochodowe. Wzrost stężeń zanieczyszczeń jest szczególnie obserwowany w sezonie grzewczym.

Przeprowadzone analizy danych GUS Obwodu Lwowskiego wskazały na wysoki poziom zanieczyszczenia powietrza we Lwowie głównie ze względu na wysokie stężenia pyłu zawieszonego i ditlenku azotu, które przekraczały normy krajowe Ukrainy.

Na podstawie badań prowadzonych w poprzednich latach we Lwowie i Wrocławiu zaobserwowano w ostatnim dziesięcioleciu tendencję spadkową w wartościach emisji głównych zanieczyszczeń powietrza.

Jakość powietrza w badanych miastach uległa znacznej poprawie w ostatnich latach poprzez wdrożenia i realizację programów ochrony powietrza. Dla rozwiązania problemów komunikacyjnych we Lwowie oraz Wrocławiu należy m.in. zaplanować modernizację istniejących oraz budowę nowych dróg, wielostopniowych rozwiązań komunikacyjnych i podziemnych parkingów, wdrożyć programy promujące wykorzystywanie miejskich środków transportu

– szczególnie w dni o wysokim poziomie zanieczyszczeń, wprowadzić strefy o zróżnicowanym ruchu kołowym. Priorytetem dla miasta Lwowa jest również zmniejszenie obciążenia osobowym i tranzytowym transportem, głównie w centrum miasta, poprzez opracowanie optymalnej dla jakości powietrza strategii transportowej.

Literatura

- Badyda, J.A., Czechowski, P.O., Majewski, G., Lubiński, W., Dąbrowiecki, P. i Gayer, A. (2012). Zanieczyszczenie powietrza w sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych, jako czynnik ryzyka chorób układu oddechowego. W J. Koniecznyński (red.), *Ochrona powietrza w teorii i praktyce, T.1.* (strony 1-12). Zabrze: Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk.
- Case-Doradcy sp. z o.o. (2013). *Aktualizacja założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla obszaru GMINY WROCŁAW (wersja uzupełniona i poprawiona)*. Pobrano z lokalizacji: <http://iwroclaw.pl/wps/wcm/connect/b7879de8-4a3b-4c12-a52a-a14ca-795190c/Za%C5%82%C4%85cznik+1282-13.pdf?MOD=AJPERES&CACHE-ID=b7879de8-4a3b-4c12-a52a-a14ca795190c>
- Departament Ekologii i Zasobów Naturalnych Lwowska Obwodowej Państwowej Administracji (2014). *ЗБИТ про результати моніторингу природного довкілля Львівщини за 2013 рік*. Pobrano z lokalizacji: http://www.ekologia.lviv.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=1952&Itemid=112.
- Departament Stanu Ochrony Środowiska w Obwodzie Lwowskim (2014). *Informacyjny – Analityczny Przegląd. Pierwszy kwartał 2013 (na podstawie badań monitoringowych) Środowisko w Obwodzie Lwowskim*. Lwów: Departament Stanu Ochrony Środowiska w Obwodzie Lwowskim.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (Dz. UE OJ L 152, 11.6.2008).
- European Environment Agency – EEA (2013). *A closer look at urban transport TERM 2013: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe – 2013 report* EEA. Technical report No 11/2013.
- Główny Urząd Statystyczny – GUS. (2013a). *Zużycie paliw i nośników energii w 2012 r.* Pobrano z lokalizacji: http://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5485/6/7/1/se_zuzycie_paliw_no_snikow_energii2012.pdf.
- Główny Urząd Statystyczny – GUS. (2013b). *Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2013 r.* Pobrano z lokalizacji: http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/l_powierzchnia_i_ludnosc_przekroj_terytoryalny_2013.pdf
- Główny Urząd Statystyczny – GUS. (2014a). *Bank danych lokalnych*. Pobrano z lokalizacji: http://stat.gov.pl/bdl/app/dane_podgrup.display?p_id=56889&p_token=0.7036767036188394#.
- Główny Urząd Statystyczny – GUS. (2014b). *Bank danych lokalnych*. Pobrano z lokalizacji: http://stat.gov.pl/bdl/app/dane_podgrup.display?p_id=338855&p_token=0.21062351809814572.
- Główny Urząd Statystyczny – GUS. (2015). *Bank danych lokalnych*. Pobrano z lokalizacji: http://stat.gov.pl/bdl/app/dane_podgrup.display?p_id=338855&p_token=0.9730103069450706.
- Główny Urząd Statystyczny Ukrainy – GUS Ukrainy (2011). *Rocznik Statystyczny Ukrainy na 2011 rok*. Pobrano z lokalizacji: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
- Główny Urząd Statystyczny Obwodu Lwowskiego – GUS Obwodu Lwowskiego. (2012). *Rocznik Statystyczny miasta Lwowa na 2012 rok*. Pobrano z lokalizacji: http://lv.ukrstat.gov.ua/ukr/publ/archive_publ.php?y=2013&y-1=01&ind_page=archive.
- Główny Urząd Statystyczny Obwodu Lwowskiego – GUS Obwodu Lwowskiego. (2014a). *Demograficzna sytuacja we Lwowie, (ukr.)*. Pobrano z lokalizacji: http://lv.ukrstat.gov.ua/ukr/report/press_2009.php?ind_page=press&vid=5&code=18&show=1&id_news=7821.
- Główny Urząd Statystyczny Obwodu Lwowskiego – GUS Obwodu Lwowskiego. (2014b). *Działalność gospodarcza we Lwowie, 2014 r.*

- (ukr.) Pobrano z lokalizacji: http://lv.ukrstat.gov.ua/ukr/report/express_2009.php?ind_page=express&vid=3&id_news=7731
- Juda-Rezler, K. (2006). Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Lwowska Obwodowa Państwowa Administracja (2013). *Materiały do Narodowego Raportu Ukrainy o stanie środowiska w 2013 roku – Raport Regionalny na temat stanu środowiska naturalnego w obwodzie lwowskim w 2013 roku*. Lwów: Lwowska Obwodowa Państwowa Administracja.
- Lwowski Regionalny Centrum Hydrometeorologii (2014). *Dane hydrometeorologiczne*. Pobrano z lokalizacji: <http://meteo.lviv.ua/>
- Mikołajczyk, A., Żyniewicz, S. i Ostrycharz, D. (2014). *Jakość powietrza na obszarze miasta Wrocławia w 2013 roku*. Wrocław: Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska we Wrocławiu, kwiecień 2014.
- Ministerstwo Zdrowia Ukrainy (1997). *Państwowe przepisy sanitarne Ukrainy według ochrony atmosferycznego powietrza zaludnionych miejsc (od zanieczyszczenia substancjami chemicznymi i biologicznymi)* (Oficjalna edycja DSP - 201-97). Kijów: Ministerstwo Zdrowia Ukrainy.
- Projekt Meteoprog.Ua (2015). *Portal pogody – Klimat Lwowa*. Pobrano z lokalizacji: <http://www.meteoprog.ua/ua/climate/Lviv/>.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2014 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania (Dz.U. z 2014 r. poz. 1546).
- Sterbeck, J., Sjodin, A. i Andreasson, K. (2002). Metal emission from road traffic and the influence of resuspension – results from two tunnel studies. *Atmospheric Environment*, 36, 4735-4744. doi:10.1016/S1352-2310(02)00561-7.
- Wcisło E. (2008). *Ocena środowiskowych zagrożeń zdrowia mieszkańców dużych miast Polski*. Białystok: Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko.
- World Health Organization – WHO Europe. (2006a). *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Global update 2005*. Geneva: WHO.
- World Health Organization – WHO, Europe. (2006b). *Health risk of PM from long range transboundary air pollution*. Copenhagen: WHO.
- World Health Organization – WHO Europe. (2014). *Indoor air quality guidelines: household fuel combustion*. Geneva: WHO.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska – WIOŚ, we Wrocławiu. (2010). *Ocena jakości powietrza na terenie województwa dolnośląskiego w 2009 roku*. Wrocław: WIOŚ.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska – WIOŚ, we Wrocławiu. (2011). *Ocena jakości powietrza na terenie województwa dolnośląskiego w 2010 roku*. Wrocław: WIOŚ.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska – WIOŚ, we Wrocławiu (2012). *Ocena jakości powietrza na terenie województwa dolnośląskiego w 2011 roku*. Wrocław: WIOŚ.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska – WIOŚ, we Wrocławiu (2013). *Ocena jakości powietrza na terenie województwa dolnośląskiego w 2012 roku*. Wrocław: WIOŚ.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska – WIOŚ, we Wrocławiu (2014). *Ocena jakości powietrza na terenie województwa dolnośląskiego w 2013 roku*. Wrocław: WIOŚ.
- Zwoździak, A., Sówka, I., Zwoździak, J. i Trzepla-Nabagło, K. (2010). Analiza zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{2,5} w aspekcie potencjalnego ryzyka utraty zdrowotności mieszkańców Wrocławia. *Medycyna Środowiskowa*, 13 (2), 25-31.

Streszczenie

Analiza i ocena stanu jakości powietrza na obszarze dwóch miast: Wrocławia (Polska) i Lwowa (Ukraina). Scharakteryzowano stan jakości powietrza atmosferycznego, dynamikę zmian głównych substancji zanieczyszczających atmosferę na obszarze miast Wrocławia (Polska) i Lwowa (Ukraina). Przeanalizowano przyczyny różnic w poziomach stężeń zanieczyszczeń na terenie analizowanych miast. Każde z analizowanych miast zderza się z indywidualnym problemem zanieczyszczenia powietrza. Warunki meteorologiczne i topografia miast,

technologia spalania paliw stałych do celów grzewczych, wysokie tempo wzrostu liczby transportu osobowego wywołują wzrost emisji zanieczyszczeń powietrza. Pomimo zmniejszenia poziomu zanieczyszczenia powietrza ze źródeł stacjonarnych, w badanych miastach obserwuje się wzrost emisji ze źródeł niestacjonarnych (transport wewnętrzny i tranzytowy). W pracy wskazano kierunki rozwiązań w zakresie zmniejszenia emisji i poprawy jakości powietrza atmosferycznego we Wrocławiu oraz Lwowie. Scharakteryzowano również działania zmierzające do ograniczenia zanieczyszczeń powietrza z sektora transportu.

Summary

Analysis and assessment of air quality in the cities area of Wrocław (Poland) and Lviv (Ukraine). The condition of air quality, the dynamics of changes of the main pollutants substances in atmosphere on the area of the cities Wrocław (Poland) and Lviv (Ukraine) were characterized. The reasons of differences in the levels of concentrations on the studied areas were analyzed. Each of

these cities faced with individual air pollution problem. Meteorological conditions and the topography, combustion technologies of solid fuels for heating, the high growth of passenger transport have a strong effect on emissions and dispersion of air pollutants. Despite the reduction of air pollution levels from stationary sources in European cities increase of emissions from non-stationary sources (internal and transit transport) is observed. The directions of solutions to reduce of air pollutants emissions and improve of air quality in Wrocław and Lviv, and solutions to reduce air pollution from the transport sector were indicated.

Authors' address:

Izabela Sówka, Yaroslav Bezyk,
Łukasz Pachurka
Zakład Ekologii i Zarządzania Ryzykiem
Środowiskowym,
Wydział Inżynierii Środowiska,
Politechnika Wroclawska,
Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27,
50-370 Wrocław, Poland
e-mail: izabela.sowka@pwr.edu.pl,
jaroslaw.bezyk@pwr.edu.pl,
lukasz.pachurka@pwr.edu.pl