

Uniwersytet Jagielloński

Collegium Medicum

Wydział Nauk o Zdrowiu

Karol Malec

**WPLYW ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA
PYŁAMI ZAWIESZONYMI PM10 i PM2,5
NA ZDROWIE DOROSŁYCH MIESZKAŃCÓW KRAKOWA**

Praca doktorska

Promotor: Prof. dr hab.n.med. Jerzy Gąsowski

Pracę wykonano w Katedrze Chorób Wewnętrznych i Gerontologii, WL, UJ CM

Kierownik jednostki: Prof. dr hab.n.med. Tomasz Grodzicki

Kraków, 2019

SPIS TREŚCI

1. Wstęp	3
1.1. Charakterystyka zanieczyszczenia powietrza i pyłu zawieszonego.....	5
1.2. Zanieczyszczenie powietrza w ujęciu historycznych	20
1.2.1. Na świecie	20
1.2.2. W Polsce.....	26
1.3. Stan jakości powietrza w Krakowie oraz w i innych regionach Polski.....	31
1.4. Wpływ zanieczyszczenia powietrza na umieralność i zdrowie człowieka	45
1.4.1. Wpływ na układ oddechowy.....	46
1.4.2. Wpływ na układ krążenia.....	49
1.4.3. Wpływ na zdrowie psychiczne.....	51
2. Cel badania	53
3. Charakterystyka materiału badawczego i metodyka badań	54
3.1. Pomiary poziomu zanieczyszczenia powietrza.....	54
3.1.1. System monitoringu zanieczyszczenia powietrza w Małopolsce.....	54
3.1.2. Materiał badawczy.....	57
3.2. Określenie liczby zgłoszeń pacjentów do Szpitalnego Oddziału Ratunkowego	59
3.2.1. Charakterystyka ośrodka badawczego.....	59
3.2.2. Grupa badana.....	60
3.3. Metodyka badań.....	64
4. Wyniki badania	66
4.1. Grupa badana w okresach zimowych.....	66
4.1.1. Sezon grzewczy 2012/2013 – miesiące: listopad, grudzień.....	66
4.1.2. Sezon grzewczy 2012/2013 – miesiące: styczeń, luty.....	68
4.1.3. Sezon grzewczy 2013/2014.....	69
4.1.4. Sezon grzewczy 2014/2015.....	71
4.1.5. Sezon grzewczy 2015/2016.....	72
4.1.6. Sezon grzewczy 2016/2017.....	74
4.2. Wyniki grupy kontrolnej	76
4.2.1. Pacjenci chirurgiczni w okresach zimowych.....	76
4.2.1.1. Pacjenci chirurgiczni – zima 2012/2013.....	76
4.2.1.2. Pacjenci chirurgiczni – zima 2013/2014.....	78

4.2.1.3. Pacjenci chirurgiczni – zima 2014/2015.....	79
4.2.1.4. Pacjenci chirurgiczni – zima 2015/2016.....	80
4.2.1.5. Pacjenci chirurgiczni – zima 2016/2017.....	80
4.2.2. Pacjenci internistyczni w okresach letnich.....	81
4.2.2.1. Pacjenci internistyczni w okresie letnim 2013.....	81
4.2.2.2. Pacjenci internistyczni w okresie letnim 2014.....	82
4.2.2.3. Pacjenci internistyczni w okresie letnim 2015.....	82
4.2.2.4. Pacjenci internistyczni w okresie letnim 2016.....	83
4.2.3. Pacjenci chirurgiczni w okresach letnich.....	83
4.2.3.1. Pacjenci chirurgiczni w okresie letnim 2013.....	83
4.2.3.2. Pacjenci chirurgiczni w okresie letnim 2014.....	84
4.3. Wyniki badań w grupach: kobiet oraz mężczyzn.....	85
4.3.1. Sezon grzewczy 2013/2014.....	86
4.3.2. Sezon grzewczy 2014/2015.....	87
4.3.3. Sezon grzewczy 2015/2016.....	88
4.3.4. Sezon grzewczy 2016/2017.....	89
4.4. Wyniki badań korelacji w zależności od wieku pacjentów.....	90
5. Dyskusja	92
5.1. Podsumowanie wyników.....	92
5.1.1. Trudności oraz mocne i słabe strony analizy statystycznej.....	92
5.2. Porównanie rezultatów z wynikami innych badań.....	99
5.3. Podsumowanie dyskusji.....	102
6. Wnioski i podsumowanie.....	103
7. Streszczenie.....	104
Spis tabel	106
Spis rycin	106
Literatura.....	110

1. Wstęp

W 2014 roku eksperci Światowej Organizacji Zdrowia (World Health Organization – WHO), analizując wpływ zanieczyszczenia powietrza na zdrowie, oszacowali, że w 2012 roku było ono przyczyną około 7 milionów przedwczesnych zgonów w skali światowej [1]. Choć, według danych WHO, obszarem o największym wskaźniku umieralności są Indie, to w Europie smog powoduje każdego roku przedwczesną śmierć około 430 tysięcy osób, a w Unii Europejskiej (UE) średnia długość życia jest z tego powodu krótsza o prawie 9 miesięcy [2,3]. Głównymi przyczynami zgonów związanych z zanieczyszczeniem powietrza są choroby serca, udary mózgu, przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP), zapalenia płuc i nowotwory [3].

W Polsce dopiero w ciągu ostatnich lat nastąpił znaczący wzrost zainteresowania kwestią zanieczyszczenia powietrza. Informacje na temat jego poziomu coraz częściej stają się tematem debaty publicznej oraz pojawiają się w mediach (w telewizji, w radiu, w aplikacjach dostępnych na rozmaitych nośnikach pokazujących poziom zanieczyszczenia) głównie za sprawą organizacji społecznych, tzw. „alarmów smogowych”, w tym najbardziej znanych: Polskiego oraz Krakowskiego Alarmu Smogowego. Podejmowanie dyskusji i działań związanych ze stanem powietrza w Polsce jest bardzo istotne, ponieważ na tle innych krajów w Europie i na świecie jakość powietrza w Polsce jest jedną z najgorszych, a nie można pominąć faktu, że obok wpływu na zdrowie człowieka, niesie za sobą skutki ekonomiczne i społeczne.

Mimo praktycznie udowodnionego wpływu smogu na zdrowie i życie, świadomość mieszkańców nawet dużych miast na ten temat jest niewystarczająca, a wręcz mierna. Podobnie sytuacja wygląda wśród urzędników, polityków, nauczycieli czy nawet lekarzy. W przeprowadzonym wśród lekarzy badaniu ankietowym 73% respondentów uważało swoją wiedzę na temat zanieczyszczenia powietrza za niewystarczającą. Wśród pytanых lekarzy 94–95% nie znało dopuszczalnych stężeń substancji szkodliwych w powietrzu, a połowa badanych nie potrafiła ich nawet zdefiniować. 84% lekarzy nie śledzi aktualnych danych dotyczących stężeń substancji szkodliwych w powietrzu i aż 97% nie powiadamia swoich pacjentów o tym, że zanieczyszczenie powietrza przekroczyło dopuszczalne normy [4]. Fakty te pociągają za sobą częste omijanie i bagatelizowanie problemu oraz brak wiązania choroby i dolegliwości, z którymi zgłasza się pacjent, z aktualnym stanem powietrza. Powoduje to także brak ukierunkowania wywiadu na kwestię smogu, jako jedną z przyczyn chorób, a także brak edukacji i przestrzegania pacjenta przed ekspozycją na smog [4]. To zaskakujące, ponieważ

na przykład w przypadku palenia tytoniu, stosowania innych używek czy ekspozycji zawodowej na szkodliwe substancje sytuacja wygląda zupełnie inaczej. Edukacja pacjenta ze strony personelu medycznego jest praktykowana. Jednocześnie należy pamiętać, że smog to nie problem tylko naszego kraju, który pojawił się w ostatnich latach czy istniejący od kilkudziesięciu lat w krajach Zachodniej Europy. Nie jest to także problem związany z szybkim rozwojem przemysłu ciężkiego pod koniec XX wieku czy z rozwojem transportu samochodowego. Istniał od dawna, a jego temat stopniowo się rozwijał, początkowo w krajach Europy Zachodniej i Ameryki Północnej, później w krajach dawnego „bloku wschodniego”.

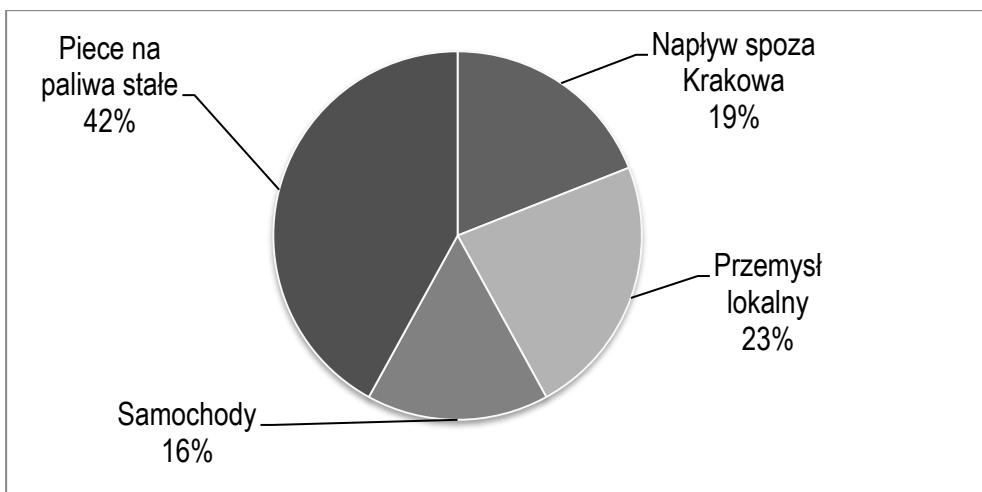
1.1. Charakterystyka zanieczyszczenia powietrza i pyłu zawieszonego

W powietrzu znajduje się wiele szkodliwych dla zdrowia substancji, począwszy od gazów, poprzez aerozole i pyły. Z punktu widzenia zdrowotnego i zagrożenia, jakie za sobą niesie, szczególnie ważny jest tzw. pył zawieszony. Z definicji pyłem (tutaj pyłem zawieszonym) nazywa się mieszaninę cząstek stałych oraz ciekłych rozproszonych w powietrzu [5].

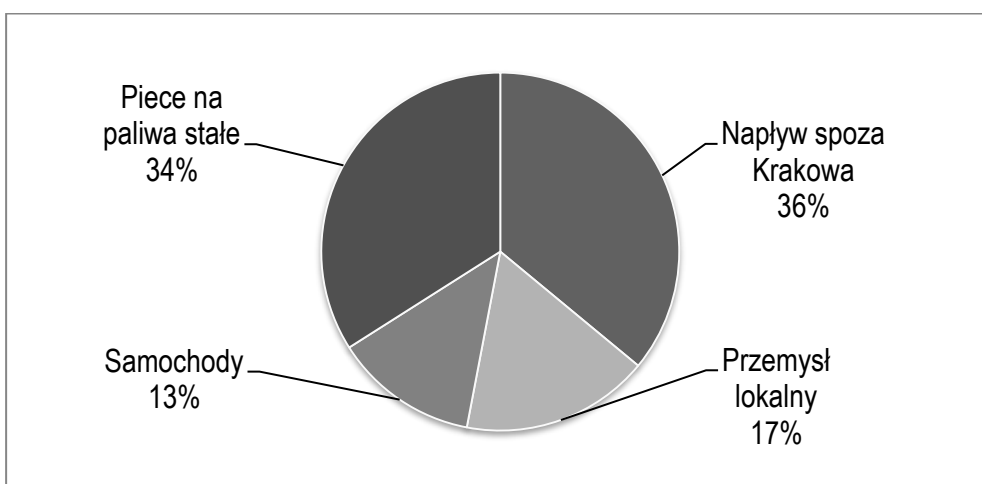
Pochodzenie pyłów można podzielić na dwie grupy: naturalne i antropogeniczne. Do naturalnych zalicza się te pochodzące z erozji gleby, wybuchów wulkanów, pożarów np. łąk, traw (stepów czy sawanny) lub lasów, aerozole morskie oraz unoszony poprzez burze pustynne pył pochodzący z dużych połaci ziem lub pustyń. Antropogenicznymi pyłami są zaś wszystkie te, które powstały w wyniku działania człowieka. Są to pyły pochodzące ze spalania paliw, zarówno stałych (np. węgiel, miał, koks, biomasa), jak i ciekłych (np. olej napędowy, olej opałowy, benzyna), a także powstałe w procesie produkcji przemysłowej (przemysł metalurgiczny, wydobywczy). Pyły mogą również powstawać podczas ścierania i kruszenia się różnych powierzchni jezdnych, np. asfaltowych czy betonowych dróg i autostrad, a także z okładzin klocków hamulcowych i gumy opon samochodowych. Niestety nierzadko pył zawieszony i jemu towarzyszące inne niebezpieczne substancje lotne (gazy, wspomniane poniżej) wydzielają się podczas spalania śmieci: gum czy opakowań syntetycznych. Wśród źródeł antropogenicznych największy procent zanieczyszczenia powoduje „niska emisja”, tj. źródła spalania pozaprzemysłowe, czyli domowe. W Polsce w „paleniskach domowych” spala się rocznie około 9 mln ton węgla, do 7,5 mln ton drewna i około 800 tys. ton mułów węglowych [6]. Skutkuje to kluczowym udziałem niskiej – domowej – emisji w zanieczyszczeniu powietrza, zależnej w największej mierze od rodzaju urządzeń grzewczych (tab.1, ryc.1–4).

Tab. 1. Emisja pyłów z domowych urządzeń grzewczych [5]

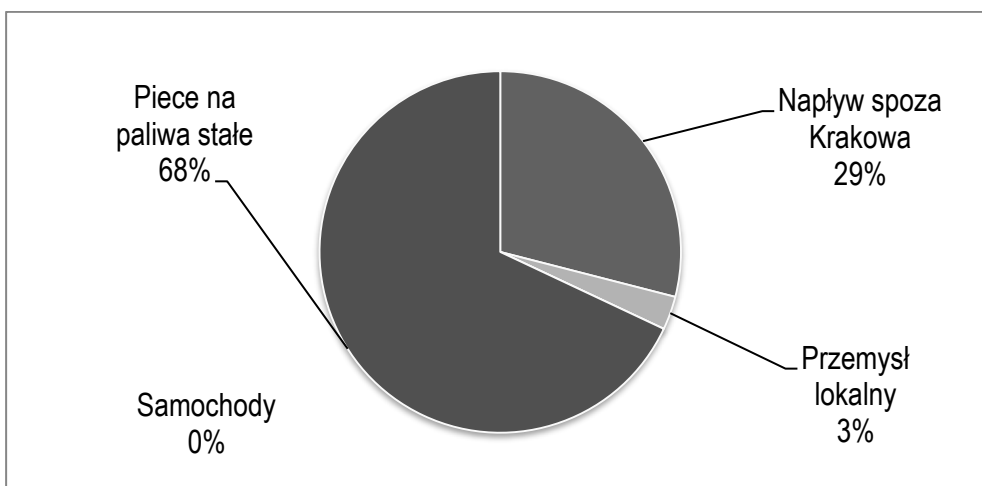
Rodzaj	Pompa ciepła	Kocioł gazowy	Kocioł klasa 5. na pelet	Kocioł węglowy klasa 5.	Kocioł węglowy	Piec kaflowy	Kocioł ręcznie zasilany
Emisja [mg/m ³]	0,0	0,008	20,0	40,0	420,0	560,0	800,0



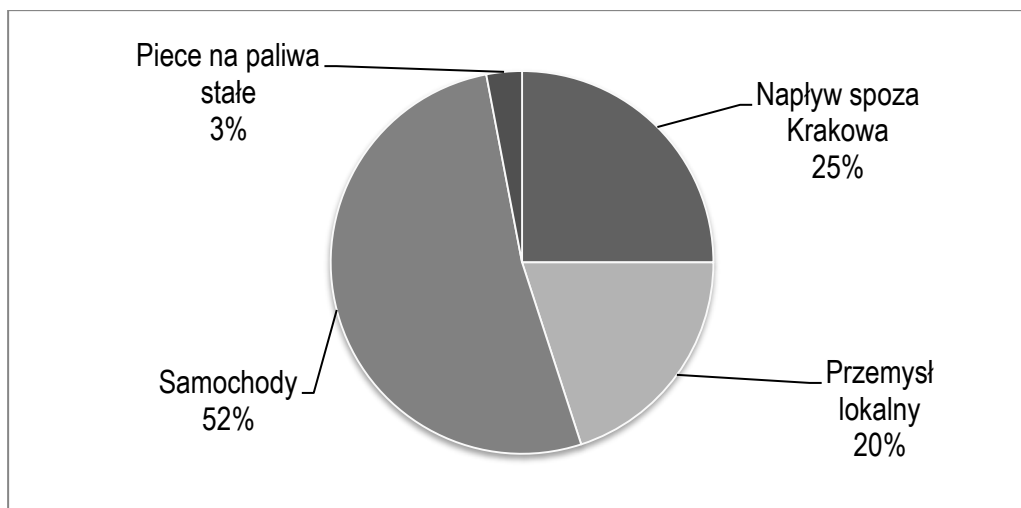
Ryc.1. Źródła emisji pyłu zawieszonego PM10 [7]



Ryc.2. Źródła emisji pyłu zawieszonego PM2,5 [7]



Ryc.3. Źródła emisji benzo(a)piranu(B[a]P) [7]



Ryc.4. Źródła emisji NO₂ [7]

Różnorodność pyłów, kształty, źródła pochodzenia oraz ich skład chemiczny definiują ostatecznie charakter ich negatywnego wpływu na poszczególne układy w ciele człowieka oraz innych organizmów, a także stopień ich bezpośredniej szkodliwości. Jedną z najbardziej istotnych cech, mających wpływ na rodzaj szkodliwości (obok składu chemicznego) oraz tą najczęściej omawianą, kiedy wspomina się o pyłe zawieszonym, jest wielkość ziarna.

Wielkość ziaren pyłu zawieszzonego podawana jest jako średnica i wynosi ona od kilku nanometrów (1/1000000 mm) do prawie 100 mikrometrów – μm (0,1 mm). I to właśnie ona wykorzystywana jest do podziału pyłu na poszczególne frakcje i stała się najważniejszym kryterium używanym do oceny ich właściwości i szkodliwości. Nazwy poszczególnych frakcji określa się mianem PM_x (z ang. Particulate matter), gdzie w miejscu litery „x” podaje się liczbę w mikrometrach, która oznacza maksymalny wymiar cząstki należącej do danej grupy/frakcji pyłu. Przyjęto klarowny podział pyłów na drobne (z ang. fine), których średnica nie przekracza 2,5 mikrometra oraz grube (z ang. coarse) – powyżej tego rozmiaru [5]. Szczegółowy podział pyłów na poszczególne frakcje przedstawiono w tabeli. 2.

Tab.2. Podział pyłów na poszczególne frakcje [5]

PYŁY	Rodzaj pyłu		Średnica
Pyły drobne	PM0,1	ultradrobny	<0,1µm
	PM1	submikroskopowy	<1µm
	PM2,5	drobny	<2,5µm
Pyły grube	PM2,5–10	PMc (ang. coarse)	2,5–10 µm
	PM10		<10 µm

Największy udział procentowy (ryc. 5.–7.) ze wszystkich cząstek zawartych w pyłe zawieszonym stanowią PM2,5-10. Jest to frakcja PM10 po odcięciu cząsteczek należących do PM2,5. Powstaje najczęściej w wyniku procesu ścierania i jest pochodzenia zarówno naturalnego, jak i wynikającego z działania człowieka (wspomniany wcześniej ścierany asfalt i opony) [5]. Wielkość i masa tej frakcji pyłu sprzyja jego szybkiemu opadaniu i tym samym szybkiemu usuwaniu z powietrza pod wpływem zjawisk atmosferycznych (opadów deszczu i śniegu oraz wiatru), a także siłą grawitacji. Dlatego też, ich czas przebywania w powietrzu jest krótki i zawiera się w przedziale od minut do kilku dni. Mogą być przenoszone na odległość do kilkuset kilometrów, a – ze względu na swoją wielkość – osadzają się w początkowych odcinkach układu oddechowego człowieka, co sprzyja ich szybkiemu usuwaniu z organizmu.

Mniejsze cząsteczki (PM2,5) dzielą się one na oddzielne grupy, nazywane czasem populacjami, co jest bezpośrednio zależne od tego, w jaki sposób powstają.

- I. Najmniejsze, to **cząstki w stanie nukleacji** ze średnicą <0,01 µm (10nm). Powstają w procesie spalania.
- II. Większe, **cząstki Aitkena**, o średnicy 0,01–0,1µm (10–100nm), które pod względem liczby stanowią największą ze wszystkich frakcji grupę, powstają podczas koagulacji i kondensacji wymienionych, mniejszych cząstek.

III. Największe z nich – w **fazie akumulacji**– powstają z obu wspomnianych, mniejszych frakcji oraz z kondensacji związków organicznych, azotanów i siarczanów.

Podobnie jak w przypadku pyłu PM10, pył drobny także ma cechy charakterystyczne dotyczące czasu pozostawania w atmosferze oraz możliwości przenoszenia na odległość. Ponieważ najmniejsze frakcje bardzo szybko koagulują do większych cząstek, ich czas pozostawania w atmosferze jest dość krótki: od minut do godzin. Ze względu na małą masę, przenoszony jest na dziesiątki do nawet setek kilometrów. Większe cząsteczki, te pozostające w fazie akumulacji, mogą być transportowane za pomocą wiatru dalej nawet do tysięcy kilometrów, a ich czas pozostawania w powietrzu jest, w przeciwieństwie do mniejszych populacji, dłuższy – od dni do tygodni, gdyż nie akumulują się do cząstek większych (nie podlegają ruchom Browna) oraz są zbyt małe, żeby poddać się sile grawitacji [8].

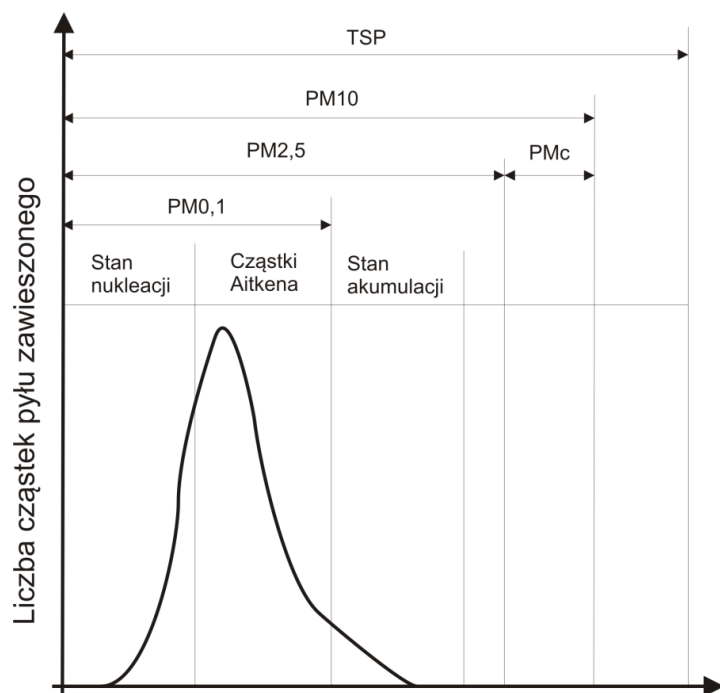
Cząstki w fazie akumulacji charakteryzują się największą powierzchnią spośród wszystkich pozostałych, ale ich udział ilościowy – w przeciwieństwie do cząstek Aitkena – jest niewielki. Niestety w układzie oddechowym człowieka PM2,5 dociera do dolnych dróg oddechowych, aż do pęcherzyków płucnych (tab. 3).

Tab.3. Miejsce deponowania pyłów w drogach oddechowych [5].

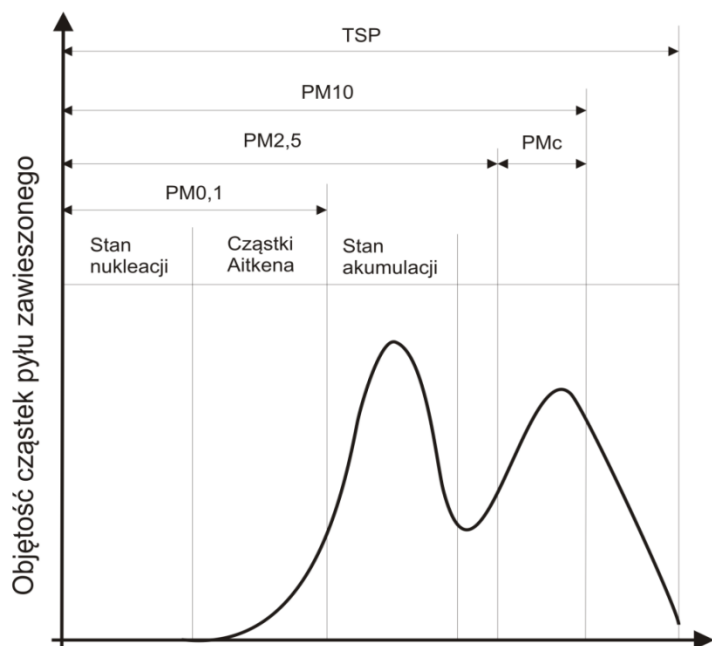
Rodzaj pyłu	Miejsce depozycji w układzie oddechowym				
	Górne drogi oddechowe		Dolne drogi oddechowe		
	Nos, gardło	Tchawica	Oskrzela	Pęcherzyki płucne	Tkanka śródmiażdżowa płuc, krwiobieg
TSP*					
PMc**					
PM10					
PM2,5					
PM0,1					

*TSP – całkowity pył zawieszony (totalsuspendedparticles), **PMc – pył z zakresu od PM2,5 do PM10

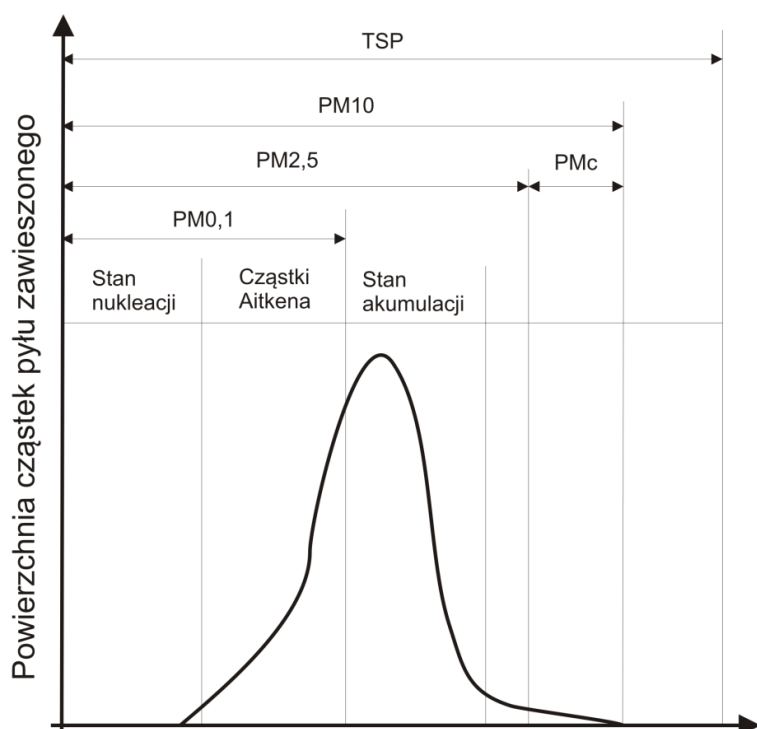
Podsumowując wcześniejsze dane, najliczniejszy jest pył ultra drobny – PM0,1. Stanowi on najczęściej 70–90% całości pyłu zawieszonego, z czego połowa to cząstki Aitkena (Ryc. 5,6,7).



Ryc.5. Rozkład wielkości pyłu w zależności od liczby cząstek



Ryc. 6. Rozkład wielkości pyłu w zależności od objętości



Ryc. 7. Rozkład wielkości pyłu w zależności od powierzchni

Choć średnica cząstek pyłu jest istotnym czynnikiem, który wpływa na miejsce ich deponowania w drogach oddechowych (tab. 2), to ich kształt jest o tyle istotny, że wyznacza sposób ich działania na komórki nabłonka płuc oraz to, w jakim stopniu organizm jest w stanie je eliminować. Obserwacja przy użyciu mikroskopu elektronowego pozwoliła stwierdzić, że kształt cząsteczek pyłu jest zazwyczaj dość nieregularny [9]. Często też ziarna pyłu charakteryzują się ostrymi krawędziami, a to w istotny sposób utrudnia ich usuwanie z dróg oddechowych.

Poza zróżnicowaniem w zakresie kształtu i wielkości, pył zawieszony różni się składem chemicznym. Podobnie, jak w przypadku omówionych właściwości, on również determinuje jego oddziaływanie na zdrowie człowieka. Skład chemiczny zależy w ogromnej mierze od pochodzenia pyłu, pory roku, warunków atmosferycznych, nawet ukształtowania terenu [10]. Wśród składników pyłu można wymienić: związki węgla nieorganiczne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i inne związki aromatyczne, substancje smoliste, oleiste, dioksyny – wszystkie spotykane w przypadku pyłu powstającego ze spalania paliw stałych. Obok związków węgla w skład pyłu wchodzi śladowe pierwiastki – arsen,

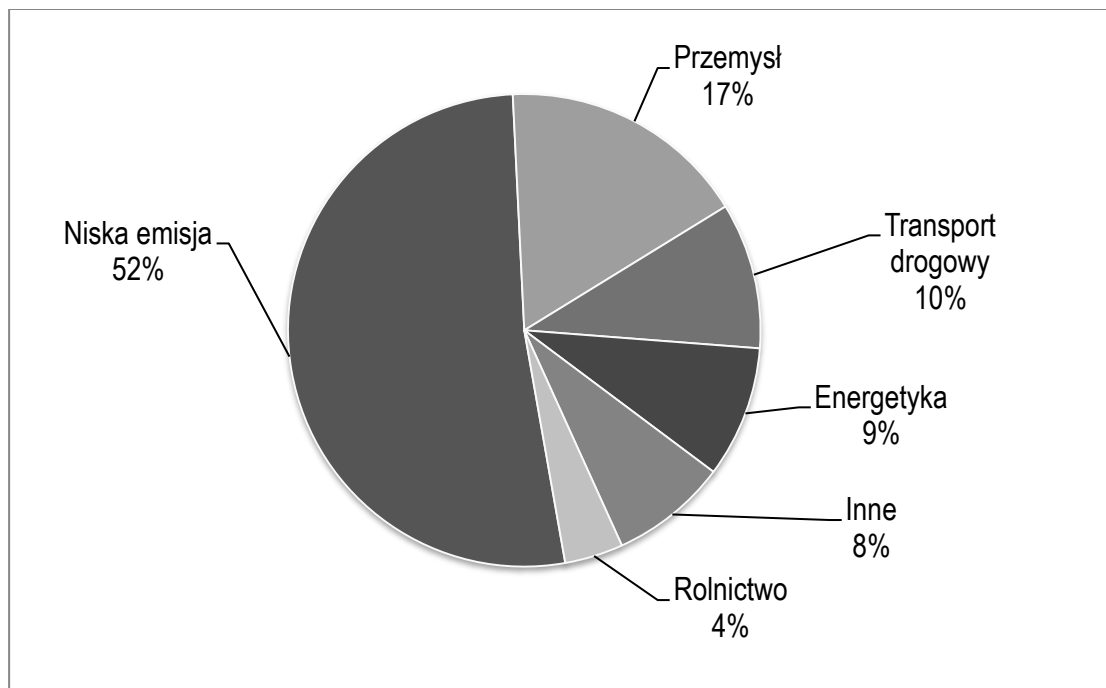
kadm, chrom, ołów, mangan, rtęć, nikiel – które eksperci WHO umieścili na liście niebezpiecznych dla zdrowia człowieka [11]. Część z nich, w tym m.in. kadm, arsen i nikiel, Światowa Organizacja Badań nad Nowotworami (International Agency for Research on Cancer – IARC) zaliczyła do pierwiastków o działaniu kancerogennym. Przy wyszczególnianiu szkodliwych związków w składzie PM, nie można pominąć zanieczyszczeń gazowych: tlenku węgla, dwutlenku siarki i azotu oraz ozonu [12].

Węglowodory

Jak sama nazwa wskazuje, są to związki chemiczne, w których skład wchodzi węgiel i wodór. Węglowodory aromatyczne są uznawane za jedne z najbardziej niebezpiecznych dla zdrowia człowieka. Dobrze znane monocykliczny benzen i policykliczny benzo(a)piren (B[a]P) wykazują negatywny, kancerogenny wpływ. Podobnie jak w przypadku pyłu zawieszonego, głównym źródłem B(a)P są domowe piece na paliwa stałe, piece centralnego ogrzewania, kuchnie kaflowe, a nawet domowe kominki. Autorzy publikacji podają, że 77% produkowanych na terenie Polski węglowodorów aromatycznych pochodzi z domowych palenisk, zaś drugim w kolejności źródłem tych gazów są koksownie, które generują ich 15% [13]. W badaniach na zwierzętach wykazano, iż ekspozycja na niewielkie stężenia węglowodorów skutkuje uszkodzeniem szpiku kostnego (trombocytopenia, niedokrwistość, leukocytopenia). Natomiast ich duże stężenia przyczyniają się do powstawania nowotworów, głównie nabłonkowych. Wśród narażonych na większe stężenia benzenu, np. w pracy, wykazano zwiększoną umieralność na nowotwory, w tym układu krwiotwórczego – białaczki [14]. Źródłem benzenu dla człowieka jest głównie tytoń oraz zanieczyszczone powietrze atmosferyczne (ryc.8).

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), w tym B(a)P, dostają się do organizmu różnymi drogami. Poza wymienionymi w przypadku benzenu, także przez skórę i drogą pokarmową. Ze względu na swój charakter oraz właściwości biologiczne WWA bardzo łatwo dostają się do wnętrza komórek przez ich błony. Gromadzą się w narządach takich jak: nerki, wątroba, śledziona, gruczoły wydzielania wewnętrznego [15]. W testach na zwierzętach wykazano ich wpływ na powstawanie nowotworów i negatywne oddziaływanie na rozwój płodu, ale także stwierdzono właściwości immunotoksyczne i genotoksyczne [16]. Najczęściej jest składnikiem cząstek stałych – pyłu zawieszonego, znacznie mniejszy procent występuje w postaci lotnej. Przenikanie ultradrobnych cząstek do pęcherzyków płucnych

wzmaga ich kancerogeny wpływ, powodując nowotwory płuc i oskrzeli. Poprzez pęcherzyki płucne, z uwagi na swój charakter, jest dystrybuowany wraz z krwią do niemal wszystkich narządów w ciele.



Ryc.8. Źródła emisji pyłu zawieszonego B(a)P [17]

Zarówno w przypadku benzenu, jak i WWA, nie ma jednoznacznie określonego bezpiecznego stężenia w powietrzu dla człowieka, co jest oczywiste i wynika z braku prowadzenia takich badań. Podawana jest tylko wartość dopuszczona prawem unijnym, która wynosi – 1 ng/m^3 [18].

Wpływ warunków atmosferycznych na poziom zanieczyszczenia

Pył zawieszony podlega wpływowi wielu czynników zarówno chemicznych, jak i fizycznych. Jak już wcześniej wspomniano, transportowany jest on na większe odległości, czyli poziomo, jak również, m.in. za sprawą grawitacji – pionowo. W procesie przemieszczania cząstek pyłu, czy „wmywania” z atmosfery (opady), znaczącą rolę odgrywają warunki atmosferyczne, które bezpośrednio oddziałują na poziom

zanieczyszczenia. Czynnikiem, które odgrywają tu dużą rolę, są źródła emisji oraz elementy topograficzne.

Atmosferę można podzielić na warstwy, ale warunki fizyczne panujące w tzw. warstwie granicznej (tarciowej) warunkują poziom zanieczyszczenia powietrza. Wysokość tej warstwy troposfery się waha, zależnie od ukształtowania terenu, wpływu człowieka i pory dnia, od kilkuset metrów w nocy do kilku kilometrów w dzień [5]. W jej tzw. części przyziemnej zachodzą największe zmiany meteorologiczne oraz największe pionowe gradienty w zakresie wiatru, temperatury i wilgotności. Krótko podsumowując, największy wpływ na stężenia PM mają temperatura powietrza, wilgotność wraz z opadami, warunki wiatrowe (anemologiczne) oraz promieniowanie słoneczne.

Temperatura powietrza istotnie wpływa na poziom zanieczyszczenia z dwóch powodów. Po pierwsze – bezpośrednio, co jest związane z porą roku i warunkami bytowymi mieszkańców. Wynika to z większej niskiej emisji zanieczyszczeń związanych ze zwiększoną koniecznością ogrzewania domów oraz z produkcją przemysłową zanieczyszczeń przez elektrociepłownie w okresie grzewczym. Po drugie, temperatura wpływa na kształtowanie się warunków atmosferycznych na danym obszarze i w określonej porze roku. Pogoda niżowa, cyklonalna z niższymi temperaturami w okresie letnim, cechuje się zwiększonymi opadami i zachmurzeniem, w zimie wiąże się z wyższymi temperaturami, opadami deszczu i deszczu ze śniegiem, a także większą prędkością wiatru. Wszystko to sprzyja niższej antropogenicznej emisji zanieczyszczeń oraz szybszemu ich usuwaniu z atmosfery. Pogoda wyżowa – antycyklonalna w zimie z niższymi temperaturami, brakiem chmur i wiatru, w lecie brakiem opadów atmosferycznych, koreluje z większym zanieczyszczeniem i mniejszą jego eliminacją z powietrza.

Wpływ wilgoci, tj. mgły i opadów atmosferycznych, jest równie istotny jak oddziaływanie temperatury. Kiedy zwiększeniu wilgotności powietrza towarzyszy opad, łatwiej dochodzi do eliminacji pyłów i innych zanieczyszczeń z przyziemnej warstwy atmosfery. Odwrotna sytuacja ma miejsce, kiedy zwiększonej wilgotności nie towarzyszą opady. Jednocześnie skutkuje to tworzeniem się mgły i powoduje koncentrację zanieczyszczenia. Podsumowując wpływ wilgotności na poziom zanieczyszczenia, nie można poprzestać na określeniu tylko jednego parametru – wilgotności. Należy uwzględnić także wartości wilgotności względnej, temperatury punktu rosy oraz prężności pary wodnej. Sprzyjające eliminacji pyłów są wzrost temperatury punktu rosy i wzrost ciśnienia pary wodnej, kiedy dochodzi do opadów atmosferycznych.

Wiatr, jeden z czynników wpływających na poziom PM, odgrywa istotną rolę zarówno w procesie powstawania, jak i oczyszczania atmosfery z pyłów. Prędkość <3 m/s (czyli wiatr słaby) pozwala na koncentrację zanieczyszczeń. Wiatr mocniejszy >5 m/s sprzyja ponownemu unoszeniu wcześniej eliminowanego pyłu z powierzchni ziemi, czy też materiału powstałego w procesie ścierania – chociażby asfaltu z dróg. Jednocześnie należy zwrócić uwagę na to, że w bardzo dużym stopniu wpływ ruchu powietrza zależy od ukształtowania terenu, jak i od gęstości zabudowań w miastach. Przykładem negatywnym w zakresie architektury przestrzennej jest Kraków, gdzie doszło do zabudowania korytarzy powietrznych, które przy sprzyjających warunkach pozwalały usunąć zanieczyszczenie poza obszary miasta. Natomiast jako wzór prawidłowo zaplanowanej architektury zabudowy można wskazać Nowy York z szerokimi i prostopadłymi do siebie ulicami.

Ostatnim z wymienionych czynników pozostaje pora dnia. W poszczególnych godzinach doby zmienia się tzw. klasa stabilności atmosfery, począwszy od najbardziej chwiejnej – A, B, C – kiedy przykładowy kształt smugi dymu z emisji niskiej i średniej zatacza pętle – rozprzestrzenia się, po warunki panujące w przypadku inwersji, gdy dym kieruje się poniżej swojego źródła w stronę ziemi i tam zostaje „zamknięty” – klasa E; F – to najbardziej stabilna klasa. Pośrednia stabilność określana jest jako obojętna. W nocy dominuje klasa stała, po wschodzie słońca wzrasta chwiejność atmosfery, pojawia się warstwa turbulencji i w ciągu dnia następuje przejście atmosfery w stan chwiejny. Po zachodzie ponownie się zwiększa stabilność powietrza i powraca jej stała klasa. Zmiany dobowe bezpośrednio się wiążą ze zmianą dobową stężeń PM. Najwyższe wartości PM pyłomierze wskazują w godzinach nocnych, w godzinach popołudniowych – najniższe [19,20].

Podsumowując wpływ warunków atmosferycznych na zapylenie, należy wspomnieć, że oddziaływanie to należy rozpatrywać wielowymiarowo. Prognozując zaś poziom zanieczyszczenia, trzeba uwzględniać wszystkie wymienione czynniki, które go determinują.

Z uwagi na negatywny wpływ smogu na zdrowie człowieka już w latach 70. XX wieku zaczęto wprowadzać pułapy zanieczyszczenia powietrza. Początkowo były to ustalenia międzynarodowe, a następnie skupiono się na normach w poszczególnych państwach. Ustanowiono krajowe pułapy emisji zanieczyszczenia, normy jakości powietrza atmosferycznego, przepisy mające na celu zapobieganie zanieczyszczeniu oraz dotyczące pomiarów i oceny stanu powietrza. Pułapy emisji zanieczyszczenia dla poszczególnych krajów zostały określone w ramach Konwencji, a w sprawie transgranicznego

zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości w protokole z Goeteborga z 1999 roku [21]. Wspomniane pułapy dotyczyły takich substancji jak tlenki siarki, azotu i lotnych związków organicznych. Wielkości te zostały w przypadku Polski ponownie zapisane w traktacie dotyczącym przystąpienia do UE – dyrektywa Parlamentu Europejskiego z 23 października 2001 roku. Założone graniczne stężenia niektórych substancji miały zostać osiągnięte do 2010 roku. Dwa lata później, po rewizji protokołu goeteborskiego, założono nowe obniżone pułapy (dwutlenku siarki, dwutlenku azotu, amoniaku), określono także dopuszczalną wartość stężenia dla pyłu PM_{2,5} do osiągnięcia w 2020 roku (tab.4) [21].

Tab.4. Pułapy emisji określone na Polski w protokole z Goeteborga.

Rok osiągnięcia docelowego pułapu	SO₂ Gg/rok	NO_x Gg/rok	NH₃ Gg/rok	PM_{2,5} Gg/rok
2010	1397	879	468	–
2020	501,84	606,2	267,3	111,72

Normy jakości powietrza dla danych substancji, głównie pyłów PM₁₀ i PM_{2,5},B(a)P oraz metali ciężkich, są określone przez WHO oraz przez prawo poszczególnych krajów (tab.5).

Tab.5. Zalecane normy jakości powietrza dla pyłów zawieszonych (PM_{2,5} i PM₁₀) określone przez WHO w 2006 roku [24].

Rodzaj zanieczyszczenia	Średnia wyników pomiaru z danego okresu	Stężenia zalecane przez WHO, które nie powinny być przekraczane [µg/m³]
Pył zawieszony PM₁₀	24 godziny	50
Pył zawieszony PM₁₀	rok kalendarzowy	20
Pył zawieszony PM_{2,5}	24 godziny	25
Pył zawieszony PM_{2,5}	roku kalendarzowy	10

W UE normy dla pyłów zawieszonych zostały określone w dwóch dokumentach obowiązujących na jej terenie: w dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady (2008/50/WE) dotyczącej jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy z 21 maja 2008 roku oraz dotyczącej węglowodorów aromatycznych oraz metali z 15 grudnia 2004 roku [22]. Wymienione dyrektywy zostały przeniesione do prawodawstwa Rzeczypospolitej Polskiej w kwietniu 2012 roku na podstawie rozporządzenia Ministra Środowiska (tab.6 i 7) [23].

Tab.6. Normy jakości powietrza dla pyłów zawieszonych (PM10) określone w rozporządzeniach Ministra Środowiska z 2012 roku [23].

Rodzaj zanieczyszczenia	Średnia wyników pomiaru z danego okresu	Nazwa wartości	Wartość/poziom zanieczyszczenia [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Docelowy rok osiągnięcia wartości założonej
Pył zawieszony PM10	24 godziny	poziom dopuszczalny stężenia	50	2005
	rok kalendarzowy	poziom dopuszczalny stężenia	40	2005
	24 godziny	poziom informowania	200	2012
	24 godziny	poziom alarmowania	300	2012
	Liczba dni w ciągu roku z dopuszczalnym przekroczeniem PM10 – 35 dni			

Wspomniane normy jakości powietrza określają odpowiednie poziomy i pułapy, dla których przyjęto następujące definicje:

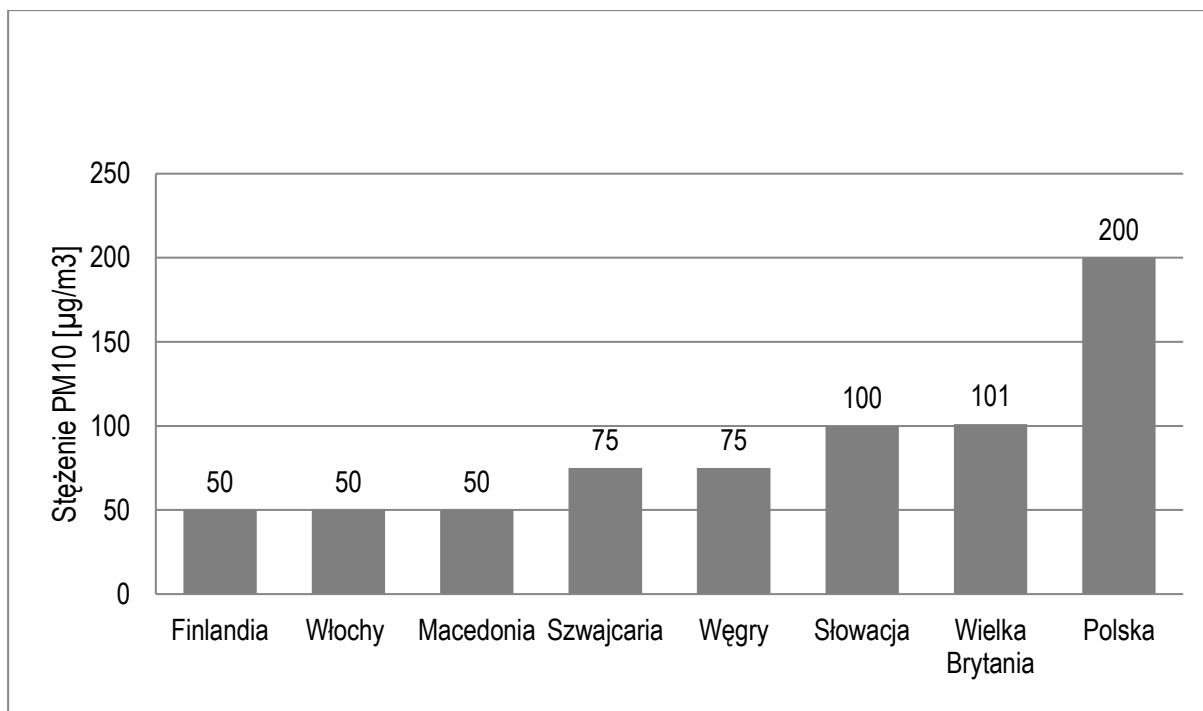
- poziom dopuszczalny – poziom substancji w powietrzu, który w celu zapobiegnięcia negatywnemu wpływowi na zdrowie człowieka i na środowisko powinien być osiągnięty w określonym terminie, a następnie powinien być nieprzekraczany;
- poziom docelowy – poziom substancji w powietrzu ustalony w celu uniknięcia lub ograniczenia negatywnego ich wpływu na zdrowie człowieka i środowisko; powinien być w określonym czasie osiągnięty tam, gdzie jest to możliwe;

- poziom informowania – poziom substancji w powietrzu, powyżej którego istnieje zagrożenie zdrowia człowieka, wynikające z krótkotrwałego narażenia, zwłaszcza wrażliwych grup ludności;
- poziom alarmowy – poziom substancji w powietrzu, powyżej którego istnieje zagrożenie zdrowia całej ludności, wynikające z krótkotrwałego narażenia;
- pułap stężenia ekspozycji – poziom określony na podstawie wskaźnika średniego narażenia w celu ograniczenia negatywnego wpływu substancji na zdrowie, który ma być osiągnięty przez dany okres.

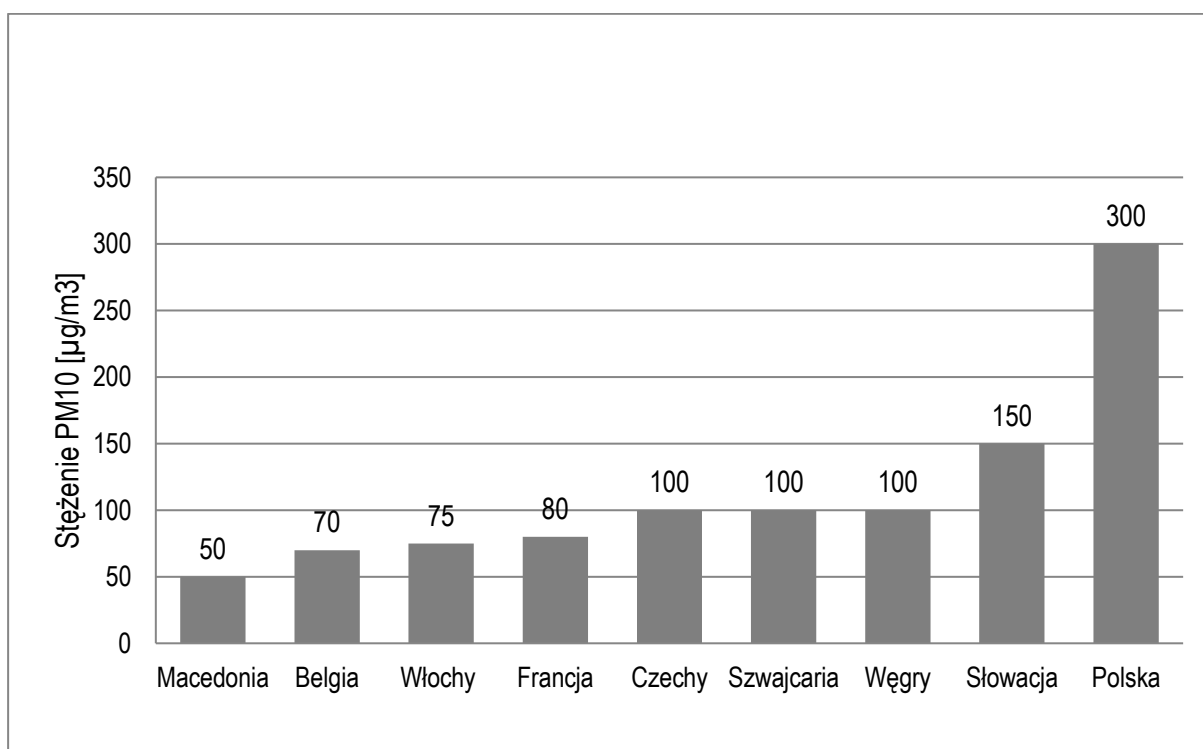
Tab.7. Normy jakości powietrza dla pyłów zawieszonych (PM_{2,5}) określone w rozporządzeniach Ministra Środowiska z 2012 [23].

Rodzaj zanieczyszczenia	Średnia wyników pomiaru z danego okresu	Nazwa wartości	Wartość/poziom zanieczyszczenia [µg/m ³]	Docelowy rok osiągnięcia wartości założonej
Pył zawieszony PM _{2,5}	rok kalendarzowy	poziom dopuszczalny stężenia	25	2015
	rok kalendarzowy	poziom dopuszczalny stężenia	20	2020
	3 lata	pułap stężenia ekspozycji	20	2015
	3 lata	krajowy cel redukcji narażenia	18	2020

Poziomy informowania i alarmowania, podobnie zresztą jak samo zanieczyszczenie powietrza, znacząco różnią się w krajach Europy Zachodniej i Południowej, w stosunku do tych Polskich (ryc.9 i10).



Ryc.9. Poziom informowania dla PM10 w wybranych krajach Europy [17]



Ryc.10. Poziom alarmowania dla PM10 w wybranych krajach Europy [17]

1.2. Zanieczyszczenie powietrza w ujęciu historycznym

1.2.1. Na świecie

Zainteresowanie ludzkości zanieczyszczeniem powietrza sięga bardzo odległych czasów. Początkowo smog był generowany przez paleniska domowe oraz małe zakłady produkcyjne – były to tzw. lata przedindustrialne. Następnie, od końca XVIII wieku do połowy lat XX wieku (tzw. „wiek smogu”), gdy nastąpił rozwój przemysłu, to właśnie on, wraz z szerszym zastosowaniem węgla w fabrykach Wielkiej Brytanii, Niemiec, USA, stał się przyczyną zanieczyszczenia powietrza. W późniejszych latach podobną sytuację można było obserwować w krajach Europy Środkowej i Wschodniej. Dopiero po 1950 roku, po katastrofach związanych ze smogiem, w tym najbardziej znanej, do której doszło w Londynie w 1952 roku, wdrożono programy naprawcze mające na celu poprawę jakości powietrza, a wraz z nią zmniejszenie zachorowalności mieszkańców terenów miejskich oraz uprzemysłowionych [25].

W czasach przedindustrialnych smog utrzymujący się wewnątrz źle wentylowanych, wypełnionych dymem pomieszczeń, powstawał podczas gotowania i ogrzewania drewnem. Był przyczyną złego stanu zdrowia u mieszkańców już od wielu wieków. Wyniki badań naukowych zmumifikowanych próbek tkanek płucnych z Egiptu, Peru i Wielkiej Brytanii wskazały, że już ludność starożytna cierpiała na choroby układu oddechowego. W próbkach wykryto cechy chorób śródmiąższowych płuc – jako wynik ekspozycji na „dym domowy”. Pierwsze wzmianki w literaturze nawiązują do starożytnego Rzymu oraz starożytnej Grecji. Już wtedy zauważono, co powoduje zanieczyszczenie powietrza. Pisano o spalaniu drewna, opalaniu domostw, spalaniu odpadów, a także o pierwszych małych zakładach produkcyjnych, w których wytapiano rudy ołowiu i srebra. W III wieku p.n.e. uczeń Arystotelesa – Teofrastus – zauważył nieprzyjemny zapach, który towarzyszył spalaniu drewna oraz problemy związane z powstałym w tym czasie dymem. Znany rzymski filozof Seneca w 61 r.n.e. w liście do przyjaciela pisał o „ciężkim powietrzu” ówczesnego Rzymu, o trujących oparach z kominów, o chmurach popiołów, o tym, jak ucieczka z zadymionego miasta i powrót do swych winnic dały mu odczuwalną zmianę samopoczucia. W tych latach w Rzymie pojawiały się pierwsze przymiarki do walki z tzw. niską emisją. Zaczęto wówczas budować kominy o wysokości 7–8 metrów [25].

Obok doniesień starożytnych pisarzy o niemedycznych, a estetycznych właściwościach smogu, można odnaleźć pozycje w literaturze związane z jego wpływem na zdrowie. Ówczesni medycy, jak Aretaeus z Kapadocji, Aulus Cornelius, Celsjusz, Plini Starszy, wskazywali jednoznacznie, że choroby płuc wiązały się z jakością powietrza i były także szeroko rozpowszechnione wśród cywilizacji całego basenu Morza Śródziemnego. W 400 roku p.n.e. Hipokrates w swoim traktacie „Airs, Waters, Places” pisał o znaczeniu dobrej jakości wody i powietrza. Wspominał o zaciernionym przez pochodzący z małych zakładów produkcyjnych dym niebie. Zakłady wypalające naczynia i domy mieszkalne były wówczas słoczone w centrach miast.

Smog zawsze towarzyszył ludzkości. W średniowieczu najprężniej rozwijał się przemysł metalurgiczny, który opierał się na produkcji narzędzi i broni z ołowiu, miedzi oraz brązu. W tym okresie w Londynie głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza były piece wapiennicze opalane dębina. Produkowały zanieczyszczenia pod postacią pyłów zawieszonych, tlenków azotu, gazów organicznych i dwutlenku węgla. Z czasem niedobory drewna i dramatyczny wzrost cen, nawet o 700%, spowodował, że w stolicy Wielkiej Brytanii domy zaczęto ogrzewać „miękkim węglem” (węgiel drzewny, sea-coal). „Nowe źródło energii” zaczęto także wykorzystywać niemal we wszystkich gałęziach przemysłu. Rosnące zanieczyszczenie stopniowo pociągało za sobą społeczne protesty oraz obawy o wpływ na zdrowie mieszkańców dużych miast na wyspach. Coraz liczniejsze akty sprzeciwu społeczeństwa spowodowały, że pod koniec XIII wieku po raz pierwszy zostały powołane dwie komisje do badania skarg związanych z zanieczyszczeniem spalaniem węglem. Na samym początku XIV wieku nastąpił przełom. W 1307 roku król Edward I zakazał palenia węglem w piecach wapienniczych. Choć wydarzenie to spotkało się z małym oddźwiękiem społecznym, gdyż przepisu nie przestrzegano, to był to moment przełomowy. Podobnie w 1578 roku królowa Elizabeth I sprzeciwiła się dymowi powstałemu ze spalania „węgla morskiego”, który wydobywał się z zakładów browarniczych niedaleko Pałacu Westminsterskiego. Z tej przyczyny oraz z powodu coraz bardziej pogrążonego w dymie Londynu, stopniowo dokonano przejścia z opalania drewnem i węglem drzewnym na wykorzystywanie do tego celu paliw kopalnych.

Wraz z rozwojem przemysłu i rewolucją industrialną po 1700 roku wzrosło zainteresowanie zanieczyszczeniem powietrza wśród ludzi nauki. Przeprowadzono także pierwsze związane z tym badania. W tym miejscu należy wymienić kilka ówczesnych doniesień, których autorzy wiązali smog z jego wpływem na zdrowie. We Francji w 1763

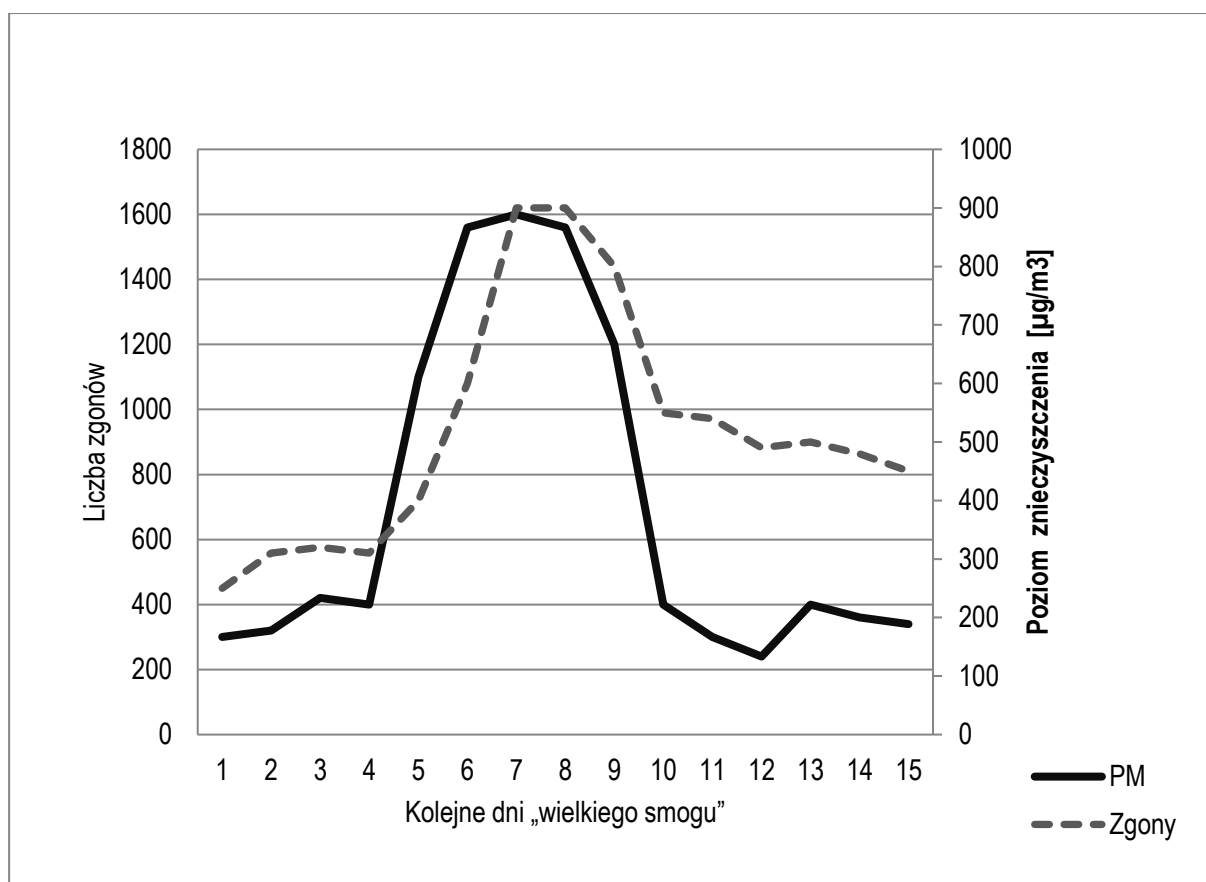
roku lekarz Jean-Jacques Rousseau wspomina o stanie powietrza w Paryżu. Pisał: „Paryż ma szczególną atmosferę we wszystkich okresach, z wyjątkiem okresu z silnym wiatrem (...). Mgła z jej nieprzyjemnym zapachem często doświadcza Paryż jesienią i zimą. Bolały oczy i gardło, powoduje kaszel”. W 1852 roku Robert Angus Smith, szkocki chemik, nazywany później „ojcem kwaśnego deszczu”, dokonał pierwszej demonstracji związku między kwaśnym deszczem i zanieczyszczeniem powietrza w Manchesterze. Także A. Ladureau, dyrektor Laboratoire de l’Etat et de la Station Agronomiquedu Nord w Annales de la Chimie, w 1883 roku pisał o jakości powietrza w miejscowości Lille: „Powietrze, którym oddychamy w Lille, pozostawia szczególniey smak w ustach (...) powoduje chrypkę, dolegliwości ze strony gardła, miejscowe podrażnienie i zapalenie oskrzeli”.

Choć cytowane osoby już w XIX wieku zauważały wpływ smogu na górne drogi oddechowe czy oczy, to zależność między zanieczyszczeniem powietrza i wzrostem zachorowań i umieralności na choroby układu krążenia i oddechowego stała się ważnym tematem dopiero na początku XX wieku. Za sprawą tragicznych incydentów, do których doszło w kilku miastach Europy, później Ameryki Północnej, uwaga lekarzy skupiła się na zauważalnej korelacji. Większość z odnotowanych w historii poważnych epizodów występowała w Londynie, większość miała miejsce w miesiącach zimowych i dotknęła dużą liczbę osób. Pierwszy zauważony i opisany incydent dotyczący smogu miał miejsce w dniach 3–5 grudnia 1930 roku we wschodniej Belgii, w dolinie rzeki Mozy (Meuse) [26]. Był to obszar gęsto zaludniony z licznymi zakładami przemysłowymi. Wówczas u kilku setek mieszkańców wystąpiły dolegliwości związane z układem oddechowym, głównie duszności. Doszło do 62 zgonów osób w wieku 20–89 lat [27].

O kolejnym takim zdarzeniu na łamach dziennika „New York Times” pisano „jedna z najgorszych katastrof zanieczyszczenia powietrza w historii narodu” [28]. Doszło do niego 27 października 1948 roku w miejscowości Donora w dolinie rzeki Monongahela. W ciągu kilku dni u mieszkańców wystąpiły: nieżyty górnych dróg oddechowych, kaszel, oznaki niewydolności oddechowej. Wiszący nad miastem smog utrzymywał się przez 4 dni, do 31 października, i doprowadził do śmierci 20 osób. U kilkunastu tysięcy stwierdzono objawy związane z układem oddechowym. Kolejne 50 osób zmarło w ciągu następnego miesiąca, a ocenia się, że śmiertelność w dolinie była znacząco większa jeszcze przez 10 lat po tym incydencie [29].

Po 4 latach w Londynie doszło do najgłośniejszej katastrofy ekologicznej związanej z zanieczyszczeniem powietrza. Słynna „londyńska mgła”, nazwana wówczas „wielkim

smogiem”, uderzyła z ogromną siłą, snując się nad miastem przez 5 grudniowych dni w 1952 roku [30]. Tworzeniu tego smogu sprzyjała bezwietrzna atmosfera i niskie temperatury (w dniach 5–9 grudnia), które w znacznej mierze spowodowały większe niż zwykle zużycie opału w prawie wszystkich opalanych węglem domostwach stolicy Wielkiej Brytanii. Rządowe raporty szacowały, że w ciągu zaledwie tych kilku dni zmarło 4000 osób. Około 100 tysięcy mieszkańców Londynu ucierpiało z powodu dolegliwości oddechowych. Ostatecznie „wielki smog” był przyczyną śmierci 12 tysięcy osób. Większość ofiar to osoby w wieku podeszłym, dzieci oraz obciążeni chorobami układu oddechowego (ryc.11) [32–34].



Ryc. 11. Wpływ „wielkiego smogu” na liczbę zgonów w 1952 roku [31]

Większość zgonów była spowodowana infekcjami układu oddechowego oraz niedotlenieniem w ciężkim przebiegu bakteryjnych zapaleń płuc wywołanych przez smog [35].

Dość szybko stało się oczywiste, że zanieczyszczenie jest realnym i śmiertelnym problemem, a skutki smogu popchnęły do walki ówczesny ruch środowiskowy. Pomimo tego

oraz mimo jednoznacznych danych Ministerstwa Zdrowia mówiących o podwyższonych wskaźnikach zgonów w Londynie, rząd początkowo opierał się naciskom i starał się tuszować skalę problemu z powodów ekonomicznych – węgiel był po prostu tańszy. Jednak władze uległy presji. W odpowiedzi na rok 1952 Parlament Zjednoczonego Królestwa uchwalił ustawę „o czystym powietrzu” – The Clean Air Act 1956 [36]. Ustawa uwzględniła wiele zmian mających na celu poprawę jakości powietrza. Między innymi ustalenie norm spalania węgla oraz spalania węgla lepszej jakości. Wprowadziła ogrzewanie elektryczne oraz gazowe, przeniesienie elektrowni z dala od miast oraz zwiększenie wysokości kominów [37].

Obok najbardziej znanego epizodu z 1952 roku, podobne miały miejsce już wcześniej, ale nie nagłośniano tych zdarzeń głównie z uwagi na mniejszą liczbę chorujących i zgonów. Wystąpiły one w grudniu 1873 roku, wówczas wzrosła śmiertelność wśród mieszkańców stolicy Wielkiej Brytanii o przeszło 40%, a także styczniu 1880 roku, lutym 1882 roku, w grudniu 1891 roku i 1892 roku (tab.8). Później smog powrócił w jeszcze 1952 roku oraz w 1962 roku, już po wejściu ustawy. W każdym ze wspomnianych przypadków wzrastała śmiertelność. Smog dotyczył głównie wschodnią część Londynu, gdzie zagęszczenie fabryk i domów było większe, a obszar jest niżej położony, co sprawiało, że ruch powietrza był mniejszy, uniemożliwiając tym samym rozproszenie zanieczyszczeń [38].

Tab.8. Liczba ofiar śmiertelnych podczas kolejnych epizodów smogu w Londynie [38].

Rok i miesiąc incydentu	Liczba ofiar śmiertelnych
1873, grudzień	700
1880, styczeń	700–1100
1892, grudzień	1000
1948, listopad	300
1952, grudzień	4000
1956, styczeń	480
1957, grudzień	800
1962, grudzień	350–700

Po roku 1962 na całym świecie miały jeszcze miejsce katastrofy związane z zanieczyszczeniem powietrza. W 1966 roku, w listopadowy weekend, smog także spowił Nowy York. Wilgotny front atmosferyczny znad oceanu zatrzymał w środku miasta zanieczyszczenia. Sytuacja ta utrzymywała się przez 3 dni. Autorzy przeprowadzonych po tymże epizodzie badań naukowych potwierdzili, że ponad 10% mieszkańców odczuło skutki smogu, pod postacią m.in. pieczenia oczu, nieżytu gardła, kaszlu oraz duszności i innych zaburzeń oddychania. W analizie statystycznej dowiedziono śmierci 168 osób bezpośrednio z powodu smogu, zaś liczbę przedwczesnych zgonów w późniejszym czasie oceniono na ponad 360 [39,40].

Podobne epizody miały miejsce w listopadzie w 1953 roku oraz w lutym 1963 roku. Odpowiednio, zwiększone zanieczyszczenie powietrza, doprowadziło do śmierci około 240 oraz 300–400 osób [41,42].

W konsekwencji wydarzeń z Nowego Jorku, 31 grudnia 1970 roku prezydent Richard Nixon utworzył Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska. Pociągnęło to za sobą podpisanie Clean Air Act. Wraz z ustawą o czystym powietrzu ograniczono emisję zanieczyszczeń, wprowadzono krajowe normy jakości powietrza i normy emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Nowelizacje ustawy o „czystym powietrzu” pojawiły się następnie w 1977 roku oraz w 1990 roku.

Jeden z ostatnich, największych opisywanych w literaturze epizodów wystąpił w 1985 roku w zagłębiu Ruhry. Znacznie zwiększone zanieczyszczenie powietrza trwało 5 dni [43]. Autorzy doniesienia porównali wzrost zachorowalności w zagłębiu z obszarem kontrolnym. Wzięto wówczas pod uwagę 7-dniową średnią badanych zmiennych. W badanym obszarze liczba hospitalizacji wzrosła o przeszło 15%, interwencji karetek pogotowia o 8%, pacjentów samodzielnie zgłaszających się w poradniach o 12%. W grupie kontrolnej wartości te wzrosły odpowiednio o: 3%, 0% oraz 5%. Smog miał wpływ na układ sercowo-naczyniowy oraz na układ oddechowy, a liczba interwencji ambulansów zwiększyła się o 36% w przypadku chorych z problemami kardiologicznymi i o 25% w grupie pacjentów pulmonologicznych.

1.2.2. W Polsce

W Polsce temat smogu jest obecnie poruszany znacznie częściej niż w przeszłości, co oczywiście nie oznacza, że jest to temat nowy. Przeciwnie, zanieczyszczenia powietrza, podobnie jak we wszystkich krajach uprzemysłowionych, to problem istniejący od dziesiątek, a nawet setek lat. Wraz z rozwojem cywilizacji, przemysłu energetycznego, przemysłu kopalnianego, transportu, wydobycia paliw systematycznie zyskiwał on na znaczeniu.

Może zaskakiwać fakt, że jakość powietrza w Polsce była kiedyś dużo gorsza. W 1970 roku średnioroczne stężenie PM10 w centrum Krakowa wynosiło $120\mu\text{g}/\text{m}^3$, a w 2014 roku było już niemal o połowę mniejsze – $64\mu\text{g}/\text{m}^3$ [44]. Z jakiego więc powodu w latach siedemdziesiątych o zanieczyszczeniu powietrza nie było głośno w mediach i nie dyskutowano o tym, jak obecnie? Brakowało stacji pomiarowych, gdyż w skali kraju było ich tylko kilkanaście, a ich niewielka liczba nie zapewniała wystarczających danych, żeby w pełni ukazać problem w szerokim świetle. Nie było także tak dokładnych i technologicznie zaawansowanych przyrządów pomiarowych, w tym mobilnych, z którymi można dotrzeć do małych miejscowości. Również ówczesna władza przyczyniła się do braku kontroli zanieczyszczenia powietrza. Z czasem, wraz z rozwojem sieci pomiarowej i pojawianiem się nowych publikacji naukowych, głównie zagranicznych, rosła świadomość mieszkańców na temat bardzo złej jakości powietrza, zauważonej początkowo tylko w Krakowie, w Małopolsce i na Śląsku. O dużym zanieczyszczeniu powietrza świadczą dane z Krakowa i Katowic z 1982 roku. Wtedy średnioroczne stężenia pyłu zawieszonego PM10 odpowiednio wyniosły $107\mu\text{g}/\text{m}^3$ i $780\mu\text{g}/\text{m}^3$ [45].

We wschodniej Europie (w tym w Polsce) od lat 60.–70. ubiegłego wieku świadomość społeczeństwa na temat zanieczyszczenia środowiska zaczęła stopniowo rosnąć. Głównie za sprawą mediów, zwłaszcza gazet, w mniejszym stopniu telewizji, w których coraz odważniej zaczęto donosić o istniejącym problemie. I choć wymienione publikacje prasowe ukazywały się w latach 1974–1995, pierwszym odnotowanym artykułem prasowym był tekst wydrukowany w „Kurierze Warszawskim” już z 1931 roku, którego autor wspomina „Zadymiony Mokotów” jako ofiarę spalania węgla i koksu przez kolejki wąskotorowe. Natomiast koleje wilanowska i grójecka, wytwarzały – jak to określił w artykule autor – „kłęby gryzącego dymu” [46].

Najwięcej doniesień prasowych ukazało się w latach 90. XX wieku. Na łamach „Gazety Wyborczej” kilkadziesiąt razy pisano o problemie smogu, głównie w wydaniach

lokalnych, rzadziej w ogólnokrajowych. Tak wymowne i dosłowne tytuły z gazet, jak „Smog zabija naprawdę”, „Smog szkodzi” czy „Smog w płucach”, podnosiły problem zanieczyszczenia powietrza, ale były to także jedne z pierwszych „nienaukowych” doniesień prasowych docierających do zwykłego mieszkańca i poruszających wpływ fatalnej jakości powietrza na zdrowie człowieka. W artykule „Smog zabija naprawdę” przybliżony został problem zanieczyszczenia na Śląsku i raport z sejmowej Komisji Zdrowia z 1990 roku na temat poziomów stężeń dwutlenku siarki. Roczne stężenia przekroczyły o ponad 448% dopuszczalne normy, a dobowe stężenia maksymalne o ponad 1100%. Stężenia rakotwórczego B(a)P osiągnęły wartości w skali roku o ponad 12 800% ponad normę i ponad 3300% – dobowo. W kwietniu 1995 roku w bielskim wydaniu „Gazety”, w artykule „Smog w płucach”, stężenia substancji szkodliwych oraz warunki powstawania smogu fotochemicznego na Podbeskidziu porównywano do tych zanotowanych w 1952 roku w Londynie, podczas tzw. „wielkiego smogu”. Przyczynę jednoznacznie widziano w niskiej emisji i silnikach spalinowych. W 1993 roku w wydaniu sierpniowym, także na łamach wydania „Gazety” w Bielsku-Białej, prośbę do mieszkańców gminy Chybie wystosował wójt. Pod jednoznacznie brzmiącym tytułem „Smog szkodzi” apelował o niepalenie w piecach tworzyw sztucznych, gumy, gdyż przy nawet niskich temperaturach letnich powodowało to występowanie widocznego i unoszącego się nad ulicami smogu.

W latach 90. XX wieku zauważono, że problem zanieczyszczenia powietrza dotyczy nie tylko południa Polski. W listopadzie 1994 roku na łamach tej samej gazety, tym razem w Poznaniu, ukazał się artykuł „Kryzys w powietrzu. Meteorolodzy i lekarze odradzają spacerować (...)”. W artykule Główny Inspektorat Sanitarny odradzał poruszanie się po śródmieściu, kiedy w ciągu 2 dni gwałtownie wzrosły poziomy zanieczyszczenia [50]. Były to głównie pyły zawieszane powstałe ze spalania paliw stałych i wymieszane z wilgotnym powietrzem. Wspólnie tworzyły ponadkilometrową warstwę smogu. Chociaż badania dotyczące smogu dopiero w ostatnich latach przeprowadzono także w małych miejscowości małopolski, to media były tam 2 dekady wcześniej. Dotarły do miejscowości górskich, w tym do Zakopanego. O jakości powietrza w tym mieście informowano już w 1993 roku na łamach „Gazety Wyborczej” w artykule „Puchowy smogu tren”. Na stronach wydania Wojciech Gąsienica-Byrcyn, dyrektor Tatrzańskiego Parku Narodowego, porównuje jakość powietrza w latach 70. XX wieku do jakości 20 lat później (w 1993 roku). Opisuje między innymi przejrzystość powietrza i unoszący się nad miastem, a widziany z gór w miesiącach

zimowych, gęsty smog. Winne temu wszystkiemu, według rozmówcy, jest 30-tysięczne Zakopane, w znacznej części opalane złej jakości węglem i koksem [51].

Mimo kilku, może kilkunastu publikacji prasowych o zwiększającym się zanieczyszczeniu powietrza, ówczesne władze stawiały na przemysł ciężki, kopalnie węgla kamiennego, budowano huty, cementownie, elektrociepłownie. Mnożono miejsca pracy, pomijając tematy ochrony środowiska i zdrowia człowieka. Nie zwracano uwagi na tony produkowanych węglowodorów aromatycznych, metali ciężkich czy pyłów. Nie rozważano nawet montażu filtrów, nie badano skali zanieczyszczenia, choć sprzęt do pomiaru dostępny był już od przeszło 50 lat. W latach 80 ubiegłego wieku, kiedy Polska nadal stawiała na ciężki przemysł, a ekologia traktowana była jako wymysł cywilizacji Zachodu, właśnie tam, w Europie Zachodniej, walka z zanieczyszczeniem powietrza była priorytetem. W latach 1984–1985 Margaret Thatcher toczyła walkę z górniczymi związkami zawodowymi, w konsekwencji doprowadzając do zamknięcia 70 kopalń węgla kamiennego. Krok ten, choć radykalny, miał swoje odzwierciedlenie w stopniowej poprawie jakości powietrza. W Polsce dopiero po 1989 roku zaczęto postrzegać gospodarkę przez pryzmat środowiska i zdrowia. Choć początkowo nie likwidowano kopalń, to stopniowo zamykano lub modernizowano wielkie zakłady przemysłowe. Przykładem transformacji w Krakowie i jego najbliższej okolicy jest Huta im. Lenina w Nowej Hucie. Zlikwidowano hutę aluminium w Skawinie, Zakłady Chemiczne Bonarka oraz systematycznie w latach 1989–1996 zakłady „Solvay” w Borku Fałęckim.

Mimo że dopiero po latach transformacji doszło do istotnych zmian w przemyśle, to znacznie wcześniej wdrożono środki w celu ochrony środowiska, wprowadzając ustawy i rozporządzenia. Pierwszy program ochrony powietrza w Polsce powstał w 1965 roku w Krakowie. Była to „Uchwała nr 17/IV/65 Rady Narodowej Miasta Krakowa z dnia 14 października 1965 roku w sprawie ochrony powietrza atmosferycznego w Mieście Krakowie przed zanieczyszczeniami” [52]. W latach 80. zaczęły się pojawiać prace naukowe poruszające problem zanieczyszczenia powietrza. Jednym z ośrodków, które w tamtych latach zapoczątkowały badania naukowe nad smogiem, był Zakład Mineralogii i Geochemii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

W latach 90. w Polsce stopniowo pojawiały się odpowiednie ustawy. W 1991 roku wprowadzono Ustawę o Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska, która regulowała zasady kontroli i monitoringu środowiska [53]. Inną była Ustawa o Ochronie Przyrody z tego samego roku [54]. W końcu wdrożono „politykę ekologiczną Polski”, początkowo za sprawą ustawy

z kwietnia 2001 roku. Określała ona zasady ochrony środowiska oraz warunki korzystania z jego zasobów, regulowała dostęp do informacji dla każdego, mówiła o państwowym monitoringu środowiska, o przeciwdziałaniu zanieczyszczeniu [55,56].

Kolejne kroki wymusiło przystąpienie do UE w 2004 roku. Traktat akcesyjny wymagał od Rzeczypospolitej spełnianie po 2015 roku wszystkich obowiązujących w krajach członkowskich standardów w zakresie ochrony środowiska. Zdecydowanym plusem była możliwość wsparcia finansowego w założonych celach ze strony UE. Na Polsce spoczął obowiązek przestrzegania dyrektyw unijnych, w tym między wieloma innymi: dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady z 2001 roku [57]. Jej celem było ustanowienie krajowych poziomów emisji substancji zanieczyszczających powietrze, a następnie wydanie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady z 2006 roku w sprawie ustanowienia Europejskiego Rejestru Uwalniania i Transferu Zanieczyszczeń. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 maja 2008 roku (zwana dyrektywą CAFE) w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy narzuciła niezwykle ostre restrykcje i dopuszczalne stężenia dla pyłów drobnych PM_{2,5} oraz ograniczenie narażenia mieszkańców na wpływ tych substancji [58].

Obok międzynarodowych i krajowych przepisów władze lokalne od kilku lat starają się wprowadzić „uchwały antysmogowe”. Pierwszą w Polsce ustalono jednogłośnie w Krakowie 23 stycznia 2017 roku [59]. Reguluje ona m.in.: zakaz od 1 lipca 2017 roku instalacji kotłów o parametrach gorszych niż wymagają normy unijne i jednocześnie zakaz stosowania mułów i flotów węglowych. W kolejnych latach, tj. 2022 i 2026, wprowadza konieczność wymiany pieców, odpowiednio w 2022 roku tych niespełniających żadnych norm emisyjnych i w 2026 roku kolejnych – z trzecią i czwartą klasą emisyjną. W kwietniu 2017 roku przegłosowano analogiczną uchwałę w Sejmiku Województwa Śląskiego [60], w październiku także w Sejmiku Województwa Mazowieckiego, a już w listopadzie również województwa dolnośląskiego [61].

Smogiem wraz z upływem czasu zajęła się także Najwyższa Izba Kontroli (NIK). W 2000 roku NIK przedstawiła informację na temat kontroli zanieczyszczenia powietrza w Polsce. Ujawniono w niej, że już niemal 20 lat temu, mimo zmniejszenia emisji zanieczyszczeń, podjęte działania nie zapewniały poprawy jakości powietrza [64]. Już wtedy, jako jedno z pierwszych działań, które należałoby podjąć, wymieniano konieczność określenia norm jakości spalanych paliw. Zakładano poszerzenie współpracy z państwami

ościeniami w zakresie ochrony środowiska, wykorzystanie niekonwencjonalnych źródeł energii, utrzymanie zobowiązań wynikających z konwencji międzynarodowych.

W raporcie NIK opublikowanym w grudniu 2014 roku zawarto informacje dotyczące okresu obejmującego lata 2008–2014 [64]. Jednoznacznie stwierdzono, że Polska jako kraj nawet nie zbliżyła się do unijnych norm jakości powietrza określonych w unijnej dyrektywie CAFE z maja 2008 roku [59].

W rozporządzeniu Ministra Środowiska z września 2012 roku przedstawiono zakres programu ochrony powietrza i planów działań krótkoterminowych. Ustalono trzy stopnie zagrożenia zanieczyszczeniem powietrza:

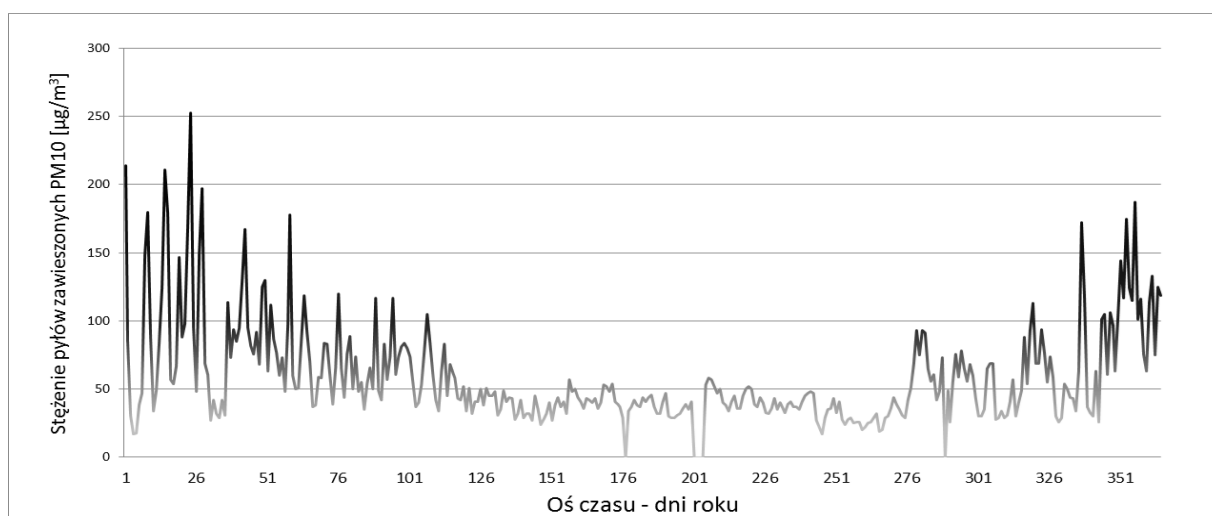
- kod żółty – I stopień zagrożenia – charakter informacyjny dla poziomów pyłu PM10 $>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- kod pomarańczowy – II stopień zagrożenia – charakter informacyjno-ostrzegawczy dla poziomów pyłu PM10 $>200 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- kod czerwony – III stopień zagrożenia – charakter informacyjno-ostrzegawczy dla poziomów pyłu PM10 $>300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [65].

Wraz z kolejnymi raportami NIK oraz dyrektywami unijnymi w Polsce powstawały ruchy społeczne, w tym Krakowski Alarm Smogowy założony w grudniu 2012 roku [66], Polski Alarm Smogowy (PAS), a później kolejne w prawie każdym z większym miast. Z biegiem czasu mierniki jakości powietrza, tzw. pyłomierze, zagościły w większości miast (lata 2015–2106), a ich odczyty potwierdziły wcześniejsze doniesienia, że smog to nie tylko cecha Krakowa czy Śląska, ale wszystkich województw. Złe powietrze nie omija także aglomeracji na wybrzeżu, choć poziomy zanieczyszczenia są w nich zauważalnie niższe niż w środkowej i południowej Polsce. Wraz z rosnącą świadomością społeczeństwa i liczbą osób zaangażowanych w ruchy społeczne, rozszerzono kontrolę jakości powietrza. Objęto nią nie tylko centra miast, ale także ich obrzeża i otaczające je mniejsze miejscowości i wsie. W wyniku prowadzonych badań udowodniono, że fatalna jakość powietrza to realny problem całej Polski. Potwierdzono, że to małe miasteczka oraz wsie są głównym źródłem zanieczyszczenia, co wynika głównie ze sposobu ogrzewania gospodarstw domowych, a bezpośrednio jest związane z małą (choć ciągle rosnącą) świadomością ludzi oraz ich warunkami ekonomicznymi.

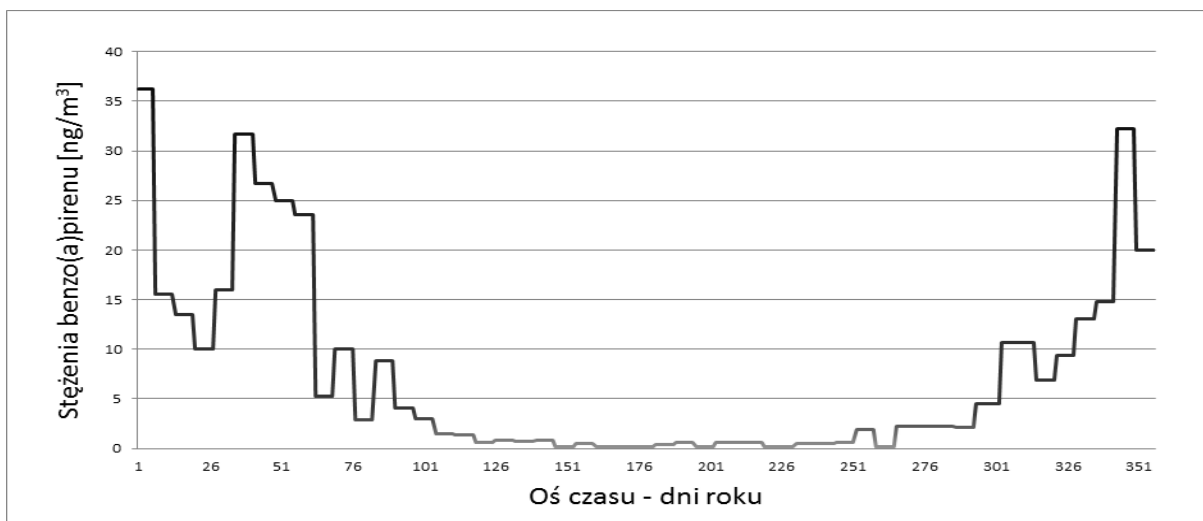
1.3. Stan jakości powietrza w Krakowie oraz w innych regionach Polski

Zanieczyszczenie powietrza to problem nie tylko dużych miast oraz terenów podmiejskich, ale także małych wsi i miasteczek. Dotyczy to przede wszystkim województw małopolskiego, podkarpackiego i śląskiego, choć w 2017 roku także innych rejonów Polski. Na niechlubnej liście pojawiły się: Warszawa, Wrocław, Lublin, Łódź, Zielona Góra czy Bydgoszcz. Poziomy zanieczyszczenia pyłem zawieszonym (najczęściej uwzględniano stężenia PM10) w wymienionych miastach przekraczały niejednokrotnie te notowane w Krakowie czy w Katowicach. Podczas poszerzonej obserwacji okazało się, że miejscowości uzdrowskie i górskie w Małopolsce i w województwie śląskim, dotąd uznawane za wolne od zanieczyszczenia powietrza, bardziej „truja” swoich kuracjuszy, niż się dotąd wydawało.

Największym problemem w Polsce jest pył zawieszony, B(a)P oraz rzadziej tlenki azotu i siarki. Źródłem pyłów oraz WWA jest tzw. „niska emisja”, czyli zanieczyszczenia emitowane do atmosfery kominami do 40 metrów wysokości. To oznacza, że odpowiedzialnymi za jej powstawanie są piece, czyli paleniska domowe opalane paliwami stałymi, zwłaszcza węglem i biomasą oraz małe kotłownie opalane paliwami stałymi i ciężkim olejem opałowym. Niska emisja ma wpływ na jakość powietrza, gdyż jako nisko usytuowane źródło zanieczyszczeń prowadzi do powstania dużych stężeń pyłów i B(a)P. Na to, że główną rolę w powstawaniu „smogu” odgrywają piece domowe centralnego ogrzewania oraz kotłownie, wskazuje rozkład wartości zanieczyszczeń w ciągu roku. W trakcie sezonu grzewczego (od listopada do marca) stężenia pyłów oraz B(a)P są znacznie większe niż w innych okresach (ryc. 12 i 13).



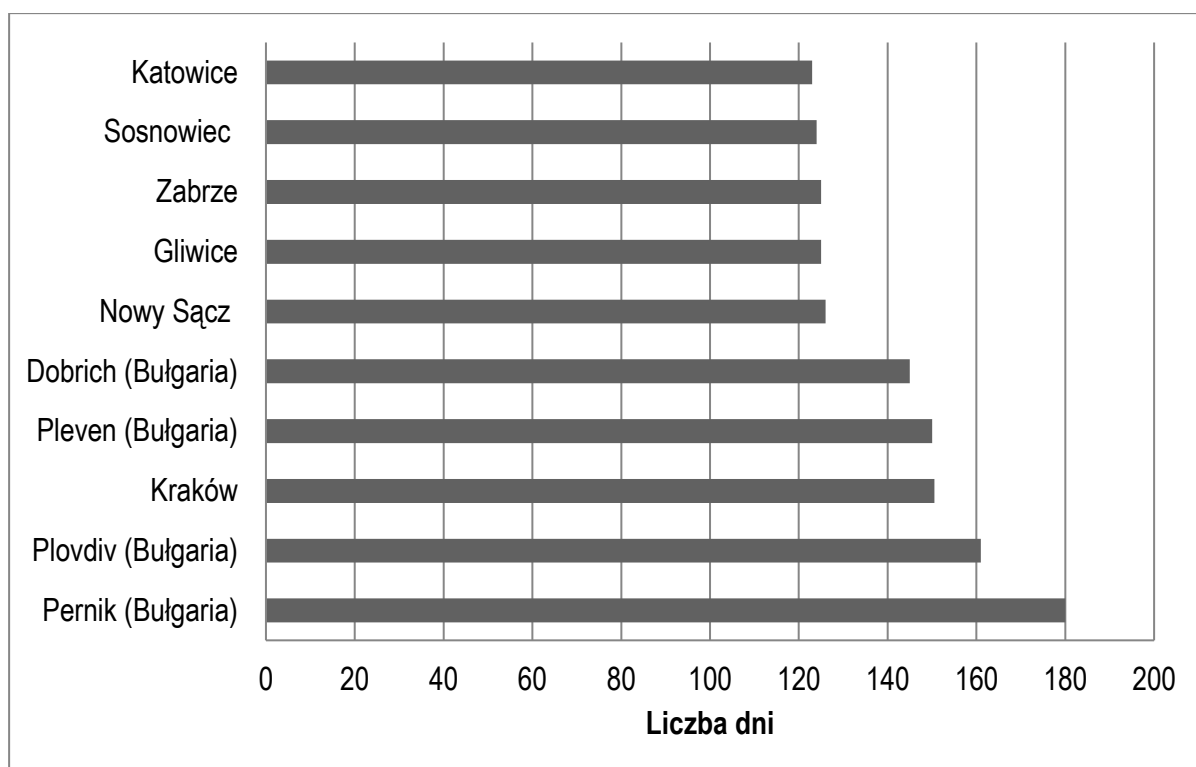
Ryc.12. PM10 – przekrój roczny stężenia w 2013 roku



Ryc.13. Benzo(a)piren – przekrój roczny stężenia w 2014 roku

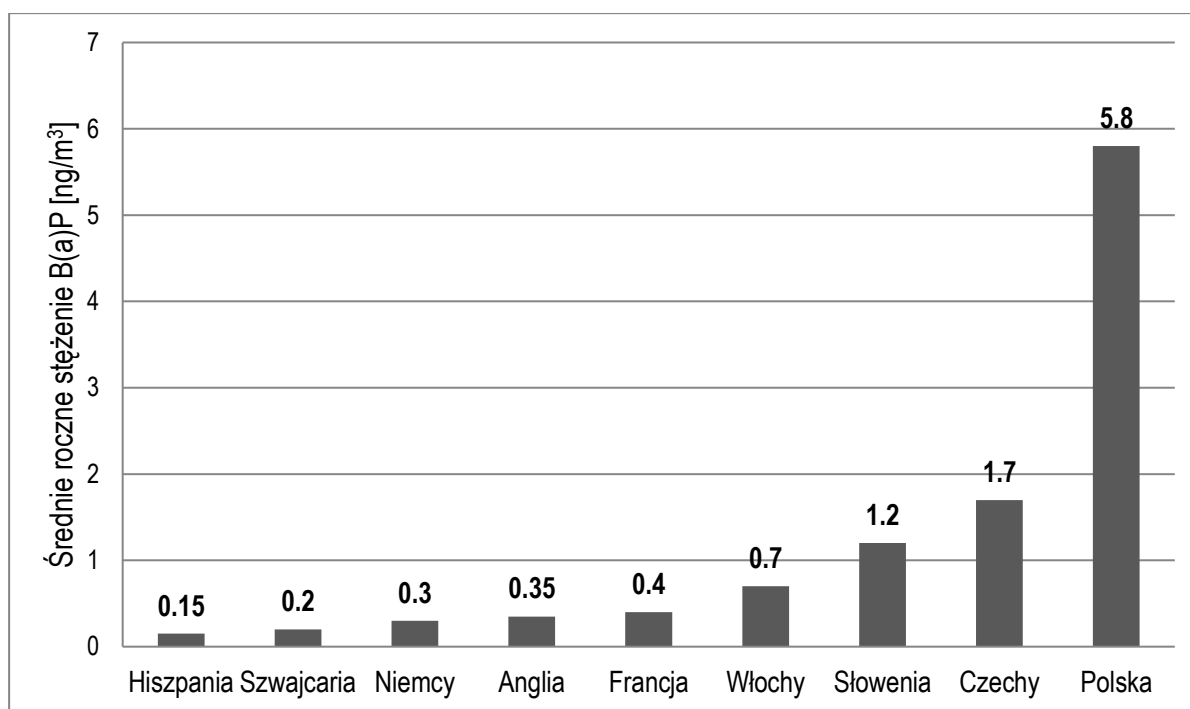
Polska jest jednym z państw Europy cechujących się najbardziej zanieczyszczonym powietrzem. Według raportu Europejskiej Agencji Środowiska z 2012 roku zajęła przedostatnie miejsce, wyprzedzając jedynie Bułgarię, a państwa sąsiednie, Słowacja i Czechy, znalazły się na przedstawionej liście z mniejszymi notowanymi stężeniami PM_{2,5} w powietrzu. Niemcy, Anglia, Francja czy Hiszpania miały wynik niemal o połowę mniejszy, zaś Dania prawie trzykrotnie. Badanie to przeprowadzono w latach 2008–2010, uśredniono w nim roczne wyniki stężeń PM_{2,5} dla stacji zarówno miejskich, jak i podmiejskich [67].

Jesienią 2013 roku Europejska Agencja Środowiska opublikowała raport, w którym Polska nadal utrzymywała się na przedostatniej pozycji. Analizowano w nim stężenia pyłów zawieszonych w ponad 400 miastach położonych w Europie. Raport potwierdził niestety wcześniejsze doniesienia o fatalnej jakości powietrza w naszym kraju. W stolicy Małopolski w 2011 roku liczba dni w roku, gdy normy poziomów stężeń PM₁₀ zostały przekroczone wyniosła 151 (średnia dobowa dla trzech stacji pomiarowych) – według prawa UE nie powinny być one przekroczone przez więcej niż 35 z 365 dni. W tym rankingu Kraków znalazł się w towarzystwie 4bułgarskich miast. W innych polskich miastach, choć wynik był widocznie lepszy, i tak poziom zanieczyszczenia pyłami niemal 4-krotnie przekroczył zalecane normy (ryc.14) [68].



Ryc.14. Miasta europejskie z największą liczbą dni z przekroczoną średnią dobową stężenia PM10 w 2011 roku

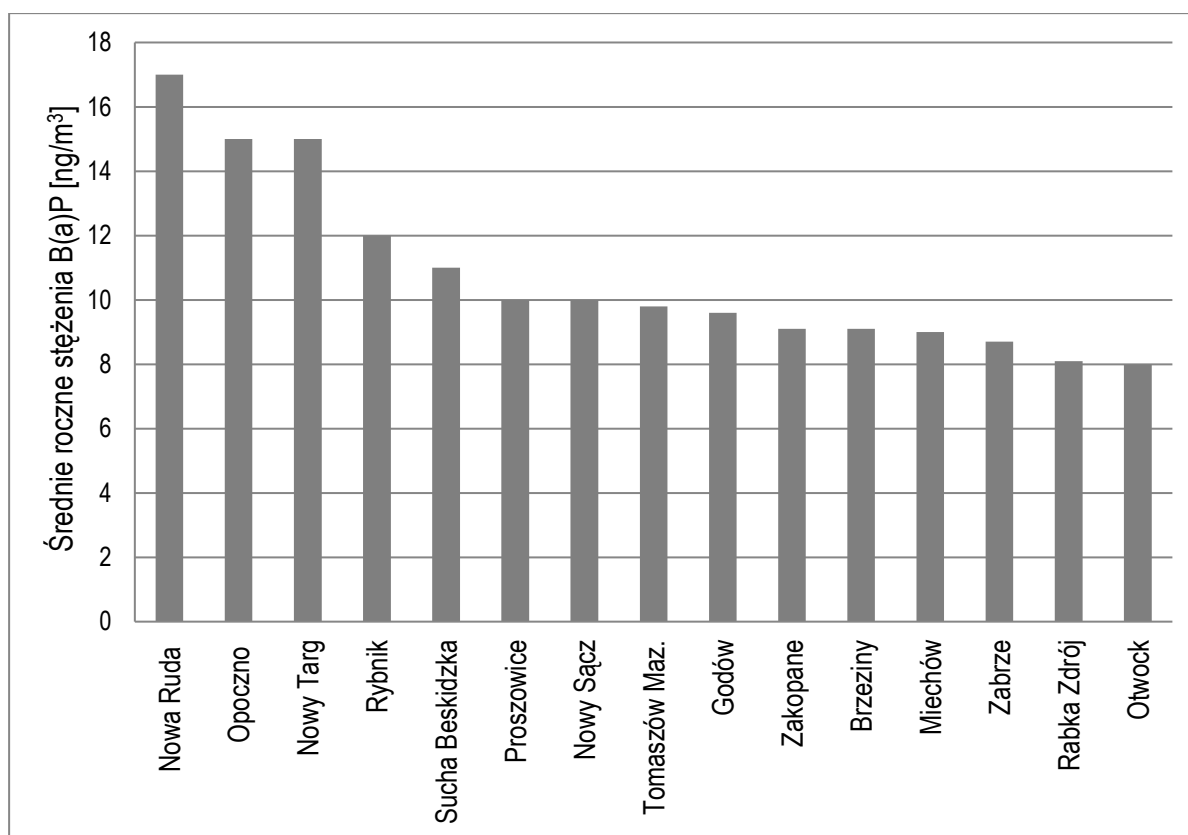
Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Krakowie także przedstawił raport oceniający jakość powietrza w województwie małopolskim w 2013 roku. Według niego liczba dni z przekroczonym poziomem stężeń pyłów PM10 znacznie przekraczała normę. Zależnie od dzielnicy miasta i znajdującej się tam stałej stacji pomiarowej wynik znalazł się w przedziale 106–158 dni w roku. W przypadku PM2,5 średni poziom w ciągu roku wyniósł 33–44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, przy normie wynoszącej 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Według tego samego raportu średnia stężenia B(a)P w Krakowie wyniosła 4,8–7,7 ng/m^3 , przy wartości dopuszczalnej normą unijną wynoszącej 1 ng/m^3 [69]. Dane dotyczące węglowodorów aromatycznych, w tym B(a)P można także znaleźć w opracowaniu przygotowanym w tym samym roku przez Inspekcję Ochrony Środowiska (IOŚ). Pisząc o ich pochodzeniu, przyczynach i źródłach powstawania, dużą część pracy autorzy poświęcają obrazowi Polski na tle Europy. W 2012 roku Polska, z wartością uśrednioną ze wszystkich stacji pomiarowych, znalazła się na ostatnim miejscu z wynikiem średniorocznego stężenia B(a)P wynoszącym prawie 6 ng/m^3 (ryc.15).



Ryc.15. Średnie stężenie roczne B(a)P w wybranych krajach Europy

Według tego samego opracowania poziomy odnotowane w poszczególnych miastach przekraczają wartość dopuszczalną na terenie niemal całej Polski i wielokrotnie przewyższają poziomy zmierzone w innych miastach Europy. W Polsce roczne poziomy stężenie B(a)P w miastach wyniosły: Nowy Sącz – 11,9 ng/m³, Zakopane – 8,9 ng/m³, Kraków – 7,3 ng/m³, Katowice – 6 ng/m³, Wrocław – 3,9 ng/m³. W miastach Europy Zachodniej były znacząco niższe: Berlin – 0,4 ng/m³, Paryż – 0,24 ng/m³, Barcelona – 0,15 ng/m³, Londyn – 0,21 ng/m³ [70].

Ten sam raport IOŚ z 2014 roku wciąż wskazywał problem B(a)P. W 2014 roku przekroczone stężenia zanotowano w 131 ze 134 stanowisk pomiaru, co stanowiło 98%. Podobnie jak rok wcześniej, powtórzyły się nazwy miejscowości, których jakość powietrza jest czynnikiem rakotwórczym. Na rycinie 16 przedstawiono 15 miast z najwyższymi średniorocznymi poziomami B(a)P [71]. Dla porównania, ponownie należy przytoczyć wyniki w miastach Zachodniej Europy: Londyn – 0,15 ng/m³, Paryż – 0,17 ng/m³, Barcelona – 0,15 ng/m³, Mediolan – 0,17 ng/m³ [72].

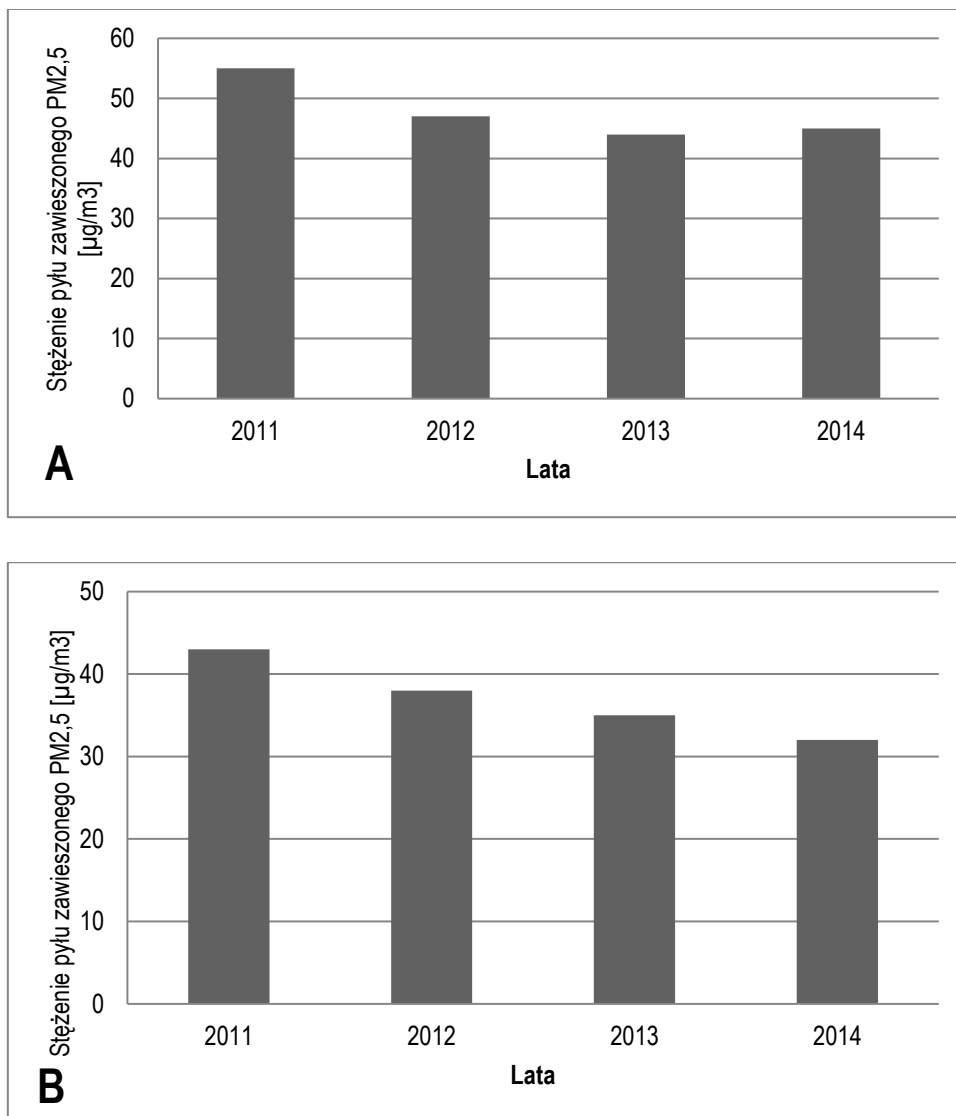


Ryc.16. Wielkości średniorocznego stężenia B(a)P – 15 najbardziej zanieczyszczonych miejscowości w Polsce

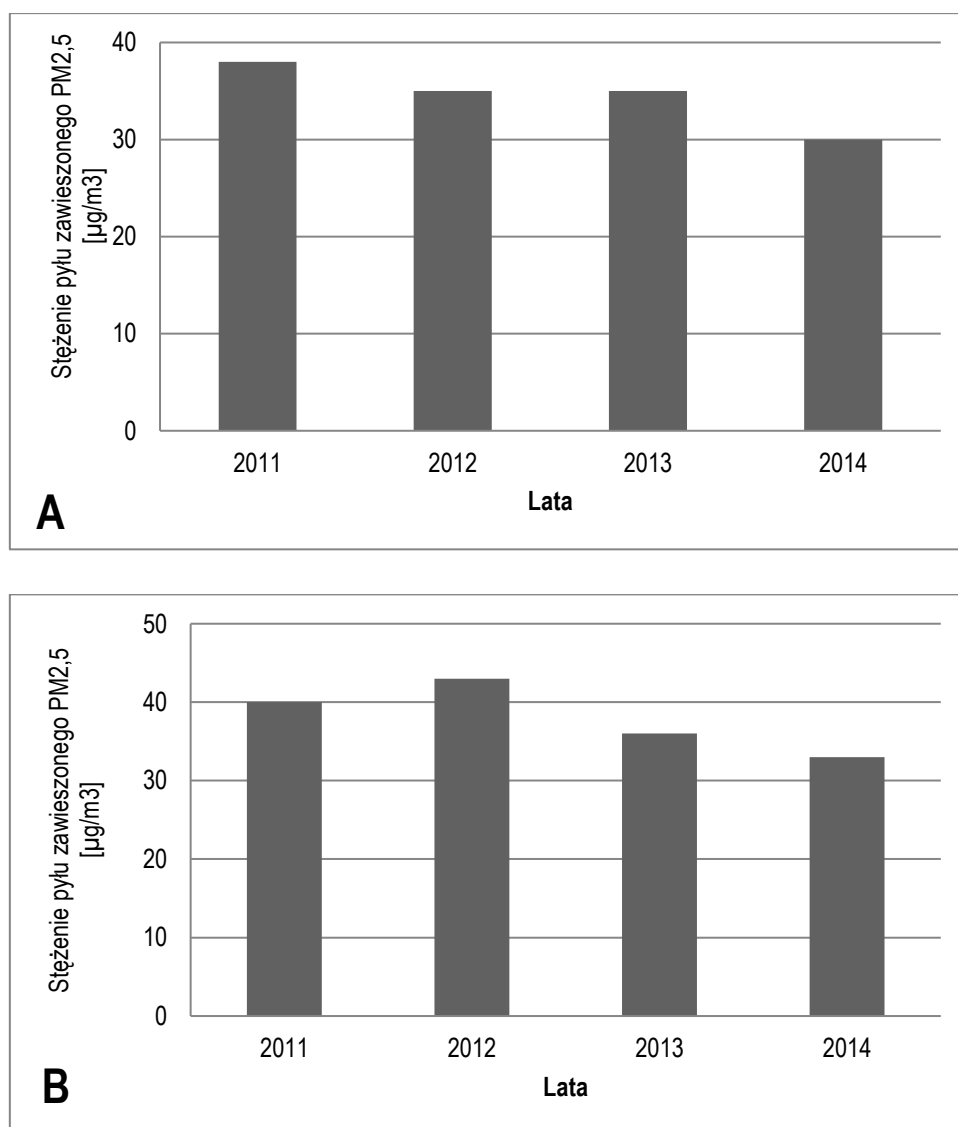
Najmniejsze średnioroczne stężenia zanotowano w stacji znajdującej się w Puszczy Boreckiej, tj. $0,61 \text{ ng/m}^3$ (pozamiejskie), a najmniejsze stężenie miejskie w Słupsku $0,99 \text{ ng/m}^3$. Najmniejsze stężenia B(a)P odnotowano w województwach lubelskim, podlaskim, pomorskim, warmińsko-mazurskim oraz zachodniopomorskim.

Kolejny raport WIOŚ dotyczący stanu powietrza w Krakowie ukazał się w 2014 roku. W przypadku pyłów PM10 sytuacja się pogorszyła, a liczba dni z przekroczonym dopuszczalnym poziomem zanieczyszczenia wzrosła i znalazła się w przedziale od 100 do niemal 188 dni w roku kalendarzowym (zależnie od stacji pomiarowej i tym samym od dzielnicy Krakowa). Wyniki pomiarów w wybranych miejscowościach w województwie małopolskim były podobne do uzyskanych w 2013 roku w mniejszych: Zakopane – 81 dni, Nowy Sącz – 97 dni, Wadowice – 95 dni, Olkusz – 52 dni. Podano także średnią roczną stężenia PM10. W Krakowie wyniosła ona $46\text{--}61 \mu\text{g/m}^3$, podczas gdy norma to $<40 \mu\text{g/m}^3$. W innych wymienionych miejscowościach stan powietrza był dużo lepszy – wyniki oscylowały wokół normy lub ją bardzo nieznacznie przekraczały. W przypadku PM2,5 w raporcie ujęto

wyniki z lat 2011–2014, które – w przeciwieństwie do PM10 – pokazały spadek stężeń na przestrzeni 4 lat pomiarów smogu (ryc.17 i 18), a średnie stężenia B(a)P wyniosły $< 5\text{ng/m}^3$, więc w stosunku do roku 2013 także się nieco obniżyły [73].



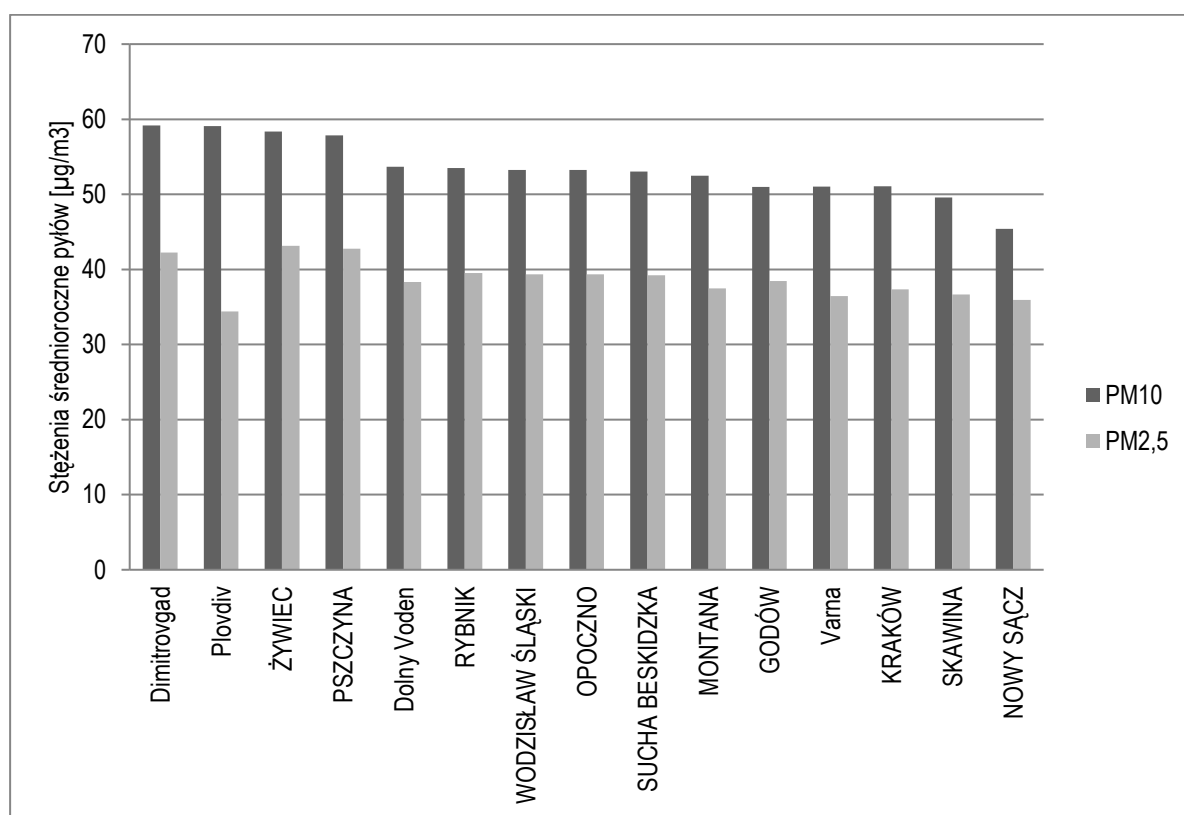
Ryc.17. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM2,5 w latach 2011–2014 w Krakowie. A.: pomiary ze stacji przy al. Krasickiego; B.: pomiary ze stacji przy ul. Bulwarowej



Ryc.18.Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM2,5 w latach 2011–2014. A.: w Zakopanem; B.: w Nowym Sączu

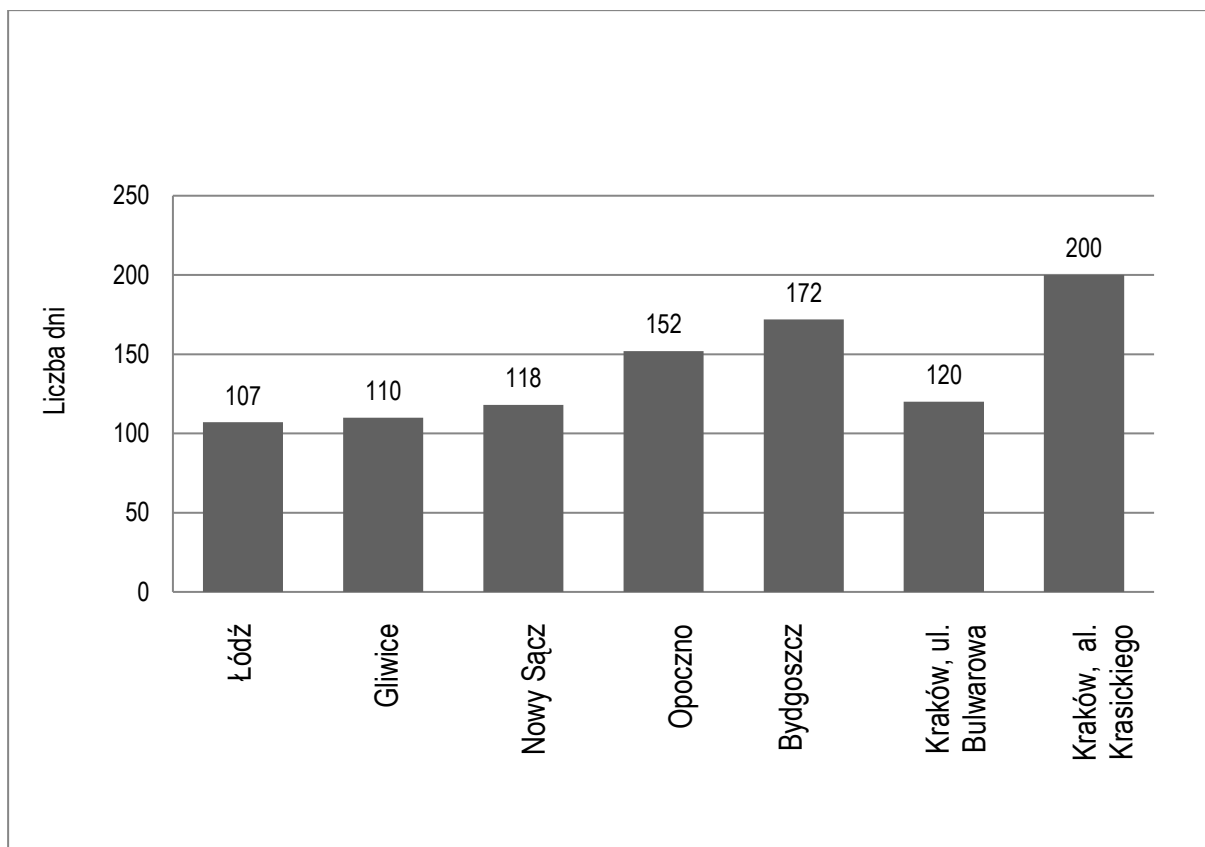
W raporcie z maja 2016 roku opublikowanym przez WHO przedstawiono zanieczyszczenie w miastach na całym świecie. W zestawieniu ujęto w sumie 2971 miast, w tym 1713 europejskich. Dane w ogromnej większości pochodziły z 2013 roku oraz lat późniejszych, rzadko w przypadku braku nowszych danych – do bazy wprowadzono wartości od 2008 roku. Najbardziej zanieczyszczonym europejskim miastem, biorąc pod uwagę średnie stężenia PM2,5, okazał się Żywiec ($58 \mu\text{g}/\text{m}^3$), w przypadku PM10 zajął trzecie miejsce ($43 \mu\text{g}/\text{m}^3$) za dwoma bułgarskimi miastami. Znalazł się na 443 miejscu wśród najbardziej zanieczyszczonych miast na świecie. Kraków odnotowano na 518 miejscu, a wśród miast polskich – na 8., z wynikami odpowiednio: PM2,5 – $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i PM10 – 37

$\mu\text{g}/\text{m}^3$. Uwzględniając tylko miasta Europy, wśród 50 najbardziej zanieczyszczonych miast UE znalazły się aż 33 polskie (ryc.19)[74].



Ryc.19. Najbardziej zanieczyszczone miasta Europy pod względem średniorocznych stężeń PM10 i PM2,5 w roku 2013

W raporcie tym znalazła się także lista miast z największą liczbą dni z przekroczonym stężeniem PM10 w 2015 roku (miasta polskie na ryc. 20). Także w 2016 roku Europejska Agencja Środowiska opublikowała kolejny raport. Podobnie jak w poprzednich corocznych podsumowaniach, Polska znalazła się w czołówce, obok Bułgarii i Słowacji. Właśnie w tych krajach zanotowano największe średnie stężenia pyłów PM2,5: Bułgaria – średnio $24,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Polska – $22,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Słowacja – $20,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Grecja – $19,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Czechy – $19,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Raport opierał się na wartościach z 400 punktów pomiarowych w całej Europie i dotyczył danych zebranych w 2014 roku. W dokumencie wspomniano także o liczbie zgonów spowodowanych złą jakością powietrza. Oszacowano, że zbyt wysokie wartości stężenia pyłu zawieszonego, zarówno PM10, jak i PM2,5, powodują w całej UE 467 tysięcy przedwczesnych zgonów. W Polsce było tych zgonów 48 tysięcy [75].

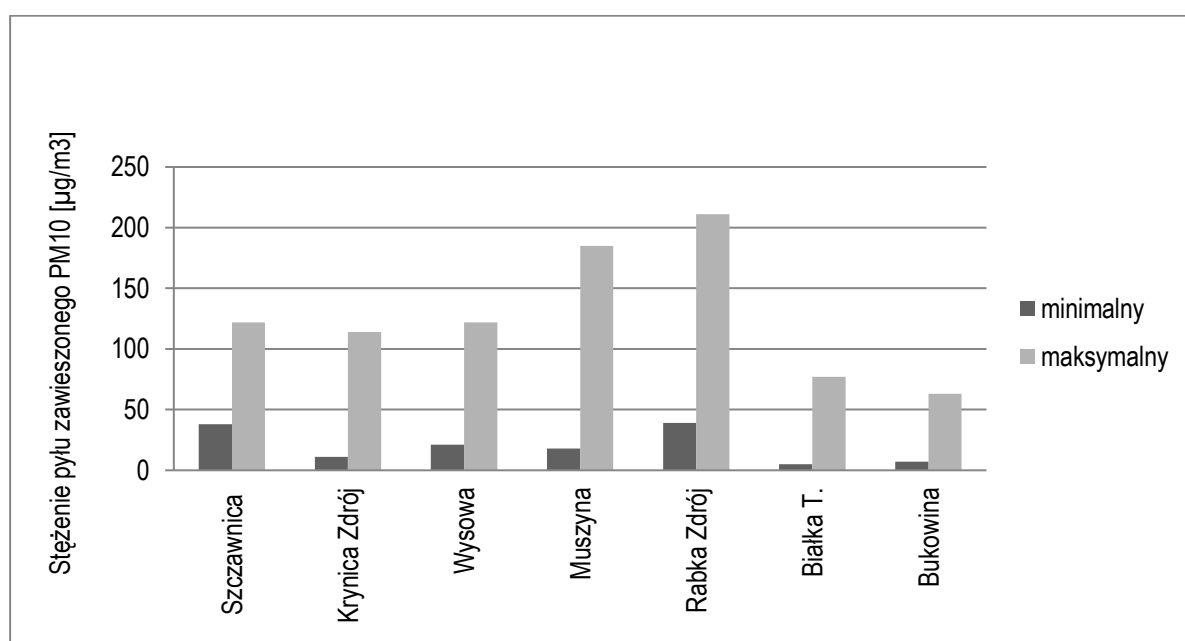


Ryc.20. Miasta polskie z największą liczbą dni z przekroczonym dopuszczalnym stężeniem PM10 w 2015 roku

Kontynuując temat, należy wrócić do raportu Komisji Europejskiej z 2014 roku. Komisja wówczas stwierdziła, że z powodu złej jakości powietrza w Polsce w 2010 roku zmarły 43 tysiące osób. Prognozowano także liczbę zgonów na 40 tysięcy w 2015 roku [76]. Według WHO przy stężeniu pyłów PM10 wynoszącym $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ umieralność w krótkim okresie wzrasta o 5% (normy WHO dla dobowego stężenia PM10 to $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dla porównania skali problemu: w 2014 roku w wypadkach drogowych w Polsce zginęło 3202 osób [77].

Obok raportów dotyczących Europy, w tym Polski, prezentowanych przez WHO, Europejską Agencję Środowiska, GIOŚ czy WIOŚ, w Krakowie rozpoczęto lokalne badania nad jakością powietrza. Obejmowały one nie tylko miasto Kraków, ale sięgnęły okolicznych gmin i miejscowości uzdrowiskowych. W owe badania, prowadzone w 2015 roku i 2016 roku, zaangażowane były różne instytucje państwowe: Akademia Górniczo-Hutnicza (AGH), Radio Kraków (RK) oraz PAS i Krakowski Alarm Smogowy.

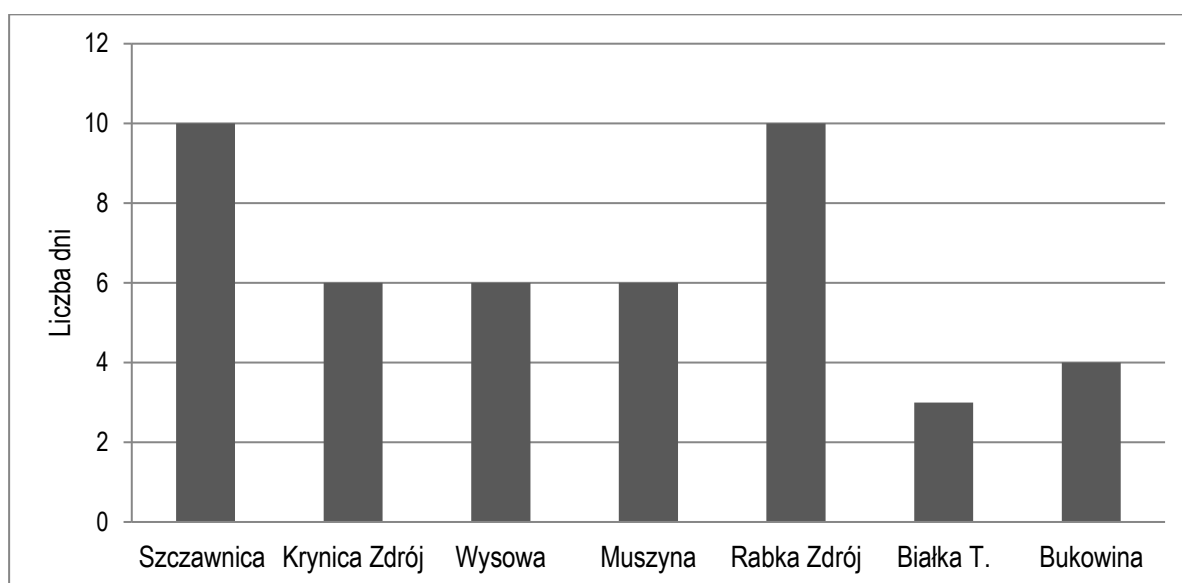
Pierwsze z badań – projekt „INFOAIR – dostęp do informacji o zanieczyszczeniu powietrza” – był realizowany przy współpracy RK i PAS. Przez 8 tygodni, w dniach od 20 października 2015 roku do 13 grudnia 2015 roku, badano powietrze w miastach i w miejscowościach wypoczynkowych na terenie Małopolski. Wyniki w tych ośrodkach znacznie odbiegały od spodziewanych. Dotyczyło to zwłaszcza miejscowości uzdrowskich i turystycznych. W ramach badania oceniono powietrze m.in. w Rabce Zdroju, Wysowej, Szczawnicy, Białce Tatrzańskiej, Bukowinie, Krynicy Zdroju i Muszynie. W wymienionych kurortach stężenia dobowe pyłu PM10 wahały się w granicach 5–211 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pomiary prowadzono przez średnio 12 dni w każdej z miejscowości (ryc.21 i 22) [78].



Ryc.21.Minimalne i maksymalne średnie wartości dobowe PM10 w miejscowościach badanych w ramach projektu „INFOAIR – dostęp do informacji o zanieczyszczeniu powietrza” [79]

Wśród wymienionych tylko w Białce Tatrzańskiej i Bukowinie Tatrzańskiej jakość powietrza jest dobra. Pozostałe wypadają fatalnie, tym bardziej, że posiadają statusy miejscowości uzdrowskich, a stężenia zmierzone podczas badania niejednokrotnie przekraczały te notowane w Krakowie czy na Śląsku.

Kolejne badanie z udziałem pracowników AGH w Krakowie oraz PAS było prowadzone w okresie od 5 listopada 2015 roku do 7 kwietnia 2016 roku. Objęło ono dane z województwa małopolskiego, w tym z Podhala, a z także województwa śląskiego.



Ryc.22.Liczba dni z przekroczonym poziomem dobowym stężenia PM10 w ciągu 12 dni jednego roku obserwacji w ramach projektu „INFOAIR – dostęp do informacji o zanieczyszczeniu powietrza” [79]

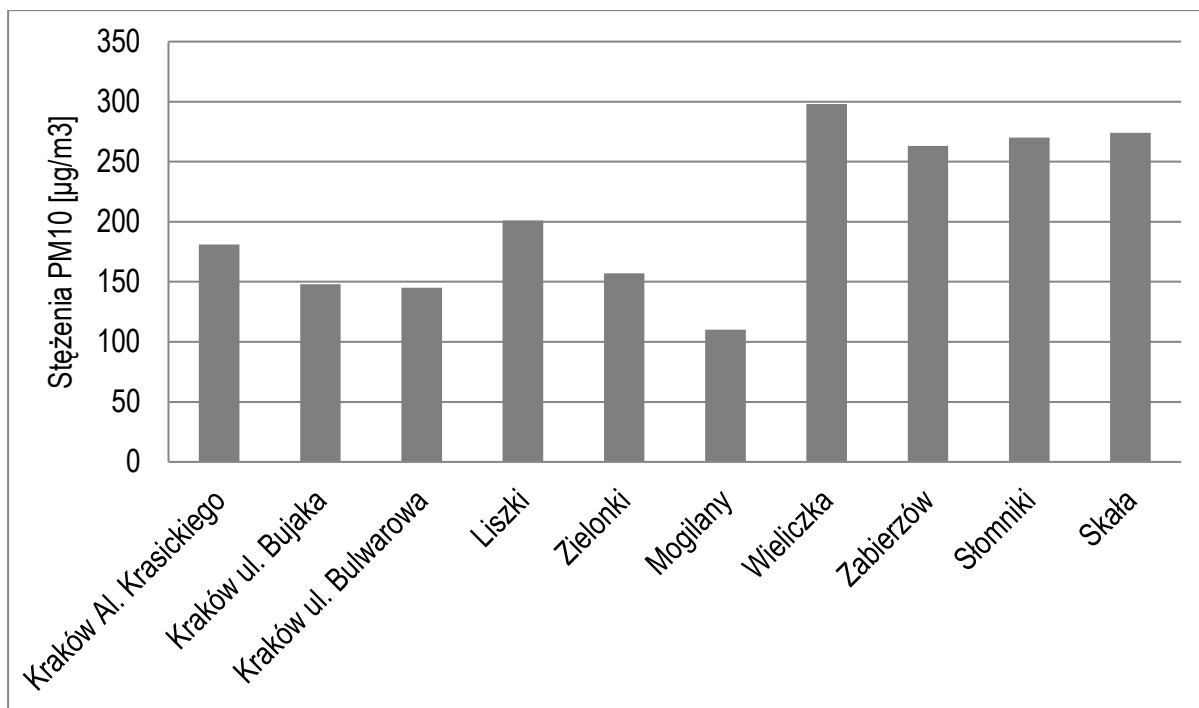
Badanie podzielono na 10 okresów i wykorzystano mobilne urządzenia DustTrak 8350, a pod uwagę brano stężenia pyłu PM10. W ciągu prowadzonych przez prawie 6 miesięcy obserwacji uzyskano ogromne liczby danych, których nie sposób w całości przytoczyć, ale można krótko podsumować to, co udało się wywnioskować z pomiarów.

W obrębie Krakowa i jego okolic wyniki potwierdziły te otrzymane w poprzednim badaniu. W aglomeracji krakowskiej prowadzono przez 2 następujące po sobie tygodnie 4-dniowe obserwacje (2 dni + 2 dni), z których pomiary w dużej części się ze sobą pokrywały. Potwierdziły znacznie większe zanieczyszczenie powietrza w gminach ościennych stolicy małopolski niż w samym Krakowie. Kiedy średnie stężenia uzyskiwanych na terenie Krakowa przez pierwsze 2 dni pomiaru wynosiły 150–240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, w mniejszych miejscowościach sięgnęły 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na „czarnej liście” znalazły się Skala (gdzie odnotowano największe stężenie – 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) oraz Kryspinów, Liszki, Piekary i Skawina, w których wynik mieścił się w przedziale 240–320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W kolejnych 2 dniach pomiaru wyniki okazały się jeszcze gorsze i sięgały w Skale 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, w Kryspinowie 320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, w Liszkach 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i w Zabierzowie 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Stężenie maksymalne wynoszące 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zanotowano w Skale 16 marca 2016 roku.

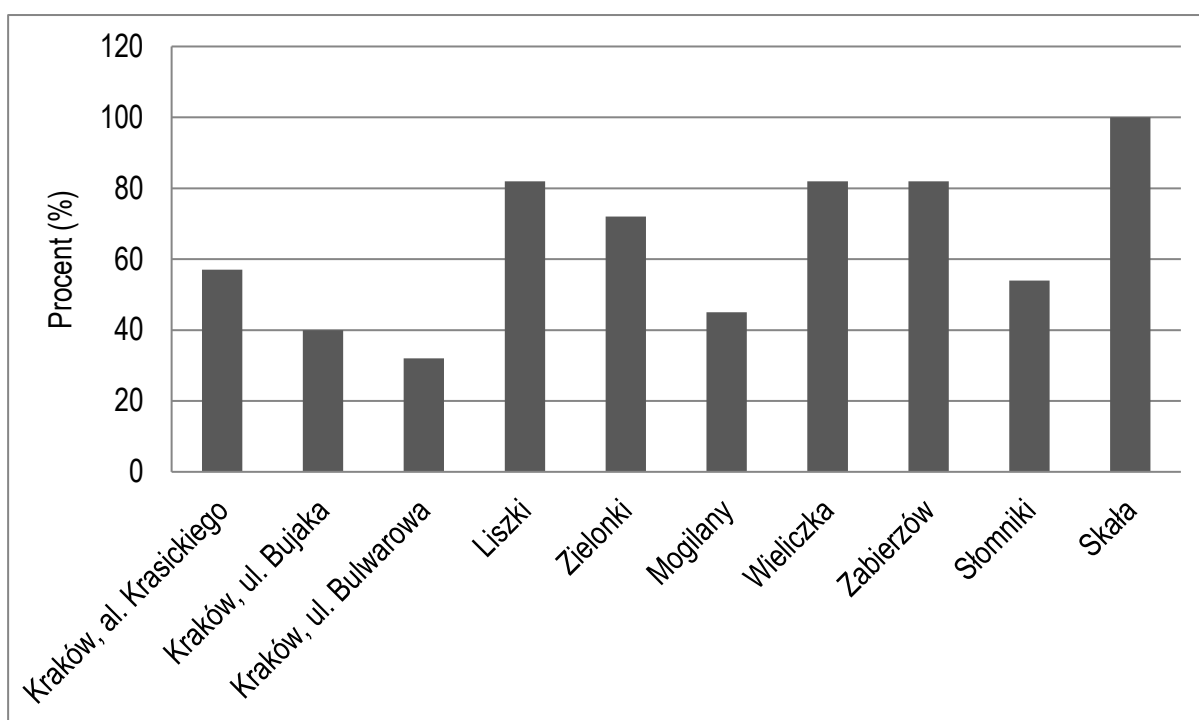
W części badania przeprowadzonej na terenie Podhala wyniki potwierdzały te uzyskane w badaniu „INFOAIR”. Wartości najwyższe stwierdzono w Rabce Zdroju, gdzie sięgały $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ale wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza wartości te malały do $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W Nowym Targu pyłomierze pokazały $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kiedy w Krakowie wahały się między $100\text{--}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wyniki pomiarów w Zakopanem były nieco korzystniejsze – stężenie PM10 wyniosło maksymalnie $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, choć w niektórych częściach miasta wskaźniki wskazywały zaskakujące $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Podobnie jak w Rabce Zdroju, stężenie PM10 było związane z wysokością nad poziomem morza. Potwierdziło to kluczową zależność zanieczyszczenia od położenia miejscowości, które znacznie wzrasta na obszarach znajdujących się w zagłębieniach terenu: kotlinach czy dolinach.

Wyniki części badania obejmującej Górny Śląsk potwierdziły najgorszą jakość powietrza w takich miejscowościach jak Rybnik, gdzie wartości stężenia PM10 sięgały $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i Zabrze – $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W Katowicach wynosiło ono $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, zaś w Krakowie i jego okolicach w tym czasie odnotowana wartość maksymalnie przekraczała $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($80\text{--}200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Podczas drugiego pomiaru Rybnik, Zabrze i Gliwice ponownie znalazły się w niechlubnej czołówce najbardziej zanieczyszczonych miast, z wartościami odpowiednio $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dla porównania w tym czasie w Krakowie stężenie PM10 mieściło się w zakresie $100\text{--}150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [79].

Ostatnim z trzech cytowanych badań pomiarowych, było to przeprowadzone w dniach od 31 października 2016 roku do 9 grudnia 2016 roku. Z udziałem RK i PAS zbadano powietrze w następujących miejscowościach: Liszki, Niepołomice, Zielonki, Mogilany, Wieliczka, Zabierzów, Igołomia-Wawrzeńczyce, Słomniki i Skąpa. Wyniki nie odbiegały znacząco od dotąd uzyskiwanych. Potwierdziły także, że podkrakowskie miejscowości z większym zagęszczeniem zabudowy jednorodzinnej, a tym samym znacznie większą „niską emisją”, są wyraźnie bardziej zanieczyszczone niż Kraków. W samym Krakowie jest podobnie, tzn. większe zanieczyszczenie powietrza charakteryzuje dzielnice z przewagą domów jednorodzinnych (ryc.23 i 24) [80].

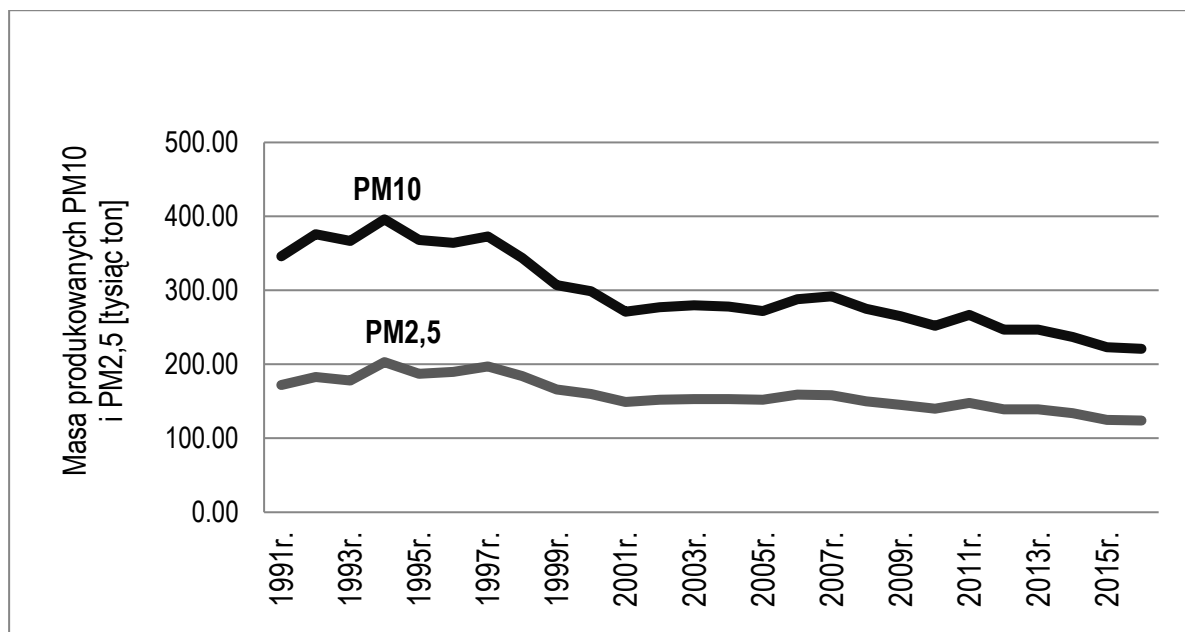


Ryc.23. Maksymalne stężenie PM10 odnotowane w trakcie badania z udziałem RK i PAS w dniach 31.10.2016–09.12.2016



Ryc.24. Procent dni, w których stężenie PM10 przekroczyło dozwoloną normę, w badaniu z udziałem RK i PAS przeprowadzonym w dniach 31.10.2016–09.12.2016

Podsumowując wszystkie przytoczone dane, można stwierdzić, że sytuacja w Polsce jest fatalna, ale analiza wyników pomiarów na przestrzeni lat (tutaj lata 1991–2016) pozostawia nadzieję. Pokazuje tendencję spadkową zanieczyszczenia. Widoczne to jest w pomiarach pyłów PM_{2,5} i PM₁₀ (ryc.25) [81].



Ryc.25. Masa (tysiące ton) emitowanych do atmosfery pyłów PM₁₀ i PM_{2,5} w Polsce w latach 1991–2015 [81]

Na zakończenie rozważań na temat obecnej sytuacji zanieczyszczenia w Polsce należy jeszcze przytoczyć wyrok Trybunału Sprawiedliwości (TS) UE z 22 lutego 2018 roku. TS skazał Polskę za naruszenie unijnych przepisów dotyczących jakości powietrza, a kara może wynieść kilkaset milionów złotych. Sędziowie TS orzekli, że Polska nie wypełniła zobowiązań dotyczących przestrzegania dopuszczalnych wartości stężeń pyłu zawieszonego (PM₁₀). Podano zaznaczono także, że w latach 2007–2015 regularnie przekraczane były dobowe i roczne dopuszczalne normy dla stężenia PM₁₀ [82].

1.4. Wpływ zanieczyszczenia powietrza na umieralność i zdrowie człowieka

Narażenie na zanieczyszczenie powietrza wywołuje szereg niekorzystnych efektów zdrowotnych. Dolegliwości pojawiające się w związku z ekspozycją na wszystkie wymienione wcześniej substancje szkodliwe – składniki smogu, mogą przybierać postać od bardzo łagodnych do ciężkich, po śmiertelne. Odpowiednio od nieżyty górnych dróg oddechowych, po trudne doleczenia zapalenia płuc oraz choroby związane z układem krążenia i nerwowym, takie jak niewydolność serca czy udary mózgu. Należy tu wymienić dolegliwości, które są bezpośrednio związane ze smogiem. Poczynając od chorób układu oddechowego, po stany związane z ciążą i rozwojem płodu [83]:

Układ oddechowy: podrażnienie górnych dróg oddechowych (nosa, gardła), kaszel, nieżyt nosa, zapalenia ostre i przewlekłe zatok, zaostrzenia astmy i przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP), infekcje górnych i dolnych dróg oddechowych (zapalenia płuc), nowotwory płuc.

Układ nerwowy: niepokój, zaburzenia pamięci, brak koncentracji, depresja, przemijające napady niedokrwienia mózgu, udary mózgu.

Układ krążenia: nadciśnienie tętnicze, choroba niedokrwienna serca – ostry zespół wieńcowy (OZW), zaburzenia rytmu serca – migotanie przedsionków, niewydolność serca.

Wpływ na ciążę i płód: mała masa urodzeniowa, wcześniactwo, śmierć płodu.

Inne: podrażnienia oczu, skóry, alergię.

Zanieczyszczenia, na które narażeni są mieszkańcy obszarów zajętych smogiem, deponują się w płucach, następnie poprzez sieć naczyń tętniczych – w docelowych narządach całego ciała. Inicjują tam przewlekły stan zapalny, stres oksydacyjny, a poprzez te procesy wzmagają aktywację współczulnego układu nerwowego [84]. Skutkuje to zwiększonym stężeniem cytokin prozapalnych w narażonym organizmie. U wspomnianych osób notowano znacząco wyższe stężenia: CRP, IL – 6, IL – 8, IL – 1beta [85].

Procesy zapalne zachodzące w obrębie naczyń prowadzą do uszkodzenia śródbłonna i jego destabilizacji, co w konsekwencji prowadzi do powstawania blaszek miażdżycowych, a następnie do choroby wieńcowej i uogólnionej miażdżycy [86].

1.4.1. Wpływ na układ oddechowy

Począwszy od infekcji górnych dróg oddechowych, po zapalenia płuc i przewlekłe choroby układu oddechowego, wszystkie te dolegliwości pojawiały się wielokrotnie w publikacjach naukowych związanych z ekspozycją na zanieczyszczenie powietrza. Sam wpływ, jego rodzaj, nasilenie oraz umiejscowienie dolegliwości w konkretnym odcinku układu zależą od wielu czynników, m.in. od składu smogu, który nie jest jednolity. Pył zawieszony, jego główny składnik, zbudowany jest z cząsteczek o różnej średnicy i o odmiennych kształtach. To główna składowa współczesnego miejskiego smogu, a także główny winowajca dolegliwości ze strony układu oddechowego. Jego cechy fizyczne oraz chemiczne bezpośrednio wpływają na to, w którym odcinku jamy nosowej, gardła, oskrzeli lub pęcherzyków płucnych osadzają się szkodliwe cząsteczki i na rozwój jakich chorób mają one ostatecznie wpływ.

W górnych drogach oddechowych stwierdza się objawy ze strony gardła: zapalenia gardła i chrypka, ponadto zapalenia krtani [88], zapalenia zatok czy nieżyt nosa i alergię. W tym przypadku większy wpływ mają duże cząsteczki pyłu oraz dobrze rozpuszczalne w wodzie tlenki siarki. Duże gorsze oddziaływanie na dolne drogi oddechowe mają najmniejsze cząsteczki (o średnicy $< 2-3\mu\text{m}$). Deponując się w małych oskrzelach i pęcherzykach płucnych, wpływają na rozwój i nasilenie chorób obturacyjnych płuc (astma, POChP). Najbardziej szkodliwe z nich pochodzą ze spalania paliw stałych, węgla i biomasy, także z silników wysokoprężnych Diesla [87,88]. Najmniejsze cząsteczki (o średnicy $< 1-0,1\mu\text{m}$) mogą przedostawać się również do krwiobiegu, przez co mają wpływ na niemal wszystkie narządy. Na swojej powierzchni mogą transportować inne groźne substancje: związki metali, WWA czy digoksyny.

W dotychczas prowadzonych na świecie badaniach (od retrospektywnych po eksperymentalne w warunkach laboratoryjnych) dotyczących korelacji między jakością powietrza a stanem zdrowia najczęściej poruszano kwestię wpływu zanieczyszczenia na układ oddechowy. Dotyczyły one głównie obturacyjnej choroby płuc, astmy oskrzelowej oraz zakażeń dolnych dróg oddechowych.

Jeśli chodzi o POChP, to w pierwszej kolejności należy się przyjrzeć wpływowi ekspozycji na smog na rozwój tej choroby. Wyniki przeprowadzonych w USA badań pod nazwą NHANES III wskazały, że 19,2% wśród uczestników, u których rozpoznano POChP,

choroba miała związek z zanieczyszczeniem powietrza. Badanie dotyczyło osób w wieku 30–75 lat [89].

Autorzy publikacji ukazujących się po 1990 roku także potwierdzali, że krótkotrwała ekspozycja na smog zwiększa ryzyko zaostrzenia choroby obturacyjnej, ale również zwiększa śmiertelność w jej przebiegu. W badaniu prowadzonym w Pensylwanii przedstawiono wpływ pyłów zawieszonych na wzrost zachorowalności na choroby układu oddechowego i krążenia oraz w konsekwencji na zwiększenie liczby zgonów. Śmiertelność rosła wraz ze wzrostem stężenia pyłów. W przypadku POChP zwiększenie stężenia o $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ powodowało wzrost śmiertelności o 19%, zapalenia płuc – o 11%, chorób sercowo-naczyniowych – o 10%. Większy wpływ smogu zaznaczony był u osób po 65. roku życia [90].

W 2016 roku przeprowadzono metaanalizę 59 badań dotyczących krótkiej ekspozycji na zanieczyszczenia. Potwierdzono silne powiązanie pomiędzy krótkotrwałym narażeniem na wszystkie gazowe zanieczyszczenia oraz cząstki stałe a ryzykiem zaostrzenia POChP [91].

Publikowano również prace dotyczące długotrwałej ekspozycji i zachorowalności na POChP oraz astmę. Autorzy tych doniesień potwierdzili silną korelację między pyłami PM10 i chorobą obturacyjną oraz słaby wpływ frakcji PM10 na wystąpienie astmy. Należy dodać, że zależność ta była znacznie silniejsza wśród osób palących tytoń [92].

Prace ukazujące się w ostatnich latach wskazują na analogiczną sytuację w przypadku astmy oskrzelowej. Zarówno u dzieci, jak i u dorosłych ekspozycja na pyły zawieszane, bez względu na czas ich oddziaływania, silnie koreluje z zaostrzeniami tej choroby, a zachorowalność na nią stale wzrasta. W ostatnim aspekcie, wzrostu zachorowalności, mamy do czynienia z długotrwałą ekspozycją. W badaniu przeprowadzonym w Republice Chińskiej potwierdzono zwiększającą się liczbę zachorowań na astmę oskrzelową i jednocześnie dodatnią korelację ze stale wzrastającym uprzemysłowieniem kraju [93].

Według autorów met analizy z 2015 roku długotrwałe narażenie w wieku dziecięcym na PM_{2,5} oraz na zanieczyszczenie generowane przez samochody wiązało się ze zwiększoną zachorowalnością na astmę oraz na alergiczny nieżyt górnych dróg oddechowych w kolejnych latach życia. Pierwsze ich objawy manifestowały się już przed 12. rokiem życia [94].

Dane pochodzące z badań i metaanaliz potwierdzają również szkodliwość krótkoterminowej ekspozycji na smog. W obejmującej 36 badań (z czego 14 było częścią programu badawczego PEACE [European Pollution Effects on Asthmatic Children in Europe]) metaanalizie z 2015 roku, stwierdzono istotną statystycznie zależność między

poziomem PM10 a liczbą zaostrzeń astmy. Przy większym stężeniu PM10 o 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ zanotowano 2,8% wzrost zaostrzeń choroby [95].

Reasumując wpływ zanieczyszczenia powietrza na układ oddechowy, warto zacytować jeszcze jedną pracę. Obejmuje ona wszystkie przypadki zgłoszeń do szpitala związane z chorobami układu oddechowego. Oceniano w niej wpływ PM2,5 oraz PM10 w miejscowości Jinan w Chinach. Wyniki są jednoznaczne – zwiększenie stężenia w powietrzu pyłów o 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ korelowało ze wzrostem liczby zgłoszeń o 0,36–0,5%. Największy zaś przyrost liczby chorych wiązał się z 6-dniową ekspozycją [96,97].

Przewlekłe zapalenia krtani, chrypka, przewlekły kaszel to jedne z najczęstszych wynikających ze zwiększonego stężenia PM dolegliwości mieszkańców dużych miast, choć ci ostatni rzadko wiążą takie objawy ze smogiem. W przeprowadzonym w Korei Południowej badaniu potwierdzono, że zwiększona ekspozycja na PM10 może powodować przewlekłe zapalenie krtani. Wnioskowano to na podstawie zmniejszonej zapadalności na tę chorobę w latach 2008–2012, gdy stężenie PM było mniejsze [98].

Wpływ zanieczyszczenia na rozwój raka płuc opisano w greckim badaniu, w którym obserwowano istotną statystycznie zależność między stężeniami PM2,5 a umieralnością z powodu tego nowotworu [99].

Pozaszpitalne zapalenie płuc to choroba, która w głównej mierze dotyka osoby starsze. Najczęściej ma podłoże bakteryjne i wirusowe, ale wśród wielu czynników długotrwale oddziałujących na stan zdrowia i osłabiających odporność wymienia się zwiększające się zanieczyszczenie powietrza. Dotyczy to zwłaszcza pacjentów w podeszłym wieku. Tę populację opisano w 2010 roku w badaniu z udziałem ponad sześćdziesięcioletnich mieszkańców miejscowości Hamilton w prowincji Ontario w Kanadzie. Jego autorzy przyjrzeni się długotrwałej ekspozycji tych osób na pył PM2,5 i potwierdzili istotną statystycznie zależność między wieloletnim narażeniem na frakcję PM2,5 a liczbą hospitalizacji z powodu zapalenia płuc [100].

1.4.2. Wpływ na układ krążenia

W większości opracowań można przeczytać, że świadomość społeczeństwa skupia się głównie na wpływie zanieczyszczenia na układ oddechowy i rozwój nowotworów, zaś układ krążeniowy czy nerwowy są pomijane.

Obecnie istnieje wiele dowodów naukowych i opracowań wskazujących na negatywny wpływ ekspozycji na zanieczyszczone powietrze na układ sercowo-naczyniowy. Smog jest nie tylko związany z rozwojem choroby niedokrwiennej serca i w konsekwencji – niewydolności serca i OZW, ale także może być czynnikiem wywołującym zaburzenia rytmu serca, nadciśnienie tętnicze i udary mózgu. Krótkotrwała kilkudniowa ekspozycja istotnie wpływa na zaostrzenia tych chorób, w tym głównie przewlekłej niewydolności serca.

Pierwsze doniesienia na temat zależności między zanieczyszczeniem i chorobami układu krążenia pojawiły się w połowie ubiegłego wieku podczas „wielkiego smogu” w Londynie. Wówczas, w 1952 roku, znacznie wzrosła liczba zgonów z powodu chorób układu krążenia. W kolejnych latach publikowano wyniki następnych badań dotyczących tego wpływu i procesów, jakie tu zachodzą. Mowa głównie o procesach zapalnych w śródbłonku naczyń, które – przechodząc w stan przewlekły – prowadzą do rozwoju wspomnianych wcześniej chorób. W wyniku stanu zapalnego dochodzi do powstawania miażdżycy, formowania się blaszek miażdżycowych wewnątrz naczyń tętniczych, a to jest przyczyną usztywnienia naczyń, zwiększenia oporów i wzmożonego wydzielania substancji obkurczających naczynia. W rezultacie prowadzi to do rozwoju nadciśnienia tętniczego, a wraz z upływem czasu, do oporności na stosowane leczenie hipotensyjne [101,102].

Na rozwój i przebieg nadciśnienia tętniczego – zarówno skurczowego, jak i rozkurczowego – wpływa także krótkotrwała ekspozycja na zanieczyszczone powietrze [103,104]. W cytowanym badaniu potwierdzono wzrost ciśnienia tętniczego o 1,7/0,8 mmHg, gdy wartość średniorocznego stężenia PM_{2,5} zwiększyła się o 2,4 µg/m³. Podobne wartości wynikały ze wzrostu stężeń PM₁₀, a wpływ zanieczyszczenia był bardziej zaznaczony u kobiet.

Obok nadciśnienia tętniczego i miażdżycy, zanieczyszczenia lotne są przyczyną rosnącej liczby OZW oraz udarów niedokrwienych mózgu. Wieloletnie narażenie na pyły, szczególnie w wielkich miastach, skutkuje zwiększeniem częstości występowania zawałów serca [105,106]. W publikacji z 2012 roku autorzy przedstawili, jak krótka ekspozycja może prowadzić do zaostrzenia choroby niedokrwiennej serca i w konsekwencji – wystąpienia

OZW [107]. Wzrost zanieczyszczenia wiązał się także z większą liczbą przepisywanych leków sercowo-naczyniowych w populacji miasta Ostrawy, a w innym badaniu (metaanalizie) ukazano zaś, jak zwiększenie stężenia średniorocznego PM10 o $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ korelowało ze zwiększeniem liczby zdarzeń wieńcowych o 19% [97,108]. W podobnym badaniu analizowano wpływ stężenia PM2,5 na stan zdrowia kobiet >65 roku życia ujawniono w nim aż 24% wzrost liczby OZW [109].

Wraz z rozwojem choroby niedokrwiennej serca i nadciśnienia tętniczego dochodzi do zaostrzeń przewlekłej niewydolności serca, zaburzeń przedsionkowych oraz komorowych rytmu. W konsekwencji prowadzą one do niedokrwienych udarów mózgu. Istnieją liczne publikacje na temat choroby niedokrwiennej serca i śmiertelności z nią związanej, rzadziej natomiast pisano o zaburzeniach rytmu serca [110]. W pracach ujęto wpływ zanieczyszczenia PM2,5 i PM10 na ryzyko wystąpienia arytmii. Wykazano wpływ zwiększenia stężeń pyłów na umieralność spowodowaną arytmia. Udowodniono także, że smog przyczynia się do występowania liczniejszych przypadków napadów migotania przedsionków. W obu przypadkach wzrost ten wyniósł 21% [111]. Coraz większa liczba pacjentów z arytmia spowodowaną zwiększonym poziomem zanieczyszczenia miała swoje odzwierciedlenie w liczbie wizyt lekarskich związanych z zaburzeniami rytmu serca. Interwencji lekarskich było więcej, gdy rosły wartości stężeń PM10 i PM2,5 [112–114].

W przypadku udarów niedokrwienych nie można wykluczyć żadnego z mechanizmów ich powstawania. Pierwszy związany jest ze wspomnianym wcześniej stresem oksydacyjnym, poprzedzonym działaniem prozapalnym i prozakrzepowym (zwiększenie agregacji płytek krwi, wzrostem czynnika VII i zwiększenie stężenia czynnika tkankowego) wywołanymi przez pył zawieszony. W konsekwencji może to prowadzić do nadkrzepliwości, zakrzepicy żyłnej, zatorowości płucnej i udarów [115,116]. Drugi wiąże się z proarytmicznym działaniem pyłów. Na podstawie metaanalizy z 2016 roku obejmującej dużą liczbę badań, tym samym na bazie 6,2 miliona zdarzeń z 28 krajów, wykazano także szkodliwość krótkiej ekspozycji. Zanieczyszczenia – zarówno pyłowe, jak i gazowe – ściśle korelowały z występowaniem udarów oraz ze zgonami z ich przyczyny. Największa liczba zdarzeń miała miejsce w pierwszym dniu ekspozycji [117].

1.4.3. Wpływ na zdrowie psychiczne

Zanieczyszczenie powietrza jest jedną z głównych przyczyn śmiertelności i zachorowalności na całym świecie. Na przestrzeni lat prowadzono badania epidemiologiczne oraz kilka eksperymentalnych, których wyniki sugerują, że może ono zaostrzać objawy zaburzeń psychicznych, w tym depresyjnych, a nawet przyczyniać się do zwiększenia liczby prób samobójczych.

Celem autorów jednego z badań było określenie statystycznej zależności między zmianami poziomu zanieczyszczenia powietrza (a dokładniej – stężenia pyłów PM10, ozonu i tlenku azotu) a liczbą zgłoszeń do placówek medycznych o profilu psychiatrycznym. Potwierdzili oni, że wraz ze wzrostem stężenia PM10 o $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liczba zgłoszeń zwiększyła się o 3,6% [118].

Innym aspektem jest ocena wpływu zanieczyszczenia powietrza na konkretne jednostki chorobowe np. depresję oraz w konsekwencji podjęte próby samobójcze. W chińskim badaniu prowadzonym w 26 miastach przez 2 lata określano wpływ pyłów frakcji PM10 i PM2,5 na liczbę przyjęć do szpitala z powodu depresji. Wykazano istotną statystycznie zależność między obydwoma frakcjami a zaostrzeniami tej choroby, a dotyczyło to zwłaszcza osób starszych i głównie pierwszego dnia ekspozycji.

Doniesienia naukowe potwierdzają również wpływ, zarówno krótko-, jak i długoterminowej, ekspozycji na liczbę prób samobójczych. W badaniu prowadzonym w 10 dużych miastach Japonii, Korei Południowej i Tajwanu udowodniono, że krótka ekspozycja na frakcję PM10 jest czynnikiem zwiększającym liczbę samobójstw. Nie było istotnej statystycznie zależności dla PM2,5 [119].

W innym badaniu przeprowadzonym w Korei Południowej wskazano na szkodliwy wpływ ekspozycji długotrwałej na liczbę prób samobójczych. Udowodniono, że długoterminowe narażenie na zanieczyszczenie powietrza wiąże się ze znacznie zwiększonym ryzykiem śmierci samobójczej i bardziej dotyka osoby już cierpiące na choroby psychiczne i somatyczne [120].

W latach 2012–2013 zbadano przeszło 120 tysięcy osób pod kątem wpływu składników smogu na ich zdrowie psychiczne. Potwierdzono, że częstotliwość występowania nasilonego stresu, odczuwalna niska jakość życia, depresja czy myśli samobójcze były istotnie statystycznie zależne od dużych stężeń PM10, dwutlenku azotu i tlenku węgla.

Mężczyźni byli bardziej narażeni na stres i depresję niż kobiety, a pod względem wieku wpływ smogu odczuły najbardziej osoby poniżej 65. roku życia [121].

2.Cel badania

Obecnie jakość powietrza w całej Polsce, także w niewielkich miejscowościach, nawet w tych uznawanych za uzdrowiskowe i do tej pory wiązanych z korzystnymi warunkami środowiskowymi, jest bardzo zła. Należy zauważyć, że do 2016 roku zanieczyszczenie powietrza wiązano głównie z większymi miastami Górnego Śląska, a Kraków był synonimem smogu. Protesty mieszkańców Polski, prężnie rozwijające się w całym kraju organizacje pozarządowe, w tym Krakowski Alarm Smogowy, skłoniły do rozpoczęcia badań nad jakością powietrza oraz jej wpływem na zdrowie mieszkańców [66]. Prowadzone są one nie tylko w dużych miastach, ale także w wielu mniejszych miejscowościach, począwszy od wsi po średniej wielkości miejscowości gminne. Przykładem lokalnym jest Krakowski Alarm Smogowy, w ramach którego w 2016 roku, w jednym z projektów, analizowano stan powietrza w miejscowościach w całej Małopolsce.

W Polsce prowadzono już badania nad wpływem pyłu zawieszonego na zdrowie człowieka. Dotyczyły one układu krążenia, oddechowego, a także przebiegu ciąży. Dostępnych jest jednak niewiele wyników badań statystycznych obejmujących mieszkańców Krakowa, bezpośrednio ukazujących korelację zanieczyszczenia powietrza ze stanem zdrowia. Publikowano głównie metaanalizy. Dlatego też celem tej pracy było określenie wpływu stężeń pyłów zawieszonych PM₁₀ i PM_{2,5} na przebieg chorób przewlekłych dorosłych mieszkańców tego miasta zbadanie zależności między poziomem smogu a liczbą zaostrzeń i nowych zachorowań w zakresie układu sercowo-naczyniowego oraz oddechowego. Istotne w analizie statystycznej było także porównanie tego wpływu w różnych grupach wiekowych: u pacjentów <65. roku życia, w przedziale 65–85 lat oraz u osób >85. roku życia.

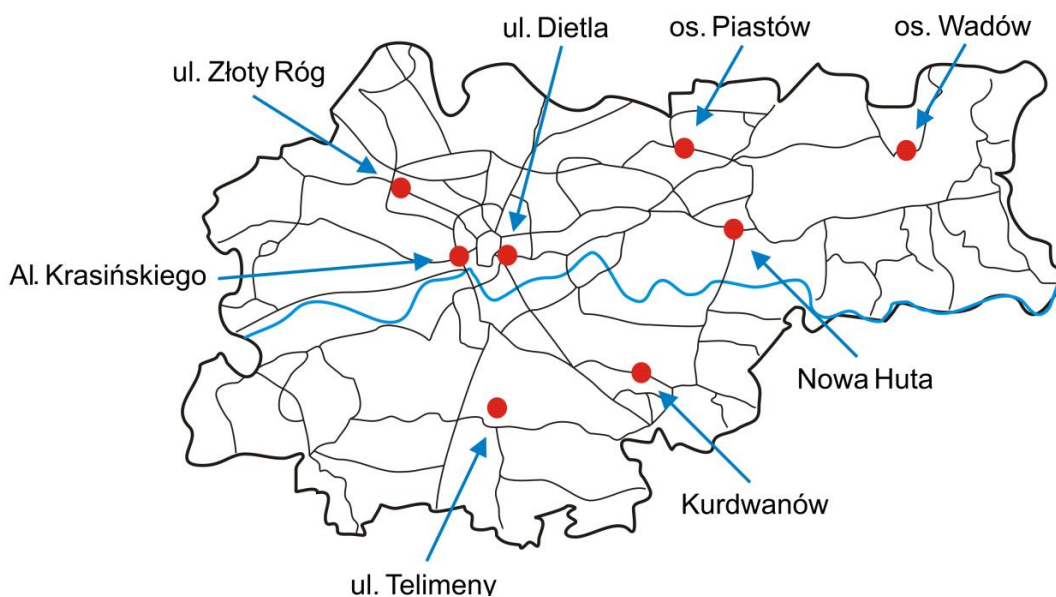
3.Charakterystyka materiału badawczego i metodyka badań

3.1 Pomiary poziomu zanieczyszczenia powietrza

3.1.1. System monitoringu zanieczyszczenia powietrza w Krakowie i Małopolsce

Rozporządzenie Ministra Środowiska opublikowane w dzienniku ustaw 13 września 2012 roku (Dz.U. 2012, Nr 0, poz. 1032) w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu, określiło konieczność monitorowania stężeń konkretnych związków w atmosferze [121]. Ministerstwo wyznaczyło sposoby, metody oraz zakres prowadzonych pomiarów, dolny i górny próg oszacowania oraz dopuszczalne liczby dni w roku przekraczania tych progów. Podano ponadto minimalną liczbę stałych punktów pomiarowych i kryteria ich lokalizacji, tak aby dostarczały jak najbardziej wiarygodnych danych. W rozporządzeniu wymieniono oczywiście substancje, które muszą być monitorowane: pył zawieszony – PM10 i PM2,5, tlenek węgla, dwutlenek azotu, dwutlenek siarki, benzen i ozon oraz ołów, arsen, kadm, nikiel i B(a)P w pyłe zawieszonym PM10. Kolejne rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 roku określa poziomy substancji: dopuszczalne, docelowe, celów długoterminowych, informowania oraz alarmowania [122]. Inne, z dnia 10 września tego samego roku, określa, w jaki sposób informacje dotyczące zanieczyszczenia powietrza i jaki ich zakres mają być przekazywane oraz z 13 września – w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu [123,124].

W Krakowie oraz w całej Małopolsce monitoring jakości powietrza prowadzony jest przez WIOŚ w Krakowie. W województwie działa w sumie 27 stacji pomiarowych. W samym Krakowie znajduje się 8 aktywnych punktów pomiaru zanieczyszczenia powietrza zlokalizowanych w różnych dzielnicach miasta (ryc.26).



Ryc.26. Mapa rozkładu stacji pomiarowych w Krakowie – grafika własna

Obok stacji należących do WIOŚ w Krakowie, w pomiarach czynnie uczestniczą członkowie Krakowskiego Alarmu Smogowego. Przy użyciu mobilnego pyłomierza (TSI DustTrack II) w szeroko zakrojonej akcji prowadzonej wraz z RK w ciągu 8 tygodni (20.10.2015r. –13.12.2015r.) badano jakość powietrza w mniejszych gminach Małopolski, nie tylko ościennych Krakowa. Mierzono stężenia w Bochni, Szczawnicy, Krynicy Zdroju, Wysowej, Muszynie, Rabce Zdroju, Bukowinie oraz Białce i w Zielonkach.

W zależności od stacji użyto różnych metod pomiaru (manualnych i automatycznych), zaś pakiet związków, których stężenia określano, zależał od lokalizacji punktów pomiarowych:

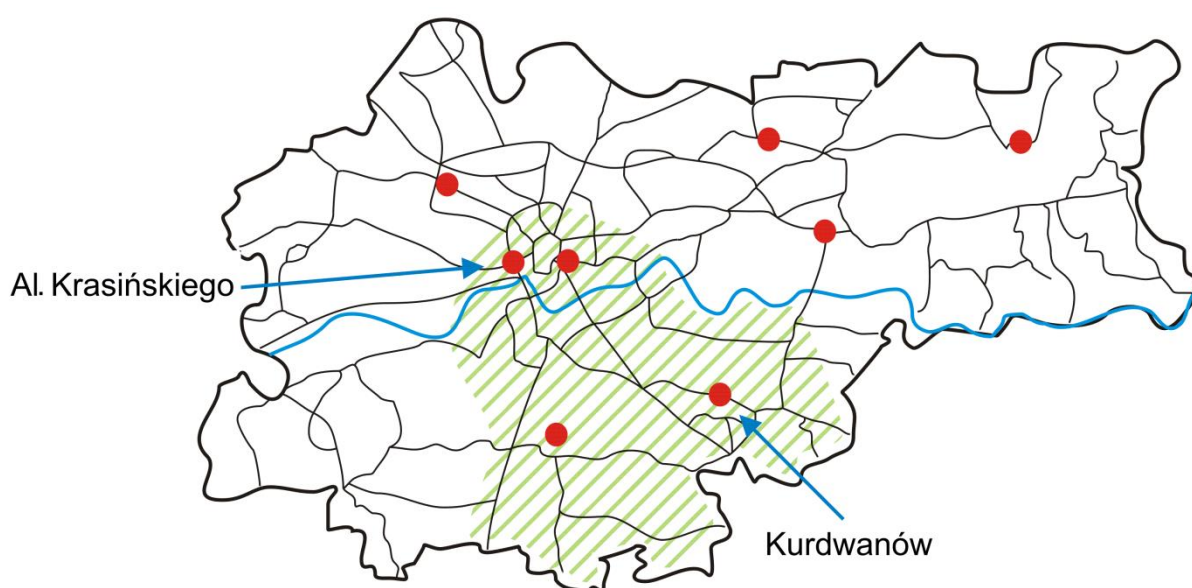
- Kraków, al. Krasińskiego: dwutlenek azotu, tlenki azotu, tlenek węgla, benzen, pyły PM10 i PM2,5
- Kraków, Nowa Huta, ul. Bulwarowa: dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, tlenki azotu, tlenek węgla, benzen, pyły PM10 i PM2,5
- Kraków, Kurdwanów, ul. Bujaka: dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, tlenki azotu, ozon, benzen, pyły PM10 i PM2,5
- Kraków, ul. Dietla: dwutlenek azotu, tlenki azotu, pyły PM10
- Kraków, os. Piastów: pyły PM10
- Kraków, ul. Złoty Róg: pyły PM10
- Kraków, ul. Telimeny: pyły PM10

– Kraków, os. Wadów: pyły PM10.

Jak można zauważyć, najbardziej wszechstronne pomiarowo są 3 stacje: 2 w centrum miasta oraz 1 monitorująca południowo-wschodnie rejony stolicy Małopolski. Pozostałe głównie opierają się na pomiarze stężenia pyłu zawieszonego PM10.

3.1.2. Materiał badawczy

Dane dotyczące poziomu zanieczyszczeń powietrza uzyskano bezpośrednio z witryny internetowej WIOŚ w Krakowie, są to dane ogólnodostępne [125]. Dotyczyły one 2 stacji pomiarowych w obrębie Krakowa (ryc. 27): zlokalizowanej przy al. Krasińskiego oraz przy ul. Bujaka (Kurdwanów). Wybór konkretnych 2 stacji w głównej mierze był uzależniony od przyjętej nieoficjalnie rejonizacji krakowskich szpitali. W tych właśnie rejonach Krakowa, tj. w Śródmieściu oraz w południowych i częściowo we wschodnich dzielnicach miasta, mieszkają pacjenci zgłaszający się do Szpitalnego Oddziału Ratunkowego Szpitala Uniwersyteckiego (SU). Podobnie wygląda sytuacja dotycząca chorych przywożonych przez Krakowskie Pogotowie Ratunkowe (KPR), ale w tym przypadku zdarza się, choć rzadko, że trafiają tam pacjenci nawet spoza Krakowa. Są to zwłaszcza osoby w szczególnych stanach ostrych, jak OZW czy udar mózgu, które trafiają bezpośrednio do ośrodków referencyjnych. Do SU są transportowani głównie przez KPR, ale także przez Lotnicze Pogotowie Ratunkowe (LPR).



Ryc.27. Obszar miasta Krakowa – grafika własna

Do celów badania wykorzystano pobrane z oficjalnej strony internetowej WIOŚ [125], średnie dobowe stężenia 2 frakcji pyłu zawieszonego PM10 oraz PM2,5.

Główną rolę w powstawaniu smogu odgrywają domowe piece oraz kotłownie – wskazuje na to rozkład wartości zanieczyszczeń w ciągu roku (zwłaszcza w Krakowie, gdzie liczbę pieców na paliwa stałe szacuje się na 24 tysiące). Dlatego, na podstawie danych z wykresu, można wyodrębnić 2 odmienne w kwestii zanieczyszczenia powietrza okresy w ciągu roku kalendarzowego, które zostały włączone do badania . Pierwszy to sezon grzewczy – zimowy, kiedy stężenia pyłów czy B[a]P są znacznie większe niż poza nim (ryc.12 i 13), a drugi – letni. Włączone do analizy statystycznej zimowe przedziały czasowe liczyły średnio 125 dni (kolejne po sobie 5 okresów z lat 2012–2017). Jeśli chodzi o letnie przedziały czasowe – były to 4 okresy, z których każdy liczył 62 dni (lipiec i sierpień z lat 2013–2016). Okresy zimowe objęły miesiące: listopad, grudzień, styczeń oraz luty, czyli miesiące o najniższych temperaturach powietrza i największym stężeniu smogu. Miesiące wakacyjne, przeciwnie, cechowały się niskim poziomem zanieczyszczenia (tab.9).

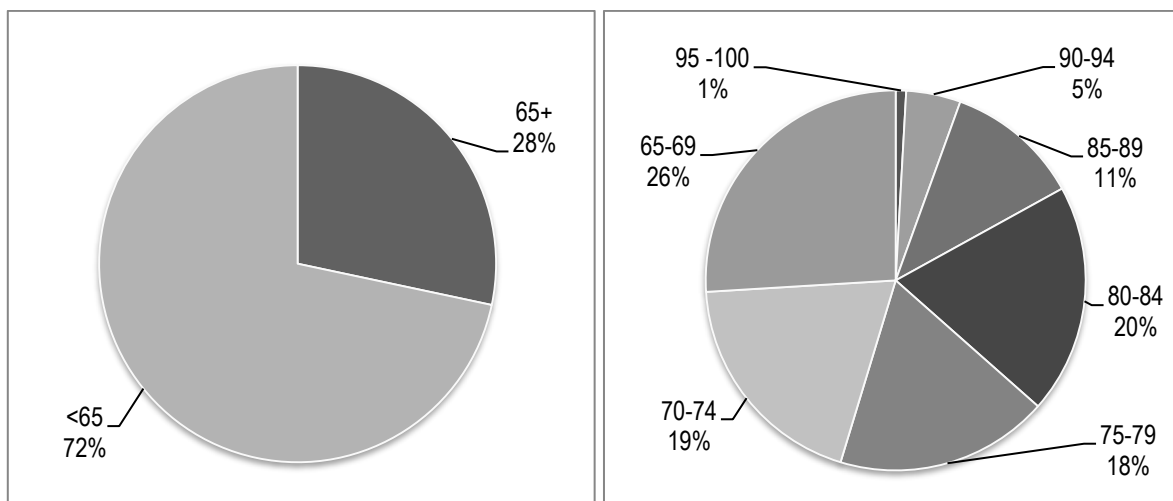
Tab.9.Liczba dni w okresach grzewczych, w których uzyskano 7-dniowe średnie kroczące stężenia PM10 i PM2,5

Okresy badania – zimowe	Liczba dni
01.11.2012–28.02.2013	120
01.10.2013–28.02.2014	151
01.11.2014–28.02.2015	120
05.10.2015–31.01.2016	115
01.11.2016–28.02.2017	120

3.2 Określenie liczby zgłoszeń pacjentów do Szpitalnego Oddziału Ratunkowego

3.2.1. Charakterystyka ośrodka badawczego

Ośrodkiem, z którego pozyskano dane dotyczące zgłoszeń, zachorowań i rejestracji chorych, jest Szpitalny Oddział Ratunkowy (SOR) Szpitala Uniwersyteckiego (SU) w Krakowie. SU jest największym w Małopolsce, wiodącym ośrodkiem wielospecjalistycznym w Polsce. Liczy łącznie 30 oddziałów klinicznych, do których rocznie przyjmuje się 75 tysięcy chorych. Duża część z nich to pacjenci, którzy trafiają do szpitala w trybie „ostrem” z oddziału ratunkowego – w 2016 roku było to łącznie ponad 10200 chorych, co stanowiło ponad 20% spośród wszystkich pacjentów SOR. W sumie zarejestrowanych na oddziale ratunkowym w 2016 roku było 48 190 pacjentów. Daje to średnio 132 osób na dobę. Pacjenci leczeni w SU to dorośli (>18. roku życia), a na SOR w pojedynczych przypadkach osoby niepełnoletnie. Dominowały osoby <65. roku życia (ryc.28). Pacjenci zaopatrywani na oddziale ratunkowym zgłaszają się do szpitala lub są przywożeni transportem medycznym z powodu objawów dotyczących wszystkich układów: nerwowego, krążenia, oddechowego, pokarmowego, wydalniczego, także układu ruchu – w tym przypadku są to głównie urazy, jak również z dolegliwościami okulistycznymi, laryngologicznymi i z zaburzeniami psychicznymi.



A.

B.

Ryc.28. Przekrój wiekowy pacjentów przyjmowanych na SOR SU w sierpniu 2016 roku; A.: z uwzględnieniem pacjentów w wieku >65. rż. i <65. rż.; B.: z uwzględnieniem pacjentów >65.rż.

3.2.2. Grupa badana

Pacjentów włączono do badania na podstawie rozpoznania końcowego. Jest ono ustalane przez lekarza prowadzącego na podstawie wywiadu, wyników badania fizykalnego, badań laboratoryjnych oraz obrazowych i elektrokardiograficznego (EKG), w chwili zakończenia pobytu (wypisu) na SOR. Dane pacjentów dotyczące rozpoznania końcowego przy wypisie z oddziału (wypisie do domu lub przy przeniesieniu pacjenta na inny oddział szpitalny – przyjęcie do profilowanej kliniki szpitala) zostały pozyskane z elektronicznej dokumentacji medycznej za zgodą Dyrekcji oraz Działu Dokumentacji Medycznej SU. W czasie prowadzenia badań dokumentacja oddziału była prowadzona z wykorzystaniem 2 systemów informatycznych firmy Asseco Poland S.A.: InfoMedica i AMMS (Asseco Medical Management Solutions), które umożliwiły wyodrębnienie z grona wszystkich pacjentów oddziału grupę chorych na podstawie wspomnianego już rozpoznania według kodów Międzynarodowej Statystycznej Klasyfikacji Chorób i Problemów Zdrowotnych (International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems – ICD-10). Klasyfikacja ICD-10 to opracowywana została przez ekspertów WHO, a w Polsce obowiązuje od 1996 roku. Przeprowadzone badanie z uwagi na brak kontaktu z pacjentem oraz korzystanie wyłącznie z elektronicznej dokumentacji medycznej, bez ingerencji w dane osobowe, nie wymagało opiniowania przez Komisję Bioetyczną.

Do badania włączono pacjentów internistycznych, po 18. roku życia, rejestrowanych w SOR w okresach zimowych, cierpiących na choroby układu sercowo-naczyniowego, nerwowego i oddechowego, z następującymi rozpoznaniem:

- choroby krążeniowo-naczyniowe i krążenia mózgowego:
 - I10 – nadciśnienie tętnicze,
 - I21 – ostry zespół wieńcowy (OZW),
 - I48 – napadowe migotanie przedsionków ,
 - I50 – zaostrzenie przewlekłej niewydolności serca,
 - I64 – udar niedokrwienny mózgu;
- choroby układu oddechowego:
 - J18 – zapalenie płuc,
 - J44 – przewlekła obturacyjna choroba płuc (POChP),

- R06 – duszność.

Grupę kontrolną stanowili pacjenci z dolegliwościami w obrębie jamy brzusznej przyjmowani do tzw. „części chirurgicznej” oddziału. Do grupy kontrolnej włączono osoby z najczęściej stwierdzanymi rozpoznaniem (wg ICD-10) chirurgicznymi:

- R10 – ból w okolicy brzucha i miednicy,
- R10.0 – ostry brzuch,
- R10.1 – ból zlokalizowany w nadbrzuszu,
- R10.2 – ból w okolicy miednicy i krocza,
- R10.3 – ból zlokalizowany w innych okolicach podbrzusza,
- R10.4 – inny i nieokreślony ból brzucha,
- R11 – nudności i wymioty,
- A09 – biegunka i zapalenie żołądkowo-jelitowe o prawdopodobnie zakaźnym pochodzeniu.

W grupie kontrolnej znaleźli się również pacjenci internistyczni z analogicznymi rozpoznaniem, jak ustalane w przypadku grupy badanej, którzy byli przyjmowani na oddziale ratunkowym w miesiącach letnich.

W sumie grupa badana wraz z grupami kontrolnymi liczyły 14405 pacjentów, z czego ta pierwsza liczyła 6353 pacjentów, a grupa kontrolna okresu zimowego – 4823 osób. W grupie obejmującej przypadki zachorowań z okresu letniego w sumie (internistyczne i chirurgiczne) znalazło się 3229 pacjentów (tab.10 i 11).

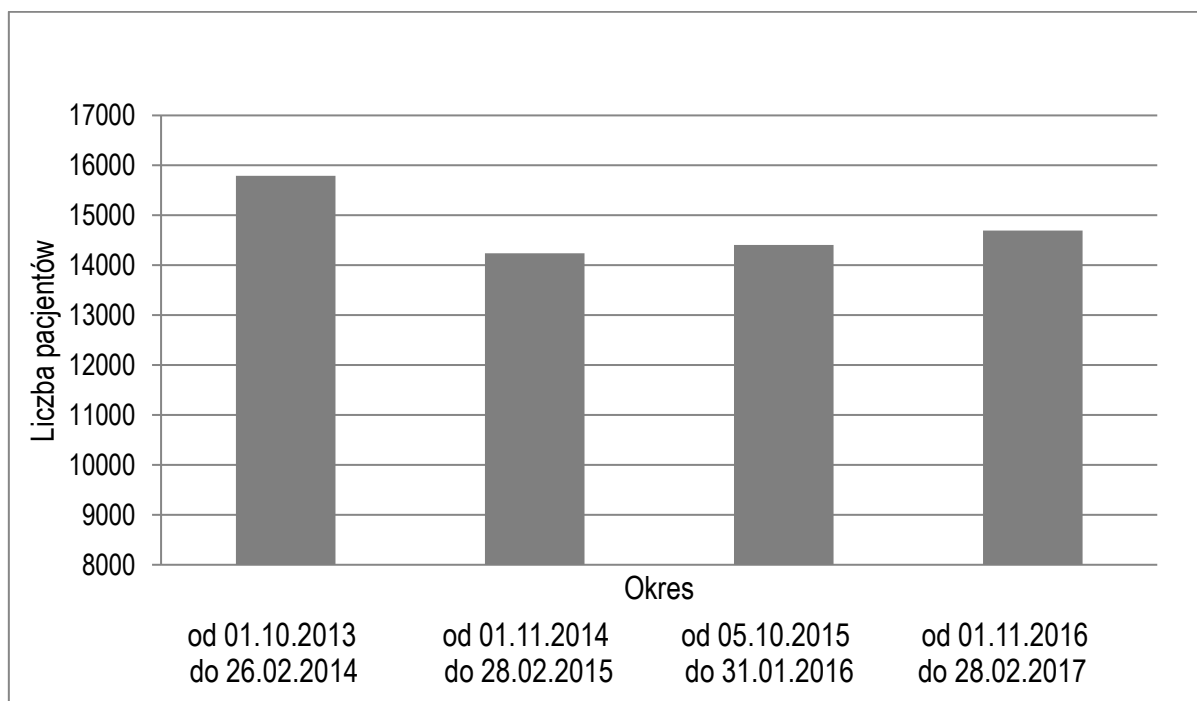
Tab.10. Pacjenci grupy badanej i kontrolnej przyjęci na oddziale ratunkowym w okresie zimowym

Pacjenci z okresu zimowego – „grzewczego”		
Okres	Grupa badana	Grupa kontrolna
Zima 2012/2013	1133	711
Zima 2013/2014	1095	904
Zima 2014/2015	1313	984
Zima 2015/2016	1279	1147
Zima 2016/2017	1533	1077

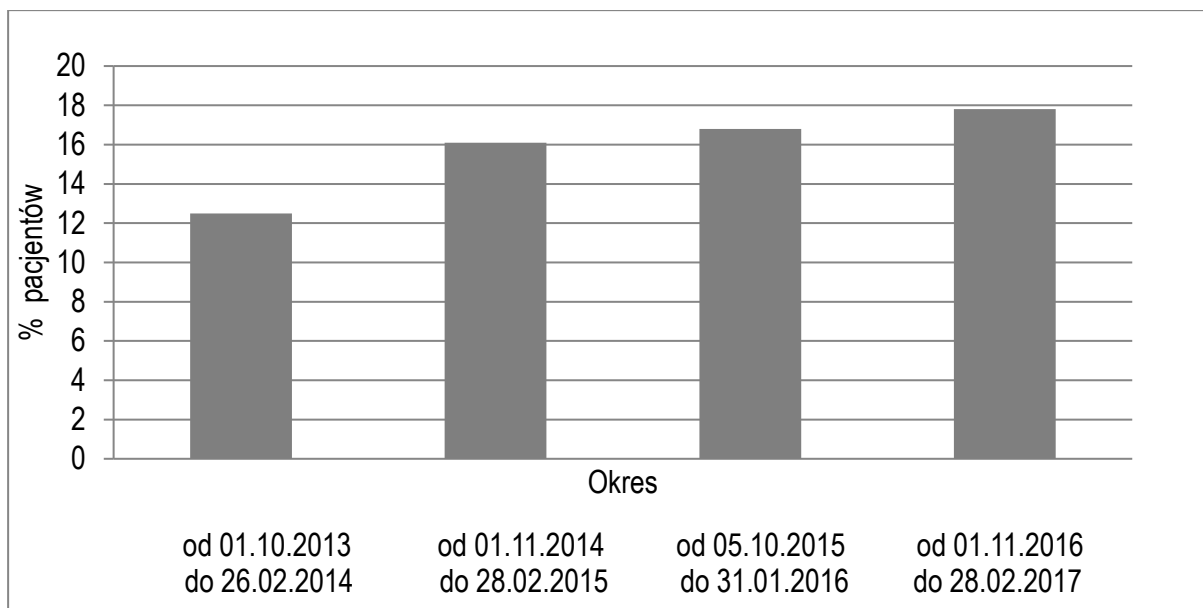
Tab.11. Pacjenci grupy kontrolnej przyjęci na oddziale ratunkowym w okresie letnim

Pacjenci grup kontrolnych z okresu letniego		
Okres „kontrolny”	Pacjenci internistyczni	Pacjenci chirurgiczni
Lato 2013	467	397
Lato 2014	553	511
Lato 2015	634	–
Lato 2016	667	–

Pacjenci włączeni do badania stanowili znaczny odsetek wszystkich osób przyjmowanych na oddziale ratunkowym– średnio 15% (ryc.29 i 30).

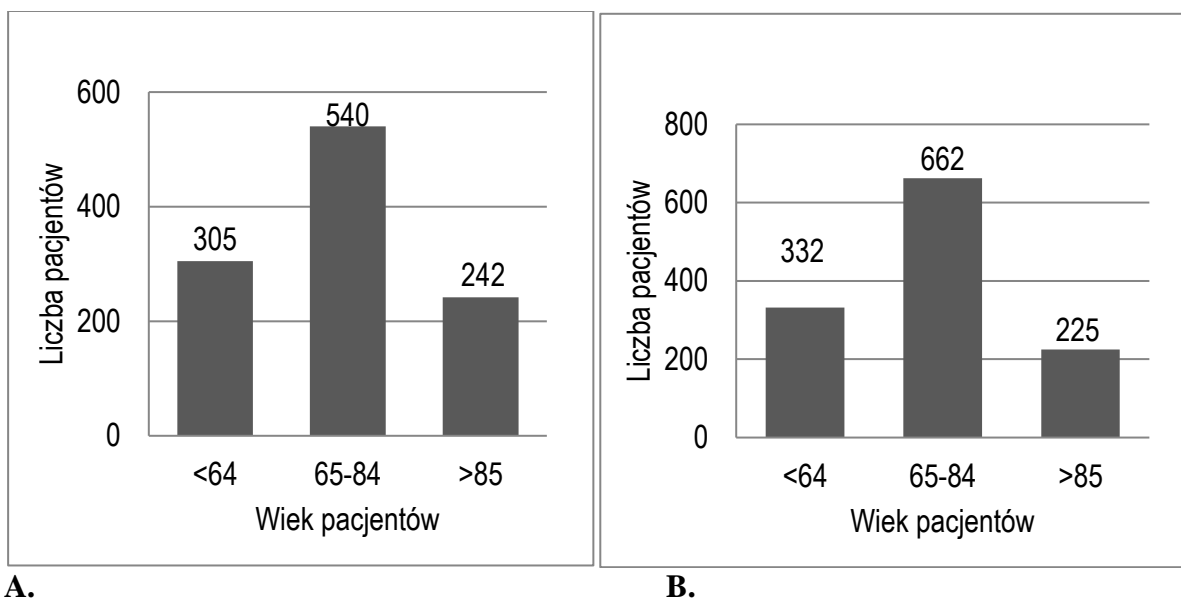


Ryc.29. Liczba pacjentów przyjętych na SOR SU w określonych okresach od 2014 r. do 2017 r.



Ryc.30. Procent pacjentów SOR SU włączonych do badania w określonych okresach od 2014 r. do 2017 r.

Największy procent pacjentów SOR to osoby <65. roku życia. Biorąc zaś pod uwagę badanie zanieczyszczenia powietrza oraz to, na rozwój jakich chorób ma ono wpływ i w jakim wieku te choroby najczęściej się pojawiają, przekrój wiekowy uczestników badania jest zróżnicowany (ryc.31).



A.

B.

Ryc.31. Przekrój wiekowy pacjentów przyjmowanych w SOR w okresach zimowych: A.: 2013/2014r.; B.: 2014/2015r.

3.3. Metodyka badań

Zarówno stężenia zanieczyszczeń w powietrzu, jak i liczba pacjentów zgłaszających się do ośrodków zdrowia – w tym przypadku na oddział ratunkowy, są wartościami zmiennymi. Zależność między zmiennymi można wyrazić statystycznie w formie korelacji, czyli współzależności, wzajemnego powiązania między wybranymi danymi. W ocenie wpływu zanieczyszczenia powietrza na zdrowie mieszkańców Krakowa i okolic posłużono się metodą korelacji Pearsona. Współczynnik tej właśnie korelacji jest najczęściej wykorzystywany do badania związków prostoliniowych między zmiennymi wartościami, czyli kiedy wzrost lub spadek jednej powoduje proporcjonalne zmiany średnich drugiej wartości. Wyrazem korelacji jest współczynnik korelacji (R lub r) wyliczany jest na podstawie wzoru:

$$r_{xy} = cov(x, y) / Sd_x \times Sd_y \quad cov(x, y) = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}$$

Zawiera się on w przedziale od -1 do 1 . Korelacja jest dodatnia, kiedy wzrost jednej wartości powoduje wzrost tej drugiej. Ujemna –kiedy wzrost jednej powoduje proporcjonalny spadek drugiej.

Choć najważniejsze jest to, czy korelacja jest istotną (wartość p), siła korelacji określana jest na podstawie wartości współczynnika korelacji (r):

- $<0,2$ –korelacja słaba, raczej brak związku,
- $0,2-0,4$ –korelacja niska, wyraźna zależność,
- $0,4-0,6$ –korelacja umiarkowana, istotna zależność,
- $0,6-0,8$ –korelacja wysoka, znaczna zależność,
- $0,8-0,9$ –korelacja bardzo wysoka,
- $0,9-1,0$ –pełna zależność zmiennych.

W przypadku prowadzonego badania określano wpływ zanieczyszczenia powietrza pyłami zawieszonymi PM_{2,5} i PM₁₀ (co stanowi pierwszą zmienną) na liczbę zachorowań na wymienione wcześniej jednostki chorobowe (druga zmienna). Dotychczasowe prace wielu autorów obejmowały zarówno krótko-, jak i długoterminowy wpływ smogu na rozwój chorób układu oddechowego i krążenia. Krótkookresowe narażenie, czyli trwające od kilku godzin do tygodnia, wywołuje gwałtowną reakcję organizmu (w tym zaostrzenia), natomiast długi okres

(obejmujący miesiące i lata) ekspozycji na smog skutkuje rozwojem chorób przewlekłych, w tym nowotworów (głównie układu oddechowego). W analizie statystycznej, z uwagi na wybrane do badania choroby, wzięto pod uwagę krótkoterminową ekspozycję na smog i jej wpływ na zdrowie dorosłych mieszkańców Krakowa. Przyjęty okres narażenia oraz wartości stężeń substancji szkodliwych, które były analizowane, objął 7 dni. Obliczono średnią stężeń z 7 dni tychże substancji, a dokładniej: z 6 dni poprzedzających wystąpienie dolegliwości, zaś dzień 7. to dzień zachorowania i jednocześnie udzielenia pomocy w szpitalu.

To oczywiste, że nie wszyscy pacjenci rejestrowani na oddziale ratunkowym zgłaszają się z dokładnie tak samo zaostrzonymi objawami chorób przewlekłych oraz tak samo nasilonymi dolegliwościami występującymi *de novo*. Należy mieć na uwadze, że odczuwanie nasilenia dolegliwości jest uwarunkowane osobniczo. Przykładem tutaj może być próg i poziom bólu w przebiegu OZW. Dlatego część chorych zgłasza się w celu otrzymania pomocy bardzo wcześnie, gdy tylko dolegliwości się pojawiają. Inni przeciwnie –trafiają na oddział ratunkowy bardzo późno i niejednokrotnie w stanie ciężkim, często krytycznym. Z uwagi na to, z liczby zgłoszeń wyciągnięta została średnia dobowa. W przypadku tej zmiennej były to 3 dni. Objęły one dzień 7., czyli dzień zgłoszenia się pacjenta na oddział ratunkowy oraz dzień poprzedzający zgłoszenie się i kolejny po nim.

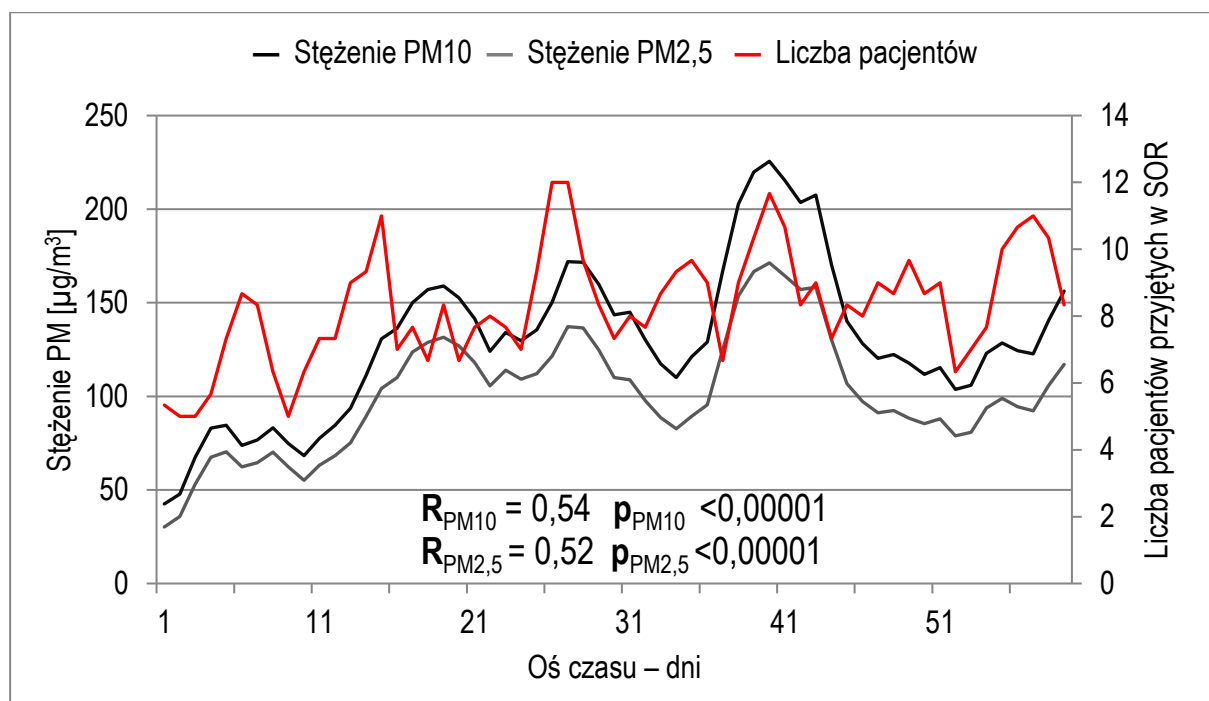
4. Wyniki badania

4.1. Grupa badana w okresach zimowych

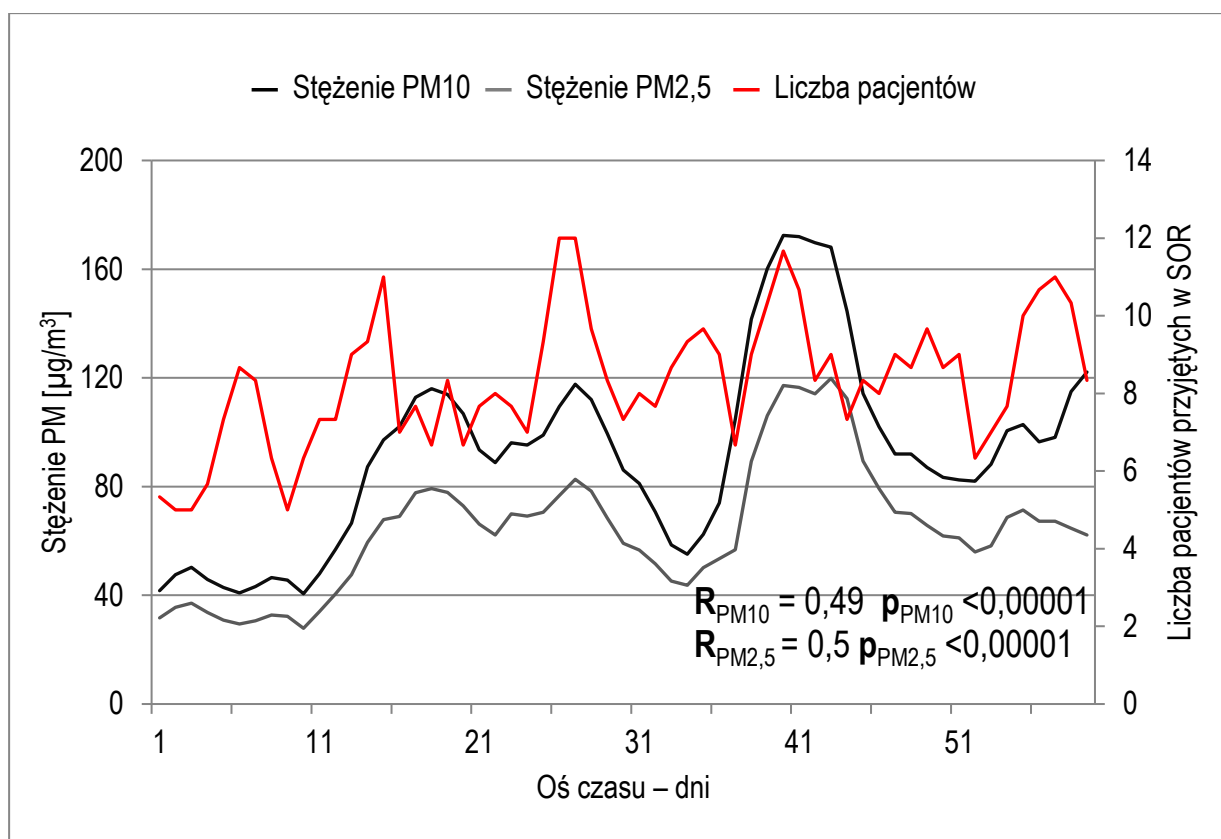
W badaniu uczestniczyło 11176 osób – co stanowiło grupę badaną i kontrolną, które zgłosiły się na oddział ratunkowy w czasie okresów zimowych – grzewczych. Badanie objęło 5 okresów zimowych w latach 2012–2017. W przypadku zimy 2012/2013 została ona podzielona na 22 - miesięczne okresy, z uwagi na awarię systemu komputerowego szpitala i tym samym niewiarygodne dane przełomu lat 2012 i 2013. W sumie przeanalizowano 6 okresów wpływu zanieczyszczenia na podstawie danych 2 stacji pomiarowych.

4.1.1. Sezon grzewczy 2012/2013 – miesiące: listopad, grudzień

Korelacja pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR wyniosła odpowiednio dla PM10 i PM2,5: $R = 0,54$ i $R = 0,52$, dla stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego. Dla stacji na osiedlu Kurdwanów wyniki były zbliżone i wyniosły dla PM10 $R = 0,49$, a dla PM2,5 $R = 0,5$. Dla wszystkich wymienionych wyników wskaźnik istotności statystycznej p wyniósł $<0,00001$ (ryc.32 i 33).



Ryc.32. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – listopad, grudzień 2012 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

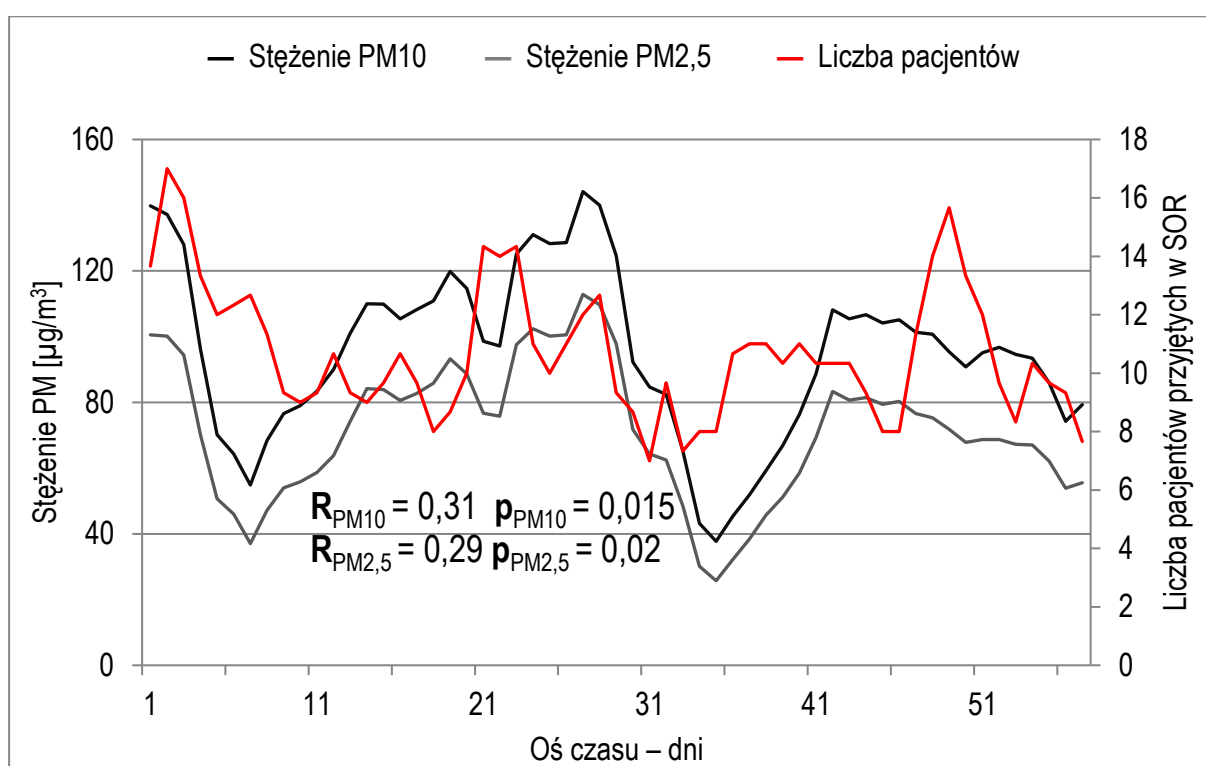


Ryc.33. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – listopad, grudzień 2012 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji Kurdwanów

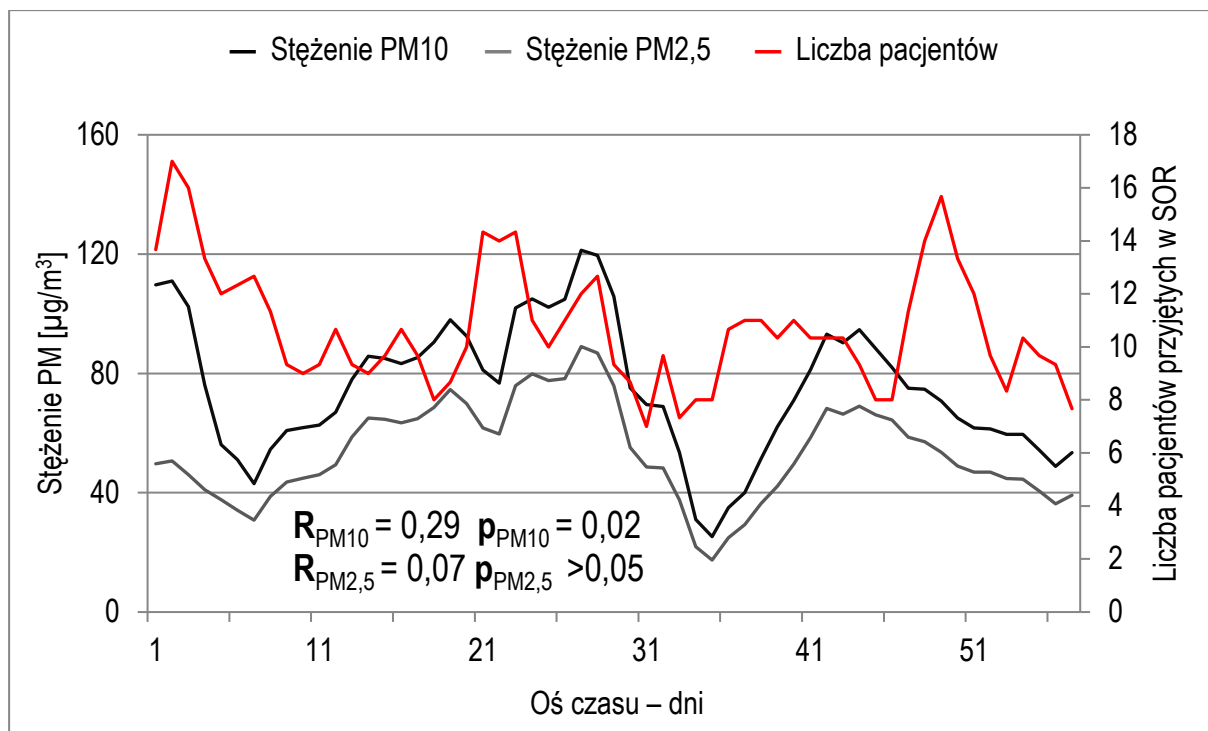
4.1.2. Sezon grzewczy 2012/2013 – miesiące: styczeń, luty

Korelacja pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR wyniosła odpowiednio dla PM10 i PM2,5: $R = 0,31$ i $R_{PM2,5} = 0,29$, dla stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego, a wskaźnik p odpowiednio $0,015$ i $0,02$. Dla stacji na osiedlu Kurdwanów wynik R był zbliżony w przypadku PM10 i wyniósł $0,29$; p wyniósł $0,02$. W przypadku PM2,5 $R = 0,15$, tj. korelacja dodatnia, a wskaźnik p wyniósł $0,2$ – wynik nieistotny statystycznie (ryc. 34 i 35).

W badanej podgrupie (zima 2012/2013) znalazło się w sumie 1133 pacjentów.



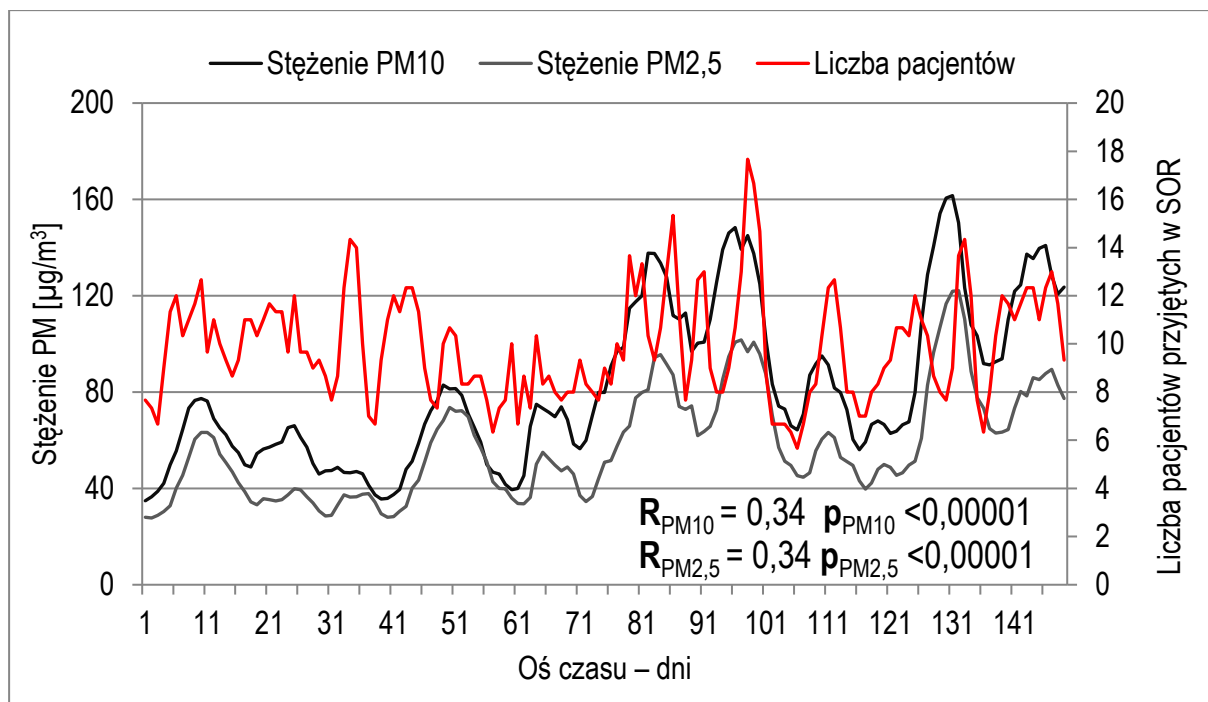
Ryc.34. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – styczeń, luty 2013 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego



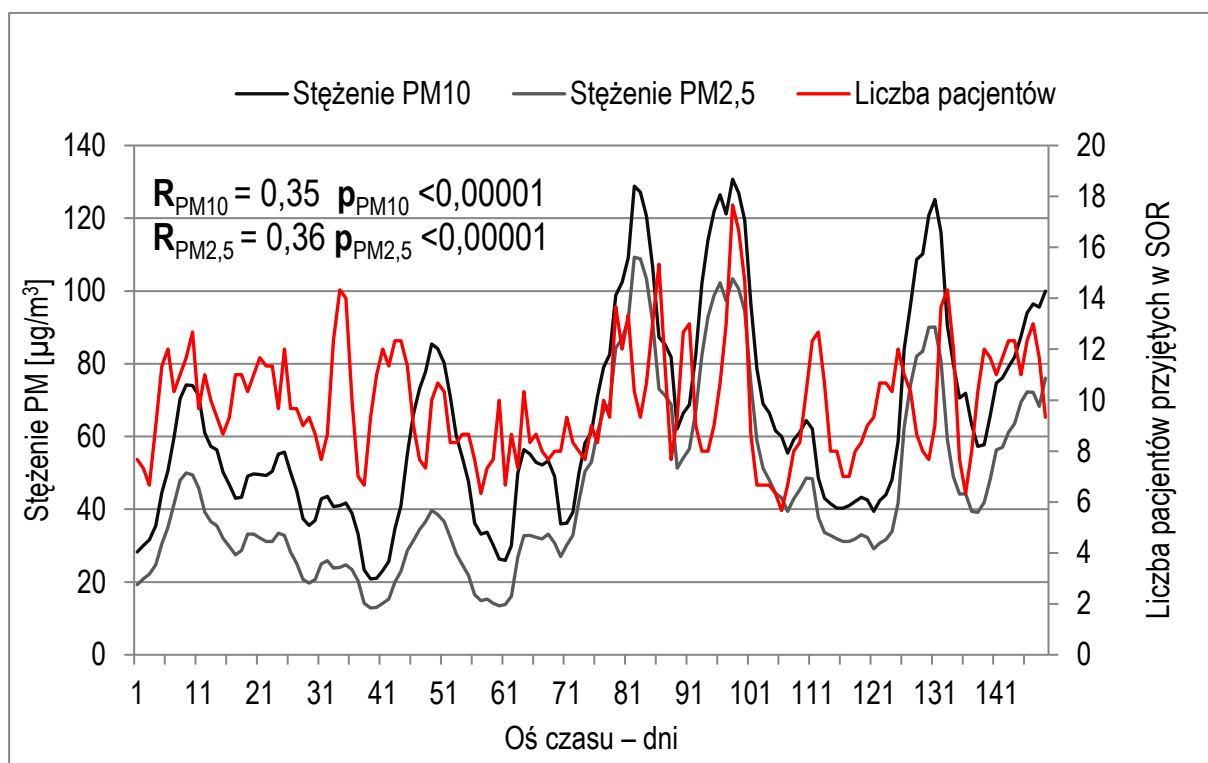
Ryc.35. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – styczeń, luty 2013 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji Kurdwanów

4.1.3. Sezon grzewczy 2013/2014

W badanej podgrupie (zima 2013/2014) znalazło się w sumie 1095 pacjentów. Korelacja pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR wyniosła odpowiednio dla PM10 i PM2,5: $R = 0,34$ i $R = 0,34$, dla stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego. Dla wymienionych wyników poziom istotności statystycznej p wyniósł w obu przypadkach $< 0,00001$. Dla stacji na osiedlu Kurdwanów wyniki były zbliżone i wyniosły w przypadku PM10 $R = 0,35$, a dla PM2,5 $R = 0,36$. Poziom istotności statystycznej p wyniósł również $< 0,00001$ (ryc.36 i 37).



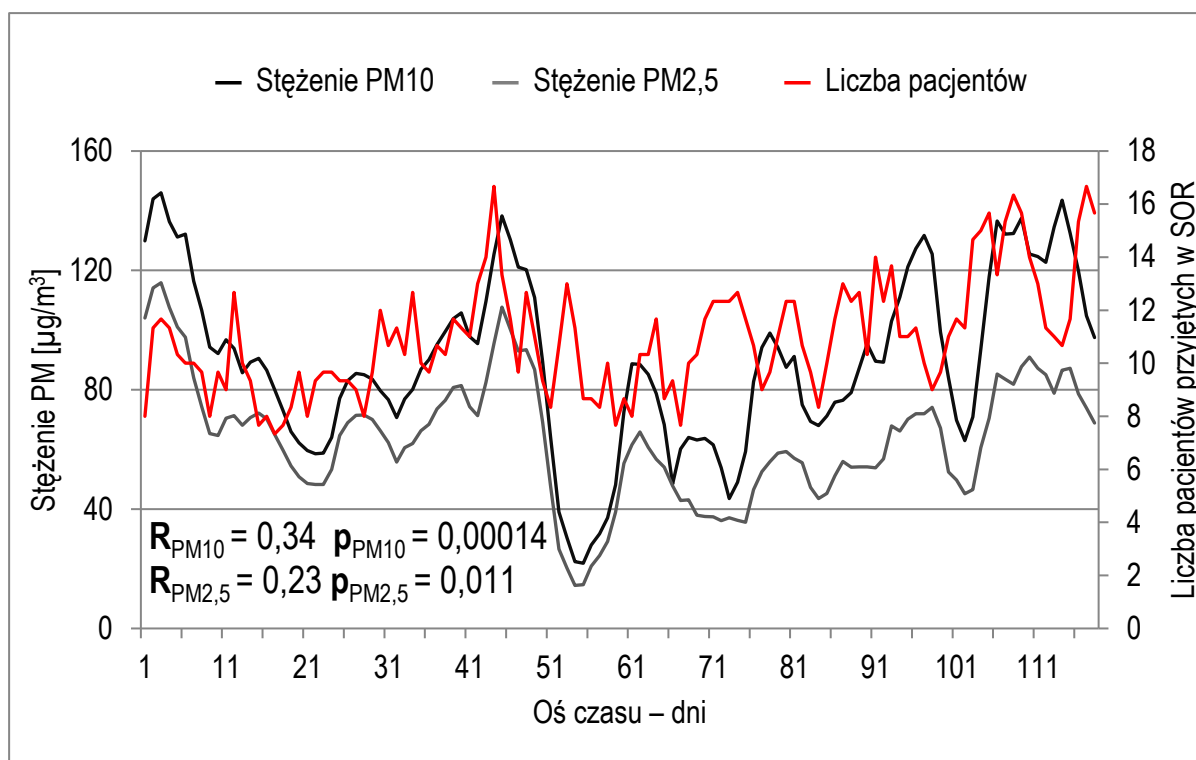
Ryc.36. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego



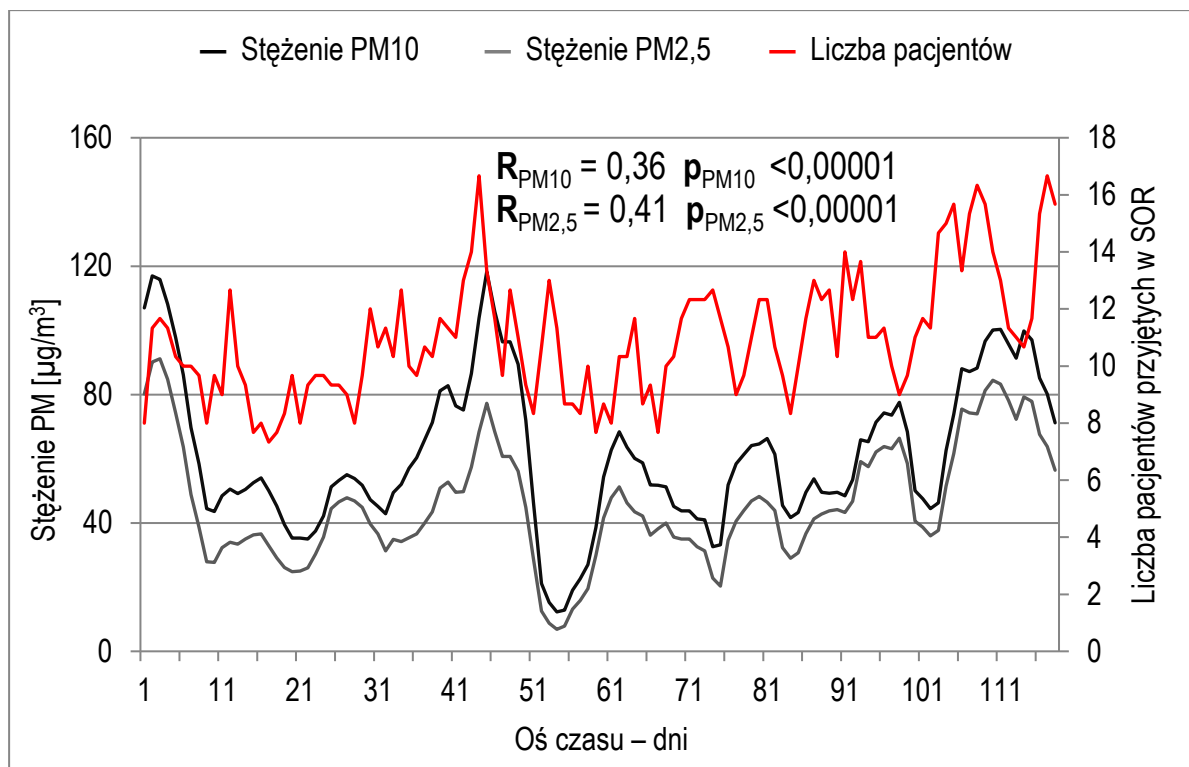
Ryc.37. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji Kurdwanów

4.1.4. Sezon grzewczy 2014/2015

W badanej podgrupie (zima 2014/2015) znalazło się 1313 pacjentów. Korelacja pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR wyniosła odpowiednio dla PM10 i PM2,5: $R = 0,34$ i $R = 0,23$, dla stacji pomiarowej przy al. Krasińskiego. Poziom istotności statystycznej p wyniósł odpowiednio **0,00014** i **0,011**. Dla stacji Kurdwanów wyniki były zbliżone i wyniosły dla PM10 $R = 0,36$, a dla PM2,5 $R = 0,41$. Dla tych wyników poziom istotności statystycznej p wyniósł **< 0,00001** (ryc. 38 i 39).



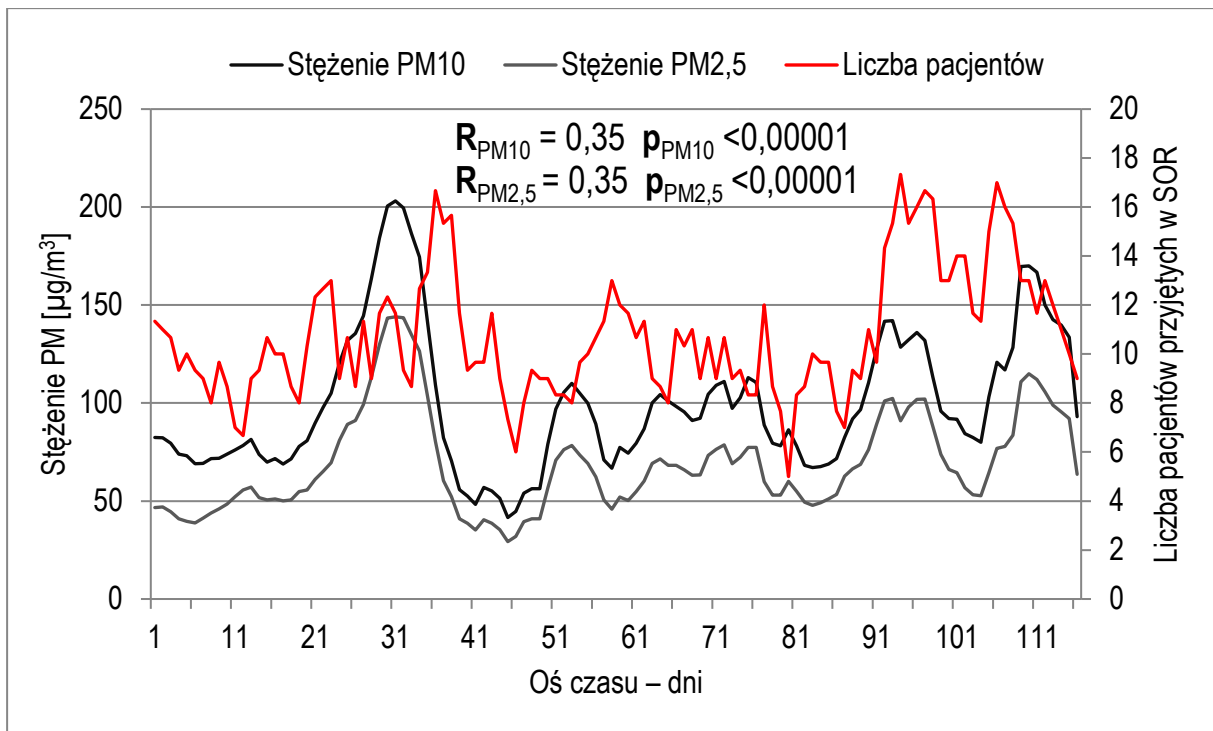
Ryc.38. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasińskiego



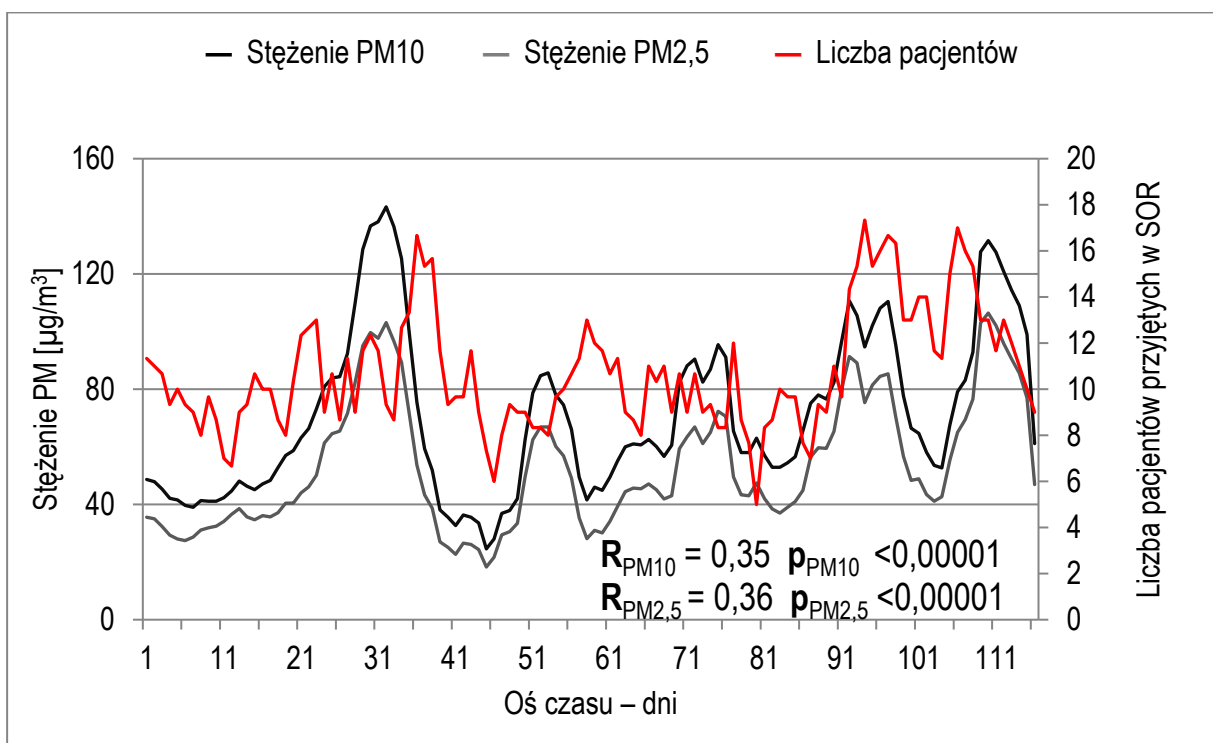
Ryc.39. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji Kurdwanów

4.1.5. Sezon grzewczy 2015/2016

W badanej podgrupie (zima 2015/2016) znalazło się w sumie 1279 pacjentów. Korelacja pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR wyniosła odpowiednio dla PM10 i PM2,5 $R = 0,35$ i $R = 0,35$, dla stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego. Dla stacji Kurdwanów wyniki były zbliżone i wyniosły dla PM10 $R = 0,35$, a dla PM2,5 $R = 0,36$. Dla wszystkich wymienionych poziom istotności statystycznej p wyniósł $< 0,00001$ (ryc.40 i 41).



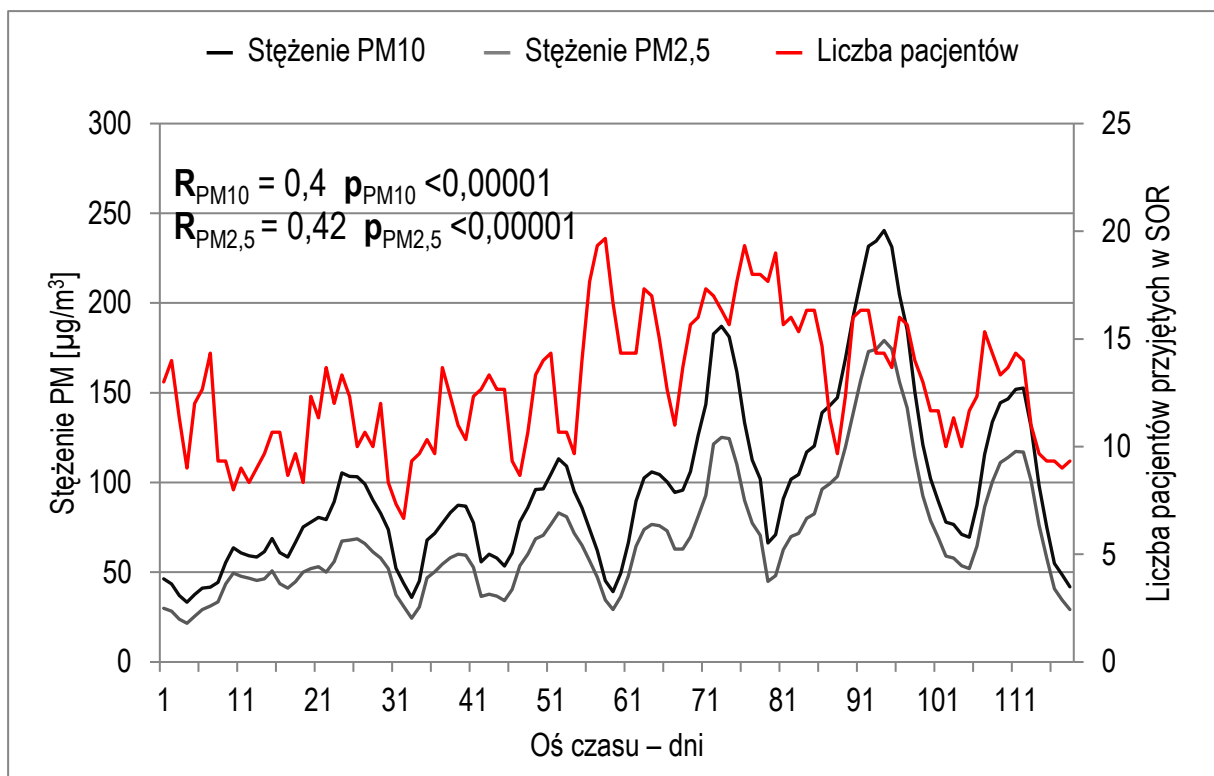
Ryc.40. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2015/2016 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego



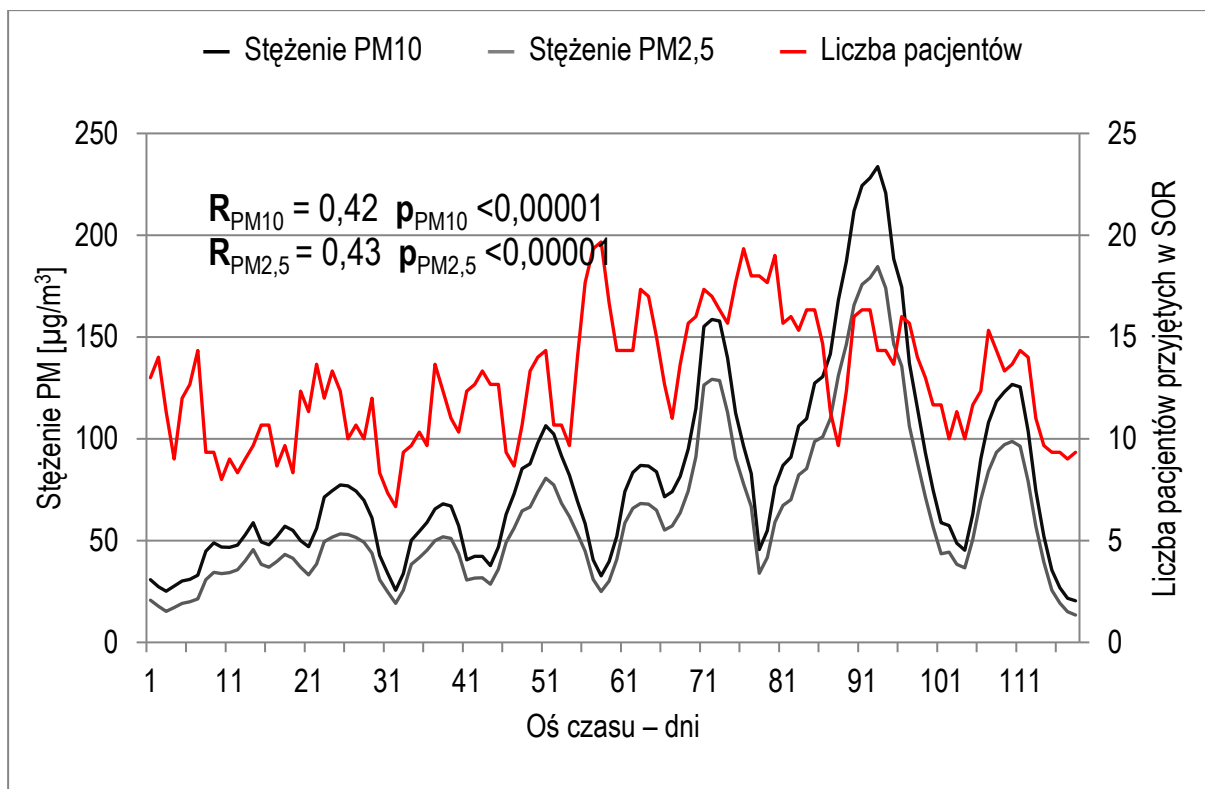
Ryc.41. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2015/2016 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji Kurdwanów

4.1.6. Sezon grzewczy 2016/2017

W badanej podgrupie (zima 2015/2016) znalazło się w sumie 1279 pacjentów. Korelacja pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR wyniosła odpowiednio dla PM10 i PM2,5: $R = 0,4$ i $R = 0,42$, dla stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego. Dla stacji Kurdwanów wyniki były zbliżone i wyniosły dla PM10 $R = 0,42$, a dla PM2,5 $R = 0,43$. Dla wszystkich wymienionych poziom istotności statystycznej p wyniósł $< 0,00001$ (ryc.42 i 43).



Ryc.42. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2016/2017 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego



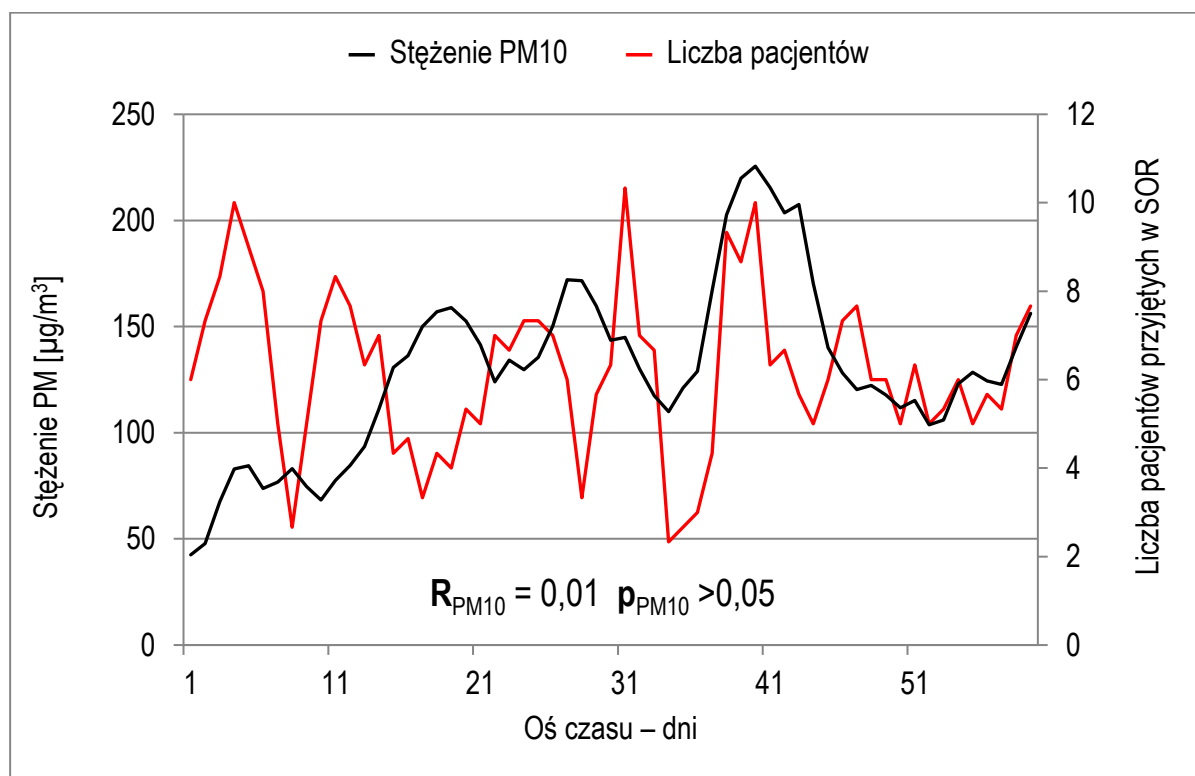
Ryc.43. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2016/2017 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji Kurdwanów

4.2. Wyniki grupy kontrolnej

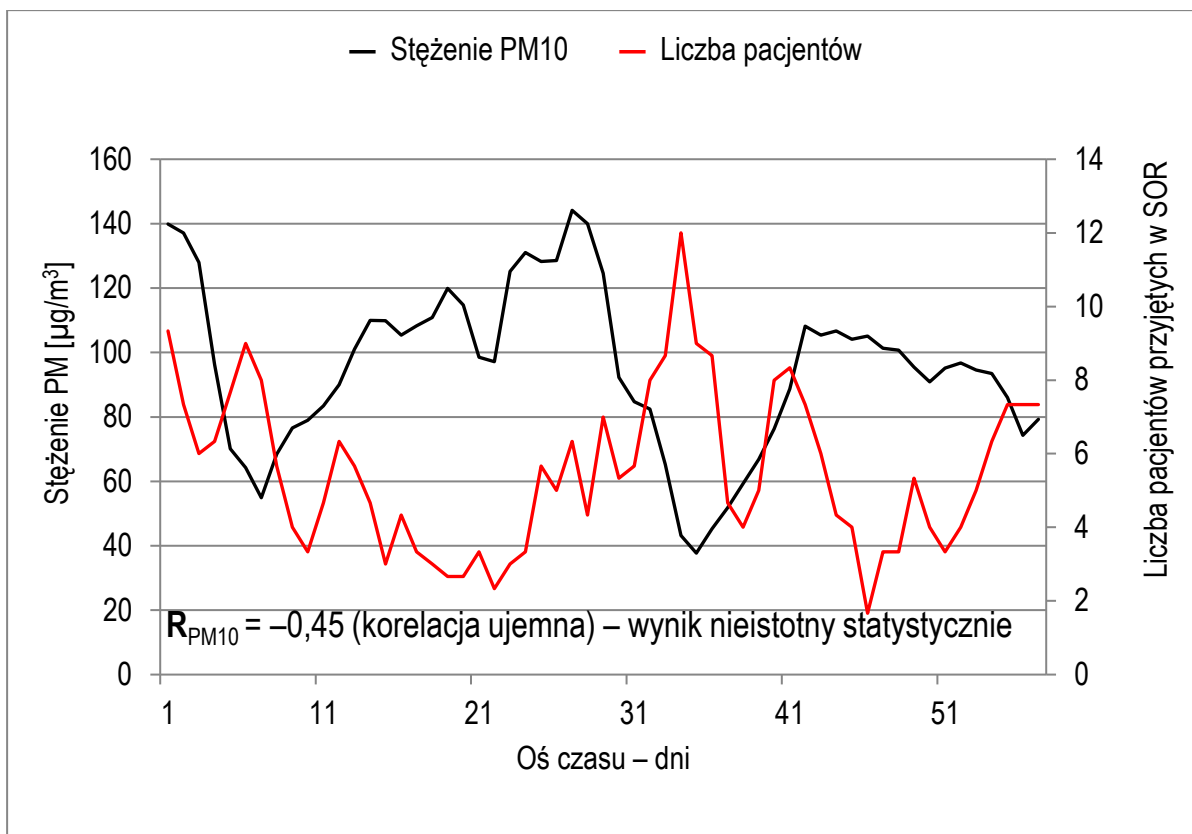
4.2.1. Pacjenci chirurgiczni w okresach zimowych

4.2.1.1. Pacjenci chirurgiczni – zima 2012/2013

W badanej grupie kontrolnej (zima 2012/2013) znalazło się w sumie 711 pacjentów. Korelacja pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR wyniosła dla PM10 $R = 0,01$ – miesiące listopad i grudzień 2012 roku. W miesiącach styczeń i luty 2013 roku wynik dla PM10 wyniósł $R = -0,45$ – w obu okresach brak korelacji istotnej statystycznie (ryc.44 i 45).



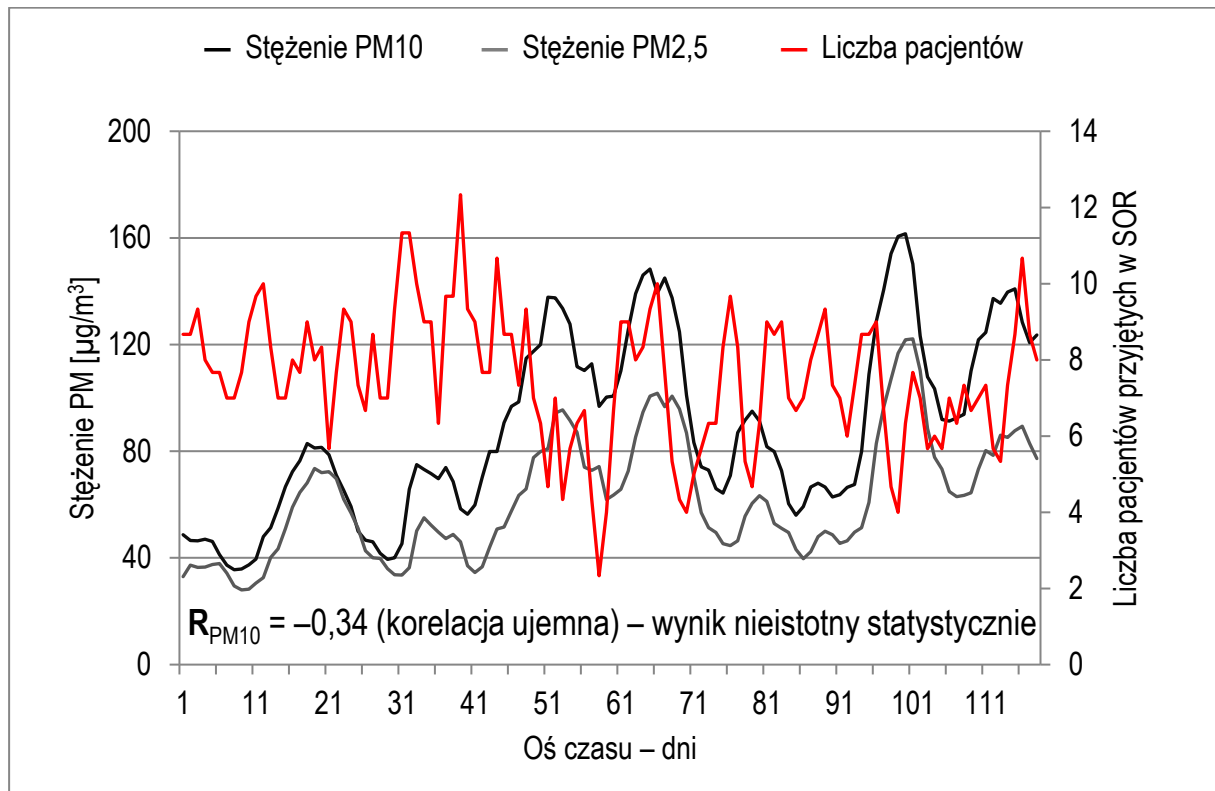
Ryc.44. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – listopad, grudzień 2012 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego



Ryc.45. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych w SOR – styczeń, luty 2013 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.2.1.2. Pacjenci chirurgiczni – zima 2013/2014

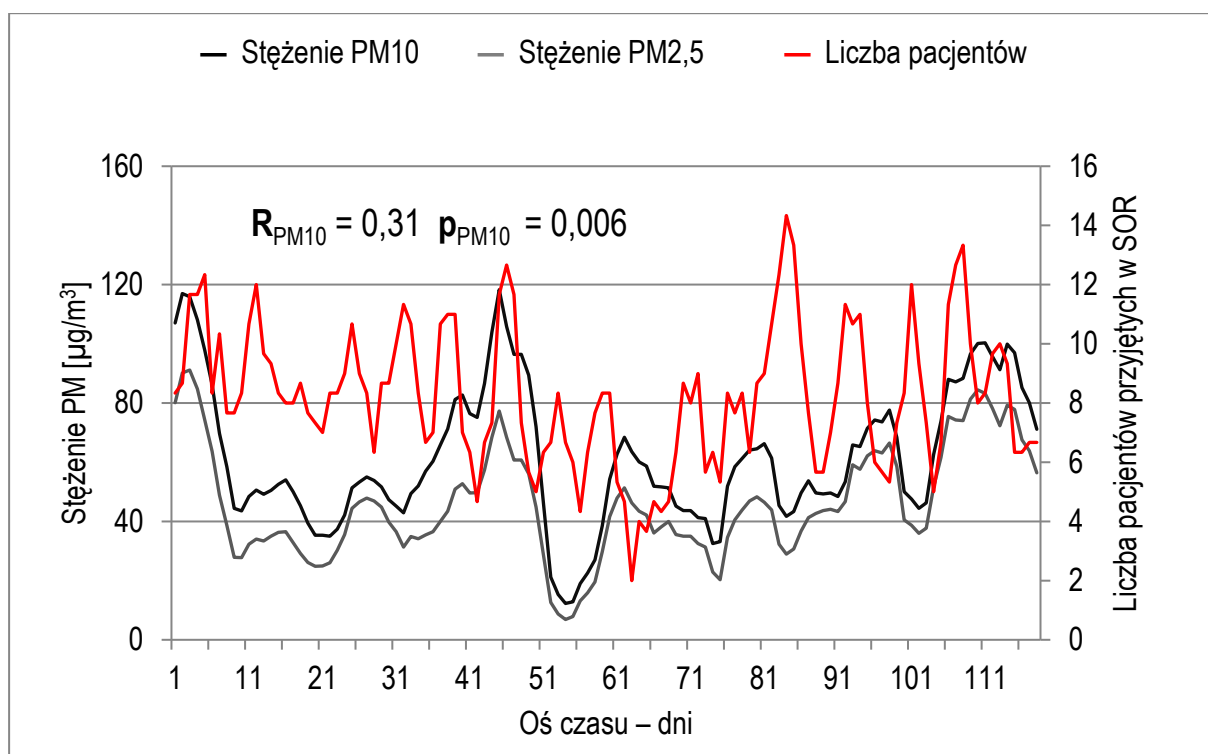
Do badanej grupy kontrolnej (zima 2013/2014) włączono się w sumie 904 pacjentów. Korelacja pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR wyniosła dla PM10 $R = -0,34$ dla stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego; brak korelacji istotnej statystycznie (ryc. 46).



Ryc.46. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

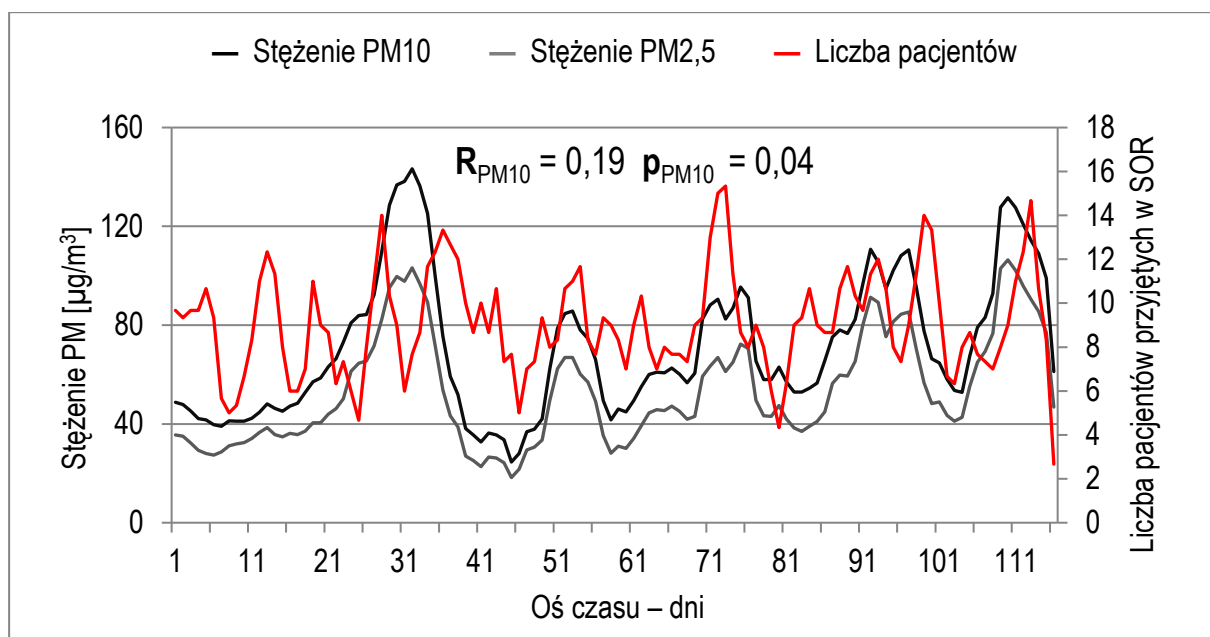
4.2.1.3. Pacjenci chirurgiczni – zima 2014/2015

Do badanych grup kontrolnych okresów zimowych 2014/2015, 2015/2016 i 2016/2017 włączono odpowiednio: 984, 1147 oraz 1077 pacjentów. Korelacja pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR wyniosła dla PM10, odpowiednio do czasookresów: **R = 0,31**, **R = 0,19**, **R = -0,14**. Dla pierwszego wyniku poziom istotności statystycznej **p** wyniósł **0,006** – **wynik istotny statystycznie**, dla drugiego z badanych okresów **0,04** – **wynik graniczny**, trzeci okres – wynik nieistotny statystycznie (ryc.47 – 49).



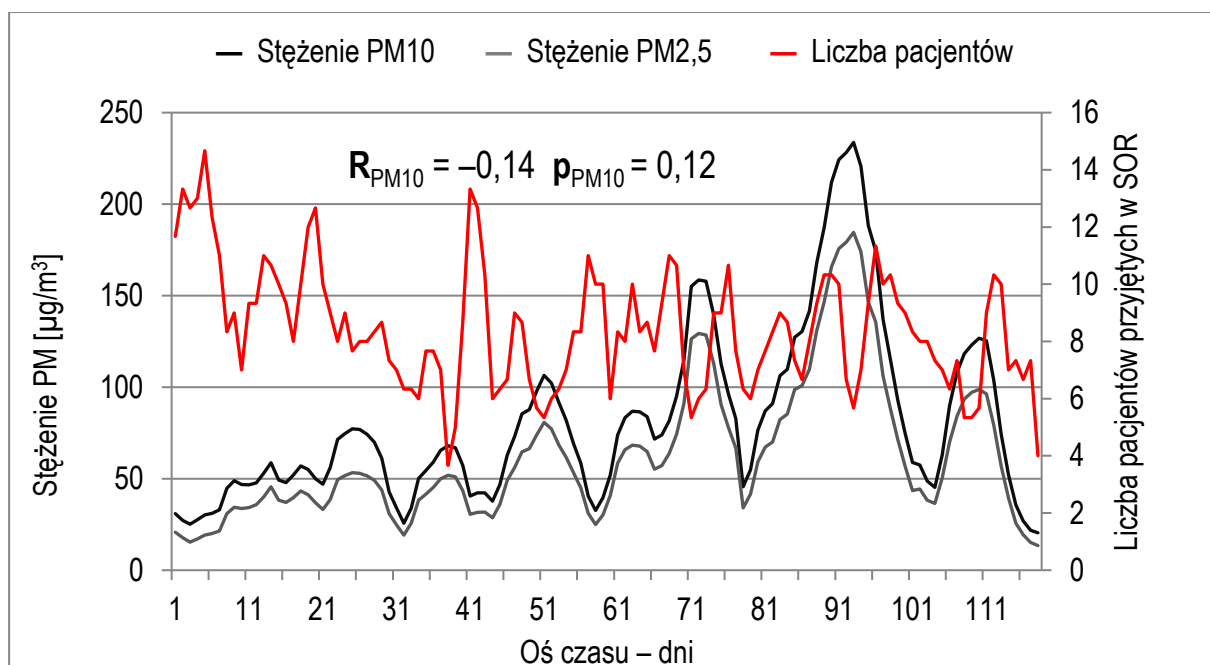
Ryc.47. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasińskiego

4.2.1.4. Pacjenci chirurgiczni – zima 2015/2016



Ryc.48. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – zima 2015/2016 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.2.1.5. Pacjenci chirurgiczni – zima 2016/2017

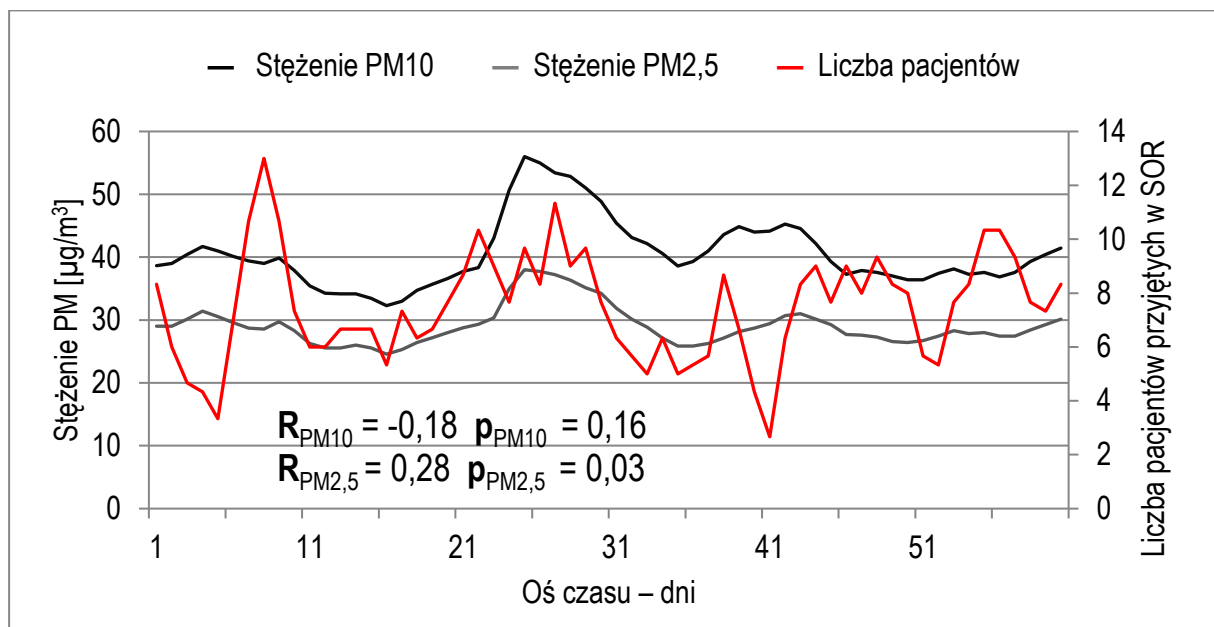


Ryc.49. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – zima 2016/2017 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.2.2. Pacjenci internistyczni w okresach letnich

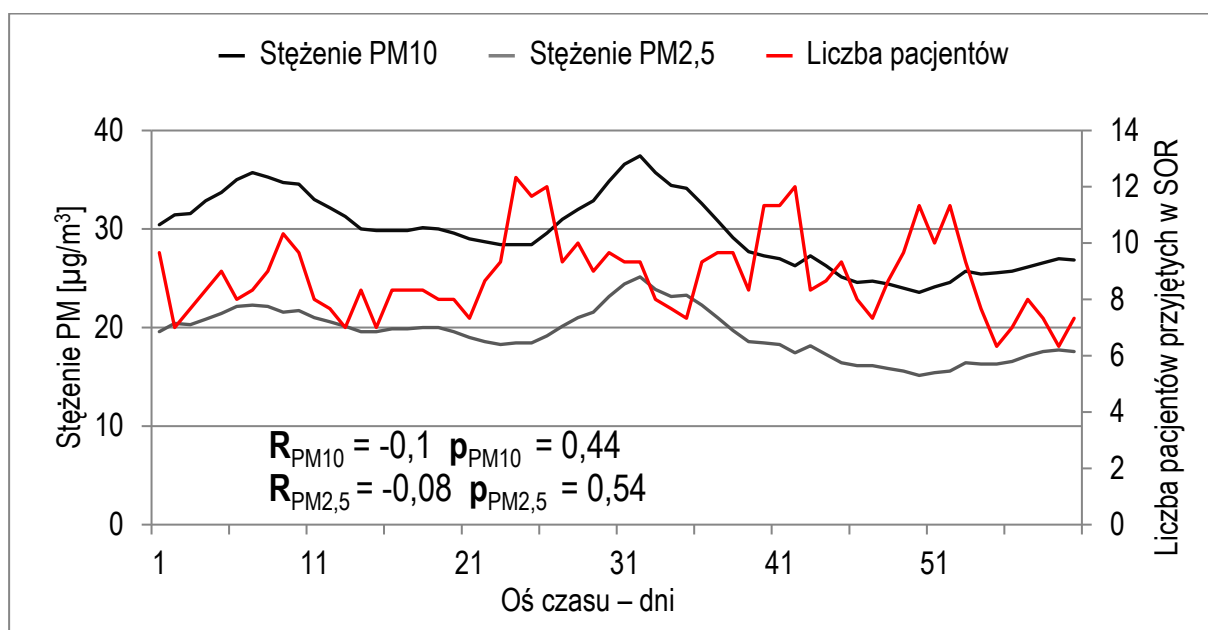
4.2.2.1. Pacjenci internistyczni w okresie letnim 2013

Do badanych grup kontrolnych – pacjentów internistycznych zgłaszających się na SOR w 2-miesięcznych okresach letnich w latach 2013–2016 – włączono 2321 pacjentów. Korelacja (**R**) pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR, zarówno dla PM10, jak i PM2,5, znalazła się w przedziale od **-0,26** do **-0,15** dla stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego. Nie stwierdzono korelacji istotnej statystycznie. Jeden z wyników korelacji, w okresie letnim 2013, dla PM2,5 wyniósł **R = 0,28**, a **p** istotne statystycznie **0,03** (ryc.50 – 53).



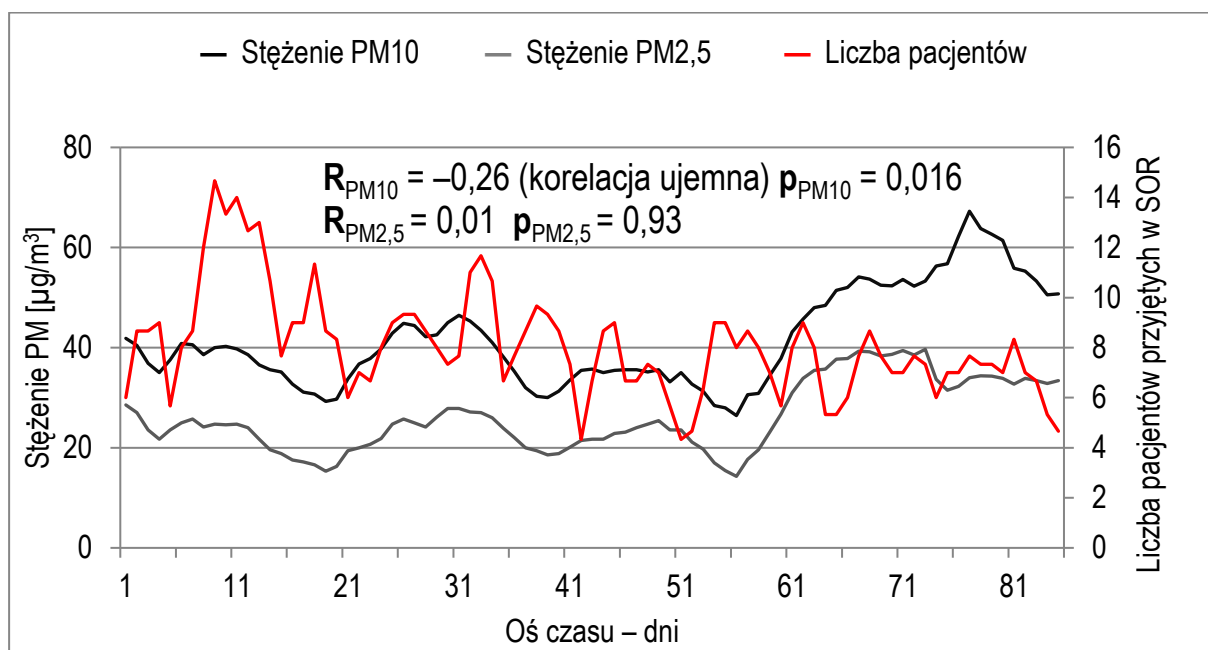
Ryc. 50. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (interna) przyjętych na SOR – lato 2013 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.2.2.2. Pacjenci internistyczni w okresie letnim 2014



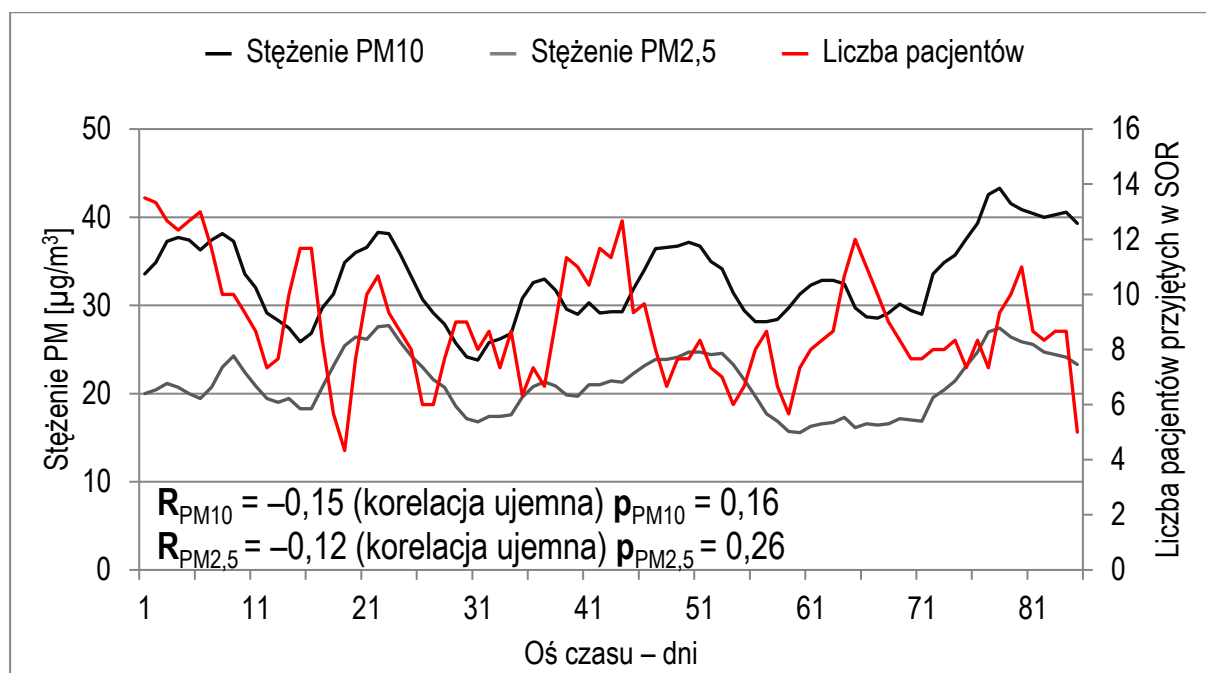
Ryc.51. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (interna) przyjętych na SOR – lato 2014 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.2.2.3. Pacjenci internistyczni w okresie letnim 2015



Ryc.52. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (interna) przyjętych na SOR – lato 2015 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.2.2.4. Pacjenci internistyczni w okresie letnim 2016

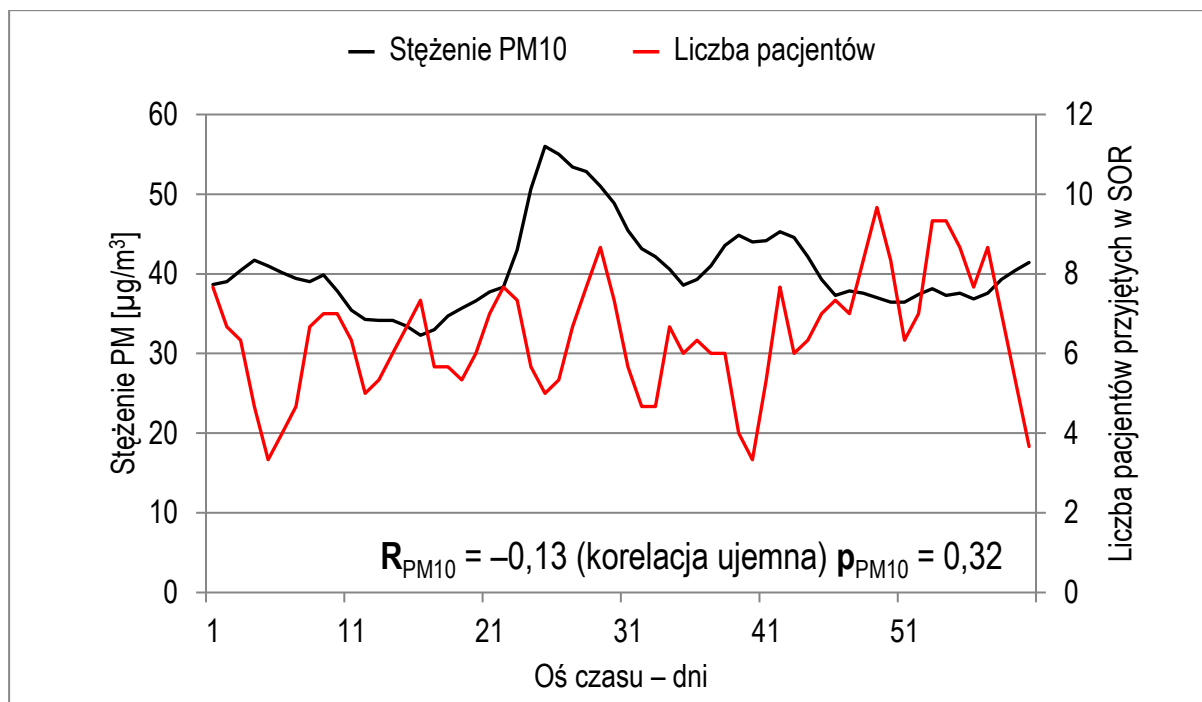


Ryc.53. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (interna) przyjętych na SOR – lato 2016 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.2.3. Pacjenci chirurgiczni w okresach letnich

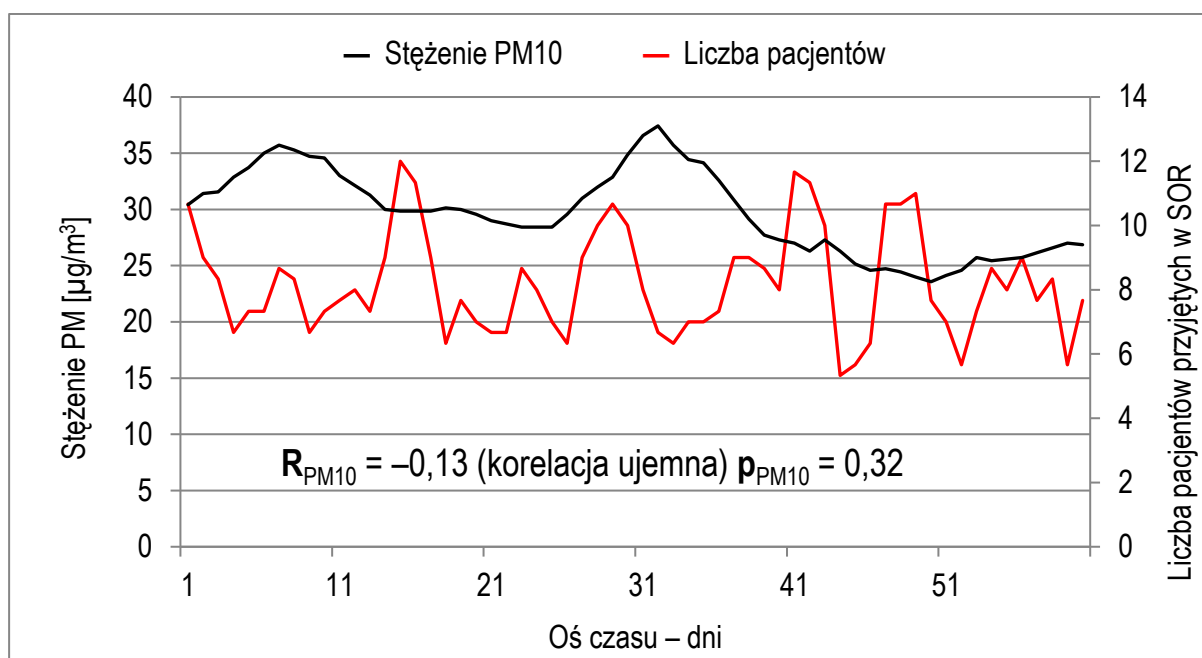
4.2.3.1. Pacjenci chirurgiczni w okresie letnim 2013

Do badanych grup kontrolnych – pacjentów chirurgicznych zgłaszających się na SOR w 2-miesięcznych okresach letnich w latach 2013 i 2014 – włączono 908 pacjentów. Korelacja (**R**) pomiędzy poziomem zanieczyszczenia a liczbą zgłoszeń na SOR dla PM10 wyniosła w obu okresach **-0,13** dla stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego. Nie stwierdzono korelacji istotnej statystycznie (ryc.54 i 55).



Ryc.54. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – lato 2013 roku; stężenia PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.2.3.2. Pacjenci chirurgiczni w okresie letnim 2014



Ryc.55. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – lato 2014 roku; stężenia PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.3. Wyniki badań w grupach: kobiet oraz mężczyzn

W 4 okresach „grzewczych” 2013/2014–2016/2017 badaniu poddano także rozdział płciowy pacjentów, co miało na celu sprawdzenie, jak zanieczyszczenie powietrza wpływa na kobiety i na mężczyzn. Badana była korelacja liczby zgłoszeń ze stężeniem PM10 z jednej stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego. Wyniki z zimy 2013/2014 przedstawiają się następująco. Wśród kobiet wynik korelacji wyniósł $R = 0,2$, wśród mężczyzn $R = 0,3$, a poziom istotności statystycznej p wyniósł odpowiednio **0,028** i **0,0008**.

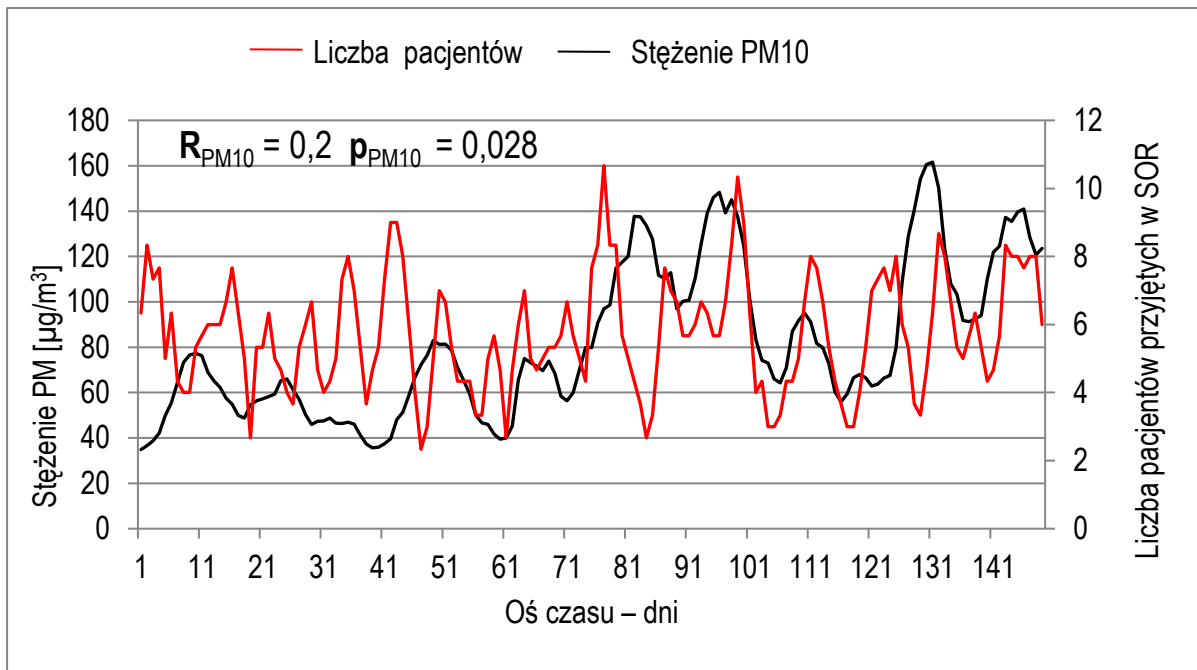
Zima 2014/2015 przyniosła następujące wyniki: u kobiet $R = 0,18$, $p = 0,04$, a u mężczyzn $R = 0,08$ i nie stwierdzono korelacji istotnej statystycznie.

W okresie zimowym 2015/2016 w grupie kobiet nie odnotowano korelacji istotnej statystycznie, zaś u mężczyzn przeciwnie - korelację istotną ($R = 0,28$), której poziom p wyniósł **0,002**.

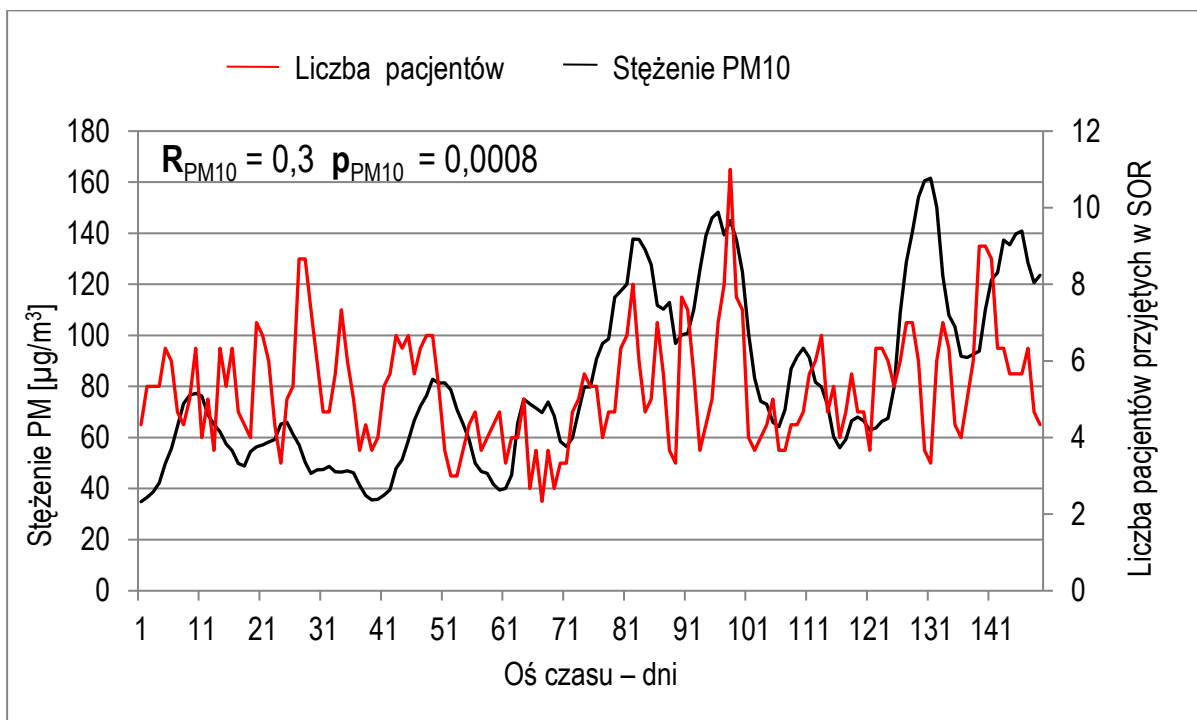
Wyniki korelacji obu grup były dodatnie i istotne statystycznie ($p < 0,05$) w okresie zimowym 2016/2017: kobiety $R = 0,38$, mężczyźni $R = 0,26$ (ryc.56.–63.).

4.3.1. Sezon grzewczy 2013/2014

Poniżej wykresy przedstawiające zależność liczby przyjętych w SOR kobiet oraz mężczyzn od średniej stężenia PM10 w okresie zimowym 2013/2014 r.



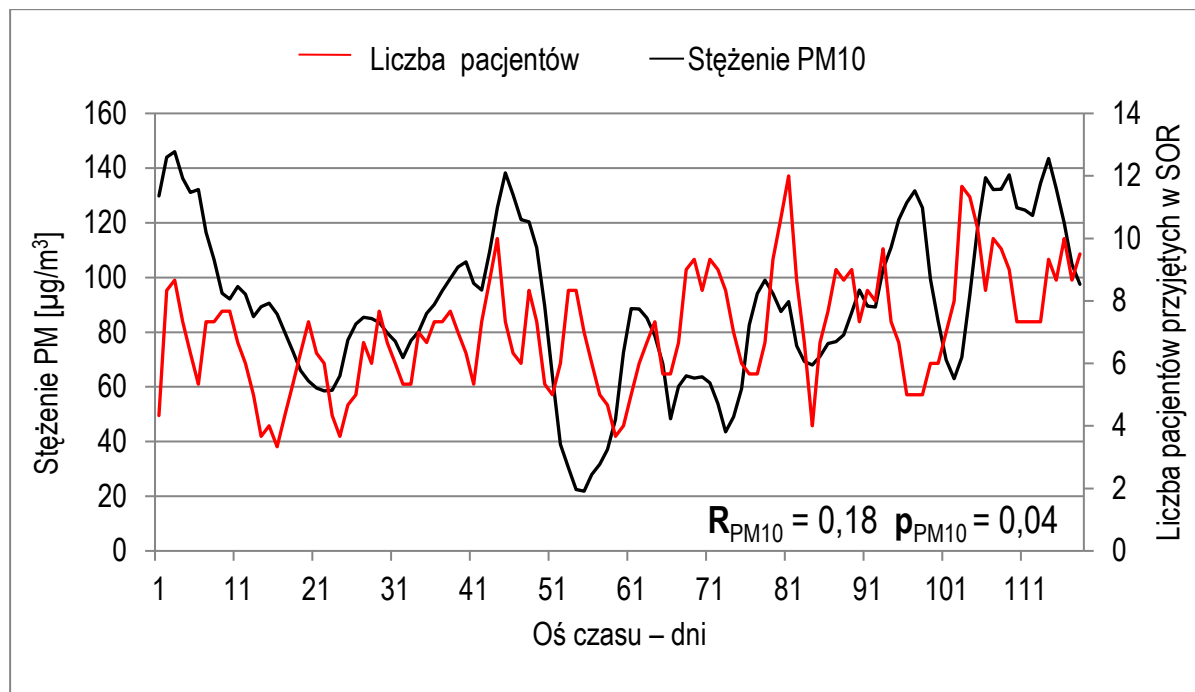
Ryc.56. Liczba pacjentów – kobiet przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego



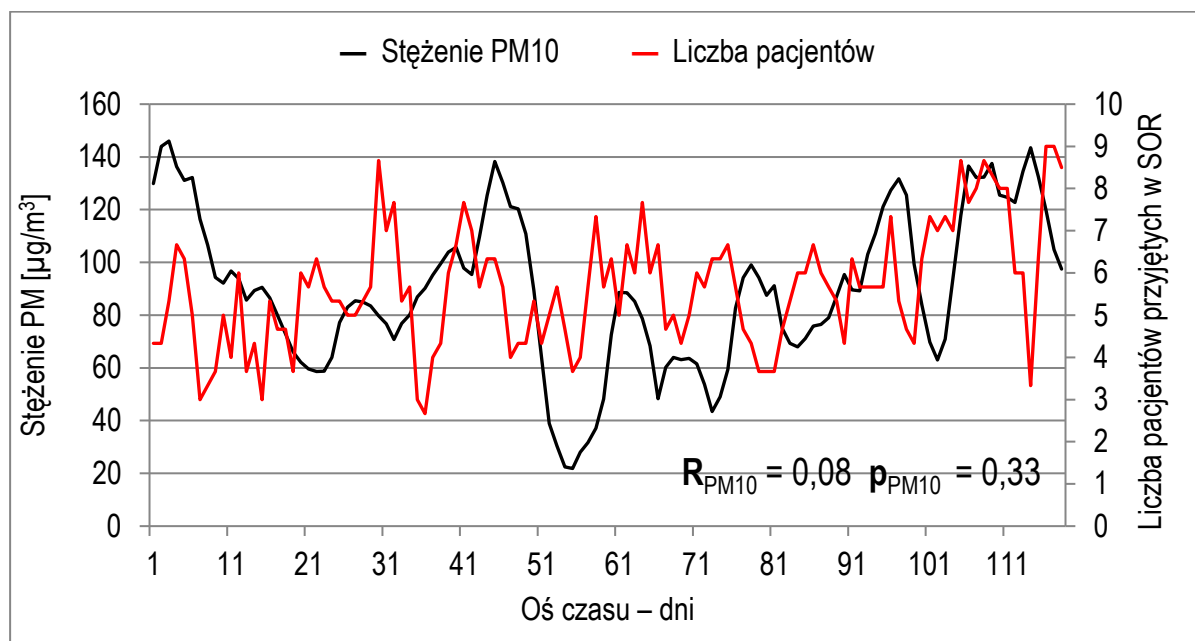
Ryc.57. Liczba pacjentów – mężczyzn przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.3.2. Sezon grzewczy 2014/2015

Poniżej wykresy przedstawiające zależność liczby przyjętych w SOR kobiet oraz mężczyzn od średniej stężenia PM10 w okresie zimowym 2014/2015 r.



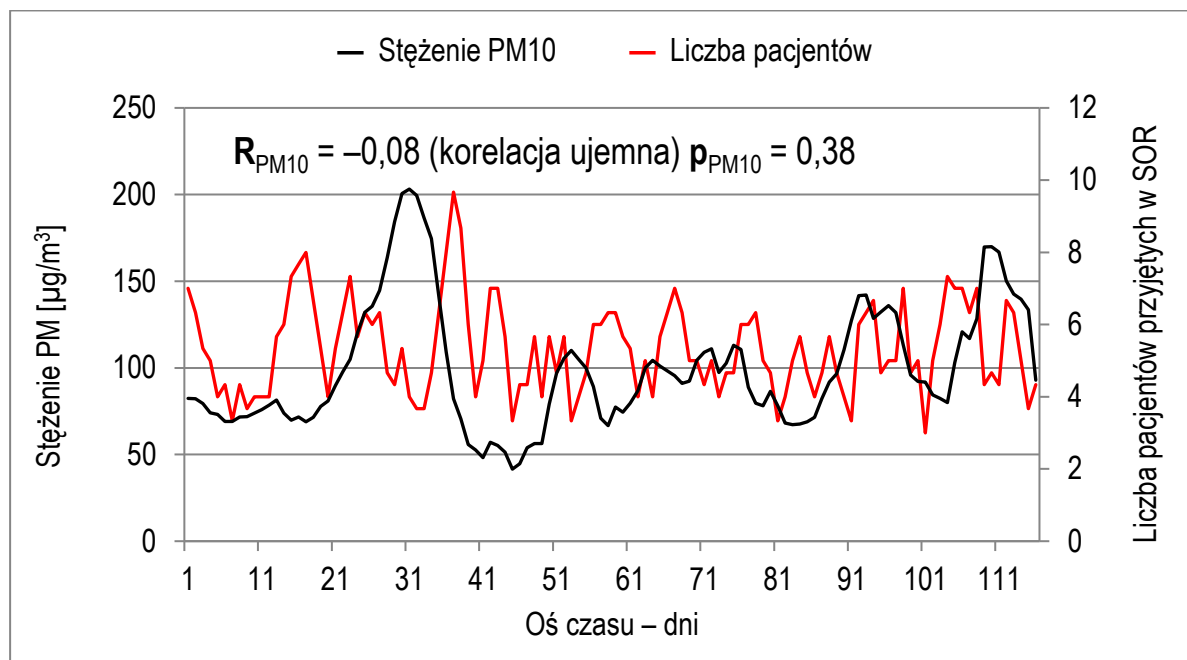
Ryc.58. Liczba pacjentów – kobiet przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego



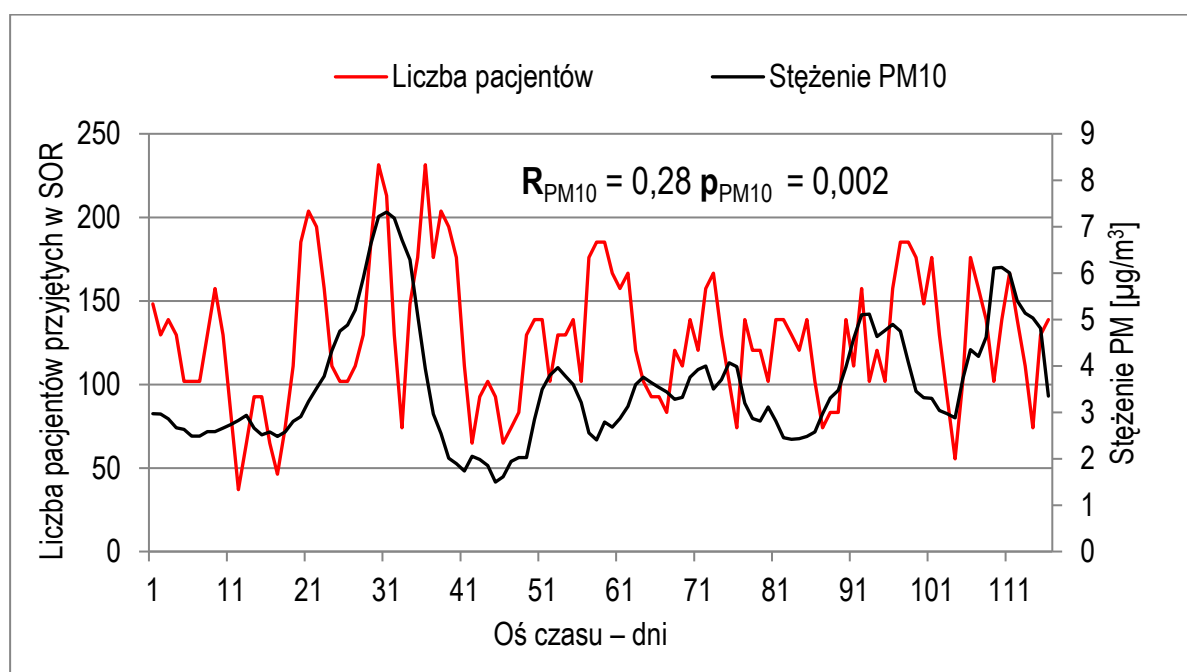
Ryc.59. Liczba pacjentów – mężczyzn przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.3.3. Sezon grzewczy 2015/2016

Poniżej wykresy przedstawiające zależność liczby przyjętych w SOR kobiet oraz mężczyzn od średniej stężenia PM10 w okresie zimowym 2015/2016 r.



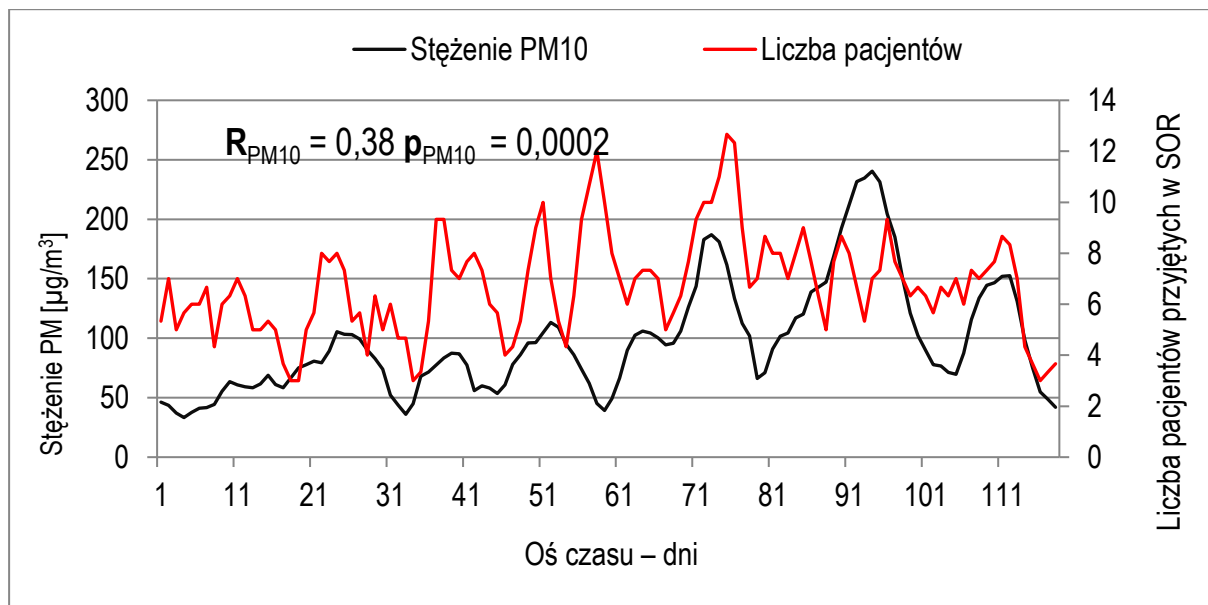
Ryc.60. Liczba pacjentów – kobiet przyjętych w SOR – zima 2015/2016 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego



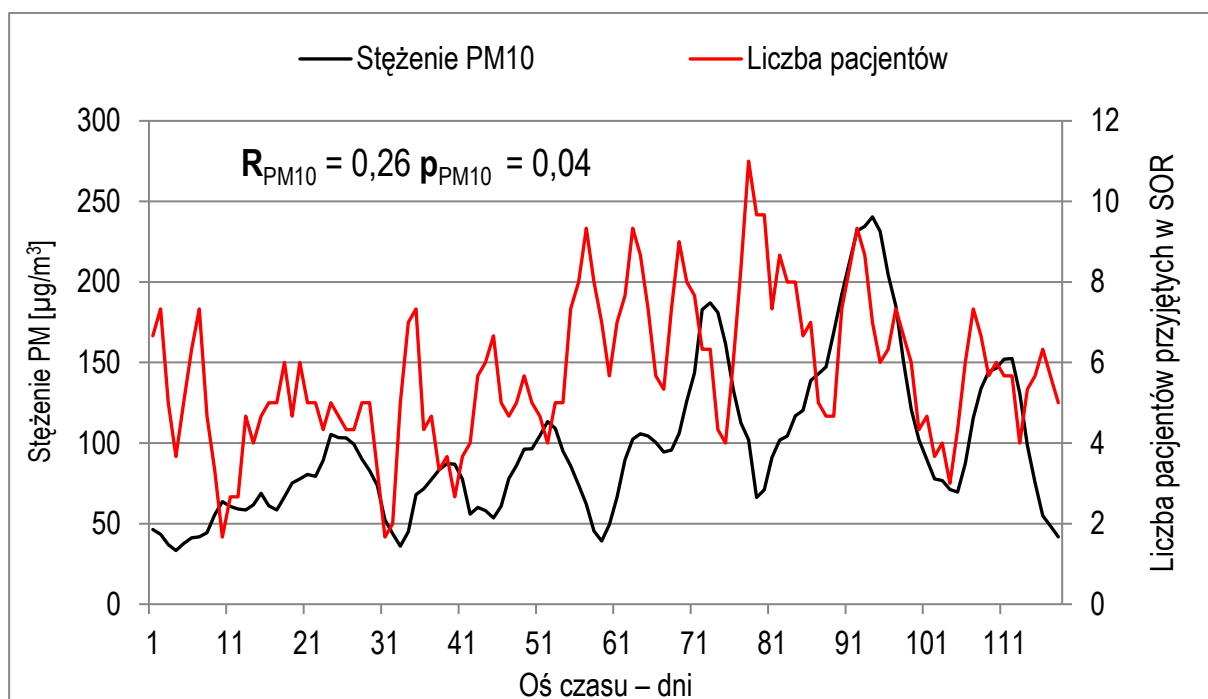
Ryc.61. Liczba pacjentów – mężczyzn przyjętych na SOR – zima 2015/2016 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.3.4. Sezon grzewczy 2016/2017

Poniżej wykresy przedstawiające zależność liczby przyjętych w SOR kobiet oraz mężczyzn od średniej stężenia PM10 w okresie zimowym 2016/2017 r.



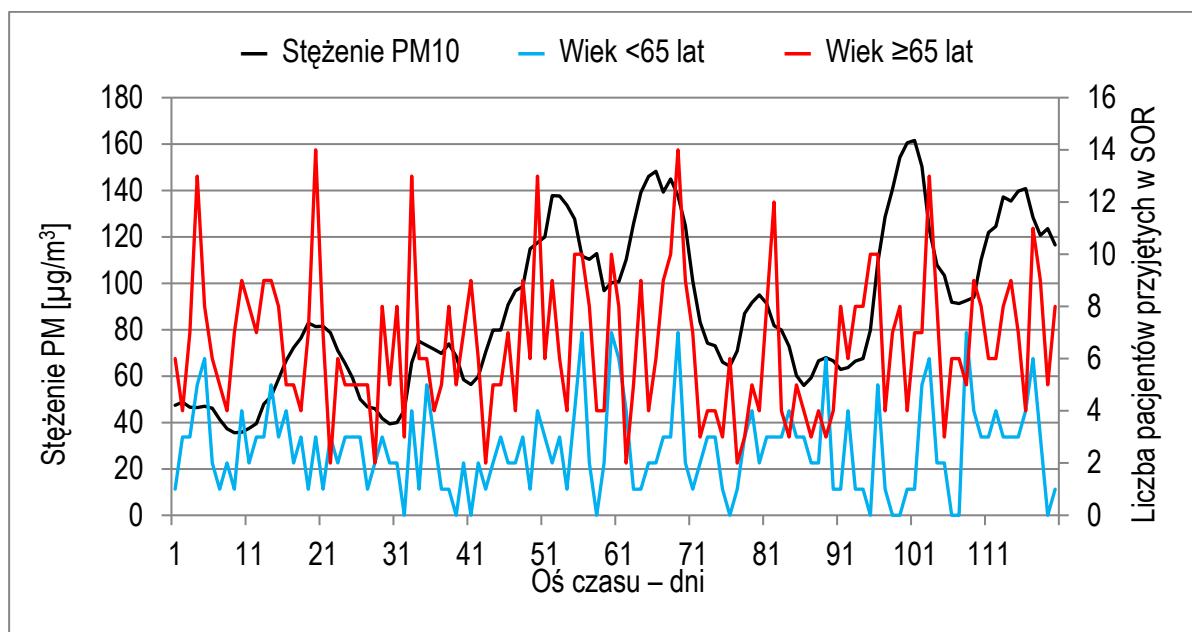
Ryc.62. Liczba pacjentów – kobiet przyjętych na SOR – zima 2016/2017 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego



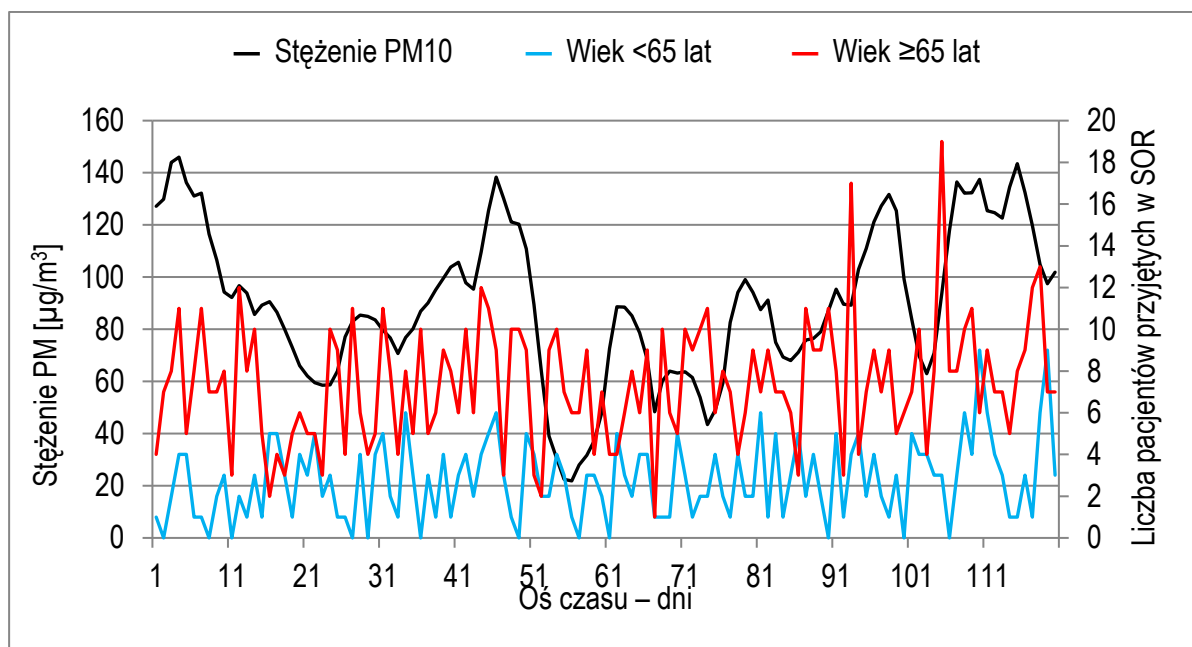
Ryc.63. Liczba pacjentów – mężczyzn przyjętych na SOR – zima 2016/2017 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

4.4. Wyniki badań korelacji w zależności od wieku pacjentów

Poniżej wykresy przedstawiające zależność liczby przyjętych w SOR pacjentów, w różnych przedziałach wiekowych, od średniej stężenia PM10 w okresach zimowym 2013/2014 r. i 2014/2015r. oraz wyniki tych korelacji.



Ryc.64. Liczba pacjentów – w wieku <65 lat i ≥ 65 lat przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego



Ryc.65. Liczba pacjentów – w wieku <64 lat i >65 lat przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenie PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Wyniki części badania dotyczącej wieku pacjentów przyjętych na SOR przedstawiono w tabelach 12 i 13 oraz na rycinach 64 i 65.

Tab. 12. Wyniki korelacji liczby zgłoszeń do szpitala i zanieczyszczenia powietrza dla poszczególnych grup wiekowych; okres badania: zima 2013/2014

Wiek	≤64	65–84	≥85	>65
Liczba pacjentów	305	540	242	782
Korelacja (R)	0,06	0,16	0,1	0,19
Poziom istotności statystycznej (p)	0,5	0,08	0,27	0,03

Tab. 13. Wyniki korelacji liczby zgłoszeń do szpitala i zanieczyszczenia powietrza dla poszczególnych grup wiekowych; okres badania: zima 2014/2015

Wiek	≤64	65–84	≥85	>65
Liczba pacjentów	332	662	225	887
Korelacja (R)	0,1	0,03	0,27	0,15
Poziom istotności statystycznej (p)	0,27	0,7	0,002	0,08

Przedstawione dane pochodzące z dwóch sezonów zimowych (2013/2014 oraz 2014/2015) wskazują na wyraźnie większy wpływ zanieczyszczenia powietrza na osoby starsze. Korelacja jest dodatnia zarówno u osób przed, jak i po 65. roku życia, ale większa w drugiej – starszej grupie. Wynik **R** wyniósł odpowiednio 0,19 oraz 0,15, a w grupie młodszej – 0,06 i 0,1.

5. Dyskusja

W rozprawie przedstawiono wyniki badania dotyczącego wpływu zanieczyszczenia powietrza na zdrowie dorosłych mieszkańców Krakowa i podkrakowskich miejscowości. Celem badania było udokumentowanie oddziaływania smogu na kondycję zdrowotną tej populacji, a dokładnie jak stężenie pyłów zawieszonych o średnicy odpowiednio $< 2,5$ i $< 10 \mu\text{m}$, wpływa na liczbę zaostrzeń chorób przewlekłych oraz wystąpienia nowych zachorowań. W badaniu uwzględniono choroby układu oddechowego i sercowo-naczyniowego, w tym udary mózgu. Analizowano zależność dwóch wymienionych wcześniej zmiennych liczbowych: średnio dobowego stężenia pyłów (PM) i liczby interwencji szpitalnych na Szpitalnym Oddziale Ratunkowym. Dane liczbowe zgłoszeń na SOR pozyskano z systemu komputerowego, szpitala oraz z oficjalnej i ogólnodostępnej strony internetowej Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Krakowie. Jednostką badaną były kolejne dni okresu grzewczego i okresu letniego. Skupiono się na związku pomiędzy 7-dniowymi średnimi kroczącymi stężeń pyłów zawieszonych a 3-dniowymi średnimi liczbami pacjentów zgłaszających się na SOR SU. Uwzględniano pacjentów dorosłych cierpiących na choroby internistyczne: niewydolność serca, nadciśnienie tętnicze, ostry zespół wieńcowy, zaburzenia rytmu serca, zakażenia układu oddechowego, niewydolność oddechową, astmę i POChP. Do grupy kontrolnej włączono pacjentów chirurgicznych z dolegliwościami bólowymi brzucha, ostrym brzuchem oraz niezłym przewodem pokarmowego.

5.1. Podsumowanie wyników

Retrospektywne dane pochodziły z 6 lat, począwszy od 1 listopada 2012 roku do ostatniego dnia lutego 2017 roku. Wyodrębniono okresy obserwacji: zimowe z największym zanieczyszczeniem powietrza oraz letnie z niskim poziomem zanieczyszczenia. Stanowiły one w sumie 29 miesięcy, tj. 874 dni obserwacji. W tym czasie na SOR zgłosiło się, było skierowanych lub przywiezionych przez Krakowskie Pogotowie Ratunkowe 14405 chorych, których następnie włączono do grup badanej i kontrolnej. W grupie badanej znalazło się 6353 pacjentów, w grupie kontrolnej „zimowej” – 4823, a w grupie kontrolnej z okresu letniego – 3229. W analizie statystycznej posłużono się korelacją Pearsona. Korelowano średnie stężenia pyłów PM_{2,5} i PM₁₀ z 7 dni poprzedzających zgłoszenie się na SOR z liczbami zgłoszeń.

W okresie zimowym 2012/2013 badanie podzielono na 2 2-miesięczne okresy z uwagi na problemy techniczne szpitalnego systemu komputerowego na przełomie roku. W liczbach odzwierciedlało się to w nagłym niemal 70% spadku liczby chorych z rozpoznanymi wszystkimi wymienionymi jednostkami chorobowymi, co w przypadku tak dużego rejonu jest niemożliwe. Dwa dni awarii, a następnie włączenie do badania danych pochodzących z tego okresu, mogłoby spowodować brak wiarygodności wyników statystycznych. Dlatego też pierwszy okres zimowy analizowano w 2 oddzielnych częściach. Zarówno w ciągu pierwszych 2 miesięcy obserwacji (listopad, grudzień 2012), jak i 2 kolejnych (styczeń, luty 2013) wyniki badania wskazały na istotny związek zgłoszeń z powodów internistycznych ze stężeniami pyłów zawieszonych. Wynik korelacji Pearsona (R) dla pierwszego okresu wyniósł dla frakcji PM₁₀, odpowiednio dla stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego i Osiedla Kurdwanów 0,54 i 0,49, a dla frakcji PM_{2,5} – 0,52 i 0,50. w przypadku wszystkich wyników p wyniosło <0,00001. W ciągu kolejnych 2 miesięcy wynik korelacji – R wyniósł 0,31 dla PM₁₀ i 0,29 PM_{2,5} dla pomiarów ze stacji przy al. Krasieńskiego. W przypadku drugiej stacji pomiarowej R dla PM₁₀ wyniosło 0,29, zaś PM_{2,5} – 0,15. W ostatniej z analizowanych korelacji wynik, choć przy wzrostowej tendencji, nie był istotny statystycznie. W pozostałych przypadkach poziom istotności p wahał się w granicach od <0,00001 do 0,015. W okresie grzewczym, w zimie 2013/2014 czas badania trwał 5 miesięcy – do końca marca 2014 roku. Wyniki potwierdziły założoną wstępnie tezę, a wszystkie korelacje okazały się dodatnie. Uzyskano bardzo zbliżone, niemal identyczne wartości, a przedstawiają się one następująco: dla stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego, zarówno dla PM₁₀, jak i PM_{2,5}, R wyniosło 0,34, dla drugiej stacji odpowiednio 0,35 i 0,36. Poziom istotności, podobnie jak przy wcześniejszych wynikach, wyniósł p < 0,00001. Kolejny sezon zimowy przełomu 2014 i 2015 roku objął 120 dni obserwacji. Cały 4-miesięczny czasookres został włączony do badania, bez zakłóceń ze strony technicznej. Odpowiednio wyniki korelacji i poziom istotności z pierwszej wymienianej wcześniej stacji pomiarowej dla frakcji pyłów PM₁₀ i PM_{2,5} wyniosły 0,34 i 0,23 oraz p 0,00014 i 0,011 – czyli oba wyniki były istotne statystycznie. Korelacja na podstawie danych ze stacji Kurdwanów okazała się nieco mocniejsza (PM₁₀ – R = 0,36; PM_{2,5} – R = 0,41), z istotną zależnością statystyczną - p <0,00001. W kolejnym sezonie 4 miesiące obserwacji zimy 2015/2016 przyniosły spodziewane wyniki korelacji Pearsona. Wykazano związek poziomu zanieczyszczenia z liczbą zachorowań. Współczynnik R wyniósł we wszystkich 4 przypadkach (obie stacje pomiarowe oraz frakcje PM₁₀ i PM_{2,5}) 0,35 – 0,36. W kolejnym, ostatnim badanym okresie

(miesiącach zimowych 2016/2017) korelacja okazała się mocniejsza i wyniosła ponad 0,4. Dla obu stacji pomiarowych oraz obu frakcji pyłów w ciągu 4-miesięcznej obserwacji poziom istotności statystycznej był podobny i wyniósł $p < 0,00001$.

Grupa kontrolna włączona do analizy statystycznej obejmowała chorych chirurgicznych w okresach zimowych – analogicznych jak w przypadku grupy badanej oraz chorych internistycznych oraz chirurgicznych w okresach letnich. Wyniki korelacji uzyskane zimą w grupie kontrolnej dotyczyły zależności między liczbą chorych a poziomem zanieczyszczenia pyłem PM10 (odczyty z jednej stacji pomiarowej przy al. Krasieńskiego). Wyniki, w sumie 6, w przeciwieństwie do grupy badanej, nie były jednoznaczne. Większość obliczonych statystycznie korelacji ujawniła brak istotnej statystycznie zależności – współczynnik R mieścił się w przedziale od -0,45 do 0,1. Spośród otrzymanych wyników 2 były odmienne: pierwszy przedstawiał istotność statystyczną ($R = 0,31$; $p = 0,006$), a drugi był granicznie istotny ($R = 0,19$; $p = 0,05$). Można to wyjaśnić na podstawie prawdopodobnej wspólnej patofizjologii dolegliwości zgłaszających się w tym czasie na SOR pacjentów (ból brzucha związane z niedokrwieniem jelit wtórnym np. do zespołu małego rzutu, napadu migotania przedsionków lub zastoju w krążeniu systemowym z możliwym powiększeniem wątroby prowadzącym do dyskomfortu w jamie brzusznej). W przypadku grup kontrolnych z okresu letniego dokonano analizy 10 zależności zmiennych: w grupie internistycznej – 8 i w grupie chirurgicznej – 2. Spośród wszystkich badanych korelacji 9 okazało się nieistotnych statystycznie. Wynik korelacji dla PM10 w grupie internistycznej letniej był dodatni i istotny statystycznie.

Dalsza analiza statystyczna dotyczyła wpływu poziomu zanieczyszczenia powietrza na organizm zależnie od płci. Do badania włączono 4 okresy zimowe, pomijając problematyczny 2012/2013. W każdym dane odnośnie do przyjęć na SOR podzielono pod względem płci pacjentów. W korelacji uwzględniono tylko średnią stężenie frakcji PM10 z jednej stacji pomiarowej. Wyniki statystyczne są niejednoznaczne. Tym samym na ich podstawie trudno jest określić różnice w negatywnym oddziaływaniu smogu na zdrowie kobiet i mężczyzn.

W ostatniej części badania podjęty został temat zdrowia seniorów. W podziale na grupy wiekowe uczestników posłużono się następującym schematem: pacjenci ≤ 64 roku życia, ≥ 65 . roku życia oraz ≥ 85 . roku życia. Wyniki wskazują na pewną tendencję zależną od wieku. Dotyczy ona większego wpływu zanieczyszczenia powietrza na zaostrzenia chorób u starszych osób i wpływ ten wyraźnie się zwiększa wraz z wiekiem pacjentów. Najwyraźniej widać tę różnicę w porównaniu wartości 2 korelacji: Pierwszej – poziomu zanieczyszczenia z

liczbą chorych ≤ 65 . roku życia rejestrowanych na SOR oraz drugiej – z liczbą chorych ≥ 65 . roku życia. Dość oczywisty wydaje się wynik wskazujący na większą podatność na zmiany w jakości powietrza występującą w grupie starszych pacjentów.

5.1.1. Trudności oraz mocne i słabe strony analizy statystycznej

Niezgodne z założeniem badania rezultaty mogą mieć związek z kilkoma różnymi czynnikami. Głównym utrudnieniem był charakter pracy, która opierała się na analizie retrospektywnej. Inne wspomniane szerzej w dalszej części, to czynnik ludzki oraz problemy techniczne, na które – z racji charakteru pracy (retrospektywna) – autor nie miał wpływu. Tylko w niektórych sytuacjach można wyeliminować dyskusyjne lub prawdopodobnie fałszywe dane i nie włączać ich do badania – tak postąpiono z informacjami pochodzącymi z dni, gdy nastąpiła awaria systemu komputerowego (okres grzewczy 2012/2013). W ich przypadku istniała pewność, że wartości są błędne i są wynikiem problemów technicznych lub błędu człowieka.

W pierwszej kolejności wyniki niezgodne z założeniami pracy można tłumaczyć niewłaściwie ustalonymi przez lekarzy prowadzących rozpoznaniem medycznymi odnotowanymi przy wypisie pacjenta z oddziału ratunkowego. Na czele listy błędów jest stawianie takiej diagnozy końcowej według nomenklatury ICD-10, jak: rozpoznania z grupy Z03, czyli „obserwacja w kierunku podejrzewanych chorób i stanów” lub R53 – „złe samopoczucie, zmęczenie”. Często formułowane są one niezależnie od rodzaju dolegliwości, zwłaszcza przez młodych, mniej doświadczonych lekarzy. Może to być także związane z trybem i charakterem pracy na oddziale ratunkowym, dużą liczbą pacjentów, a nawet z brakiem czasu na znajdowanie rozpoznań w komputerowej bazie. Wspomniane ogólne diagnozy znane są niemal wszystkim lekarzom, natomiast ci z dłuższym stażem pracy, bardziej doświadczeni, znają większość kodów chorób, zwłaszcza tych podstawowych i włączonych do niniejszej pracy. Procent „młodych” lekarzy, krótko pracujących na SOR SU jest bardzo niewielki. Kolejną przyczyną może być powtarzanie rozpoznania wstępnego początkowo nadawanego przez rejestrację SOR jako diagnozy ostatecznej. Błędne rozpoznania mogą być ustalane w przypadku pacjentów zgłaszających się z licznymi obciążeniami i dolegliwościami, jak np.: współistniejące ból nadbrzusza i ból w klatce piersiowej; nadciśnienie tętnicze związane z dolegliwościami bólowymi brzucha, głowy czy bólami zamostkowymi; biegunka z następowym po niej zmniejszeniem stężenia elektrolitów,

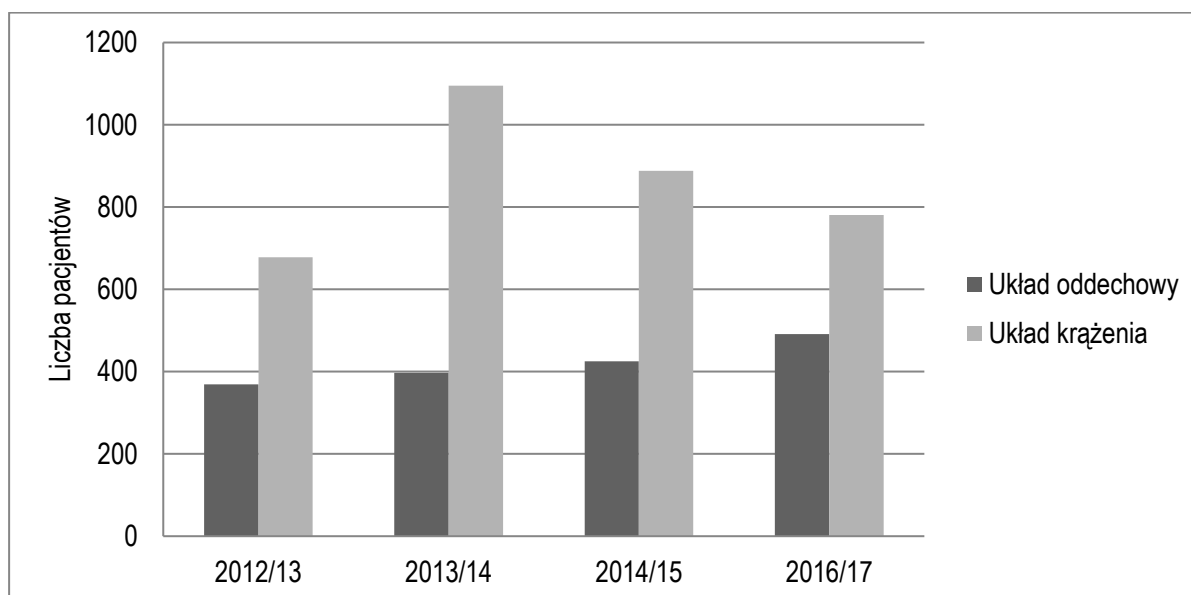
w tym potasu i magnezu, a ostatecznie prowadzącym do zaburzeń rytmu serca – migotania lub trzepotania przedsionków; wodobrzusze z bólem brzucha, ale także z towarzyszącą dusznością. To najczęściej spotykane jednostki chorobowe maskujące się nawzajem, wywołujące kolejne objawy i dolegliwości oraz powikłania.

Brak korelacji, przy założonej tezie zależności zachorowań od poziomu zanieczyszczenia powietrza pyłami, może się także wiązać z błędami odczytów w stacjach pomiarowych na terenie Krakowa. Przykładem z ostatnich dni, tj. z listopada 2018 roku, może być sytuacja, kiedy stacja pomiarowa „Złoty Róg” okresowo pokazywała bardzo zawyżone wyniki w stosunku do pozostałych stacji pomiarowych, a przyczyną tego było zanieczyszczenie urządzeń pomiarowych pyłem pochodzącym z remontu ulicy, dokładniej – powstającym podczas cięcia asfaltu; pył ten był także unoszony przez wzmożony w tej okolicy ruch kołowy ciężkich maszyn roboczych. Oczywiście zdarzały się także sytuacje, kiedy dochodziło do zawieszenia się systemu komputerowego i zablokowania urządzeń na kilka godzin i tym samym ostatecznie do błędnie wyliczonego średniego dobowego stężenia pyłów PM10 czy PM2,5. Często dotyczyło to jednego mierzonego parametru, jednej frakcji pyłu lub jednej substancji lotnej. Może to w pewien sposób tłumaczyć niezgodność korelacji i różnice w istotności statystycznej w przypadku frakcji PM10 i PM2,5 w tym samym badanym okresie oraz z tej samej stacji pomiarowej – co jest widoczne w przypadku grupy badanej w okresie zimowym 2012/2013. Na koniec należy wspomnieć o błędach systemu komputerowego na SOR, a także o tzw. „serwisie systemu”, kiedy okresowo aktualizowane jest oprogramowanie komputerów w całym SU. W tym czasie na kilka godzin (nawet 4–5 godzin) rejestracja pacjentów, bieżące elektroniczne zlecenia, prowadzenie elektronicznej dokumentacji medycznej i wypisy pacjentów z oddziału ratunkowego wraz z nadawaniem rozpoznania ostatecznego, kluczowego dla badania, są wstrzymane, a dokumentację prowadzi się wówczas metodą tradycyjną. W związku z tym, że badanie jest analizą retrospektywną, trudno było odnaleźć w przeszłości, w sumie w okresie 6-letnim, wszystkie okresy związane z problemami dotyczącymi systemu komputerowego, choć część udało się wyłonić i wyłączyć z badania – jak w przypadku okresu zimowego 2012/2013. Podobne trudności napotkano podczas pozyskiwania danych z analizatorów stacji pomiarowych na terenie Krakowa. Mimo wspomnianych problemów, być może nawet niezlokalizowanych i wprowadzonych do analizy statystycznej błędów człowieka i błędów komputerowych, wyniki są jednoznaczne i powtarzalne.

Mimo trudności technicznych zaistniałych podczas analizy statystycznej, błędów ludzkich, błędów pomiarowych w stacjach na terenie Krakowa, błędów systemu komputerowego w szpitalu czy przerw technicznych, należy wspomnieć o mocnych stronach analizy. Badaniem objęto dane pochodzące z 6 lat (2012–2017), bez pominięcia żadnego okresu grzewczego, a do analizy włączono zgłoszenia na SOR, jakie odnotowano w ciągu 29 miesięcy. Wprowadzone do statystyki okresy obserwacji były porównywalne w zakresie liczby dni. Prowadzono je w dokładnie tych samych miesiącach corocznie. Podobnie było w przypadku letnich grup kontrolnych – każdy z okresów liczył dokładnie 60 dni obserwacji i obejmował miesiące lipiec i sierpień. W ciągu tych niemal 900 dni na SOR z wymienionymi jednostkami chorobowymi zgłosiło się prawie 14 tysięcy osób, których dane zostały ujęte w analizie statystycznej. Kolejną mocną stroną pracy jest lokalizacja badania, gdyż Kraków jest jednym z najbardziej zanieczyszczonych i jednocześnie największych miast w Polsce. Cechy te czynią go idealnym ośrodkiem badawczym. Cytowane w niniejszej pracy publikacje także dotyczyły gęsto zaludnionych miast w Azji i w Ameryce Południowej. Dodatkowo, SOR SU obejmuje swym zasięgiem proporcjonalnie dużą część Krakowa, w tym tę najbardziej zanieczyszczoną, z dużymi wahaniami poziomów zanieczyszczenia, co sprzyja bardziej wiarygodnym wynikom badanej korelacji. Tę część miasta zamieszkuje przeszło 30% mieszkańców stolicy Małopolski. Ponadto, z uwagi na rejonowość szpitali w Krakowie (w mieście funkcjonuje 5 oddziałów ratunkowych i 2 izby przyjęć dla pacjentów dorosłych), można z bardzo dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że chorzy, zwłaszcza ci przywożeni przez Krakowskie Pogotowie Ratunkowe oraz kierowani przez lekarzy podstawowej opieki zdrowotnej, pochodzą niemal dokładnie z tych rejonów miasta, w których są umiejscowione stacje pomiarowe zanieczyszczenia powietrza ujęte w analizie. Niewielki procent badanych jest spoza tego rejonu, ale z uwagi na proporcjonalny wzrost poziomu zanieczyszczenia powietrza w mieście, biorąc pod uwagę nawet odległe od siebie stacje pomiarowe, nie miało to wpływu na błędy analizy statystycznej. Istotnym atutem badania jest powtarzalność dotycząca kilku aspektów:

- Powtarzalne długości okresów obserwacji, każdy liczący minimum 120 dni, najdłuższy 150 dni; obejmowały one miesiące z niską temperaturą powietrza i tym samym okresy grzewcze z rosnącym poziomem zanieczyszczenia.
- Grupy chorych przyjętych na SOR w poszczególnych okresach zimowych liczyły od przeszło tysiąca do ponad 1,5 tysiąca osób. Były więc duże i obejmowały zbliżoną liczbę chorych. Stanowiły także podobny procent wszystkich pacjentów SOR (ryc.30).

- Powtarzalny stosunek pacjentów cierpiących na choroby układu krążenia i układu oddechowego (ryc.66).
- Podobny stosunek wiekowy pacjentów przyjmowanych na SOR (ryc.31).
- Zbliżona liczba chorych w poszczególnych okresach letnich badania.



Ryc.66. Rozdział liczbowy pacjentów cierpiących na choroby układu oddechowego i układu krążenia włączonych do grupy badanej

Podobne liczby dni objęte analizą, zbliżone liczby włączonych do badania chorych w poszczególnych grupach i okresach, profil chorych w każdym z przedziałów czasowych wpłynęły, z pojedynczymi wyjątkami, na zbliżone do siebie wyniki statystyczne. W okresach grzewczych wyniki korelacji Pearsona – R – znalazły się w przedziale 0,23–0,54 (czyli były istotne statystycznie), poczynając od tych o wyraźnej zależności zmiennych (0,2–0,4) do tych z istotną zależnością zmiennych mieszczących się w przedziale 0,4–0,6. Tylko w przypadku jednego wyniku, choć z dodatnią korelacją ($R = 0,15$), wykazano brak zależności statystycznej ($p = 0,2$). Rezultaty uzyskane w grupach kontrolnych w przeważającej większości wskazały na brak dodatniej korelacji. Podsumowując, wyniki analizy statystycznej były w poszczególnych grupach: badanej, kontrolnej z okresu zimowego i kontrolnej z okresu letniego, powtarzalne.

W celu potwierdzenia wiarygodności danych wprowadzonych do analizy statystycznej opierających się na rozpoznaniach ICD-10 została przeprowadzona dokładna analiza pacjentów należących do grupy badanej. W okresie zimowym 2012/2013 dokonywano

przeglądu dostępnej w formie elektronicznej historii choroby każdego chorego, który miał zostać włączony do grupy. W przypadku wątpliwości płynących z niejednoznacznego wywiadu lub badania fizykalnego, sięgano po wyniki badań obrazowych (RTG i TK) oraz badań laboratoryjnych. Podsumowując, u niewielkiego odsetka objętych badaniem pacjentów ustalono błędne lub ogólne rozpoznanie.

5.2. Porównanie rezultatów z wynikami innych badań

Mimo problemów dotyczących pomiarów i uzyskiwania danych o zanieczyszczeniu, wyniki badania są zbliżone do tych otrzymywanych w innych ośrodkach badawczych na całym świecie. Porównanie warto rozpocząć od pierwszych badań własnych związanych ze smogiem.

Pierwsze przeprowadzono w 2016 roku. Dotyczyło ono wpływu zanieczyszczenia powietrza na liczbę zaostrzeń chorób układu krążenia, a tym samym liczbę interwencji Krakowskiego Pogotowia Ratunkowego w okresie zimowym 2013/2014. Stwierdzono wówczas związek między pogorszeniem stanu powietrza a większą liczbą tychże interwencji; współczynnik R wyniósł 0,26, natomiast $p < 0,05$ – wynik istotny statystycznie [126]. Podobnie, w drugiej własnej publikacji także z 2016 roku, dotyczącej oddziaływania smogu na choroby układu oddechowego oraz alergię u dzieci. Uzyskano w niej analogiczne wyniki, z tym, że analizą objęto 2 okresy zimowe (2013/2014 i 2014/2015). Współczynniki R wyniosły odpowiednio: 0,23 oraz 0,24, wyniki były istotne statystycznie – $p < 0,05$ [127].

Podobne badanie przeprowadzono w południowo - wschodniej części Francji w populacji dzieci w wieku 3–18 lat cierpiących na astmę oskrzelową. Potwierdzono w nim, wpływ krótkotrwałej ekspozycji na pyły PM10 i PM2,5 na liczbę hospitalizacji w miejscowym szpitalu z powodu zaostrzenia tej choroby [128]. Stwierdzono również, że bardziej narażeni na skutki działania smogu są chłopcy. Wpływ zanieczyszczenia na stan zdrowia wiązał się także z wiekiem i był większy w grupie dzieci młodszych.

Także na Słowacji, w Ostrawie, analizowano zależność pomiędzy krótkotrwałą (od 24 godzin do 7 dni) ekspozycją na pyły PM10 i liczbą hospitalizacji z powodu dolegliwości ze strony układu oddechowego. W badaniu wykorzystano dane z lat 2010–2012, a wyniki były zgodne z otrzymanymi w toku największych badań prowadzonych w ośrodkach europejskich oraz amerykańskich. Odnotowano wówczas większy wpływ zanieczyszczenia powietrza na układ oddechowy niż na sercowo-naczyniowy [97].

W Tajlandii badano wpływ na zaostrzenia POChP i astmy oskrzelowej kilkudniowej ekspozycji na smog (w przypadku POChP ekspozycja 7 – dniowa, a astmy 6 – dniowa). Badanie obejmowało swym zakresem lata 2006–2009 oraz tylko frakcję pyłu PM10. Jak we wcześniej cytowanych publikacjach, także w tej potwierdzono, że zanieczyszczone powietrze powoduje nasilenie objawów przewlekłych chorób układu oddechowego, a współczynnik p w przypadku obu z nich wyniósł $< 0,05$ [129].

Kolejne badanie prowadzono w Brazylii. Jego autorzy analizowali wpływ pyłu zawieszonego na zaostrzenia astmy oskrzelowej. W tym przypadku ekspozycja trwała 1–3 dni, a wyniki były zgodne z założeniami badaczy. W analizie statystycznej wykorzystano zarówno korelację Pearsona, jak i model regresji. Wyniki wskazały na silną korelację między hospitalizacjami a zanieczyszczeniami pyłami PM10 i dwutlenkiem siarki. Ekspozycja na pył zawieszony i dwutlenek siarki była związana ze znacznym ryzykiem hospitalizacji z powodu astmy, zarówno w pierwszym dniu i w ciągu 3 dni po ekspozycji. Wzrost poziomu zanieczyszczeń zwiększył ryzyko hospitalizacji o 8–19% [131]. Podobną zgodność wyników obserwuje się w przypadku prac dotyczących chorób układu krążenia. W Chinach analizowano zależność między stężeniami pyłów PM_{2,5}, a śmiertelnością z powodu chorób sercowo - naczyniowych. Badanie prowadzono w latach 2013–2015, a wyniki – opublikowane w 2016 roku – potwierdziły tę korelację, zwłaszcza z chorobą niedokrwienną serca oraz chorobami naczyń mózgowych, czyli udarem niedokrwiennym mózgu. Obserwowano zwiększenie zachorowalności w okresie 1–3 dni od wzrostu poziomu zanieczyszczenia [106]. W 2012 roku przeprowadzono metaanalizę 34 badań. Jej autorzy skupili się na wpływie krótkiej (trwającej do 7 dni) ekspozycji na wszystkie rodzaje zanieczyszczeń na wystąpienie ostrego zespołu wieńcowego. Wyniki nie odbiegały od innych, a wszystkie główne składowe zanieczyszczonego powietrza, z wyjątkiem ozonu, były w znacznym stopniu związane z krótkoterminowym zwiększeniem ryzyka zawału serca [107].

W kolejnym z badań przedstawiony został wpływ smogu (pyłów zawieszonych PM_{2,5} i PM₁₀) na przebieg nadciśnienia tętniczego. Zwiększenie średniorocznego stężenia PM_{2,5} o $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ korelowało ze wzrostem ciśnienia tętniczego o 1,7/0,8 mmHg (skurczowe/rozkurczowe). Podobne wartości wiązały się ze zmianami stężenia PM₁₀, a wpływ ten był bardziej zaznaczony u kobiet [104].

Krótkotrwała ekspozycja na PM_{2,5} i PM₁₀ i jej wpływ na zwiększenie ryzyka wystąpienia zaburzeń rytmu serca oraz udaru mózgu były przedmiotem polskiej metaanalizy. W artykule podsumowano wyniki licznych badań z całego świata: Stanów Zjednoczonych,

Tajwanu, Brazylii, także Polski, dotyczących tych jednostek chorobowych. Podobnie jak wcześniejsze, te także potwierdziły wpływ pyłu zawieszonego na występowanie arytmii oraz udarów mózgu, w niektórych przypadkach również udarów krwotocznych [130].

W pracy dotyczącej wpływu większości typów zanieczyszczenia na występowanie napadów migotania przedsionków przedstawiono wyniki retrospektywnie zbadanego związku stężenia substancji z wizytami na oddziałach ratunkowych w Rzymie. Autorzy uwzględnili dane z 14 lat. W analizie brano pod uwagę krótkotrwałą, 24-godzinną ekspozycję. Zwiększenie stężenia PM_{2,5} o 10 µg/m³ powodowało 1,5% wzrost liczby zachorowań, a PM₁₀ – z 3%. Efekt był bardziej widoczny u pacjentów starszych, po 75. roku życia oraz u mężczyzn w przypadku PM₁₀. Ponadto stwierdzono, że częściej (tj. 5–8%) chorowali pacjenci z wywiadem w kierunku chorób sercowo-naczyniowych [113].

W badaniu przeprowadzonym w Anglii i Walii także analizowano wpływ różnych zanieczyszczeń na przebieg chorób układu krążenia. Do badań statystycznych włączono niemal milion przypadków klinicznych, zaś dane dotyczące stężenia substancji szkodliwych, w tym także PM₁₀ i PM_{2,5}, przedstawiono w postaci 8 – godzinnych średnich. Autorzy skupili się na krótkotrwałej ekspozycji trwającej do 4 dni. Nie wykazano istotnej statystycznie zależności, jeśli chodzi o wpływ na śmiertelność. Natomiast zaobserwowano ją w przypadku oddziaływania stężenia PM_{2,5} na częstotliwość występowania epizodów migotania przedsionków i zatorowości płucnej, zaś najsilniejsza korelacja istniała pomiędzy stężeniem dwutlenku azotu a m.in. arytmia, niewydolnością serca oraz śmiertelnością [111].

Wpływ składników smogu na częstotliwość występowaniu udarów mózgu rozpatrywano w innej, cytowanej już metaanalizie. Włączono do niej 94 artykuły odpowiadające założeniom badania – obejmujące łącznie 6,2 miliona zdarzeń. Wszystkie składniki smogu, w tym PM₁₀ i PM_{2,5}, miały istotny statystycznie związek z występowaniem udarów mózgu lub zgonów. Najsłabszy był obserwowany w przypadku ozonu, najsilniejszy w przypadku PM_{2,5}. Porównano także występowanie udaru niedokrwinnego z krwotocznym: w przypadku PM_{2,5} wystąpiła przewaga pierwszych, przy PM₁₀ ryzyko było porównywalne [117].

Reasumując, przytoczone wyniki badań prowadzonych w wielu ośrodkach na świecie oraz rezultaty analizy statystycznej przedstawionej w niniejszej pracy są zgodne. W większości prezentowano krótkotrwałą ekspozycję na zanieczyszczenie. Począwszy od badań nad „wielkim smogiem”, czy incydem w Zagłębiu Ruhry, poprzez badania z początku XXI wieku, po współczesne, autorzy przeważającego odsetka analiz statystycznych biorą pod

uwagę pyły o gramaturze < 10 mikrometrów oraz B(a)P oraz ekspozycję począwszy od jednego dnia do tygodnia przed zaostreniem objawów i zgłoszeniem się do placówki medycznej lub zgonem.

Wyniki otrzymane w cytowanych publikacjach, także wspomnianych we wcześniejszych rozdziałach pracy, są ze sobą zgodne i potwierdzają wstępną tezę o wpływie pyłów zawieszonych na zdrowie dorosłych mieszkańców Krakowa.

5.3. Podsumowanie dyskusji

Wyniki otrzymane w analizie statystycznej ukazują widoczny wpływ smogu na zdrowie człowieka. Średnio pacjenci internistyczni stanowią około 50% wszystkich przyjmowanych na SOR osób. Z własnego doświadczenia, jako pracownika takiego oddziału, mogę potwierdzić zauważalną różnicę w liczbie chorych zgłaszających się na SOR z zaostreniami chorób przewlekłych. Jest to szczególnie widoczne i nie do przecenienia w przypadku chorób, których stany zaostrenia objawiają się w postaci zaburzeń oddechowych, dolegliwości bólowych, arytmii i zaburzeń neurologicznych. Krótka ekspozycja na zwiększone stężenia pyłów zawieszonych znacząco wpływała na nasilenie objawów POChP, astmy, niewydolności serca. Dłuższy okres oddziaływania smogu (choć nadal maksymalnie tygodniowy) przekłada się na zwiększoną liczbę infekcji górnych i dolnych dróg oddechowych oraz stopniowe narastanie niewydolności serca i arytmii. Na podstawie przekroju profilów pacjentów przyjmowanych na oddziale, w oparciu o dane płynące z prowadzonej analizy statystycznej, można jednoznacznie stwierdzić, że wpływ smogu na zdrowie i liczbę przyjęć jest klinicznie znaczący. Powoduje zwiększenie liczby zgłoszeń chorych i są to pacjenci nierzadko w średnim i ciężkim stanie. Jako wymagający intensywnej opieki i leczenia, absorbują uwagę i czas dużej części personelu oddziałów ratunkowych.

Z dyskusji należy wyciągnąć kilka podstawowych wniosków.

- Wpływ zanieczyszczenia na zdrowie człowieka, na układ oddechowy i układ krążenia, jest niepodważalny.
- Osoby starsze są bardziej narażone niż młodszy dorośli.
- Dostępne dane na ten temat pozwalają stwierdzić, że konieczne jest wprowadzenie rozwiązań systemowych ograniczających narażenie na szkodliwe właściwości smogu. Dotyczy to zwłaszcza osób starszych, dzieci i kobiet w ciąży.

- Konieczna jest edukacja społeczeństwa w zakresie poziomów zanieczyszczenia informowania i alarmowania.
- Konieczna jest edukacja społeczeństwa w zakresie środków ostrożności, zabezpieczeń w postaci maseczek z filtrem HEPA oraz oczyszczaczy powietrza.
- Należy podjąć wszelkie próby, z udziałem ruchów społecznych, takich jak Krakowski Alarm Smogowy, aby obniżyć w Polsce poziom informowania i alarmowania.

6. Wnioski

Oddziaływanie pyłów i innych substancji lotnych ma znaczący wpływ na zdrowie człowieka. W przypadku tej pracy, w której poruszono kwestię pyłu zawieszonego i jego frakcji PM_{2,5} i PM₁₀, badane były zgłoszenia na oddział ratunkowy z powodu wystąpienia dolegliwości związanych z układem krążenia i oddechowym. W grupie kontrolnej znaleźli się pacjenci chirurgiczni.

Biorąc pod uwagę wyniki dotyczące chorych przyjmowanych na SOR w okresie zimowym, o największym poziomie zanieczyszczeń w powietrzu, na podstawie istotnych statystycznie wyników korelacji, można potwierdzić, że smog wpływa istotnie na zdrowie. Tutaj mowa o chorobach układu sercowo-naczyniowego oraz układu oddechowego.

W grupach kontrolnych, chirurgicznych z okresu „grzewczego” oraz pacjentów internistycznych przyjmowanych w okresie letnim, wyniki nie były istotne statystycznie.

Wyniki badania, danych wszystkich wprowadzonych do analizy statystycznej grup, potwierdzają, że wpływ zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym na przebieg i zaostrzenia chorób jest istotny. Ponadto, jest on bardziej zaznaczony w grupie starszych chorych zwłaszcza po 65. roku życia. Jednocześnie poruszono kwestię wpływu zanieczyszczenia na zwiększenie nasilenia chorób w grupach kobiet i mężczyzn. Wyniki były porównywalne.

STRESZCZENIE PRACY DOKTORSKIEJ

„Wpływ zanieczyszczenia powietrza pyłami zawieszonymi PM10 i PM2,5 na zdrowie dorosłych mieszkańców Krakowa”

Rozprawa doktorska podejmuje temat wpływu zanieczyszczenia powietrza na zdrowie, rozwój, przebieg i zaostrzenia wybranych jednostek chorobowych z zakresu układu krążenia i układu oddechowego.

Cel badania: Celem pracy jest uświadomienie społeczeństwa o stopniu zanieczyszczenia, o jego źródłach oraz przedstawienie zależności zachorowań od poszczególnych składników smogu i pory roku. Przedstawiono także wpływ na dorosłych i seniorów w poszczególnych grupach wiekowych. Zbadano oddziaływanie pyłów zawieszonych, frakcji PM10 i PM2,5, na organizm człowieka, a dokładniej – na zaostrzenia choroby niedokrwiennej serca, nadciśnienia tętniczego, niewydolności serca oraz przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP) i astmy oskrzelowej, a ponadto na występowanie infekcji dolnych dróg oddechowych zaburzeń rytmu serca i niedokrwiennego udaru mózgu.

Materiał i metoda: Na podstawie przedstawionego celu badania sformułowany został główny problem badawczy: w jaki sposób zwiększone stężenia dwóch frakcji pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 wpływają na przebieg chorób układu krążenia i oddechowego po 7 dniach ekspozycji na zanieczyszczone powietrze. Badanie przeprowadzono na terenie miasta Krakowa. Biorąc pod uwagę rejonizację Szpitala Uniwersyteckiego, badanie objęło znaczną część miasta oraz podkrakowskich miejscowości. Do badania włączono dane z 5 lat, tj. 2012–2017, począwszy od 1 listopada 2012 roku do końca lutego 2017 roku. Okres ten podzielono na przedziały czasowe: 2-miesięczne okresy letnie oraz 4- i 5-miesięczne okresy zimowe. Badana grupa to pacjenci internistyczni cierpiący na choroby układów oddechowego i sercowo-naczyniowego. Grupę kontrolną stanowili pacjenci chirurgiczni z dolegliwościami ze strony jamy brzusznej: bólami brzucha, „ostrym brzuchem” i biegunkami. Analizowano korelację pomiędzy średnimi stężeniami pyłów z 7 dni poprzedzających zachorowanie, a średnią 3-dniową liczbę zgłoszeń zarejestrowanych szpitalnym oddziale ratunkowym. Średnie stężenie pyłów PM10 i PM2,5 obliczono na podstawie danych pozyskanych z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Wykorzystano odczyty pochodzące z krakowskich stacji pomiarowych: al. Krasickiego oraz Kurdwanów. Informacje dotyczące

zgłoszeń na oddział ratunkowy pochodziły z bazy danych systemu komputerowego Szpitala Uniwersyteckiego. W analizie statystycznej posłużono się korelacją Pearsona.

Do badania włączono dane pochodzące z 874 dni obserwacji, w ciągu których z powodu wymienionych wcześniej jednostek chorobowych na SOR zgłosiło się 14405 chorych. W tym w grupie badanej znalazło się 6353 osób, w grupie kontrolnej „zimowej” 4823 osób, a w grupie kontrolnej z okresu letniego 3229 osoby.

Wyniki: Wyniki statystyczne wykazały dodatnią korelację między zmiennymi. 93% obliczonych w badaniu współczynników korelacji (R) w grupie badanej znalazło się w zakresie 0,23–0,52. Były one istotne statystycznie – $p < 0,05$. W grupach kontrolnych współczynnik R wynosił od –0,45 do 0,1 i tylko jeden wynik był istotny statystycznie z $p < 0,05$. Tym samym potwierdzono, że stężenie pyłów zawieszonych zwiększa liczbę zaostrzeń chorób przewlekłych oraz nagłych ostrych zachorowań związanych z układem oddechowymi krążenia.

Podsumowanie: Wyniki badania potwierdziły wpływ zanieczyszczenia powietrza – pyłu zawieszonego – na liczbę zachorowań. Wartość stężenia pyłu zawieszonego ma natomiast swoje odzwierciedlenie w liczbie chorych przyjmowanych w okresie zimowym na oddziałach ratunkowych.

„The impact of the air pollution by particulate matter PM10 and PM2,5 on the health of the adult residents of Cracow”

The dissertation discusses the impact of air pollution on health, development, course and exacerbation of selected cardiovascular and respiratory diseases.

Aim of the study: The aim of the study is to make the public aware of the degree of pollution, its sources and to present the dependence of the disease on the individual components of smog and the season. The influence on adults and seniors in particular age groups is also presented. The influence of particulate matter, PM10 and PM2.5 fractions on human organism was investigated, more precisely on exacerbation of ischemic heart disease, arterial hypertension, heart failure and chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and bronchial asthma, as well as on the occurrence of infections of the respiratory tract, heart rhythm disorders and ischemic stroke.

Material and method: On the basis of the presented research objective, the main research problem was formulated: how the increased concentrations of two fractions of particulate matter: PM10 and PM2,5 affect the course of cardiovascular and respiratory diseases after 7 days of exposure to polluted air. The research was carried out in the city of Kraków. Taking into account the regionalisation of the University Hospital, the study covered a significant part of the city and the localities near Kraków. The study included data from 5 years, i.e.2012-2017, starting from 1 November 2012 until the end of February 2017. This period is divided into periods: 2-month summer periods and 4-month and 5-month winter periods. The study group consists of internist patients suffering from respiratory and cardiovascular diseases. The control group consisted of surgical patients with abdominal ailments: abdominal pain, acute abdomen and diarrhea. The correlation between the average concentrations from 7 day preceding the disease and the 3-day average number of registered emergency calls was analyzed. Average concentration of PM10 and PM2.5 dusts calculated on the basis of data obtained from the Provincial Inspectorate of Environmental Protection. Readings from Kraków measurement stations: Krasickiego Avenue and Kurdwanów were used. Information on the emergency department came from the database of the computer system of the University Hospital. Pearson's correlation was used in statistical analysis.

The study included data from 874 days of observation, during which 14405 patients were diagnosed with SOR due to the above mentioned diseases. The study group included 6353 persons, 4823 persons in the winter control group and 3229 persons in the summer control group.

Results: Statistical results showed a positive correlation between variables. 93% of the correlation coefficients (R) calculated in the study group were in the range of 0.23 - 0.52. They were statistically significant – $p < 0.05$. In the control groups the R coefficient ranged from -0.45 to 0.1 and only one result was statistically significant with $p < 0.05$. Thus, it was confirmed that the concentration of particulate matter increases the number of exacerbations of chronic diseases and sudden acute respiratory and circulatory diseases.

Summary: The results of the study confirmed the impact of air pollution-particulate matter on the number of cases. The value of particulate matter concentration is reflected in the number of patients admitted to emergency department in winter.

SPIS TABEL

- Tab. 1. Emisja pyłów z domowych urządzeń grzewczych [5]
- Tab. 2. Podział pyłów na poszczególne frakcje [5]
- Tab. 3. Miejsce deponowania pyłów w drogach oddechowych [5]
- Tab. 4. Pułapy emisji określone na Polski w protokole z Goeteborga
- Tab. 5. Zalecane normy jakości powietrza dla pyłów zawieszonych (PM_{2,5} i PM₁₀) określone przez WHO w 2006 roku [24]
- Tab. 6. Normy jakości powietrza dla pyłów zawieszonych (PM₁₀) określone w rozporządzeniach Ministra Środowiska z 2012 [23]
- Tab. 7. Normy jakości powietrza dla pyłów zawieszonych (PM_{2,5}) określone w rozporządzeniach Ministra Środowiska z 2012 [23]
- Tab. 8. Liczba ofiar śmiertelnych podczas kolejnych epizodów smogu w Londynie [38]
- Tab. 9. Liczba dni w okresach grzewczych, w których uzyskano 7-dniowe średnie kroczące stężenia PM₁₀ i PM_{2,5}
- Tab. 10. Pacjenci grupy badanej i kontrolnej przyjęci na oddziale ratunkowym w okresie zimowym
- Tab. 11. Pacjenci grupy kontrolnej przyjęci na oddziale ratunkowym w okresie letnim
- Tab. 12. Wyniki korelacji liczby zgłoszeń do szpitala i zanieczyszczenia powietrza dla poszczególnych grup wiekowych; okres badania: zima 2013/2014
- Tab. 13. Wyniki korelacji liczby zgłoszeń do szpitala i zanieczyszczenia powietrza dla poszczególnych grup wiekowych; okres badania: zima 2014/2015

SPIS RYCIN

- Ryc. 1. Źródła emisji pyłu zawieszzonego PM₁₀ [7]
- Ryc. 2. Źródła emisji pyłu zawieszzonego PM_{2,5} [7]
- Ryc. 3. Źródła emisji benzo(a)piranu (B[a]P) [7]
- Ryc. 4. Źródła emisji NO₂ [7]
- Ryc. 5. Rozkład wielkości pyłu w zależności od liczby cząstek
- Ryc. 6. Rozkład wielkości pyłu w zależności od objętości
- Ryc. 7. Rozkład wielkości pyłu w zależności od powierzchni
- Ryc. 8. Źródła emisji pyłu zawieszzonego B(a)P [17]
- Ryc. 9. Poziom informowania dla PM₁₀ w wybranych krajach Europy [17]
- Ryc. 10. Poziom alarmowania dla PM₁₀ w wybranych krajach Europy [17]
- Ryc. 11. Wpływ „wielkiego smogu” na liczbę zgonów w 1952 roku [31]

- Ryc. 12. PM10 – przekrój roczny stężenia w 2013 roku
- Ryc. 13. Benzo(a)piren – przekrój roczny stężenia w 2014 roku
- Ryc. 14. Miasta europejskie z największą liczbą dni z przekroczoną średnią dobową stężenia PM10 w 2011 roku
- Ryc. 15. Średnie stężenie roczne B(a)P w wybranych krajach Europy
- Ryc. 16. Wielkości średniorocznego stężenia B(a)P – 15 najbardziej zanieczyszczonych miejscowości w Polsce
- Ryc. 17. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM2,5 w latach 2011–2014 w Krakowie.
A.: pomiary ze stacji przy al. Krasickiego; B.: pomiary ze stacji przy ul. Bulwarowej
- Ryc. 18. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego PM2,5 w latach 2011–2014.
A.: w Zakopanem; B.: w Nowym Sączu
- Ryc. 19. Najbardziej zanieczyszczone miasta Europy pod względem średniorocznych stężeń PM10 i PM2,5 w roku 2013
- Ryc. 20. Miasta polskie z największą liczbą dni z przekroczonym dopuszczalnym stężeniem PM10 w 2015 roku
- Ryc. 21. Minimalne i maksymalne średnie wartości dobowe PM10 w miejscowościach badanych w ramach projektu „INFOAIR – dostęp do informacji o zanieczyszczeniu powietrza” [79]
- Ryc. 22. Liczba dni z przekroczonym poziomem dobowym stężenia PM10 w ciągu 12 dni obserwacji w ramach projektu „INFOAIR – dostęp do informacji o zanieczyszczeniu powietrza” [79]
- Ryc. 23. Maksymalne stężenie PM10 odnotowane w trakcie badania z udziałem RK i PAS w dniach 31.10.2016–09.12.2016
- Ryc. 24. Procent dni, w których stężenie PM10 przekroczyło dozwoloną normę, w badaniu z udziałem RK i PAS przeprowadzonym w dniach 31.10.2016–09.12.2016
- Ryc. 25. Masa (tysiące ton) emitowanych do atmosfery pyłów PM10 i PM2,5 w Polsce w latach 1991–2015 [81]
- Ryc. 26. Mapa rozkładu stacji pomiarowych w Krakowie – grafika własna
- Ryc. 27. Obszar miasta Krakowa – grafika własna
- Ryc. 28. Przekrój wiekowy pacjentów przyjmowanych na SOR SU w sierpniu 2016 roku;
A.: z uwzględnieniem pacjentów w wieku >65. rż. i <65. rż.; B.: z uwzględnieniem pacjentów >65.rż.
- Ryc. 29. Liczba pacjentów przyjętych na SOR SU w określonych okresach od 2014 r. do 2017 r.
- Ryc. 30. Procent pacjentów SOR SU włączonych do badania w określonych okresach od 2014 r. do 2017 r.
- Ryc. 31. Przekrój wiekowy pacjentów przyjmowanych w SOR w okresach zimowych:
A.: 2013/2014; B.: 2014/2015
- Ryc. 32. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – listopad, grudzień 2012 roku; stężenia PM2,5 i PM10 wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

- Ryc. 33. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – listopad, grudzień 2012 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji Kurdwanów
- Ryc. 34. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – styczeń, luty 2013 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 35. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – styczeń, luty 2013 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji Kurdwanów
- Ryc. 36. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 37. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji Kurdwanów
- Ryc. 38. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 39. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji Kurdwanów
- Ryc. 40. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2015/2016 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 41. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2015/2016 roku; stężenie PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji Kurdwanów
- Ryc. 42. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2016/2017 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 43. Liczba pacjentów internistycznych przyjętych na SOR – zima 2016/2017 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji Kurdwanów
- Ryc. 44. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – listopad, grudzień 2012 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 45. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych w SOR – styczeń, luty 2013 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 46. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 47. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 48. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – zima 2015/2016 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 49. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – zima 2016/2017 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 50. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (interna) przyjętych na SOR – lato 2013 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 51. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (interna) przyjętych na SOR – lato 2014 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego
- Ryc. 52. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (interna) przyjętych na SOR – lato 2015 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 53. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (interna) przyjętych na SOR – lato 2016 roku; stężenia PM_{2,5} i PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 54. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – lato 2013 roku; stężenia PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 55. Liczba pacjentów grupy kontrolnej (chirurgia) przyjętych na SOR – lato 2014 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 56. Liczba pacjentów – kobiet przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 57. Liczba pacjentów – mężczyzn przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 58. Liczba pacjentów – kobiet przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 59. Liczba pacjentów – mężczyzn przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 60. Liczba pacjentów – kobiet przyjętych w SOR – zima 2015/2016 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 61. Liczba pacjentów – mężczyzn przyjętych na SOR – zima 2015/2016 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 62. Liczba pacjentów – kobiet przyjętych na SOR – zima 2016/2017 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 63. Liczba pacjentów – mężczyzn przyjętych na SOR – zima 2016/2017 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 64. Liczba pacjentów – w wieku <65 lat i ≥65 lat przyjętych na SOR – zima 2013/2014 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 65. Liczba pacjentów – w wieku <64 lat i >65 lat przyjętych na SOR – zima 2014/2015 roku; stężenie PM₁₀ wg pomiarów stacji przy al. Krasieńskiego

Ryc. 66. Rozdział liczbowy pacjentów cierpiących na choroby układu oddechowego i układu krążenia włączonych do grupy badanej

LITERATURA

1. Raport: 7 million premature deaths annually linked to air pollution. Dokument elektroniczny: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>[data dostępu: 01.01.2019r.]
2. Harris G.: Beijing's bad air would be step up for smoggy Delhi. New York Times, 2014. Dokument elektroniczny: <https://www.nytimes.com/2014/01/26/world/asia/beijings-air-would-be-step-up-for-smoggy-delhi.html>[data dostępu: 01.01.2019r.]
3. Air pollution causes early deaths. BBC, 2015. Dokument elektroniczny: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/4283295.stm>[data dostępu: 01.01.2019r.]
4. Zielonka T.: Świadomość lekarzy na temat wpływu zanieczyszczenia powietrza na zdrowie. Warszawski Uniwersytet Medyczny, 2016
5. Juda-Rezler K., Toczko B. (red.): Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce. GIOŚ, Warszawa, 2016
6. Kubica K.: Niska emisja w Polsce: stan i możliwości. Polska Izba Ekologii. Dokument elektroniczny: <http://misja-emisja.pl/knowledgebase/niska-emisja-polsce-stan-mozliwosci/>[data dostępu: 01.01.2019r.]
7. Program ochrony powietrza dla województwa małopolskiego. Kraków, 2012. Dokument elektroniczny: <https://bip.malopolska.pl/umwm,e,pobierz,get.html?id=130889>[data dostępu: 01.01.2019r.]
8. Colbeck I., Lazaridis M.: Aerosols and environmental pollution. *Naturwissenschaften*, 2010; 97 (2): 117–131; doi: 10.1007/s00114-009-0594-x. Epub 2009 Sep 2
9. Giere R., Querol X.: Solid particulate matter in the atmosphere. *Elements*, 2010; 6(4): 215–222
10. MacNee W., Donaldson K.: Exacerbations of COPD: environmental mechanisms. *Chest*, 2000; 117 (5 Suppl. 2): 390S–397S
11. Air quality guidelines for Europe, 2nd ed. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2000. Dokument elektroniczny: <http://www.who.int/iris/handle/10665/107335>[data dostępu: 01.01.2019r.]
12. Vallero D.: Fundamentals of air pollution. 4th edition. Academic Press, 2008; ISBN: 978-0-12-373615-4
13. Inspekcja Ochrony Środowiska Zanieczyszczenie powietrza wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi na stacjach tła miejskiego w 2013 roku. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa, 2014
14. Badyda A.J.: Analiza i ocena efektów oddziaływania wybranych uciążliwości ruchu drogowego na środowisko miejskie w Warszawie. Politechnika Warszawska, 2006. Dokument elektroniczny: <http://bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/2950/Praca%20doktorska,%20Artur%20Badyda,%20wersja%20ostateczna.pdf>[data dostępu: 01.01.2019r.]

15. Landis W.G., Yu M.-H.: Introduction to environmental toxicology: impacts of chemicals upon ecological systems. *Eco toxicology*, 2000; 9 (3): 231–232; doi: 10.1023/A:1008963308709)
16. Raport: Air quality guidelines for Europe, 2nd edition. WHO Regional Publications, European Series, 2000; 91. Dokument elektroniczny: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/107335/E71922.pdf?sequence=1> [data dostępu: 01.01.2019r.]
17. Krakowski Alarm Smogowy: Co wiemy o smogu? Raport dotyczący informowania o zanieczyszczeniu powietrza. Kraków, 2015. Dokument elektroniczny: <https://krakowskialarmsmogowy.pl/text/download/id/645> [data dostępu: 01.01.2019r.]
18. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska: Stan środowiska w Polsce. Raport 2014. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 2014. Dokument elektroniczny: www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/raporty/GIOS_raport_2014.pdf [data dostępu: 01.01.2019r.]
19. Zannetti P. (red.): Air pollution modeling : theories, computational methods and available software. Nowy Jork, 1990, ISBN 978-1-4757-4465-1
20. Markiewicz M.: Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2004
21. Protocol to abate acidification, eutrophication and ground-level ozone. Gothenburg, 1999. Dokument elektroniczny: http://www.unece.org/env/lrtap/multi_h1.html [data dostępu: 01.01.2019r.]
22. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy. Dokument elektroniczny: <https://publications.europa.eu/pl/publication-detail/-/publication/1ac2582f-048a-4afe-91ad-72e7cc066ec9/language-pl> [data dostępu: 01.01.2019r.]
23. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 września 2012 r. Dokument elektroniczny: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20120001028> [data dostępu: 01.01.2019r.]
24. Air quality guidelines – global update 2005. WHO, 2005. Dokument elektroniczny: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/ [data dostępu: 01.01.2019r.]
25. Mosley S.: Environmental history of air pollution and protection. Włochy, 2014. Dokument elektroniczny: <https://www.eolss.net/sample-chapters/C09/E6-156-15.pdf> [data dostępu: 01.01.2019r.]
26. Fog and Mortality in the Meuse Valley. *Nature*, 1930; 126: 940
27. Nemery B., Hoet P.H., Nemmar A.: The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. *Lancet*, 2001; 357 (9257): 704–708
28. Hamill S.D.: Unveiling a museum, a Pennsylvania town remembers the smog that killed 20. *New York Times*, 2008. Dokument elektroniczny: <https://www.nytimes.com/2008/11/02/us/02smog.html> [data dostępu: 01.01.2019r.]

29. Hopey D.: Museum remembers Donora's deadly 1948 smog. *Pittsburgh Post-Gazette*, 2008. Dokument elektroniczny: <http://www.post-gazette.com/local/neighborhoods/2008/10/21/Museum-remembers-Donora-s-deadly-1948-smog/stories/200810210140>[data dostępu: 01.01.2019r.]
30. Davis D.L.: A look back at the London smog of 1952 and the half century since. *Environ. Health Perspect.*, 2002; 110 (12): A734–A735
31. Scott J.A.: Fog and deaths in London, December 1952. *Public Health Rep.*, 1953; 68 (5): 474–479
32. Bell M.L., Davis D.L., Fletcher T.: A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952: the role of influenza and pollution. *Environ. Health Perspect.*, 2004; 112 (1): 6–8
33. Met Office: The Great Smog of 1952. 2008. Dokument elektroniczny: <https://www.metoffice.gov.uk/learning/learn-about-the-weather/weather-phenomena/case-studies/great-smog>[data dostępu: 01.01.2019r.]
34. Stone R.: Air pollution. Counting the cost of London's killer smog. *Science*, 2002; 298 (5601): 2106–2107
35. Hunt A., Abraham J.L., Judson B., Berry C.L.: Toxicologic and epidemiologic clues from the characterization of the 1952 London smog fine particulate matter in archival autopsy lung tissues. *Environ. Health Perspect.*, 2003; 111 (9): 1209–1214
36. Clean air act 1956. Anglia, The National Archives, 1956. Dokument elektroniczny: <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/Eliz2/4-5/52/enacted>[data dostępu: 01.01.2019r.]
37. 50 years after the great smog, a new killer arises. *The Guardian*, 2002. Dokument elektroniczny: <https://www.theguardian.com/waste/story/0,12188,851002,00.html>[data dostępu: 01.01.2019r.]
38. Schwartz J., Marcus A.: Mortality and air pollution in London: a time series analysis. *Am. J. Epidemiol.*, 1990; 131(1):185–194
39. Bird D.: November smog killed 168 here. *New York Times*, 1967. Dokument elektroniczny: <https://www.nytimes.com/1967/10/27/archives/november-smog-killed-168-here-study-shows-24-died-a-day-over-period.html>[data dostępu: 01.01.2019r.]
40. Schimmel H.: Evidence for possible acute health effects of ambient air pollution from time series analysis: methodological questions and some new results based on New York City daily mortality, 1963–1976. *Bull. N. Y. Acad. Med.*, 1978; 54(11):1052–108
41. Johnson K.: You should have seen the air in '53; after Sept. 11, considering history's lessons on pollution. *New York Times*, 2015. Dokument elektroniczny: <https://www.nytimes.com/2002/09/29/nyregion/you-should-have-seen-air-53-after-sept-11-considering-history-s-lessons.html>[data dostępu: 01.01.2019r.]
42. McCarroll J.: Measurements of morbidity and mortality related to air pollution. *J. Air Pollut. Control. Assoc.*, 2016
43. Wichmann H.E., Mueller W., Allhoff P., Beckmann M., et al.: Health effects during a smog episode in West Germany in 1985. *Environ. Health Perspect.*, 1989; 79: 89–99

44. Wilczyńska-Michalik W., Pietras B., Michalik M.: Smog w Krakowie: – spojrzenie w przyszłość z perspektywy historycznej. *Aura*, 2016; 11: 3–8
45. Klejnowski K., Ośródko L., Kubica K.: Zanieczyszczenie powietrza w woj. śląskim stan, perspektywy zmian, nowe wyzwania. Katowice, 2015. Dokument elektroniczny: http://www.pie.pl/materialy/_upload/konf_hist_i_przyszlosc/panel2/1P_Kubica_Klejnowski_Osrodka.pdf[data dostępu: 01.01.2019r.]
46. Zadymiony Mokotów. *Kurier Warszawski*, 1931
47. Smog zabija naprawdę. *Gazeta Wyborcza*, 1990; 308. Dokument elektroniczny: http://www.archiwum.wyborcza.pl/Archiwum/1,0,6020729,19900621RP-DGW,Smog_zabija_naprawde,.html[data dostępu: 01.01.2019r.]
48. Nycz M.: Smog w płucach. *Gazeta Wyborcza*, 1995; 78. Dokument elektroniczny: http://www.archiwum.wyborcza.pl/Archiwum/1,0,433190,19950401BB-DLO,Smog_w_plucach,.html[data dostępu: 01.01.2019r.]
49. Smog szkodzi. *Gazeta Wyborcza*, 1994; 202. Dokument elektroniczny: http://www.archiwum.wyborcza.pl/Archiwum/1,0,425943,19940831BB-DLO,CHYBIE__Smog_szkodzi,.html[data dostępu: 01.01.2019r.]
50. Szafrńska U.: Meteorolodzy i lekarze odradzają spacerować po śródmieściu Poznania. *Gazeta Wyborcza*, 1994; 261. Dokument elektroniczny: http://www.archiwum.wyborcza.pl/Archiwum/1,0,505390,19941109PO-DLO,KRYZYS_W_POWIETRZU__Meteorolodzy_i_lekarze_odradzaja,.html[data dostępu: 01.01.2019r.]
51. Wajrak A.: Puchowy smogu tren. *Gazeta Wyborcza*, 1993; 257. Dokument elektroniczny: http://www.archiwum.wyborcza.pl/Archiwum/1,0,137691,19931103RP-DGW,Puchowy_smogu_tren,.html[data dostępu: 01.01.2019r.]
52. Uchwała nr 17/IV/65 Rady Narodowej Miasta Krakowa z dnia 14 października 1965 r. w sprawie ochrony powietrza atmosferycznego w M. Krakowie przed zanieczyszczeniami
53. Ustawa o Inspekcji Ochrony Środowiska z dnia 20 lipca 1991 r. Dz.U. 2007 nr 44, poz. 287. Dokument elektroniczny: http://www.gios.gov.pl/bip/zalaczniki/artykuly/Ustawa_o_IOS.pdf; [data dostępu: 01.01.2019r.]
54. Ustawa z dnia 16 października 1991 r. o ochronie przyrody. Dz.U. 1991 nr 4, poz. 492. Dokument elektroniczny: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19911140492>[data dostępu: 01.01.2019r.]
55. Ustawa z dnia 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska. Dokument elektroniczny: <http://www.przepisy.gofin.pl/przepisy,991,75716,0,0,20140119,2,1.html>[data dostępu: 01.01.2019r.]
56. Polityka ekologiczna państwa w latach 2009–2012 z perspektywą do roku 2016. Dokument elektroniczny: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=>
57. Rozporządzenie (WE) nr 166/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 stycznia 2006 r. w sprawie ustanowienia Europejskiego Rejestru Uwalniania i Transferu Zanieczyszczeń. Dokument elektroniczny:

- http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/prtr/rozporzadzenie_166_2006.pdf[data dostępu: 01.01.2019r.]
58. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy. Dokument elektroniczny: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/pl/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0050>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 59. Uchwała nr XXXII/452/17 sejmiku województwa małopolskiego z dnia 23 stycznia 2017 roku w sprawie wprowadzenia na obszarze województwa małopolskiego ograniczeń i zakazów w zakresie eksploatacji instalacji, w których następuje spalanie paliw. Dokument elektroniczny: http://edziennik.malopolska.uw.gov.pl/WDU_K/2017/787/akt.pdf[data dostępu: 01.01.2019r.]
 60. Uchwała nr V/36/1/2017 sejmiku województwa śląskiego z dnia 7 kwietnia 2017 r. w sprawie wprowadzenia na obszarze województwa śląskiego ograniczeń w zakresie eksploatacji instalacji, w których następuje spalanie paliw. Dokument elektroniczny: <https://powietrze.slaskie.pl/content/uchwala-sejmiku-nr-v3612017>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 61. Antysmogowa uchwała województwa mazowieckiego. Dokument elektroniczny: <https://www.mazovia.pl/dla-mediow/informacje-prasowe/art,3954,mazowsze-ma-uchwale-antysmogowa.html>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 62. Raport NIK: Informacja o wynikach kontroli realizacji zadań w zakresie ochrony powietrza przed zanieczyszczeniem. Dokument elektroniczny: <https://www.nik.gov.pl/kontrole/wyniki-kontroli-nik/kontrole,734.html>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 63. Raport NIK: Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami . Dokument elektroniczny: <https://www.nik.gov.pl/plik/id,7764,vp,9732.pdf>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 64. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 września 2012 r. w sprawie programów ochrony powietrza oraz planów działań krótkoterminowych. Dz.U. 2012, poz. 1028. Dokument elektroniczny:<http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20120001028>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 65. Krakowski Alarm Smogowy. Strona domowa. Dokument elektroniczny: <https://www.krakowskialarmsmogowy.pl/>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 66. European Environment Agency: Air quality in Europe – 2012 report. Dokument elektroniczny: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2012>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 67. European Environment Agency: Air quality in Europe – 2013 report. Dokument elektroniczny:<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2013>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 68. Pająk B., Czarnecka L., et al.: Ocena jakości powietrza w województwie małopolskim w 2013 r. wykonane wg zasad określonych w art. 89 ustawy – Prawo Ochrony Środowiska na podstawie obowiązującego prawa krajowego i UE. WIOŚ w Krakowie, 2014. Dokument elektroniczny: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ua>

- ct=8&ved=2ahUKEwioju6VspXiAhUptYsKHVYBBnsQFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fwww.krakow.pios.gov.pl%2Fpress%2Fmonitoring%2Fpowietrze%2Fwyniki%2Focena_jakosci_powietrza_2013.pdf&usg=AOvVaw0HB5BTv0_u2jGPx-FtX5Gs [data dostępu: 01.01.2019r.]
69. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska: Inspekcja Ochrony Środowiska. Zanieczyszczenie powietrza wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi na stacjach tła miejskiego w Polsce w 2013 r. Warszawa, 2014. Dokument elektroniczny: http://www.zgora.pios.gov.pl/wp-content/uploads/2015/04/RaportWWA_2013_www.pdf[data dostępu: 01.01.2019r.]
 70. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska: Inspekcja Ochrony Środowiska. Zanieczyszczenie powietrza wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi na stacjach tła miejskiego w 2014 roku. Warszawa, 2015. Dokument elektroniczny: <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/documents/download/101600>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 71. European Environment Agency: Benzo(a)pyrene (BaP): annual mean concentrations in Europe. Dokument elektroniczny: <http://www.eea.europa.eu/themes/air/interactive/bap>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 72. Pająk B., Czarnecka L., et al.: Ocena jakości powietrza w województwie małopolskim w 2014 r. wykonane wg zasad określonych w art. 89 ustawy – Prawo Ochrony Środowiska na podstawie obowiązującego prawa krajowego i UE. WIOŚ w Krakowie, 2015, dokument elektroniczny: <http://www.krakow.pios.gov.pl> [data dostępu: 01.01.2019r.]
 73. WHO global urban ambient air pollution database (update 2016). Dokument elektroniczny:http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/ [data dostępu: 01.01.2019r.]
 74. European Environment Agency: Air quality in Europe – 2016 report. Dokument elektroniczny: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 75. Holland M.: Cost-benefit analysis of final policy scenarios for the EU Clean Air Package. Version 2. Corresponding to IIASA TSAP Report #11, Version 2a.2014; October. Dokument elektroniczny: <http://ec.europa.eu> [data dostępu: 01.01.2019r.]
 76. Komenda Główna Policji. Dokument elektroniczny: <http://www.statystyka.policja.pl/> [data dostępu: 01.01.2019r.]
 77. Krakowski Alarm Smogowy: Podsumowanie 8 tygodni pomiarów jakości powietrza przez Polski Alarm Smogowy i Radio Kraków – 20.10.2015–13.12.2015 . Dokument elektroniczny: <https://www.krakowskialarmsmogowy.pl/aktualnosci/szczegoly/id/267>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 78. Bartyzel J., Chmura Ł., Gałkowski M., et al.: Raport: Mobilne pomiary stężeń pyłów zawieszonych w obrębie Krakowa, Podhala oraz Górnego Śląska. Kraków, 2016. Dokument elektroniczny: <https://polskialarmsmogowy.pl/files/artykuly/569.pdf>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 79. Bartyzel J.: Wstępna analiza wyników akcji: „Małopolska bez smogu 2016”. Kraków, 2016. Dokument elektroniczny: <https://docplayer.pl/46677268-Wstepna-1-analiza->

- wynikow-akcji-malopolska-bez-smogu-2016-prowadzonej-przez-radio-krakow-oraz-polski-alarm-smogowy.html[data dostępu: 01.01.2019r.]
80. OECD: Emissions of air pollutants. Dokument elektroniczny: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR_EMISSIONS[data dostępu: 01.01.2019r.]
 81. Trybunał Sprawiedliwości Unii Europejskiej: Komunikat prasowy nr 19/18. Dokument elektroniczny: <https://www.google.com/search?q=81.%09Trybuna%C5%82+Sprawiedliwo%C5%9Bci+Unii+Europejskiej%3A+Komunikat+prasowy+nr+19%2F18.&ie=utf-8&oe=utf-8>[data dostępu: 01.01.2019r.]
 82. Nadadur S.S., Hollingsworth J.W. (red.): Air pollution and health effects. Humana Press, 2015. ISBN 978-1-4471-6669-6
 83. Bollati V., Iodice S., Favero C., et al.: Susceptibility to particle health effects, miRNA and exosomes: rationale and study protocol of the SPHERE study. *BMC Public Health*, 2014; 14: 1137, doi: 10.1186/1471-2458-14-1137
 84. van Eeden S.F., Tan W.C., Suwa T., et al.: Cytokines involved in the systemic inflammatory response induced by exposure to particulate matter air pollutants (PM₁₀). *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2001; 164 (5): 826–830
 85. Newby D.E., Mannucci P.M., Tell G.S., et al.: Expert position paper on air pollution and cardiovascular disease. *Eur. Heart J.*, 2015; 36(2):83–93b. doi: 10.1093/eurheartj/ehu458. Epub 2014 Dec 9
 86. Zanobetti A., Bind M.A., Schwartz J.: Particulate air pollution and survival in a COPD cohort. *Environ. Health*, 2008; 7:48, doi: 10.1186/1476-069X-7-48
 87. Nemmar A., Hoet P., Nemery B.: Translocation of ultrafine particles. *Environ. Health Perspect.*, 2006; 114(4): A211–A212; doi: 10.1289/ehp.114-a211b
 88. Hnizdo E., Sullivan P.A., Bang K.M., Wagner G.: Association between chronic obstructive pulmonary disease and employment by industry and occupation in the US population: a study of data from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Am. J. Epidemiol.*, 2002; 156 (8): 738–746
 89. Schwartz J., Dockery D.W.: Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 1992; 145(3):600–604
 90. Andersen Z.J., Hvidberg M., Jensen S.S., et al.: Chronic obstructive pulmonary disease and long-term exposure to traffic related air pollution. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2011; 183(4): 455–461
 91. Bedada G.B., Smith C.J., Tyrell P.J., et al.: Short-term effects of ambient particulates and gaseous pollutants on the incidence of transient ischaemic attack and minor stroke: a case-crossover study. *Environ. Health*, 2012; 11:77
 92. Kelly F.J., Fussell J.C.: Air pollution and airway disease. *Clin. Exp. Allergy*, 2011; 41(8):1059–1071, doi: 10.1111/j.1365-2222.2011.03776.x. Epub 2011 May 30
 93. Bowatte G., Lodge C., Lowe A.J., et al.: The influence of childhood traffic-related air pollution exposure on asthma, allergy and sensitization: a systematic review and a meta-analysis of birth cohort studies. *Allergy*, 2015; 70(3):245–256, doi: 10.1111/all.12561. Epub 2014 Dec 31

94. Weinmayr G., Romeo E., De Sario M., et al.: Short-term effects of PM10 and NO2 on respiratory health among children with asthma or asthma-like symptoms: a systematic review and meta-analysis. *Environ. Health Perspect.*, 2010; 118(4):449–457; doi: 10.1289/ehp.0900844. Epub 2009 Nov 12
95. Wang Y., et al.: The effect of air pollution on hospital visits for respiratory symptoms in urban areas of Jinan. *Zhongguo Huanjing Kexue/China Environment. Sci.*, 2008; 28 (6): 571–576
96. Tomášková H., Tomášek I., Šlachťová H., et al.: PM10 air pollution and acute hospital admissions for cardiovascular and respiratory causes in Ostrava. *Cent. Eur. J. Public Health*, 2016 Dec; 24 Suppl.: S33–S39; doi: 10.21101/cejph.a4538
97. Joo Y.H., Lee S.S., Han K.D., Park K.H.: Association between chronic laryngitis and particulate matter based on the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2008–2012. *PLoS One*, 2015; 10 (7): e0133180; doi: 10.1371/journal.pone.0133180. eCollection 2015
98. Sifaki-Pistolla D., Lionis C., Koinis F., et al.: Lung cancer and annual mean exposure to outdoor air pollution in Crete, Greece. *Eur. J. Cancer Prev.*, 2017; 26 Joining forces for better cancer registration in Europe: S208–S214; doi: 10.1097/CEJ.0000000000000407
99. Neupane B., Jerrett M., Burnett R.T., et al.: Long-term exposure to ambient air pollution and risk of hospitalization with community-acquired pneumonia in older adults. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2010; 181(1):47–53; doi: 10.1164/rccm.200901-0160OC. Epub 2009 Oct 1
100. Urch B., Silverman F., Corey P., et al.: Acute blood pressure responses in healthy adults during controlled air pollution exposures. *Environ. Health Perspect.*, 2005; 113 (8): 1052–1055
101. Hassanvand M.S., Naddafi K., Malek M., et al.: Effect of long-term exposure to ambient particulate matter on prevalence of type 2 diabetes and hypertension in Iranian adults: an ecologic study. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2018; 25(2):1713–1718; doi: 10.1007/s11356-017-0561-6. Epub 2017 Nov 3
102. Mordukhovich I., Wilker E., Suh H., et al.: Black carbon exposure, oxidative stress genes, and blood pressure in a repeated-measures study. *Environ. Health Perspect.*, 2009; 117(11):1767–1772; doi: 10.1289/ehp.0900591. Epub 2009 Jul 31
103. Fuks K., Moebus S., Hertel S., et al.: Long-term urban particulate air pollution, traffic noise, and arterial blood pressure. *Environ. Health Perspect.*, 2011; 119(12): 1706–1711
104. Poloniecki J.D., Atkinson R.W., de Leon A.P., et al.: Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK. *Occup. Environ. Med.*, 1997; 54(8):535–540
105. Lin H., Liu T., Xiao J., et al.: Hourly peak PM2.5 concentration associated with increased cardiovascular mortality in Guangzhou, China. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, 2017; 27(3):333–338; doi: 10.1038/jes.2016.63. Epub 2016 Nov 2
106. Mustafic H., Jabre P., Caussin C., et al.: Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*, 2012; 307(7):713–721; doi: 10.1001/jama.2012.126

107. Cesaroni G., Forastiere F., Stafoggia M., et al.: Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ*; 2014; 348:f7412; doi: 10.1136/bmj.f7412
108. Miller K.A., Siscovick D.S., Sheppard L., et al.: Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *N. Engl. J. Med.*, 2007; 356 (5): 447–458
109. Bourdrel T., Bind M.A., Béjot Y., et al.: Cardiovascular effects of air pollution. *Arch. Cardiovasc. Dis.*, 2017; 110(11):634–642; doi: 10.1016/j.acvd.2017.05.003. Epub 2017 Jul 21.
110. Milojevic A., Wilkinson P., Armstrong B., et al.: Short-term effects of air pollution on a range of cardiovascular events in England and Wales: case-cross over analysis of the MINAP database, hospital admissions and mortality. *Heart*, 2014; 100 (14): 1093–1098; doi: 10.1136/heartjnl-2013-304963. Epub 2014 Jun 4
111. Zhao A., Chen R., Kuang X., Kan H.: Ambient air pollution and daily out patient visits for cardiac arrhythmia in Shanghai, China. *J. Epidemiol.*, 2014; 24 (4): 321–326; doi: 10.2188/jea.JE20140030
112. Solimini A.G., Renzi M.: Association between air pollution and emergency room visits for atrial fibrillation. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2017; 14 (6), pii: E661; doi: 10.3390/ijerph14060661
113. Davoodi G., Sharif A.Y., Kazemisaeid A., et al.: Comparison of heart rate variability and cardiac arrhythmias in polluted and clean air episodes in healthy individuals. *Environ. HealthPrev. Med.*, 2010; 15(4): 217–221; doi: 10.1007/s12199-009-0130-9
114. Peters A., Döring A., Wichmann H.E., Koenig W.: Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? *Lancet*, 1997; 349 (9065): 1582–1587
115. Yang W.S., Wang X., Deng Q., et al.: Anevidence – based appraisal of global association between air pollution and risk of stroke. *Int. J. Cardiol.*, 2014; 175 (2): 307–313, doi: 10.1016/j.ijcard.2014.05.044
116. Shah A.S., Lee K.K., McAllister D.A., et al.: Short term exposure to air pollution and stroke: systematic review and meta-analysis *BMJ*, 2015; 350:h1295; doi: 10.1136/bmj.h1295
117. Oudin A., Åström D.O., Asplund P., et al.: The association between daily concentrations of air pollution and visits to a psychiatric emergency unit: a case-cross over study. *Environ. Health*, 2018; 17(1):4; doi: 10.1186/s12940-017-0348-8
118. Kim Y., Ng C.F.S., Chung Y., et al.: Air pollution and suicide in 10 cities in Northeast Asia: a time-stratified case-cross over analysis. *Environ. HealthPerspect.*, 2018; 126(3):037002; doi: 10.1289/EHP2223
119. Wang F., Liu H., Li H., et al.: Ambient concentrations of particulate matter and hospitalization for depression in 26 Chinese cities: A case-crossover study. *Environ. Int.*, 2018; 114:115–122; doi: 10.1016/j.envint.2018.02.012. Epub 2018 Feb 28
120. Shin J., Park J.Y., Choi J.: Long-term exposure to ambient air pollutants and mental health status: A nation wide population-based cross-sectional study. *PLoS One*, 2018; 13(4):e0195607; doi: 10.1371/journal.pone.0195607. eCollection 2018

121. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu. Dz.U. 2012, poz. 1031. Dokument elektroniczny: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20120001031> [data dostępu: 01.01.2019r.]
122. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 września 2012 r. w sprawie zakresu i sposobu przekazywania informacji dotyczących zanieczyszczenia powietrza. Dz.U. 2012, poz. 1034. Dokument elektroniczny: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20120001034> [data dostępu: 01.01.2019r.]
123. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu. Dz.U. 2012, poz. 1032. Dokument elektroniczny: <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20120001032> [data dostępu: 01.01.2019r.]
124. Małopolskie. System monitoringu jakości powietrza. Dokument elektroniczny: <http://monitoring.krakow.pios.gov.pl> [data dostępu: 01.01.2019r.]
125. Malec K., Bednarek M., Gąsowski J.: Wpływ stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu na liczbę interwencji pogotowia w ostrych stanach krążeniowych. *Na Ratunek*, 2016; 4: 63–66
126. Malec K., Bednarek M., Bartkiewicz-Skrabania P., et al.: Wpływ stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu (PM_{2,5} i PM₁₀) na nagłe zachorowania oraz zaostrzenia chorób przewlekłych u dzieci w aglomeracji krakowskiej, na podstawie zgłoszeń do Izby Przyjęć Wojewódzkiego Specjalistycznego Szpitala Dziecięcego (IP WSSzD) w Krakowie. *Nowa Pediatria*, 2016; 4: 168–173
127. Mazenq J., Dubus J.C., Gaudart J., et al.: Air pollution and children's asthma-related emergency hospital visits in southeastern France. *Eur. J. Pediatr.*, 2017;176 (6): 705–711; doi: 10.1007/s00432-017-2900-5. Epub 2017 Apr 5
128. Pothirat C., et al.: Effects of seasonal smog on asthma and COPD exacerbations requiring emergency visits in Chiang Mai, Thailand. *Asian Pac. J. AllergyImmunol.*, 2016;34 (4): 284–289; doi: 10.12932/AP0668
129. Amâncio C.T., Nascimento L.F.: Asthma and ambient pollutants: a time series study. *Rev. Assoc. Med. Bras.* (1992), 2012; 58 (3): 302–307
130. Lin H., Liu T., Xiao J., et al.: Hourly peak PM_{2.5} concentration associated with increased cardiovascular mortality in Guangzhou, China. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, 2017; 27 (3): 333–338; doi: 10.1038/jes.2016.63. Epub 2016 Nov 2