

BOGUSŁAW M. KASZEWSKI

<https://orcid.org/0000-0002-0797-4284>

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej

al. Kraśnicka 2D, 20-718 Lublin

boguslaw.kaszewski@umcs.pl

Badania zanieczyszczenia powietrza w Lublinie

Air Pollution Research in Lublin

Abstract: Based on the literature, the state of air pollution research in Lublin is presented in historical terms – from the mid-20th century. Due to the lack of developed research methods, there were not many publications of that type in the 20th century. Progress in the study of air pollution in Lublin did not appear until the beginning of the 21st century. In the paper, three main groups of works have been distinguished: 1) on inorganic particulate pollution; 2) on gaseous pollution; 3) on bioaerosols. Among the factors affecting air quality in Lublin and spatial differentiation of pollution concentrations are not only local and incoming emissions from municipal and domestic sources (occurring during the heating season) or all-year emissions from communication routes (local and transit road transport) and industrial sources, but also unfavorable meteorological conditions (e.g. occasional low wind speed and low temperature in winter), hypsometric diversity and building density of the city.

Keywords: particulate pollution; gaseous pollution; bioaerosols; air pollution; measurements; Lublin

Abstrakt: Na podstawie literatury przedstawiono stan badań zanieczyszczenia powietrza w Lublinie w ujęciu historycznym – od połowy XX w. Głównie ze względu na brak wypracowanych metod badań prace tego typu w XX w. były nieliczne. Postęp w badaniach zanieczyszczenia powietrza w Lublinie zaznaczył się dopiero na początku XXI w. W niniejszym opracowaniu wydzielono trzy zasadnicze grupy prac, dotyczące: 1) zanieczyszczeń przez pył nieorganiczny; 2) zanieczyszczeń gazowych; 3) bioaerozolu. Wśród czynników wpływających na jakość powietrza w Lublinie i na zróżnicowanie przestrzenne stężeń zanieczyszczeń istotne znaczenie ma nie tylko lokalna i napływowa emisja ze źródeł komunalno-bytowych (zachodząca w sezonie grzewczym) czy całoroczna emisja z tras komunikacyjnych (lokalnego i tranzytowego transportu samochodowego) i źródeł przemysłowych, lecz także występujące niekorzystne warunki meteorologiczne (np. w okresie zimy występująca czasem niewielka prędkość wiatru przy niskiej temperaturze), zróżnicowanie hipsometryczne miasta i gęstość zabudowy.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia przez pył; zanieczyszczenia gazowe; bioaerozole; zanieczyszczenie powietrza; pomiary; Lublin

WSTĘP I CEL PRACY

Standard życia mieszkańców miast w dużym stopniu zależy od jakości powietrza atmosferycznego, czyli znajdujących się w nim różnorodnych substancji. Gdy składniki atmosfery występują w stężeniach nieodpowiadających naturalnemu składowi atmosfery ziemskiej oraz gdy w składzie powietrza obecne są gazy, ciecze i ciała stałe niebędące jego naturalnymi składnikami, mówimy wówczas o zanieczyszczeniu powietrza. Stan zanieczyszczenia powietrza ocenia się przez porównanie udziału danego składnika w powietrzu z obowiązującymi normami¹.

W ostatnich latach odnotowuje się występowanie epizodów bardzo wysokich stężeń zanieczyszczeń, zwłaszcza w dużych miastach. Stężenia zanieczyszczeń powietrza w obszarach miejskich są wypadkową działania czynników prowadzących do koncentracji zanieczyszczeń oraz do rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Procesy emisji i dyspersji zanieczyszczeń podlegają zmianom w szerokim zakresie skal czasowych i przestrzennych. Warto zwrócić uwagę na fakt, że cząsteczki pyłów mogą łączyć się z różnymi związkami chemicznymi, takimi jak: siarka, węglowodory aromatyczne, metale ciężkie, dioksyny, alergeny (Malec, Borowski 2016). Narażenie na ponadnormatywne stężenia zanieczyszczeń powietrza prowadzi do ogólnego pogorszenia stanu zdrowia, ostrych reakcji układu oddechowego (kaszel, trudności z oddychaniem) oraz skrócenia długości życia. Poza oddziaływaniem bezpośrednim na zdrowie ludzkie zanieczyszczenia powietrza mają również istotny wpływ pośredni poprzez zakwaszenie i skażenie metalami ciężkimi gleb, wód i roślinności (Juda-Rezler, Manczarski 2010). Ważność tego zagadnienia przejawia się np. w powołaniu przez Prezesa Rady Ministrów w 2016 r. Komitetu Sterującego ds. Krajowego Programu Ochrony Powietrza. Do zadań tego Komitetu należy m.in. koordynacja realizacji wspólnych działań na rzecz poprawy jakości powietrza, wynikających ze Strategii „Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko – perspektywa do 2020 r.”, oraz monitorowanie stanu zaawansowania działań na rzecz poprawy jakości powietrza, wynikających z Krajowego Programu Ochrony Powietrza (Załącznik nr 1234 Prezesa Rady Ministrów z dnia 18 października 2016 r.).

Emisję zanieczyszczeń do atmosfery można podzielić na naturalną i antropogeniczną. Źródłami naturalnymi zanieczyszczeń powietrza są wybuchy wulkanów, pożary lasów i stepów, bagna, powierzchnie mórz i oceanów, pustynie,

¹ Nie dotyczy to zanieczyszczeń biologicznych (Chmiel, Frączek, Grzyb 2015).

pylenie roślin, rozkład materii organicznej, erozja gleb i skał (Czarnecka, Koźmiński 2006). Źródła antropogeniczne zanieczyszczeń powietrza w miastach można podzielić na trzy grupy:

1) punktowe: emisje z zakładów przemysłowych odprowadzających gazy i pyły w sposób zorganizowany,

2) liniowe: emisje ze źródeł ruchomych związanych z transportem pojazdów samochodowych. W przypadku komunikacji źródła emisji znajdują się nisko nad ziemią, co sprawia, że substancje emitowane z silników pojazdów powodują powstawanie wysokich stężeń zanieczyszczeń w otoczeniu dróg,

3) powierzchniowe: emisje związane z ogrzewaniem mieszkań w sektorze komunalno-bytowym (np. piece domowe, kotłownie, niewielkie zakłady przemysłowe). Łącznie z emisją zanieczyszczeń w transporcie jest to tzw. niska emisja, czyli najogólniej rzecz biorąc emisja szkodliwych pyłów i gazów na niskiej wysokości. Chodzi tu o emitory (kominy i inne źródła emisji) sięgające do wysokości nie większej niż 40 m. Przeważnie jednak znajdują się one na wysokości do 10 m. Zanieczyszczenia wprowadzane do powietrza na tej wysokości koncentrują się w pobliżu miejsca emisji (zazwyczaj są to miejsca zwartej zabudowy mieszkalnej).

Lista zanieczyszczeń, określona przepisami krajowymi (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r.), obejmuje:

1) zanieczyszczenia gazowe: benzen C_6H_6 , dwutlenek azotu NO_2 , tlenki azotu NO_x (dwutlenek azotu i tlenek azotu łącznie, w przeliczeniu na dwutlenek azotu), dwutlenek siarki SO_2 , tlenek węgla CO i ozon O_3 ,

2) pył zawieszony $PM_{2,5}$, PM_{10} oraz ołów Pb , arsen As , kadm Cd , nikiel Ni i benzo(a)piren $B(a)P$ zawarte w PM_{10} .

Głównym źródłem emisji gazów jest sektor energetyczny, przemysłowy i transportowy, a pyłów – sektor komunalno-bytowy i transportowy. W przypadku transportu zwraca się uwagę na emisję spalin pochodzących z silników wysokoprężnych (D'Amato, Cecchi, D'Amato, Liccardi 2010). Pyły nie są zanieczyszczeniami jednorodnymi, a na stopień ich szkodliwości wpływa skład chemiczny i mineralogiczny oraz rozmiary ziaren. Obecnie stosuje się następujący podział pyłów ze względu na frakcję pyłu zawieszonego (Reizer 2016):

1) całkowity pył zawieszony (*Total Suspended Particles*, TSP) – całkowity pył zawieszony w powietrzu,

2) pył PM_{10} – poniżej $10\ \mu m$,

3) pył $PM_{2,5-10}$ – pomiędzy $2,5\ \mu m$ i $10\ \mu m$; PM_c (*coarse*),

4) pył drobny $PM_{2,5}$ – cząstki poniżej $2,5\ \mu m$,

5) pył submikronowy PM_1 – poniżej $1,0\ \mu m$,

6) pył ultradrobny $PM_{0,1}$ – poniżej $0,1\ \mu m$.

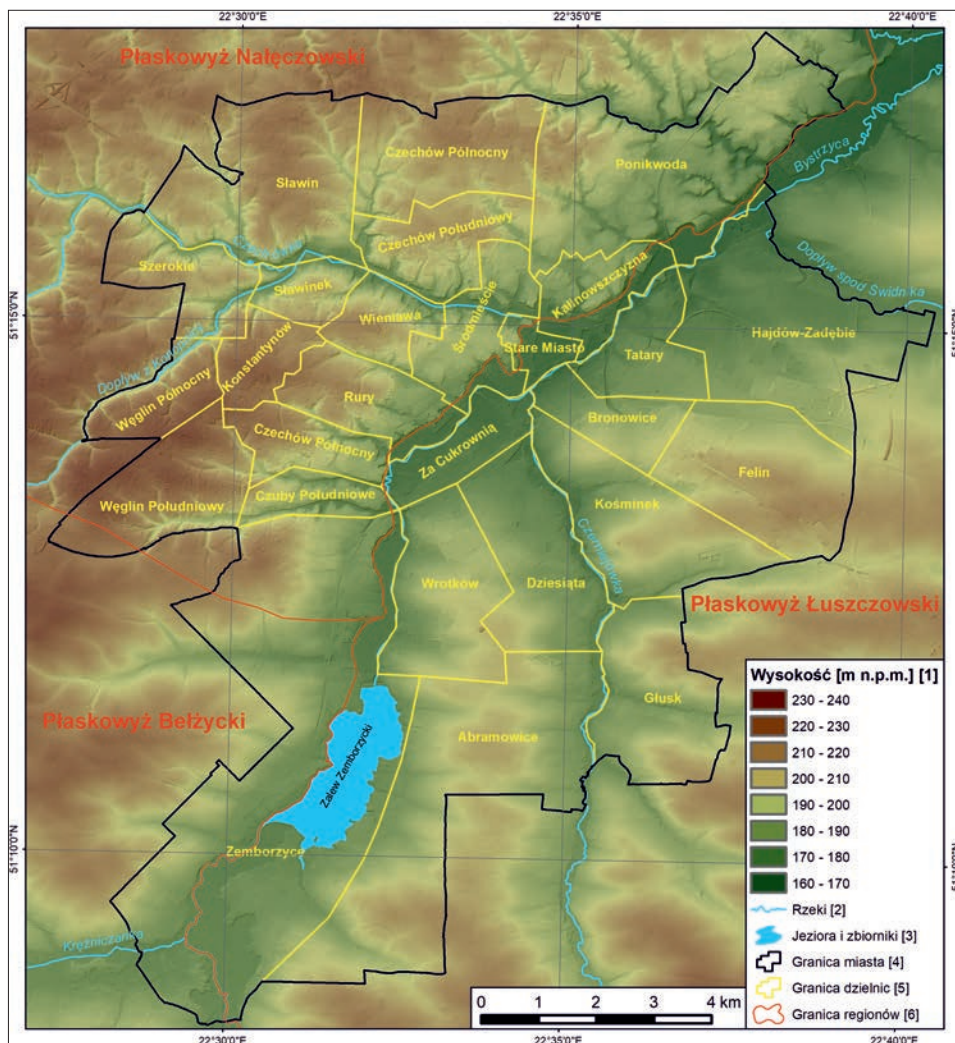
Utrzymanie odpowiedniej jakości powietrza na terenach miejskich jest szczególnie trudne ze względu na koncentrację wielu źródeł emisji na stosunkowo niewielkim obszarze oraz ciągły wzrost ludności notowany w większości miast. Na zanieczyszczenie powietrza w obszarach miejskich i podmiejskich istotny wpływ, poza poziomem emisji ze źródeł lokalnych, mają: zanieczyszczenia napływowe (transgraniczne) pochodzące z atmosferycznych przemian fizykochemicznych, ukształtowanie terenu oraz zagospodarowanie przestrzenne (udział zwartej zabudowy, udział terenów zielonych itp.). Poziom zanieczyszczenia atmosfery pyłami w dużej mierze zależy od warunków meteorologicznych, przede wszystkim kierunku i prędkości wiatru, pionowej struktury termicznej powietrza, wilgotności względnej powietrza, natężenia promieniowania słonecznego. Duża prędkość wiatru sprzyja dyspersji zanieczyszczeń, a duże wartości wilgotności umożliwiają agregację cząstek pyłu i szybsze ich opadanie. Ważnym czynnikiem jest również lokalizacja głównych zakładów przemysłowych na terenie miasta i w jego okolicach. Warto podkreślić fakt, że poziom stężenia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego jest bardzo zmienny w czasie i w przestrzeni miasta, co wiąże się ze zróżnicowaniem topograficznym i meteorologicznym. Największe wartości notowane są w centrach miast, wzdłuż ciągów komunikacyjnych i na skrzyżowaniach ulic (Gulia, Shiva Nagendra, Khare, Khanna 2015).

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie dotychczasowego stanu badań nad zanieczyszczeniem powietrza w Lublinie przez pyły pochodzenia nieorganicznego, gazy i pyły pochodzenia organicznego. Ponadto omówiono najważniejsze wyniki badań zanieczyszczenia powietrza opublikowane w wybranych pracach.

OBSZAR BADAŃ

Lublin jest miastem o powierzchni 147,5 km² i liczbie mieszkańców blisko 340 tys. (*Rocznik statystyczny województwa lubelskiego* 2018). W jego skład wchodzi 27 dzielnic (ryc. 1). W podziale geomorfologicznym H. Maruszczaka (1972) Lublin położony jest w obrębie trzech makroregionów Wyżyny Lubelskiej: Płaskowyżu Nałęczowskiego, Płaskowyżu Bełżyckiego oraz Płaskowyżu Łuszczowskiego.

Dolina Bystrzycy dzieli miasto na dwie odmienne pod względem orograficznym części: (1) lewobrzeżną, z urozmaiconą rzeźbą terenu, głębokimi dolinami i wąwozami lessowymi, oraz (2) prawobrzeżną, dość płaską. Oprócz doliny Bystrzycy ważną rolę w morfologii miasta odgrywają doliny powiązane z jej dopływami: Czechówka i Czerniejówka. Teren Płaskowyżu Nałęczowskiego pokrywa less (o miąższości dochodzącej na wierzchołkach do ponad 20 m).



1 – wysokość (m n.p.m.); 2 – rzeki; 3 – jeziora i zbiorniki wodne; 4 – granice miasta; 5 – granice dzielnic; 6 – granice regionów geomorfologicznych
 1 – heights (m a.s.l.); 2 – rivers; 3 – lakes and water bodies; 4 – city boundaries; 5 – district boundaries; 6 – boundaries of geomorphological regions

Ryc. 1. Podział administracyjny Lublina na tle podziału geomorfologicznego według H. Maruszczaka (opracowanie P. Demczuk na podstawie: Superson, Reder, Demczuk 2018)

Fig. 1. Administrative division of Lublin on the background of geomorphological division according to H. Maruszczak (elaboration by P. Demczuk based on: Superson, Reder, Demczuk 2018)

Omawiany obszar charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem hipsometrycznym, deniwelacje terenu przekraczają 70 m. Najwyżej położony punkt w granicach Lublina znajduje się na Węglinie w rejonie ul. Raszyńskiej (233,7 m n.p.m.). Najniższy punkt w granicach miasta znajduje się w dnie doliny Bystrzycy na Ponikwodzie, w okolicy oczyszczalni ścieków (162,5 m n.p.m.) (Kłosowski 2012). Urozmaicona rzeźba powierzchni Lublina ma swoje odzwierciedlenie w zróżnicowaniu warunków topo- i mikroklimatycznych na tym obszarze. Ma to istotny wpływ na zróżnicowanie przestrzenne koncentracji i dyspersji zanieczyszczeń.

BADANIA ZANIECZYSZCZEŃ PYŁOWYCH

Zainteresowanie zanieczyszczeniem powietrza w Polsce jeszcze w okresie międzywojennym, a następnie w latach powojennych, wiązało się głównie z powtarzającymi się przypadkami zwiększonej koncentracji pyłu zawieszonego, co powodowało zmniejszenie przezroczystości atmosfery i osadzanie się go na różnych przedmiotach znajdujących się na powierzchni Ziemi. Ze względu na brak odpowiednich przyrządów były to głównie spostrzeżenia wizualne. Takie zjawisko wystąpiło np. w Lublinie i na Lubelszczyźnie w dniach 10–13 kwietnia 1948 r. (Zinkiewicz 1949). Stwierdzono wówczas, że duże stężenie pyłu zawieszonego w powietrzu u niektórych wrażliwych osób wywołało podrażnienie błony śluzowej nosa i gardła oraz spojówki oka. Był to pył pochodzenia eolicznego, składający się z cząstek mineralnych wywianych przez wiatr z gleby z obszaru SE Europy. Badania laboratoryjne wykazały, że stałym i najważniejszym składnikiem zapylenia był pył eoliczny pochodzący ze stepowych obszarów Ukrainy (podnoszony z podłoża w czasie burz pyłowych) oraz z nad Sahary (Wójtanowicz, Zinkiewicz 1965/1966, 1967).

W późniejszych badaniach przy wykorzystaniu różnego typu przyrządów zaczęto określać stężenie całkowite pyłu zawieszonego. Pierwsze pomiary dotyczące zapylenia powietrza wykonano w 1953 r. przy użyciu pyłomierza Owensa na wysokości 1 m n.p.g., a dotyczyły one Śródmieścia Lublina (ryc. 1) (Kluge 1953). Średnia roczna wartość to 66 cząstek pyłu w cm^3 . W przebiegu rocznym maksymalne zapylenie wystąpiło w grudniu (114 cząstek/ cm^3), a minimalne – w sierpniu (32 cząstki/ cm^3). W przebiegu dobowym maksymalne wartości wystąpiły w godz. 12.30–15.30 (pomiary podczas jesieni i zimy). Jak stwierdził M. Kluge (1953), atmosfera miejska Lublina w porównaniu do innych miast była nieznacznie zapyłona, a na stan powietrza wpływała przede wszystkim obecność licznych palenisk, zarówno mieszkalnych, jak i fabrycznych, oraz produkty spalinowe pojazdów. Niekiedy znaczny udział miały także pyły pochodzenia adwekcyjnego.

Na podstawie pomiarów zapylenia prowadzonych w Lublinie i poza miastem w latach 1956–1957 (także pyłomierzem Owensa) H. Sierosławski (1959) stwierdził, że przebieg roczny zapylenia powietrza na terenach pozamiejskich był odwrotny niż w mieście. Na terenie miasta maksymalne zapylenie występowało w zimie (co wiąże się ze spalaniem paliw na cele grzewcze), a minimalne – w lecie. W obszarach pozamiejskich w okresie chłodnym zapylenie było stosunkowo małe, ponieważ zalegająca pokrywa śnieżna nie pozwalała na porywanie przez wiatr cząstek pyłu z powierzchni gruntu. W cieplej porze roku, a szczególnie po zbiorach (gdy pokrycie roślinnością jest małe) oraz w okresie długotrwałego braku opadu atmosferycznego, zapylenie znacznie się zwiększało.

Badania przeprowadzone w Śródmieściu Lublina w latach 1971–1996 za pomocą konimetru rejestrującego frakcje $<60 \mu\text{m}$ pokazały, że w przebiegu rocznym najmniejsze zapylenie występowało w cieplej porze roku, głównie w miesiącach wiosennych, natomiast wzrastało w porze chłodnej, co wiąże się ze spalaniem paliw na cele grzewcze (np. Kamińska 1994; Bilik, Nowosad 1998; Nowosad 2000). Stwierdzono między innymi, że duże zanieczyszczenie powietrza związane było z napływem mas polarno-kontynentalnych (PPk), które zawierały pył eoliczny pochodzący z Europy Wschodniej. Stosunkowo rzadko występujące w tym powietrzu opady w niewielkim stopniu wymywały pyły pochodzenia naturalnego w cieplej porze roku i pyły antropogeniczne w porze chłodnej (Kamińska 1994).

Wraz z postępem badań, które wykazały, że cząstki pyłu o średnicy większej niż $10 \mu\text{m}$ mają zdecydowanie mniej szkodliwy wpływ na zdrowie ludzkie, wprowadzono oznaczanie cząstek pyłu w powietrzu, osiągających średnicę poniżej $10 \mu\text{m}$ (PM₁₀) lub poniżej $2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2,5}) (QUARG 1996). Wyniki pomiarów stężenia pyłu PM₁₀ w powietrzu w sześciu punktach Lublina, przeprowadzonych w latach 2002–2005, wykazały zależność stężenia od pory roku (Duda, Pomorska 2007). W badanym przedziale lat sezony chłodne charakteryzowały się podwyższonym stężeniem pyłu zawieszonego PM₁₀ w stosunku do sezonów ciepłych. W okresie tym odnotowano przypadki przekroczenia dopuszczalnych poziomów dobowych stężeń pyłu PM₁₀ ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) na stanowisku przy ul. Pielęgniarek (dzielnica Konstantynów), zlokalizowanym w pobliżu spalarni odpadów medycznych, gdzie również stwierdzono przekroczenia dopuszczalnej wartości średniorocznej.

Badania przeprowadzone w czterech punktach Lublina w miesiącach jesiennych, gdy rozpoczynał się sezon grzewczy i intensywne prace polowe (wrzesień–listopad), a także w maju pokazały, że największy poziom pyłowych zanieczyszczeń powietrza odnotowano w punkcie zlokalizowanym przy ul. Turystycznej (dzielnica Tatary) (Chmielowiec-Korzeniowska, Popiołek-Pyrz 2008).

Wynik ten był spowodowany głównie nasileniem ruchu komunikacyjnego, który stanowi jedno z najwaźniejszych źródeł zanieczyszczeń pyłowych powietrza atmosferycznego. Bardzo wysokie zapylenie stwierdzono również na terenach rekreacyjnych, częściowo zalesionych, tj. nad Zalewem Zemborzyckim. Można to tłumaczyć bliskim sąsiedztwem miejskiej elektrociepłowni Lublin-Wrotków. Zdaniem A. Chmielowiec-Korzeniowskiej i M. Popiołek-Pyrz (2008) na terenie Ogrodu Saskiego (dzielnica Wieniawa), mimo bezpośredniego sąsiedztwa ważnych arterii komunikacyjnych, powietrze atmosferyczne ulega w pewnym stopniu samooczyszczaniu. Korzystną rolę odgrywają znajdujące się na tym terenie liczne drzewa, które mechanicznie zatrzymują na liściach zanieczyszczenia motoryzacyjne. Stężenia pyłu całkowitego w lubelskiej aglomeracji miejskiej rosły systematycznie od obszarów peryferyjnych do centrum. Najwyższe wartości stężenia w Lublinie wystąpiły przy arterii komunikacyjnej w centrum miasta. Nieco inny był rozkład stężenia pyłów w okresie wiosny. W maju podczas intensywnego pylenia drzew odnotowano najwyższe stężenia pyłu całkowitego na terenach zadrzewionych, tj. w parku miejskim i na terenach rekreacyjnych. W latach 2007–2008 w punktach pomiaru zanieczyszczeń przy ul. Śliwińskiego (Czechów) i przy al. Kraśnickiej (Wieniawa) zanotowano przekroczenie średniorocznych stężeń pyłu PM₁₀, a w niektórych dniach także przekroczenie poziomu alarmowego (Gawdzik 2009).

Wyniki oceny stanu zanieczyszczenia powietrza w Lublinie (*Raport o stanie środowiska województwa lubelskiego...* 2016) wykazały, że problemem w aglomeracji Lublina są ponadnormatywne stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5}. Wprawdzie w latach 2010–2015 stężenia średnioroczne pyłu PM₁₀ nie przekraczały poziomu dopuszczalnego, ale za to nie były dotrzymywane normy stężeń 24-godzinnych. Dotyczyło to szczególnie okresu chłodnego. Przekroczenia dopuszczalnych stężeń pyłu należy wiązać z indywidualnym ogrzewaniem budynków oraz ze spalaniem odpadów w lokalnych kotłowniach i indywidualnych paleniskach. Znaczącą przyczyną ponadnormatywnych stężeń pyłu były niekorzystne warunki meteorologiczne (w tym sytuacje inwersyjne, cisze wiatrowe, a także okresy bezopadowe).

Na podstawie rocznej oceny jakości powietrza dla województwa lubelskiego za rok 2011 strefa Aglomeracja Lubelska została zakwalifikowana jako strefa C pod względem stężenia pyłów PM₁₀, a tym samym została zobligowana do opracowania Programu ochrony powietrza (POP) (*Program ochrony powietrza...* 2013). Przyczyną było wystąpienie ponadnormatywnej liczby dni z przekroczonym poziomem 24-godzinnym stężenia dla pyłu zawieszonego PM₁₀. Na podstawie stworzonego modelu emisyjnego dla strefy Aglomeracji Lublin wyznaczono obszary dla średnioroczного stężenia pyłu PM₁₀ i stężenia

24-godzinne pyłu PM₁₀. W Aglomeracji Lublin obszarami przekroczone stężeń średniorocznych są tereny położone na osiedlu Bursaki (ul. Ceramiczna, ul. Rapackiego i ul. Do Dysa), w dzielnicy Śródmieście (al. Unii Lubelskiej, al. Tysiąclecia i w sąsiedztwie Starego Miasta), w dzielnicy Tatary (ul. Emanuela Grafa, ul. Mełgiewska i ul. Hutnicza) oraz w dzielnicach Bronowice i Tatary, tj. w obrębie obszarów przemysłowych przy ul. Chemicznej (*Program ochrony powietrza...* 2013).

Warto wspomnieć o pośrednich badaniach jakości powietrza, dotyczących np. zawartości metali ciężkich. Zanieczyszczenia tego typu pochodzą z różnych dziedzin działalności człowieka, jak np. przemysł, transport samochodowy czy rolnictwo. W wyniku analizy zawartości takich metali, jak ołów i kadm w jabłkach, przeprowadzonej m.in. w dzielnicy Felin w Lublinie w 2003 r, w owocach tych odnotowano trzykrotne przekroczenie norm ołowiu, a w przypadku kadmu – mniejsze skażenie tym pierwiastkiem, ale z nieznacznym przekroczeniem normy (Kiczorowska, Kiczorowski, Bochniarz 2006).

Ważnym źródłem zanieczyszczeń metalami ciężkimi gleb sąsiadujących ze szlakami komunikacyjnymi jest transport samochodowy. Zanieczyszczenia te pochodzą m.in. z emisji gazów z silników spalinowych, a także ze ścierania opon, okładzin tarcz hamulcowych, dodatków metali ciężkich do olejów jako środków uszlachetniających. Badania zanieczyszczenia metalami ciężkimi, takimi jak miedź (Cu), kadm (Cd), ołów (Pb) i cynk (Zn), wykazały, że zawartość metali ciężkich w formach ogólnych zmniejsza się wraz z oddalaniem od krawędzi jezdni (Plak, Bartmiński, Dębicki 2010). Z kolei zawartość chromu (Cr), miedzi (Cu), niklu (Ni), ołowiu (Pb) i cynku (Zn) w pyłe drogowym pobranym wzdłuż głównych tras komunikacyjnych w Lublinie (49 punktów) nie wykazała jednoznacznego związku z natężeniem ruchu drogowego. Pierwiastkiem o najwyższym stężeniu (spośród badanych) był cynk (Zn), a najmniejsze stężenie dotyczyło ołowiu (Pb) (Kiebała, Koziół, Zgłobicki 2015).

BADANIA ZANIECZYSZCZEŃ GAZOWYCH

Pomiary stężeń gazów zanieczyszczających powietrze w Lublinie rozpoczęto znacznie później niż badania związane z pyłem zawieszonym. Na terenie miasteczka uniwersyteckiego (Śródmieście) w latach 1991–1994 (Kozak, Niećko, Siwek, Nazimek 1994, 1995) stwierdzono roczną cykliczność stężeń NO₂ z maksimum w okresie letnim, co można wiązać z większym w tym okresie natężeniem transportu. Jednocześnie zauważono dużą zmienność średniorocznego stężenia dwutlenku azotu w powietrzu związanej ze zmiennością warunków pogodowych z roku na rok, a także z faktem, że największe stężenie NO_x

występowało przy cyrkulacji z sektora wschodniego. Nieco inny przebieg stężeń NO_x zaobserwowano w latach 2000–2001 przy al. Krasińskiej (Wieniawa), gdzie największe stężenie wystąpiło w sezonie zimowym, a najmniejsze – w sezonie letnim (Stępniewska, Szafranek 2002). Na wysoką koncentrację NO_x w sezonie zimowym wpływają liczne kotłownie przydomowe usytuowane w sąsiedztwie ulicy. W cyklu tygodniowym w Lublinie najwyższe stężenia NO_2 występują w dni robocze, a najniższe – w dni wolne od pracy (Stępniewska, Szafranek 2003).

Badania poziomu emisji zanieczyszczeń motoryzacyjnych (NO , SO_2 , CO i HC) w Centrum Lublina przy wykorzystaniu dwóch modeli: gaussowskiego PAL 2.0 i KFZLAG – prowadził A. Wyszowski (1998). Autor m.in. stwierdził, że bezpośredni wpływ motoryzacji zaznaczył się w pasie do 100 m od osi jezdni, a spośród czterech analizowanych substancji przekroczenia nie stwierdzono tylko w przypadku SO_2 .

Pomiary prowadzone w latach 2007–2009 na stacji KUL przy al. Krasińskiej (Konstantynów) wykazały znaczne różnice w stężeniu metanu (CH_4), ozonu (O_3), dwutlenku azotu (NO_2) i dwutlenku siarki (SO_2) (Stępniewska i in. 2014). W analizowanym okresie nastąpił wzrost średniej rocznej wartości stężenia metanu, ozonu i dwutlenku siarki oraz spadek stężenia dwutlenku azotu. W przypadku ozonu nie notowano przekroczeń wartości rocznych, ale wielokrotne przekraczanie wartości 8-godzinnych. Średnie stężenie miesięczne dwutlenku azotu w latach 2007–2009 nie przekraczało wartości dopuszczalnej. Również poziom stężenia dwutlenku siarki ($125 \mu\text{g m}^{-3}$) w powietrzu w Lublinie dla doby nie został przekroczony.

Badania stanu zanieczyszczeń gazowych powietrza w Lublinie (*Raport o stanie środowiska województwa lubelskiego...* 2016) wykazały, że stężenia podstawowych gazów (tj. NO_2 , SO_2 , CO , benzen, CO_2) były z reguły niskie, a w przypadku SO_2 i CO widoczna była tendencja spadkowa. Przekroczenia wartości dopuszczalnych występują rzadko i mają charakter lokalny. Problemem w aglomeracji lubelskiej (tak jak w wielu miastach Polski) są ponadnormatywne stężenia benzo(a)pirenu jako wskaźnika poziomu zanieczyszczenia powietrza związkami z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Wartości znacznie wyższe od poziomu docelowego² odnotowano na obu stanowiskach w 2014 i 2015 r.

² Poziom docelowy to poziom substancji w powietrzu ustalony w celu unikania, zapobiegania lub ograniczania szkodliwego oddziaływania na zdrowie ludzkie lub środowisko jako całość, który ma być osiągnięty tam, gdzie to możliwe w określonym czasie (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r.).

W 2014 r. aglomeracja lubelska została zaliczona do klasy C ze względu na przekroczenia benzo(a)pirenu. Jego stężenia wykazują dużą zmienność sezonową. W 2014 r. średnie z sezonu zimowego benzo(a)pirenu były od 6- do 10-krotnie wyższe od średnich z sezonu letniego. Wskazano także, że główne źródło tych zanieczyszczeń to emisja z procesów spalania opartych na węglu, w tym niska emisja z indywidualnego ogrzewania budynków. Na wysokie stężenia benzo(a)pirenu wpływają też niekorzystne warunki pogodowe w sezonie grzewczym (niska temperatura, mała prędkość wiatru, mała ilość opadów). Dodatkowymi źródłami emisji są zakłady przemysłowe oraz komunikacja.

Pod względem zanieczyszczenia powietrza ozonem, według kryteriów ochrony zdrowia, obie strefy – aglomerację lubelską i strefę lubelską – zaliczono do klasy A ze względu na brak przekroczeń poziomu docelowego. Stwierdzono natomiast przekroczenie poziomu celu długoterminowego ozonu i dla tego kryterium określono klasę D.

W projekcie *Planu adaptacji do zmian klimatu Miasta Lublin do roku 2030* (IOŚ-PIB 2018) zwrócono uwagę m.in. na fakt, że w mieście występują problemy związane z podwyższonymi stężeniami zanieczyszczeń kancerogennych: benzo(a)pirenu i pyłu drobnego (PM10). W dokumencie tym prognozuje się, że warunki pogodowe będą sprzyjać częstszej koncentracji zanieczyszczeń powietrza, która jest wynikiem niskiej emisji i przyczynia się do pogorszenia warunków życia mieszkańców miasta. Wśród proponowanych działań pozwalających na poprawę warunków arosanitarnych w Lublinie, obok zmniejszenia poziomu emisji i liczby źródeł zanieczyszczeń, zaleca się również ochronę obszarów generowania świeżego powietrza, czyli terenów otaczających miasto o małym wpływie człowieka (np. lasy, łąki) oraz korytarzy przewietrzania miasta. Ograniczenia emisji zanieczyszczeń do środowiska należy dokonać przez ograniczenie niskiej emisji pochodzącej z indywidualnych źródeł ogrzewania w budynkach mieszkalnych. Będzie to możliwe poprzez wymianę pieców/kotłowni węglowych na ekologiczne źródła ciepła w indywidualnych gospodarstwach domowych (np. na ogrzewanie elektryczne, gazowe, olejowe, pompę ciepła, system hybrydowy) oraz włączanie budynków mieszkalnych do miejskiej sieci ciepłowniczej. Ważną rolę powinna odegrać modernizacja transportu publicznego, w tym rozwój elektromobilności oraz inwestowanie w komunikację rowerową. Ochrona systemu przewietrzania miasta obejmuje też współpracę z ościennymi gminami w zakresie eliminowania źródeł zanieczyszczenia powietrza.

MONITORING JAKOŚCI POWIETRZA W LUBLINIE

Prowadzenie badań i ocena stanu środowiska, w tym monitoring jakości powietrza, należą do zadań realizowanych przez Inspekcję Ochrony Środowiska. Zadanie to jest wykonywane w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ), którego program jest opracowywany przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska i zatwierdzany przez Ministra Środowiska (www.gios.gov.pl). Na podstawie krajowego programu PMŚ opracowywane są wojewódzkie programy PMŚ zatwierdzane przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska. W ramach programu PMŚ realizowane są przede wszystkim zadania, które wiążą się z wypełnianiem wymagań zawartych w przepisach Unii Europejskiej i prawodawstwie polskim, a także w podpisanych i ratyfikowanych przez Polskę konwencjach środowiskowych. Obecnie realizowany jest Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2016–2020. Monitoring jakości powietrza obejmuje zadania związane z badaniem i oceną stanu zanieczyszczenia powietrza, w tym pomiary i oceny jakości powietrza w strefach, monitoring tła miejskiego pod kątem WWA, pomiary stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM_{2,5} dla potrzeb monitorowania procesu osiągnięcia krajowego celu redukcji narażenia, pomiary stanu zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi i WWA oraz rtęcią w stanie gazowym na stacjach monitoringu tła regionalnego, pomiary składu chemicznego pyłu PM_{2,5}, a także monitoring prekursorów ozonu oraz programy badawcze dotyczące zjawisk globalnych i kontynentalnych wynikające z podpisanych przez Polskę konwencji ekologicznych.

Aktualnie system monitoringu jakości powietrza w Lublinie oparty jest na wynikach pomiarów realizowanych na dwóch stacjach automatycznego monitoringu powietrza należących do Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOS). Badania tego typu są prowadzone na stacjach zlokalizowanych w Lublinie przy ul. Obywatelskiej (Śródmieście) oraz przy ul. Żelazowej Woli (Czechów Południowy). Systemem oceny jakości powietrza objęte są zanieczyszczenia określone rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r.), tj. benzen, dwutlenek azotu, tlenki azotu, dwutlenek siarki, tlenek węgla, ozon, pył zawieszony PM_{2,5}, pył zawieszony PM₁₀, a także substancje oznaczane w pyłach PM₁₀, tj. ołów, arsen, kadm, nikiel i benzo(a)piren. Równoległe z tymi wskaźnikami na stacji mierzone są również parametry meteorologiczne.

Na stacji przy ul. Śliwińskiego prowadzone są też pomiary na potrzeby monitorowania procesu osiągnięcia krajowego celu redukcji narażenia dla pyłu PM_{2,5} (<http://envir.wios.lublin.pl>). Szczegółowa analiza jakości powietrza wraz

z zestawieniami wyników pomiarów znajduje się w *Raporcie o stanie środowiska województwa lubelskiego za 2017 rok* (www.wios.lublin.pl/srodowisko/ocena-jakosci-powietrza).

Badania zanieczyszczenia pyłem zawieszonym PM₁, PM_{2,5} i PM₁₀ za pomocą sensora Airly sponsorowane są przez firmę ubezpieczeniową AVIVA (<https://airly.eu/pl/company>) i są prowadzone w trzech punktach w Lublinie: na ul. Wolskiej (dzielnica Bronowice), ul. Wojciechowskiej 5D (Konstantynów) i ul. Krężnickiej (dzielnica Zemborzycze). Dane z tych punktów są dostępne w internecie.

BADANIA ZANIECZYSZCZEŃ ORGANICZNYCH

Oprócz zanieczyszczeń nieorganicznych na jakość powietrza atmosferycznego istotnie wpływa obecność w nim drobnoustrojów wchodzących w skład bioaerozolu. Udział wymienionych organizmów ulega dużym zmianom w czasie i przestrzeni. Ze względu na rodzaj i wielkość cząstek bioaerozolu, które tworzą fazę rozproszoną, najczęściej wyróżnia się: wirusy (0,01–1 μm), bakterie (0,1–2 μm), glony (1–9 μm), zarodniki grzybów, mchów i porostów (1–100 μm), pyłki kwiatów (9–90 μm) oraz drobne nasiona i owoce (9–900 μm). Ponadto w powietrzu obecne są toksyny, mikotoksyny, enzymy oraz fragmenty tkanek roślinnych i zwierzęcych (Chmiel i in. 2015). Obecność drobnoustrojów w powietrzu może powodować nie tylko zagrożenia dla zdrowia (choroby zakaźne: wirusowe, bakteryjne, grzybowe i pierwotniacze, choroby alergiczne, zatrucia endotoksynami i mikotoksynami), lecz także zagrożenia w przemyśle (spożywczym, farmaceutycznym, kosmetycznym) i budownictwie (m.in. zakażenia podłoża gruntowych, uszkodzenia konstrukcji). Źródła zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza można podzielić na naturalne (gleba, woda, nadziemne części roślin wraz z zasiedlającymi je organizmami, rozkład materii organicznej) i antropogeniczne (składowiska odpadów, oczyszczalnie ścieków, kompostownie, ферmy hodowlane, gospodarstwa rolne, ruch samochodowy i pochodne) (Chmiel i in. 2015). Decydujący wpływ na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w atmosferze oraz zasięg ich oddziaływania na środowisko przyrodnicze i na ludzi ma pora roku i warunki meteorologiczne. Wyniki analiz mikrobiologicznych dowodzą, że np. największe zanieczyszczenie bakteriami występuje w okresie wiosenno-letnim, natomiast grzybami – w miesiącach jesiennych. Warto podkreślić, że wciąż nie ma ogólnie przyjętych norm prawnych odnoszących się do poszczególnych składników bioaerozoli, które jednoznacznie określałyby ich dopuszczalny poziom w powietrzu.

W okresie ciepłym istotnym składnikiem zawieszonym w powietrzu aeroplanktonu jest pylenie roślin. Pyłek roślin wywołuje alergię sezonową związaną z okresem pylenia. W warunkach klimatu Polski, na przełomie zimy i wiosny, w aeroplanktonie występuje pyłek drzew i krzewów, a w miesiącach letnich – pyłek roślin zielnych. Pylenie roślin w naszym klimacie występuje od końca stycznia do pierwszych dni października. W tym okresie w powietrzu stwierdzono obecność pyłków kilkuset gatunków roślin, z czego monitorowanych jest od 30 do 70 (Rapiejko 2004). Progowe stężenia pyłku roślin w powietrzu niezbędne do wywołania objawów uczuleniowych są zależne od stopnia zanieczyszczenia powietrza (Rapiejko, Weryszko-Chmielewska 1998). W Polsce badania nad opadem pyłków roślin rozpoczęto w latach 30. XX w. i były one oparte głównie na obserwacjach kwitnienia roślin w rejonie Krakowa. W latach 70. na podstawie badań metodą grawimetryczną opracowano kalendarze pylenia dla Warszawy, Bydgoszczy, Łodzi i Krakowa. Od 1989 r. prowadzone są stałe pomiary stężenia pyłku roślin i spor grzybowych w 21 punktach pomiarowych w całym kraju (Rapiejko 1997). W Lublinie monitoring pyłkowy prowadzony jest nieprzerwanie od 1994 r. w Katedrze Botaniki Akademii Rolniczej (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy). Początkowo badania agrobiologiczne przeprowadzano metodą grawimetryczną, a od 2001 r. stosowana jest metoda wolumetryczna (Piotrowska, Weryszko-Chmielewska 2003). Wyniki badań wykazały, że w Lublinie najintensywniej pyli *Betula* (brzoza). Procentowy udział ziaren pyłku tego taksonu w spektrum pyłkowym w Śródmieściu Lublina w latach 2001–2010 wynosił 6,5–37,9% przy średniej na poziomie 22%. Dobowe stężenie pyłku brzozy w pełni sezonu przeważnie znacznie przekraczało wartość progową ($80 \text{ P} \cdot \text{m}^{-3}$), przy której występują objawy alergii u osób uczulonych (Piotrowska, Kaszewski 2011). W przypadku Lublina znaczna ilość pyłku *Ambrosia* rejestrowanego w powietrzu, ze względu na jego małe rozmiary, pochodzi prawdopodobnie z dalekiego transportu (Weryszko-Chmielewska, Piotrowska-Weryszko 2014). Innym powszechnie występującym składnikiem bioaerozolu są zarodniki grzybów, szczególnie rodzaju *Alternaria*. Stwierdzono, że liczba dni ze stężeniem granicznym powyżej 80 zarodników w objętości m^3 powietrza, przy którym mogą wystąpić reakcje alergiczne u osób wrażliwych, wynosi średnio 61 (Sulborska, Haratym, Żuraw 2014).

Badania składu pyłu zawieszonym w powietrzu atmosferycznym przeprowadzone w trzech dzielnicach Lublina (Śródmieście, Kalinowszczyzna i Ogród Botaniczny UMCS) w okresie od 23 kwietnia do 16 lipca 2009 r. pokazały, że w tych dzielnicach miasta największy udział w zanieczyszczeniach powietrza mają cząstki pyłu glebowego. Unoszące się w powietrzu cząstki pyłów glebowych i przemysłowych mogą przyczyniać się do deformacji i uszkodzeń

ziaren pyłku oraz zarodników grzybów, co prawdopodobnie ułatwia uwalnianie alergenów (Weryszko-Chmielewska, Piotrowska-Weryszko, Sulborska, Tietze, Matysik-Woźniak 2015).

WNIOSKI

Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami, przede wszystkim w miastach, jest jednym z najważniejszych, a zarazem najtrudniejszych problemów współczesnego świata. Skuteczność rozwiązania tego problemu wiąże się z koniecznością poznania źródeł zanieczyszczeń, ich rodzajów i wrażliwości, a także warunków ich koncentracji i rozpraszania. Pozwoli to na ocenę stanu i stopnia zanieczyszczenia powietrza oraz związanych z nim zagrożeń, a w konsekwencji na określenie zakresu i sposobu działania.

Ponadnormatywne stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ i PM_{2,5} w powietrzu w Lublinie oraz benzo(a)pirenu zawartego w pyłe PM₁₀ występują głównie w okresie chłodnym, co wiąże się z niską temperaturą powietrza, od której zależy intensywność dopływu zanieczyszczeń ze źródeł niskiej emisji. Stąd, wraz ze spadkiem temperatury, obserwuje się wzrost stężeń substancji emitowanych w istotnych ilościach z tego sektora (np. SO₂ i CO).

W okresie ciepłym istotnym składnikiem zanieczyszczenia powietrza jest pyłek roślin, który wywołuje alergię sezonową związane z okresem pylenia. Progowe stężenia pyłku roślin w powietrzu, wywołujące objawy uczuleniowe, są zależne od stopnia zanieczyszczenia powietrza.

Wśród czynników wpływających na jakość powietrza w Lublinie oraz na zróżnicowanie przestrzenne stężeń zanieczyszczeń istotne znaczenie ma nie tylko lokalna i napływowa emisja ze źródeł komunalno-bytowych (zachodząca w sezonie grzewczym) czy całoroczna emisja z tras komunikacyjnych (lokalnego i tranzytowego transportu samochodowego) i źródeł przemysłowych, lecz także występujące niekiedy w Lublinie niekorzystne warunki meteorologiczne (np. w okresie zimy niewielka prędkość wiatru przy niskiej temperaturze), zróżnicowanie hipsometryczne oraz gęstość zabudowy.

Należy podkreślić, że stan wiedzy o zmienności przestrzennej zanieczyszczeń powietrza w Lublinie jest stosunkowo skromny. Mało jest także prac dotyczących roli warunków pogodowych w kształtowaniu zanieczyszczeń powietrza, w tym szczególnie pionowej struktury termicznej oraz inwersji, a także warunków wietrznych. Ważne jest również poznanie roli dolin rzecznych i suchych dolin umożliwiających spływ chłodnego powietrza wraz z zanieczyszczeniami.

Dalsze badania zanieczyszczeń powietrza w Lublinie powinny być prowadzone przy wykorzystaniu danych z gęstej sieci stacji zlokalizowanych

w różnych warunkach zabudowy i form terenu oraz innych metod pozyskiwania danych (np. z sondyży aerologicznych).

BIBLIOGRAFIA

Literatura

- Bilik A., Nowosad M. 1998. Pomiary zapylenia powietrza za pomoc ą konimetru w Lublinie w latach 1991–1996. W: M. Nowosad (red.), *Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego* (s. 21–23). Lublin: Wydawnictwo UMCS.
- Chmiel M.J., Frączek K., Grzyb J. 2015. Problemy monitoringu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 15(1), 17–27.
- Chmielowiec-Korzeniowska A., Popiołek-Pyrz M. 2008. Zapylenie powietrza atmosferycznego na terenie aglomeracji miejskiej i okolic. *Problemy Ekologii* 12(2), 69–72.
- Czarnecka M., Koźmiński C. 2006. *Meteorologia a zanieczyszczenie atmosfery*. Szczecin: Akademia Rolnicza w Szczecinie, Uniwersytet Szczeciński.
- D’Amato G., Cecchi L., D’Amato M., Liccardi G. 2010. Urban Air Pollution and Climate Change as Environmental Risk Factors of Respiratory Allergy: An Update. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology* 20(2), 95–102.
- Duda A., Pomorska K. 2007. Charakterystyka imisji pyłów w aglomeracji Lublin. *Rocznik Ochrona Środowiska* 9, 259–266.
- Gawdzik J. 2009. *Zanieczyszczenie powietrza w Lublinie na podstawie danych Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w latach 2007–2008*. Lublin: Zakład Meteorologii i Klimatologii UMCS (mps.).
- Gulia S., Shiva Nagendra S.M.S., Khare M., Khanna I. 2015. Urban air quality management: A review. *Atmospheric Pollution Research* 6(2), 286–304. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.033>
- IOŚ-PIB, 2018. *Plan adaptacji do zmian klimatu Miasta Lublin do roku 2030. Projekt*. Lublin–Warszawa.
- Juda-Rezler K., Manczarski P. 2010. Zagrożenia związane z zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego i gospodarka odpadami komunalnymi. *Nauka* 4, 97–106.
- Kamińska M. 1994. *Zapylenie powietrza a wiatr w Lublinie w latach 1971–1990*. Lublin: Zakład Meteorologii i Klimatologii UMCS (mps.).
- Kiczorowska B., Kiczorowski P., Bochniarz A. 2006. Kumulacja metali ciężkich w jabłkach odmiany Szampion pozyskanych z sadów zlokalizowanych na terenach miejskich i podmiejskich województwa lubelskiego. *Acta Agrophysica* 8(3), 619–628.
- Kiebała A., Kozieł M., Zgłobicki W. 2015. Cr, Cu, Ni, Pb i Zn w pyłe drogowym Lublina. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 18(3), 299–310.
- Kluge M. 1953. Zapylenie atmosfery w Lublinie. *Annales UMCS Sectio B* 8(5), 264–309.
- Kłosowski W. 2012. *Prognoza oddziaływania na środowisko Strategii Rozwoju Lublina na lata 2013–2020*. Warszawa.
- Kozak D., Niećko J., Siwek K., Nazimek D. 1994. Stężenie dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym na terenie Lublina. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów* 28(6), 149–151.

- Kozak D., Niećko J., Siwek K., Nazimek D. 1995. Imisja ditlenku azotu na terenie miasta Lublina. *Ekoinżynieria* 3(4), 24–28.
- Malec A., Borowski G. 2016. Zagrożenie pyłowe oraz monitoring powietrza atmosferycznego. *Inżynieria Ekologiczna* (50), 161–170. <https://doi.org/10.12912/23920629/65489>
- Maruszczak H. 1972. Wyżyny Lubelsko-Wołyńskie. W: M. Klimaszewski (red.), *Geomorfologia Polski* (T. 1; s. 340–384). Warszawa: PWN.
- Nowosad M. 2000. Wyniki pomiarów zapylenia powietrza za pomocą konimetru w Lublinie. *Annales UMCS Sectio B* 53, 161–169.
- Piotrowska K., Weryszko-Chmielewska E. 2003. Pollen count of selected taxa in the atmosphere of Lublin using two monitoring methods. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 10, 79–85.
- Piotrowska K., Kaszewski B.M. 2011. Variations in birch pollen (*Betula* spp.) seasons in Lublin and correlations with meteorological factors in the period 2001–2010. *Acta Agrobotanica* 64(2), 39–50. <https://doi.org/10.5586/aa.2011.016>
- Plak A., Bartmiński P., Dębicki R. 2010. Wpływ transportu publicznego na zawartość wybranych metali ciężkich w glebach s sąsiadujących z ulicami Lublina. *Proceedings of ECOpole* 4(1), 167–171.
- Program ochrony powietrza dla strefy Aglomeracja Lubelska. (Aktualizacja). Projekt z dnia 4 kwietnia 2013*, 2013. Samorząd Województwa Lubelskiego.
- QUARG, 1996. *Airborne Particulate Matter in the United Kingdom*. Third Report of the Quality.
- Rapiejko P. 1997. Alergeny pyłku roślin. *Alergia Astma Immunologia* 2(1), 9–18.
- Rapiejko P. 2004. Pyłek roślin jako źródło alergenów. Problemy kliniczne w alergii i astmie. *Przeгляд Alergologiczny* 1(1), 7–12.
- Rapiejko P., Weryszko-Chmielewska E. 1998. Pyłek traw. *Alergia – Astma – Immunologia* 3(4), 187–192.
- Raport o stanie środowiska województwa lubelskiego w latach 2013–2015*, 2016. Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- Reizer M. 2016. Co to jest pył zawieszony. W: K. Juda-Rezler, B. Toczko (red.), *Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce* (s. 11–21). Warszawa: Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- Rocznik statystyczny województwa lubelskiego*, 2018. Urząd Statystyczny w Lublinie.
- Sierosławski H. 1959. Wyniki pomiarów zapylenia powietrza w Lublinie i na terenie niektórych Rolniczych Zakładów Doświadczalnych Wyższej Szkoły Rolniczej w Lublinie. *Annales UMCS Sectio E (Agricultura)* 14, 101–121.
- Stępniewska Z., Szafranek A. 2002. Stężenie tlenków azotu (NO_x) w cyklu rocznym w punkcie kontrolnym na terenie Lublina. *Acta Agrophysica* 78, 249–256.
- Stępniewska Z., Szafranek A. 2003. Sezonowy i dobowy rozkład stężenia podtlenku azotu w pobliżu pasma jezdnii w Lublinie. *Acta Agrophysica* 84, 123–128.
- Stępniewska Z., Goraj W., Sochaczewska A., Kuźniar A., Pytlak A., Malec M. 2014. Changes in atmospheric CH₄, O₃, NO₂, SO₂ concentration dynamics in Lublin in the years 2007–2009. *Acta Agrophysica* 21(3), 361–373.

- Sulborska A., Haratym W., Żuraw B. 2014. Zarodniki *Alternaria* w aeroplanktonie Lublina w latach 2007–2013. W: E. Weryszko-Chmielewska (red.), *Ziarna pyłku i zarodniki grzybów w powietrzu różnych regionów Polski* (s. 171–183). Lublin–Warszawa: Polskie Towarzystwo Botaniczne, Wydawnictwo Norbertinum.
- Superson J., Reder J., Demczuk P. 2018. Regionalne uwarunkowania rozwoju rze żby terenu Lublina. *Annales UMCS Sectio B* 73, 107–124. <https://doi.org/10.17951/b.2018.73.0.107-124>
- Weryszko-Chmielewska E., Piotrowska-Weryszko K. 2014. Charakterystyka sezonów pyłkowych wybranych taksonów roślin w Lublinie w latach 2001–2013. W: E. Weryszko-Chmielewska (red.), *Ziarna pyłku i zarodniki grzybów w powietrzu różnych regionów Polski* (s. 137–150). Lublin–Warszawa: Polskie Towarzystwo Botaniczne, Wydawnictwo Norbertinum.
- Weryszko-Chmielewska E., Piotrowska-Weryszko K., Sulborska A., Tietze M., Matysik-Woźniak A. 2015. Zanieczyszczenia biologiczne i pyłowe w powietrzu atmosferycznym zagrażające zdrowiu człowieka. *Alergoprofil II*(3), 23–27.
- Wojtanowicz J., Zinkiewicz A. 1965/1966. Występowanie zapylenia eolicznego i opadu pyłu w Polsce. *Folia Societatis Scientiarum Lublinensis Sectio D* (5/6), 39–44.
- Wojtanowicz J., Zinkiewicz A. 1967. O zapyleniu eolicznym w południowo-wschodniej Polsce wiosną 1960 roku. *Czasopismo Geograficzne* 38(4), 405–429.
- Wyszkowski A. 1998. Problem zanieczyszczeń motoryzacyjnych w Lublinie. W: M. Nowosad (red.), *Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego* (s. 141–149). Lublin: Wydawnictwo UMCS.
- Zinkiewicz W. 1949. Perturbacja w przezroczystości atmosfery oraz opad pyłu eolicznego na Lubelszczyźnie w kwietniu 1948 roku. *Annales UMCS Sectio B* 4(2), 47–130.

Akty prawne

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012, poz. 1031).
- Zarządzenie nr 1234 Prezesa Rady Ministrów z dnia 18 października 2016 r. w sprawie Komitetu Sterującego do spraw Krajowego Programu Ochrony Powietrza.

Strony internetowe

- <https://airly.eu/pl/company> (dostęp: 31.12.2019).
- <http://envir.wios.lublin.pl> (dostęp: 31.12.2019).
- www.gios.gov.pl (dostęp: 31.12.2019).
- www.wios.lublin.pl/srodowisko/ocena-jakosci-powietrza (dostęp: 31.12.2019).