

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA**  
**WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

**– Rozprawa doktorska –**

**„ANALIZA I OCENA EFEKTÓW  
ODDZIAŁYWANIA WYBRANYCH  
UCIĄŻLIWOŚCI RUCHU DROGOWEGO NA  
ŚRODOWISKO MIEJSKIE W WARSZAWIE”**

**Promotor:**  
**prof. nzw. dr hab. inż. Andrzej Kraszewski**

**Artur Jerzy Badyda**

*Pragnę złożyć serdeczne podziękowania  
za cenne wskazówki i pomoc w realizacji niniejszej pracy,  
Prof. dr hab. inż. Zdzisławowi Chłopkowi  
Dr Oskarowi Czechowskiemu  
Dr n.med. Wojciechowi Lubińskiemu*

*oraz mojemu nieocenionemu Promotorowi,  
Prof. dr hab. inż. Andrzejowi Kraszewskiemu*

*Dziękuję również za wsparcie i pomoc w realizacji założonego celu  
moim Rodzicom i mojej Narzeczonej Kasi*

## Spis treści

<b>SŁOWNICZEK SKRÓTÓW I OZNACZEŃ .....</b>	<b>5</b>
<b>WPROWADZENIE .....</b>	<b>6</b>
<b>I CZĘŚĆ TEORETYCZNA .....</b>	<b>9</b>
<b>1. TEZA. CEL I ZAKRES PRACY .....</b>	<b>9</b>
1.1. TEZA.....	9
1.2. CEL I ZAKRES .....	9
<b>2. PROBLEMY KOMUNIKACYJNE AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ.....</b>	<b>11</b>
<b>3. RODZAJE ZANIECZYSZCZEŃ EMITOWANYCH DO ATMOSFERY PRZEZ POJAZDY</b>	<b>16</b>
3.1. EMISJE Z RUCHU DROGOWEGO.....	26
3.1.1. <i>Emisja hałasu komunikacyjnego</i> .....	26
3.1.2. <i>Emisje zanieczyszczeń do powietrza powodowane przez pojazdy</i> .....	27
3.2. UDZIAŁ TRANSPORTU DROGOWEGO W EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ DO POWIETRZA .....	29
<b>4. ODDZIAŁYWANIE RUCHU DROGOWEGO I ZATORÓW KOMUNIKACYJNYCH NA ŚRODOWISKO .....</b>	<b>33</b>
4.1. WYMAGANIA PRAWNE DOTYCZĄCE OCHRONY POWIETRZA.....	34
4.2. WPŁYW SKŁADNIKÓW SPALIN NA ZDROWIE LUDZI .....	37
4.2.1. <i>Tlenek węgla</i> .....	40
4.2.2. <i>Ditlenek siarki</i> .....	42
4.2.3. <i>Ditlenek azotu</i> .....	43
4.2.4. <i>Ozon</i> .....	44
4.2.5. <i>Węglowodory</i> .....	45
4.2.6. <i>Cząstki stałe</i> .....	47
4.3. WPŁYW ZATORÓW KOMUNIKACYJNYCH NA ŚRODOWISKO SPOŁECZNE I EKONOMICZNE .....	50
4.4. SYSTEM MONITORINGU JAKOŚCI POWIETRZA W WARSZAWIE .....	52
<b>II CZĘŚĆ BADAWCZA .....</b>	<b>55</b>
<b>5. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁU BADAWCZEGO I METODYKA BADAŃ.....</b>	<b>55</b>
5.1. POMIARY NATĘŻENIA RUCHU DROGOWEGO I POZIOMÓW ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA.....	55
5.1.1. <i>Materiał badawczy</i> .....	55
5.1.2. <i>Metodyka badań</i> .....	55
5.2. BADANIE SPRAWNOŚCI WENTYLACYJNEJ .....	56
5.2.1. <i>Materiał badawczy</i> .....	56
5.2.2. <i>Metodyka badań</i> .....	57
5.3. BADANIA ANKIETOWE MIESZKAŃCÓW WARSZAWY.....	58
5.3.1. <i>Materiał badawczy</i> .....	58
5.3.2. <i>Metodyka badań</i> .....	58
5.4. BADANIA ANKIETOWE KIEROWCÓW SŁUŻB RATOWNICTWA .....	59
5.4.1. <i>Materiał badawczy</i> .....	59
5.4.2. <i>Metodyka badań</i> .....	59
5.5. ZASTOSOWANE NARZĘDZIA STATYSTYCZNE.....	59
5.5.1. <i>Analiza natężenia ruchu i stężeń zanieczyszczeń</i> .....	60
5.5.2. <i>Analiza wyników badań spirometrycznych</i> .....	61
5.5.3. <i>Analiza wyników badań ankietowych</i> .....	61
<b>6. ANALIZA ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY NATĘŻENIEM RUCHU A POZIOMEM ZANIECZYSZCZEŃ W PRZEKROJU KOMUNIKACYJNEJ STACJI MONITORINGU JAKOŚCI POWIETRZA .....</b>	<b>62</b>
6.1. WPROWADZENIE .....	62
6.2. JAKOŚĆ POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO W WARSZAWIE .....	62
6.3. ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY NATĘŻENIEM RUCHU DROGOWEGO A STĘŻENIAMI ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA .....	67
6.4. ANALIZA POZIOMÓW ZANIECZYSZCZEŃ W UJĘCIU SEZONOWYM .....	76
6.5. STRUKTURA RUCHU POJAZDÓW I ICH UDZIAŁ W EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ .....	85
6.6. MODEL REGRESYJNY .....	88
6.7. PODSUMOWANIE .....	94

<b>7. OCENA WPŁYWU ZANIECZYSZCZEŃ Z RUCHU DROGOWEGO NA SPRAWNOŚĆ WENTYLACYJNĄ OSÓB ZAMIESZKUJĄCYCH WZDŁUŻ GŁÓWNYCH CIĄGÓW KOMUNIKACYJNYCH.....</b>	<b>96</b>
7.1. WPROWADZENIE .....	96
7.2. OCENA WPŁYWU ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA NA WARTOŚCI WSKAŹNIKÓW SPIROMETRYCZNYCH..	100
7.2.1. Ocena wpływu zanieczyszczeń powietrza na wartości wskaźników spirometrycznych w grupie osób niepalących .....	101
7.2.2. Ocena wpływu zanieczyszczeń powietrza na wartości wskaźników spirometrycznych w grupie osób palących ..	103
7.2.3. Ocena łącznego wpływu zanieczyszczeń powietrza i palenia tytoniu na wartości wskaźników spirometrycznych	104
7.3. OCENA NARAŻENIA NA ZACHOROWANIE ZE WZGLĘDU NA CZYNNIKI ZEWNĘTRZNE.....	106
7.4. PODSUMOWANIE .....	111
<b>8. OCENA WPŁYWU ZATORÓW KOMUNIKACYJNYCH NA STRATY SPOŁECZNE .....</b>	<b>113</b>
8.1. WPROWADZENIE .....	113
8.2. OCENA WPŁYWU ZATORÓW KOMUNIKACYJNYCH NA POZIOM ŻYCIA MIESZKAŃCÓW AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ .....	113
8.3. OCENA WPŁYWU ZATORÓW KOMUNIKACYJNYCH NA POZIOM PRACY KIEROWCÓW SŁUŻB RATOWNICZYCH .....	136
8.4. OCENA STRAT GOSPODARCZYCH AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ WYNIKAJĄCYCH Z PROBLEMÓW KOMUNIKACYJNYCH .....	144
8.4.1. Straty gospodarcze generowane przez straty czasu .....	144
8.4.2. Straty gospodarcze generowane przez straty zdrowotne .....	147
8.5. PODSUMOWANIE .....	149
<b>9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI .....</b>	<b>151</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>155</b>
<b>SPIS WYKRESÓW .....</b>	<b>161</b>
<b>SPIS TABEL .....</b>	<b>163</b>
<b>ZAŁĄCZNIKI.....</b>	<b>165</b>
ZAŁĄCZNIK 1. FORMULARZ WYWIADU DO BADANIA SPIROMETRYCZNEGO.....	165
ZAŁĄCZNIK 2. TREŚĆ ANKIETY DO MIESZKAŃCÓW WARSZAWY .....	165
ZAŁĄCZNIK 3. TREŚĆ ANKIETY DO KIEROWCÓW STOŁECZNEJ KOLUMNY TRANSPORTU SANITARNEGO....	170
ZAŁĄCZNIK 4. TREŚĆ ANKIETY DO KIEROWCÓW PAŃSTWOWEJ STRAŻY POŻARNEJ .....	172

## Słowniczek skrótów i oznaczeń

- **ANOVA** – analysis of variance; analiza wariancji
- **BaP** – benzo[a]piren
- **FEF<sub>50</sub>** – forced expiratory flow at 50% of FVC; natężony przepływ odpowiadający 50% pojemności życiowej
- **FEV<sub>1</sub>** – forced expiratory volume during the first second of expiration; natężona pierwszosekundowa objętość wydechowa
- **FEV<sub>1</sub>%FVC** – wskaźnik odsetkowy objętości FEV1 odniesionej do aktualnej natężonej pojemności życiowej, tzw. wskaźnik pseudo-Tiffeneau
- **FVC** – forced vital capacity; natężona pojemność życiowa
- **Gra** – stacja monitoringu jakości powietrza w miejscowości Granica
- **Leg** – stacja monitoringu jakości powietrza w miejscowości Legionowo
- **λ** – współczynnik nadmiaru powietrza
- **MNK** – metoda najmniejszych kwadratów
- **MNW** – metoda największej wiarygodności
- **P+R** – Park&Ride; system „Parkuj i Jedź”
- **PAH (WWA)** – polycyclic aromatic hydrocarbons (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne)
- **PEF** – peak expiratory flow; przepływ szczytowy
- **Pia** – stacja monitoringu jakości powietrza w miejscowości Piastów
- **PM** – particulate matter; cząstki stałe
- **POChP** – przewlekła obturacyjna choroba płuc
- **ppb** – part per billion; części na miliard
- **ppm** – part per million; części na milion
- **PSP** – Państwowa Straż Pożarna
- **SKTS** – Stołeczna Kolumna Transportu Sanitarnego
- **SOJP** – System Oceny Jakości Powietrza
- **SPPN** – System Parkowania Płatnego Niestrzeżonego
- **US EPA** – US Environmental Protection Agency; Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska
- **VOC (LZO)** – Volatile Organic Compounds (Lotne Związki Organiczne)
- **WaK** – komunikacyjna stacja monitoringu jakości powietrza w Warszawie
- **WaT** – stacja monitoringu jakości powietrza w Warszawie w dzielnicy Targówek
- **WaU** – stacja monitoringu jakości powietrza w Warszawie w dzielnicy Ursynów
- **WHO** – World Health Organization; Światowa Organizacja Zdrowia
- **WIOŚ** – Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska
- **WSSE** – Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna

## Wprowadzenie

Każdego roku w Polsce przybywa około 600 000 pojazdów. W latach 1990÷2000 liczba zarejestrowanych samochodów osobowych oraz ciężarowych wzrosła niemal 2-krotnie przy jednoczesnym zwiększeniu się długości sieci drogowej o niecałe 15%. Kolejne 5 lat nie przyniosło w tej kwestii żadnej poprawy – stał w zasadzie długości dróg publicznych w Polsce towarzyszył dynamiczny wzrost liczby noworejestrowanych pojazdów. W związku z tym znacznemu zwiększeniu uległo natężenie ruchu samochodowego na polskich drogach. Zgodnie ze stanem na dzień 31 grudnia 2005 roku (dane udostępnione przez Bank Danych Regionalnych Głównego Urzędu Statystycznego [114]), porusza się po nich ponad 16,8 miliona pojazdów, z czego zdecydowaną większość (ponad 73%) stanowią samochody osobowe. Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej i możliwość importu samochodów bez ponoszenia opłat celnych oraz rejestrowania po raz pierwszy na terenie kraju pojazdów niespełniających normy EURO 2, przyczyniło się, w samym tylko roku 2004, do sprowadzenia ponad 850 tysięcy samochodów, a rok później kolejnych 870 tysięcy.

Przemiany ustrojowe początku lat 90-tych przyczyniły się do otwarcia na rynki państw Europy Zachodniej, czego pośrednim efektem było zwiększone nasilenie ruchu tranzytowego, co dodatkowo obciążało sieć dróg na terenie Polski, obejmującą obecnie niecałe 254 tysięcy kilometrów (drogi o twardej nawierzchni, stan na rok 2005 [114]). Na problem braku sieci drogowej sprawnie rozprawdzającej generowany ruch (w tym zwłaszcza sieci autostrad i obwodnic aglomeracji miejskich), nakłada się niezadowalający stan dróg krajowych, co stanowi istotną barierę dla rozwoju gospodarczego i konkurencyjności Polski, jako kraju będącego od 1 maja 2004 roku członkiem Unii Europejskiej. Polska, stanowiąc kraj tranzytowy pomiędzy Europą Zachodnią, a państwami nadbałtyckimi oraz Rosją, powinna szczególnie dbać o odpowiednią ilość oraz jakość dróg dostosowanych do obowiązujących wymogów technicznych (m.in. odnośnie nacisku). Brak sieci dróg (w szczególności autostrad i dróg ekspresowych), będących w stanie płynnie rozprawdzić ruch kołowy o ciągle zwiększającym się natężeniu, wpływa w sposób negatywny na wiele dziedzin życia:

- o szeroko pojętą gospodarkę – nowe korytarze komunikacyjne są silnym generatorem rozwoju gospodarczego nie tylko lokalnie, ale z punktu widzenia całego regionu,
- o środowisko przyrodnicze – zatory komunikacyjne wpływają na zwiększoną emisję do atmosfery szkodliwych substancji powstałych w wyniku spalania paliw płynnych,
- o środowisko społeczne – do najważniejszych aspektów należą tu bezpieczeństwo drogowe, zwłaszcza na terenach pozamiejskich, zaś na terenach miast – kwestie zdrowotne (wpływ zanieczyszczeń i hałasu) oraz ekonomiczno – gospodarcze, w tym zwłaszcza straty czasu i wynikające z nich pośrednio straty finansowe.

Przedstawiona sytuacja dynamicznie wzrastającej liczby pojazdów przekłada się również na układy drogowo-uliczne w aglomeracjach miejskich, które nie są w stanie przyjąć i sprawnie obsłużyć generowanego natężenia ruchu, co skutkuje licznymi negatywnymi efektami dla środowiska miejskiego. Wpływ ten jest bardzo duży i jak zostało wykazane w tej pracy – większy aniżeli przypuszczano. Warszawa, jak również inne duże polskie miasta dostarczają niestety licznych dowodów na poparcie tej tezy.

Wyniki Warszawskiego Badania Ruchu przeprowadzonego w roku 2005 [102], wskazują, że do Warszawy, w której zarejestrowanych jest obecnie ponad 950 tysięcy pojazdów, dziennie dociera około 315 tysięcy pojazdów (260 tysięcy z nich to samochody osobowe), co znacząco obciąża sieć drogową miasta, generując również liczne utrudnienia w sprawnym ruchu na granicach miasta. Obciążenie ciągów komunikacyjnych, przekraczające nierzadko ich zdolności przepustowe, skutkuje powstawaniem zatorów, charakteryzujących się zdecydowanie niekorzystnym wpływem na środowisko miejskie, w tym w szczególności na środowisko społeczne. Dla osób poruszających się po sieci drogowo-ulicznej Warszawy wpływ ten przejawia się głównie w postaci strat czasu, co w potocznym mniemaniu stanowi pewną uciążliwość, którą mieszkańcy miast powinni akceptować i radzić sobie z jej istnieniem. Władze municypalne bądź to nie mają pełnej świadomości na temat zagrożeń wynikających z dynamicznie rosnącego

obciążenia ulic i skutków zatorów komunikacyjnych, bądź też starają się, aby informacje te nie były upowszechniane. Upublicznienie bowiem rzeczywistych skutków problemów komunikacyjnych miasta i zatorów drogowych dla środowiska miejskiego, przy jednoczesnym braku natychmiastowych posunięć w kierunku przeciwdziałania zaistniałemu problemowi, ukazałyby indolencję władz oraz ich współodpowiedzialność za istniejącą sytuację i straty ponoszone zarówno przez społeczeństwo, jak i przez całe miasto.

Należy wobec powyższego wskazać, jakiego rodzaju uciążliwości i potencjalne straty ponosi społeczeństwo Warszawy w wyniku problemów komunikacyjnych, jak również jakie inne skutki zatory drogowe generują dla środowiska miejskiego. A jak wynika z badań, których wyniki prezentuje niniejsza praca skutki te są wielowymiarowe i mogą mieć poważny negatywny, choć nie do końca rozpoznany, wpływ na standard życia mieszkańców Warszawy.

Zatory komunikacyjne są przede wszystkim źródłem zwiększonej emisji do powietrza produktów spalania paliw w silnikach pojazdów. Jak będzie o tym mowa w dalszej części pracy emisje komunikacyjne mają znaczący, a często dominujący udział w całkowitej emisji zanieczyszczeń na terenach miejskich. Szczególnie zaznacza się to w centralnych dzielnicach miasta, gdzie ruch drogowy stanowi niemalże jedyne źródło emisji niektórych zanieczyszczeń atmosferycznych, zaś ich stężenia w powietrzu przekraczają często dopuszczalne poziomy. Domniemywać należy wobec tego, iż zwiększone natężenie ruchu i wynikające z niego zatory komunikacyjne nie są jedynie uciążliwością, z którą mieszkańcy miasta muszą się pogodzić. Stanowią one przyczynę poważnych następstw zdrowotnych, które należy bezwzględnie zidentyfikować, podejmując jednocześnie natychmiastowe działania w celu zapobieżenia narastaniu problemu. Z uwagi na fakt, iż stężenia zanieczyszczeń w bezpośrednim sąsiedztwie ulic są wyższe w porównaniu z obszarami zlokalizowanymi w pewnej odległości od dróg, osoby zamieszkujące z poblizu ciągów komunikacyjnych w większym stopniu narażone są na kontakt z bardziej zanieczyszczonym powietrzem. Skutki takiego stanu rzeczy nie ujawniają się od razu, zaś dopiero wskutek długotrwałej, wieloletniej ekspozycji. Z tego powodu, jak również ze względu na to, iż negatywne efekty zdrowotne mogą być wynikiem działania innych czynników, oszacowanie wpływu zanieczyszczeń komunikacyjnych na podwyższoną zachorowalność mieszkańców miast jest zadaniem trudnym. Nie oznacza to jednak, że takiego trudu nie należy podejmować. Wręcz przeciwnie. Jest to zadanie niezwykle istotne, które dostarczając nawet częściowej odpowiedzi na pytanie związane z charakterem oddziaływania ruchu drogowego na stan zdrowia mieszkańców miasta, pomoże wskazać kierunki zmian, jakie należy podjąć, aby wpływ ten zminimalizować.

Wskutek strat czasu, jakie mieszkańcy podróżujący po ulicach Warszawy ponoszą w efekcie zatorów komunikacyjnych, ujawniać się mogą pewne straty pochodne. W szczególności mowa tu o potencjalnych stratach gospodarczych, jakie mogą być skutkiem bezproduktywnego spędzania czasu w zatorach przez pracowników warszawskich przedsiębiorstw i innych jednostek. Tego typu straty nie są uwzględniane w żadnych statystykach, ale też należy zauważyć, że ich oszacowanie nie jest łatwe. Autor podejmuje co prawda w niniejszej pracy próbę takiego oszacowania, zaznaczając jednak, iż jest ono oparte o liczne uproszczenia i założenia, wobec czego nie może stanowić dowodu rozstrzygającego, w jakim stopniu takie straty są ponoszone. Wykonane badania dowiodły jednak, że owe straty pojawiają się na pewno, a próba ich rzetelnej ewaluacji jest możliwa i wymaga podjęcia dalszych badań.

Negatywne konsekwencje ekonomiczne mogą ujawniać się również w efekcie zwiększonej zachorowalności wskutek podwyższonych poziomów zanieczyszczeń komunikacyjnych w powietrzu obszarów miejskich. Zwiększony wskaźnik zachorowalności, zwłaszcza na choroby układu oddechowego, generować będzie dodatkowe koszty związane z interwencjami medycznymi, hospitalizowaniem pacjentów, czy leczeniem farmakologicznym. Wpłynie również na zwiększoną absencję w miejscach pracy, co pośrednio także przyczyni się do wzrostu nakładów finansowych, a więc strat ekonomicznych.

Wielowymiarowy charakter skutków, jakie potencjalnie generować mogą zatory komunikacyjne świadczy o tym, że nie można bagatelizować tego problemu. Należy przede wszystkim podjąć trud oceny, jak znaczne są to skutki, a jednocześnie przedsięwziąć wszelkie możliwe kroki, aby skutecznie ograniczyć niekorzystne oddziaływanie ruchu drogowego na

środowisko miejskie, w tym zwłaszcza na mieszkańców. Niezbędne wydaje się być również monitorowanie efektów, jakie działania te przynoszą środowisku miejskiemu i w razie potrzeby dokonywanie modyfikacji podejmowanych kroków w taki sposób, aby minimalizować wpływ ruchu drogowego na środowisko, w tym zwłaszcza na ludzi.

Aby możliwe było choć częściowe ograniczenie wpływu ruchu drogowego i związanych z nim zatorów komunikacyjnych na środowisko miejskie, niezbędne jest podjęcie działań, które umożliwią zwiększenie płynności ruchu, a w efekcie ograniczą zarówno straty czasu, wpłyną na zmniejszenie emisji do powietrza szkodliwych produktów spalania paliw, a pośrednio również zredukują straty finansowe wynikające z problemów komunikacyjnych miasta. Częściowo działania te powinny sprowadzić się do ograniczenia natężenia ruchu w sieci drogowo-ulicznej Warszawy, zwłaszcza w centralnej części miasta, co nie będzie możliwe bez zmniejszenia liczby pojazdów prywatnych poruszających się po ulicach. Jak wskazują jednak obecne doświadczenia, sytuacja dąży na razie w kierunku odwrotnym. Spośród wszystkich 3,1 miliona podróży pieszych, jakie w ciągu doby odbywają się w granicach Warszawy, 60,5% stanowią podróże odbywane komunikacją zbiorową. Pod tym względem sytuacja w Warszawie jest zbliżona do panującej w Pradze, czy Budapeszcie – jak podaje *Lima S. [49]* transportem publicznym w Pradze odbywa się 57% podróży pieszych, zaś w Budapeszcie jest nieco ponad 60% podróży pieszych, co potwierdza *Krzywkowska G. [44]*. Zwrócić należy jednak uwagę na fakt, iż ruchliwość mieszkańców Warszawy w podróżach pieszych wzrosła w ciągu ostatnich 7 lat o około 8%, przy jednoczesnym spadku udziału komunikacji zbiorowej (z 66,0% do 60,5%) na rzecz podróży samochodem (z 32,9% do 38,0%), co wynika z Diagnozy Systemu Transportowego Warszawy [86]. Tendencja ta jest odwrotna do panującej w miastach Europy Zachodniej, gdzie intensywnie promowane jest korzystanie z pojazdów komunikacji zbiorowej – jak podaje *Galler S. [32]* na przykładzie Wiednia, gdzie co prawda w ogólnej liczbie podróży pieszych przejazdy samochodami mają większy udział aniżeli w Warszawie (47%), w analogicznym okresie (ostatnie 7 lat) zanotowano wzrost udziału transportu publicznego (z 43% do 47%), przy jednoczesnym spadku udziału podróży samochodem (z 51% do 47%).

Podsumowując wprowadzenie do niniejszej pracy autor pragnie podkreślić, że Warszawa wymaga podjęcia szeregu decyzji związanych z systemem transportowym, które w niedługiej perspektywie czasowej pozwolą na ograniczenie problemów komunikacyjnych miasta. Niewątpliwie wiele z tych decyzji nie znajdzie zrozumienia wśród wszystkich mieszkańców, jednak ich odwołanie w czasie będzie odbywać się jedynie ze szkodą dla Warszawy i jej środowiska miejskiego, którego najistotniejszym elementem są mieszkańcy. Wzorem innych miast europejskich Warszawa musi nauczyć się prawidłowego gospodarowania zasobami, aby presja na przestrzeń miejską, której częścią jest układ drogowo-uliczny była możliwie najmniejsza. Należy do wskazanego celu dążyć w sposób jak najmniej ingerujący w samych mieszkańców, a więc raczej drogą zachęcania do pewnych rozwiązań i korzystania z nich, aniżeli drogą zakazów i ograniczeń.

Zbadanie wszystkich aspektów związanych z tematyką wpływu ruchu drogowego na środowisko miejskie nie było możliwe. W ramach realizacji pracy doktorskiej jedynie część czynników można było zbadać i przeanalizować. Niemniej jednak zbadane zagadnienia, uznane za szczególnie istotne, wskazują, że postawiona w dalszej części pracy teza została udowodniona.

Zebranie materiału badawczego, który stanowi część niniejszej rozprawy, było możliwe dzięki doskonałej współpracy z zespołem prof. dr hab. n. med. Tadeusza Płusy z Wojskowego Instytutu Medycznego, a zwłaszcza z dr n. med. Wojciechem Lubińskim. Część materiału badawczego została udostępniona przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie, zaś do interpretacji wyników badań bardzo przydatne okazały się doświadczenia badawcze prof. dr hab. inż. Zdzisława Chłopka i dr hab. inż. Katarzyny Judy-Rezler. Autor pragnie im w tym miejscu złożyć serdeczne podziękowania.



# I Część teoretyczna

## 1. Teza. Cel i zakres pracy

### 1.1. Teza

Zatory komunikacyjne w układzie drogowo-ulicznym miasta mają bardzo istotny, niedostatecznie rozpoznany i generalnie niedoceniany niekorzystny wpływ na środowisko miejskie, a zwłaszcza na zdrowie człowieka.

### 1.2. Cel i zakres

Zasadniczym celem pracy jest wykazanie, że ruch drogowy i wynikające z niego zatory komunikacyjne cechuje wielowątkowy i niekorzystny wpływ na środowisko miejskie, w tym w szczególności na zdrowie i standard życia mieszkańców dużych aglomeracji miejskich.

Główny cel pracy podzielono na pewne cele cząstkowe, wśród których wyróżnić można:

- oszacowanie wpływu ruchu drogowego na poziom zanieczyszczeń atmosferycznych w aglomeracji miejskiej,
- oszacowanie negatywnych efektów zdrowotnych wynikających z potencjalnie większego wpływu zanieczyszczeń z ruchu drogowego na stan zdrowia mieszkańców miasta w porównaniu z osobami zamieszkującymi obszary pozamiejskie,
- identyfikacja rodzajów strat społecznych ponoszonych w wyniku kongestii oraz ocena ich wielkości i zakresu, w tym próba oceny strat ekonomicznych będących pośrednim następstwem uciążliwości wynikających z ruchu drogowego,
- w oparciu o wyniki zrealizowanych badań, wskazanie konieczności podjęcia bardziej zdecydowanych, aniżeli dotychczas działań, zmierzających do poprawy systemu transportowego miasta, a w szczególności do zwiększenia płynności ruchu drogowego i ograniczenia problemu zatorów komunikacyjnych.

Realizację przedstawionych powyżej celów pracy oparto o podjęcie następujących działań:

- przeprowadzono pomiary natężenia ruchu pojazdów (168 kolejnych godzin pomiarowych w maju 2005 roku), wraz z uwzględnieniem struktury ruchu pojazdów (samochody osobowe, ciężarowe oraz autobusy) oraz średniej prędkości w każdej z kategorii. Wyniki pomiarów posłużyły określeniu zależności pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a stężeniami zanieczyszczeń, które jednocześnie były rejestrowane w pobliskiej stacji monitoringu jakości powietrza Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska
- zrealizowano program czynnościowych badań płuc w grupie 823 osób zamieszkujących wzdłuż Al. Niepodległości w Warszawie w sąsiedztwie stacji monitoringu, o której mowa powyżej. W celu ograniczenia potencjalnego wpływu innych czynników, zwłaszcza wynikających z rozpoczęcia sezonu grzewczego, badania przeprowadzono w okresie od maja do września 2005 roku. Uzupełnieniem tych badań są wyniki grupy kontrolnej – osób zamieszkujących tereny pozamiejskie w różnych obszarach Polski. Badanie poprzedzono krótkim wywiadem w formie ankiety, w której uwzględniono m.in. informacje na temat cech antropometrycznych badanej osoby oraz potencjalnych dolegliwości ze strony układu oddechowego. Badania prowadzono we współpracy ze specjalistami z zakresu pneumonologii z Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie
- przeprowadzono badanie ankietowe mieszkańców Warszawy, związane z określeniem poziomu uciążliwości, wynikających z problemów komunikacyjnych Warszawy, dla różnych aspektów życia. Realizacja tego zadania objęła 2 zadania: ankietę przeprowadzoną w formie badania internetowego oraz ankietę zrealizowaną na próbie

losowej mieszkańców Warszawy, zrealizowaną we współpracy z Ośrodkiem Konsultacji i Dialogu Społecznego Urzędu m.st. Warszawy

- o wykonano również badania ankietowe wśród kierowców Stołecznej Kolumny Transportu Sanitarnego oraz Państwowej Straży Pożarnej, celem czego było oszacowanie wpływu uciążliwości komunikacyjnych na możliwość utrudniania płynnego ruchu pojazdów specjalnych w sieci drogowo-ulicznej miasta oraz skuteczności działań podejmowanych przez służby ratownictwa

Praca obejmuje 2 zasadnicze części: teoretyczną i badawczą. W pierwszej z nich znajduje się przegląd literatury z zakresu przedmiotowego niniejszej pracy, próba identyfikacji najważniejszych problemów komunikacyjnych Warszawy, jak również obszerny materiał związany z oddziaływaniem emisji zanieczyszczeń atmosferycznych na środowisko. Druga część pracy prezentuje omówienie i analizę wyników badań, które wchodzą w zakres pracy wraz z wnioskami wynikającymi z uzyskanych rezultatów prac badawczych.

Ze względu na brak środków finansowych nie było możliwe dokonanie zakupu aparatury do pomiarów poziomu hałasu komunikacyjnego, w efekcie czego nie podjęto realizacji tego typu pomiarów. Jednakże, w celu pełniejszego oszacowania wpływu problemów komunikacyjnych na środowisko miejskie, jakość klimatu akustycznego wzdłuż ruchliwych arterii powinna zostać poddana ocenie.

## 2. Problemy komunikacyjne aglomeracji warszawskiej

Duże natężenie ruchu, przy jednoczesnym niedoborze lub braku odpowiedniej infrastruktury drogowej zdolnej do obsłużenia tegoż ruchu, wpływa w efekcie na powstawanie, szczególnie w dużych miastach, licznych zatorów drogowych, paraliżujących możliwość sprawnego poruszania się pojazdów po ulicach. Wiele miejskich ciągów komunikacyjnych nie jest w stanie przyjąć takiej liczby pojazdów i nie jest możliwe, aby ruch po nich odbywał się sprawnie i w sposób płynny. Ponadto jednopoziomowe skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, zwężenia i remonty dróg, także stanowią przyczyny zmniejszenia płynności ruchu ulicznego w miastach.

Warszawa stanowi kluczowy węzeł transportowy Polski. Jednakże jego stan w chwili obecnej odbiega w znaczącym stopniu od standardów wyznaczanych przez inne stolicy europejskie. Istnieje pilna potrzeba zmodernizowania infrastruktury transportowej, służącej powiązaniom Warszawy zarówno dalekiego zasięgu, jak też powiązaniom w skali aglomeracji i samego miasta. Ze względu na fakt, iż w Warszawie spotykają się 3 z 10 transeuropejskich korytarzy drogowo-kolejowych (*Trans European Network – TEN*), niezbędne staje się pilne rozwiązanie problemu zewnętrznych połączeń komunikacyjnych miasta z największymi ośrodkami Europy. Jednocześnie prawidłowe ukształtowanie systemu ulicznego i usprawnienie komunikacji miejskiej stanowić powinno priorytet w działaniach skierowanych na poprawę standardu życia mieszkańców aglomeracji.

Warszawa, jako jedna z dwóch stolic europejskich i jedyne w Europie miasto powyżej 1 miliona mieszkańców, nie posiada obwodnicy. Część ruchu tranzytowego wobec tego wprowadzana jest do miasta, zaś ruch podmiejski i częściowo wewnątrzmijski, który w pewnym stopniu mógłby korzystać z obwodnicy miejskiej, obciąża obecnie sieć drogowo-uliczną Warszawy. Z rezultatów generalnych pomiarów ruchu zrealizowanych w roku 2000 (*Kowalski K.J. i in. [89]*) oraz w roku 2005 (*Opoczyński K. [90]*) wynika, że drogi województwa mazowieckiego, obok dróg województw śląskiego, małopolskiego, łódzkiego oraz wielkopolskiego, należą do najbardziej obciążonych w Polsce. *Opoczyński K. [90]* wskazuje również, że na drogach dojazdowych do Warszawy średni dobowy ruch na odcinkach Raszyn-Janki, Warszawa-Marki oraz Warszawa-Mysiadło przekracza 50 tysięcy pojazdów, co klasyfikuje je w grupie najsilniej obciążonych w skali kraju. Te zatem fakty przesądzają o konieczności zbudowania sprawnego systemu drogowo-ulicznego na obszarach dużych miast oraz w ich bezpośrednim sąsiedztwie. W szczególności mowa tu o obwodnicach. W obliczu braku wyraźnie ukształtowanych ciągów obwodnicowych w sąsiedztwie Warszawy, jak wskazuje *Warząchowski M. [78]*, jednym ze sposobów zmniejszenia zatłoczenia miasta jest przejęcie ruchu tranzytowego na dalekich podejściach od Warszawy i skierowanie go na istniejące, jednakże zmodernizowane odcinki dróg nr 50 oraz 60. Mimo faktu, że ten sposób postępowania jest obecnie realizowany, nie można dopuszczać do dalszego odsuwania w czasie realizacji obwodnicy miejskiej. W takiej sytuacji bowiem, jak dowodzi *Suchorzewski W. [73]*, ruch aglomeracyjny, regionalny i tranzytowy odbywać się będzie istniejącymi drogami niższej klasy, przebiegającymi przez tereny zabudowane. W efekcie dużego natężenia ruchu pojazdów nastąpi wzrost emisji szkodliwych substancji do powietrza, a w konsekwencji pogorszy się jakość środowiska zarówno społecznego, jak i przyrodniczego.

Budowa obwodnicy miejskiej dla Warszawy jest zatem kluczową inwestycją, która powinna być pilnie zrealizowana. Istotnym jest fakt, iż obwodnica (jako droga klasy „S”) przebiegająca blisko granic miasta, przyczynia się do przejęcia części ruchu lokalnego (obsługa ruchu pomiędzy Warszawą a okolicznymi miejscowościami), jak również ruchu z obszaru samego miasta, odciążając tym samym miejskie arterie komunikacyjne. Fakt, iż obwodnica zlokalizowana stycznie do granic miasta ma większy udział w obsłudze ruchu podmiejskiego i miejskiego w porównaniu z obwodnicą położoną z dala od miasta, potwierdzają badania przeprowadzone dla różnych wariantów przebiegu dróg ekspresowych i autostrad w sąsiedztwie miast, przytoczone przez *Suchorzewskiego W. [73]*, *Uzdalewicza Z. [74]* oraz *Brzezińskiego A. [22]*. W przypadku Warszawy, zgodnie z raportem *[103]*, udział autostrady w obsłudze ruchu do Warszawy oraz w kierunku przeciwnym dla wariantów wewnętrznych (płatnego i bezpłatnego) wynosi nieco ponad

30% całkowitego strumienia pojazdów. Kolejne 30% stanowią pojazdy z ruchu wewnątrzmiastowego. Obsługa ruchu warszawskiego w przypadku pozostałych wariantów w zasadzie nie istnieje, wynosi bowiem około 2,5% dla najbliższych lokalizacji podmiejskich, posiadających jednakże bezpośrednie połączenie autostradowe z Warszawą, natomiast w przypadku wariantu regionalnego udział ten wynosi 0%. Wariant ten ma również najniższy udział w obsłudze ruchu Warszawa-Region, kształtujący się na poziomie nieco ponad 8% całkowitego strumienia ruchu.

Mimo stosunkowo dynamicznego rozwoju stolicy Polski w innych dziedzinach, sieć drogowo-uliczna samego miasta również nie jest przystosowana do obecnego natężenia ruchu drogowego, które z roku na rok staje się coraz większe – w latach 1995÷2005 w Warszawie liczba zarejestrowanych samochodów osobowych i ciężarowych wzrosła o ponad 200 tysięcy, a więc o niemal 28%. W związku z tym zwiększyło się również obciążenie sieci drogowej, przy czym jak wynika z Diagnozy Systemu Transportowego Warszawy [86], w latach 1996÷2005 przyrost natężenia ruchu drogowego na sieci ulic w Warszawie utrzymuje się na poziomie 6÷7% w skali rocznej. Osoby poruszające się więc po Warszawie samochodami znaczącą niekiedy część czasu podróży zmuszeni są spędzać w zatorach komunikacyjnych. Do najsilniej obciążonych arterii komunikacyjnych miasta należy większość dróg wlotowych do Warszawy oraz większość mostów (Grota-Roweckiego, Śląsko-Dąbrowski, Poniatowski oraz Łazienkowski), na których stosunek natężenia ruchu do przepustowości przekracza w godzinach szczytu komunikacyjnego poziom 0,75, często również zbliżając się do 1,0. Obciążenie dróg wlotowych ruchem samochodowym sięga 50 000÷60 000 pojazdów w ciągu doby, zaś mostów: od 30 000 (most Świętokrzyski i Gdański) poprzez 50 000÷60 000 (most Poniatowski, Śląsko-Dąbrowski i Siekierski) do 120 000 (most Łazienkowski) i 145 000 pojazdów na dobę (most Grota-Roweckiego). Najważniejsze arterie komunikacyjne miasta obciążone są ruchem na poziomie 70 000÷110 000 pojazdów w skali doby.

Przyczyn takiego stanu rzeczy szukać należy:

- we wzrastającym udziale samochodu w podziale zadań przewozowych
- w przepustowości istniejących ciągów komunikacyjnych, niedostosowanej do generowanego ruchu
- w długotrwałych procedurach przetargowych i powoli prowadzonych pracach remontowych
- we wspomnianym braku obwodnicy miejskiej
- w niedostatecznej liczbie przepraw mostowych

U podstaw tego zjawiska leży również ogólny niedobór, a w zasadzie brak, infrastruktury, której obecność skłoniłaby część kierowców do rezygnacji z podróżowania po Warszawie samochodami. Należy tu przede wszystkim wymienić:

- zintegrowany system transportu zbiorowego o wysokiej jakości świadczonych usług, w tym obecność II i III linii metra
- sprawny system zarządzania ruchem z uwzględnieniem priorytetów dla pojazdów komunikacji publicznej
- system parkingów typu *Park&Ride*
- rozwinięta sieć rowerowa

Należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, który zasygnalizowali *Becker D. i Richter F. [19]*, wskazując, że zwiększanie przepustowości istniejących arterii komunikacyjnych lub budowa nowych dróg stanowi jeden ze sposobów zwiększania płynności ruchu, a więc również ograniczania miejsc powstawania zatorów drogowych. Jednakże w następstwie tego typu operacji następuje zwykle wzrost zainteresowania ze strony kierowców korzystaniem z nowej, czy zmodernizowanej arterii aż do powstawania zatorów komunikacyjnych również i na niej, co skutkować może zwiększoną sumaryczną emisją szkodliwych produktów spalania. Jeśli wobec powyższego modernizacja lub budowa nie ma charakteru systemowego, obejmując jeden

wybrany ciąg komunikacyjny, należy spodziewać się na nim wzrostu natężenia ruchu pojazdów i potencjalnie większej emisji. W takim przypadku również eliminacja powstawania zatorów komunikacyjnych w jednym miejscu może generować je w innym. Swego rodzaju półśrodek stanowić może przebudowa niektórych zwykłych skrzyżowań na skrzyżowania o ruchu okrężnym, które według *Bohatkiewicza J.* [20] stanowią stosunkowo skuteczny i niewymagający dużych nakładów finansowych sposób zwiększenia płynności ruchu drogowego, z uwagi na mniejszą liczbę zatrzymań pojazdów na wlotach na skrzyżowanie. Efektem tego typu rozwiązań jest również mniejsza emisja zanieczyszczeń atmosferycznych i hałasu.

Zgodnie z danymi przedstawionymi w raporcie [95], na centralnym obszarze Warszawy, skupiającym 15% sieci drogowo-ulicznej miasta, realizowane jest ponad 22% pracy przewozowej wyrażonej w pojazdokilometrach oraz 41% pojazdogodzin. Co więcej, około 20% pracy przewozowej mierzonej pojazdokilometrami odbywa się na poziomie wyczerpanej przepustowości ulic, czego wynikiem jest utrata ponad 50% czasu podróży odbywanych samochodami, na tych odcinkach, które znajdują się zarówno na terenie śródmiejskim, jak i poza nim. Na obszarze centralnym Warszawy, średnia prędkość ruchu samochodów w godzinach szczytu wynosi około 11 km/h, natomiast średnia dla całego miasta to 20 km/h.

Układ drogowo-uliczny Warszawy nie jest w chwili obecnej na tyle wykształcony, aby umożliwił obsłużenie generowanego w nim ruchu. Ponadto, według „Raportu o stanie technicznym ulic Warszawy”, wykonanym przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów (stan na wrzesień 2003 roku), stan techniczny sieci drogowej w Warszawie jest bardzo zły:

- niemal 50% ulic wymaga wymiany lub wzmocnienia całej podbudowy
- ponad 32% jezdni wymaga wymiany warstw bitumicznych
- jedynie nieco ponad 12% ulic w ogóle nie wymaga napraw

Sytuacja taka powinna, jak się wydaje, skłonić część mieszkańców do korzystania z transportu zbiorowego. Jednakże jak wynika z Diagnozy Systemu Transportowego Warszawy [86], w latach 1998-2005 ruchliwość w podróżach pieszych zwiększyła się o około 8%, przy czym jeśli chodzi o podział zadań przewozowych w podróżach wewnętrznych mieszkańców Warszawy, udział podróży samochodem w skali doby zwiększył się z niespełna 33% do 38%, przy jednoczesnym spadku udziału komunikacji zbiorowej z 66% do 60,5%. Sytuacja taka niewątpliwie ma wpływ na zwiększenie obciążenia sieci drogowo-ulicznej miasta, a w efekcie na rosnący problem zatorów komunikacyjnych i ich oddziaływania na środowisko miejskie.

Na zmniejszające się zainteresowanie korzystaniem z komunikacji zbiorowej, jako alternatywy dla transportu indywidualnego, wpływać może brak możliwości radykalnego skrócenia czasu dotarcia do celu, zwłaszcza w przypadku podróżowania autobusem. Tworzące się zatory blokują bowiem ruch autobusów, a w niektórych przypadkach także tramwajów (przykładowo Most Śląsko-Dąbrowski). Wydzielenie specjalnych pasów tylko dla autobusów w warunkach warszawskich nie przyczyniło się do istotnych zmian. W godzinach szczytu pasy te zajmowane są również przez samochody osobowe, co blokuje możliwość szybkiego przejazdu autobusem. Swobodnie mogą się one poruszać po wyznaczonych dla nich pasach jedynie poza okresem szczytu komunikacyjnego, gdy ruch pozostałymi pasami odbywa się zwykle bez wyraźnych utrudnień. Część mieszkańców ma możliwość korzystania z metra. Jednakże dla wielu z nich nie stanowi to całkowitego rozwiązania problemu, za wyjątkiem osób podróżujących pomiędzy terenami dzielnic Ursynów, Śródmieście i Żoliborz, zlokalizowanymi wzdłuż linii metra. W innym przypadku, z uwagi na brak rozwiniętej sieci metra, pasażerowie muszą korzystać również z innych środków transportu zbiorowego. Obecność linii metra sprzyja odciążeniu sieci drogowej – tak też było po oddaniu do użytkowania odcinka pierwszej linii metra w Warszawie. Znaczące odciążenie ulicy Puławskiej natychmiast jednak skłoniło osoby dojeżdżające do Warszawy z obszarów podmiejskich do korzystania z tej arterii, wskutek czego jej obciążenie uległo jeszcze zwiększeniu.

Ponadto w Warszawie nie istnieje instytucja zarządzająca i koordynująca transport zbiorowy na poziomie metropolitarnym, czego efektem jest m.in.:

- o brak wspólnego systemu biletowego dla środków transportu zarządzanych przez Zarząd Transportu Miejskiego oraz kolei podmiejskich
- o niepodejmowanie współpracy z prywatnymi przewoźnikami miejskimi w zakresie uporządkowania i ujednoczenia systemu transportu w granicach aglomeracji warszawskiej

Skutkuje to z kolei zbyt niskim zainteresowaniem mieszkańców podróżami komunikacją zbiorową. Mimo stosunkowo dobrze rozwiniętej sieci wewnątrzmijskiego transportu zbiorowego, w tym dużej gęstości przystanków (98% populacji miasta zamieszkuje w promieniu 500 m od najbliższego przystanku) i rozwiniętej sieci komunikacji szynowej problem stanowi również:

- o brak sprawnych węzłów przesiadkowych między różnymi środkami transportu publicznego
- o niski standard oferowanych usług, zwłaszcza w zakresie norm napelnienia pojazdów, częstotliwości kursowania oraz jakości taboru
- o niska jakość usług oraz mała atrakcyjność kolei podmiejskich
- o niewystarczające uprzywilejowanie transportu zbiorowego w centralnym obszarze miasta i w korytarzach dojazdowych do terenów śródmiejskich

W komunikacji tramwajowej, jak wskazuje raport [86], ułatwienia w ruchu wynikają niemal wyłącznie ze znaczącego udziału torowisk wydzielonych z jezdni, natomiast priorytety w sygnalizacji świetlnej stosowane są sporadycznie. W kwestii priorytetów dla komunikacji autobusowej sytuacja jest zbliżona, zaś wydzielone pasy ruchu, o łącznej długości nieco ponad 14 km, w godzinach szczytu komunikacyjnego, jak już wspomniano, nie spełniają swojej roli. Jedynym wyraźnym ułatwieniem ruchu autobusów jest ograniczenie wjazdu dla pojazdów prywatnych w ciąg ulicy Nowy Świat.

Kolejną słabą stroną systemu transportowego Warszawy jest brak nowoczesnego systemu zarządzania i sterowania ruchem. Pomimo, iż Warszawa ma relatywnie dobrze rozwiniętą sygnalizację świetlną, obejmującą 494 skrzyżowania, to jedynie na nieco ponad 40% skrzyżowań zainstalowane są sygnalizacje akomodacyjne, a więc o działaniu dostosowywanym do aktualnej sytuacji w ruchu drogowym. Spośród pozostałych sygnalizatorów znaczna część nie spełnia wymagań niezawodności i nowoczesności, a zwłaszcza nie umożliwi uprzywilejowania transportu zbiorowego. Planowany do realizacji w najbliższych latach Zintegrowany System Zarządzania Ruchem ma zapewnić, jak podaje raport [86], optymalny przepływ osób i towarów w systemie transportowym Warszawy, a ponadto informować o sytuacji w ruchu drogowym, zapewnić monitorowanie i sterowanie ruchem w obrębie tuneli, umożliwić nadawanie priorytetów pojazdom komunikacji zbiorowej, jak również zapewnić płynny przejazd pojazdom specjalnym, w tym karetkom pogotowia, wozom straży pożarnej, czy pojazdom policji.

System zarządzania ruchem ma obejmować również podsystem zarządzania parkingami, w tym strategicznymi parkingami typu „Parkuj i Jedź”. Biorąc pod uwagę obecny system parkowania na terenie Warszawy, to można w jego ramach wyróżnić dwie zasadnicze strefy, obejmujące:

- o tereny centralne
- o pozostałe rejony

Od lipca 1999 roku funkcjonuje w centralnej części Warszawy System Parkowania Płatnego Niestrzeżonego (SPPN), obejmujący około 25 000 miejsc postojowych. Wprowadzenie SPPN spowodowało, zgodnie z oczekiwaniami, zwiększenie rotacji pojazdów na parkingach ulicznych i pewne ograniczenie problemów komunikacyjnych w obszarze centralnym, powodując jednocześnie wzmożone zainteresowanie miejscami parkingowymi bezpośrednio przylegającymi do strefy parkowania płatnego, co jest związane z chęcią uniknięcia opłat za parkowanie. Na pozostałych obszarach miasta korzystanie z ogólnodostępnych miejsc parkingowych jest bezpłatne, przy czym należy zwrócić uwagę, że na większości terenów występuje deficyt miejsc postojowych, co wynika z faktu, iż obszary o nieco starszej zabudowie zarówno usługowej, jak

również mieszkaniowej i wielofunkcyjnej projektowane były przy założeniu znacznie niższego wskaźnika motoryzacji indywidualnej. Dopiero w procesie projektowania zabudowy w ostatnich latach uwzględniono dynamicznie rosnący wskaźnik motoryzacji, efektem czego jest w miarę możliwości zaspokajanie potrzeb parkingowych mieszkańców tych obszarów.

W chwili obecnej nie istnieją natomiast na terenie Warszawy ani na terenach podmiejskich parkingi przesiadkowe typu „Parkuj i Jedź” (*Park&Ride*, P+R), choć podjęte zostały już pierwsze próby w kierunku ich powstania. Przykładowo, jak podaje *Lima S. [49]*, w Pradze tego typu obiektów jest obecnie 16. Rozwój systemu P+R, jak podaje raport [86], został zapisany w „Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego m.st. Warszawy”, zaś pierwsze parkingi powstaną przy stacjach metra Marymont i Wilanowska oraz przy ul. Połczyńskiej. Próby organizacji systemu *Park&Ride* zostały również podjęte na obszarach podmiejskich wzdłuż linii Warszawskich Kolei Dojazdowych (WKD).

Nie bez znaczenia pozostaje również problem ruchu rowerowego w Warszawie, którego właściwa promocja mogłaby sprawić, że poruszanie się rowerem zaczęłoby być traktowane jako alternatywa w stosunku do krótszych podróży odbywanych samochodami, czy komunikacją zbiorową. Pomimo, iż w ostatnich latach obserwuje się stosunkowo dynamiczny rozwój sieci dróg rowerowych, co pociągnęło za sobą również zauważalny wzrost udziału komunikacji rowerowej w odbywanych podróżach, to rower, jako środek transportu, nadal ma znaczenie marginalne (zgodnie z [86] tym środkiem transportu odbywanych jest 1,1% podróży pieszych). Ogólna długość dróg rowerowych na obszarze Warszawy wynosi około 200 km, przy czym stopień ich rozwoju w dzielnicach jest bardzo różny, a ponadto system dróg rowerowych stanowią odrębne, niepowiązane ze sobą lub słabo powiązane krótkie odcinki. Poważną przeszkodę w rozwoju tego środka transportu stanowi także brak parkingów rowerowych, po pierwsze zlokalizowanych w pobliżu kluczowych celów podróży (szkół, uczelni, urzędów, obiektów kultury, czy węzłów przesiadkowych komunikacji zbiorowej), po drugie zaś zapewniających odpowiedni poziom bezpieczeństwa pozostawianym na nich rowerom. Niedostateczny jest również poziom bezpieczeństwa samego ruchu rowerowego na ścieżkach, na których nierzadko parkują samochody, czy odbywa się ruch pieszy.

Reasumując stwierdzić można, iż problemy komunikacyjne dotyczą w zasadzie obszaru całej niemalże Warszawy. Rozbudowa sieci drogowo-ulicznej miasta postępuje w sposób bardzo powolny, a jak wynika z informacji Biura Planowania Rozwoju Warszawy [95] jedynie układ ulic obszaru Śródmieścia, zgodnie z zatwierdzanymi koncepcjami kolejnych planów zagospodarowania przestrzennego, jest w pełni wykształcony. Charakteryzuje się również największą gęstością sieci drogowej w Warszawie – 184% średniej dla miasta, wynoszącej 7,66 km dróg na 1 km<sup>2</sup> powierzchni. Na tym obszarze w związku z powyższym nie przewiduje się rozbudowy sieci drogowej, a ewentualnie pewne korekty i działania modernizacyjne. Istniejące trasy promieniste prowadzące ruch do Centrum Warszawy, przy jednoczesnym braku powiązań obwodowych oraz wystarczającej ilości przepraw mostowych, nie są w stanie przyjąć takiego natężenia ruchu, jakie jest na nich generowane – jak wynika z Diagnozy Systemu Transportowego Warszawy [86] Kordon Obszaru Centrum Warszawy przekracza w ciągu doby ponad 1 milion samochodów osobowych. Z kolei zgodnie z „Diagnozą istniejącego systemu transportowego” [95] brak sprawnych połączeń pomiędzy Żoliborzem i Wolą, Wolą i Ochotą oraz Ochotą i Mokotowem, które pozwoliłyby ominąć obszary śródmiejskie, przyczynia się również do obciążania systemu drogowego miasta. Istotny mankament stanowi:

- o brak na obszarze Warszawy tras szybkiego ruchu lub ruchu przyspieszonego, zapewniających sprawne połączenia obwodowe między odległymi dzielnicami
- o brak w pełni funkcjonalnego połączenia na kierunku północ-południe na terenie prawobrzeżnej części miasta
- o wspomniany już problem nieistniejącej obwodnicy, która z jednej strony stanowiłaby połączenie obwodowe pomiędzy różnymi częściami Warszawy, z drugiej zaś uniemożliwiłaby wprowadzanie zewnętrznego ruchu krajowego i międzynarodowego na tereny miejskie

### 3. Rodzaje zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery przez pojazdy

Proces spalania paliwa w silnikach pojazdów mechanicznych skutkuje emisją do powietrza szeregu substancji o różnym charakterze oddziaływania na środowisko. Jak podaje *Chłopek Z. [3]*, wśród produktów spalania wyróżnić można substancje charakteryzujące się brakiem szkodliwego oddziaływania na środowisko, w tym na zdrowie ludzi i zwierząt. Wyróżnić tu można

- o tlen
- o azot
- o wodór

Emitowane są również produkty, które ze względu na charakter oddziaływania lub niewielką ilość, w jakiej powstają, nie są szkodliwe w sposób bezpośredni dla zdrowia organizmów żywych. Do tej grupy należą:

- o ditlenek węgla
- o metan
- o amoniak
- o tlenek diazotu

Z kolei spośród substancji występujących w spalinach w dużych ilościach i mających zdecydowanie negatywny wpływ na zdrowie ludzi i zwierząt wymienić należy:

- o tlenek węgla
- o tlenki azotu
- o węglowodory i ich pochodne (m.in. aldehydy)
- o cząstki stałe, w tym: sadza, dymy, popioły, metale

Ponadto spalanie paliw w silnikach związane jest z emisją szkodliwych dla zdrowia substancji, które występują jednakże w niewielkich stężeniach. Należą tu: kwas siarkowy, kwas azotowy, cyjanowodór, ozon, związki fosforu. Obok związków powstających w wyniku procesu spalania zachodzącego w silniku pojazdu istnieje również grupa ważnych ze względu na negatywny charakter oddziaływania wtórnych produktów, powstających wskutek przemian zachodzących w powietrzu atmosferycznym. Wśród substancji tych wyróżnić można: ozon (będący istotnym składnikiem smogu fotochemicznego), ditlenek azotu, tritlenek siarki, aldehydy oraz cząstki stałe.

Jak podają *Merkisz J. [9]* oraz *Chłopek Z. [3]*, do źródeł substancji zanieczyszczających, wydalanych z silników spalinowych do powietrza atmosferycznego, należą:

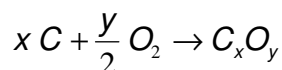
- o układ wylotowy
- o skrzynia korbowa
- o układ zasilania w paliwo

Układ wylotowy jest źródłem podstawowym, z niego bowiem wydostaje się zdecydowana większość zanieczyszczeń. Wielkość emisji z pozostałych dwóch źródeł, w porównaniu z emisją z układu wydechowego, jest marginalna. Zasadniczymi, toksycznymi, składnikami gazowymi spalin w silnikach z zapłonem iskrowym (silnikach benzynowych) są: tlenek węgla, niedopalone węglowodory oraz tlenki azotu. W silnikach z zapłonem samoczynnym (silnikach Diesla), emitowane są głównie tlenki azotu oraz cząstki stałe, a z kolei udział węglowodorów jest mniejszy, aniżeli w silnikach z zapłonem iskrowym (*Merkisz J. [9]*). W dalszej części przedstawiony zostanie krótko mechanizm powstawania oraz wpływ na organizm człowieka wybranych, najpowszechniej występujących i szczególnie niekorzystnie oddziałujących



zanieczyszczeń powietrza, powstających wskutek spalania paliw w pojazdach, bądź powstających w efekcie przemian wyemitowanych substancji.

**Tlenek węgla** – tlenek węgla (CO) jest bezbarwnym, bezwonny gazem powstającym, obok ditlenku węgla (CO<sub>2</sub>) podczas procesów spalania stałych, płynnych i gazowych paliw. W przypadku, gdy temperatura procesu nie przekracza 100°C, nie powstaje żaden z tych związków, a jedynie kompleks pośredni węglowo-tlenowy (równanie 3.1). Wynika to z braku reakcji tlenu z węglem w takiej temperaturze, a jest efektem pochłaniania tlenu przez węgiel. Kompleks ten ulega rozkładowi w miarę wzrostu temperatury. Zależnie od jej wysokości CO<sub>2</sub> i CO powstają w różnych proporcjach (równanie 3.2). Poważne źródło tlenu węgla stanowi utlenianie węglowodorów pochodzenia antropogenicznego, tworzących się m.in. podczas niepełnego spalania węglowodorowych paliw w silnikach (równanie 3.3). Tlenek węgla powstawać może również w wysokotemperaturowych reakcjach pomiędzy CO<sub>2</sub> a substancjami zawierającymi węgiel (równanie 3.4) oraz wskutek dysocjacji ditlenku węgla również w wysokich temperaturach (równanie 3.5) (Falkowska L. i Korzeniewski K. [6]). Stąd bardzo ważne są prawidłowe kontrole techniczne pojazdów pod kątem składu spalin i możliwość eliminowana z ruchu drogowego pojazdów przekraczających normy emisyjne.



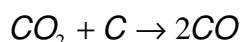
Równanie 3.1 – proces tworzenia się kompleksu węglowo-tlenowego [6]



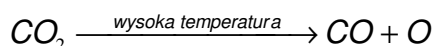
Równanie 3.2 – reakcja rozpadu kompleksu węglowo-tlenowego na CO<sub>2</sub> i CO [6]



Równanie 3.3 – mechanizm powstawania tlenu węgla w procesie niepełnego spalania paliw węglowodorowych. R – rodnik węglowodorowy [9]



Równanie 3.4 – powstawanie tlenu węgla w wyniku reakcji CO<sub>2</sub> z węglem [10]



Równanie 3.5 – reakcja wysokotemperaturowej dysocjacji CO<sub>2</sub> [10]

Jak podaje *Ming-Ho Yu* [10], żadne inne zanieczyszczenie gazowe, o takich toksycznych właściwościach, jak tlenek węgla, nie występuje w powietrzu atmosferycznym obszarów miejskich w tak dużym stężeniu. Silna ekspozycja na CO wynika głównie z powszechnej obecności tego gazu w powietrzu, co jest efektem jego emisji z procesów przemysłowych oraz silników pojazdów mechanicznych. Do innych przyczyn zaliczyć można niesprawne instalacje wentylacyjne w wyniku czego może nastąpić nagromadzenie CO, czy palenie papierosów.

W silnikach pojazdów tlenek węgla powstaje w cylindrze, podczas procesu spalania paliwa z niedoborem tlenu (mieszanka bogata). Ze względu na różnice we współczynnikach nadmiaru powietrza, poziom zawartości tlenu węgla w spalinach silników z zapłonem iskrowym i samoczynnym jest wyraźnie zróżnicowany. Wskutek pracy na mieszankach bliskich składowi stechiometrycznemu (a więc dla współczynnika nadmiaru powietrza  $\lambda=1$ ) w przypadku częściowego obciążenia i niekiedy na mieszankach bogatych ( $\lambda<1$ ) przy obciążeniu pełnym, w silnikach z zapłonem iskrowym emisja CO (jak również węglowodorów) jest znaczna i wymaga ścisłego limitowania. Silniki z zapłonem samoczynnym pracują zaś na mieszankach uboższych ( $\lambda>1$ ), co wpływa na nieznaczną emisję tlenu węgla, jak również węglowodorów. Obok spalania w bogatych mieszankach do mechanizmów powstawania CO w silnikach należy dysocjacja CO<sub>2</sub> w strefach wysokotemperaturowego płomienia (*Merkisz J. [9], Chłopek Z. [3]*).

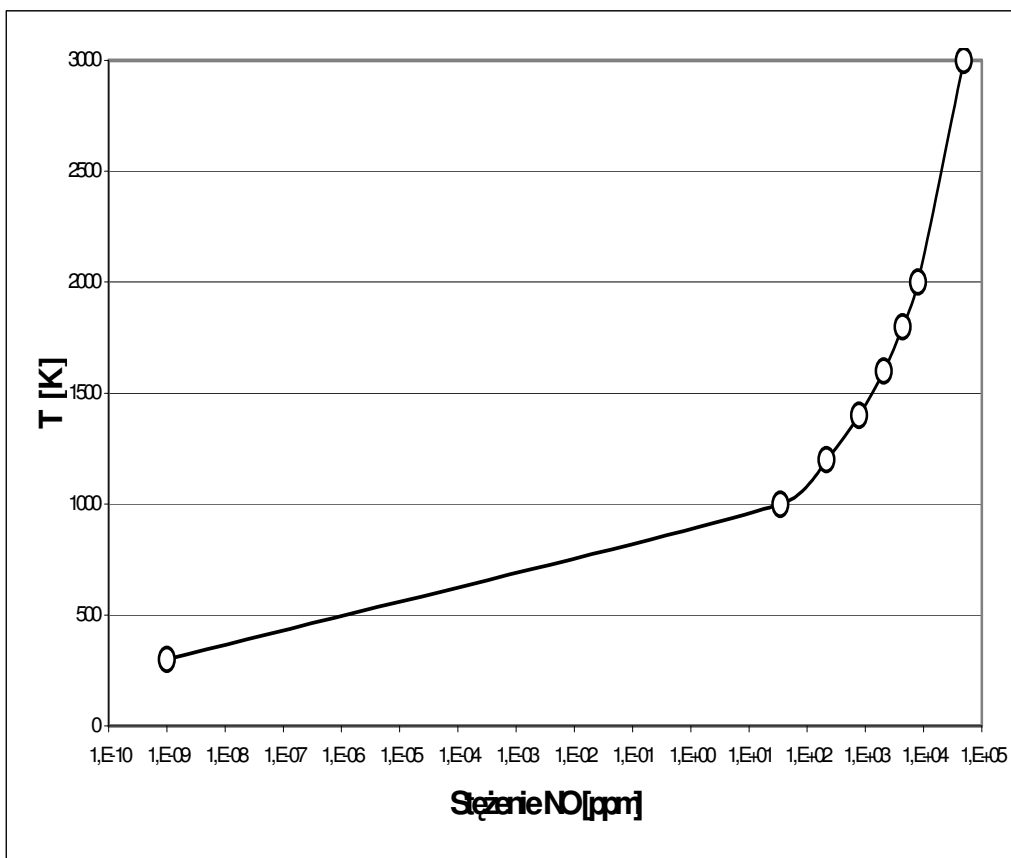
**Związki siarki** – siarka występuje w paliwie pod postacią różnych związków zanieczyszczających. W węglu około połowę zawartości siarki stanowi piryt, reszta zaś występuje w związkach organicznych i pod postacią soli. Całkowita zawartość siarki w węglu dochodzić może do 5%, natomiast ropa naftowa zawiera zwykle od dziesiątych części procenta do 2÷3%

siarki. W procesie spalania z nadmiarem powietrza siarka ulega utlenieniu do ditlenku siarki, a około 1÷2% powstałego  $\text{SO}_2$ , po dłuższym czasie przebywania w powietrzu atmosferycznym, podlega dalszemu utlenieniu do  $\text{SO}_3$  (pod wpływem działania promieniowania słonecznego). W związku z faktem, iż siarka ulega całkowitemu utlenieniu, znając jej zawartość w paliwie, można obliczyć całkowitą emisję tlenków siarki (Jarosiński J. [7], Bojanowska I. [110]). Proces spalania paliw kopalnych stanowi zasadnicze źródło obecności w powietrzu atmosferycznym siarki pochodzenia antropogenicznego i choć źródła mobilne, jak będzie o tym mowa w rozdziale 3.2, mają stosunkowo niewielki udział w emisji związków siarki, to jej obecność w paliwie może znacząco zwiększyć emisję innych szkodliwych dla środowiska substancji. Jak podają Merkisz J. i Kozak M. [58], siarka zawarta w paliwie zmniejsza efektywność działania reaktora katalitycznego, zwiększając z kolei czas niezbędny na osiągnięcie nominalnej temperatury jego pracy. Nowoczesne reaktory katalityczne są wrażliwe na zawartość siarki w benzynie, co skutkuje gwałtownym spadkiem konwersji  $\text{NO}_x$  do  $\text{N}_2$ . Zawartość siarki wpływa ponadto w pewnym stopniu na wzrost emisji węglowodorów. W silnikach z zapłonem samoczynnym, podobnie jak w silnikach benzynowych, siarka zawarta w paliwie obniża skuteczność działania reaktora katalitycznego redukującego  $\text{NO}_x$  do  $\text{N}_2$ . Ponadto wzrost zawartości siarki w oleju napędowym w liniowy sposób wpływa na zwiększenie emisji cząstek stałych.

Podobnie do innych gazów wpływających na zanieczyszczenie atmosfery,  $\text{SO}_2$  podlega reakcjom chemicznym podczas formowania się cząstek materii w procesach koagulacji, dyfuzji, podczas sedymentacji grawitacyjnej, czy też wymywania przez wodę (podczas opadów atmosferycznych). Jest jednym z gazów biorących udział w procesie formowania się aerozoli. Większość ditlenku siarki obecnego w powietrzu jest utleniana do kwasu siarkowego (VI) i soli siarczanowych (w przypadku obecności w powietrzu cząstek amoniaku powstaje wtedy siarczan amonu i disiarczan amonu). Formowanie się  $\text{H}_2\text{SO}_4$  wzmaga obecność soli niektórych metali rozpuszczonych w cząstkach wody, jak również ozonu, nadtlenu wodoru, wodorowęglanów i tlenków azotu. Powstały kwas siarkowy (VI) z kolei ulega dysocjacji elektrolitycznej w kroplach wody, czego wynikiem jest powstanie jonów  $\text{SO}_4^{2-}$  oraz  $\text{H}^+$ , stanowiącymi obok jonów  $\text{NO}_3^-$  główne składniki kwaśnej depozycji. (Falkowska L. i Korzeniewski K. [6], Ming-Ho Yu [10], Juda-Rezler K. [8]).

**Związki azotu** – w atmosferze wśród związków azotu obecnych jest sześć tlenków: tlenek diazotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ), tlenek azotu (NO), ditlenek azotu ( $\text{NO}_2$ ), tritlenek azotu ( $\text{N}_2\text{O}_3$ ), tetratlenek azotu ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) oraz pentatlenek azotu ( $\text{N}_2\text{O}_5$ ). Proces spalania paliw, zarówno ze źródeł stacjonarnych (energetyczne i przemysłowe spalanie paliw), jak i mobilnych (emisja z silników pojazdów mechanicznych) skutkuje emisją do powietrza tlenku i ditlenku azotu. Zarówno brunatny, gryzący, o ostrym zapachu  $\text{NO}_2$ , jak i bezbarwny i bezwonny NO są znaczącymi składnikami zanieczyszczonego powietrza. Ze względu na zdolność do przechodzenia jednego z nich w drugi (labilność) często oznaczane są razem jako tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ ). W odróżnieniu od ditlenku siarki, powstającego z siarki zawartej w spalonym paliwie w ilości proporcjonalnej do tej zawartości, powstawanie tlenków azotu jest wynikiem głównie reakcji tlenu z azotem, zawartych w pobieranym podczas spalania powietrzu, natomiast mechanizm polegający na utlenianiu azotu zawartego w paliwie ma znaczenie drugorzędne (wielkość emisji jest o rząd wielkości niższa) (Falkowska L. i Korzeniewski K. [6], Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11], Merkisz J. [9], Chłopek Z. [3]).

Wysoka temperatura spalania wpływa na powstawanie NO, a ilość powstającego tlenku azotu jest proporcjonalna do wysokości temperatury, co prezentuje Wykres 1 (Merkisz J. [9]). W cylindrach silników wśród  $\text{NO}_x$  głównym produktem jest więc tlenek azotu. Związek ten jednak, jako nietrwały, ulega rozpadowi, a w sprzyjających warunkach (szybkie obniżenie temperatury spalin zawierających jednocześnie duże ilości wolnego tlenu) dąży do utworzenia trwałego związku –  $\text{NO}_2$  (więcej ditlenku azotu powstaje w procesach popłomiennych w silnikach z zapłonem samoczynnym). W redukującym reaktorze katalitycznym (nazywanym popularnie katalizatorem), jako przejściowy produkt redukcji tlenków azotu powstają także niewielkie ilości  $\text{N}_2\text{O}$  (Falkowska L. i Korzeniewski K. [6], Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11], Chłopek Z. [3]).

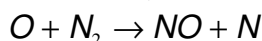


**Wykres 1** Zależność stężenia tlenku azotu od temperatury spalania

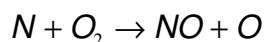
Jak podają *Jarosiński J. [7]*, *Merkisz J. [9]* oraz *Chłopek Z. [3]* w procesach spalania znane są trzy zasadnicze źródła powstawania tlenku azotu:

- mechanizm termiczny (mechanizm Zeldowicza) powstawania NO z azotu zawartego w powietrzu – mechanizm dominujący w spalaniu w silnikach
- mechanizm szybkiego powstawania tlenku azotu
- mechanizm utleniania organicznych związków paliw kopalnych, zawierających w swoim składzie azot

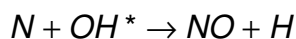
Jak wspomniano powyżej, emisja  $\text{NO}_x$  związana z występowaniem ostatniego z wymienionych mechanizmów, jest nieznaczna i pojawia się jedynie w nielicznych, niekorzystnych przypadkach (*Merkisz J. [9]*). Termiczny mechanizm powstawania NO wyznaczają trzy reakcje tzw. rozszerzonego modelu Zeldowicza (równania 3.6÷3.8). Dwa pierwsze równania to odpowiednio pierwsza i druga reakcja Zeldowicza, natomiast trzecie to reakcja Lavoie:



**Równanie 3.6 – pierwsza reakcja Zeldowicza [7, 9, 3]**



**Równanie 3.7 – druga reakcja Zeldowicza [7, 9, 3]**



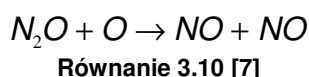
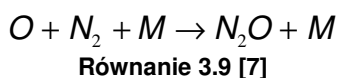
**Równanie 3.8 – reakcja Lavoie [7, 9, 3]**

Rozszerzony model Zeldowicza przyjęto za zgodny z modelowanymi procesami w warunkach spalania ubogich mieszanek (o współczynniku nadmiaru powietrza  $\lambda > 1$ ) i poprawnie opisujący powstawanie tlenku azotu w gazach popłomiennych. Czas przebywania reagujących cząstek w strefie spalania jest bardzo krótki a ponadto wskutek rosnącego w cylindrze ciśnienia, spalone wcześniej produkty ulegają dalszemu sprężeniu, przez co osiągają wyższe ciśnienie,

aniżeli osiągnęłyby bezpośrednio po spalaniu. Zjawiska te powodują, iż ilość tlenku azotu powstającego w strefie popłomiennej jest znacznie wyższa od ilości NO tworzonego w strefie spalania. Z tego względu zakłada się także, że stężenia rodników O, O<sub>2</sub>, OH\*, H i N<sub>2</sub> w strefie popłomiennej osiągają wartości równowagowe (Merkisz J. [9], Chłopek Z. [3]).

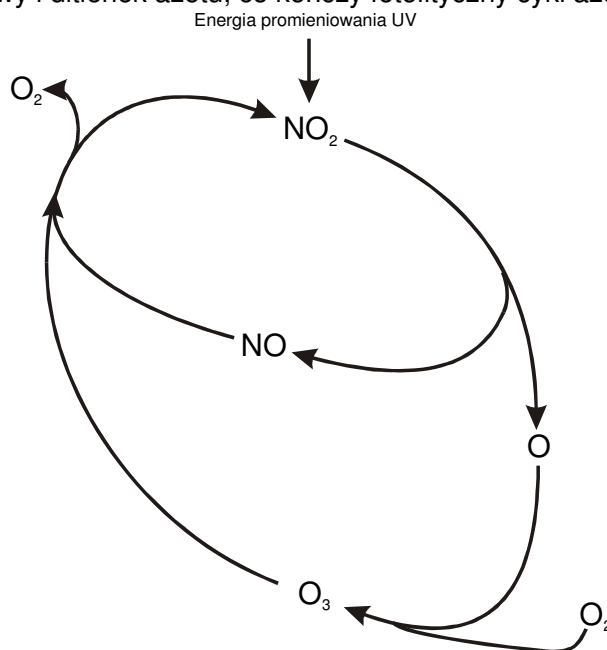
W mechanizmie szybkiego formowania NO podczas spalania paliw węglowodorowych wyróżnia się trzy źródła powstawania tlenku azotu:

- o nierównowagowe stężenie rodników O i OH\* w obszarze reakcji i spalin, które przyspieszają mechanizm termiczny
- o ciąg reakcji zapoczątkowanych przez reakcje rodników węglowodorowych obecnych w obszarze reakcji i w jego pobliżu, wraz z cząsteczkami azotu
- o reakcja atomów tlenu z azotem cząsteczkowym, w wyniku której powstaje N<sub>2</sub>O, przez reakcję rekombinacji z udziałem trzech składników (równanie 3.9) z późniejszą reakcją przemiany N<sub>2</sub>O w NO (równanie 3.10):



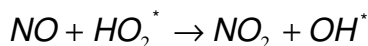
W pierwotnej strefie płomienia w powstawaniu tlenku azotu uczestniczą związki pośrednie, zawierające grupy takie jak: HCN, CN czy NH. W mechanizmie powstawania NO w mieszkankach bardzo bogatych, głównie te związki mają znaczenie.

Zgodnie z informacjami Ming-Ho Yu [10] drugim ważnym tlenkiem azotu powstającym podczas procesu spalania jest ditlenek azotu. Związek ten jest istotny ze względu na swoją środowiskową specyfikę. Odgrywa on bowiem znaczącą rolę w tworzeniu się smogu fotochemicznego oraz kwaśnej depozycji. NO<sub>2</sub> absorbuje energię z promieniowania ultrafioletowego i ulega rozpadowi na tlenek azotu oraz tlen atomowy. Atomy tlenu reagują z tlenem cząsteczkowym, tworząc ozon. Powstały O<sub>3</sub> reaguje następnie z tlenkiem azotu, dając w efekcie tlen cząsteczkowy i ditlenek azotu, co kończy fotolityczny cykl azotu (Rysunek 1).

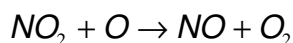


**Rysunek 1 Fotolityczny cykl azotu [10]**

Według Merkisza J. [9] oraz Chłopka Z. [3] reakcja powstawania ditlenku azotu (równanie 3.11), jak również reakcja jego redukcji (równanie 3.12) mogą być opisane zgodnie z modelem Heywooda:



Równanie 3.11 [9, 3]



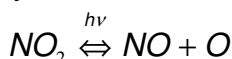
Równanie 3.12 [9, 3]

Merkisz J. [9] podaje, iż w typowej temperaturze płomienia oraz przy zachowanej równowadze procesu ilość powstającego ditlenku azotu w stosunku do tlenu azotu powinna być pomijalnie mała. Jednakże na drodze eksperymentalnej dowiedziono, iż zależność taka jest prawdziwa jedynie dla pojazdów zasilanych silnikami z zapłonem iskrowym, w których maksymalna wartość stosunku  $NO_2/NO$  osiąga poziom 2% (dla  $\lambda=1,15$ ). W przypadku silników z zapłonem samoczynnym, ilość emitowanego  $NO_2$  stanowić może około 10÷20% wszystkich emitowanych związków azotu, a maksymalne wartości  $NO_2/NO$  osiągane są dla niewielkich obciążeń i zależne są od prędkości obrotowej silnika.

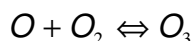
Spośród związków azotu istotnym zanieczyszczeniem atmosferycznym, poza  $NO$  i  $NO_2$  jest kwas azotowy (V) ( $HNO_3$ ). Powstawanie  $HNO_3$  jest wynikiem głównie reakcji pomiędzy ditlenkiem azotu a rodnikiem hydroksylowym ( $OH^*$ ), ale może być on również produktem reakcji drugorzędnych. W tym przypadku  $NO_2$  jest najpierw utleniane do  $NO_3$  przez ozon. Powstały tritlenek azotu reaguje z cząsteczką ditlenku azotu dając w efekcie pentatlenek azotu ( $N_2O_5$ ). W wyniku połączenia  $N_2O_5$  z cząsteczką wody powstaje kwas azotowy, który z kolei może dotrzeć do ziemi wskutek suchej bądź mokrej depozycji (Ming-Ho Yu [10]). Należy podkreślić, iż szybkość suchego osiadania kwasu azotowego jest znacznie większa (o rząd wielkości), aniżeli pozostałych gazów. Podobnie jak kwas siarkowy,  $HNO_3$  ulega w kroplach wody dysocjacji elektrolitycznej. Wynikiem tego procesu jest powstanie jonów  $NO_3^-$  oraz  $H^+$ , będącymi wraz z jonami  $SO_4^{2-}$  głównymi związkami zakwaszającymi (Juda-Rezler K. [8]).

**Ozon** – ozon ( $O_3$ ) jest alotropową odmianą tlenu. Około 90% całkowitej zawartości tego bladoniebieskiego gazu w atmosferze znajduje się w warstwie ozonosfery, stanowiącej część stratosfery. Warstwa ozonosfery spełnia bardzo istotną ochronną rolę dla Ziemi przed przenikaniem do troposfery biologicznie czynnego promieniowania ultrafioletowego. W stężeniach rzędu 0,04 ppm (0,08 mg/m<sup>3</sup>) ozon stanowi składnik czystego powietrza atmosferycznego. Naturalne źródło  $O_3$  w przy powierzchniowej warstwie ziemi stanowi w pewnej części proces przenikania do troposfery z dolnej warstwy stratosfery. W głównej zaś mierze za jego obecność przy powierzchni ziemi odpowiedzialne są procesy fotochemiczne z udziałem tlenków azotu, niemetanowych lotnych związków organicznych, węglowodorów oraz tlenu węgla. Ozon, będący bardzo silnym utleniaczem, zaliczany jest do najniebezpieczniejszych składników smogu, w skład którego wchodzi ponadto ditlenek azotu, kwas azotowy, azotan peroksyacetylu (PAN), aldehydy, ketony i szereg związków organicznych (Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11], Siemiński M. [12], Juda-Rezler K. [8]).

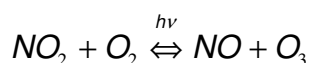
Najważniejszym źródłem ozonu, przyczyniającym się do zanieczyszczeń atmosferycznych, jest  $O_3$  występujący w smogu fotochemicznym. Główną przyczyną powstawania smogu fotochemicznego (letniego) jest przerwanie fotolitycznego cyklu azotu (równania 3.13÷3.15) przez węglowodory.



Równanie 3.13 – reakcja rozpadu ditlenku azotu pod wpływem promieniowania UV [10]



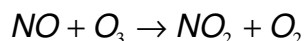
Równanie 3.14 – reakcja powstawania ozonu [10]



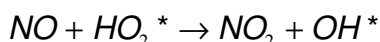
Równanie 3.15 – sumaryczny zapis reakcji rozpadu  $NO_2$  i powstawania  $O_3$  [10]

Teoretycznie reakcje odwrotne (równanie 3.16) do przedstawionych w powyższych równaniach zachodzą szybciej aniżeli reakcje pierwotne, w rezultacie czego powstający ozon

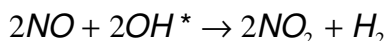
powinien być usuwany z atmosfery. Jak podaje również *Zwoździak J. i in.* [15], reakcja zaprezentowana w równaniu 3.16, zwana reakcją titracji, jest reakcją przebiegającą szybciej od innych transformacji związków azotu w powietrzu i nawet silne nasłonecznienie nie pozwala na wzrost poziomów ozonu (w nadmiarze powstaje natomiast ditlenek azotu). Jednakże, jak wskazuje *Ming-Ho Yu* [10], wolne rodniki powstałe z węglowodorów i innych związków występujących w powietrzu obszarów miejskich, reagują z tlenkiem azotu (równania 3.17÷3.18), uniemożliwiając tym samym reakcje odwrotne do przedstawionych w równaniach 3.13÷3.15. W konsekwencji, z powstałego NO<sub>2</sub>, wskutek fotodysocjacji w powietrzu gromadzi się ozon. Wolne rodniki, jak rodnik hydroksylowy (OH\*), rodnik nadtlenowodorowy (HO<sub>2</sub>\*), tlen atomowy (O), czy wyższe homologi grup węglowodorowych, biorą udział w reakcjach łańcuchowych włączając w to inicjację reakcji, rozgałęzianie łańcucha i zakończenie reakcji. W oksydacji węglowodorów oraz tlenku azotu aktywny jest zwłaszcza łańcuch OH\*-HO<sub>2</sub>\*.



Równanie 3.16 – reakcja utleniania tlenku azotu ozonem [10]



Równanie 3.17 – reakcja utleniania tlenku azotu przez rodnik nadtlenowodorowy [10]



Równanie 3.18 – reakcja utleniania tlenku azotu przez rodnik hydroksylowy [10]

**Węglowodory** – węglowodory alifatyczne oraz aromatyczne obok niektórych alkoholi, estrów i aldehydów zaliczane są do grupy lotnych związków organicznych, oznaczanych polskim skrótem LZO lub angielskim VOC (ang. *Volatile Organic Compounds*). Do emisji LZO przyczyniają się zarówno źródła naturalne, jak i antropogeniczne. Do pierwszych z nich zalicza się m.in. pożary lasów, czy biotransformację prekursorów (metabolitów pośrednich o bardziej toksycznym charakterze, aniżeli wyjściowa substancja), do drugich zaś wysokotemperaturowe spalanie paliw, zarówno ze źródeł przemysłowych, energetycznych, jak i mobilnych, spalanie w tzw. niskiej emisji, czy rolnicze wypalanie pól uprawnych. Węglowodory, których emisja z pojazdów samochodowych sukcesywnie obniża się, powstają głównie, jako efekt niecałkowitego i niezupełnego spalania paliw, wskutek lokalnego niedoboru tlenu, zakłóceń procesu spalania, czy zużywania oleju przez silnik. Ponadto do źródeł emisji tych związków zalicza się skrzynię korbową silnika, zbiornik paliwa (parowanie lekkich frakcji) oraz układ zasilania i smarowania (wycieki), co jak wspomniano na początku *rozdziału 3* ma jednak stosunkowo niewielki udział w emisji węglowodorów (*Ming-Ho Yu* [10], *Juda-Rezler K.* [8], *Merkisz J.* [9]).

Według *Merkisza J.* [9] część węglowodorów pod wpływem światła, zaraz po opuszczeniu układu wydechowego, reaguje z tlenem i związkami azotu, tworząc nadtlenki, aldehydy, azotany nadtlenków acylowych oraz ozon. Wśród węglowodorów emitowanych do atmosfery wraz z gazami spalinowymi zarówno ze źródeł stacjonarnych, jak i mobilnych (silników pojazdów mechanicznych) wyróżnić można takie grupy jak:

- Węglowodory nasycone (alkany (parafiny)) – alkany o niskiej liczbie atomowej charakteryzują się niewielką temperaturą wrzenia i wysoką lotnością. Stosunkowo trudnorozpuszczalne w wodzie, a więc także we krwi, są związkami zdecydowanie lipofilowymi, co potęguje ich zdolność do szybkiego przenikania przez błony komórkowe i do tkanek. Z kolei nasycone węglowodory o wysokiej liczbie atomowej należą do substancji hydrofobowych i rozpuszczalnych wyłącznie w tłuszczach. Alkany występują w różnego rodzaju rozpuszczalnikach, rozcieńczalnikach, emaliach czy lakierach, itp. (*Ming-Ho Yu* [10]). Stanowią najliczniejszą grupę związków chemicznych wchodzących w skład ropy naftowej
- Węglowodory nienasycone (alkeny (olefiny), alkiny) – alkeny charakteryzują się generalnie większą reaktywnością w porównaniu z alkanami, ale mniejszą aniżeli w przypadku węglowodorów aromatycznych. Spośród węglowodorów alifatycznych, ze względu na charakter wiązania, najbardziej reaktywnymi związkami są alkiny (wiązanie

potrójne). Alkeny występują m.in. w produktach rafinacji ropy naftowej (np. paliwo lotnicze), zaś w produktach destylacji (np. benzyna) nie są spotykane. Węglowodory nienasycone (zwłaszcza alkiny) łatwo podlegają reakcjom addycji (dodawania), w wyniku których powstawać mogą substancje o potencjalnie większej toksyczności w porównaniu z substancjami wyjściowymi (*Ming-Ho Yu [10]*)

- Węglowodory nasycone cykliczne (naftaleny, cykloparafiny) – są związkami o budowie pierścieniowej, lecz ich właściwości chemiczne zbliżone są do alkanów, obok których stanowią podstawowy składnik ropy naftowej. W benzynach występują głównie w postaci związków jednopierścieniowych (cyklopentan, cykloheksan)
- Węglowodory aromatyczne – występują w postaci pierścieniowej pojedynczej (benzen), podwójnej (naftalen) bądź wielopierścieniowej. W wyniku podstawienia za atomy wodoru innych atomów bądź związków chemicznych powstawać mogą substancje chemiczne o bardzo różnym stopniu podatności na rozpuszczanie w tłuszczach, trwałości, a zwłaszcza toksyczności. Zasadnicza część pierścieniowej struktury – wiązania węgiel-węgiel, które wpływają na stabilność tych związków – czyni je nie tylko trwałymi, ale jednymi z najbardziej toksycznych i kancerogennych substancji w środowisku. Do najbardziej powszechnych monocyklicznych węglowodorów aromatycznych, których obecność stwierdza się w ropie naftowej (dodatki przeciwstukowe), należą benzen, toluen oraz trzy izomery ksylenu. Wśród źródeł ich emisji do najpowszechniejszych należą: palenie tytoniu, proces spalania paliw silnikowych oraz ich parowanie, przemysł petrochemiczny. W porównaniu z węglowodorami alifatycznymi węglowodory aromatyczne charakteryzują się mniejszą masą cząsteczkową (przy tej samej liczbie atomów węgla mają mniej atomów wodoru). Do ich cech charakterystycznych należy ponadto niska rozpuszczalność w wodzie, wysoka lotność i palność, jednak sposób ich toksycznego działania jest podobny do wpływu innych węglowodorów. Częściowo z uwagi na strukturę, trwałość oraz jednocześnie nieznacznie lipofilowy i niewielki hydrofilowy charakter, potęgujący zdolność tych związków do przenikania do większej liczby ekosystemów, gatunków organizmów, czy łańcuchów biochemicznych, węglowodory aromatyczne zostały uznane przez Agencję Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (*U.S. Environmental Protection Agency – EPA*), jako jedno z najważniejszych zanieczyszczeń środowiska (*Ming-Ho Yu [10]*, Wytyczne WHO [92]). Emisja benzenu z silników pojazdów (o zapłonie iskrowym), jak podają *Merkisz J. i Kozak M. [58]*, pochodzi z benzenu zawartego w paliwie, jednak głównym źródłem emisji (w około 65%) są reakcje zachodzące pomiędzy innymi węglowodorami w czasie procesu spalania w silniku.
- Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – do grupy tej, oznaczanej najczęściej skrótem WWA lub PAH (ang. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*), należą związki zbudowane z dwóch lub więcej pierścieni aromatycznych (połączonych ze sobą liniowo lub w postaci rozgałęzionej). EPA koncentruje się na 16 WWA, które zostały wprowadzone na listę 126 priorytetowych zanieczyszczeń, ze względu na ich toksyczny charakter, potencjalnie niebezpieczny wpływ na ludzi oraz częstotliwość występowania w miejscach związanych z obecnością niebezpiecznych odpadów. Istotne znaczenie tej grupy związków wynika z faktu, iż wiele z nich uznano za kancerogenne w stosunku do zwierząt. Istnieją ponadto konkretne dane, wskazujące na ich rakotwórczy wpływ na organizm człowieka. Generalnie jako główne źródło emisji WWA wymienia się zjawisko niecałkowitego jak również niezupełnego spalania materii organicznej, a źródła emisji dzieli się na stacjonarne i mobilne. Podstawowe znaczenie w emisji ze źródeł mobilnych odgrywa spalanie paliw w silnikach pojazdów mechanicznych, natomiast wśród źródeł stacjonarnych wyróżnić można procesy spalania obejmujące: produkcję aluminium, tworzyw sztucznych, środków ochrony roślin, przemysł koksowniczy, produkcję energii cieplnej (głównie w paleniskach domowych) oraz elektrycznej. W zależności od rodzaju spalanego paliwa oraz warunków prowadzenia procesu, powstawać mogą różne rodzaje węglowodorów, w różnych ilościach. Pomimo tego profil (skład) WWA w powietrzu nie wykazuje istotnych rozbieżności pomiędzy różnymi obszarami, choć szczególne warunki

mogą przyczynić się do wyraźnych zmian tego profilu. W otaczającym powietrzu większość WWA stanowią kancerogenne węglowodory 4- do 7-pierścieniowe, zaś szczególnie silnie sprzyjającym rozwojowi nowotworów związkami jest 3-4 benzopiren (benzo[a]piren). Zwrócić należy uwagę na fakt, iż jedynie niewielka część spośród nich występuje jako związki lotne. Prawie wszystkie wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne obecne w powietrzu atmosferycznym podlegają adsorpcji na cząstkach pyłów. Ze względu na istotne różnice we właściwościach fizycznych i chemicznych pomiędzy poszczególnymi rodzajami WWA, związki te wykazują stosunkowo wysoką trwałość i niewielką podatność na mikrobiologiczny rozkład (*Ming-Ho Yu [10]*, *Juda-Rezler K. [8]*, Wytyczne WHO [92]). Jak wskazują *Merkisz J. i Kozak M. [58]*, wyższa zawartość WWA w oleju napędowym wpływa na zwiększoną emisję cząstek stałych z silników o zapłonie samoczynnym. Z kolei w silnikach o zapłonie iskrowym ograniczenie ilości węglowodorów aromatycznych w benzynie nie powoduje jednoznacznie korzystnych efektów – sprzyja co prawda obniżeniu zawartości tlenu węgla i niedopalanym węglowodorów w spalinach, wpływając jednocześnie na wzrost emisji tlenków azotu.

**Cząstki stałe** – jak podaje Raport WHO [93] oraz *Kopta T. [43]* i *Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11]*, poza zanieczyszczeniami gazowymi do powietrza trafiają również zanieczyszczenia w postaci cząstek stałych (pyły) oraz kropeł cieczy (aerozole), będących mieszaniną substancji organicznych i nieorganicznych. Termin pyły obejmuje szereg substancji znajdujących się w powietrzu, począwszy od kurzu i piasku przenoszonych przez wiatr, poprzez produkty spalania, aż po bardzo małych rozmiarów cząstki o wymiarach od 0,1  $\mu\text{m}$  do 10  $\mu\text{m}$ . Ich obecność w powietrzu jest efektem m.in. spalania paliw kopalnych, jak również benzyn i olejów w pojazdach mechanicznych. Według *Ming-Ho Yu [10]* cząstki stałe dzieli się zwykle na pierwotne i wtórne. Do pierwszych z nich (o wielkościach rzędu 1÷20  $\mu\text{m}$ ) zalicza się te, które są bezpośrednio emitowane do atmosfery w wyniku różnego rodzaju procesów chemicznych i fizycznych. Cząstki wtórne, raczej mniejszych rozmiarów, powstają wskutek reakcji chemicznych zachodzących w atmosferze.

Ze względu na mechanizm negatywnego oddziaływania na zdrowie, wśród substancji pyłowych wyróżnić można pyły: biologiczne (np. zarodniki pleśni), pylicotwórcze (np. azbest, substancje krystaliczne), o działaniu alergizującym (np. zawierające cząstki lateksu, substancje zapachowe), radioaktywne oraz pyły substancji toksycznych (np. metali ciężkich) i zawierające aromatyczne węglowodory o działaniu rakotwórczym (np. benzen, benzo[a]piren, WWA) (*Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11]*, *Siemiński M. [12]*). Z punktu widzenia tematyki niniejszej pracy najważniejsze będą dwie ostatnie grupy substancji pyłowych.

Obok energetyki i przemysłu, źródłem emisji cząstek stałych (*Particulate Matter – PM*) jest również spalanie paliw w silnikach. Zgodnie z informacjami literaturowymi (*Merkisz J. [9]*, *Chłopek Z. [3]*), w składzie PM znajduje się sadza silnikowa, cząstki związków metali (z produktów ścierania się części silnika oraz z dodatków i zanieczyszczeń paliwa), zaadsorbowane przez sadzę węglowodory pochodzące z paliwa i cząstki nieorganiczne oraz cięższe frakcje oleju smarnego, jak również woda i sole (głównie siarczany i azotany). W przypadku metali, do szczególnie niebezpiecznych należą związki krzemu i glinu, stanowiące pozostałości katalizatorów procesu przeróbki paliwa. Dodawany do niedawna do paliw, jako substancja przeciwstukowa, ołów, również emitowany był do atmosfery głównie w postaci pyłów. Wdychany do płuc ulega całkowitej niemal absorpcji. Zdolność do pochłaniania licznych toksycznych związków (w tym zwłaszcza metali ciężkich i WWA) oraz bardzo niewielkie rozmiary cząstek stałych, czynią z zanieczyszczeń pyłowych substancje szczególnie niebezpieczne dla zdrowia ludzi (*Siemiński M. [12]*, *Merkisz J. [9]*, *Chłopek Z. [3]*).

W silnikach o zapłonie iskrowym emisja cząstek stałych jest raczej niewielka, w związku z czym nie stanowi też istotnego problemu ekologicznego. Niska emisja PM z benzyny wynika głównie z jej mniejszej skłonności do tworzenia sadzy w porównaniu z paliwem stosowanym w silnikach wysokoprężnych, ze względu na mniejszą szybkość rozkładu termicznego benzyny.



Tworzenie się PM w silnikach z zapłonem iskrowym wynika przede wszystkim ze zużycia oleju silnikowego oraz zawartości siarki w paliwie. W niewielkim stopniu udział może mieć tu również proces niecałkowitego oraz niepełnego spalania paliwa. Powstawanie cząstek stałych ma również miejsce w układzie wylotowym, gdzie następuje kondensacja par węglowodorów, a w efekcie oddziaływania wysokiej temperatury utrzymującej się w układzie, część wielopierścieniowych węglowodorów ulega koagulacji i w następstwie dalszej aglomeracji tworzy cząstki stałe. Spośród silników o zapłonie iskrowym, większy udział w tworzeniu PM mają silniki z bezpośrednim wtryskiem (*Merkisz J. [9], Chłopek Z. [3]*). Jak podano powyżej, emisja cząstek stałych, w przypadku silników o zapłonie samoczynnym, jest liniowo zależna od zawartości siarki w oleju napędowym.

Stosunkowo duże ilości pyłów powstają w pojazdach wyposażonych w silniki wysokoprężne. Jest to efektem powstawania sadzy, samej w sobie nieszkodliwej, absorbującej jednakże związki siarki (powstają siarczany, jako nierozpuszczalna forma cząstek stałych), aldehydy, jak i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (benzo[a]piren, antracen). Duża skłonność do absorbowania gazów i cieczy przez sadzę wynika z jej, zbliżonej do grafitu, budowy. Poza ilością powstającej sadzy, na wielkość emisji PM wpływ mają ponadto takie parametry, jak skład frakcyjny i gęstość oleju napędowego. Jak podaje *Merkisz J. [9]*, wśród cząstek stałych emitowanych przez silniki z zapłonem samoczynnym wyróżnić można generalnie: cząstki o bardzo małych rozmiarach (średnica 15÷30 nm), które stanowią niespalone węglowodory i olej smarujący oraz cząstki sadzy (o średnicy 10÷80 nm), które ulegają częściowemu dopaleniu. W ogólnej ilości PM pobranych z układu wylotowego silnika Diesla największy udział mają olej pochodzący z paliwa i oleju smarującego oraz sadza, mniej siarczany i związana woda oraz niespalone węglowodory. Wśród cząstek stałych zidentyfikowano również pierwiastki pochodzące z paliwa, takie jak chrom, krzem, siarka, wapń, żelazo oraz pierwiastki stosowane jako dodatki uszlachetniające do olejów silnikowych, takie jak cynk, fosfor i wapń.

Pomimo faktu, iż generalnie pierwotne cząstki stałe (a więc m.in. te powstające podczas spalania paliw w silnikach samochodowych) mają niewielki udział w ogólnej masie aerozoli, to z dotychczasowych badań przytoczonych przez *Ming-Ho Yu [10]* wynika, że mają one na obszarach miejskich bardzo istotne znaczenie. Uważa się bowiem, iż odpowiadają za formowanie się jąder kondensacji, na których z kolei zaczynają gromadzić się cząstki wtórne, zawierające stosunkowo duże ilości wspomnianych powyżej substancji toksycznych.

**Inne zanieczyszczenia atmosferyczne** – poza substancjami wymienionymi powyżej, emitowanymi bezpośrednio przez pojazdy lub powstałymi jako zanieczyszczenie wtórne, z procesem spalania paliw w silnikach związane są emisje innych substancji. Powstają one jednak w bardzo małych a wręcz śladowych ilościach, a ich wyemitowanie do powietrza jest zazwyczaj skutkiem nieprawidłowego funkcjonowania silnika lub awarii urządzeń służących ograniczaniu emisji zanieczyszczeń. Wśród tego typu substancji najczęściej emisja dotyczy: aldehydów, tlenku diazotu, metanu oraz fosforu.

Aldehydy mogą zostać wyemitowane wskutek przerwania reakcji łańcuchowych na początku procesu spalania. Powstają zarówno w silnikach z zapłonem iskrowym, jak i samoczynnym, zaś ich zawartości w spalinach sprzyja obecność związków tlenowych, w tym np. składników biopaliw (alkoholi, estrów etylowych, eterów), ale także węglowodorów aromatycznych. Eliminacja aldehydów następuje w reaktorach katalitycznych.

Emisji tlenku diazotu sprzyja duża zawartość w spalinach tlenków azotu oraz niepełna sprawność reaktora katalitycznego. W takiej sytuacji reakcja redukcji prowadzi do powstawania N<sub>2</sub>O zamiast NO. Jak wskazuje *Kuropka J. [45]*, gaz ten należy do substancji stosunkowo nieszkodliwych i nie bierze udziału w normalnym cyklu azotu w troposferze. Tlenek diazotu uważany jest jednak za substancję przyczyniającą się pośrednio do zwiększonego efektu cieplarnianego oraz zubażającą ochronną warstwę ozonową. Wynika to z faktu, że N<sub>2</sub>O stanowi w stratosferze źródło tlenku azotu, który przyczynia się do rozkładu ozonu.

Metan stanowi istotny składnik tzw. paliw ekologicznych (zawierających gaz ziemny, alkohole). Jego emisja może być związana z faktem, że stosunkowo opornie ulega on utlenieniu

w reaktorach katalitycznych. Z kolei emisja związków fosforu wynikać może z faktu jego zawartości w dodatkach uszlachetniających i olejach smarnych.

Metodę ochrony przed emisją z silników pojazdów innych uciążliwych lub szkodliwych dla środowiska substancji są regulacje dotyczące limitów składu chemicznego paliw – Światowa Karta Paliw (*Worldwide Fuel Charter*) zawiera limity zawartości różnego rodzaju związków chemicznych w paliwach benzynowych i olejach napędowych, z uwzględnieniem norm emisyjnych, jakie obowiązują w poszczególnych państwach [120].

**Hałas** – za hałas uznaje się każde niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub szkodliwe drgania mechaniczne ośrodka sprężystego, działające za pośrednictwem powietrza na organ słuchu i inne elementy organizmu ludzkiego. Udział źródeł komunikacyjnych, w tym zwłaszcza ruchu drogowego, na terenach miejskich stanowi dominujące źródło hałasu. Hałas komunikacyjny stanowi znaczącą uciążliwość dla środowiska, mimo, że poruszające się pojazdy nie emitują zazwyczaj hałasu o bardzo wysokich poziomach. Uciążliwość ta związana jest z bardzo dużą i stale rosnącą liczbą pojedynczych źródeł hałasu działających jednocześnie i docierających do wszystkich niemal obszarów zamieszkania i wypoczynku człowieka na terenach miejskich. Dlatego też arterie komunikacyjne ruchu drogowego zaliczane są do podstawowych źródeł hałasu, mimo tego, że ulica sama w sobie nie stanowi źródła dźwięku. Jak wskazuje jednak raport „Stan klimatu akustycznego w kraju, w świetle badań WIOŚ” [87] pomimo faktu, że fizycznymi źródłami hałasu są pojazdy (hałas powstały wskutek pracy silników, czy tarcia opon o nawierzchnię jezdni), to w stosunku do obiektów takich jak droga, również stosowane jest pojęcie źródła hałasu. Droga stanowi w tym przypadku liniowe źródło hałasu. Wśród czynników, które będą miały wpływ na poziom hałasu wzdłuż ciągów komunikacyjnych wyróżnić można:

- natężenie i strukturę ruchu pojazdów (zwłaszcza udział samochodów ciężarowych i autobusów)
- średnią prędkość potoków ruchu
- rodzaj i stan nawierzchni
- warunki atmosferyczne

### **3.1. Emisje z ruchu drogowego**

Bezpośrednio z ruchem drogowym związane są dwie zasadnicze uciążliwości – emisja produktów spalania paliw płynnych w silnikach oraz emisja energii w postaci hałasu i drgań od przejeżdżających pojazdów. Zwiększone natężenie ruchu przyczynia się do spadku średniej prędkości pojazdów a w efekcie do powstawania zatorów komunikacyjnych. Do skutków samych już zatorów należą przede wszystkim podwyższone emisje zanieczyszczeń i ich potencjalny wpływ na zdrowie, jak również straty czasu, ale także wynikające z nich straty gospodarcze i ekonomiczne, czy też możliwość blokowania płynnego ruchu pojazdów ratownictwa.

#### **3.1.1. Emisja hałasu komunikacyjnego**

Ze względu na dynamicznie wzrastającą liczbę pojazdów, jakie poruszają się po ulicach dużych aglomeracji, wpływ hałasu na środowisko miejskie obejmuje coraz większe grupy mieszkańców, wywołując zjawisko uciążliwości, utrudnień snu i wypoczynku, jak również pracy, a nawet powodując stany nerwicowe. Występowanie wysokich poziomów hałasu poważnie zwiększa ryzyko trwałego upośledzenia organu słuchu, a nawet utraty słuchu i trwałej głuchoty. Człowiek narażony na wpływ hałasu w miejscu pracy i niemający możliwości odpoczynku od hałasu w domu, np. wskutek hałasu drogowego w pobliżu miejsca zamieszkania, nie ma możliwości zregenerowania organu słuchu. W efekcie, następujące wskutek nadmiernego hałasu, przesunięcie progu słyszenia nie ma możliwości ustąpienia i ulega utrwaleniu, prowadząc do systematycznego osłabiania słuchu [87]. *Babisch W. i in.* [17] przywołuje dane epidemiologiczne

sugerujące, że chroniczny hałas jest także czynnikiem ryzyka w rozwoju chorób krążeniowo-naczyniowych, przytaczając wyniki trzyetapowych badań nad powiązaniem symptomów niepokoju i rozdrażnienia z powodu hałasu komunikacyjnego i przypadków niedokrwiennej choroby serca. Badania obejmujące grupę 3950 mężczyzn w wieku 47÷67 lat wykazały, że wśród osób, które nie chorowały dotąd na przewlekłe choroby układu krążenia, ryzyko wystąpienia niedokrwiennej choroby serca w grupie najsilniej narażonej na wpływ hałasu jest 1,7 do 3,0 razy większe w porównaniu z grupą najmniej wyeksponowaną na hałas komunikacyjny.

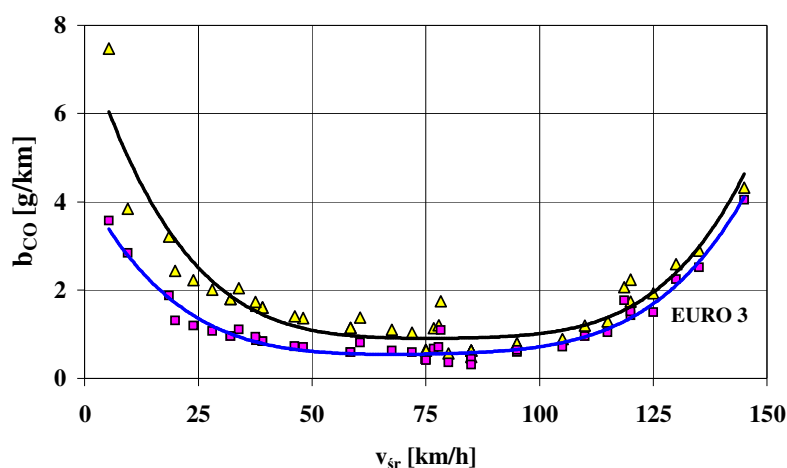
Warszawa, jak podają autorzy *Diagnozy Systemu Transportowego Warszawy [86]*, należy do miast najbardziej zagrożonych hałasem na terenie Polski, zarówno pod względem liczby ludności narażonej na ponadnormatywny hałas, jak i z uwagi na wielkość powierzchni miasta, na której występują przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu. Klimat akustyczny w Warszawie kształtowany jest przede wszystkim przez hałas komunikacyjny, którego przekroczenia stwierdzono wzdłuż około 80% dróg krajowych i wojewódzkich (w odniesieniu do długości tych arterii). Poza głównymi ciągami komunikacyjnymi najbardziej niekorzystny klimat akustyczny stwierdza się w centralnej części miasta. Jak wskazuje z kolei raport Mazowieckiego Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska „Stan środowiska w województwie mazowieckim w 2004 roku” [97], na terenie Warszawy na ponadnormatywny hałas uliczny ekspozycja jest około 30% mieszkańców miasta. Badania hałasu komunikacyjnego, przeprowadzone w Warszawie w roku 2004 wykazały, iż w większości punktów pomiarowych, zlokalizowanych w sąsiedztwie głównych ciągów komunikacyjnych, rejestrowano przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu (wyrażonego równoważnym poziomem dźwięku A) w porze dziennej. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. 2004.178.1841) [109], dla terenów w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 000 mieszkańców ze zwartą zabudową mieszkaniową i koncentracją obiektów handlowych i usługowych, poziom ten wynosi 65 dB. Wyjątek stanowiły punkty pomiarowe zlokalizowane w odległości co najmniej 30 m od ulicy, bądź usytuowane w pobliżu ciągu komunikacyjnego o stosunkowo niskim natężeniu ruchu pojazdów (wynoszącym średnio około 1200 poj/h dla pory dziennej). Na terenach przylegających natomiast do arterii komunikacyjnych o średnim 1-godzinowym natężeniu ruchu dla pory dziennej wyższym aniżeli 5000 poj/h rejestruje się znaczne przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu osiągające wartości 70÷79 dB. Podobna sytuacja występuje w porze nocnej, przy czym przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu dla tej pory doby, wynoszącego 55 dB [109], zanotowano w niemal wszystkich punktach pomiarowych – średnie 1-godzinowe natężenie ruchu w przekrojach pomiarowych wahało się (zależnie od ulicy) w przedziale 370÷1338 poj/h, zaś poziom hałasu wyniósł 58÷74 dB. Nie zarejestrowano przekroczeń dopuszczalnego poziomu hałasu jedynie w przekroju ulicy o relatywnie niewielkim natężeniu ruchu wynoszącym średnio 85 poj/h w porze nocnej.

Wpływ hałasu komunikacyjnego na standard życia na terenach miejskich, a w szczególności na osoby zamieszkujące wzdłuż ruchliwych arterii komunikacyjnych, jest niewątpliwie istotny i ma zdecydowanie negatywny charakter, szczególnie dla osób ekspozowanych na ponadnormatywne poziomy hałas. Ze względu jednakże na pewne ograniczenia, w tym finansowe, oraz na przeprowadzenie relatywnie szeroko zakrojonych badań ludności pod kątem oddziaływania na stan ich zdrowia zanieczyszczeń atmosferycznych (rozdział 7), w niniejszej pracy konsekwencje ruchu drogowego dla klimatu akustycznego nie były badane i nie zostały szerzej omówione. W miarę możliwości ocena tego wpływu stanowić będzie przedmiot dalszych badań i analiz w kwestiach związanych z oszacowaniem wielowątkowego wpływu ruchu drogowego i zatorów komunikacyjnych na poziom życia mieszkańców terenów zurbanizowanych.

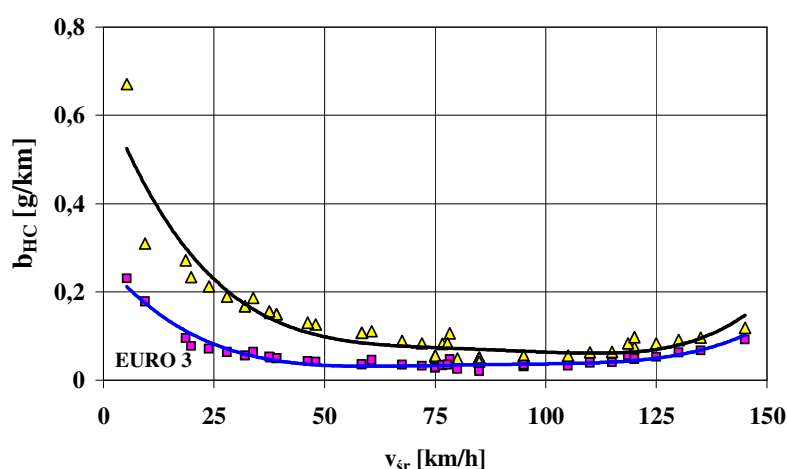
### **3.1.2. Emisje zanieczyszczeń do powietrza powodowane przez pojazdy**

Średnia prędkość pojazdów stojących w zatorach jest bardzo niska, a jak wskazują badania przytoczone przez *Chłopka Z. [3, 24]*, *Chłopka Z. i Polichnowskiego T. [26]* oraz *Pelchner A. i Płoskiego T. [62]*, emisja drogowa produktów spalania paliw płynnych (szczególnie

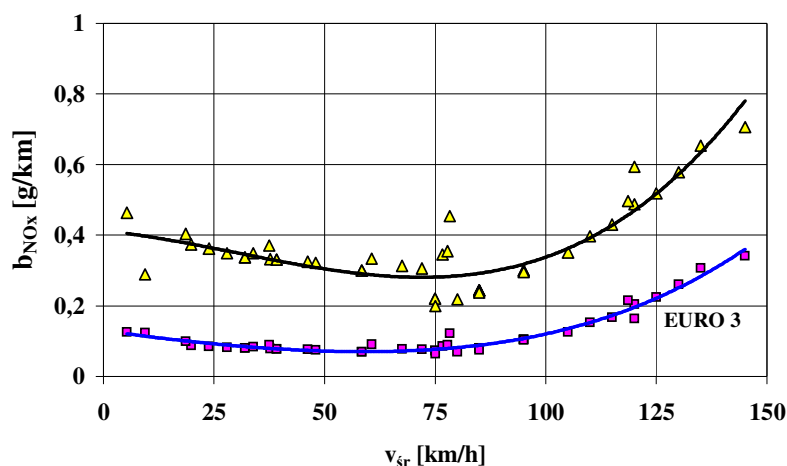
tlenku węgla i węglowodorów) dla prędkości średniej rzędu 5 km/h jest około 3-krotnie wyższa aniżeli dla prędkości rzędu 25 km/h i około 5-6-krotnie wyższa w porównaniu z prędkością średnią na poziomie 50 km/h. Zależności emisji drogowych CO i HC w funkcji prędkości średniej mają postać zbliżoną do funkcji drugiego rzędu, z minimum odpowiadającym prędkości średniej około 75 km/h. W zasadzie jednak w zakresie prędkości średnich pomiędzy 50 km/h a 100 km/h różnice w wielkości emisji drogowych są niewielkie, w związku z czym zapewnienie utrzymania prędkości średnich w tym zakresie pozwala na zdecydowane zmniejszenie całkowitej emisji zanieczyszczeń z pojazdów. W przypadku wzrostu prędkości średniej powyżej 110-120 km/h następuje ponowne zwiększenie się emisji tlenku węgla, natomiast emisja węglowodorów pozostaje na względnie stałym poziomie. Średnia prędkość pojazdów powyżej 100 km/h wpływa ponadto na wzrost emisji tlenków azotu, która poniżej wskazanej prędkości kształtuje się na relatywnie niskim poziomie. Wyniki badań przedstawionych przez *Chłopka Z.* [24] w postaci zależności emisji drogowych CO, HC oraz NO<sub>x</sub> od średniej prędkości pojazdów (z uwzględnieniem całego zbioru samochodów oraz samochodów napędzanych silnikami z zapłonem iskrowym, spełniających wymagania homologacyjne na poziomie EURO 3) prezentują *Wykres 2*, *Wykres 3*, *Wykres 4* (odpowiednio czarna linia i żółte punkty dla wszystkich pojazdów zaś niebieska linia i różowe punkty dla samochodów napędzanych silnikami z zapłonem iskrowym).



**Wykres 2** Zależność emisji drogowej tlenku węgla od prędkości średniej w modelowych warunkach ruchu samochodów osobowych w Niemczech w 2001 r. (czarna linia i żółte punkty – samochody ogółem, niebieska linia i różowe punkty – samochody z zapłonem iskrowym)



**Wykres 3** Zależność emisji drogowej węglowodorów od prędkości średniej w modelowych warunkach ruchu samochodów osobowych w Niemczech w 2001 r. (czarna linia i żółte punkty – samochody ogółem, niebieska linia i różowe punkty – samochody z zapłonem iskrowym)



**Wykres 4** Zależność emisji drogowej tlenków azotu od prędkości średniej w modelowych warunkach ruchu samochodów osobowych w Niemczech w 2001 r. (czarna linia i żółte punkty – samochody ogółem, niebieska linia i różowe punkty – samochody z zapłonem iskrowym)

Generalnie, globalne natężenie emisji zanieczyszczeń komunikacyjnych zależy jest od prędkości pojazdów wynikającej przede wszystkim z natężenia ruchu i jego warunków, jak również od struktury pojazdów (ze względu na ich zastosowanie i wielkość) oraz ich ekologicznej jakości (wiek i stan techniczny układów, z których wydalane są substancje zanieczyszczające). Jak podają *Chłopek Z. i Polichnowski T. [26]* poziom emisji zanieczyszczeń wykazuje dużą wrażliwość na warunki ruchu. Przede wszystkim dotyczy to wspomnianego już ruchu charakterystycznego dla obszarów miejskich, a więc poruszania się w zatorach drogowych, co sprzyja bardzo znacznemu zwiększeniu się emisji substancji szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi, jak tlenku węgla, węglowodorów i cząstek stałych. Należy dodać, iż przykładowo w modelu ruchu w zatorach komunikacyjnych, tzw. „Stop and Go”, ze średnią prędkością jazdy poniżej 6 km/h, przeciętne zużycie paliwa dla samochodu osobowego przekracza, niekiedy znacznie, 20 dm<sup>3</sup> na 100 km.

### 3.2. Udział transportu drogowego w emisji zanieczyszczeń do powietrza

*Tabela 1* prezentuje udział transportu drogowego w emisji szkodliwych produktów spalania paliw płynnych obliczone na podstawie danych z raportu Głównego Urzędu Statystycznego (stan w roku 2003) [96].

**Tabela 1** Antropogeniczna emisja zanieczyszczeń z transportu drogowego w Polsce na tle emisji całkowitej

Zanieczyszczenie	Emisja całkowita	Emisja z transportu drogowego	Udział emisji z transportu drogowego w emisji całkowitej
[-]	[Gg]	[Gg]	[%]
Ditlenek siarki	1374,5	35,6	2,6
Tlenki azotu	808,2	235,3	29,1
Tlenek węgla	33175	624,1	18,8
Niemetanowe lotne związki organiczne	892,1	118,2	13,3
Pyły	475,7	52,6	11,1

Zasadniczym źródłem zanieczyszczenia powietrza ditlenkiem siarki jest energetyczne spalanie paliw. Udział transportu drogowego w emisji tego zanieczyszczenia jest niewielki. Na uwadze jednak mieć należy, iż od zawartości siarki w paliwie spalonym w silnikach zależy, niekiedy w znaczny sposób, wielkość emisji innych zanieczyszczeń gazowych. Jak podają *Merkisz J. i Kozak M. [58]*, obniżenie zawartości siarki w paliwie skutkuje redukcją emisji tlenku węgla, węglowodorów oraz tlenków azotu w silnikach o zapłonie iskrowym oraz zmniejszeniem emisji cząstek stałych i tlenków azotu w silnikach o zapłonie samoczynnym. Redukcja jest tym większa im bardziej zaawansowany technologicznie jest silnik pojazdu.

Inaczej, aniżeli w przypadku emisji  $\text{SO}_2$ , przedstawia się kwestia emisji tlenków azotu (przeliczonych na  $\text{NO}_2$ ), które w ponad 29% trafiają do atmosfery w wyniku spalania z ruchu drogowego. Mimo, iż produkcja i transformacja energii odpowiada za nieco ponad 30% emisji tlenków azotu, to notowany jest sukcesywny spadek powstawania  $\text{NO}_x$  w sektorze energetyki zawodowej. Zdecydowanie zaś dominować zaczyna od kilku lat emisja tlenków azotu z silników pojazdów mechanicznych. Wyniki badań prowadzonych w krajowej sieci stacji podstawowych monitoringu w 2001 roku wykazały, że wartości średniorocznych stężeń  $\text{NO}_2$  znajdują się poniżej wartości dopuszczalnych. Przekroczenia mogą natomiast występować w sąsiedztwie ulic o dużym natężeniu ruchu. Podkreślić należy, iż właśnie wpływ emisji  $\text{NO}_2$  z pojazdów sprawia, że przeciętne stężenia ditlenku azotu na obszarach miejskich są zdecydowanie wyższe aniżeli na terenach poza miastami, co podkreśla raport „Stan środowiska w Polsce w latach 1996-2001” [100]. Potwierdzać to mogą badania nad stężeniem tlenków azotu na kilku ulicach Genui, przytoczone przez *Falkowską L. i Korzeniewskiego K. [6]*, które wykazały ścisłą korelację pomiędzy wzmożonym natężeniem ruchu ulicznego a wzrostem zawartości  $\text{NO}_x$  w powietrzu. Potwierdzają to także badania autora pracy (omówione w *rozdziale 6.3*), zaś dane z raportu Mazowieckiego Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska „Stan środowiska w województwie mazowieckim w 2004 roku” [97], wskazują, że ruch drogowy jest przyczyną m.in. emisji ponad 60% całkowitej emisji ditlenku azotu na obszarze Warszawy (szersze porównanie stężeń rejestrowanych przez stacje położone na terenach miejskich, zwłaszcza stacji komunikacyjnej, oraz na obszarach niezurbanizowanych zaprezentowano w *rozdziale 6.2*). W centralnych dzielnicach miasta (wyjątek stanowi Mokotów) ruch drogowy emituje zdecydowanie ponad 80% (a w większości dzielnic ponad 90%) ditlenku azotu. Uśredniony udział emisji  $\text{NO}_2$  ze źródeł liniowych dla wszystkich powiatów województwa mazowieckiego wynosi 41% (przy czym, zależnie od powiatu, waha się w granicach od 1,1% w powiecie kozienickim do 72,7% w powiecie piaseczyńskim). Jak podaje raport [100], w krajach Europy Zachodniej, z uwagi na często większy aniżeli w Polsce wskaźnik motoryzacji, zanieczyszczenie powietrza miejskiego tlenkami azotu stanowić może większy problem aniżeli w miastach polskich. Potwierdzeniem tego są dane Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) [92], zgodnie z którymi średnioroczne stężenia  $\text{NO}_2$  osiągają w miastach europejskich poziom do  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . W roku 2005 w Warszawie średnie stężenia wyniosły między  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Za emisję pyłów w dużej mierze odpowiada sektor energetyczny, ale mimo, iż energetyka zawodowa stanowi źródło emisji niemal 16% pyłów, to większość wyemitowanych do atmosfery cząstek pyłów (ponad 35%) pochodzi ze spalania w sektorze komunalno-bytowym. Emisja pyłów z transportu drogowego ma swoje zasadnicze źródło w silnikach wysokoprężnych. Należy tu podkreślić, iż generalnie stężenie pyłów utrzymuje się w Polsce na stosunkowo wysokim poziomie, a na obszarach miast dość często występują przekroczenia dopuszczalnej zawartości tych zanieczyszczeń w powietrzu. Badania prowadzone w krajowej sieci podstawowych stacji monitoringu wykazały w skali roku przekroczenia dopuszczalnych stężeń 24-godzinnych w przypadku 70% stanowisk, natomiast stężeń średniorocznych na 40% stanowisk. Zgodnie z informacjami przedstawionymi w raporcie [100], w roku 2001 przeciętne roczne stężenie frakcji pyłów  $\text{PM}_{10}$  na terenach miejskich było ponad 2,4 razy wyższe aniżeli na obszarach pozamiejskich, gdzie w zasadzie, poza lokalnymi przekroczeniami dopuszczalnych stężeń pyłów wynikających z obecności przemysłu, wartości dopuszczalne są spełnione. Podobnie, jak w przypadku tlenków azotu, również stężenia  $\text{PM}_{10}$  na obszarach dużych miast europejskich przekraczają dopuszczalne wartości zarówno średniodobowe, jak i średnioroczne. Tendencja

jednakże jest tu odwrotna do spotykanej przy  $\text{NO}_x$  – w przypadku dużych polskich miast notowane są wyższe stężenia pyłów, niż ma to miejsce w wielkich aglomeracjach europejskich. Zgodnie ze wspomnianym raportem [97] udział emisji  $\text{PM}_{10}$  w całkowitej emisji tego zanieczyszczenia na obszarze Warszawy wynosi 35%, przy średnim udziale w skali województwa mazowieckiego 7,3%. Zwrócić jednak uwagę należy na fakt, że w centralnych dzielnicach miasta (za wyjątkiem Mokotowa) udział ten przekracza średnią dla Warszawy, przewyższając w niektórych dzielnicach (Żoliborz, Praga Północ, Śródmieście) poziom 90%.

Podobnie jak w przypadku pyłów również za emisję tlenku węgla w największym stopniu odpowiada produkcja energii w sektorze bytowo-komunalnym (niemal 50%) oraz transport drogowy (prawie 20%). Jak wskazuje raport [97], w Warszawie udział źródeł liniowych w emisji tlenku węgla stanowi ponad 70% całkowitej emisji tego zanieczyszczenia z obszaru miasta, przy średniej dla województwa mazowieckiego 40,2%. Podobnie jak w przypadku  $\text{NO}_2$  i  $\text{PM}_{10}$ , w dzielnicach centralnych udział ten jest znacznie większy – w Śródmieściu przekracza poziom 96%, zaś na terenie Pragi Północ i Południe oraz na Żoliborzu poziom 99%. Jednakże przekroczenia dopuszczalnych stężeń 8-godzinnych CO w powietrzu obszarów dużych miast (na stacjach podstawowej sieci monitoringu) nie były notowane (dane za rok 2004 z sieci Państwowego Monitoringu Środowiska). Mimo tego jednak badania prowadzone na stacjach komunikacyjnych pokazują, iż zdarzają się, niekiedy nawet znaczne, przekroczenia dopuszczalnej zawartości tlenku węgla w powietrzu w sąsiedztwie dużych tras komunikacyjnych z ograniczoną płynnością ruchu. Działania podejmowane na rzecz redukcji emisji z pojazdów, spowodowały wyraźny spadek stężeń tlenku węgla w powietrzu miast europejskich, co nie oznacza jednak, że przekroczenia wartości dopuszczalnych nie występują. Stężenia CO wyższe od dopuszczalnych występują głównie w krajach Europy Południowej, gdzie zarówno na stacjach komunikacyjnych, jak i nienarażonych na bezpośredni wpływ ruchu drogowego, stężenia tlenku węgla są wyższe od tych, które notuje się w polskich miastach.

Z ruchem drogowym związana jest również istotna część całkowitej emisji lotnych związków organicznych (prawie 24%). Wśród LZO wyróżnić można najprostszy z węglowodorów aromatycznych benzen, emitowany głównie z pojazdów samochodowych. Mimo, iż jest to związek o działaniu rakotwórczym, pomiary jego stężeń prowadzone są na niewielkiej ilości stanowisk pomiarowych, w związku z czym wiarygodność dostępnych danych również jest niewielka. Jak podaje raport [100], zgodnie z ocenami Europejskiej Agencji Środowiska w roku 1999 na ponadnormatywne stężenia benzenu narażone było około 50% populacji obszaru Unii Europejskiej. Cytowany powyżej raport „Stan środowiska w województwie mazowieckim w 2004 roku” [97] nie zawiera informacji na temat udziału ruchu drogowego w emisji benzenu na terenie Warszawy, wskazując jednakże, że w roku 2004 na wszystkich stacjach pomiarowych poziomy tego zanieczyszczenia były dotrzymane. Wyjątek stanowiły wyniki pomiarów na stanowisku pasywnym (w Warszawie przy ul. Marszałkowskiej), przy czym jak wskazują autorzy raportu, pomiary metodą pasywną dają zawyżone wyniki w stosunku do dokładniejszych metod pomiaru automatycznego. Dane o udziale emisji benzenu ze źródeł komunikacyjnych w ogólnej emisji tego zanieczyszczenia prezentuje raport „Stan środowiska w województwie mazowieckim w 2002 roku” [101], wskazując, że kształtuje się on na poziomie 40%.

Również niewiele stanowisk prowadzi pomiary zanieczyszczenia powietrza ołowiem. Z dostępnych danych wynika jednakże, iż w roku 2000 nie notowano żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnych. Należy podkreślić, iż udział transportu drogowego w emisji Pb do atmosfery zmalał w sposób zdecydowany wraz ze znacznym zmniejszeniem zużycia paliw z dodatkiem ołowiu. Obecnie za największą emisję ołowiu odpowiada w Polsce energetyka przemysłowa i spalanie w przemyśle (niemal 44%) oraz produkcja energii w sektorze komunalno-bytowym (24%). Z transportu drogowego do powietrza trafia niecałe 6% całkowitej emisji tego zanieczyszczenia [100]. Brak jest informacji o udziale emisji ołowiu z transportu na terenie Warszawy, jednakże zgodnie z informacjami zawartymi w raporcie [97] rejestrowane obecnie (w roku 2004) na terenie województwa mazowieckiego stężenia tego zanieczyszczenia stanowią generalnie niewielki procent (od 1,8% do 10,2%) poziomu dopuszczalnego.

Poza substancjami, których obecność w atmosferze spowodowana jest bezpośrednio procesem spalania paliw, między innymi paliw płynnych w pojazdach mechanicznych, istnieje

jeszcze grupa fotochemicznych zanieczyszczeń atmosfery, której głównym składnikiem jest ozon. Proces jego formowania się pod wpływem promieni słonecznych (szerzej omówiony we wprowadzeniu do *rozdziału 3*), odbywa się przy udziale tzw. prekursorów ozonu, do których należą m.in. tlenki azotu oraz węglowodory.

Masy powietrza zanieczyszczonego prekursorami ozonu mogą przemieszczać się na duże odległości, a podwyższone stężenia O<sub>3</sub> mogą być notowane nawet w znacznych odległościach od miejsc, w których zanieczyszczenia zostały wprowadzone do atmosfery. Przy sprzyjających warunkach meteorologicznych (intensywne nasłonecznienie i wysoka temperatura powietrza), w powietrzu zanieczyszczonym węglowodorami i NO<sub>x</sub>, zachodzi szereg reakcji fotochemicznych, mogących w efekcie prowadzić do wzrostu stężenia ozonu. Takie sytuacje mają miejsce w okresie letnim w większości krajów europejskich. W Polsce, mimo że nie notuje się bardzo wysokich stężeń ozonu, to podwyższone jego stężenia występują do kilkunastu razy w ciągu roku, trwając kilka dni. Ma to zwykle miejsce w okresie od kwietnia do sierpnia, w słoneczne, gorące dni, w godzinach popołudniowych [100]. Jak podaje *Juda-Rezler K. [8]*, największe stężenie ozonu występuje nie w centralnych obszarach miast, ale na terenach oddalonych nieco od części śródmiejskiej, co jest uwarunkowane specyfiką reakcji chemicznych przebiegających między tlenkami azotu a ozonem, o czym była mowa we wstępie do *rozdziału 3*.

Specyficzne warunki atmosferyczne, jak intensywne nasłonecznienie, wysoka temperatura, brak wiatru lub jedynie słaby wiatr i wysokie ciśnienie atmosferyczne oraz towarzyszące tym zjawiskom wysokie stężenia ozonu oraz innych wymienionych już powyżej utleniaczy, przyczyniają się do powstania tzw. smogu fotochemicznego, zwanego także smogiem letnim, białym lub smogiem Los Angeles. Stężenia zanieczyszczeń fotochemicznych w smogu są zwykle bardzo wysokie i zdecydowanie przekraczają normy jakości powietrza zalecane przez WHO (*Juda-Rezler K. [8]*). Zgodnie z raportem [100], z informacji zebranych w roku 2001 na stacjach pomiarowych wynika, iż próg informowania ludności był w Polsce przekraczany rzadziej, aniżeli w miastach Europy Centralnej i Południowej, ale częściej niż w Europie Północnej. Jednakże z tych danych trudno jest wyciągać precyzyjne wnioski, dotyczące stanu faktycznego, ze względu na stosunkowo niewielką liczbę stanowisk prowadzących pomiar stężenia ozonu w powietrzu. Nie jest również proste jednoznaczne określenie trendu wysokich (szkodliwych) stężeń ozonu, gdyż ulegają one, znacznym niekiedy, zmianom w kolejnych latach. Wynika to z faktu, iż w kolejnych latach, warunki meteorologiczne, które sprzyjają formowaniu się O<sub>3</sub>, mogą się znacząco od siebie różnić. Notuje się natomiast stały wzrost rocznych stężeń ozonu w Europie, które w ciągu XX wieku wzrosły około dwukrotnie.

Emisja scharakteryzowanych krótko powyżej zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego związana jest w dużej mierze ze spalaniem paliw płynnych wykorzystywanych w pojazdach mechanicznych. Ze względu na silną zależność pomiędzy prędkością pojazdów, a emisją tych zanieczyszczeń do atmosfery, środowisko miejskie, w którym ruch uliczny odbywa się z reguły z niską prędkością średnią, szczególnie w przypadku powstania zatoru drogowego, jest narażone na zwiększoną emisję toksycznych substancji chemicznych. Ponadto należy mieć na uwadze, iż ruch drogowy związany jest ze wzmożoną propagacją hałasu, który stanowić będzie uciążliwość niezależnie od tego, czy pojazdy poruszają się w sposób płynny, czy nie. Konsekwencje wynikające z emisji zarówno zanieczyszczeń chemicznych, jak i hałasu z ruchu drogowego ujawniać się będą w środowisku przyrodniczym, jak również społecznym, obszarów miejskich.



## 4. Oddziaływanie ruchu drogowego i zatorów komunikacyjnych na środowisko

Ruch pojazdów, jak podaje *Kopta T. [43]*, jest w krajach Unii Europejskiej głównym źródłem wysokiego stężenia zanieczyszczeń powietrza na terenach miejskich. Skutki ekologiczne wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza w miastach objawiają się w postaci negatywnego oddziaływania na zdrowie ludzi (o czym szerzej w *rozdziale 4.2* oraz w *rozdziale 7*), ale stanowiąc mogą poważne zagrożenie również dla środowiska przyrodniczego obszarów zurbanizowanych, przejawiając się zwiększonym obumieraniem roślinności, mniejszą wydajnością procesu fotosyntezy, a w efekcie zmniejszoną produkcją tlenu i wynikającymi z tego niekorzystnymi zmianami mikroklimatu miejskiego.

Związki siarki, w szczególności  $\text{SO}_2$ , wnikają do roślin wskutek dyfuzji gazowej, uszkodzając komórki nabłonkowe i przysparkowe, co skutkuje negatywnym wpływem na proces fotosyntezy i oddychania roślin. *Ming-Ho Yu [10]* przytacza wyniki badań dowodzące obecności silniejszych negatywnych zmian w prawidłowym funkcjonowaniu roślinności podczas jednoczesnego oddziaływania ditlenku siarki i ozonu, zaś *Juda-Rezler K. [8]* wskazuje na synergiczne działanie na roślinność  $\text{SO}_2$  wraz z  $\text{NO}_2$ . Wśród zwierząt, jak wskazuje *Ming-Ho Yu [10]*, ditlenek siarki działa w sposób drażniący na oczy i górne drogi oddechowe, a w znacząco podwyższonym stężeniu, może przyczyniać się do krwotoków, obrzęku płuc i zwiększonej śmiertelności wśród małych zwierząt. Zmniejszona odporność, np. wskutek przebytej infekcji, znacząco zaostrza patologiczne zmiany wskutek ekspozycji na podwyższone poziomy  $\text{SO}_2$ .

Ditlenek azotu również powoduje spowolnienie procesu fotosyntezy, nawet przy braku innych wyraźnych objawów zewnętrznych, przy czym szkodliwe oddziaływanie ditlenku azotu na organizmy roślinne wzrasta zdecydowanie przy jednoczesnej obecności w powietrzu ditlenku siarki i ozonu. Inhibicja fotosyntezy wzrasta w przypadku jednoczesnego oddziaływania tlenu i ditlenku azotu, co w warunkach miejskich jest zjawiskiem naturalnym. Notuje się również niszczenie tkanek, czy opadanie liści. Wpływ na zwierzęta z kolei, jak podaje *Ming-Ho Yu [10]*, przy ekspozycji na poziomy znacznie przekraczające spotykane w otaczającym powietrzu, skutkuje zwiększoną respiracją, schorzeniami dolnych dróg oddechowych, a nawet spadkiem zawartości hemoglobiny we krwi, spadkiem liczebności czerwonych krwinek i leukocytozą (podwyższoną zawartością białych krwinek).

Badania z kolei nad wpływem ozonu na rośliny wykazały m.in. spadek rozmiarów i masy organizmów, spowolnienie procesu fotosyntezy, ale także wzrost przepuszczalności błon i zwiększoną respirację. Podwyższone stężenie  $\text{O}_3$  powoduje szersze otwarcie aparatów szparkowych, które dodatkowo pozostają otwarte dłużej, aniżeli w przypadku niższych poziomów tego zanieczyszczenia. Efektem tego jest ułatwione wnikanie do liści innych zanieczyszczeń, w tym substancji składowych kwaśnych opadów. Jak podaje *Juda-Rezler K. [8]*, charakterystyczne dla obszarów miejskich sytuacje nagłego wzrostu stężenia ozonu w krótkim czasie, cechują się najsilniej fitotoksycznym działaniem. Prowadzone na zwierzętach eksperymenty, których wyniki przytacza *Ming-Ho Yu [10]*, wskazują, że ekspozycja na ozon w stężeniu rzędu 0,1 ppm ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) może spowodować wzrost podatności na infekcje bakteryjne, a przy stężeniu 7÷9-krotnie większym przyczynić się do wystąpienia tego typu infekcji lub nasilenia ich objawów. Długotrwała ekspozycja na działanie ozonu wpływać może na zmiany morfologiczne w płucach, czy przewlekłe zapalenie oskrzeli. Wśród innych efektów wymienia się wysuszenie i podrażnienie górnych dróg oddechowych, czy zmiany w reakcjach na bodźce wzrokowe. Wśród skutków działania ozonu notuje się, podobnie jak u ludzi, przyspieszone starzenie się organizmu, ale również adaptację do działania ozonu w pewnych stężeniach.

Jak wskazuje *Juda-Rezler K. [8]*, charakter oddziaływania pyłów na roślinność lądową jest mniej szkodliwy aniżeli wpływ zanieczyszczeń gazowych. Ze względu na fakt, iż skład chemiczny pyłów nie powoduje bezpośrednich reakcji z roślinnością. Wpływ zanieczyszczeń pyłowych na rośliny objawia się głównie pokrywaniem liści warstwą ograniczającą dostęp promieni słonecznych oraz zatykaniem aparatów szparkowych. W efekcie zakłóceniom może ulec proces fotosyntezy oraz prawidłowy przebieg niektórych funkcji metabolicznych. Ze względu z kolei na

pochłanianie i rozpraszanie przez zanieczyszczenia pyłowe znacznej części promieniowania ultrafioletowego, wzrostowi ulec może ilość mikroorganizmów w powietrzu, zaś rozwój roślinności ulega zahamowaniu. Pośrednio pyły oddziałują na roślinność poprzez zanieczyszczenia deponowane na podłożu wskutek suchego i mokrego osiadania, głównie kationy zasadowe neutralizujące zakwaszenie gleby, oraz akumulujące się w organizmach metale ciężkie. Charakter oddziaływania cząstek stałych na zwierzęta będzie zbliżony do wpływu na organizm człowieka, a więc będzie się objawiał głównie zdolnością do przenikania i zatrzymywania się w różnych częściach układu oddechowego, jak również zmianami chorobowymi wynikającymi z działania substancji chemicznych, związanych w cząstkach pyłów, głównie metali ciężkich i węglowodorów.

Jak wynika z krótkiej charakterystyki wpływu zanieczyszczeń atmosferycznych na środowisko przyrodnicze, ma on niewątpliwie istotne znaczenie dla organizmów żywych. Wpływ ten sprowadza się do zmniejszania intensywności a nawet blokowania podstawowych funkcji roślin, w tym zwłaszcza prowadzenia procesu fotosyntezy, zaś w przypadku organizmów zwierzęcych do pojawiania się zmian zarówno w górnych, jak i w dolnych częściach układu oddechowego, nadreaktywności oskrzeli, a w dłuższej perspektywie czasowej do zmian w składzie komórkowym krwi, upośledzenia zdolności do chodzenia, czy pływania, a nawet zahamowania procesu wzrostu.

W niniejszej pracy, omawiającej oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza z ruchu drogowego na środowisko miejskie, wpływ na organizmy zwierzęce, czy roślinne nie będzie szerzej omawiany. Szczegółowej analizie natomiast poddany został wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych na zdrowie ludzi, co stanowi jeden z zasadniczych celów pracy.

#### **4.1. Wymagania prawne dotyczące ochrony powietrza**

Z informacji przytoczonych w *rozdziale 3.2* wynika, że udział transportu drogowego w emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń powietrza stanowi bardzo istotną pozycję w bilansie emisji zanieczyszczeń atmosferycznych. Na obszarach miejskich, gdzie natężenie ruchu samochodowego jest znacznie większe, aniżeli średnie natężenie ruchu w skali całego kraju, emisja zanieczyszczeń komunikacyjnych stanowi jeszcze większy udział w całkowitej emisji zanieczyszczeń powietrza z danego obszaru (*rozdział 6*), będąc często źródłem dominującym. Z charakterystyki zanieczyszczeń opisanych w *rozdziale 4.2*, ukazującej konsekwencje zwiększonej emisji produktów spalania paliw płynnych dla środowiska, w tym zwłaszcza zdrowia ludzi, wynika, iż konieczne jest z jednej strony poszukiwanie możliwości ograniczenia emisji, z drugiej zaś ciągłego kontrolowania zarówno źródeł emisji jak również jakości powietrza atmosferycznego.

Wśród możliwości zmniejszania emisji ze źródeł mobilnych wymienić można po pierwsze prace nad coraz nowocześniejszymi konstrukcjami silników pojazdów mechanicznych, przez co rozumieć należy zarówno udoskonalanie tradycyjnych silników spalinowych oraz poprawę skuteczności urządzeń oczyszczających spaliny, jak również wprowadzanie zupełnie nowych rozwiązań, jak napędzanie pojazdów silnikami elektrycznymi, napędami hybrydowymi (połączenie silnika spalinowego z elektrycznym), czy też ogniwoami paliwowymi. Jednocześnie konieczne jest prowadzenie badań nad coraz doskonalszymi paliwami dla silników spalinowych, co według *Merkisza J. i Kozaka M. [58]*, w niektórych przypadkach przynieść może większe korzyści aniżeli rozwój samych technologii silnikowych.

W krajach Unii Europejskiej, w zakresie dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń atmosferycznych, o których traktuje niniejsza praca, obowiązują trzy dyrektywy:

- Dyrektywa Rady 1999/30/WE z dnia 22 kwietnia 1999 r. w sprawie dopuszczalnych wartości stężenia ditlenku siarki, ditlenku azotu i tlenków azotu oraz pyłu i ołowiu w otaczającym powietrzu [104],
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/69/WE z dnia 16 listopada 2000 r. dotycząca wartości dopuszczalnych benzenu i tlenku węgla w otaczającym powietrzu [105],

- o Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/3/WE z dnia 12 lutego 2002 r. odnosząca się do ozonu w otaczającym powietrzu [106].

W wymienionych dokumentach określony jest okres uśredniania oraz wartość dopuszczalna dla danego okresu uśredniania. Jest mowa również o terminie, do którego wartość dopuszczalna danego zanieczyszczenia ma zostać osiągnięta. Niektóre z granicznych stężeń zanieczyszczeń już obowiązują, dla innych zaś określono późniejszy termin wejścia w życie, co oznacza, że wyznaczone poziomy dopuszczalne będą w przypadku wybranych zanieczyszczeń osiągnane stopniowo (z roku na rok możliwy będzie coraz mniejszy margines tolerancji).

Dyrektywa Rady 1999/30/WE wyróżnia okresy uśredniania:

- o **dla ditlenku siarki (SO<sub>2</sub>):**
  - 1-godzinny (ze względu na ochronę zdrowia człowieka) – wartość dopuszczalną ustalono na 350 µg/m<sup>3</sup> z zaznaczeniem, iż nie może ona być przekraczana więcej, aniżeli 24 razy w roku kalendarzowym. Dopuszczono margines 150 µg/m<sup>3</sup> po wejściu w życie Dyrektywy. Od 1 stycznia 2005 r. margines ten już nie obowiązuje,
  - 24-godzinny (ze względu na ochronę zdrowia człowieka) – za wartość dopuszczalną uznano 125 µg/m<sup>3</sup>, nieprzekraczaną częściej niż trzykrotnie w ciągu roku kalendarzowego (obowiązuje od 1 stycznia 2005 r.),
  - roczny (z uwagi na ochronę ekosystemów) – wartość dopuszczalna wynosi w tym przypadku 20 µg/m<sup>3</sup> (obowiązuje od 19 lipca 2001 r.).
- o **dla ditlenku azotu (NO<sub>2</sub>):**
  - 1-godzinny (ze względu na ochronę zdrowia człowieka) – dopuszczalna wartość ustalona została na poziomie 200 µg/m<sup>3</sup> z możliwością jej przekraczania do 18 razy w roku kalendarzowym. Po wejściu w życie Dyrektywy możliwy był margines tolerancji wynoszący 100 µg/m<sup>3</sup>, a od 1 stycznia 2001 r. w każdym roku kalendarzowym ulega on zmniejszeniu o 10 µg/m<sup>3</sup>. W związku z powyższym wartość dopuszczalna osiągnięta zostanie ostatecznie 1 stycznia 2010 r.,
  - roczny (ze względu na ochronę zdrowia człowieka) – wartość dopuszczalną ustalono na poziomie 40 µg/m<sup>3</sup>. Od dnia wejścia Dyrektywy w życie możliwy był margines 20 µg/m<sup>3</sup>, który od 1 stycznia 2001 r. jest zmniejszany corocznie o 2 µg/m<sup>3</sup>.
- o **dla tlenków azotu (NO<sub>x</sub>):**
  - roczny (ze względu na ochronę roślinności) – za wartość dopuszczalną, która obowiązuje od 19 lipca 2001 r., uznano poziom 30 µg/m<sup>3</sup>.
- o **dla cząstek stałych o średnicy <10µm (PM<sub>10</sub>):**
  - 24-godzinny (ze względu na ochronę zdrowia człowieka) – wartość dopuszczalna została ustalona na poziomie 50 µg/m<sup>3</sup>. Uznano, że może być ona przekraczana nie częściej, aniżeli 35 razy w ciągu roku. Dopuszczono 50% tolerancję wartości dopuszczalnej po wejściu w życie Dyrektywy, a począwszy od 1 stycznia 2001 r. margines ten był obniżany o 10% rocznie. Wartość dopuszczalna bez marginesu tolerancji obowiązuje od 1 stycznia 2005 r.,
  - roczny (ze względu na ochronę zdrowia człowieka) – dopuszczalną wartość ustalono na poziomie 40 µg/m<sup>3</sup>, przyjmując 20% margines tolerancji po wejściu w życie Dyrektywy. Od dnia 1 stycznia 2001 r. margines ten był obniżany o 4% rocznie, aby począwszy od dnia 1 stycznia 2005 r. zaczęła obowiązywać wartość dopuszczalna.

W przypadku PM<sub>10</sub>, zgodnie z art. 10 Dyrektywy [104], ustalono również wartości dopuszczalne tzw. drugiej fazy, które będą przedmiotem oceny z uwzględnieniem nowych

informacji dotyczących skutków zdrowotnych i środowiskowych, wykonalności technicznej oraz doświadczeń związanych z wdrażaniem w Państwach Członkowskich wartości dopuszczalnych określonych dla fazy pierwszej (tzn. wyszczególnionych powyżej). Dyrektywa zaleca więc, aby dopuszczalna wartość średniodobowa wynosiła nadal  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , z tymże z możliwością jej przekraczania jedynie do 7 razy w ciągu roku kalendarzowego, natomiast dopuszczalna wartość średnioroczna ma wynosić  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . W obu przypadkach za termin, do którego wartość dopuszczalna ma zostać osiągnięta uznano 1 stycznia 2010 r.

o **dla ołowiu (Pb):**

- roczny (ze względu na ochronę zdrowia człowieka) – wartość dopuszczalną ustalono na poziomie  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Margines tolerancji po wejściu w życie Dyrektywy przyjęto na poziomie 100%, a począwszy od dnia 1 stycznia 2001 r. ulegał on sukcesywnemu zmniejszaniu o 20% rocznie. Wartość dopuszczalna bez marginesu tolerancji obowiązuje zatem od 1 stycznia 2005 r.

Zgodnie z art. 10 Dyrektywy [104] rozważa się możliwość uzupełnienia lub zastąpienia obowiązującej wartości dopuszczalnej, wartością dopuszczalną depozycji bezpośrednio w pobliżu źródeł punktowych. Bezpośrednio w pobliżu konkretnych źródeł przemysłowych, zlokalizowanych na terenach zanieczyszczonych wskutek prowadzonej działalności przemysłowej, za termin, do którego osiągnięta ma zostać wartość dopuszczalna uznano 1 stycznia 2010 r. O tego typu źródłach konieczne było poinformowanie Komisji przed dniem 19 lipca 2001 r. Odpowiednie uzasadnienie pozwala, aby w strefie do 1000 m od konkretnego źródła, począwszy od dnia 1 stycznia 2005 r. obowiązywała wyższa wartość dopuszczalna, wynosząca  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/69/WE wyróżnia okresy uśredniania:

o **dla benzenu ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ):**

- roczny (ze względu na ochronę zdrowia człowieka) – za wartość dopuszczalną uznano  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Przyjęty został także margines tolerancji na poziomie 100% wartości dopuszczalnej. Począwszy od dnia 1 stycznia 2006 r. margines ten ulega obniżaniu o 20% w stosunku rocznym tak, aby wartość dopuszczalna została osiągnięta przed 1 stycznia 2010 r.

Jeśli osiągnięcie wartości dopuszczalnej w miejscu rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia, jest utrudnione ze względu na specyfikę obszaru lub szczególne warunki klimatyczne na nim panujące (jak niewielka prędkość wiatru i/lub warunki sprzyjające parowaniu) i możliwość wystąpienia poważnych problemów natury społeczno-ekonomicznej w razie podejmowania działań mających na celu zapewnienie nieprzekraczania wartości dopuszczalnej, zgodnie z art. 3, ust. 2 Dyrektywy [105], we wskazanych strefach lub aglomeracjach, po odpowiednim uzasadnieniu przez Państwo Członkowskie, Komisja może przedłużyć okres obowiązywania podwyższonej wartości dopuszczalnej (na poziomie nie większym aniżeli  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i na okres nie dłuższy aniżeli 5 lat). Państwo Członkowskie musi jednakże wykazać, iż podjęło czynności niezbędne w kierunku obniżenia stężenia substancji zanieczyszczającej oraz zasięgu oddziaływania podwyższonego stężenia, jak również przedstawić propozycje działań, jakie podejmie w tym celu w przyszłości.

o **dla tlenu węgla (CO):**

- 8-godzinny (ze względu na ochronę zdrowia człowieka) – wartość dopuszczalna ustalona została na poziomie  $10 \text{mg}/\text{m}^3$ . Ustalono także margines tolerancji wynoszący 100% wartości dopuszczalnej, który od dnia 1 stycznia 2001 r. był obniżany corocznie o 20%. Wartość dopuszczalna bez marginesu tolerancji obowiązuje od 1 stycznia 2005 r.

Wartość uśredniona jest maksymalną średnią 8-godzinną, spośród średnich kroczących, obliczanych co godzinę z ośmiu średnich 1-godzinnych.

Dyrektywa Rady 2002/3/WE wyróżnia okresy uśredniania:

- o dla ozonu (O<sub>3</sub>):

- 8-godzinny (ze względu na ochronę zdrowia człowieka) – wartość dopuszczalną (określaną w Dyrektywie [106], jako wartość docelową dla roku 2010), którą jest najwyższa dzienna średnia 8-godzinna, ustalono na poziomie 120 µg/m<sup>3</sup> (uśredniona za okres 3 lat). Jednocześnie nie może być ona przekraczana więcej, aniżeli 25 dni w ciągu roku kalendarzowego. Jeśli ustalenie średniej trzyletniej na podstawie pełnego oraz kolejnego zestawu danych rocznych nie jest możliwe, do kontroli zgodności z wartością docelową wykorzystywane będą ważne dane pomiarowe z okresu jednego roku.

Najwyższa dzienna średnia 8-godzinna wybierana jest spośród uaktualnianych co godzinę kroczących średnich 8-godzinnych, przy czym pierwszym okresem obliczeń w odniesieniu do danego dnia jest okres od godziny 17:00 dnia poprzedniego do godziny 01:00 w dniu, dla którego obliczana jest średnia. Tym samym ostatnim okresem obliczeniowym dla rozpatrywanego dnia jest okres w godzinach 16:00÷24:00.

- AOT40 (ze względu na ochronę roślinności) – wartość dopuszczalna (określona, jako docelowa dla roku 2010) ustalona została na poziomie 18000 µg/m<sup>3</sup> h, jako średnia z okresu 5 lat. W przypadku braku możliwości ustalenia średniej pięcioletniej na podstawie pełnego oraz kolejnego zestawu danych rocznych, do kontroli zgodności z wartością docelową wykorzystywane będą ważne dane pomiarowe z okresu trzech lat.

Zgodnie z definicją AOT40, zamieszczoną w treści Dyrektywy [106], wielkość ta oznacza sumę nieujemnych różnic między godzinnymi stężeniami wyższymi niż 80 µg/m<sup>3</sup> (40 ppb) a 80 µg/m<sup>3</sup> w danym okresie, przy wykorzystaniu jedynie wartości 1-godzinnych między godziną 08:00 a 20:00 czasu środkowo-europejskiego każdego dnia, przy czym dotyczy to tylko sezonu wegetacyjnego (od 1 maja do 31 lipca).

Polskie przepisy w zakresie dopuszczalnych poziomów wymienionych wyżej zanieczyszczeń są wynikiem w zasadzie dokładnej transpozycji Wspólnotowego Prawa Ochrony Środowiska. Powyższe dyrektywy zostały wprowadzone do prawa polskiego ustawą 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska oraz rozporządzeniami:

- o rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu, alarmowych poziomów niektórych substancji w powietrzu oraz marginesów tolerancji dla dopuszczalnych poziomów niektórych substancji (Dz.U. 2002/87/796) [107],
- o rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. 2000/87/798) [108].

Dopuszczalne wartości stężeń zanieczyszczeń powietrza, nazwane w rozporządzeniu 2002/87/796 dopuszczalnymi poziomami substancji w powietrzu, są zatem dokładnym odzwierciedleniem wytycznych zawartych w ww. dyrektywach. Marginesy tolerancji dopuszczalnych poziomów substancji, określonych w dyrektywach również zostały dokładnie przetransponowane do odpowiedniego rozporządzenia. W związku z tym, iż rozporządzenia weszły w życie później aniżeli ustalenia dyrektyw, marginesy tolerancji przyjęto na takim poziomie, jaki zgodnie z dyrektywami obowiązywał w roku 2002. Z tego względu w kolejnych latach będą one ulegać pomniejszeniu o takie same wartości, osiągając dopuszczalne poziomy stężeń w tym samym czasie co wartości dopuszczalne ustalone w dyrektywach.

## 4.2. Wpływ składników spalin na zdrowie ludzi

Niekorzystne skutki zdrowotne ruchu drogowego w miastach, szczególnie ruchu o dużym natężeniu, charakteryzującego się licznymi zatorami drogowymi związane będą w sposób bezpośredni przede wszystkim z jakością powietrza atmosferycznego oraz klimatem akustycznym. Jak już wspomniano w rozdziale 3.1.1, w ramach niniejszej pracy nacisk położony

został na ocenę wpływu zanieczyszczeń powietrza z ruchu drogowego na zdrowie człowieka. Negatywny wpływ ruchu pojazdów na jakość klimatu akustycznego nie został poddany analizie i będzie stanowić przedmiot dalszych badań.

Z uwagi na fakt, iż emisja z pojazdów odbywa się na poziomie układu oddechowego, do organizmu człowieka trafiają wdychane substancje takie jak benzen, tlenki azotu, tlenek węgla, jak również ozon i mikrocząsteczki pyłów. Ponadto w wyniku spalania paliw do atmosfery przedostawać się mogą kancerogenne związki metali ciężkich oraz produkty spalania biocydów – substancji dodawanych do paliw (w Polsce w znacznej ilości), mających chronić magazynowane paliwa przed biodegradacją a zbiorniki paliwowe przed korozją mikrobiologiczną. Wprowadzenie obowiązku dodawania do paliw płynnych tzw. biokomponentów może dodatkowo przyczynić się do wzrostu zużycia paliwa, a w efekcie również do zwiększonej emisji szkodliwych związków. Badania stanowiskowe przeprowadzone na hamowni podwoziowej, których wyniki prezentuje *Chłopek Z. i in. [25]* wykazały, iż zależnie od proporcji paliwa i dodatku estrowego następuje co prawda wzrost zużycia paliwa o ok. 0,9% na każde 5% dodatku estrów metylowych oleju rzepakowego, jednakże, za wyjątkiem tlenków azotu, notuje się wyraźny spadek emisji zanieczyszczeń. Z kolei *Kuszeński H. i Lejda K. [46]* podają, iż stosowanie olejów roślinnych, charakteryzujących się gorszą lotnością w stosunku do oleju napędowego, mniejszą skłonnością do samozapłonu i niską temperaturą rozkładu termicznego, sprzyja wzrostowi emisji NO<sub>x</sub> i cząstek stałych. Spadek emisji tlenków azotu uzyskać można natomiast przy zastosowaniu dodatków alkoholowych (alkoholu metylowego lub etylowego). Problemem są jednak w obu przypadkach niezbędne zmiany konstrukcyjne silników i ich dodatkowa regulacja, co utrudnia stosowanie tych rozwiązań na szeroką skalę.

Jak podają autorzy „Oceny oddziaływania na zdrowie wariantów obwodnicy autostrady A2 w rejonie Warszawy” [94], w Polsce nie prowadzi się monitoringu zapadalności na choroby wynikające z zanieczyszczenia środowiska czynnikami powodowanymi przez komunikację drogową. Co więcej wyróżnienie chorób spowodowanych przez emisje związków chemicznych, szkodliwych pierwiastków, pyłów i energii z tras komunikacyjnych w ogólnej liczbie schorzeń powodowanych przez tego typu emisje jest niezwykle trudne i wymaga obserwacji zdrowia grupy ludzi przez okres kilkudziesięciu lat, przy uwzględnieniu pozostałych czynników, które mogłyby mieć wpływ na stan ich zdrowia. Jednakże, jak już wspomniano w *rozdziale 3.2*, udział emisji komunikacyjnych na obszarach miejskich w ogólnej emisji zanieczyszczeń jest znaczący, wobec czego również zwiększone zanieczyszczenie powietrza na obszarach miejskich spowodowane jest w dużej mierze emisją z ruchu drogowego. Pojawiające się więc poważne problemy zdrowotne, jak przewlekłe choroby układu oddechowego, astma oskrzelowa, uczulenia, nowotwory, a nawet zwiększony wskaźnik śmiertelności, mogą wynikać z zanieczyszczenia powietrza produktami spalania paliw w silnikach pojazdów. Jak podaje *Kopta T. [43]*, związek pomiędzy ekspozycją na podwyższone stężenia zanieczyszczeń a wymienionymi skutkami zdrowotnymi jest potwierdzony naukowo. Można więc przypuszczać, iż zwiększone zużycie paliw przez pojazdy stojące w zatorach drogowych, a więc zwiększona emisja szkodliwych produktów spalania tych paliw, dodatkowo nasila niekorzystny wpływ ruchu drogowego na zdrowie ludzi zamieszkujących tereny miejskie. Szacuje się, że na obszarach intensywnego ruchu ulicznego, w bezpośrednim sąsiedztwie tuneli, podziemnych parkingów oraz stacji benzynowych, poziom zanieczyszczenia powietrza może 40-krotnie przewyższać średnią wartość zanieczyszczenia dla całych obszarów miejskich. Co więcej negatywny wpływ na zdrowie może mieć samo przebywanie w samochodzie, gdzie poziom substancji lotnych pochodzenia organicznego oraz NO<sub>2</sub> może być kilka razy wyższy aniżeli w otaczającym powietrzu (*Kopta T. [43]*).

W prowadzonych dotychczas badaniach epidemiologicznych w ramach projektu PEACE (*Pollution Effects on Asthmatic Children in Europe*), które przytacza *Viegi G. [76]*, oceniano wpływ krótkotrwałych zmian w stężeniu podstawowych zanieczyszczeń powietrza na objawy astmy u dzieci. Z kolei badania prowadzone w ramach projektu APHEA (*Air Pollution on Health: European Approach*), których wyniki prezentuje *Anderson H.R. i in. [16]*, miały za zadanie określenie wpływu zanieczyszczeń powietrza na wzrost umieralności i częstość przyjęć do szpitali. Wyniki zaprezentowane w obu tych pracach nie wykazały wpływu ditlenku siarki, ditlenku azotu oraz cząstek stałych PM<sub>10</sub> na przebieg astmy oskrzelowej u dzieci, co potwierdzają również badania

prowadzone w innych krajach Europy (*Roemer W. i in. [66]*). Jednakowoż w podsumowaniu projektu APHEA z 6 miast europejskich (Amsterdam, Rotterdam, Barcelona, Londyn, Paryż, Mediolan) wykazano, że wzrost stężeń zanieczyszczeń takich jak ditlenek siarki, ditlenek azotu, ozon i PM<sub>10</sub> przyczynia się do zwiększenia liczby hospitalizacji z powodu zaostrzenia przebiegu przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (*Anderson H.R. i in. [16]*). Badania oceniające z kolei wpływ krótkotrwałych wzrostów stężenia SO<sub>2</sub> i PM<sub>10</sub> na liczbę zgonów, prowadzone w ramach programu APHEA na terenie Polski (w Krakowie i Łodzi), wykazały pewną korelację dodatnią pomiędzy liczbą zgonów z powodu chorób układu oddechowego a poziomem SO<sub>2</sub> w Krakowie, jednak zależność ta była słaba, na co wskazują *Wojtyniak B. i Piekarski T. [81]*. Zwrócić należy również uwagę na fakt, iż oba wymienione zanieczyszczenia (zwłaszcza SO<sub>2</sub>) nie są typowymi i dominującymi zanieczyszczeniami komunikacyjnymi, a więc wyniki tego typu badań nie umożliwiają oceny wpływu zanieczyszczeń z ruchu drogowego na stan zdrowia ludzi.

Liczne pozycje literaturowe (*Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11]*, *Ming-Ho Yu [10]*, *Siemiński M. [12]*, *Juda-Rezler K. [8]*, *Merkisz J. [9]*, *Chłopek Z. [3]*, Wytyczne WHO [92]) wskazują jednak, iż istnieje negatywny wpływ na zdrowie, a nawet życie człowieka, różnego rodzaju substancji, będących składowymi produktami spalania paliw płynnych w silnikach pojazdów mechanicznych. Badania, których wyniki dowodzą istnienia takiego oddziaływania obejmują jednakże ocenę wpływu konkretnych, wybranych związków, na organizm człowieka, na zwierzęta lub roślinność. Ponadto stężenia substancji, których oddziaływanie jest badane, są z reguły znacznie większe (nawet o kilka rzędów wielkości) od stężeń notowanych w powietrzu atmosferycznym obszarów miejskich. Czas działania danego związku na badany organizm jest bardzo krótki (kilka minut do kilku dni w zależności od rodzaju substancji i stężenia), co umożliwia jedynie ocenę tzw. ostrej toksyczności. Badania nie obejmowały więc oceny wpływu zanieczyszczeń w warunkach rzeczywistych, a jedynie podczas badań laboratoryjnych, polegających na poddawaniu grupy ochotników działaniu badanej substancji w podwyższonych stężeniach. Nie były dotychczas prowadzone kompleksowe badania, mające na celu określenie charakteru długotrwałego oddziaływania na zdrowie człowieka powietrza zanieczyszczonego m.in. produktami spalania paliw płynnych w silnikach pojazdów. Specyfika takiej sytuacji polega na tym, iż stężenia w jakich notowane są poszczególne zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym, nie wpływają w zasadzie na ostre reakcje organizmu człowieka (wyjątkiem mogą być jednakże osoby cierpiące na astmę oskrzelową lub przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (POChP)). W niektórych pracach podkreśla się, że istnieje wystarczająco dużo dowodów, iż zanieczyszczenie powietrza zewnętrznego może nasilać objawy astmy (*von Mutius E. [77]*, *Brauer M. i in. [21]*), czy POChP (*Fusco D. i in. [31]*) u osoby już chorej, podczas gdy wyników badań świadczących o zwiększonej liczbie nowych przypadków astmy czy chorób alergicznych u dzieci, jest nadal stosunkowo niewiele. Pojawiają się jednak prace, które wskazują na nasilenie się objawów z zakresu układu oddechowego u dzieci i dorosłych zamieszkujących w sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych o znacznym natężeniu ruchu (*Edward J. i in. [30]*, *Osterlee A. i in. [61]*, *Wjst. M. i in. [80]*), za co odpowiadać mają podwyższone stężenia ditlenku azotu i ozonu.

Z przedstawionego powyżej materiału można domniemywać, iż długotrwałe narażenie organizmu na oddziaływanie zanieczyszczeń w stężeniach notowanych w powietrzu aglomeracji miejskich, w tym również ze względu na możliwe interakcje pomiędzy różnymi substancjami i potencjalne działanie synergiczne, generuje negatywne chroniczne skutki dla mieszkańców dużych miast. Wpływ taki nie został jednakże w pełni udowodniony, w związku z czym skutki, jakie dla zdrowia człowieka i środowiska przyrodniczego generują zatory drogowe, mogą być większe, aniżeli wynika to z badań przedstawionych w dalszej części pracy.

Specjaliści zajmujący się schorzeniami układu oddechowego podkreślają jednakże, iż coraz więcej danych świadczy o tym, że emisje zanieczyszczeń z pojazdów mechanicznych na terenie dużych aglomeracji miejskich, odgrywają zasadniczą rolę w zwiększaniu częstości występowania astmy oskrzelowej i POChP (*Lubiński W. i in. [53]*, *Lubiński W. i in. [54]*, *Rowińska-Zakrzewska E. [67]*, Raport NHLBI/WHO [98], Raport NHLBI/WHO [99]). Negatywny wpływ zanieczyszczeń takich jak tlenki azotu, czy ozon, objawia się zarówno działaniem bezpośrednim, jak również poprzez nasilenie uczuleń na drobne cząstki alergenów organicznych obecnych w powietrzu. W etiologii POChP, obok palenia tytoniu, wśród najważniejszych

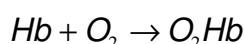
czynników ryzyka wymienia się także zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego (Raport NHLBI/WHO [98], Raport NHLBI/WHO [99], Wytyczne GOLD [117]).

Obok negatywnego oddziaływania produktów spalania paliw płynnych, które przenoszone przez powietrze są wdychane przez ludzi, pod uwagę należy wziąć również fakt, iż substancje te (głównie metale ciężkie i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne) są kumulowane w glebie i roślinności. Jak podaje Lipiec A. i in. [50] stwierdzono, iż uprawa roślin pastewnych w sąsiedztwie dróg o dużym natężeniu ruchu wpływa na podwyższoną zawartość ołowiu w tych roślinach. Zaznacza się jednakże, iż zmiany zawartości tego metalu w roślinach zależą również od innych czynników, takich jak zasobność gleb, warunki atmosferyczne, pora roku, długość sezonu wegetacyjnego. Podobne efekty zaobserwowano w zmianach zawartości ołowiu, kadmu, miedzi i cynku w runi łąkowo-pastwiskowej w badaniach prowadzonych w pobliżu Lublina Lipiec A. i in. [51]. Obserwuje się również zwiększoną zawartość metali ciężkich w owocach jadalnych czy warzywach. Prowadzi to do wniosku, że, przynajmniej niektóre rośliny (szczególnie te wrażliwe na zwiększoną zdolność do akumulacji metali ciężkich), spożywane przez człowieka, nie mogą być uprawiane w pobliżu ciągów komunikacyjnych, gdyż zawarte w nich toksyczne substancje będą nasilać niekorzystne oddziaływanie zanieczyszczonego powietrza na zdrowie ludzi.

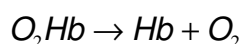
Poniżej opisano wpływ wybranych zanieczyszczeń komunikacyjnych na zdrowie ludzi wraz z wykresami ich średnich stężeń w roku 2005. Wykresy sporządzono w oparciu o wyniki pomiarów z Systemu Monitoringu Jakości Powietrza, o którym szerzej będzie mowa w rozdziale 4.4. Przedstawiono średnie roczne poziomy zanieczyszczeń we wszystkich stacjach Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska z terenu Warszawy (Al. Niepodległości, ul. Wokalna, ul. Kondratowicza), które rejestrują stężenie danego zanieczyszczenia oraz w miarę dostępności wyników również ze stacji zlokalizowanej na terenie niezurbanizowanym (Granica), na obrzeżach Kampinoskiego Parku Narodowego. Zaznaczono również poziom dopuszczalny o rocznym czasie uśredniania w przypadku tych zanieczyszczeń, dla których został on określony. Szczegółowa analiza wyników pomiarów zostanie zaś przedstawiona w rozdziale 6.

#### 4.2.1. Tlenek węgla

W czasie oddychania tlenek węgla łatwo przenika do płuc, wpływając w sposób bardzo niekorzystny na organizm człowieka. Podczas normalnego oddychania człowiek w ciągu doby wdycha i wydycha około 9÷14 kg powietrza (według Judy-Rezler K. [8] jest to od 7 kg dla dzieci do 17 kg dla osób dorosłych), tj. 300÷500 dm<sup>3</sup> w ciągu godziny. Wartość ta wzrasta kilku- a nawet kilkunastokrotnie w sytuacji zwiększonej respiracji, np. w czasie wysiłku fizycznego. W związku z tym aktywne chemicznie zanieczyszczenia nawet w niewielkich stężeniach mogą spowodować poważne komplikacje zdrowotne. Z płuc bowiem bardzo szybko przenikają one do układu krwionośnego. W sytuacji braku zanieczyszczenia tlenkiem węgla, tlen trafiający do płuc jest pobierany przez hemoglobinę (kompleks białka (globiny) z hemem (połączenie dwuwartościowego żelaza z protoporfiryną IX), stanowiący składnik erytrocytów), dzięki czemu powstaje tzw. oksyhemoglobina (równanie 4.1). Reakcja łączenia hemoglobiny (Hb) z tlenem jest reakcją odwracalną. Proces rozpadu oksyhemoglobiny na tlen i hemoglobinę zachodzi w tkankach ciała, gdzie tlen jest uwalniany (równanie 4.2), a krew wraz z hemoglobiną powraca do płuc, w celu ponownego pobrania tlenu (Falkowska L. i Korzeniewski K. [6], Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11], Ming-Ho Yu [10]).



Równanie 4.1 – proces powstawania oksyhemoglobiny [10]

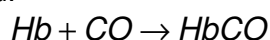


Równanie 4.2 – proces rozpadu oksyhemoglobiny [10]

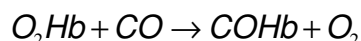
Obecność tlenku węgla powoduje ingerencję w prawidłowy proces transportu tlenu we krwi. Tlenek węgla trafiając do płuc łączy się z hemoglobiną, co prezentuje równanie 4.3. Dzieje się tak ze względu na fakt, iż chemiczne powinowactwo CO do Hb jest 200 razy większe od



powinowactwa tlenu do hemoglobiny – oksyhemoglobina uwalnia tlen, absorbując tlenek węgla (równanie 4.4). W efekcie, w stosunkowo krótkim czasie ekspozycji, powstaje tzw. karboksyhemoglobina, w rezultacie czego zmniejsza się zdolność przenoszenia tlenu przez krew (Falkowska L. i Korzeniewski K. [6], Ming-Ho Yu [10]). Efektem tego z kolei jest niedotlenienie organów, tkanek i komórek organizmu.



**Równanie 4.3 – proces powstawania karboksyhemoglobiny [10]**



**Równanie 4.4 – proces usuwania oksyhemoglobiny z krwi [10]**

Ze względu na właściwości tlenku węgla Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (U.S. Environmental Protection Agency – EPA) uznaje go za jeden z sześciu podstawowych wskaźników jakości powietrza (Criteria Air Pollutants) (Wytyczne EPA [119]). Skutki oddziaływania CO na organizm ludzki, w zależności od stężenia tego związku w otaczającym powietrzu prezentuje Tabela 2 (Falkowska L. i Korzeniewski K. [6]).

**Tabela 2 Efekty oddziaływania tlenku węgla na zdrowie i życie człowieka**

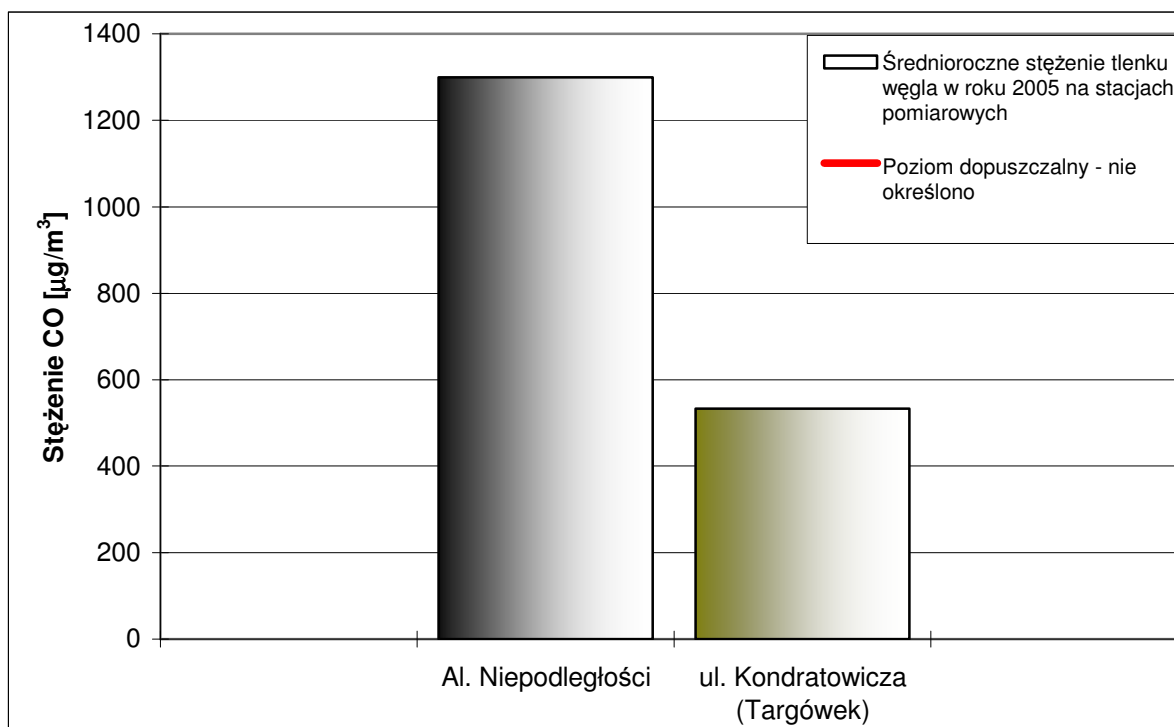
Stężenie CO	Stężenie COHb	Skutki ekspozycji
[mg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[-]
11	2	Oslabienie percepcji wizualnej i umysłowej
110	15	Ogólne osłabienie, bóle i zawroty głowy
275	32	Utrata świadomości
780	60	Śmierć po kilku godzinach
1100	66	Śmierć natychmiastowa

Podobne konsekwencje oddziaływania karboksyhemoglobiny przy zbliżonych jej stężeniach we krwi podaje Ming-Ho Yu [10]. Z kolei Juda-Rezler K. [8] oprócz uczucia duszności, zawrotów głowy i zmniejszonej wydolności organizmu wymienia zaburzenia wtórne, jak spadek możliwości percepcji oraz ogólnej sprawności psychicznej, podkreślając równocześnie, iż dłuższa ekspozycja na działanie tlenku węgla wpływa negatywnie na metabolizm żelaza i witamin. Ponadto należy mieć na uwadze, iż osoby palące tytoń, mające generalnie wyższe stężenie karboksyhemoglobiny we krwi, są bardziej narażone na szkodliwe oddziaływanie tlenku węgla.

Badania wykazują, iż szczególnie narażony na niedobór tlenu jest płód, a tlenek węgla ma działanie embriotoksyczne i teratogenne. Z tego względu zatrucie tlenkiem węgla u kobiet w ciąży, może spowodować śmierć płodu. Badania u zwierząt potwierdziły ponadto, iż zwierzęta, których matki będąc w ciąży eksponowano na działanie CO, charakteryzują się zmniejszoną masą ciała oraz wyraźnym upośledzeniem zdolności uczenia się.

Należy mieć na uwadze, iż tlenek węgla ma zdolność łączenia się z innymi białkami, jak z występującą w komórkach mięśniowych mioglobina, enzymem oksydazą cytochromową c, czy cytochromem P450, odpowiedzialnym za metabolizowanie np. leków. Ponadto CO może wpływać na osłabianie możliwości obronnych tkanek przed infekcjami bakteryjnymi (Ming-Ho Yu [10], Wytyczne WHO [92]). Okres półrozpadu karboksyhemoglobiny wynosi około 4 godzin (Ming-Ho Yu [10]).

Zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Zdrowia [92], w miastach europejskich 8-godzinne średnie stężenie tlenku węgla nie przekracza 20 mg/m<sup>3</sup> (17 ppm), osiągając jednak wyższe stężenia we wnętrzach pojazdów aniżeli w powietrzu otaczającym. Stacja monitorująca stężenia zanieczyszczeń komunikacyjnych w Warszawie notowała w roku 2005 średnie 8-h stężenia CO w zakresie od 235 µg/m<sup>3</sup> (0,2 ppm) do 5710 µg/m<sup>3</sup> (5 ppm). Średnie roczne stężenia prezentuje zaś Wykres 5. Poziom dopuszczalny o rocznym czasie uśredniania dla tego zanieczyszczenia nie został określony.



**Wykres 5 Średnioroczne stężenie tlenku węgla w powietrzu atmosferycznym w roku 2005 (dla stacji: komunikacyjnej (WaK) i Targówek (WaT))**

#### 4.2.2. Dinitlenek siarki

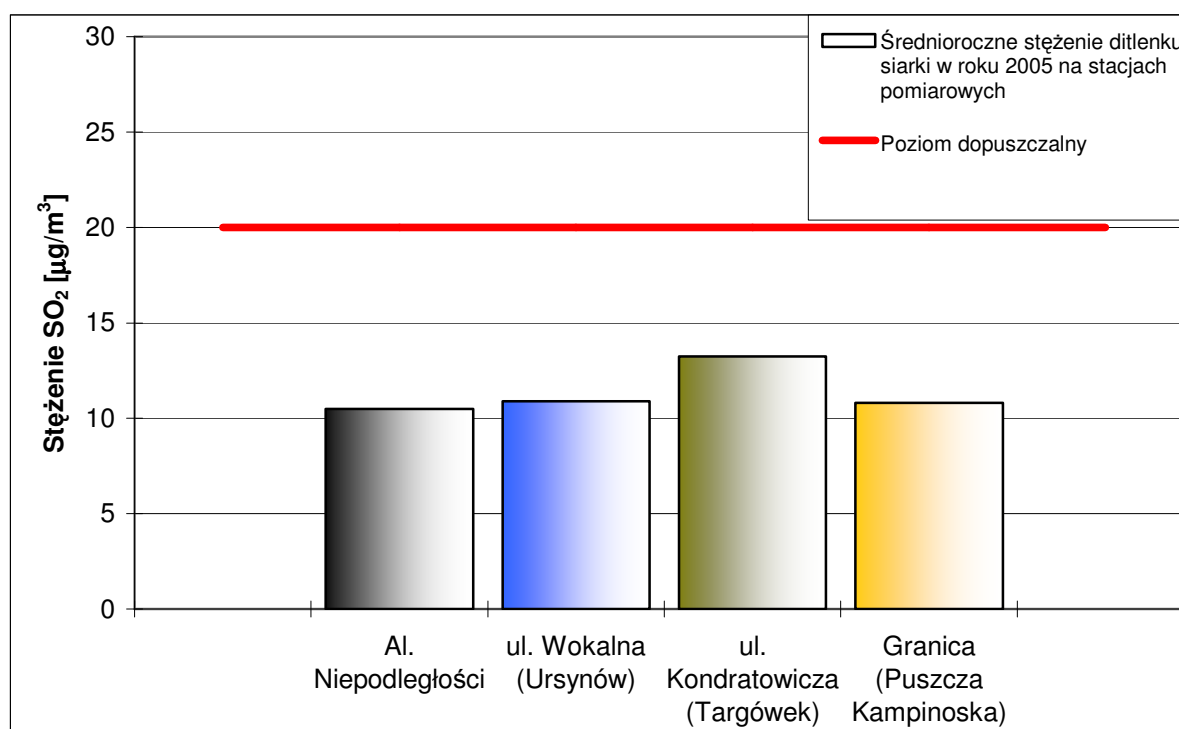
Jak już wspomniano związki siarki nie są typowymi zanieczyszczeniami komunikacyjnymi. Ich obecność w powietrzu wynika z emisji ze źródeł przemysłowych i energetyki zawodowej. Wpływ tych zanieczyszczeń omówiony więc zostanie jedynie skrótowo.

Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska uznaje ten związek za jedno z zanieczyszczeń powietrza, których zawartość świadczy o jego jakości. Po wniknięciu w ściany dróg oddechowych, dinitlenek siarki przenika do krwi, kumuluje się w ściankach tchawicy, oskrzelach, jak również w wątrobie, śledzionie, węzłach chłonnych oraz mózgu. Ponadto wpływ  $\text{SO}_2$  może objawiać się zmianami w rogówce oka, podrażnieniem błon śluzowych i spojówek (Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11], Publikacja [116], Wytoczne EPA [119]). Krótkotrwała ekspozycja na  $\text{SO}_2$  w stężeniu  $0,07 \div 0,09$  ppm ( $0,2 \div 0,25$  mg/m<sup>3</sup>) (stężenie średniodobowe) skutkuje spadkiem wydajności płuc (badania młodzieży szkolnej prowadzone w Holandii). Stwierdza się również podwyższoną zachorowalność w grupie podwyższonego ryzyka (osoby cierpiące na choroby serca, układu krążenia lub układu oddechowego, osoby w podeszłym wieku) i nasilenie objawów astmy wśród pacjentów z chronicznym zapaleniem oskrzeli przy średniodobowych stężeniach dinitlenku siarki poniżej 0,09 ppm ( $0,25$  mg/m<sup>3</sup>) (Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11]) Badania epidemiologiczne prowadzone w Londynie, których wyniki przytacza Ming-Ho Yu [10], wskazują na pojawianie się efektów chorobowych przy średniodobowym stężeniu dinitlenku siarki powyżej 0,19 ppm ( $0,54$  mg/m<sup>3</sup>) i jednoczesnym podwyższonym poziomie zapylenia powietrza, a więc w okresach występowania smogu zimowego (londyńskiego, czarnego). Jak podaje Juda-Rezler K. [8], tego rodzaju zjawisko powstaje na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych, w okresie zimowym, w warunkach układów wyżowych i słabego wiatru. Stężenia zanieczyszczeń w smogu (poza  $\text{SO}_2$  i pyłami występują również CO,  $\text{NO}_2$  i związki organiczne) mogą nawet 30-krotnie przekraczać notowane stężenia średnioroczne oraz 10-krotnie normy jakości powietrza zalecane przez Światową Organizację Zdrowia.

Jak wykazują badania zaprezentowane przez Namieśnika J. i Jaśkowskiego J. [11], dłuższy okres ekspozycji przy stężeniu średniorocznym  $\text{SO}_2$  na poziomie  $0,01 \div 0,05$  ppm ( $0,03 \div 0,15$  mg/m<sup>3</sup>) wpływał na wzrost zachorowalności na zapalenie oskrzeli wśród dzieci w

wieku 6÷9 lat. Z kolei Wytyczne WHO [92] wskazują, iż symptomy chorobowe i spadek wskaźników czynnościowych oddychania występują nawet poniżej stężenia 0,035 ppm (0,01 mg/m<sup>3</sup>).

Średnioroczne stężenia ditlenku siarki w miastach Europy Zachodniej i Ameryki Północnej wahają się w zakresie 20÷60 µg/m<sup>3</sup> (0,007÷0,021 ppm), zaś na obszarach intensywnego wykorzystania węgla w lokalnych paleniskach lub przy niedostatecznej kontroli emisji ze źródeł przemysłowych stężenia te mogą osiągać poziomy 5÷10 razy wyższe (Wytyczne WHO [92]). Stężenia ditlenku siarki notowane w Warszawie nie osiągają takich wartości, co prezentuje Wykres 6 (z zaznaczonym poziomem dopuszczalnym zgodnie z rozporządzeniem [107]).



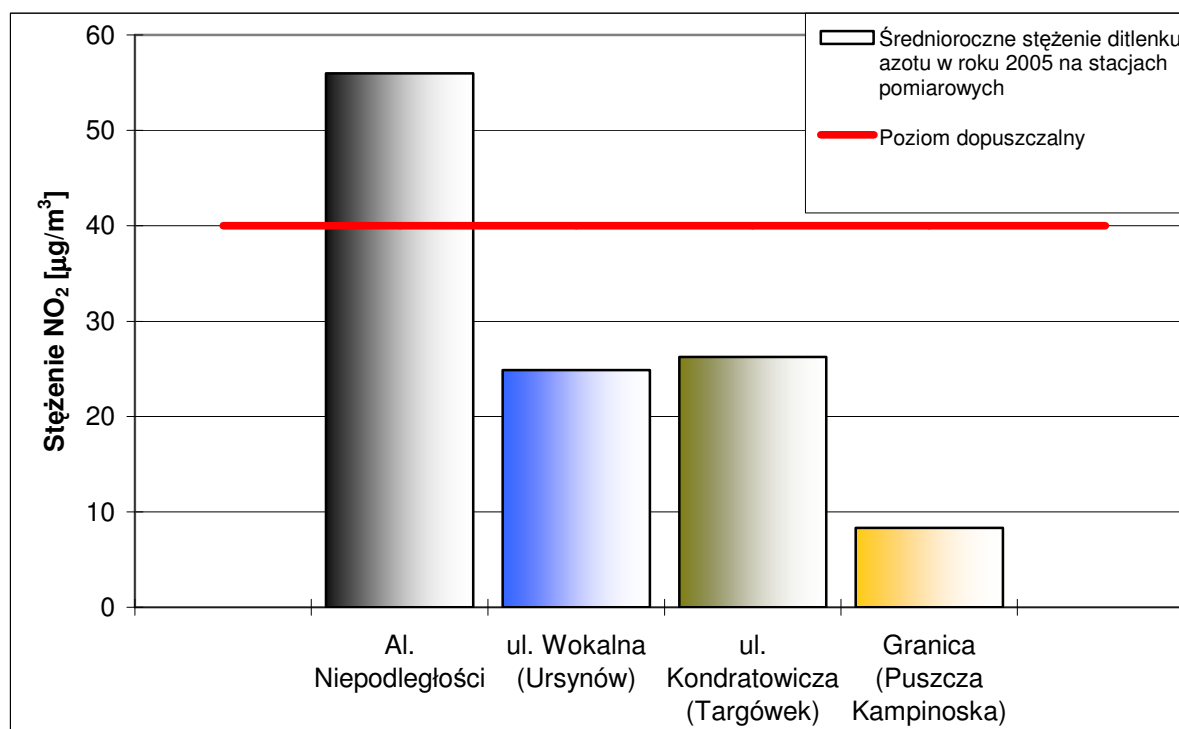
Wykres 6 Średnioroczne stężenie ditlenku siarki w powietrzu atmosferycznym w roku 2005

#### 4.2.3. Ditlenek azotu

Oddziaływanie na organizm człowieka tlenu azotu, podobnie do tlenu węgla, przejawia się wnikaniem do układu krwionośnego, gdzie następuje redukcja tlenu z oksyhemoglobiny, czego wynikiem jest powstanie methemoglobiny – w tym konkretnym przypadku nitrozohemoglobiny. Jak podaje *Chłopek Z.* [3], NO wykazuje powinowactwo do hemoglobiny 1500 razy większe niż tlenek węgla. W zanieczyszczonej atmosferze jednakże stężenie NO jest zdecydowanie niższe w porównaniu ze stężeniem CO, w związku z czym efekt oddziaływania tlenu azotu na ludzki organizm jest słabszy. Z kolei według *Miller F.J. i in.* [59], ditlenek azotu, jako związek aktywniejszy pod względem biochemicznym i bardziej toksyczny, jest dla zdrowia i życia człowieka zdecydowanie bardziej szkodliwy – jako stosunkowo słabo rozpuszczalny w wodzie, nie ulega rozpuczeniu w górnych drogach oddechowych lecz dociera do oskrzelików i pęcherzyków płucnych, gdzie osiąga 10÷100-krotnie wyższe stężenia niżeli w tchawicy. Właśnie ze względu na stosunkowo dużą toksyczność oraz powszechne występowanie w powietrzu atmosferycznym, NO<sub>2</sub> stanowi jedno z najpoważniejszych zanieczyszczeń atmosferycznych, o czym świadczyć może również fakt zaliczenia go do grupy wskaźników jakości powietrza określonych przez EPA. Kiluminutowe do godzinne przebywanie w pomieszczeniach, w których NO<sub>2</sub> występuje w stężeniach 50÷100 ppm (94÷188 mg/m<sup>3</sup>) powoduje zapalenie płuc, natomiast wzrost tego stężenia do 150÷200 ppm (282÷376 mg/m<sup>3</sup>) wywołuje zapalenie oskrzeli i bardzo złe samopoczucie. W przypadku występowania stężenia powyżej 500 ppm (940 mg/m<sup>3</sup>) w ciągu dwóch do dziesięciu dni następuje śmierć (*Falkowska L. i Korzeniewski K.* [6], *Ming-Ho Yu*

[10], Wytyczne EPA [119]). Pojawiające się wyniki badań nad oddziaływaniem ditlenku azotu w mniejszych stężeniach, dowodzą, iż w przypadkach astmatycznych, ekspozycja na NO<sub>2</sub> w stężeniu 0,1 ppm (0,19 mg/m<sup>3</sup>) znacznie potęguje reaktywność układu oddechowego (Ming-Ho Yu [10]), zaś osoby z POChP wykazują spadek wskaźników czynnościowych oddychania po 3-godzinnej ekspozycji na NO<sub>2</sub> w stężeniu 0,3 ppm (0,56 mg/m<sup>3</sup>) (Wytyczne WHO [92]).

Tereny zurbanizowane charakteryzują się przeciętnymi stężeniami ditlenku azotu na poziomie 20÷90 µg/m<sup>3</sup> (0,011÷0,048 ppm). 1-godzinowe wartości maksymalne wahają się w granicach 75÷1015 µg/m<sup>3</sup> (w roku 2005 stacja komunikacyjna w Warszawie zarejestrowała maksymalne stężenie NO<sub>2</sub> na poziomie 200 µg/m<sup>3</sup>). Średnie roczne stężenia ditlenku azotu w roku 2005 prezentuje Wykres 7 (zaznaczono poziom dopuszczalny zgodnie z rozporządzeniem [107]).



Wykres 7 Średnioroczne stężenie ditlenku azotu w powietrzu atmosferycznym w roku 2005

#### 4.2.4. Ozon

Podobnie jak opisane powyżej trzy inne zanieczyszczenia gazowe, zawartość ozonu jest regulowana przez EPA, jako zanieczyszczenie kryterialne, a więc świadczące o jakości powietrza atmosferycznego (Wytyczne EPA [119]). Jak podaje *Siemiński M.* [12], ozon zaczyna być wyczuwalny za pomocą zmysłu powonienia, gdy jego stężenie w powietrzu zaczyna przekraczać 0,1 ppm (0,2 mg/m<sup>3</sup>). Zgodnie z [10] 1-godzinna ekspozycja na działanie ozonu w stężeniu 0,6÷0,8 ppm (1,2÷1,6 mg/m<sup>3</sup>) powoduje bóle głowy, nudności, spadek łaknienia, a także zwiększony opór dróg oddechowych, zaś Światowa Organizacja Zdrowia [92] przytacza wyniki badań, z których wynika, iż 6-godzinna ekspozycja na stężenia 10-krotnie niższe – 0,08 ppm (0,16 mg/m<sup>3</sup>) – zwiększa reaktywność dróg oddechowych i powoduje stany zapalne. Najbardziej charakterystycznym toksycznym efektem występującym wśród ludzi wystawionych na działanie ozonu w stosunkowo wysokich stężeniach, jest obrzęk płuc i pojawienie się płynu w częściach płuc odpowiedzialnych za wymianę gazową.

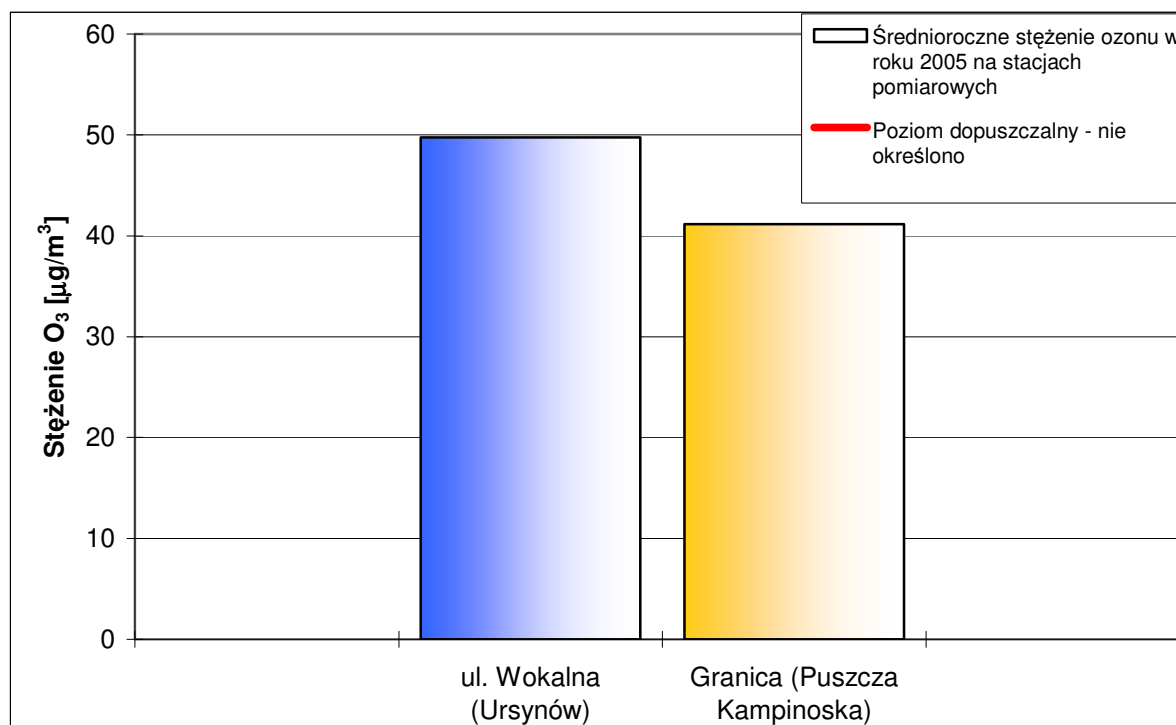
Występowanie podobnych objawów przytacza *Juda-Rezler K.* [8], i Wytyczne WHO [92], a z podanych informacji wynika ponadto, iż istnieje zależność pomiędzy podwyższonymi stężeniami ozonu przy powierzchni ziemi, a zwiększoną liczbą osób hospitalizowanych ze względu na problemy układu oddechowego. Podobnie jak w przypadku innych rodzajów

zanieczyszczeń, istnieją pewne grupy ludzi silniej reagujące na ekspozycję na ozon. Należą do nich w szczególności dzieci (ze względu na większą respirację w przeliczeniu na jednostkę masy ciała, aniżeli u osób dorosłych), osoby w podeszłym wieku, czy też cierpiące na przewlekłe dolegliwości układu oddechowego (np. astmę oskrzelową, POChP). Ponadto wyróżnić można tu osoby dłużej ekspozowane na kontakt z zanieczyszczeniem z racji np. uprawianego zawodu (kierowcy zawodowi, osoby pracujące przy remontach dróg, policjanci), czy też czynnie uprawiających pewne rodzaju sportu, związane ze zwiększoną respiracją (rowerzyści, osoby uprawiające jogging). Wyniki badań, zaprezentowane w Raporcie Światowej Organizacji Zdrowia [93], przeprowadzonych wśród dzieci uprawiających sporty na obszarach charakteryzujących się podwyższonymi stężeniami ozonu (średnia z 4 lat  $0,056 \pm 0,069$  ppm ( $0,11 \pm 0,14$  mg/m<sup>3</sup>)) wykazały, że ryzyko rozwoju astmy jest 3,3 razy większe w porównaniu z dziećmi nieuprawiającymi sportów na tych obszarach. Podobnej zależności nie stwierdzono wśród dzieci zamieszkujących tereny o niższych poziomach ozonu.

Dowiedziano, że zarówno wśród ludzi, jak i zwierząt wzrasta tolerancja na ozon wśród osobników ekspozowanych wcześniej na działanie pewnych związków chemicznych, w tym również utleniaczy. Uodparniają się one na działanie ozonu w dawkach będących wcześniej szkodliwymi lub wręcz letalnymi. U niektórych ludzi, ekspozowanych na działanie O<sub>3</sub> w stężeniu 0,3 ppm ( $0,6$  mg/m<sup>3</sup>) w jednodniowych odstępach, wykazano zmniejszoną reaktywność na późniejsze działanie ozonu w takim samym stężeniu (Ming-Ho Yu [10]).

Stężenia tła ozonu, głównie antropogenicznego pochodzenia wahają się w przedziale  $40 \div 70$  µg/m<sup>3</sup> ( $0,02 \div 0,035$  ppm). Maksymalne 1-godzinowe stężenia ozonu w miastach europejskich dochodzą do poziomu  $350$  µg/m<sup>3</sup> ( $0,18$  ppm).

Wykres 8 prezentuje średnie stężenia ozonu w roku 2005. dopuszczalny poziom o rocznym czasie uśredniania dla tego zanieczyszczenia nie został określony.



Wykres 8 Średnioroczne stężenie ozonu w powietrzu atmosferycznym w roku 2005

#### 4.2.5. Węglowodory

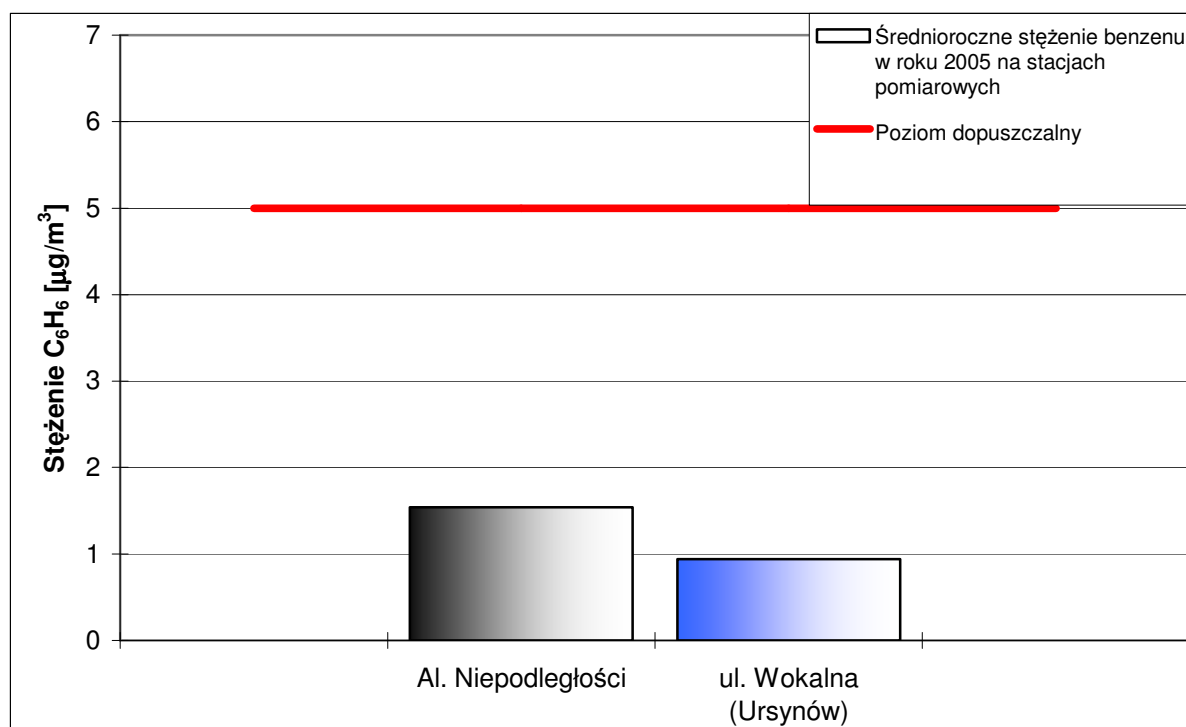
Z uwagi na zasygnalizowany już fakt, iż węglowodory aromatyczne uznawane są za związki najbardziej niebezpieczne (Merkisz J. [9]), oddziaływanie węglowodorów na zdrowie ludzi zostanie omówione na przykładzie monocyklicznych (benzen) i policyklicznych (benzo[a]piren) węglowodorów aromatycznych.

Dominującą drogą, którą benzen trafia do organizmu człowieka jest inhalacja, związana po pierwsze z paleniem tytoniu. Według Wytycznych WHO [92], drugim z kolei czynnikiem odpowiedzialnym za narażenie organizmu człowieka na oddziaływanie benzenu jest rosnące wykorzystanie pojazdów silnikowych. Wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia zwracają również uwagę na występowanie krótkotrwałego, acz wysokiego stopnia narażenia na oddziaływanie benzenu podczas tankowania pojazdów.

Ze względu na silnie kancerogeny charakter benzenu, badania nad wpływem tego zanieczyszczenia na organizm człowieka nie są prowadzone. Prezentowane wyniki dotyczą głównie badań prowadzonych na zwierzętach. Jak prezentują Wytyczne WHO [92], długotrwała ekspozycja na oddziaływanie benzenu skutkuje supresją szpiku kostnego, prowadzącą do zmniejszenia liczby płytek krwi (trombocytopenia), obniżenia zawartości białych krwinek (leukocytopenia) i niedokrwistości aplastycznej. Badania prowadzone wśród zwierząt wykazały, że 25-tygodniowa ekspozycja na benzen w stężeniu  $32 \text{ mg/m}^3$  ( $10,0 \text{ ppm}$ ) prowadzi do spadku liczby komórek krwiotwórczych oraz komórek szpiku kostnego. Bardzo wysokie stężenia, rzędu  $320\div 960 \text{ mg/m}^3$  ( $100,0\div 300,0 \text{ ppm}$ ) prowadzą do powstawania nowotworów, zwłaszcza pochodzenia nabłonkowego. Wśród ludzi zwiększoną umieralność z powodu białaczki stwierdzono wśród osób zawodowo narażonych na wpływ benzenu. Przy stężeniach w miejscach pracy na poziomie  $4\div 7 \text{ mg/m}^3$  ( $1,25\div 2,19 \text{ ppm}$ ) notowano mutagenne oddziaływanie benzenu.

Kancerogenne oddziaływanie benzenu sprawia, że nie został określony poziom, poniżej którego można stwierdzić brak wpływu tego związku na organizm człowieka. Jak wskazują dane Światowej Organizacji Zdrowia (Wytyczne WHO [92]), w przypadku zamieszkiwania przez całą długość życia na obszarach, gdzie stężenie benzenu przekracza  $1 \mu\text{g/m}^3$ , wśród miliona osób wystąpią trzy dodatkowe przypadki białaczki. Z badań, których wyniki prezentuje raport [92], wynika, że wartość jednostkowego ryzyka zachorowania na białaczkę w ciągu całego życia wynosi od  $4,4 \times 10^{-6}$  do  $7,5 \times 10^{-6}$  (zależnie od zespołu badawczego dokonującego kalkulacji ryzyka) na każdy  $\mu\text{g/m}^3$  benzenu.

Średnie stężenia benzenu w powietrzu obszarów pozamiejskich oraz zurbanizowanych wahają się odpowiednio w zakresie  $1 \mu\text{g/m}^3$  i  $5\div 20 \mu\text{g/m}^3$  (przy czym dopuszczalne stężenie o rocznym czasie uśredniania wynosi  $5 \mu\text{g/m}^3$ ). W Warszawie, w tym także na stacji komunikacyjnej, roczne średnie stężenie benzenu osiąga wartości wyraźnie niższe, co ilustruje Wykres 9 (na wykresie zaznaczono poziom dopuszczalny określony rozporządzeniem [107])



Wykres 9 Średnioroczne stężenie benzenu w powietrzu atmosferycznym w roku 2005

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) ze względu na liczne źródła emisji obecne są w powietrzu atmosferycznym, glebie i wodzie w postaci bardzo różnorodnych związków, wnikających do organizmu drogą oddechową, poprzez układ pokarmowy, jak również przez skórę. Wśród osób niepalących droga pokarmowa jest uważana za najbardziej znaczące źródło ekspozycji na WWA (za wyjątkiem osób narażonych zawodowo na wpływ tego rodzaju związków).

Właściwości biologiczne większości wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych nie są jak dotąd rozpoznane – do najlepiej zbadanych należy 3-4 benzopiren (benzo[a]piren, BaP). Związki te, ze względu na lipofilowy charakter łatwo wnikają przez błony komórkowe, mając tendencję do gromadzenia się w nerkach i wątrobie, w mniejszym stopniu w śledzionie, gruczołach nadnercza, czy jajnikach (*Ming-Ho Yu [10]*). Testy na zwierzętach wykazały, że benzo[a]piren jest przyczyną pojawiania się guzów nowotworowych w wielu różnych tkankach, zaś generalnie WWA mają charakter immunotoksyczny, genotoksyczny, kancerogenny oraz teratogenny (Wytyczne WHO [92]).

Zwraca się uwagę (Wytyczne WHO [92]), iż większość WWA nie występuje w powietrzu w postaci lotnej. Są one adsorbowane na powierzchni cząstek stałych, co może wzmacniać kancerogenny charakter węglowodórów, poprzez oddziaływanie zwłaszcza na płuca. Podobnie, jak w przypadku benzenu, nie ma określonego poziomu, poniżej którego BaP (i generalnie WWA) można uważać za bezpieczne dla zdrowia. Nieliczne badania epidemiologiczne (prowadzone wśród pracowników przemysłu koksowniczego) wskazują, że jednostkowe ryzyko zachorowania na raka w ciągu całego życia wynosi  $8,7 \times 10^{-5}$  na każdy  $\text{ng/m}^3$  benzo[a]pirenu.

W dużych miastach europejskich średnioroczne stężenia BaP utrzymują się obecnie na poziomie  $1 \div 10 \text{ ng/m}^3$ . Na terenach nieurbanizowanych poziom ten nie przekracza  $1 \text{ ng/m}^3$ . Stacje monitoringu na terenie Warszawy nie rejestrują poziomu benzo[a]pirenu w powietrzu.

#### 4.2.6. Cząstki stałe

Pyły stanowią poważny czynnik chorobotwórczy. O znaczeniu tego zanieczyszczenia świadczyć może fakt zaliczenia cząstek stałych przez EPA do grupy sześciu zanieczyszczeń istotnych z punktu widzenia jakości powietrza (Wytyczne EPA [119]). Zależnie od stopnia rozdrobnienia cząstek stałych, występuje ich oddziaływanie na różne części organizmu człowieka: oczy, skórę, drogi oddechowe, płuca. Skutki zdrowotne wdychanych pyłów zależą więc będą zarówno od charakteru oddziaływania substancji zawartej w cząstkach stałych, ale w dużym stopniu również od średnicy samej cząstki. *Tabela 3* przedstawia zależność pomiędzy średnicą ziaren pyłu, a zdolnością danej frakcji do przenikania i zatrzymywania się w płucach (*Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11]*).

**Tabela 3** Klasyfikacja pyłów ze względu na ich zdolność do przenikania i zatrzymywania się w płucach człowieka

Średnica cząstek pyłu [μm]	Zdolność do przenikania i zatrzymywania się w płucach człowieka [-]
<0,2	Przenikają i zatrzymują się w płucach
0,2-5,0	Łatwo przenikają do płuc i często w nich występują
5,0-10,0	Mogą przenikać do płuc, ale występują w nich rzadko
10,0-50,0	Zwykle nie przenikają do płuc, są zatrzymywane w górnych drogach oddechowych, skąd są stopniowo wydalane dzięki nabłonkowi migawkowemu
>50,0	Nie przenikają do płuc, są zatrzymywane w górnych drogach oddechowych, skąd łatwo wydalane są na zewnątrz dzięki nabłonkowi migawkowemu

Oprócz wielkości i gęstości uziarnienia, szkodliwość pyłów zależy od rodzaju pyłu (a więc również aktywności), stopnia zapylenia oraz czasu ekspozycji. Zależnie od rodzaju pyłu wyróżnia

się dwie grupy schorzeń wywoływanych osiadaniami pyłów w tkance płucnej: schorzenia niewywołujące wyraźnych odczynów w tkance płucnej, potencjalnie odwracalne po ustaniu ekspozycji oraz schorzenia mające charakter nieodwracalny, wywołujące wyraźne zwłóknienia tkanki płucnej (*Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11]*).

Wczesnym efektem uszkodzenia ochronnych powłok człowieka są stany zapalne spojówek, wysuszenie błon oddechowych, jak również stany zapalne skóry. W pęcherzykach płucnych odkładają się głównie ziarna wielkości  $1\div 10\ \mu\text{m}$  (tzw. pyły respirabilne), ale około 90% stanowią wśród tej frakcji cząstki najmniejsze, o średnicy poniżej  $5\ \mu\text{m}$ . Jak podaje *Kopta T. [43]*, według Światowej Organizacji Zdrowia nadmierne zapylenie powietrza w samej tylko Europie powoduje rocznie wzrost zachorowalności wśród dzieci na schorzenia dolnych dróg oddechowych o 25 milionów i ponad 32 tysiące dodatkowych zgonów. WHO ocenia również (na podstawie badań amerykańskich), że w Holandii zapylenie powietrza wpływa na skrócenie średniej długości życia mieszkańców tego kraju o ponad 1 rok. Pyły zawieszony w powietrzu stanowią bowiem czynnik potęgujący dolegliwości związane z różnymi chorobami. Dowiedziono, iż zwiększające się zapylenie wzmacnia liczbę hospitalizacji wśród osób cierpiących na astmę oskrzelową oraz inne przewlekłe choroby płuc, zaostrzając również przebieg dolegliwości takich jak: przeziębienia, bóle gardła, czy zapalenia zatok. W rejonach silnie uprzemysłowionych pył zawieszony zawiera znaczne niekiedy ilości metali ciężkich oraz innych pierwiastków śladowych ulegających sorpcji na powierzchni ziaren, co wpłynąć może na wchłanianie przez organizm człowieka, ale również zwierząt i roślinności tych substancji w ilościach zakłócających równowagę (*Kopta T. [43]*, *Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11]*). Właśnie cząstki zawierające związki metali ciężkich, z uwagi na ich mutagenny i/lub kancerogeny charakter, należą do szczególnie toksycznych pyłów. Zalicza się do nich również cząstki stałe zawierające węglowodory aromatyczne, w szczególności najbardziej niebezpieczne wielopierścieniowe (*Juda-Rezler K. [8]*). Jak wynika z przeprowadzonych we Wrocławiu badań nad mutagennością zanieczyszczeń pyłowych, których wyniki prezentuje *Zwoździak J. i in. [82]*, w pobranych próbach pyłów  $\text{PM}_{10}$  stwierdzono obecność licznych wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych o charakterze mutagennym, jak i mogących oddziaływać w sposób pośredni z materiałem genetycznym (charakter promutageny). Wśród zidentyfikowanych WWA znajdowały się węglowodory z listy EPA, inne WWA, jak też ich nitrowe i aminowe pochodne. Zaobserwowano, że sezonowym zmianom stężenia  $\text{PM}_{10}$  w powietrzu, odpowiadają zbliżone zmiany zawartości w pyłach związków organicznych, w tym substancji o charakterze mutagennym i kancerogenym. Przeprowadzony w ramach badań test Ames (bakteryjny test Salmonella) wykazał, iż wszystkie pobrane próby wykazywały charakter mutageny, przy czym, był on najsilniejszy w okresie zimowym, najslabszy zaś w okresie letnim. Fakt ten, podobnie jak sezonowa zmienność stężeń samych zanieczyszczeń pyłowych, wynika ze zwiększonej emisji z procesów spalania w okresie grzewczym, jak i podwyższonego zapotrzebowania pojazdów na paliwo w chłodnym okresie roku. Podobne spostrzeżenia prezentują *Piekarska K. i Karpińska-Smulikowska J. [63]*, wskazując, również na przykładzie badań z Wrocławia, o obecności WWA w pobranych próbach pyłów i ich mutagennej aktywności w teście Ames wyższej w sezonie grzewczym w porównaniu z okresem letnim.

Wyniki badań zaprezentowane przez *Lippmanna M. i Thurstona G.D. [52]*, dotyczące krótkotrwałego wpływu zmian w zapyleniu powietrza na śmiertelność, dowiodły, iż wzrostowi stężenia  $\text{PM}_{10}$  i  $\text{PM}_{2,5}$  o  $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  towarzyszy ryzyko wzrostu śmiertelności o odpowiednio 0,8% i 1,5%. Studia z kolei nad długotrwałymi skutkami zanieczyszczenia powietrza pyłami wykazały, iż pyły stanowią nie tylko czynnik zwiększający ryzyko zachorowalności na schorzenia układu oddechowego, ale mogą być również bezpośrednią przyczyną wcześniejszych zgonów. Wśród skutków zdrowotnych zaś, związanych z oddziaływaniem na organizm ludzki cząstek stałych wymienić można: ostre reakcje układu oddechowego, nasilenie przebiegu astmy, przewlekłe zapalenie oskrzeli, osłabienie czynności płuc. Według raportu z programu APHEIS (*Plasencia A. i Medina S. [91]*), finansowanego przez Europejską Komisję Ochrony Zdrowia i Konsumentów, niewielkie nawet ograniczenie stężenia frakcji pyłów  $\text{PM}_{10}$ , pozwoliłoby ograniczyć liczbę przedwczesnych zgonów wśród mieszkańców dużych miast. Wyniki badań zaprezentowanych w

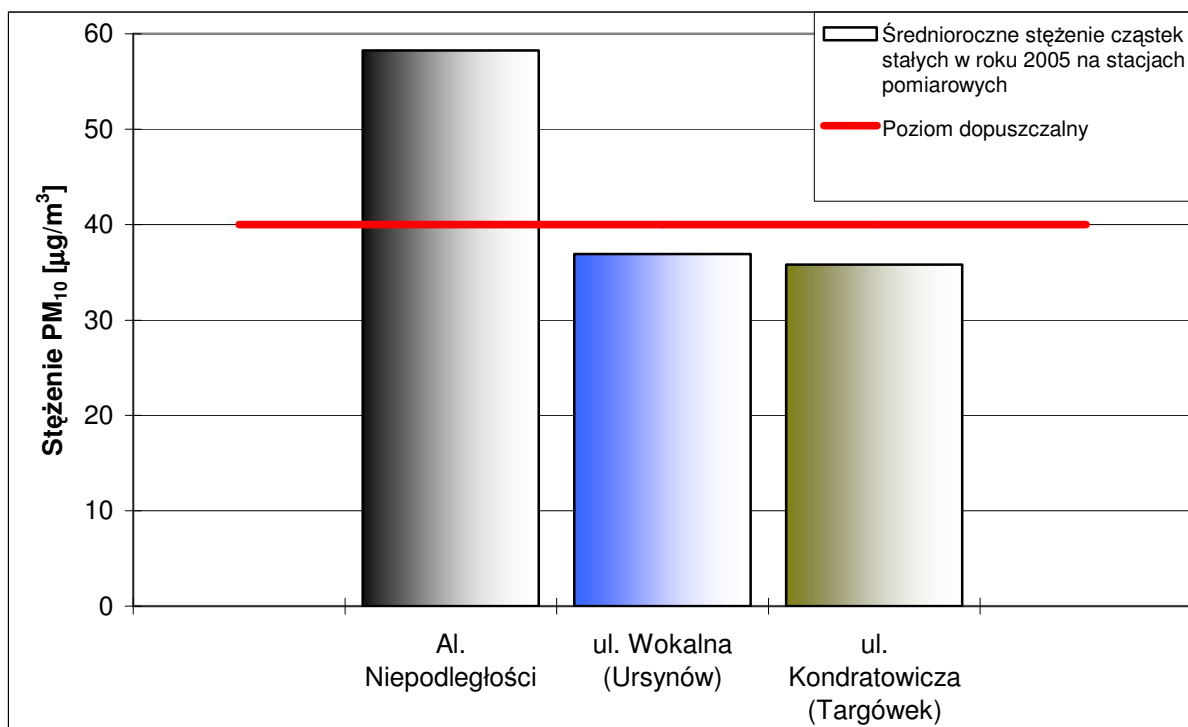


Wytycznych WHO [92] wskazują, iż 3-dniowa ekspozycja na średniodobowe stężenie  $PM_{10}$  na poziomie  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  w populacji miliona osób spowoduje 4 dodatkowe zgony. Gdy stężenie to osiągnie poziom  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , liczba zgonów wzrasta do 8. Badania Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (EPA), na których wyniki powołuje się *Juda-Rezler K.* [8], również dowodzą, iż cząstki stałe, szczególnie te o najmniejszych rozmiarach ( $PM_{2,5}$ ), mogą stanowić przyczynę przedwczesnych zgonów, zwłaszcza w okresach występowania zjawiska czarnego smogu, którego pyły, obok ditlenku siarki, są najważniejszym składnikiem. Pomiar prowadzone przez pewien czas na stacji monitoringu zanieczyszczeń komunikacyjnych w Warszawie wykazały, iż frakcja pyłów  $PM_{10}$  w około 60÷70% składa się z ziaren pyłów o średnicy mniejszej niż  $2,5 \mu\text{m}$ . Z kolei wyniki pomiarów, które prezentują *Zwoździak J. i Zwoździak A.* [83] na przykładzie stanowiska pomiarowego we Wrocławiu, położonego w pewnym oddaleniu od ruchliwego ciągu komunikacyjnego, dowodzą, że zawartość frakcji drobnej ( $PM_{2,5}$ ) w pyłe  $PM_{10}$  wynosi od 30% do 80%, kształtując się na poziomie około 50% w okresie wzrostu stężeń. Autorzy podkreślają, że w wielu miastach na świecie, gdzie zasadnicze źródło emisji stanowi motoryzacja, jest to zjawisko typowe notowane w stacjach tła miejskiego.

Warto przy tym zwrócić uwagę, iż dopuszczalny poziom 24-godzinny średniego stężenia pyłów, wynoszący zgodnie z Dyrektywą [104] i wytycznymi WHO  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , jest obecnie przekraczany praktycznie w każdym z miast Unii Europejskiej, z Warszawą włącznie, zaś jak wskazuje WHO [92], na podstawie prowadzonych dotychczas badań epidemiologicznych dokładne określenie bezpiecznego poziomu zapylenia dla zdrowia człowieka nie jest możliwe. Nawet krótkookresowe wzrosty zapylenia skutkują możliwością wystąpienia efektów chorobowych, obserwowanych przy stężeniach na poziomie  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , który dość powszechnie notowany jest w europejskich miastach. Ponadto badania długotrwałej ekspozycji wskazują, iż symptomy zapalenia oskrzeli u dzieci oraz spadek wskaźników czynnościowych płuc u dzieci i dorosłych notowano przy średniorocznych stężeniach  $PM_{10}$  na poziomie  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Z tego względu nie został określony poziom, poniżej którego można stwierdzić brak oddziaływania pyłów respirabilnych na zdrowie ludzi.

Należy mieć jednak na uwadze, iż pyły pochodzące ze spalania paliw w pojazdach mechanicznych stanowią, w porównaniu z innymi zanieczyszczeniami emitowanymi z silników w znacznych ilościach, stosunkowo niewielką część ogólnego zapylenia obszarów miejskich. W skład pyłów miejskich wchodzi metale żelazne, starte materiały budowlane, cząstki gleby oraz starte opony. W przypadku tych ostatnich, głównymi ich składnikami są kauczuk syntetyczny (cis-1,4 butadienowy lub butadienowo-styrenowy), kauczuk naturalny, sadza oraz dodawane do gumy zmiękczacze (głównie oleje aromatyczne). Jak podaje *Allen J.O. i in.* [84] zgodnie z modelem EPA MOBILE 6.1 szacuje się, iż przeciętny samochód osobowy, zależnie od rodzaju nawierzchni jezdni, warunków jazdy oraz stanu ogumienia emituje ze ścierania opon średnio  $13 \text{ mg}/\text{km}$   $PM_{10}$  oraz  $0,13 \text{ mg}/\text{km}$   $PM_{0,1}$ . Brak jest jednak dokładnych informacji o tym, jaka część startych opon trafia w postaci pyłów respirabilnych do powietrza atmosferycznego, jaka natomiast jest wcierana w asfalt, bądź wmywana wraz z wodami opadowymi.

Zgodnie z Wytycznymi WHO [92] średnie dobowe poziomy  $PM_{10}$  na licznych obszarach Europy regularnie przekraczają wartość  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zwłaszcza w okresie grzewczym (wyniki pomiarów ze stacji komunikacyjnej w Warszawie wskazują, że w roku 2005 były 32 takie doby). Średnioroczne poziomy  $PM_{10}$  są stosunkowo niewielkie w północnej części Europy – średnie dla okresu zimowego wahają się w granicach  $20\div 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wyższe stężenia notuje się w pozostałych miastach europejskich ( $40\div 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Poziom zanieczyszczenia powietrza w Warszawie cząstkami stałymi (z uwzględnieniem dopuszczalnego stężenia określonego w rozporządzeniu [107]) prezentuje Wykres 10.



Wykres 10 Średnioroczne stężenie cząstek stałych (frakcji PM<sub>10</sub>) w powietrzu atmosferycznym w roku 2005

#### 4.3. Wpływ zatorów komunikacyjnych na środowisko społeczne i ekonomiczne

Zatory drogowe skutkują nie tylko zwiększoną emisją wpływającą na zdrowie człowieka. Kilkadziesiąt minut dziennie spędzanych w korkach przez tysiące kierowców to również czas. Czas ten jest bezpowrotnie tracony, bezproduktywny i w wielu przypadkach może przekładać się na różnego rodzaju straty ekonomiczne (ponoszone zarówno przez każdego z mieszkańców z osobna, jak i przez gospodarkę całego miasta), które są jednak trudne do oszacowania. Jak wspomniano już w *rozdziale 2*, w Diagnostyce istniejącego systemu transportowego [95], w centralnym obszarze Warszawy około 20% pracy przewozowej (wyrażonej w pojazdokilometrach) odbywa się na poziomie wyczerpanej przepustowości ulic (stosunek potoku ruchu do przepustowości tych ciągów przekracza 0,9), efektem czego jest utrata ponad 50% czasu podróży odbywanych samochodami, na tych odcinkach, które znajdują się zarówno na terenie śródmiejskim, jak i poza nim. Z kolei, zgodnie z szacunkami *Confederation of British Industry*, które przytacza *Kopta T.* [111], zatory drogowe, tworzące się w obrębie aglomeracji londyńskiej, kosztują rocznie około 10 miliardów EURO z powodu utraconych produkcji i czasu.

Konieczność oczekiwania w zatorach komunikacyjnych sprzyja zdenerwowaniu i stresowi, co pośrednio przekładać się może na ogólny stan zdrowia ludzi, zarówno psychicznego, jak i fizycznego. Ogólny stres związany z długotrwałym dojazdem spowodowanym trudnościami komunikacyjnymi, potęgowany jest dodatkowo przez świadomość spóźnienia do miejsca pracy, czy na ważne spotkanie. Jak będzie o tym mowa w *rozdziale 8.2*, wyniki badań przeprowadzonych przez autora niniejszej pracy, wskazują, iż stres i zmęczenie są najczęściej wskazywanymi przez mieszkańców Warszawy negatywnymi skutkami zatorów komunikacyjnych. Co więcej niemalże nie zależy to od rodzaju wykonywanej pracy, czy też środka transportu, którym mieszkańcy podróżują po mieście. Należy również zwrócić uwagę na inne potencjalne niebezpieczeństwo związane z tym aspektem – mianowicie w sytuacji, gdy zator zostanie minięty i zwiększy się swoboda poruszania się po drodze, wielu kierowców usiłuje możliwie maksymalnie nadrobić stracony czas. W tej sytuacji, wskutek pośpiechu i częstokroć przekraczania dopuszczalnej prędkości ruchu, wzrasta ryzyko kolizji.

Skutki ekonomiczne negatywnego wpływu zatorów komunikacyjnych na gospodarkę narodową są również pośrednim wynikiem przedstawionych w *rozdziale 7* skutków zdrowotnych. Zwiększony poziom zachorowalności na choroby układu oddechowego i krążenia, jak również choroby nowotworowe, generuje olbrzymie koszty. Są to koszty przede wszystkim hospitalizacji, badań, przeprowadzania niezwykle kosztownych operacji, czy też farmakoterapii (wynoszące, według *Hillemana D.E. i in. [36]*, nawet do ponad 10 000 USD rocznie w przeliczeniu na 1 pacjenta). Trudne do oszacowania, ale również istotne są koszty ponoszone przez pracodawców wskutek wzrostu absencji chorobowej, co może mieć miejsce w przypadku niekorzystnych warunków meteorologicznych towarzyszących zanieczyszczoneму powietrzu atmosferycznemu (np. smog zimowy lub letni) (*Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11]*). Negatywne skutki ekonomiczne wynikają również ze wspomnianego wzrostu liczby kolizji. Ponoszone są w tym przypadku koszty interwencji służb medycznych, policji, koszty hospitalizacji, farmakoterapii i ewentualnej rehabilitacji, ubezpieczeń itp. Jak dowodzi *Sin D.D. i in. [72]*, wyniki programu badawczego na temat zdrowia i odżywiania (NHANES III), przeprowadzonego w Stanach Zjednoczonych wśród osób w wieku 18÷64 lat, wskazują, że wskutek przewlekłej obturacyjnej choroby płuc, w etiologii której jednym z czynników rozwoju jest zanieczyszczenie powietrza, zmniejsza się prawdopodobieństwo posiadania zatrudnienia. Rezultaty badań pokazują, że wśród osób cierpiących z powodu POChP (które stanowiły niespełna 9% badanej próby, obejmującej niemal 12500 osób) prawdopodobieństwo posiadania stałego miejsca pracy jest o 4% mniejsze w porównaniu z osobami zdrowymi. Co więcej w miarę rozwoju choroby możliwość podejmowania pracy ulega dalszemu ograniczeniu. Badania te wskazują, że POChP ma statystycznie istotny negatywny wpływ na podejmowanie pracy przez osoby będące w wieku, który zgodnie z obowiązującymi przepisami umożliwia podjęcie pracy. Autorzy wskazują, że w ciągu najbliższych trzydziestu lat należy spodziewać się nasilenia tego problemu i jego negatywnego oddziaływania na społeczeństwo, zarówno wskutek konieczności ponoszenia bezpośrednich nakładów finansowych na opiekę medyczną, jak i z uwagi na szereg kosztów pośrednich, w tym utratę pracy i wynikające z tego obciążenia budżetu.

Ekonomiczne konsekwencje zwiększonej emisji, wynikającej również z dużego natężenia ruchu drogowego, ujawniają się również w innych dziedzinach gospodarki narodowej: rolnictwie (np. spadek wydajności upraw), leśnictwie (np. zmniejszenie się produktywności lasów), jak również budownictwie (np. zwiększona korozja budowli wynikająca z kwaśnych opadów atmosferycznych) (*Namieśnik J. i Jaśkowski J. [11]*).

Z powyższego rozumowania wynika, iż zjawisko kongestii (zatorów komunikacyjnych) może mieć szereg negatywnych skutków z punktu widzenia środowiska miejskiego (środowiska przyrodniczego i społecznego na terenach miejskich). Konsekwencje będą miały charakter wielowymiarowy i różny dla różnych grup ludności. Z jednej strony będą więc zdrowotne i ekonomiczne oraz powiązane z nimi skutki społeczne, jak chociażby wspomniane już straty finansowe spowodowane spóźnieniami lub niemożnością dotarcia na miejsce przeznaczenia. Konsekwencją zatoru drogowego mogą być jednakże również sytuacje zdecydowanie niepowiązane ani z ekonomią, ani z ochroną środowiska. Przykładem może tu być zablokowanie, czy spowolnienie ruchu pojazdów uprzywilejowanych, które mogą zbyt późno dotrzeć do miejsca wypadku lub pożaru. W razie konieczności przeprowadzenia resuscytacji krążeniowo-oddechowej o życiu człowieka decyduje w zasadzie pierwszych 4÷5 minut. Z tego względu niezwykle istotne jest sprawne dotarcie służb ratunkowych do poszkodowanej osoby. Tego typu niekorzystne efekty nie mogą być wyrażone w pieniądzu, ale nie znaczy to że są mniej istotne od strat finansowych, czy negatywnego oddziaływania na elementy środowiska miejskiego. Mimo, iż brak jest jakichkolwiek danych statystycznych związanych z wydłużeniem czasu dotarcia pojazdów uprzywilejowanych do miejsca wezwania wskutek warunków panujących w ruchu drogowym, a zwłaszcza w przypadku występowania zatorów drogowych, to pracownicy pogotowia ratunkowego, straży pożarnej i policji przyznają, iż w godzinach nasilonego ruchu drogowego, a w szczególności na odcinkach dróg, na których formują się zatory drogowe, pojazdy uprzywilejowane napotykają na bardzo poważne utrudnienia w przemieszczaniu się po drodze. Nieodosobnione są również, mimo starań pozostałych uczestników ruchu drogowego,

przypadki całkowitego zablokowania pojazdowi uprzywilejowanemu możliwości przejazdu, co jest np. efektem rozwiązań projektowych zastosowanych na danym odcinku drogi (wysoki krawężnik, torowisko tramwajowe na podwyższeniu i bez możliwości poruszania się po nim pojazdów samochodowych – przykładem jest tu Most Ks. J. Poniatowskiego w Warszawie). Próba oceny skutków utrudniania możliwości sprawnego ruchu pojazdów ratownictwa, podjęta przez autora niniejszej pracy, została przedstawiona w *rozdziale 8.3*.

Do pozaekonomicznych i pozazdrowotnych efektów oddziaływania ruchu drogowego i zatorów komunikacyjnych na środowisko społeczne obszarów miejskich zaliczyć można również utratę walorów estetycznych obszarów zlokalizowanych w pobliżu ruchliwych arterii komunikacyjnych. Zanieczyszczenia atmosferyczne, w tym emitowane przez pojazdy wpływają na ograniczenie przejrzystości powietrza, a co za tym idzie na estetykę obszarów charakteryzujących się intensywnym ruchem drogowym. Jak podaje *Juda-Rezler K. [8]*, za osłabienie (ekstynkcję) słonecznego promieniowania świetlnego, czyli jego rozproszenie i absorpcję, odpowiedzialne są po pierwsze: pierwotne cząstki stałe, oraz powstające w wyniku zachodzących między nimi reakcji chemicznych, cząstki wtórne (jony siarczanowe, azotanowe, cząstki zawierające węgiel). Ze względu na zdolność ditlenku azotu do absorbowania promieniowania świetlnego, związek ten również przyczynia się do spadku przejrzystości powietrza. Do rozpraszania widzialnego promieniowania słonecznego najbardziej przyczyniają się pierwotne cząstki stałe oraz jony siarczanowe, zdolne do łatwego tworzenia relatywnie dużych rozmiarów aerozoli o większych zdolnościach do rozpraszania promieniowania, aniżeli same jony. Istotnym czynnikiem, mającym wpływ na zmniejszenie widzialności, jest poza zanieczyszczeniem powietrza, również jego wilgotność względna. Cząstki stałe, jako jądra kondensacji pary wodnej, stanowią czynnik sprzyjający powstawaniu mgieł i zjawisk smogu, które w przypadku zanieczyszczonego powietrza mogą występować przy wilgotności względnej poniżej 100%. Dla porównania, wilgotność względna rzędu 400%, w przypadku jednakże powietrza czystego, w którym nie występują jądra kondensacji, może nie stanowić przyczyny pojawienia się mgły.

Obniżona wskutek mgły lub smogu przejrzystość powietrza obniża walory krajobrazowe i estetyczne danego obszaru, ale w skrajnych przypadkach stanowić może również przyczynę utrudnień w ruchu drogowym, a nawet zwiększonej wypadkowości na danym obszarze.

#### **4.4. System monitoringu jakości powietrza w Warszawie**

Konieczność prowadzenia pomiarów stężeń zanieczyszczeń powietrza wynika z rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. 2002/87/798) [108]. Zgodnie z tym aktem prawnym prowadzi się badania stężeń benzenu, ditlenku azotu, tlenków azotu, ditlenku siarki, ołowiu, ozonu, pyłu zawieszonego (PM<sub>10</sub>) oraz tlenku węgla. W województwie mazowieckim monitorowanie stanu czystości powietrza prowadzone jest (zgodnie z przepisami dotyczącymi Państwowego Monitoringu Środowiska zawartymi w art. 23 ustawy z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz.U. 91.112.982)) przez następujące instytucje: Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie, Wojewódzką Stację Sanitarno-Epidemiologiczną, instytuty badawcze, samorządy, zakłady przemysłowe, jak również uczelnie wyższe. W roku 2004 monitoring powietrza w województwie mazowieckim prowadzony był w 67 stacjach pomiarowych, w tym w 23 z pomiarem automatycznym. Wśród stacji prowadzących pomiar automatyczny, 12 stanowi element Systemu Oceny Jakości Powietrza (SOJP), pozyskując wyniki w trybie on-line. Stacje te stanowią własność Mazowieckiego WIOŚ-u. Zakres pomiarów prowadzonych na stacjach pracujących w ramach SOJP jest zróżnicowany w zależności od przeznaczenia stacji (stacja tła regionalnego, tła miejskiego, czy komunikacyjna). Na wszystkich stacjach prowadzone są pomiary substancji wymaganych przepisami rozporządzenia [108], a realizowany zakres pomiarów obejmuje również inne substancje zanieczyszczające powietrze oraz podstawowe parametry meteorologiczne (temperatura, wilgotność a na wybranych stacjach również ciśnienie, prędkość i kierunek wiatru) [118].

Na terenie Warszawy pomiary zanieczyszczeń powietrza prowadzone są przez 17 stacji pomiarowych, z czego 11 prowadzi pomiary automatyczne (wybrane wskaźniki mierzone są również metodą manualną) w następującym zakresie:

- Stacja tła miejskiego Warszawa-Ursynów (należąca do Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Warszawie – WIOŚ):
  - stężenia 1-h: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, O<sub>3</sub>,
  - parametry meteorologiczne: prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza, wilgotność względna, promieniowanie całkowite.
- Stacja tła miejskiego Warszawa-Targówek (należąca do WIOŚ):
  - stężenia 1-h: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO,
  - parametry meteorologiczne: prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza, wilgotność względna, promieniowanie całkowite.
- Stacja komunikacyjna Warszawa-Al. Niepodległości (należąca do WIOŚ):
  - stężenia 1-h: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, toluen, ksylen,
  - pomiary manualne: 24-h stężenie Pb (pomiar zawartości w pyłe),
  - parametry meteorologiczne: temperatura powietrza, wilgotność względna.
- Stacja Warszawa-Porajów (należąca do Elektrociepłowni Żerań):
  - stężenia 1-h: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>.
- Stacja Warszawa-Bernardyńska Woda (należąca do Elektrociepłowni Siekierki):
  - stężenia 1-h: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>,
  - pomiary manualne: 24-h stężenie PM<sub>10</sub> oraz pomiar zawartości w pyłe As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb.
- Stacja Warszawa-Lazurowa (należąca do Ciepłowni Wola):
  - stężenie 1-h SO<sub>2</sub>,
  - parametry meteorologiczne: temperatura.
- Stacja Warszawa-Puszcza Solska (należąca do Ciepłowni Wola):
  - stężenia 1-h: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>,
  - parametry meteorologiczne: temperatura.
- Stacja Warszawa-Krucza (należąca do Instytutu Ochrony Środowiska):
  - stężenia 1-h: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>,
  - pomiary manualne: 24-h stężenie PM<sub>10</sub>,
  - parametry meteorologiczne: prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza, wilgotność względna, promieniowanie całkowite.
- Stacja Warszawa-IMGW (należąca do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej):
  - stężenie 1-h O<sub>3</sub>.
- Stacja Warszawa-SGGW (należąca do Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie):
  - stężenia 1-h: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO,
  - pomiary manualne: 24-h stężenie PM<sub>10</sub>,
  - parametry meteorologiczne: prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza, wilgotność względna, opad atmosferyczny, promieniowanie całkowite, ciśnienie atmosferyczne (w przypadku prędkości wiatru, temperatury i wilgotności powietrza prowadzone są pomiary gradientowe na wysokościach: 1, 2, 10 i 22 m).
- Stacja Warszawa-Bielany (należąca do Urzędu m.st. Warszawy):
  - stężenia 1-h: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CO, O<sub>3</sub>,
  - parametry meteorologiczne: temperatura powietrza, wilgotność względna.

Na pozostałych 6 stacjach wykonywane są jedynie pomiary manualne, obejmujące stężenia następujących zanieczyszczeń:

- Stacja Warszawa-Żegańska (należąca do Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej – WSSE):
  - stężenia 24-h: PM<sub>10</sub>,
  - pomiary okresowe: As, Cd, Ni, Pb, benzo[a]piren.
- Stacja Warszawa-Bora Komorowskiego (należąca do WSSE):
  - stężenie 24-h PM<sub>10</sub>.
- Stacja Warszawa-Białobrzaska (należąca do WSSE):
  - pomiary z 4 dni w tygodniu: formaldehyd, pył BS (black smoke),
  - pomiary okresowe: Hg.
- Stacja Warszawa-Bednarska (należąca do WSSE):
  - stężenia 24-h: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, formaldehyd, pył BS (black smoke).
- Stacja Warszawa-Żelazna (należąca do WSSE):
  - stężenia 24-h: PM<sub>10</sub>, Pb,
  - pomiary okresowe: As, Cd, Ni, Pb, benzo[a]piren.
- Stacja Warszawa-Anieli Krzywoń (należąca do WSSE):
  - stężenie 24-h PM<sub>10</sub>,
  - pomiary okresowe: As, Cd, Ni, Pb.

Ponadto w 14 miejscach miasta zlokalizowano punkty pomiaru stężeń benzenu metodą pasywną, z zastosowaniem próbników Radiello. Pomiary prowadzono w tzw. punktach komunikacyjnych i punktach tła miejskiego, w ośmiu seriach pomiarowych rozłożonych równomiernie w ciągu roku.

Analizy oraz wykresy zaprezentowane w *rozdziale 6* zostały sporządzone w oparciu o dane pochodzące z wybranych stacji wchodzących w skład Systemu Oceny Jakości Powietrza, należących do Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Wyniki pomiarów pochodzące z wybranych stacji na terenie Warszawy i okolic posłużyły do analiz związanych ze stanem powietrza atmosferycznego na terenie Warszawy i określenia zależności pomiędzy przebiegiem natężenia ruchu drogowego a zmianami stężeń zanieczyszczeń rejestrowanych przez stację komunikacyjną (*rozdział 6.3*). Przeprowadzone analizy będą stanowić wstęp do oszacowania skali wpływu ruchu drogowego, a w szczególności zatorów komunikacyjnych, na środowisko miejskie, w tym zwłaszcza na zdrowie mieszkańców dużych aglomeracji miejskich, zamieszkujących w sąsiedztwie arterii komunikacyjnych o znacznym natężeniu ruchu. Stworzone zostaną zatem podstawy do realizacji jednego z założonych celów pracy, a mianowicie do wskazania władzom Warszawy konieczności usprawnienia komunikacji kołowej w mieście, zwiększenia średniej prędkości ruchu pojazdów a w efekcie zmniejszenia emisji zanieczyszczeń komunikacyjnych do powietrza atmosferycznego, a co za tym idzie również określenia wymiernych pozytywnych skutków dla środowiska miejskiego, w tym dla zdrowia mieszkańców miasta.

Dla celów niniejszej pracy najważniejszym elementem Systemu Oceny Jakości Powietrza jest stacja komunikacyjna (WaK), zlokalizowana w ciągu Al. Niepodległości pomiędzy ulicami Filtrową i Nowowiejską. Wyniki z pozostałych stacji:

- tła miejskiego: Ursynów (WaU), Targówek (WaT) oraz Piastów (Pia),
- tła regionalnego: Granica (Gra), zlokalizowanej na obrzeżach Kampinoskiego Parku Narodowego oraz Legionowo (Leg).

posłużą porównaniu jakości powietrza w sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych z pozostałymi terenami miejskimi, jak również obszarami nieurbanizowanymi, na których ruch drogowy jest nieznaczny.

## II Część badawcza

Wpływ ruchu drogowego, a przede wszystkim związanych z nim zatorów komunikacyjnych, na środowisko aglomeracji miejskich, jest wieloraki. Pełna identyfikacja tego wpływu byłaby procedurą zbyt złożoną, czasochłonną i kosztochłonną. Wydaje się, iż próbę ewaluacji tego wielowątkowego wpływu podjąć można w trzech zasadniczych kierunkach:

- o zbadanie zjawiska wpływu ruchu drogowego i zatorów komunikacyjnych na poziom zanieczyszczeń atmosferycznych w aglomeracji miejskiej,
- o oszacowanie negatywnych efektów zdrowotnych wynikających z oddziaływania zanieczyszczeń komunikacyjnych,
- o ocena różnego rodzaju strat społecznych, w tym strat czasu oraz strat ekonomicznych.

Niniejsza praca opiera się o badania przeprowadzone w tych trzech zasadniczych kierunkach.

Obliczenia i analizy statystyczne prowadzono z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel oraz programu STATISTICA 6.0 PL.

## 5. Charakterystyka materiału badawczego i metodyka badań

### 5.1. *Pomiary natężenia ruchu drogowego i poziomów zanieczyszczeń powietrza*

#### 5.1.1. Materiał badawczy

W maju 2005 roku, w ciągu kolejnych 168 godzin (1 tydzień) wykonano pomiary natężenia ruchu drogowego w przekroju Al. Niepodległości w Warszawie. W kolejnych, jednogodzinnych odcinkach czasowych, rejestrowano natężenie ruchu pojazdów, z uwzględnieniem podziału na samochody osobowe, ciężarowe oraz autobusy. Zebrano również dane pomiarowe średnich prędkości ruchu pojazdów w ramach każdej z kategorii w kolejnych godzinach. Wyniki pomiarów natężenia ruchu oraz średniej prędkości w każdej z kategorii pojazdów posłużyły do obliczenia natężenia emisji drogowej wybranych produktów spalania.

Wybór miejsca badania (Al. Niepodległości na odcinku pomiędzy ul. Nowowiejską a ul. Wawelską) wynikał z lokalizacji stacji monitoringu jakości powietrza Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska, której przeznaczeniem jest rejestrowanie poziomów zanieczyszczeń komunikacyjnych. Wyniki pomiarów stężeń zanieczyszczeń rejestrowanych przez tą stację oraz stacje tła miejskiego i regionalnego zostały udostępnione przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska. Dla celów analizy wykorzystano średnie 1-godzinowe, średnie 24-godzinowe oraz średnie 1-roczone stężenia zanieczyszczeń z lat 2004-2005. Szczegółową analizę ograniczono do zanieczyszczeń, które rejestrowane są przez stację komunikacyjną – tlenku węgla, ditlenku azotu, benzenu oraz pyłów respirabilnych PM<sub>10</sub>. Obliczono niepełność zbiorów danych dla każdego z 4 kolejnych sezonów (grzewczego i letniego) lat 2004-2005, która wyniosła maksymalnie 7,5%, przeciętnie zaś kształtowała się na poziomie około 4%.

#### 5.1.2. Metodyka badań

Pomiar obejmował zliczenie całkowitej liczby pojazdów (z uwzględnieniem kategorii), jakie w ciągu kolejnych odcinków czasowych o długości 1 godziny przekroczyły przekrój pomiarowy zarówno na wschodniej, jak i zachodniej jezdni Al. Niepodległości.

Prędkość średnią obliczano, jako średnią arytmetyczną ilorazów długości pokonywanego odcinka (350 m) oraz czasu przejazdu. Ze względu na fakt, iż pomiar czasu przejazdu każdego pojazdu był niemożliwy do przeprowadzenia, czasy przejazdu samochodów osobowych mierzono

z krokiem czasowym 2 minut, zaś ze względu na stosunkowo niewielkie natężenie ruchu samochodów ciężarowych i autobusów, pomiar czasu przejazdu w tych kategoriach obejmował wszystkie pojazdy.

Natężenie emisji drogowej zostało obliczone z wykorzystaniem modelu emisji prof. Zdzisława Chłopka z Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.

Stężenia zanieczyszczeń rejestrowane są w stacjach pomiarowych z zastosowaniem następujących przyrządów:

- MLU300-CO – mierzy stężenie tlenku węgla, zgodnie z dyrektywami UE, poprzez pomiar absorpcji promieniowania podczerwonego. Próg wykrywalności wynosi  $46,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
- MLU200A-NO<sub>x</sub> – mierzy stężenie tlenków azotu, zgodnie z dyrektywami UE, metodą chemoluminescencji w czasie reakcji tlenku azotu z ozonem. Pomiar ditlenku azotu umożliwia katalizator redukujący go do tlenku azotu. Próg wykrywalności wynosi  $0,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
- MLU950-BTX – mierzy stężenia benzenu, toluenu i ksylenów poprzez analizę, metodą chromatografii gazowej, próbki poddanej uprzednio zateżeniu na odpowiedniej substancji pochłaniającej. Próg wykrywalności dla benzenu wynosi  $0,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
- TEOM1400a-PM<sub>10</sub> – mierzy stężenie pyłu zawieszonego (PM<sub>10</sub>) w sposób ciągły metodą mikrowagi oscylacyjnej bez stosowania izotopów promieniotwórczych. Próg wykrywalności wynosi  $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## **5.2. Badanie sprawności wentylacyjnej**

### **5.2.1. Materiał badawczy**

W roku 2005, według ustalonego uprzednio harmonogramu, przeprowadzono czynnościowe badania płuc wśród 823 osób, zamieszkujących wzdłuż Al. Niepodległości. Badania zrealizowano w sąsiedztwie komunikacyjnej stacji monitoringu jakości powietrza, należącej do Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Badania prowadzone były wspólnie ze specjalistami chorób płuc z Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie. Wyniki badań osób aktualnie leczonych z powodu przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP) lub astmy oskrzelowej oraz osób, które nie współpracowały z lekarzem podczas badania (wyniki badań tych osób były trudne do oceny) zostały wyłączone z dalszej analizy (łącznie 73 badania). W efekcie analizie poddanych zostało 750 wyników badań, w tym 333 kobiet oraz 417 mężczyzn. Badanie objęło 512 osób niepalących oraz 238 palących w wieku od 14 do 90 lat (średnio  $50,9 \pm 19,7$ ). Cechy antropometryczne w każdej z analizowanych grup miały rozkład normalny.

Grupę kontrolną stanowiły wyniki badań uzyskane wśród 756 osób (423 kobiety oraz 333 mężczyzn), mieszkańców obszarów nieurbanizowanych (29 miejscowości z różnych obszarów Polski). Badania prowadzone były z zastosowaniem tej samej metodyki i z użyciem tych samych urządzeń w analogicznych miesiącach (okres letni) w latach 2003÷2004. W badaniu wzięło udział 445 osób niepalących oraz 311 palących w wieku od 18 do 85 lat (średnio  $47,8 \pm 14,3$ ). Cechy antropometryczne w każdej z analizowanych grup miały rozkład normalny.

Na podstawie danych prezentowanych przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska we wszystkich miejscowościach, w których prowadzono badania grupy kontrolnej, stężenia (określone dla celów ochrony zdrowia ludzi) w przypadku tlenku węgla, ditlenku azotu, pyłów PM<sub>10</sub> oraz benzenu (średnioroczne stężenia w roku 2004) były niższe aniżeli poziomy tych zanieczyszczeń rejestrowane przez stację monitoringu w Al. Niepodległości w Warszawie. Zgodnie z raportami o stanie środowiska w województwie z roku 2004, 23 miejscowości (na 29, w których prowadzono badania) znajdowały się w strefach klasy A – żadne z zanieczyszczeń nie przekraczało dopuszczalnych stężeń (określonych w rozporządzeniu [107]). Pozostałe 6 miejscowości znajdowało się w strefie klasy B – ze względu na przekroczenia dopuszczalnego



stężenia  $PM_{10}$ , nieprzekraczającego jednakże dopuszczalnego poziomu powiększonego o margines tolerancji. Dla porównania, AI. Niepodległości w Warszawie znajdują się na obszarze zakwalifikowanym jako strefa klasy C – ze względu na przekroczenia dopuszczalnych poziomów  $PM_{10}$  oraz  $NO_2$  powyżej wartości dopuszczalnych powiększonych o margines tolerancji.

### 5.2.2. Metodyka badań

Badania, wykonane w okresie od maja do września, prowadzono w ruchomym laboratorium badań czynnościowych oddychania o nazwie SPIROBUS, z wykorzystaniem spirometru LungTest 1000 MES (Fot. 1). Wybór okresu badań wynikał z konieczności zredukowania obciążenia wyników badań wpływem zanieczyszczeń z innych źródeł, aniżeli ruch kołowy (zwłaszcza tzw. niskich źródeł emisji).



Fot. 1 Ruchome laboratorium badań czynnościowych oddychania SPIROBUS (widok z zewnątrz oraz stanowisko badawcze wewnątrz pojazdu)

Schemat badania był następujący:

- o przedstawienie badanej osobie celu przeprowadzenia badania oraz poinformowanie o braku jego szkodliwego wpływu na organizm człowieka,
- o badanie podmiotowe – przeprowadzenie ankiety uwzględniającej cechy antropometryczne, obciążenie chorobami układu oddechowego, narażenie na szkodliwe czynniki w miejscu pracy i zamieszkania, występowanie objawów mogących świadczyć o schorzeniach układu oddechowego, alergię (ankieta w Załączniku 1),
- o badanie przedmiotowe – badanie spirometryczne przeprowadzono w pozycji siedzącej, na specjalnie przygotowanym do tego celu stanowisku badawczym (Fot. 1), po kilkuminutowej adaptacji badanej osoby do zmienionych warunków oddychania. Następnie wykonywany był zapis kilku krzywych przepływ-objętość, aż do uzyskania powtarzalności wyników wg kryteriów Polskiego Towarzystwa Chorób Płuc. Wynik badania obejmował zmienne:
  - **FVC** (*Forced Vital Capacity* – Natężona Pojemność Życiowa) – objętość powietrza, jaką badana osoba wydycha podczas natężonego wydechu po maksymalnym powolnym wdechu;
  - **FEV<sub>1</sub>** (*Forced Expiratory Volume during the First Second of Expiration* – Natężona Pierwszosekundowa Objętość Wydechowa) – objętość powietrza, jaką badana osoba wydycha w pierwsze sekundzie natężonego wydechu;
  - **PEF** (*Peak Expiratory Flow* – Przepływ Szczytowy) – maksymalna szybkość przepływu osiągnięta podczas natężonego wydechu;

- **FEF<sub>50</sub>** (*Forced Expiratory Flow at 50% of FVC* – Natężony Przepływ odpowiadający 50% Pojemności Życiowej) – szybkość przepływu powietrza w środkowej fazie wydechu;
- **FEV<sub>1</sub>%FVC** wskaźnik odsetkowy objętości FEV<sub>1</sub> odniesionej do aktualnej natężonej pojemności życiowej (tzw. wskaźnik pseudo-Tiffeneau).

Zgodnie z wytycznymi Amerykańskiego Towarzystwa Oddychania [112, 113], jak również Polskiego Towarzystwa Chorób Płuc, badania prowadzone są do momentu uzyskania co najmniej 3 powtarzalnych wyników, tj. takich w których pomiędzy poszczególnymi pomiarami różnica wartości wskaźników nie przekracza 5%.

Wartości aktualne poszczególnych wskaźników wyrażone w litrach przeliczone zostały (przy uwzględnieniu niezbędnych dodatkowych danych, takich jak: płeć, wiek, wzrost) na procent wartości należnych według norm Wspólnoty Węgla i Stali, przytoczonych przez *Quanjera P. H. i in.* [65]. Normy te są powszechnie stosowane do oceny wyników badań czynnościowych płuc w Polsce.

Badane osoby zostały podzielone na dwie grupy, ze względu na obciążenie nałogiem palenia tytoniu. Wyniki badań analizowano zgodnie z tym podziałem, odnosząc je do wyników w grupie kontrolnej, przy uwzględnieniu analogicznego podziału. W celu oceny łącznego wpływu na stan zdrowia badanych osób zanieczyszczeń atmosferycznych pochodzenia komunikacyjnego oraz palenia tytoniu, dokonano porównania wskaźników czynnościowych w grupie osób palących z Warszawy z osobami niepalącymi zamieszkującymi obszary pozamiejskie.

### **5.3. Badania ankietowe mieszkańców Warszawy**

#### **5.3.1. Materiał badawczy**

Przeprowadzone zostały 2 niezależne badania ankietowe wśród mieszkańców Warszawy. Pierwsze z nich, prowadzone za pośrednictwem stron internetowych (formularz ankiety w *Załączniku 2*) w okresie od początku października do końca grudnia 2005 r., objęło 1355 osób – mieszkańców Warszawy (1103 osoby) oraz miejscowości podwarszawskich (252 osoby). Drugie badanie, wykonane w grudniu 2005 r. na losowej próbie mieszkańców Warszawy, objęło 716 osób.

#### **5.3.2. Metodyka badań**

Formularz ankiety został zamieszczony na stronach serwisów internetowych poświęconych problemom komunikacyjnym Warszawy. Przyczyną przeprowadzenia ankiety w takiej formie była chęć poznania opinii szczególnej grupy osób – zwracających dużą uwagę na problemy komunikacyjne miasta i zainteresowanych ich rozwiązaniem, aktywnych zawodowo oraz ponadprzeciętnie ceniących swój czas, którego straty mogą pociągać za sobą realny uszczerbek finansowy. Stąd metoda zbierania danych miała pewne cechy doboru próby celowej. Jak podaje *Babbie E.* [1], dobór celowy, nazywany również arbitralnym polegać może na wytypowaniu przypadków odbiegających od normy pod pewnym względem, a więc z wytypowaniem osób posiadających, w subiektywnej opinii badacza, cechy szczególnie użyteczne dla celów badania. Z tego względu starano się obserwacją objąć osoby o wspomnianych wyżej cechach, a więc korzystające z nowoczesnych metod komunikowania się (tu: Internet), co świadczy o większej chęci oszczędności czasu oraz korzystające z tego narzędzia do zgłębiania zainteresowań problematyką transportową miasta (stąd serwisy internetowe poświęcone problemom komunikacyjnym Warszawy).

Dla celów porównawczych, niezależnie od niniejszej pracy, we współpracy z Ośrodkiem Konsultacji i Dialogu Społecznego Urzędu m.st. Warszawy, przeprowadzona została ankieta, w której respondenci udzielali odpowiedzi na kilka wybranych, najważniejszych pytań pochodzących z ankiety „internetowej”. Badanie to stanowiło część tzw. „Barometru

Warszawskiego” – omnibusowego badania realizowanego cyklicznie przez Urząd Miasta. Zostało ono zrealizowane na próbie losowej 1100 mieszkańców Warszawy przez jeden z liczących się ośrodków badania opinii społecznej z zastosowaniem metody *Random Route*. Metoda polega na wylosowaniu punktów startowych, z których ankieteryzy kierują się w określoną stronę, odwiedzając np. co 5-ty budynek wielorodzinny, a w nich co 10-te mieszkanie oraz co 15-ty budynek jednorodzinny. W razie odmowy przeprowadzenia ankiety w danym domu lub mieszkaniu ankietery odwiedza następane mieszkanie.

Na pytania związane z problemami ruchu drogowego i zatorów komunikacyjnych w Warszawie odpowiadały tylko te osoby, które we wstępie do badania uznały, że często lub czasami podczas poruszania się po Warszawie zmuszone są spędzać czas w zatorach komunikacyjnych – w efekcie część ankiety dotycząca bloku problemów komunikacyjnych Warszawy objęła 716 osób. Dla potrzeb omówienia wyników obu badań, w dalszej części pracy stosowane będą pojęcia „ankiety internetowej” („badania internetowego”) oraz „ankiety reprezentatywnej” („badania reprezentatywnego”, „badania na próbie losowej”).

## **5.4. Badania ankietowe kierowców służb ratownictwa**

### **5.4.1. Materiał badawczy**

Ocenę wpływu utrudnień komunikacyjnych na możliwość płynnego poruszania się po aglomeracji warszawskiej pojazdów ratownictwa medycznego i straży pożarnej zrealizowano poprzez ankietę wystosowaną do kierowców Stołecznej Kolumny Transportu Sanitarnego (SKTS) oraz Państwowej Straży Pożarnej (PSP). Łącznie w badaniu wzięło udział 65 kierowców SKTS oraz 100 kierowców PSP.

### **5.4.2. Metodyka badań**

Ankieta została rozdystrybuowana poprzez Dyрекcję Stołecznej Kolumny Transportu Sanitarnego oraz Komendę Miejską Państwowej Straży Pożarnej. Trafiała do każdego spośród 170 kierowców zatrudnionych w SKTS (treść ankiety w *Załączniku 3*) oraz 153 kierowców pracujących w PSP (treść ankiety w *Załączniku 4*). Zwrotność wypełnionych ankiet przedstawia *Tabela 4*.

**Tabela 4 Poziom zwrotów ankiety skierowanej do kierowców służb ratowniczych**

Jednostka, do której skierowano ankietę	Liczba wystosowanych ankiet	Liczba zwróconych ankiet	Procent zwróconych ankiet
Stołeczna Kolumna Transportu Sanitarnego	170	65	38,2%
Państwowa Straż Pożarna	153	100	65,4%

## **5.5. Zastosowane narzędzia statystyczne**

Analizy statystyczne prowadzono z wykorzystaniem programu STATISTICA 6.0 PL. Graficznej prezentacji wyników dokonano z zastosowaniem programu STATISTICA 6.0 PL oraz arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel.

Analiza została przeprowadzona w trzech etapach. W każdym z nich cele były odmiennie sprecyzowane, co w konsekwencji determinowało dobór odrębnych metod badawczych.

### 5.5.1. Analiza natężenia ruchu i stężeń zanieczyszczeń

Istotą analizy było zidentyfikowanie występowania różnic w rozkładach jednowymiarowych wyników pomiarów stężeń zanieczyszczeń i natężeń ruchu pomiędzy wybranymi kategoriami, jak sezony (ciepły i chłodny), dni tygodnia, czy godziny.

Mając do dyspozycji próby losowe wyników pomiarów stężeń (1-godzinne średnie z automatycznych stacji monitoringu) oraz natężenia ruchu pojazdów (pomiar 1-godzinne), zastosowano klasyczne testy parametryczne (ANOVA), przy uprzednim sprawdzeniu założeń ich stosowalności, takich jak jednorodność wariancji i normalność rozkładu. Dla celów precyzyjnej identyfikacji statystycznie istotnych różnic pomiędzy poszczególnymi parami kategorii stosowano testy post-hoc. W przypadku niespełnienia założeń, w dalszej analizie stosowano metody nieparametryczne, często równie mocne, jak ich parametryczne odpowiedniki.

Podejście to sprowadziło się zatem do zbadania, do której z dwóch hipotez należy się przychylić:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_p \text{ wobec } H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_p,$$

$\mu$  – parametr położenia rozkładu w populacji, czyli średnia.

$p$  – liczba kategorii

Jeśli średnie, na podstawie wyników z prób, różnią się istotnie, to wybrany czynnik oddziałuje na zmienną. W przypadku przeciwnym należy skłonić się ku tezie, że brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy o równości średnich, a zatem również rozkłady tych populacji nie różnią się istotnie.

Poza identyfikacją różnic w kategoriach, w tej części badania ważnym elementem było zbadanie współzależności pomiędzy wynikami pomiarów oraz identyfikacja stochastycznych modeli opisujących precyzyjnie ich zależności. W tym celu zastosowano modele regresji wielorakiej, estymowane w przypadku dwuwymiarowym Metodą Najmniejszych Kwadratów (MNK), zaś w przypadku wielowymiarowym Metodą Największej Wiarygodności (MNV).

Do oceny normalności rozkładów analizowanych zmiennych stosowano test Kołmogorowa-Smirnowa z poprawką Lillieforsa.

Wszelkie wyniki uznawano za statystycznie istotne przy prawdopodobieństwie popełnienia błędu  $p < 0,05$ . Zatem 95% poziom ufności jest stosunkowo wysoki.

- o ze względu na fakt, iż w przypadku rozkładu stężeń zanieczyszczeń rejestrowanych przez stacje monitoringu należało odrzucić hipotezę o normalności rozkładów, porównywano je z zastosowaniem nieparametrycznego odpowiednika analizy wariancji – testu Kruskala-Wallisa, a w przypadku porównywania dwóch prób również z użyciem testu serii Walda-Wolfowitza i testu U Manna-Whitneya. Testy te stosowano zarówno do porównywania rozkładów poszczególnych zanieczyszczeń pomiędzy stacjami, jak też do porównywania w ujęciu sezonowym rozkładów zanieczyszczeń rejestrowanych przez stację komunikacyjną;
- o analizę z wykorzystaniem testu Kruskala-Wallisa zastosowano także do porównywania natężeń ruchu pojazdów;
- o dla celów porównawczych, w przypadku rozkładów natężeń ruchu, zastosowano również klasyczną analizę wariancji, uchylając założenie o normalności rozkładu. Miało to na celu porównanie natężenia ruchu w poszczególne dni tygodnia z zastosowaniem tzw. testów post-hoc. Użyto testów Duncana oraz Tukeya. Jednorodność wariancji testowano z zastosowaniem testu Levene'a;
- o dla celów wyznaczenia zależności pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów oraz wskaźnikami meteorologicznymi a stężeniami poszczególnych zanieczyszczeń wykonano modele regresji wielokrotnej (również regresji krokowej wstecznej). Istotność parametrów modeli testowano z zastosowaniem testu t-Studenta, zaś istotność całych modeli z użyciem testu F;

- o korelacje pomiędzy zmiennymi (natężeniem ruchu i stężeniami zanieczyszczeń) obliczano na podstawie współczynnika korelacji liniowej Pearsona;
- o miarę dopasowania modeli do rzeczywistości stanowił współczynnik regresji  $R^2$  oraz skorygowany  $R^2$ , zaś w przypadku modeli nieliniowych współczynnik  $C_p$  Mallowa, wyrażany wzorem przedstawionym w równaniu 5.1:

$$C_p = \left[ \frac{MSE_p}{MSE_k} \right] [n - p - 1] - [n - 2(p + 1)]$$

Równanie 5.1 – współczynnik  $C_p$  Mallowa

$C_p$  – współczynnik  $C_p$  Mallowa

$MSE_p$  – błąd średniokwadratowy modelu z  $p$  zmiennymi niezależnymi

$MSE_k$  – błąd średniokwadratowy modelu z  $k$  zmiennymi niezależnymi

$p$  – liczba zmiennych niezależnych rozpatrywanego modelu

$k$  – maksymalna możliwa liczba dostępnych zmiennych niezależnych

### 5.5.2. Analiza wyników badań spirometrycznych

Do oceny normalności rozkładów analizowanych zmiennych stosowano test Kołmogorowa-Smirnowa z poprawką Lillieforsa.

Wszelkie wyniki uznawano za statystycznie istotne przy prawdopodobieństwie popełnienia błędu  $p < 0,05$ . Zatem 95% poziom ufności jest stosunkowo wysoki.

- o w badaniach medycznych odsetki osób z zaburzeniami przepływu powietrza przez drogi oddechowe, w analizowanych grupach, porównywano stosując test różnicy pomiędzy dwoma wskaźnikami struktury;
- o powiązanie wskaźników antropometrycznych, palenia tytoniu i miejsca zamieszkania z objawami obniżenia czynności układu oddechowego umożliwiają wykonane dla tego celu modele regresji logistycznej. Obliczone zostały również tzw. ilorazy szans (z ang. *odds ratio*, OR) w zależności od występowania czynnika bądź czynników ryzyka mogących ograniczać czynności układu oddechowego (palenie tytoniu, zamieszkiwanie wzdłuż ruchliwej arterii komunikacyjnej, bądź oba jednocześnie). Skorzystano z zależności, zdefiniowanej, jako: stosunek „szansy” wystąpienia A do „szansy” wystąpienia B (*Stanisz A. [13]*):

$$OR_{A \times B} = \frac{S(A)}{S(B)} = \frac{p(A)}{1 - p(A)} \div \frac{p(B)}{1 - p(B)}$$

Równanie 5.2 – iloraz szans

OR – iloraz szans

$S(A)$  – szansa wystąpienia A

$S(B)$  – szansa wystąpienia B

$p(A)$  – prawdopodobieństwo pojawienia się przypadku A

$p(B)$  – prawdopodobieństwo pojawienia się przypadku B

### 5.5.3. Analiza wyników badań ankietowych

- o analizę ankiet, skierowaną zarówno do mieszkańców Warszawy oraz kierowców Stołecznej Kolumny Transportu Sanitarnego i Państwowej Straży Pożarnej przeprowadzono w oparciu o tabele licznosci i tabele wielozdzielcze

## **6. Analiza zależności pomiędzy natężeniem ruchu a poziomem zanieczyszczeń w przekroju komunikacyjnej stacji monitoringu jakości powietrza**

### **6.1. Wprowadzenie**

Antropogeniczny wpływ na stan środowiska, w tym na jakość powietrza, na terenach zurbanizowanych jest wielokrotnie większy w porównaniu z oddziaływaniem, jakie ma miejsce na obszarach pozamiejskich. W skali miasta jednakże możliwe jest również zidentyfikowanie obszarów, na których presja ta jest silniejsza. Dane literaturowe pozwalają domniemywać, iż obszarami takimi są tereny położone w sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych o znaczącym natężeniu ruchu. Zgodnie z raportem „Stan środowiska w województwie mazowieckim w 2004 roku” [97], źródła liniowe (zasadniczo ruch drogowy) stanowiły w skali roku przyczynę ponad 60% całkowitej emisji ditlenku azotu oraz przeszło 70% całkowitej emisji tlenku węgla na terenie Warszawy. Ze źródeł liniowych na terenie miasta pochodzi również 35% całkowitej emisji pyłów respirabilnych o średnicy cząstki  $\leq 10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ). Należy przy tym zauważyć, iż w centralnych dzielnicach Warszawy udział ten wyraźnie przekracza średnią, osiągając wartości (również w przypadku  $\text{PM}_{10}$ ) zdecydowanie przewyższające 90%. Udziały te w latach poprzednich kształtowały się na zbliżonym poziomie.

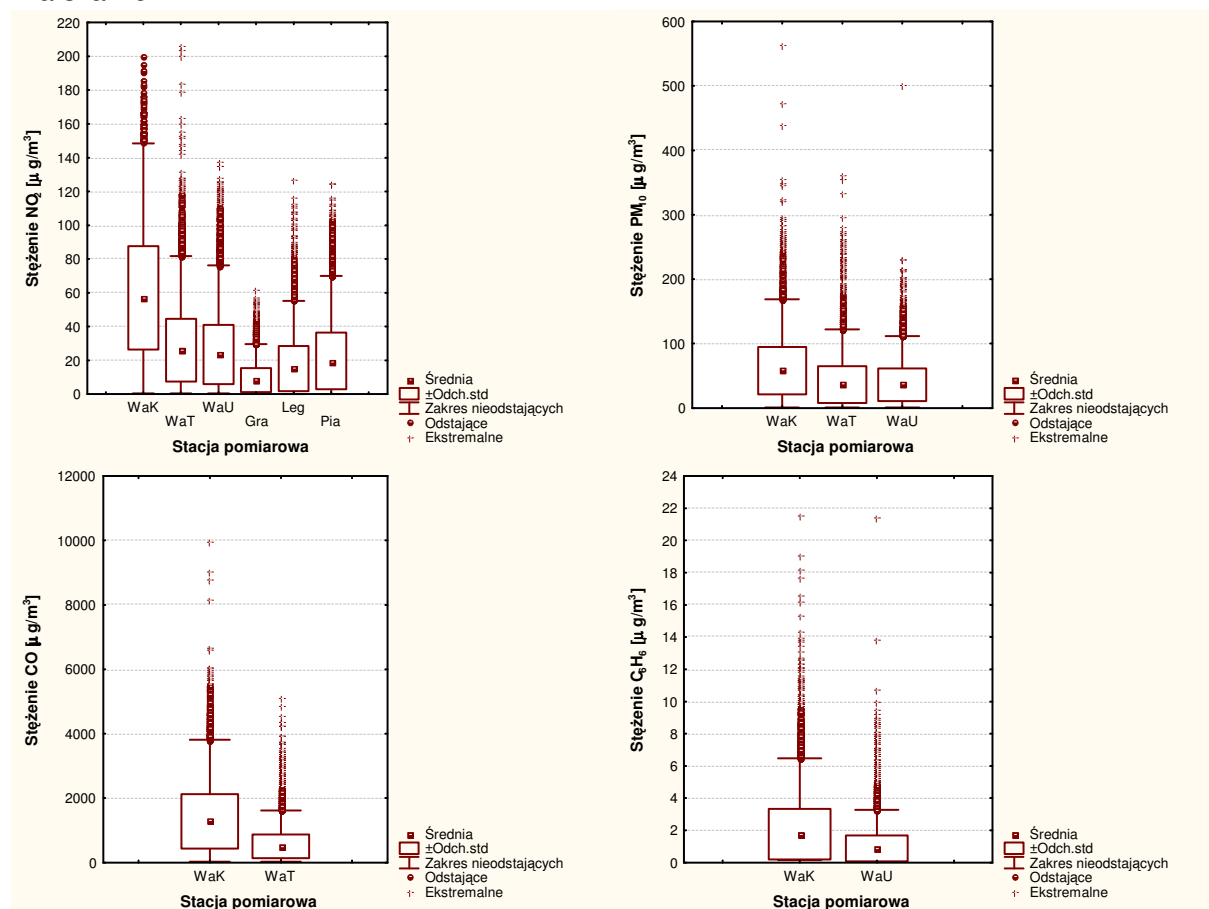
Ekspozycja zatem na zanieczyszczenia atmosferyczne wśród osób zamieszkujących tereny położone w bezpośrednim sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych o znacznym natężeniu ruchu, w porównaniu z mieszkańcami obszarów miejskich, położonych jednakże w pewnym oddaleniu od ulic, wydaje się być wyraźnie większa. Wyniki analiz przeprowadzonych w Warszawie potwierdzają występowanie istotnych statystycznie różnic średnich stężeń ( $p < 0,05$ ) zanieczyszczeń typowych dla ruchu drogowego, rejestrowanych przez stację monitoringu zlokalizowaną wzdłuż ciągu komunikacyjnego oraz przez stacje odseparowane od bezpośredniego wpływu ruchu kołowego. Dla celów porównawczych do analizy wybrano: ditlenek azotu ( $\text{NO}_2$ ), tlenek węgla ( $\text{CO}$ ), frakcję pyłów respirabilnych o średnicy cząstek  $< 10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) oraz benzen ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ). Porównano wyniki rejestrowane przez 3 stacje monitoringu jakości powietrza (komunikacyjną oraz 2 stacje tła miejskiego) należące do Mazowieckiego Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Stacja komunikacyjna zlokalizowana jest w Al. Niepodległości w Warszawie, zaś stacje tła w dzielnicy Ursynów oraz Targówek. Dla  $\text{NO}_2$  wyniki zestawiono również ze stężeniami rejestrowanymi przez stację tła miejskiego w Piastowie oraz stację tła regionalnego w Legionowie i miejscowości Granica (południowa część Puszczy Kampinoskiej).

### **6.2. Jakość powietrza atmosferycznego w Warszawie**

Na podstawie wyników pomiarów stężeń zanieczyszczeń powietrza w latach 2004 i 2005 stwierdzić można, iż w tym okresie 1-h średnie stężenia wszystkich analizowanych zanieczyszczeń były istotnie statycznie wyższe ( $p < 0,05$ ) w pobliżu stacji komunikacyjnej (zlokalizowanej przy krawędzi jezdni) w porównaniu ze stacjami tła miejskiego (zlokalizowanymi w taki sposób, aby wpływ zanieczyszczeń komunikacyjnych był ograniczony). Świadczą o tym wyniki testu serii Walda-Wolfowitza – należy odrzucić na poziomie istotności  $p < 0,05$  hipotezę o równości rozkładów stężeń zanieczyszczeń mierzonych przez stację komunikacyjną i przez stacje tła. Potwierdza to graficzna interpretacja w postaci wykresów ramkowych (Wykres 11). Konieczność odrzucenia hipotezy ( $p < 0,05$ ) potwierdzają również wyniki testu U Manna-Whitneya. Rezultaty analizy z zastosowaniem nieparametrycznego odpowiednika analizy wariancji (test Kruskala-Wallisa) pozwalają (na poziomie istotności  $p < 0,05$ ) wyciągnąć wniosek, że dobowe rozkłady średnich 1-h stężeń zanieczyszczeń rejestrowanych we wszystkich trzech stacjach są statystycznie istotnie różne.

Celowym wydaje się również podkreślenie faktu, iż stężenia zanieczyszczeń (możliwość porównania jedynie stężeń ditlenku azotu) rejestrowane na obszarach podmiejskich (stacja tła

miejskiego w miejscowości Piastów) oraz na terenach pozamiejskich (stacje tła regionalnego w miejscowościach Legionowo oraz Granica) są statystycznie istotnie niższe zarówno od poziomów rejestrowanych przez stację w Al. Niepodległości, jak i przez obie stacje tła miejskiego w Warszawie.



**Wykres 11 Różnice średnich 1-h stężeń  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ , CO oraz  $\text{C}_6\text{H}_6$  z lat 2004-2005, rejestrowanych na stacji komunikacyjnej (WaK), stacjach tła miejskiego (WaT, WaU i Pia) oraz stacjach tła regionalnego (Leg i Gra). Wartości odstające znajdują się powyżej wartości stanowiącej  $1,5 \cdot H$ , zaś wartości ekstremalne powyżej  $3 \cdot H$  ( $H$  – przedział wyznaczony przez dolną i górną wartość odchylenia standardowego). Liczba pomiarów w ciągu: 15752÷17121**

W porównaniu ze stacjami odseparowanymi od bezpośredniego wpływu ruchu drogowego, stacja monitorująca poziomy zanieczyszczeń w kanionie ulicy (w zależności od zanieczyszczenia) rejestruje średniodobowe poziomy o 1,6 do ponad 2,5-krotnie wyższe. Częściej też występują tam przekroczenia dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń (określonych w rozporządzeniu [107]), przy czym niedotrzymywanie wartości normowych dotyczy głównie  $\text{PM}_{10}$ . Zanieczyszczenie to jest niebezpieczne nie tylko z powodu niewielkich rozmiarów cząstek, które zdolne są przenikać do dolnych części układu oddechowego. Znaczące niebezpieczeństwo stanowią substancje, które ulegają sorpcji na powierzchni ziaren pyłu (zwłaszcza metale ciężkie i węglowodory wielopierścieniowe). Na stacjach monitoringu, o których mowa powyżej, w analizowanym okresie nie prowadzono analiz pod kątem składu chemicznego pyłów. Jednakże, jak wspomniano w rozdziale 4.2.6., badania zrealizowane na terenie Wrocławia wykazały obecność szeregu wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, zewidencjonowanych na liście Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (Zwoździak J. i in. [82], Piekarska K. i Karpińska-Smulikowska J. [63]), wskazując na mutagenną aktywność pobranych prób zanieczyszczeń powietrza wobec testowych mikroorganizmów.

W roku 2004 na stacji komunikacyjnej zarejestrowano aż 211 przekroczeń dopuszczalnego poziomu  $\text{PM}_{10}$  o 24-godzinny okres uśredniania (stacje tła na terenie Warszawy zarejestrowały 62 i 60 przekroczeń). Rok później przekroczeń na stacji komunikacyjnej

było 190 (na stacjach tła miejskiego 63 oraz 75). Dopuszczalne poziomy NO<sub>2</sub> (o 1-godzinny czasie uśredniania) oraz CO (8-godzinna średnia krocząca) nie są przekraczane na żadnej ze stacji. Wyniki ze stacji komunikacyjnej wskazują natomiast, iż nie są dotrzymywane dopuszczalne wartości o rocznym okresie uśredniania w przypadku PM<sub>10</sub> oraz NO<sub>2</sub> (Tabela 5).

**Tabela 5 Średnioroczne stężenia PM<sub>10</sub> i NO<sub>2</sub> rejestrowane przez stację komunikacyjną w latach 2004-2005**

Zanieczyszczenie	Dopuszczalny poziom o rocznym czasie uśredniania [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Średnie stężenie w roku 2004 (przekroczenie w stosunku do normy)	Średnie stężenie w roku 2005 (przekroczenie w stosunku do normy)
PM <sub>10</sub>	40	57,3 (43%)	58,5 (46%)
NO <sub>2</sub>	40	58,0 (45%)	55,9 (40%)

Przedstawiona powyżej analiza dowodzi, iż presja zanieczyszczeń powietrza na mieszkańców obszarów niezurbanizowanych jest mniejsza w porównaniu z mieszkańcami aglomeracji miejskich, przy czym wzdłuż ciągów komunikacyjnych o znacznym natężeniu ruchu pojazdów rejestrowane poziomy zanieczyszczeń atmosferycznych są statystycznie istotnie wyższe, aniżeli na obszarach miejskich zlokalizowanych w pewnym oddaleniu od ruchliwej ulicy (WaT) lub też odseparowanych od bezpośredniego wpływu ruchu kołowego (WaU – wnętrze osiedla mieszkaniowego). Obserwację tą potwierdzają wyniki pomiarów ditlenku azotu (metodą pasywną) przeprowadzone w Lublinie i jego okolicach, przy 3 drogach o różnym natężeniu ruchu (Lesiuk A. [48]). Zarejestrowane poziomy zanieczyszczenia były najwyższe przy krawędzi ulicy zlokalizowanej na terenie miasta, na której też średniodobowe natężenie ruchu pojazdów było największe, przy czym zaobserwowano także, iż w odległości 30 metrów od krawędzi jezdni spadek poziomu NO<sub>2</sub> był wyższy (rzędu 70% stężenia zanotowanego przy krawędzi jezdni), aniżeli w sąsiedztwie tras pozamiejskich (około 85÷90% stężenia przy krawędzi).

Stwierdzić należy wobec powyższego, iż zamieszkiwanie wzdłuż ruchliwych arterii komunikacyjnych sprzyja zwiększonej ekspozycji mieszkańców na zanieczyszczenia pochodzące ze spalania paliw w silnikach pojazdów, co w efekcie może generować niekorzystne skutki zdrowotne (o czym szerzej w rozdziale 7). Stopień narażenia na oddziaływanie szkodliwych dla zdrowia substancji jest tym większy im bardziej ruchliwa jest trasa komunikacyjna i im bliżej ulicy znajduje się miejsce zamieszkania.

Z danych prezentowanych przez stacje monitoringu jakości powietrza w innych dużych aglomeracjach wynika, że generalnie wzdłuż ciągów komunikacyjnych utrzymuje się wyraźnie wyższe stężenie zanieczyszczeń w porównaniu z miejscami oddalonymi od arterii. Co więcej, w przypadku tych miast, dla których możliwe było porównanie stężeń w stacjach komunikacyjnych i stacjach tła miejskiego, zaobserwowano, że różnice w poszczególnych miastach są zbliżone, zwłaszcza w przypadku CO i PM<sub>10</sub>. Dokonano porównania średnich rocznych stężeń ditlenku azotu, tlenku węgla oraz pyłu PM<sub>10</sub> w roku 2005 w 4 dużych polskich aglomeracjach: Krakowie, Szczecinie, Wrocławiu i Warszawie (brak jest możliwości odniesienia zaobserwowanych poziomów zanieczyszczeń do natężenia ruchu pojazdów). Wybór miast wynikał z dostępności pełnych rocznych ciągów pomiarowych stężeń wymienionych wyżej zanieczyszczeń zarówno w stacjach komunikacyjnych, jak i stacjach tła miejskiego.

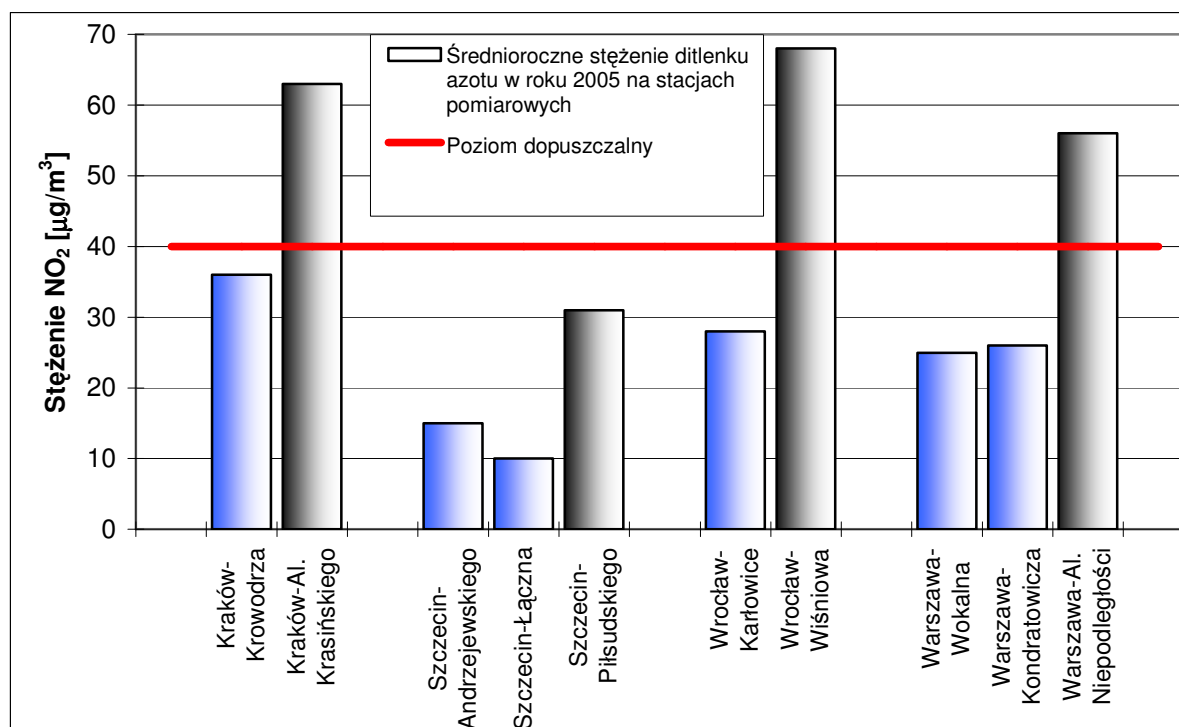
Jak wspomniano, średnie roczne poziomy zanieczyszczeń powietrza, zarejestrowane przez stacje komunikacyjne są wyższe od stężeń notowanych w stacjach tła miejskiego i wynoszą:

- w przypadku NO<sub>2</sub>:
  - 1,75 w Krakowie
  - 2,07÷3,10 w Szczecinie
  - 2,43 we Wrocławiu
  - 2,15÷2,24 w Warszawie

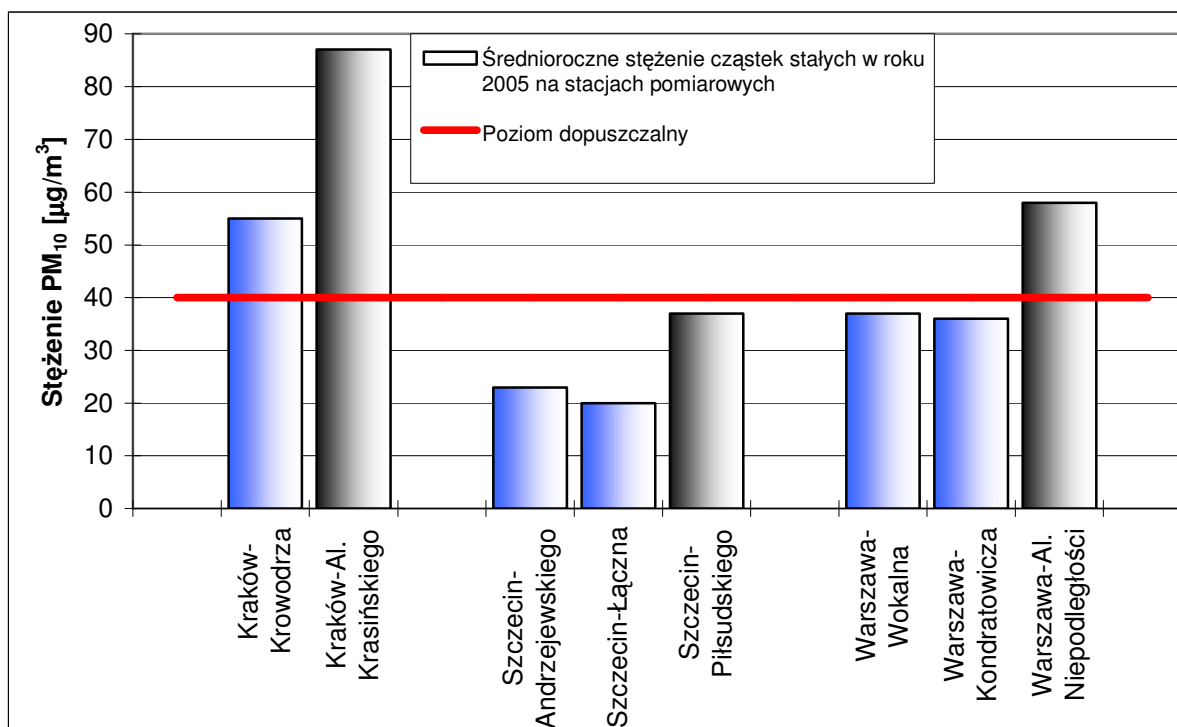


- w przypadku CO:
  - 2,32 w Krakowie
  - 2,55 w Szczecinie
  - 2,47 we Wrocławiu
  - 2,45 w Warszawie
- w przypadku PM<sub>10</sub>:
  - 1,58 w Krakowie
  - 1,61÷1,85 w Szczecinie
  - 1,57÷1,61 w Warszawie

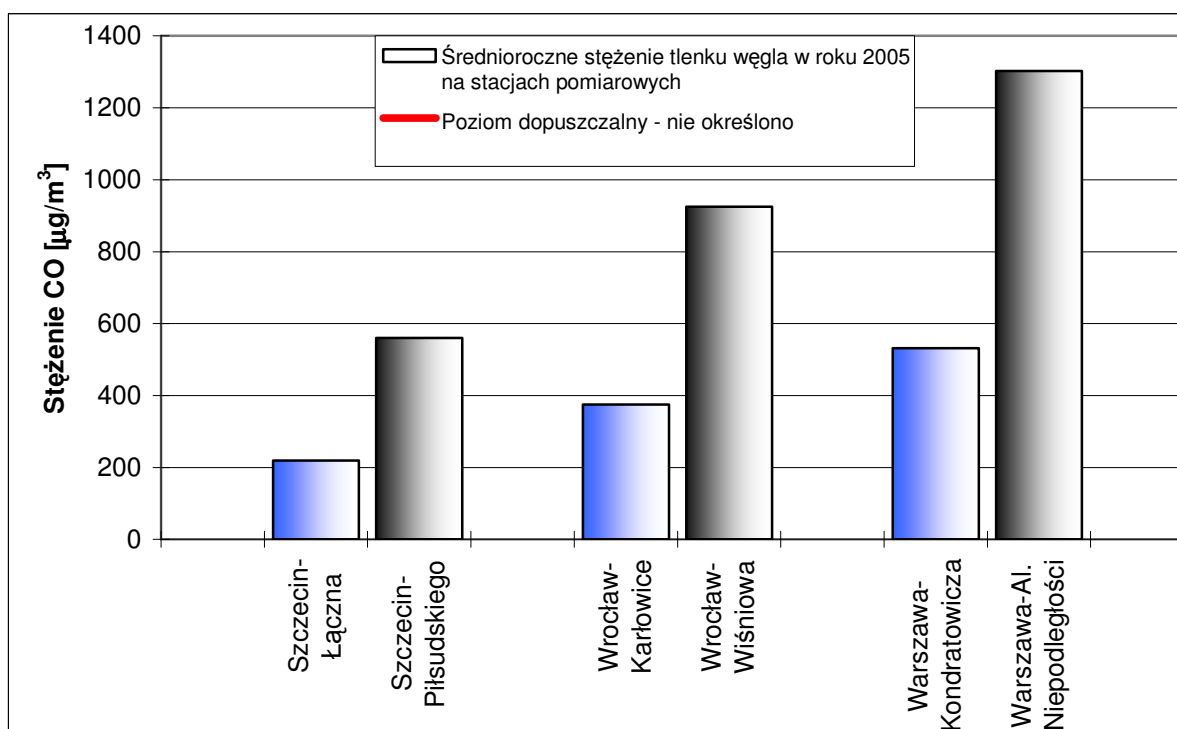
Ilustracją graficzną różnic stężeń zanieczyszczeń w poszczególnych miastach są zamieszczone niżej wykresy (*Wykres 12, Wykres 13, Wykres 14*). Poza tymi miastami, stacje komunikacyjne funkcjonują również w: Bydgoszczy, Chorzowie, Częstochowie, Kielcach, Toruniu i Włocławku. Dane pomiarowe z tych stacji nie zostały jednak zaprezentowane ze względu na brak możliwości porównania wyników pomiarów ze stacją tła w tym samym mieście (ten przypadek dotyczy Chorzowa oraz Kielc) lub z uwagi na brak pełnych ciągów pomiarowych, które powodują niewiarygodność statystycznej obliczonej średniej (tego typu sytuacja występuje w Bydgoszczy, Częstochowie, Toruniu i Włocławku).



**Wykres 12** Porównanie wartości średnich rocznych stężeń ditlenku azotu rejestrowanych przez stacje komunikacyjne oraz tła miejskiego w wybranych miastach Polski w roku 2005



Wykres 13 Porównanie wartości średnich rocznych stężeń pyłów PM<sub>10</sub> rejestrowanych przez stacje komunikacyjne oraz tła miejskiego w wybranych miastach Polski w roku 2005



Wykres 14 Porównanie wartości średnich rocznych stężeń tlenu węgla rejestrowanych przez stacje komunikacyjne oraz tła miejskiego w wybranych miastach Polski w roku 2005

Dla porównania przytoczono również wyniki monitoringu jakości powietrza (w roku 2005) z wybranych stacji pomiarowych w Londynie (Tabela 6). W systemie monitoringu (*London Air Quality Network [115]*) funkcjonują tam dwa rodzaje stacji komunikacyjnych: przydrożne (*roadside*) i przykrawężnikowe (*kerbside*). Pierwszy rodzaj to stacje lokalizowane w odległości od 1 m do 5 m od krawędzi jezdni, drugi zaś nie dalej niż 1 m od krawędzi jezdni. Tu również obserwuje się wyższe poziomy zanieczyszczeń w stacjach komunikacyjnych w porównaniu ze

stacjami tła miejskiego, w szczególności tymi zlokalizowanymi w oddaleniu od ścisłego centrum miasta. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że stacje usytuowane przy krawędzi jezdni rejestrują najwyższe stężenia.

**Tabela 6 Porównanie wartości średnich rocznych stężeń ditlenku azotu i pyłu PM<sub>10</sub> w wybranych stacjach monitoringu jakości powietrza w Londynie (wartości w µg/m<sup>3</sup>)**

Stacja	Średnie stężenie NO <sub>2</sub> w roku 2005	Średnie stężenie PM <sub>10</sub> w roku 2005
Tła miejskiego (w oddaleniu od ścisłego centrum)	40	24
Tła miejskiego (w oddaleniu od ścisłego centrum)	52	-
Tła miejskiego (w ścisłym centrum)	61	-
Tła miejskiego (w ścisłym centrum)	64	30
Przydrożna	62	-
Przykrawężnikowa	70	38
Przykrawężnikowa	105	46

### **6.3. Zależność pomiędzy natężeniem ruchu drogowego a stężeniami zanieczyszczeń powietrza**

Wyniki oceny stanu rzeczywistego pod względem poziomów zanieczyszczeń atmosferycznych, w tym szczególnie niebezpiecznych dla zdrowia produktów spalania paliw w silnikach pojazdów mechanicznych, skłoniły do przeprowadzenia pomiarów natężenia ruchu pojazdów w celu określenia zależności pomiędzy zmianą liczby pojazdów, mijających przekrój pomiarowy w kolejnych godzinach, a średnimi 1-godzinowymi stężeniami zanieczyszczeń rejestrowanymi przez stację monitoringu w tym samym czasie. Pomiar natężenia ruchu wykonany w okresie 1 tygodnia w maju 2005 roku wykazały, iż w dni robocze przekrój pomiarowy przekraczało od 70000 do 75000 pojazdów na dobę, przy czym struktura ruchu (według zastosowanego podziału) przedstawia się następująco (Tabela 7):

**Tabela 7 Średni udział poszczególnych kategorii pojazdów w całkowitym natężeniu ruchu w zależności od dni tygodnia**

	Osobowe	Ciężarowe	Autobusy
Dni robocze	97,2%	1,5%	1,3%
Sobota	97,5%	1,1%	1,4%
Niedziela	97,7%	0,3%	2,0%

Analiza zebranych wyników wskazuje, iż szczytowe poranne natężenie ruchu w dni robocze notowane jest w godzinach między 08:00 a 09:00, zaś popołudniowe pomiędzy godzinami 16:00 a 18:00. W okresach tych przez przekrój pomiarowy w ciągu każdej godziny przejeżdża średnio ponad 5000 pojazdów. W godzinach pomiędzy szczytami komunikacyjnymi natężenie ruchu pojazdów utrzymuje się także na stałym, wysokim poziomie, wyraźnie przekraczającym 4000 pojazdów/h – w okresie tym maksymalny spadek 1-godzinowego natężenia ruchu w stosunku do wartości szczytowej wyniósł (zależnie od dnia) od 13% do 25%. Najmniej pojazdów porusza się po ulicach w godzinach 02:00÷05:00. W dni wolne od pracy natomiast nie można wyróżnić porannego ani popołudniowego szczytu komunikacyjnego – natężenie ruchu narasta od godziny 07:00 do około 12:00÷13:00 osiągając poziom około 3000 pojazdów na godzinę, który utrzymuje się do godziny 18:00.

Taki stan rzeczy znajduje swoje odzwierciedlenie w stężeniach zanieczyszczeń rejestrowanych przez stację monitoringu. Zmianom natężenia ruchu pojazdów towarzyszą analogiczne zmiany stężeń zanieczyszczeń powietrza. Potwierdzeniem tego mogą być współczynniki korelacji Pearsona (istotne z  $p < 0,05$ ) obliczone dla rozkładów tych zmiennych (Tabela 8). Zauważyć należy również, iż w dni robocze zależność korelacyjna pomiędzy natężeniem ruchu a niektórymi zanieczyszczeniami jest silniejsza (Tabela 9).

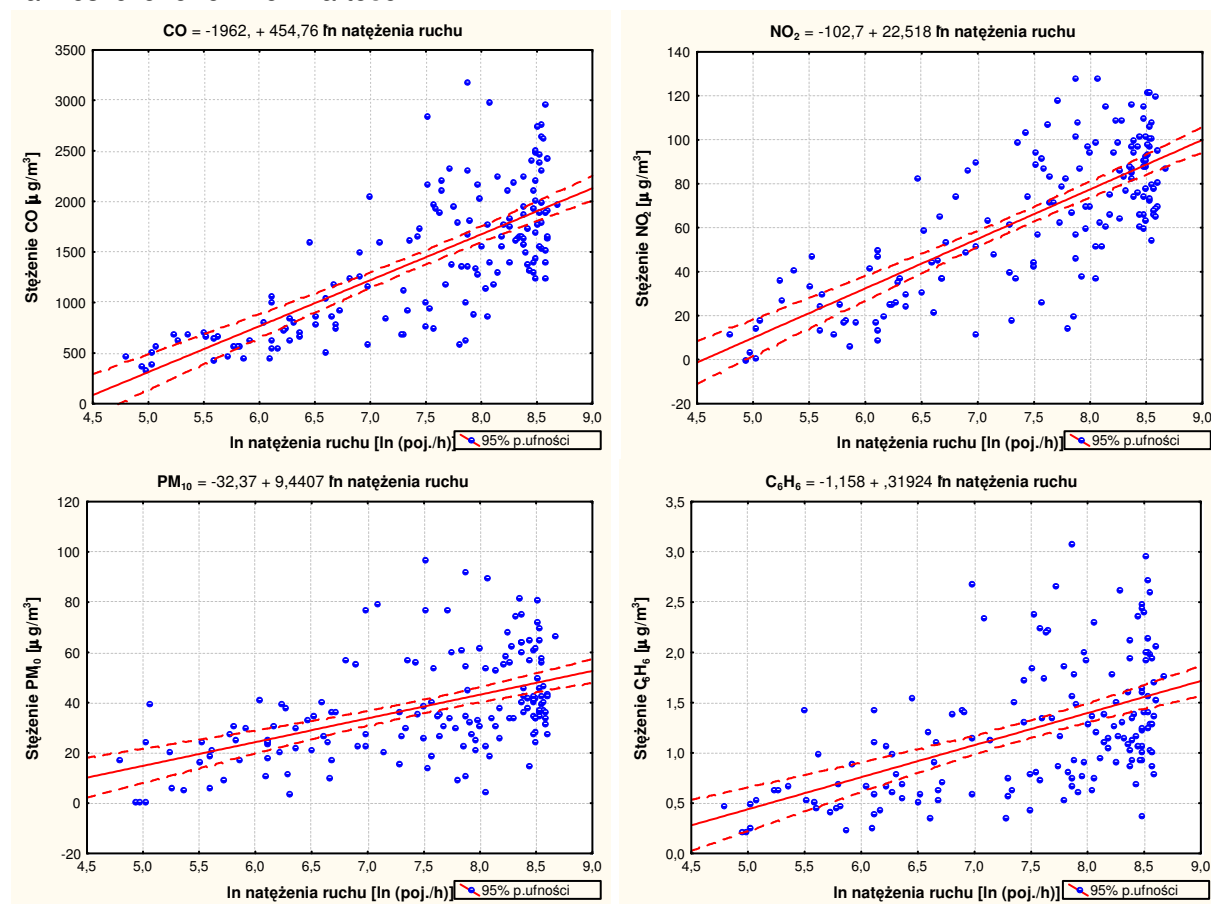
**Tabela 8 Współczynniki korelacji pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń obliczone dla całego tygodnia**

	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
CO	-			
NO <sub>2</sub>	0,93	-		
PM <sub>10</sub>	0,68	0,68	-	
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,88	0,80	0,63	-
Natężenie ruchu	<b>0,70</b>	<b>0,69</b>	<b>0,45</b>	<b>0,48</b>

**Tabela 9 Współczynniki korelacji pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń obliczone dla dni roboczych**

	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
CO	-			
NO <sub>2</sub>	0,93	-		
PM <sub>10</sub>	0,69	0,71	-	
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,88	0,80	0,62	-
Natężenie ruchu	<b>0,73</b>	<b>0,68</b>	<b>0,52</b>	<b>0,51</b>

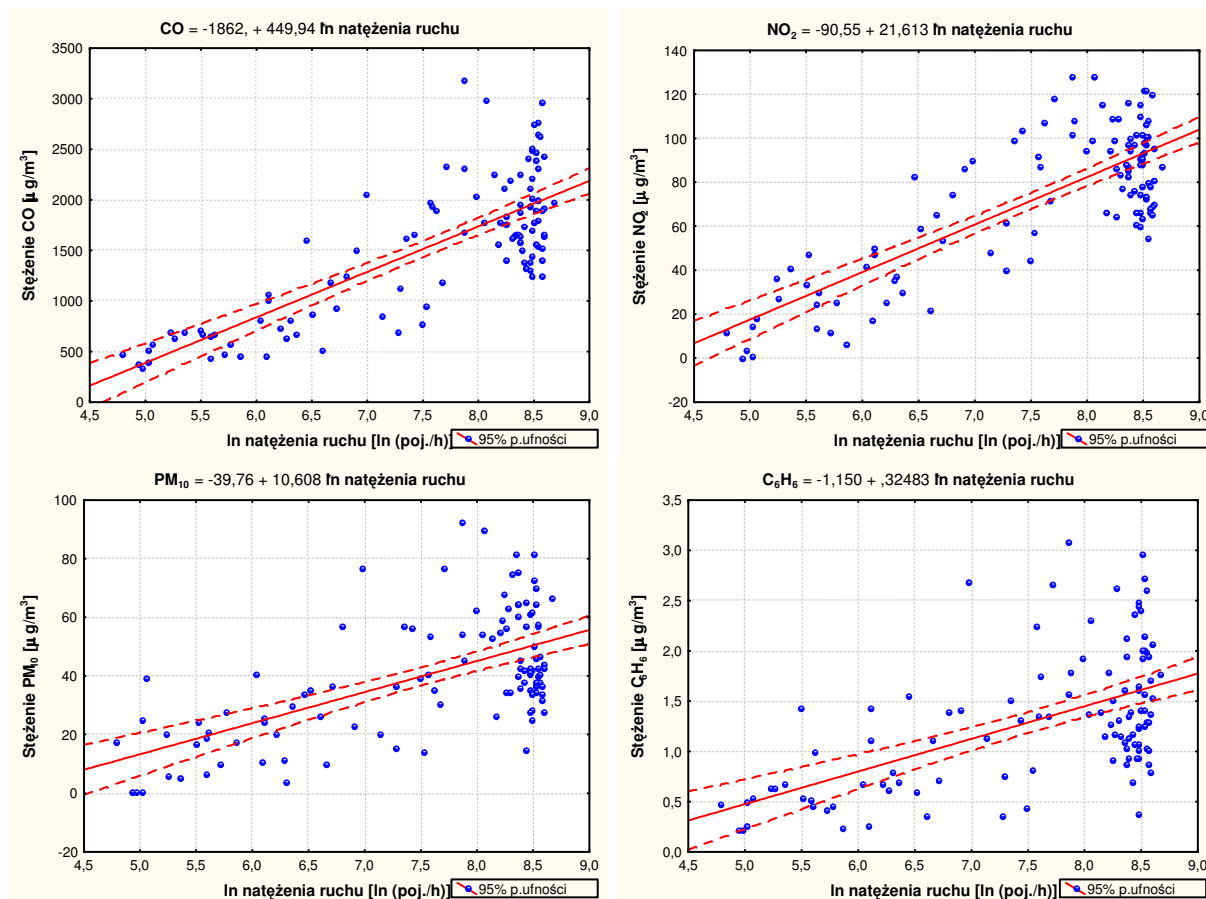
Jednakże zależność liniowa pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a średnimi 1-godzinowymi stężeniami zanieczyszczeń nie stanowi aproksymaty właściwej dla przedstawionych relacji między omawianymi zmiennymi. Statystyki C<sub>p</sub> Mallowa obliczone zarówno dla całego 7-dniowego okresu pomiarowego, jak i dni roboczych wskazują, iż model logarymiczno-liniowy najlepiej odzwierciedla zależność pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a stężeniami poszczególnych zanieczyszczeń. Ilustrację graficzną stanowią Wykres 15 (wszystkie dni tygodnia) oraz Wykres 16 (dni robocze). Porównanie wartości statystyk C<sub>p</sub> Mallowa pomiędzy zależnością liniową a logarymiczną prezentuje Tabela 10 i Tabela 11. Dla celów porównawczych zamieszczono również wartości R<sup>2</sup>.



**Wykres 15 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń (na podstawie danych z całego tygodnia)**

**Tabela 10 Statystyki  $C_p$  Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń (obliczenia dla wszystkich dni tygodnia)**

		CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Natężenie ruchu	$C_p$	22,96	36,42	14,43	14,86
	$R^2$	0,49	0,48	0,20	0,23
ln natężenia ruchu	$C_p$	<b>1,08</b>	<b>1,62</b>	<b>1,93</b>	<b>1,79</b>
	$R^2$	<b>0,55</b>	<b>0,57</b>	<b>0,26</b>	<b>0,28</b>

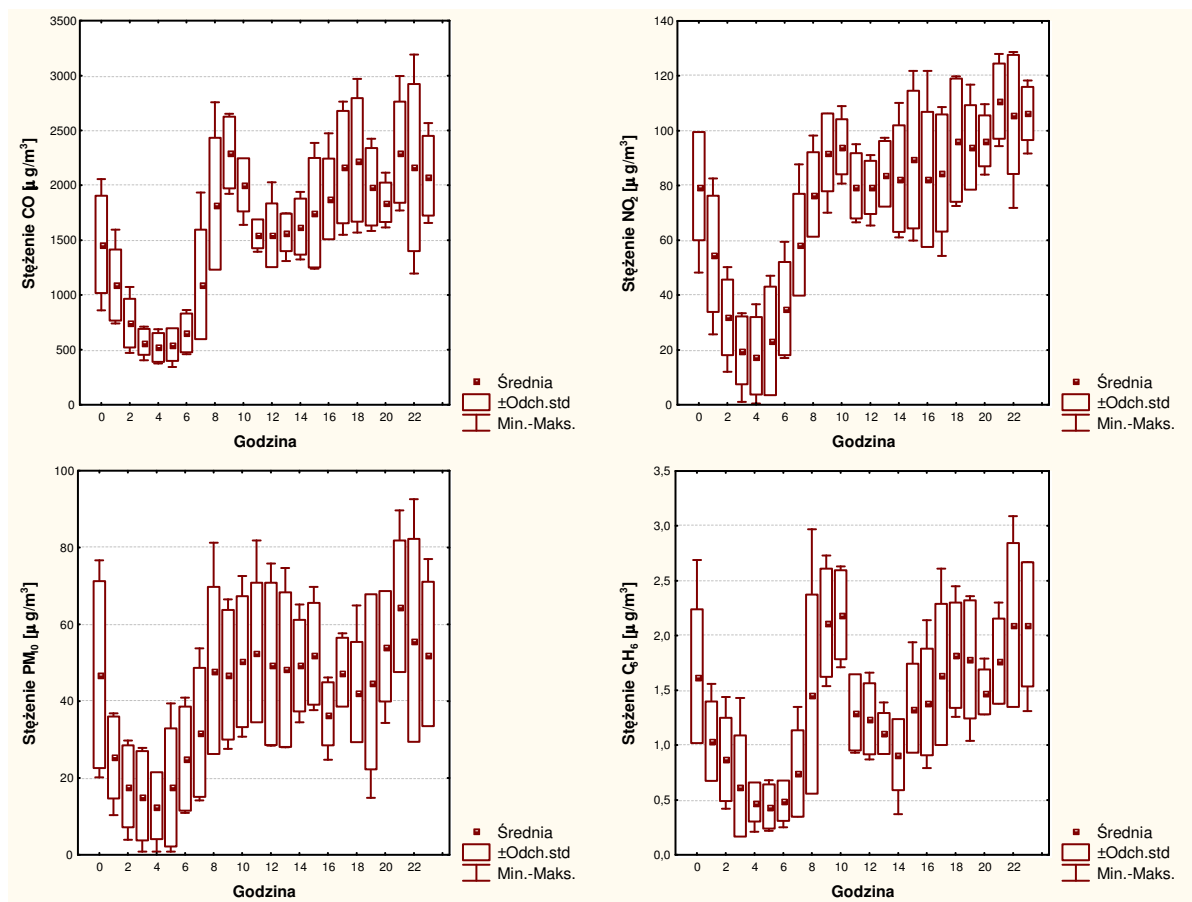


**Wykres 16 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń (na podstawie danych dla dni roboczych)**

**Tabela 11 Statystyki  $C_p$  Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń (obliczenia dla dni roboczych)**

		CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Natężenie ruchu	$C_p$	31,83	86,00	26,79	19,27
	$R^2$	0,53	0,46	0,27	0,26
ln natężenia ruchu	$C_p$	<b>2,69</b>	<b>21,91</b>	<b>6,96</b>	<b>4,67</b>
	$R^2$	<b>0,61</b>	<b>0,63</b>	<b>0,37</b>	<b>0,33</b>

Niejednokrotnie zdarza się, iż popołudniowemu szczytowi komunikacyjnemu nie towarzyszą maksymalne poziomy zanieczyszczeń (zwykle w przypadku NO<sub>2</sub> i PM<sub>10</sub>). Są one przesunięte w czasie i rejestrowane około godziny 21:00÷23:00 (Wykres 17). Przeprowadzona analiza danych wykazała, iż w dniach, w których notuje się takie przesunięcia, w okresie szczytu komunikacyjnego notuje się wyższe prędkości wiatru w porównaniu z dniami, gdy tego typu przesunięcia nie występują, zaś wzrastającym poziomom zanieczyszczeń komunikacyjnych w godzinach wieczornych towarzyszy spadek prędkości wiatru. W przypadku NO<sub>2</sub> zaobserwowane zjawisko może być także efektem przemian chemicznych. Z uwagi jednakowoż na charakter pracy, aspekty te nie będą poddane szczegółowej analizie.



**Wykres 17 Przebiegi dobowe (w dni robocze) średnich 1-godzinowych stężeń (w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wybranych zanieczyszczeń ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$ ) w 7-dniowym okresie pomiarowym**

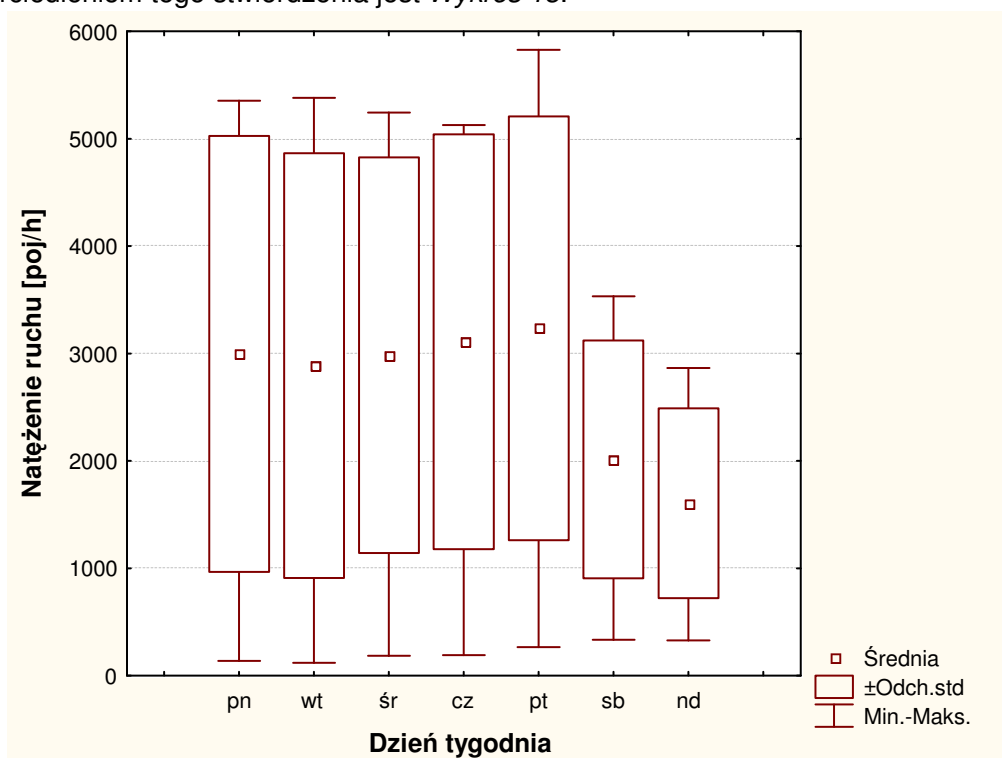
W opinii ekspertów z zakresu transportu i ruchu drogowego (*Datka S. i in. [4]*) natężenie ruchu w sieci drogowej miasta utrzymuje się w dni robocze na podobnym, wysokim poziomie, zaś w okresach weekendowych jest znacznie mniejsze (za wyjątkiem godzin i tras którymi odbywają się wyjazdy i powroty). Warszawskie Badanie Ruchu [102] wykazało, iż na analizowanym odcinku Al. Niepodległości średniodobowe natężenie ruchu (24-godzinny pomiar wykonywany w jeden wybrany roboczy dzień każdego tygodnia przez okres 3 miesięcy) wynosi 78000 pojazdów. Natężenie ruchu pojazdów zmierzone w ciągu Al. Niepodległości oraz jego zmiany w poszczególnych godzinach doby można wobec tego traktować, jako charakterystyczne dla danej arterii (pod warunkiem, że pomiar został wykonany w okresie, gdy dana arteria nie była remontowana, czy z innych powodów częściowo wyłączona z ruchu, poza okresem wakacyjnym oraz przerw świątecznych, a panujące w tym czasie warunki atmosferyczne nie powodowały utrudnień w ruchu pojazdów).

Domniemanie o podobnym rozkładzie godzinowych natężeń ruchu w poszczególne dni robocze potwierdza test Kruskala-Wallisa, którego wynik ( $p=0,89$ ) nie daje podstaw do odrzucenia hipotezy o równości rozkładów natężeń ruchu w poszczególne dni robocze. Włączenie do analizy wyników pilotowych pomiarów natężenia ruchu, zrealizowanych w styczniu 2005 roku (1 doba), również wykazały, iż brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy o równości rozkładów natężeń ruchu ( $p=0,94$ ). Mimo, iż testy normalności rozkładu zmiennej (test Kołmogorowa-Smirnowa-Lillieforsa) wykazały brak normalności rozkładu natężenia ruchu, zdecydowano o sprawdzeniu jednorodności wariancji pomiędzy odpowiednimi natężeniami z różnych dni tygodnia i przeprowadzeniu tzw. testów post-hoc. Jak bowiem podaje *Dobosz M. [5]*, w wielu przypadkach, mimo odchylenia od normalności analiza wariancji daje prawidłowe wnioski ze względu na fakt, iż test F jest w dużym stopniu odporny na odchylenia od normalności.

Test Levene'a jednorodności wariancji wykazał ( $p<0,05$ ), iż należy odrzucić hipotezę, że wariancje są jednorodne w każdym z dni tygodnia. Nie ma natomiast podstaw do odrzucenia

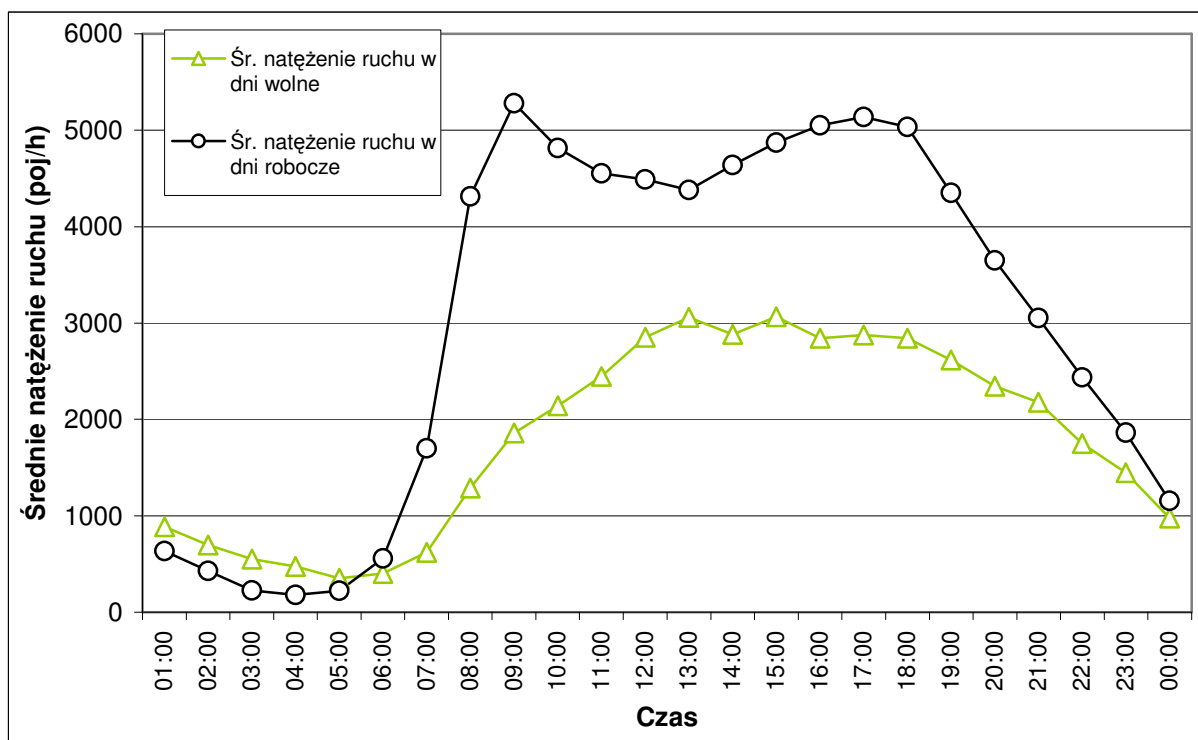
takiej hipotezy w przypadku przeprowadzenia testu osobno w grupie dni roboczych oraz dni wolnych. Testy post-hoc (test Duncana, test Tukeya) wykonane dla poszczególnych grup dni wykazały, iż na poziomie  $p < 0,05$  brak jest istotnych statystycznie różnic rozkładów natężeń ruchu. Wniosek z tego zatem, iż można przyjąć, że rozkład natężenia ruchu w każdym z dni roboczych uznać można za taki sam. Podobnie również rozkład natężenia ruchu w dni wolne jest zbliżony. Wykazano (test Duncana, test Tukeya), iż istotne statystycznie różnice rozkładów natężeń ruchu dotyczą różnic pomiędzy wszystkimi dniami roboczymi (średnia ze wszystkich dni roboczych) a niedzielą.

Wykonane pomiary natężenia ruchu wykazują, iż w dni wolne od pracy (sobota, niedziela), w ciągu doby przekrój pomiarowy przekracza zdecydowanie mniej pojazdów, aniżeli w dni robocze (test Kruskala-Wallisa, przy poziomie istotności  $p < 0,05$  pozwala na odrzucenie hipotezy o równości rozkładów godzinowych natężeń ruchu w dni robocze i wolne od pracy). Odzwierciedleniem tego stwierdzenia jest *Wykres 18*.



**Wykres 18 Średnie dobowe natężenia ruchu w poszczególne dni tygodnia w okresie pomiarowym**

W poszczególnych godzinach doby (z wyjątkiem okresu od godziny 01:00 do 05:00) natężenie ruchu stanowi od 30% do nieco ponad 80% odpowiedniego natężenia ruchu w dni robocze. W skali doby liczba pojazdów poruszających się w ciągu Al. Niepodległości jest w porównaniu z dniami roboczymi mniejsza o niemal 35% (sobota) do bez mała 50% (niedziela). W dni wolne jednakże w godzinach 01:00÷05:00 natężenie ruchu jest większe od średniego natężenia ruchu w dni robocze o 45÷160% (*Wykres 19*).



**Wykres 19 Porównanie uśrednionych 1-godzinowych natężeń ruchu pojazdów w dni robocze oraz wolne od pracy**

Porównanie rozkładów 1-godzinowych średnich stężeń zanieczyszczeń komunikacyjnych z całego okresu pomiarowego (1 tydzień w maju 2005 roku), pozwala na podstawie testu Kruskala-Wallisa (przy poziomie istotności  $<0,05$ ) odrzucić hipotezę o równości rozkładów stężeń poszczególnych zanieczyszczeń w każdy z dni tygodnia.

Testy post-hoc (test Duncana oraz test Tukeya), podobnie, jak w przypadku natężeń ruchu wskazują, iż istnieją statystycznie istotne różnice poziomami zanieczyszczeń rejestrowanymi przez komunikacyjną stację monitoringu powietrza w większość dni roboczych w porównaniu z niedzielą (w przypadku  $\text{NO}_2$  również z sobotą). Jednakże już wyniki podobnej analizy (testu Kruskala-Wallisa) wykonanej jedynie dla dni roboczych nie pozwalają na odrzucenie hipotezy zerowej, co świadczy o tym, iż poszczególne zanieczyszczenia charakteryzują się zbliżonymi poziomami w każdy z dni roboczych.

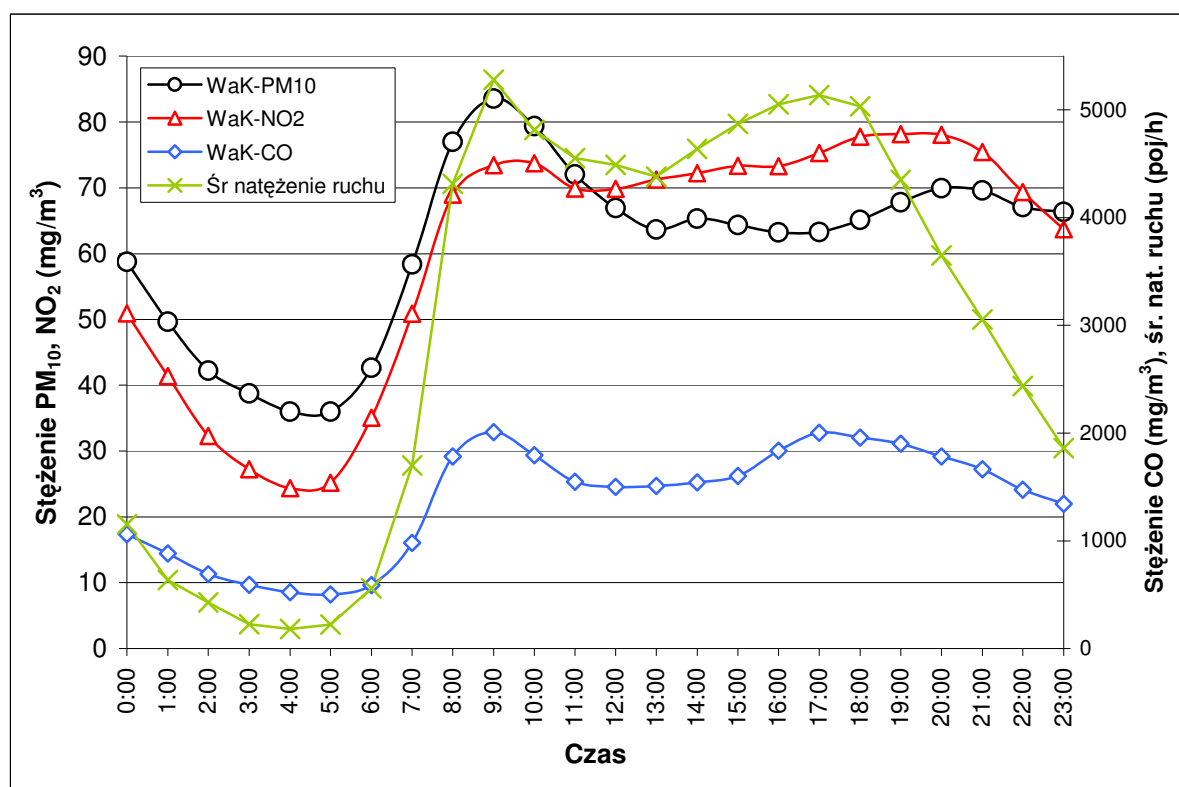
Opierając się na opisanych powyżej wynikach, świadczących o równości natężeń ruchu pojazdów w poszczególne robocze dni tygodnia i zakładając, iż w przeciągu ostatnich 2 lat dobowy przebieg zmian tych natężeń był zbliżony, analizie poddano rozkład stężeń zanieczyszczeń uśrednionych w poszczególnych godzinach doby za okres lat 2004-2005 (Wykres 20). Przyjęto, że zmierzone w maju 2005 roku natężenie ruchu pojazdów można przyjąć za charakterystyczne dla całego roku, przy czym na uwadze mieć należy, że będzie ono inne w okresach, w których warunki pogodowe (intensywne opady deszczu lub śniegu, gołoledź) lub zmiany organizacji ruchu (remonty, objazdy) wymuszają odmienny sposób poruszania się pojazdów. Jak jednak wspomniano wcześniej, brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy o równości rozkładów godzinowych natężeń ruchu z 7-dniowych pomiarów przeprowadzonych w maju 2005 roku (dni robocze) z wynikami pomiaru natężenia ruchu wykonanego w ciągu jednego dnia roboczego w styczniu 2005 roku.

Na potrzeby omówienia analiz w stosunku do wykresu używane będzie określenie: dobowy wzorec zmienności stężeń, przy czym stosunkowo wysokie odchylenia standardowe (rzędu  $0,3 \div 0,4$  wartości średniej), wskazujące na dużą zmienność danych wskazują, że *de facto* wykres ten nie może stanowić wzorca zmienności.

Pod uwagę wzięto jedynie wyniki pomiarów z dni roboczych. Wyraźnie widoczne są ekstrema stężeń zanieczyszczeń w godzinach porannego szczytu komunikacyjnego oraz



przesunięte w czasie w stosunku do popołudniowego szczytu komunikacyjnego maksymalne stężenia NO<sub>2</sub> i PM<sub>10</sub>.



**Wykres 20** Dobowy wzorek zmienności stężeń (na podstawie pomiarów z dni roboczych w latach 2004-2005) wybranych zanieczyszczeń dla stacji komunikacyjnej (WaK) wraz z uśrednionym natężeniem ruchu pojazdów. Liczba pomiarów w ciągu: 11709÷12273

Przyjmując uśrednione 1-godzinowe natężenia ruchu dla całego okresu pomiarowego oraz uśrednione 1-godzinowe stężenia zanieczyszczeń z okresu 2004-2005 obliczono współczynniki korelacji Pearsona. Wyniki obliczeń dla tych rozkładów wskazują na istnienie bardzo silnej, istotnej statystycznie ( $p < 0,05$ ) korelacji pomiędzy tymi wielkościami (Tabela 12). Analogiczne obliczenia wykonane tylko dla dni roboczych wskazują, iż korelacja ta jest jeszcze silniejsza (Tabela 13).

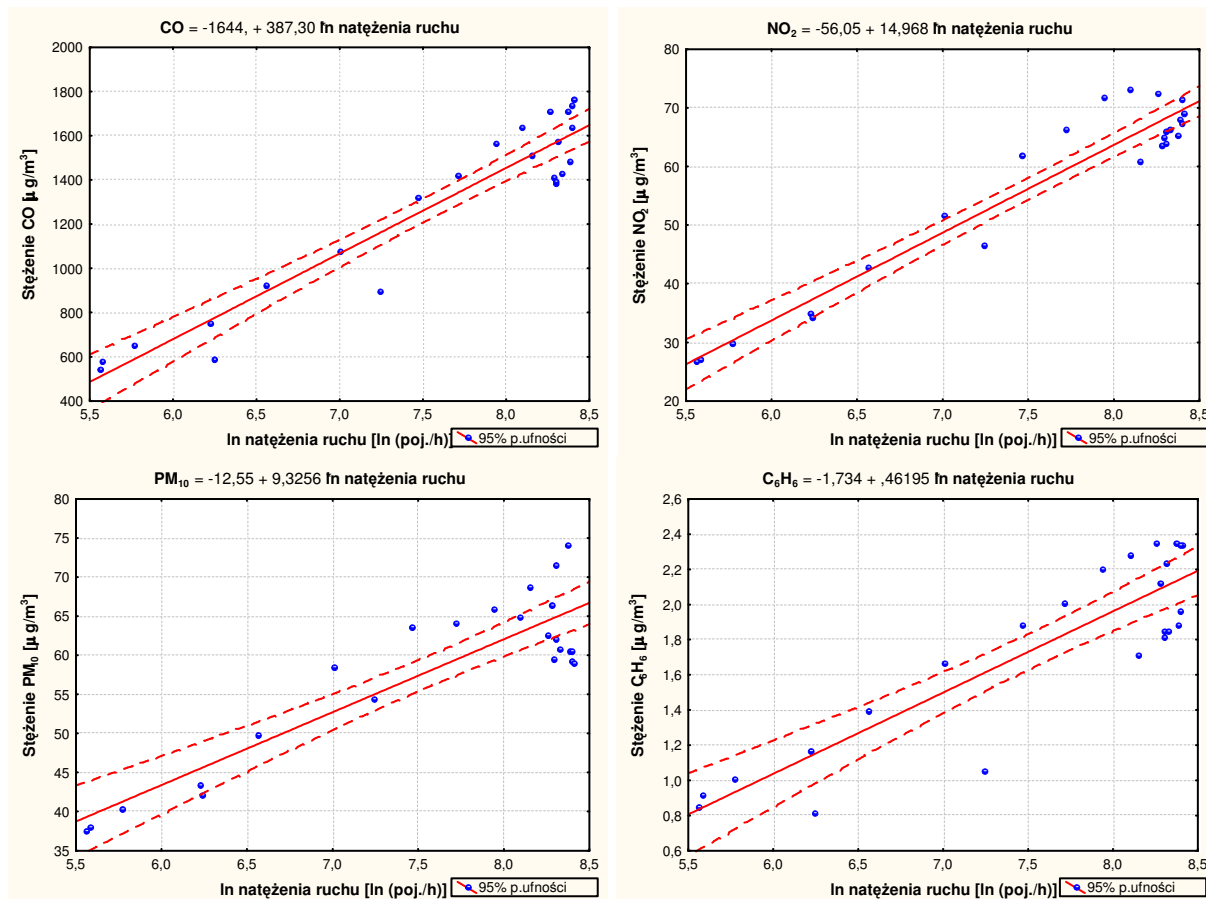
**Tabela 12** Współczynniki korelacji pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń uśrednionymi za okres lat 2004-2005

	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
CO	-			
NO <sub>2</sub>	0,97	-		
PM <sub>10</sub>	0,89	0,90	-	
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,97	0,94	0,88	-
Natężenie ruchu	<b>0,92</b>	<b>0,89</b>	<b>0,80</b>	<b>0,86</b>

**Tabela 13** Współczynniki korelacji pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń uśrednionymi za okres lat 2004-2005 (obliczenia dla dni roboczych)

	CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
CO	-			
NO <sub>2</sub>	0,97	-		
PM <sub>10</sub>	0,90	0,91	-	
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,97	0,94	0,88	-
Natężenie ruchu	<b>0,94</b>	<b>0,92</b>	<b>0,84</b>	<b>0,88</b>

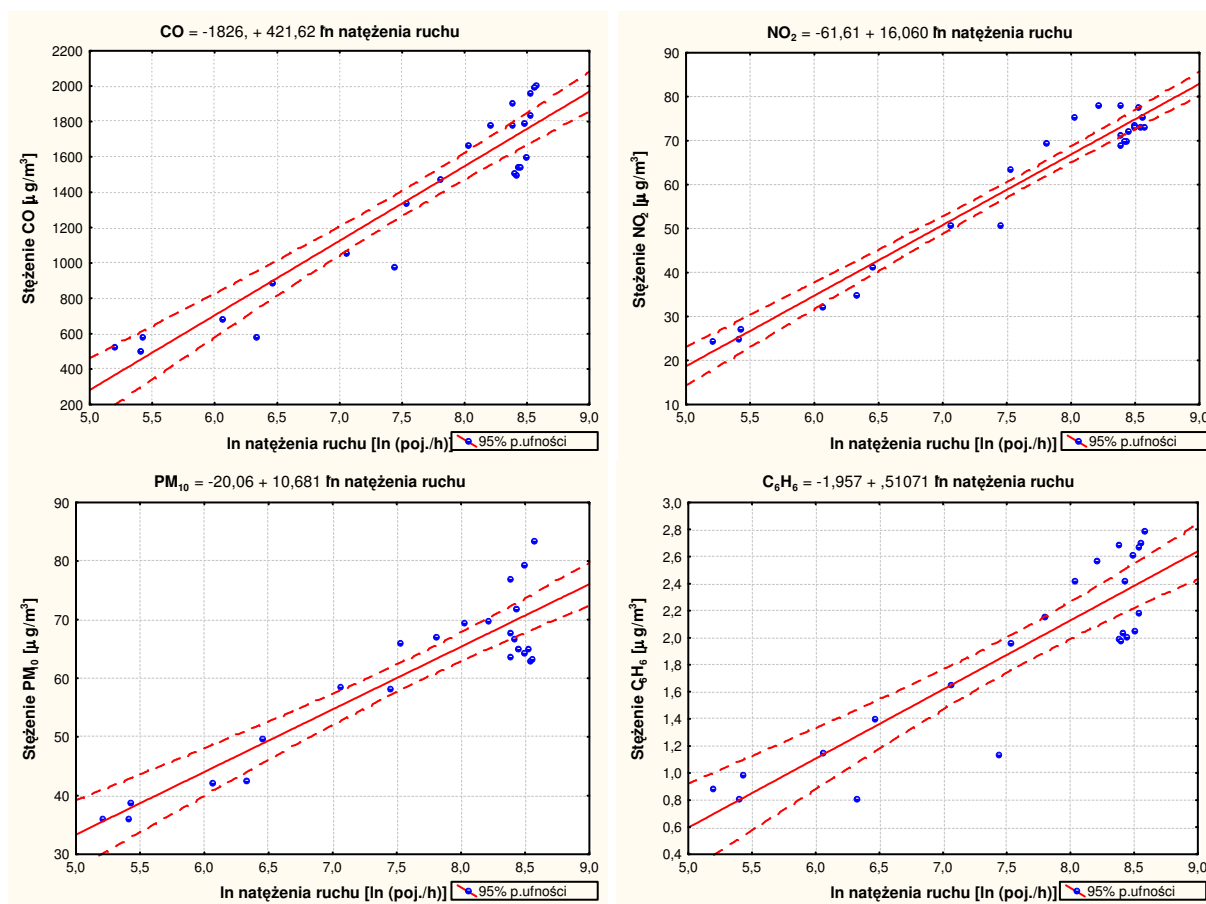
Analiza statystyk  $C_p$  Mallowa wskazuje, że aproksymacja liniowa nie jest wystarczająca dla zależności pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a stężeniami zanieczyszczeń. Wierniejsze odzwierciedlenie zapewnia zależność logarytmiczna. Graficzną ilustracją zagadnień są Wykres 21 oraz Wykres 22, zaś porównanie wartości statystyk  $C_p$  Mallowa (dodatkowo zamieszczono wartości  $R^2$ ) pomiędzy modelem liniowym a logarytmicznym prezentują Tabela 14 i Tabela 15.



Wykres 21 Wykresy rozrzutu pomiędzy  $\ln$  natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń uśrednionymi za okres lat 2004-2005 (na podstawie danych z całego tygodnia)

Tabela 14 Statystyki  $C_p$  Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń (obliczenia dla wszystkich dni tygodnia)

		CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Natężenie ruchu	$C_p$	14,42	49,17	35,57	7,80
	$R^2$	0,85	0,80	0,63	0,73
$\ln$ natężenia ruchu	$C_p$	<b>1,17</b>	<b>5,13</b>	<b>9,29</b>	<b>1,00</b>
	$R^2$	<b>0,91</b>	<b>0,93</b>	<b>0,81</b>	<b>0,80</b>



**Wykres 22 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń uśrednionymi za okres lat 2004-2005 (na podstawie danych dla dni roboczych)**

**Tabela 15 Statystyki C<sub>p</sub> Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń (obliczenia dla dni roboczych)**

		CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Natężenie ruchu	C <sub>p</sub>	18,54	83,75	39,50	8,70
	R <sup>2</sup>	0,88	0,84	0,70	0,77
ln natężenia ruchu	C <sub>p</sub>	<b>6,87</b>	<b>1,95</b>	<b>4,04</b>	<b>2,92</b>
	R <sup>2</sup>	<b>0,90</b>	<b>0,96</b>	<b>0,84</b>	<b>0,79</b>

Zaprezentowany powyżej materiał dowodzi, że ruch drogowy w ciągu analizowanej arterii kształtuje się w dni robocze, pomiędzy porannym a popołudniowym szczytem komunikacyjnym, na stałym i wysokim poziomie. Różnice w poziomach zanieczyszczeń rejestrowanych wzdłuż szlaków komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu pojazdów oraz na obszarach oddzielonych od bezpośredniego oddziaływania ruchu drogowego, zwłaszcza zaś na terenach niezurbanizowanych wskazują, że ruch drogowy ma statystycznie istotny wpływ na poziomy zanieczyszczeń na terenach miejskich. Wniosek z tego zatem, że stanowi on zasadniczą przyczynę utrzymywania się statystycznie istotnie wyższych stężeń zanieczyszczeń w bezpośrednim sąsiedztwie głównych ciągów komunikacyjnych w porównaniu z terenami odseparowanymi od ruchu kołowego, w szczególności w porównaniu z obszarami pozamiejskimi. Odstępstwa pomiędzy przebiegami natężeń ruchu oraz stężeń poszczególnych zanieczyszczeń wynikają z bieżącej sytuacji meteorologicznej, w szczególności z ruchów mas powietrza, a więc z prędkości wiatru (na co wskazują również modele regresyjne zaprezentowane w rozdziale 6.6), z dyfuzji atmosferycznej, depozycji (suchej i mokrej), jak również stabilności atmosfery.

Obserwuje się jednak na wykresach rozrzutu pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń znaczną liczbę punktów znajdujących się poza 95% przedziałem ufności, co dowodzi, że model statystyczny może być tylko wstępnym oszacowaniem zależności pomiędzy

natężeniem ruchu pojazdów a stężeniami zanieczyszczeń rejestrowanymi w przekroju pomiarowym. Konieczne jest podjęcie badań w oparciu o bardziej wyrafinowane modele, uwzględniające m.in. dynamikę zmian prędkości ruchu i wspomnianych już zależności od warunków meteorologicznych.

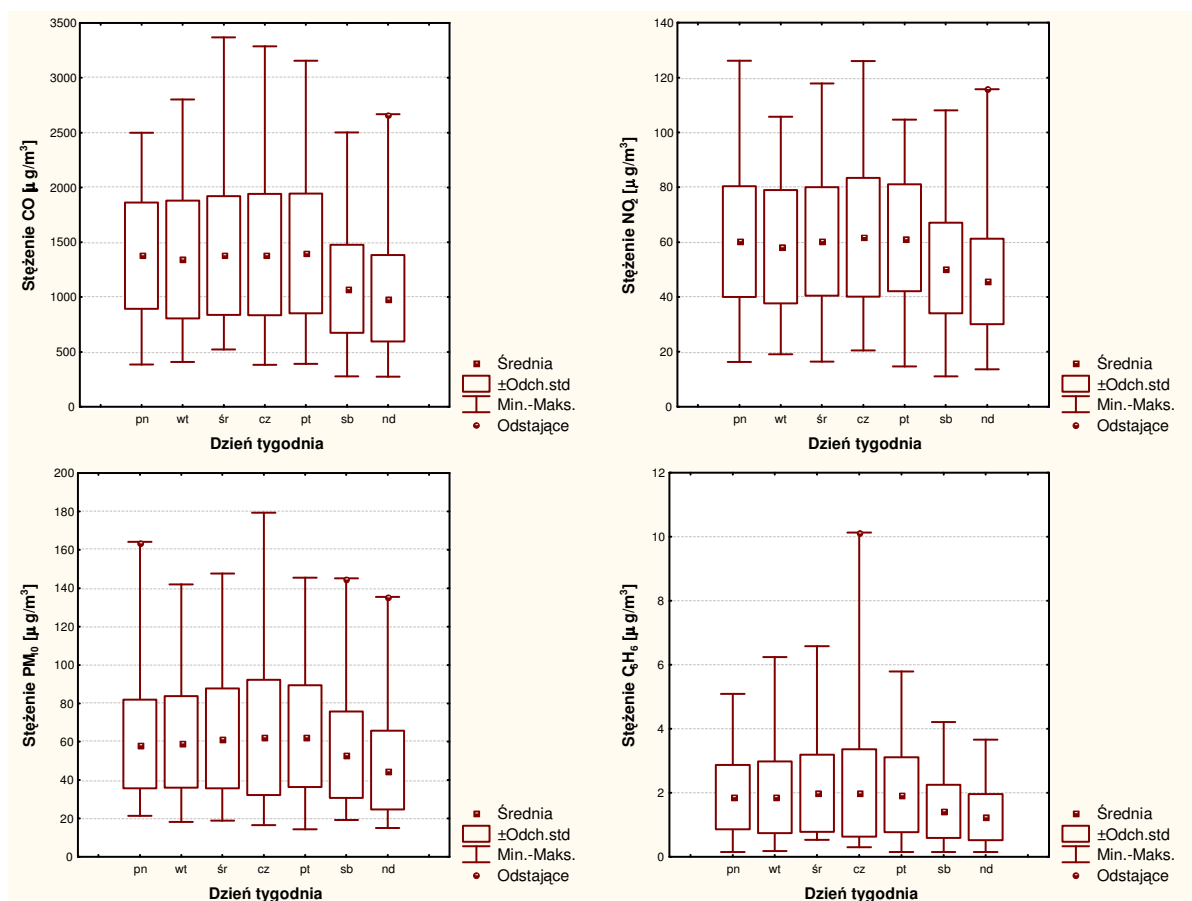
#### **6.4. Analiza poziomów zanieczyszczeń w ujęciu sezonowym**

Poziomy zanieczyszczeń poddano również analizie w ujęciu sezonowym: w sezonie letnim (IV-IX) oraz sezonie grzewczym (X-III). Porównanie rozkładów stężeń poszczególnych zanieczyszczeń na każdej ze stacji (test Kruskala-Wallisa) pozwala (na poziomie istotności  $p < 0,05$ ) odrzucić hipotezę zerową o ich równości.

Wniosek z tego zatem, iż sezonowość ma istotny wpływ na poziom stężeń zanieczyszczeń rejestrowanych przez wszystkie stacje pomiarowe. Okazuje się, iż w sezonie letnim rozkłady stężeń ditlenku azotu, tlenku węgla oraz benzenu we wszystkie dni robocze są zbliżone, co potwierdza brak podstaw do odrzucenia hipotezy o jednorodności rozkładów stężeń odpowiednich zanieczyszczeń (test Kruskala-Wallisa). Hipotezę taką należy natomiast odrzucić w przypadku rozkładów  $PM_{10}$  ( $p < 0,05$ ). Odmienne jest w przypadku analizy sezonu grzewczego – na poziomie  $p < 0,05$  hipoteza o jednorodności rozkładów zostaje odrzucona w przypadku  $NO_2$ , CO oraz  $C_6H_6$ , nie ma natomiast podstaw do jej odrzucenia w przypadku  $PM_{10}$ .

Różne rozkłady stężeń  $PM_{10}$  w poszczególne dni robocze sezonu letniego mogą świadczyć o obecności innych czynników wpływających na zmiany stężeń tego zanieczyszczenia. Poza czynnikami meteorologicznymi może to być intensywniejsze wzniesienie zanieczyszczeń pyłowych, zalegających na powierzchni jezdni, przez ruch pojazdów, czy też ścieranie opon. W sezonie zimowym z kolei częstsze występowanie niski utrzymującej się warstwy inwersyjnej, a więc brak dogodnych warunków do mieszania mas powietrza, jak również podwyższony poziom tła (ze względu na większą emisję zorganizowaną z procesów energetycznych oraz emisję z indywidualnych źródeł ciepła) wpływać może na utrzymywanie się zanieczyszczeń pyłowych na stałym poziomie.

Jak wskazuje na to *Wykres 18* w dni wolne od pracy średnie dobowe natężenie ruchu pojazdów jest wyraźnie niższe w porównaniu z liczbą pojazdów poruszających się po analizowanej arterii w dni robocze. Podobnie w dni wolne stężenia zanieczyszczeń są zdecydowanie niższe od ich poziomów rejestrowanych w pozostałe dni tygodnia (*Wykres 23*). Jednakże zauważyć należy również, iż niedziele charakteryzują się niższymi natężeniami ruchu oraz stężeniami zanieczyszczeń w porównaniu z sobotami. W przypadku wszystkich analizowanych zanieczyszczeń należy odrzucić hipotezę o równości rozkładów ich stężeń pomiędzy poszczególnymi dniami wolnymi (test Kruskala-Wallisa, przy  $p < 0,05$ ). Analiza w ujęciu sezonowym również potwierdza ten wniosek.



**Wykres 23 Średnie stężenia (w µg/m<sup>3</sup>) wybranych zanieczyszczeń (CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) w poszczególne dni tygodnia (na podstawie pomiarów 24-h z lat 2004-2005), rejestrowanych przez stację komunikacyjną. Wartości odstające znajdują się powyżej wartości stanowiącej 1,5·H (H – przedział wyznaczony przez dolną i górną wartość odchylenia standardowego). Liczba pomiarów w ciągu: 700÷712**

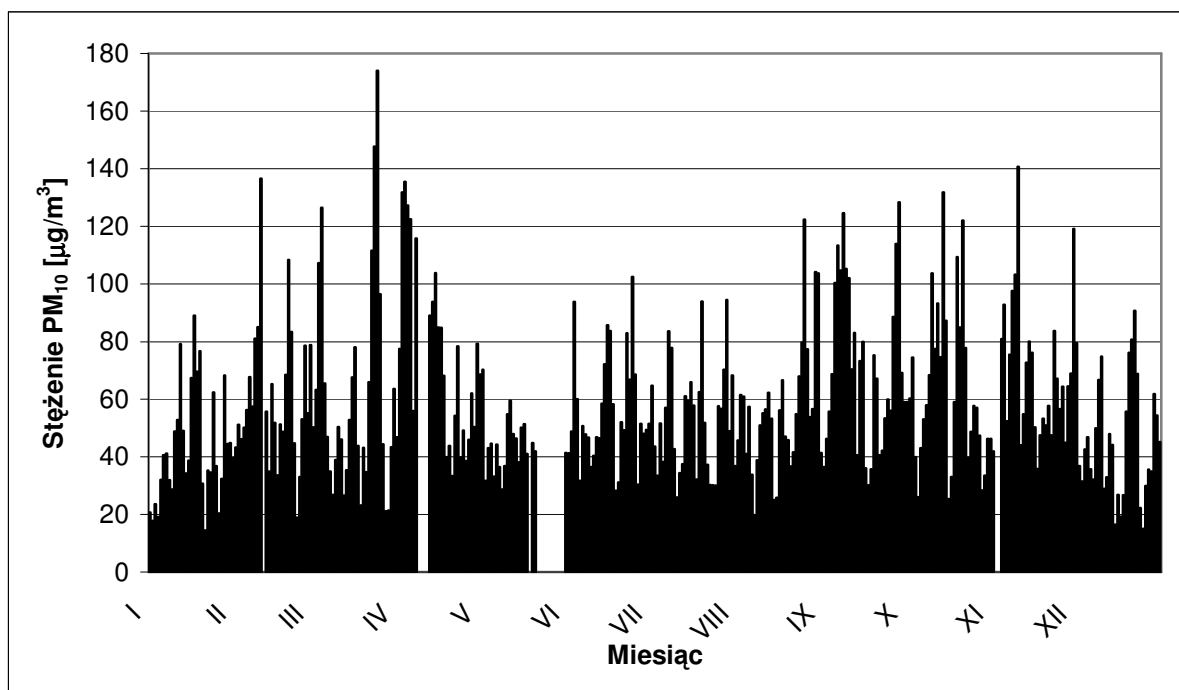
Z analizy średnich poziomów zanieczyszczeń w podziale na sezony (*Tabela 16*) wynika, iż jedynie w przypadku tlenku węgla oraz benzenu są one wyższe w sezonie grzewczym w porównaniu z sezonem letnim.

**Tabela 16 Porównanie podstawowych statystyk opisowych pomiędzy analizowanymi zanieczyszczeniami w sezonie letnim oraz sezonie grzewczym (dotyczy stacji komunikacyjnej WaK). Obliczenia na podstawie średnich 1-h stężeń z lat 2004-2005**

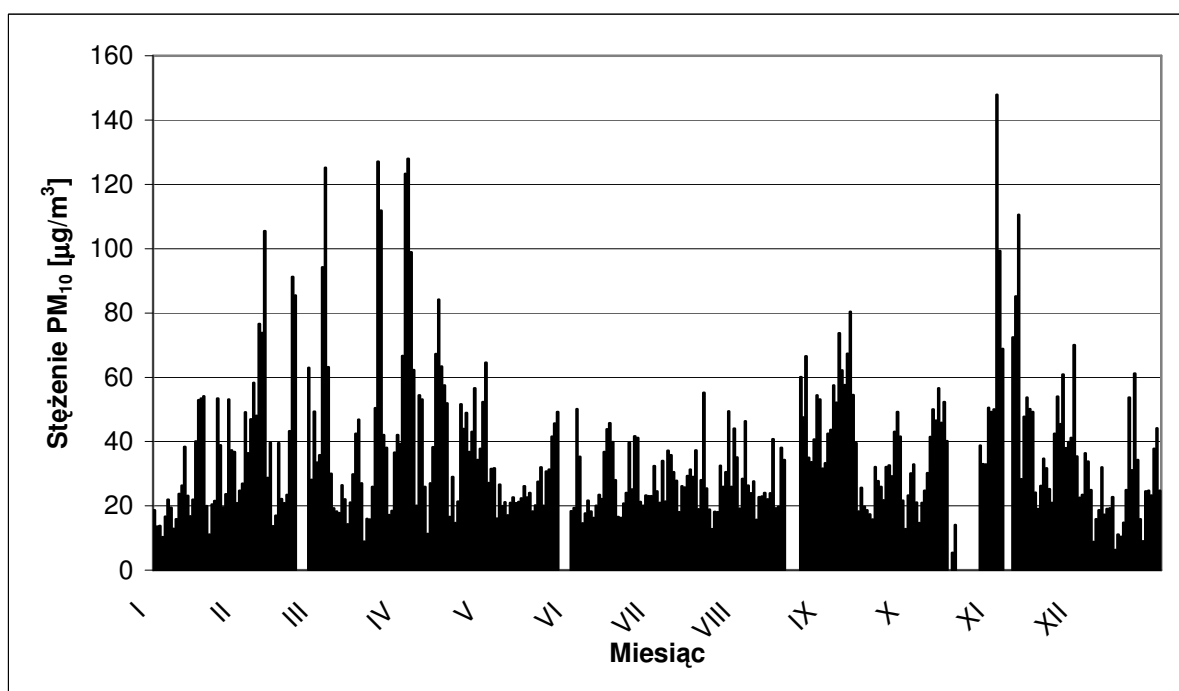
Zanieczyszczenie	Średnia		Odchylenie std.		L. pomiarów w ciągu	
	letni	Grzewczy	letni	grzewczy	letni	grzewczy
CO	1193,6	1368,6	805,8	875,3	8602	8490
NO <sub>2</sub>	61,9	52,0	31,5	28,9	8479	8598
PM <sub>10</sub>	57,9	57,9	34,6	39,2	8471	8650
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1,33	2,20	1,08	1,85	8128	8224

W przypadku pyłów respirabilnych PM<sub>10</sub> średnie stężenia w obu sezonach są co prawda bardzo zbliżone (w zasadzie identyczne), jednak zdecydowanie odmienne ich przebiegi w skali doby warunkują odrzucenie hipotezy o równości rozkładów stężeń w sezonach (należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, iż test Kruskala-Wallisa operuje na porównywaniu median, nie zaś średnich). Należałoby oczekiwać, iż słabsza, aniżeli w sezonie letnim depozycja, utrudnione mieszanie mas powietrza, jak również wspomniana już podwyższona emisja w sezonie grzewczym powinny skutkować wyższymi stężeniami PM<sub>10</sub> w tym okresie. Zaobserwowano jednakże bardzo zbliżone średnie stężenia, przy czym po uwzględnieniu średnich poziomów PM<sub>10</sub> w sezonach w poszczególnych latach (2004 i 2005), otrzymano podobne wyniki (średnie

stężenia w sezonie grzewczym różniły się od poziomów w sezonie letnim o niepełna 5%). W okresie zimowym obserwuje się jednak większą zmienność stężeń  $PM_{10}$ , na co wskazuje wartość odchylenia standardowego (Tabela 16) oraz zaprezentowany wykres rocznego rozkładu średnich dobowych stężeń  $PM_{10}$  (Wykres 24). Posłużono się wynikami pomiarów z roku 2005, zaś dla celów porównawczych zaprezentowano odpowiedni wykres (Wykres 25) ze stacji Warszawa-Targówek (WaT), gdzie podobnie, jak na stacji Warszawa-Ursynów (WaU), różnice średnich stężeń  $PM_{10}$  w sezonach są już zauważalnie wyższe. W innych stacjach monitoringu na terenie Polski, zarówno tła miejskiego, jak i komunikacyjnych, również w okresie grzewczym notuje się wyższe poziomy  $PM_{10}$  w porównaniu z sezonem letnim.



Wykres 24 Przebieg średnich dobowych stężeń  $PM_{10}$  zarejestrowanych w roku 2005 na stacji monitoringu Warszawa-Al. Niepodległości (WaK). Liczba pomiarów w ciągu: 347



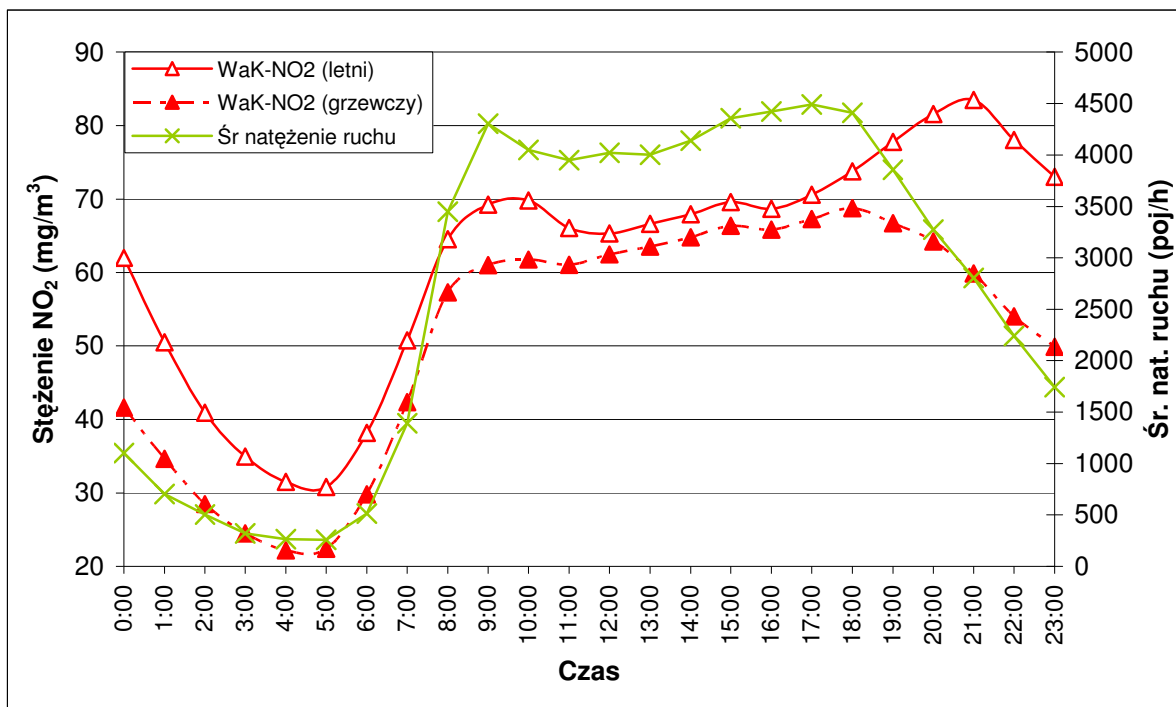
Wykres 25 Przebieg średnich dobowych stężeń  $PM_{10}$  zarejestrowanych w roku 2005 na stacji monitoringu Warszawa-Targówek (WaT). Liczba pomiarów w ciągu: 340

Różnice w poziomach zanieczyszczeń w zależności od pory roku prezentują wykresy zmienności stężeń dla poszczególnych zanieczyszczeń (*Wykres 26, Wykres 27, Wykres 28, Wykres 29*). Dla potrzeb tej pracy, w stosunku do zamieszczonych wykresów stosowany będzie termin dobowego wzorca zmienności. Zauważyć przy tym należy, iż przebiegi dobowych zmian stężeń są podobne, zwłaszcza w przypadku CO, NO<sub>2</sub> oraz C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>. Różnice związane są głównie z innym charakterem przebiegu krzywych w godzinach wieczornych. Wspomniane we wcześniejszym fragmencie przesunięcia maksymalnych stężeń zanieczyszczeń w stosunku do popołudniowego szczytowego natężenia ruchu zdają się mieć miejsce głównie w sezonie letnim, przy czym jest to szczególnie widoczne w przypadku NO<sub>2</sub> i PM<sub>10</sub>.

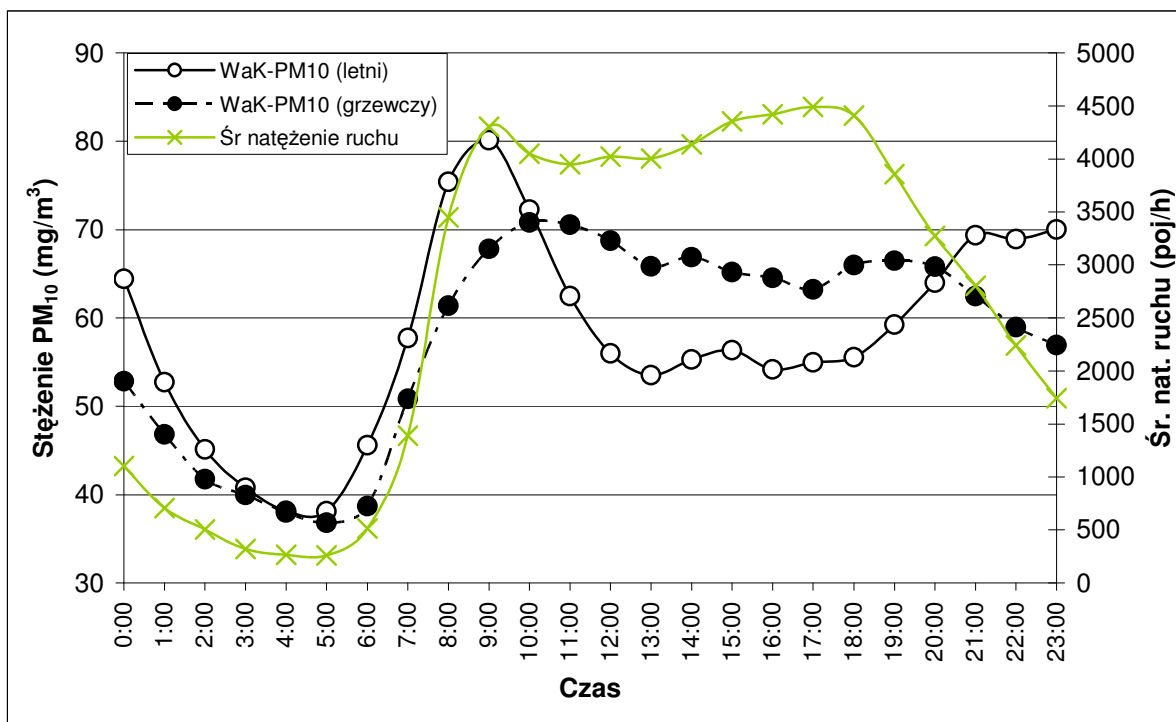
Zauważyć należy (*Wykres 29*), iż w przypadku benzenu, mimo bardzo zbliżonego charakteru przebiegów dobowych stężeń C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> w sezonie grzewczym i letnim, istnieje znaczna różnica (w porównaniu z pozostałymi zanieczyszczeniami) pomiędzy wartościami stężeń w sezonach. Ze względu na stosunkowo niską reaktywność benzenu jego wyraźnie niższe stężenia w okresie letnim mogą wynikać ze sprzyjających warunków dyspersji. Ponadto, przy założeniu, że ilość pojazdów poruszająca się w sąsiedztwie stacji monitoringu jest zbliżona w sezonie letnim i grzewczym, można uznać, że jedną z przyczyn wyższych poziomów benzenu w okresie zimowym jest większe zużycie paliwa, a w efekcie większa emisja (podobnie może być w przypadku tlenku węgla).

W pobliżu ciągów komunikacyjnych występuje znaczna emisja tlenku azotu, który w wyniku reakcji titracji reaguje z ozonem tworząc ditlenek azotu. Jak wskazuje *Zwoździak J. i in. [15]*, reakcja ta jest szybsza od innych reakcji transformacji związków azotu w powietrzu i nawet reakcja fotodysocjacji ditlenku azotu, zachodząca w warunkach silnego nasłonecznienia, nie pozwala na odtworzenie strat ozonu i tlenku azotu. Z uwagi na fakt, iż ozon jest m.in. produktem cyklu reakcji fotochemicznych, w okresie letnim poziomy ozonu są wyższe (potwierdzają to wyniki pomiarów monitoringu). W efekcie więcej tlenku azotu reaguje z ozonem, rezultatem czego w sąsiedztwie ruchliwych ulic stężenia ditlenku azotu, jak prezentuje *Tabela 16* i *Wykres 26*, są wyższe w sezonie letnim w porównaniu do sezonu grzewczego. Jednocześnie rejestruje się w tych miejscach niższe poziomy ozonu w porównaniu ze stacjami tła – w stacji monitoringu w centralnej części Warszawy (przy ul. Kruczej) średnie stężenie ozonu w sezonie grzewczym (dane dla lat 2004÷2005) wyniosło 29,6 µg/m<sup>3</sup> zaś w sezonie letnim 54,2 µg/m<sup>3</sup>. W tym samym okresie w stacji tła miejskiego (Warszawa-Ursynów) oraz stacjach tła regionalnego (Legionowo oraz Granica) notowano poziomy od 37,2÷45,3 µg/m<sup>3</sup> w sezonie grzewczym do 60,3÷61,5 µg/m<sup>3</sup> w sezonie letnim.

Analogiczna sytuacja jeśli chodzi o poziomy ditlenku azotu, obserwowana jest w stacjach komunikacyjnych w innych miastach – w okresie letnim wyższe stężenia NO<sub>2</sub> rejestrowane są w Krakowie i Wrocławiu, natomiast w Szczecinie wyższy poziom ditlenku azotu występuje co prawda w sezonie grzewczym, jednakże różnice stężeń są nieznaczne. W stacjach tła miejskiego, w tym również we wspomnianych powyżej miastach (Krakowie, Szczecinie i Wrocławiu), wyższe poziomy NO<sub>2</sub> obserwuje się w okresie grzewczym (dane dotyczą tylko roku 2005).

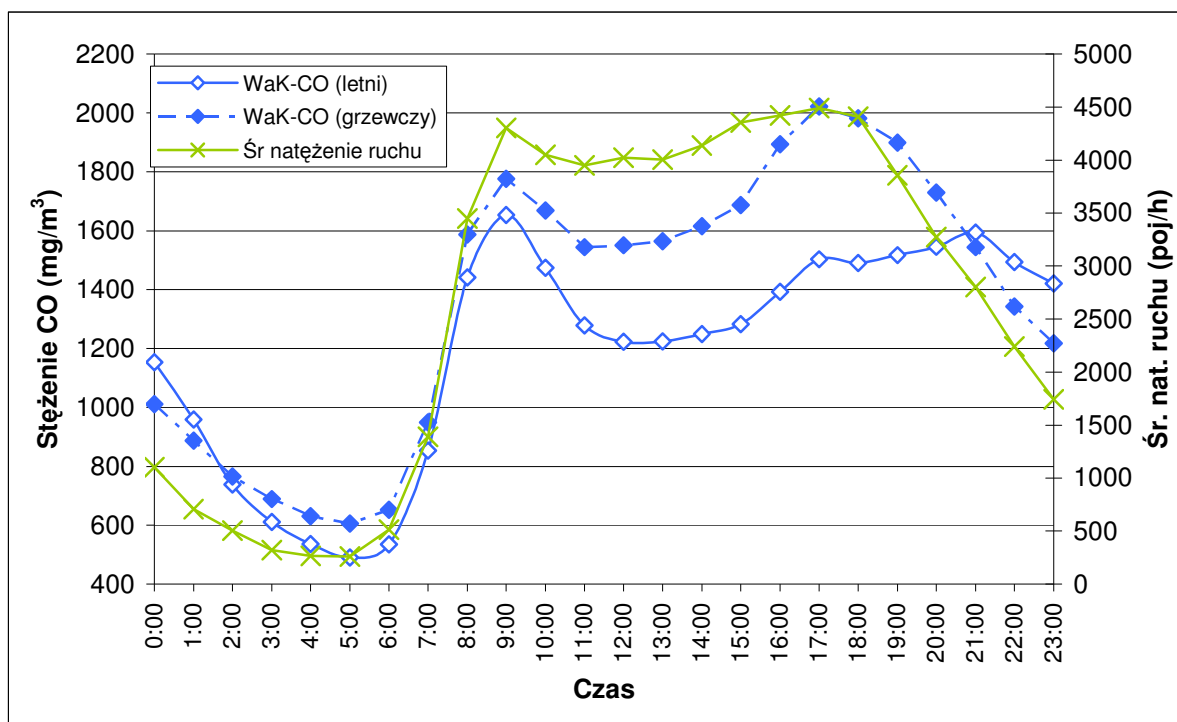


Wykres 26 Dobowy wzorek zmienności stężeń NO<sub>2</sub> (na podstawie pomiarów z lat 2004-2005) dla stacji komunikacyjnej (WaK) wraz z uśrednionym natężeniem ruchu pojazdów

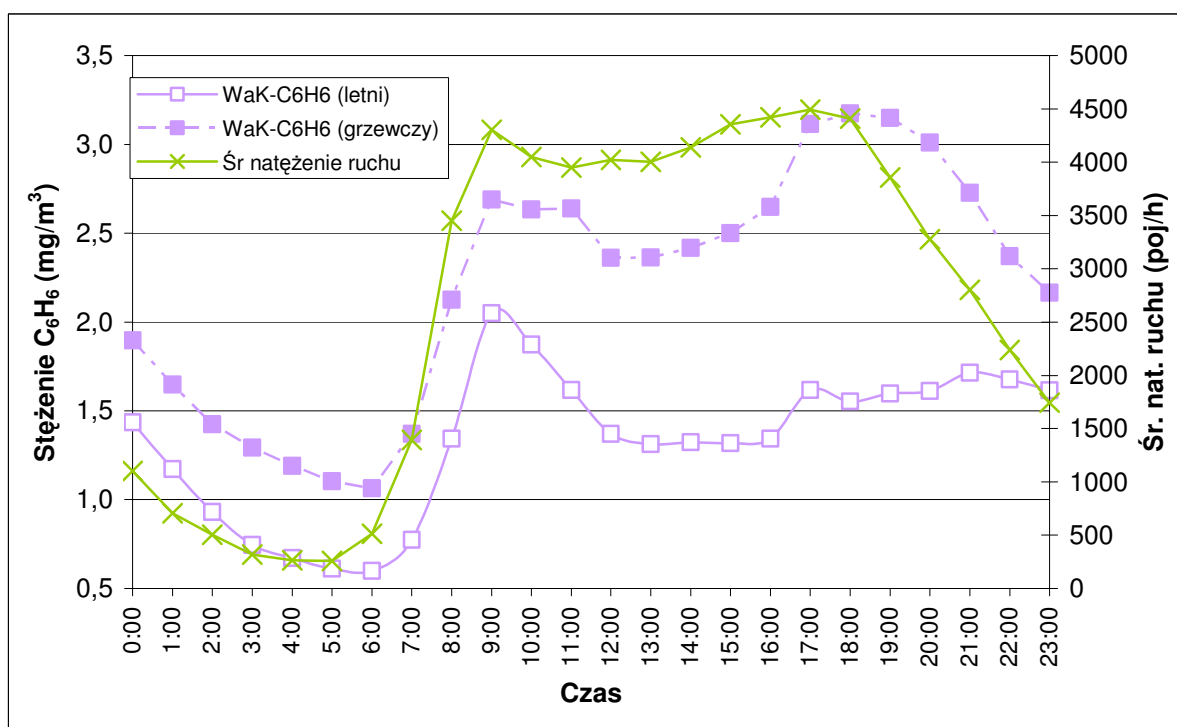


Wykres 27 Dobowy wzorek zmienności stężeń PM<sub>10</sub> (na podstawie pomiarów z lat 2004-2005) dla stacji komunikacyjnej (WaK) wraz z uśrednionym natężeniem ruchu pojazdów





Wykres 28 Dobowy wzorek zmienności stężeń CO (na podstawie pomiarów z lat 2004-2005) dla stacji komunikacyjnej (WaK) wraz z uśrednionym natężeniem ruchu pojazdów



Wykres 29 Dobowy wzorek zmienności stężeń C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (na podstawie pomiarów z lat 2004-2005) dla stacji komunikacyjnej (WaK) wraz z uśrednionym natężeniem ruchu pojazdów

O podobieństwie przebiegów poszczególnych zanieczyszczeń w sezonie letnim oraz grzewczym świadczą współczynniki korelacji (przy  $p < 0,05$ ) obliczone pomiędzy nimi dla uśrednionych w odpowiednich godzinach poziomów zanieczyszczeń. Kształtują się one na bardzo wysokim poziomie (Tabela 17), przy czym zauważyć należy, iż w przypadku PM<sub>10</sub> korelacja ta nie jest tak silna, jak w przypadku pozostałych zanieczyszczeń, co potwierdzają różne rozkłady stężeń tego zanieczyszczenia w sezonach.

Przy uwzględnieniu w analizach jedynie dni roboczych, otrzymuje się jeszcze większą zgodność (Tabela 18).

**Tabela 17 Współczynniki korelacji pomiędzy dobowymi przebiegami średnich stężeń wybranych zanieczyszczeń w zależności od sezonu**

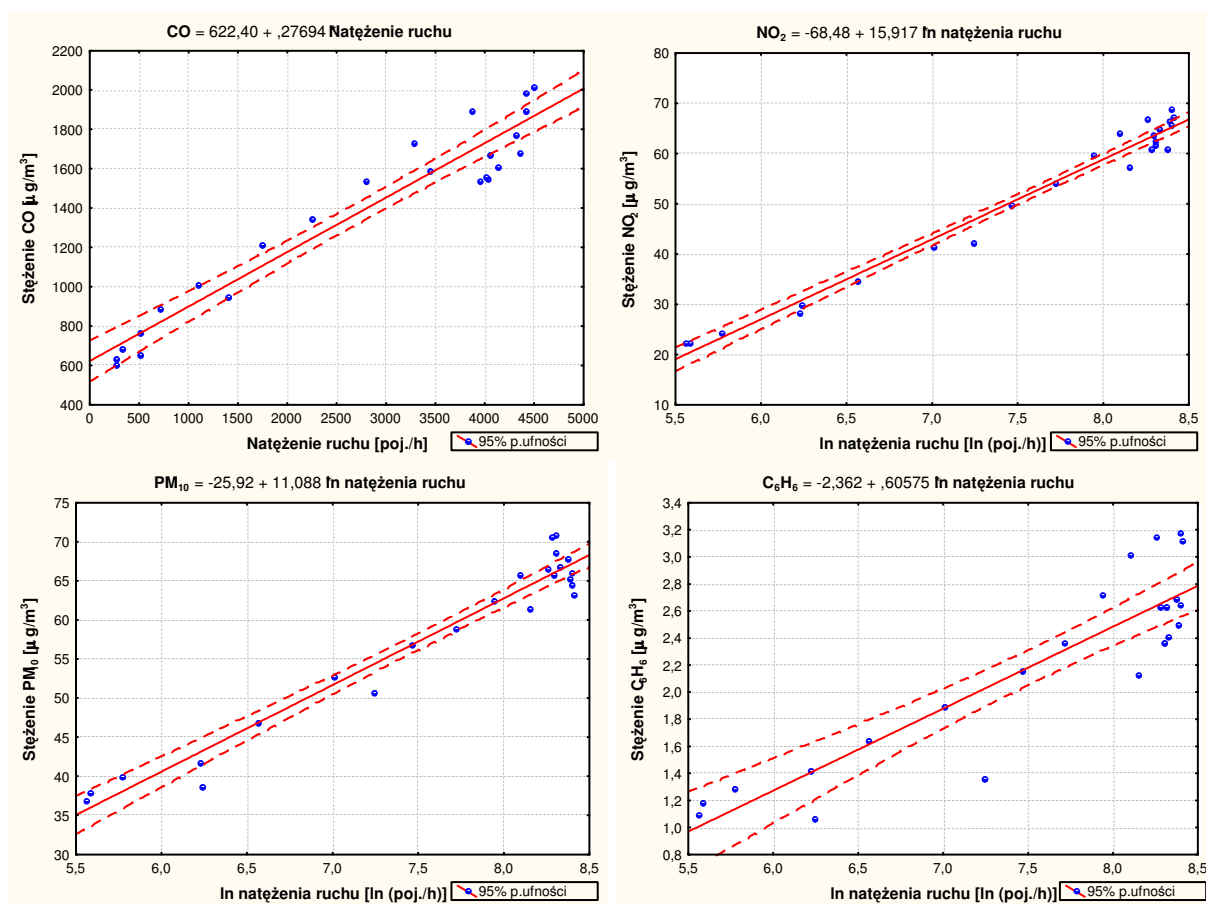
		Sezon letni			
		CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Sezon grzewczy	CO	0,90			
	NO <sub>2</sub>		0,91		
	PM <sub>10</sub>			0,69	
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>				0,87

**Tabela 18 Współczynniki korelacji pomiędzy dobowymi przebiegami średnich stężeń wybranych zanieczyszczeń w zależności od sezonu (z uwzględnieniem jedynie dni roboczych)**

		Sezon letni			
		CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Sezon grzewczy	CO	0,94			
	NO <sub>2</sub>		0,95		
	PM <sub>10</sub>			0,80	
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>				0,91

Jak wynika z przedstawionych powyżej wykresów, prezentujących dobowy przebieg zmienności stężeń zanieczyszczeń w latach 2004-2005 z uwzględnieniem podziału na sezony, charakter zmian poziomów zanieczyszczeń w skali doby jest bardzo zbliżony. W przypadku ditlenku azotu, tlenku węgla oraz benzenu różnice, za wyjątkiem samej wysokości rejestrowanych stężeń, dotyczą rozbieżności przebiegu krzywych zanieczyszczeń w godzinach od 17:00÷18:00 do 21:00. W przypadku frakcji pyłowej PM<sub>10</sub>, co potwierdzają niższe współczynniki korelacji, dobowa zmienność stężeń w obu sezonach wykazuje odmienny przebieg począwszy już od godziny 08:00. Wynika to z faktu, iż spalanie paliw w silnikach pojazdów nie stanowi jedynego źródła zanieczyszczeń pyłowych występujących wzdłuż arterii komunikacyjnych, choć niewątpliwie jest to źródło o znaczącym udziale. Wpływ na zmiany rejestrowanych poziomów PM<sub>10</sub> ma również wzbijanie kurzu i pyłu zalegającego na jezdni przez poruszające się pojazdy, czy też ścieranie opon i elementów ciernych układów hamulcowego i sprzęgłowego.

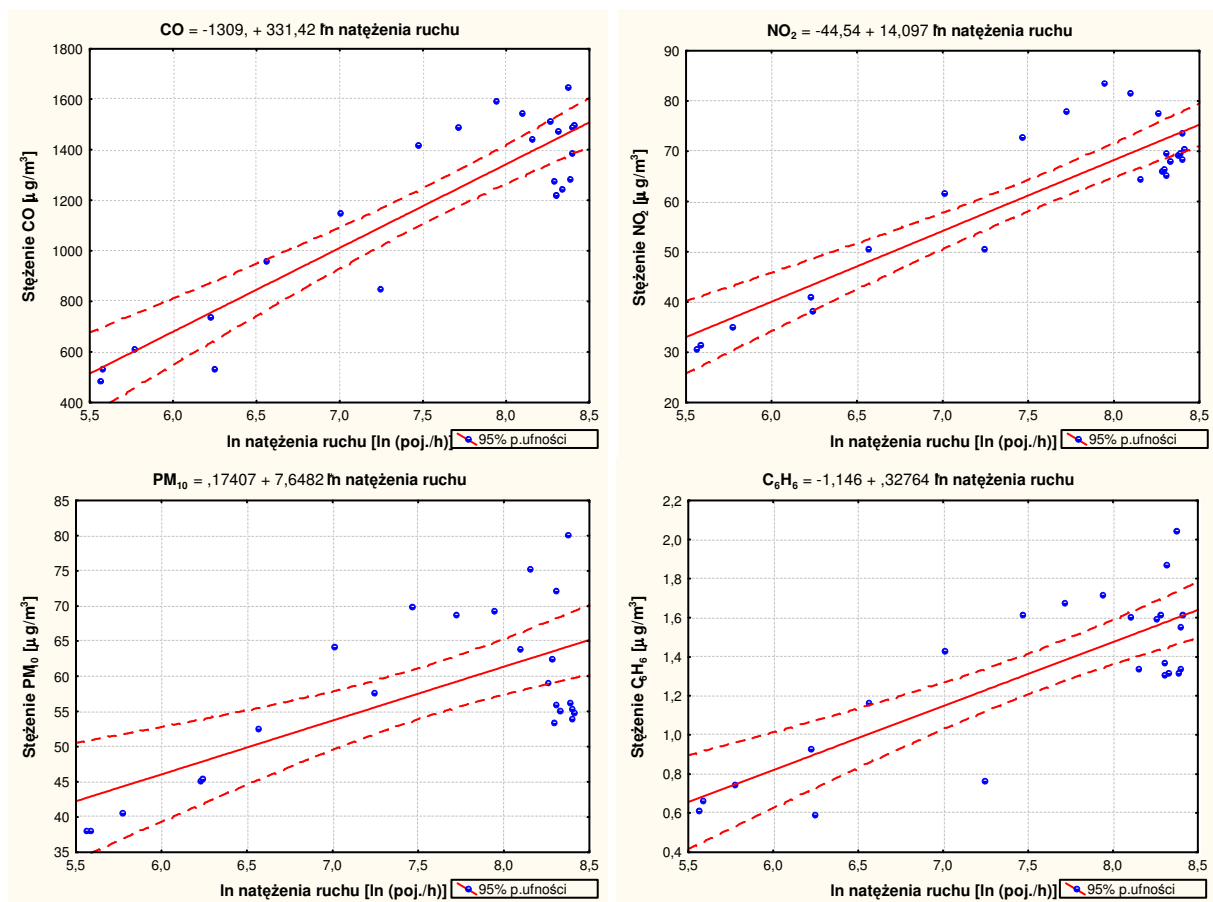
Generalnie zauważyć można, iż w sezonie grzewczym notuje się silniejszą zgodność zmian natężenia ruchu pojazdów i stężeń zanieczyszczeń komunikacyjnych w porównaniu z sezonem letnim, co prezentują Wykres 30 i Wykres 31. Zwrócić również należy uwagę, iż zależności logarytmiczne stanowią lepsze odzwierciedlenie relacji pomiędzy omawianymi zmiennymi w porównaniu z aproksymacją liniową. Świadczą o tym wartości statystyk C<sub>p</sub> Mallowa oraz współczynniki R<sup>2</sup> (Tabela 19, Tabela 20). Wyjątek w tym zakresie stanowi jedynie zależność pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniem tlenku węgla w okresie grzewczym – w tym przypadku zależność liniowa nieznacznie dokładniej opisuje relacje między tymi zmiennymi.



Wykres 30 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu (natężeniem ruchu w przypadku CO) a stężeniami wybranych zanieczyszczeń w okresach grzewczych w latach 2004-2005

Tabela 19 Statystyki C<sub>p</sub> Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń w okresie grzewczym

		CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Natężenie ruchu	C <sub>p</sub>	<b>4,14</b>	58,11	29,00	4,13
	R <sup>2</sup>	<b>0,93</b>	0,93	0,90	0,79
ln natężenia ruchu	C <sub>p</sub>	12,36	<b>4,51</b>	<b>1,52</b>	<b>1,99</b>
	R <sup>2</sup>	0,91	<b>0,98</b>	<b>0,95</b>	<b>0,81</b>



**Wykres 31 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń w okresach letnich w latach 2004-2005**

**Tabela 20 Statystyki  $C_p$  Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń w okresie letnim**

		CO	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Natężenie ruchu	$C_p$	22,82	41,49	25,91	10,21
	$R^2$	0,67	0,61	0,27	0,54
ln natężenia ruchu	$C_p$	<b>4,54</b>	<b>12,15</b>	<b>14,05</b>	<b>2,54</b>
	$R^2$	<b>0,81</b>	<b>0,80</b>	<b>0,46</b>	<b>0,66</b>

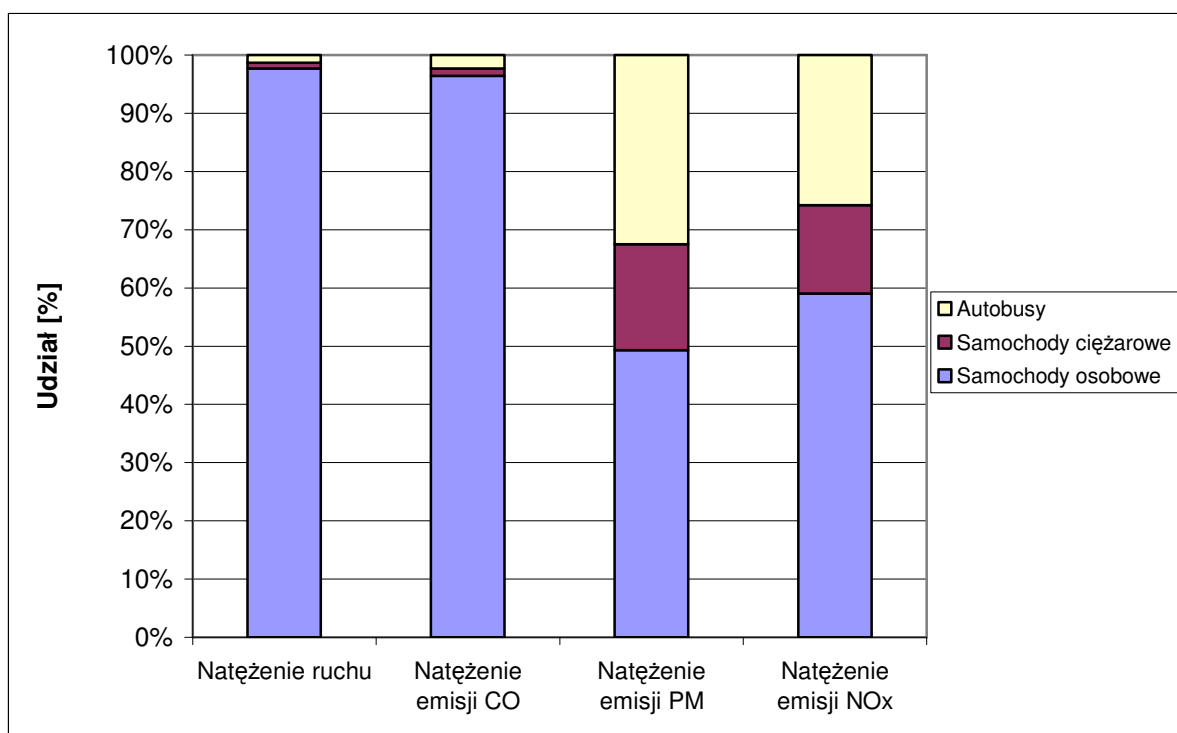
Z przedstawionego powyżej materiału wypływa wniosek, iż emisja zanieczyszczeń z pojazdów wzdłuż Al. Niepodległości stanowi zdecydowanie dominujące źródło emisji, czego potwierdzeniem może być bardzo wysoka zgodność uśrednionego dobowego przebiegu stężeń zanieczyszczeń na tle zmian natężenia ruchu w sezonie grzewczym, gdy dodatkowym źródłem emisji są lokalne systemy grzewcze (tego typu źródła emisji nie występują w otoczeniu stacji komunikacyjnej).

Fakt natomiast, iż w okresie grzewczym notowane są średnio wyższe poziomy tlenku węgla i benzenu wynikać może ze zwiększonego zapotrzebowania pojazdów na paliwo, niższych średnich prędkości ruchu (najczęściej z uwagi na mniej sprzyjające warunki atmosferyczne), a w efekcie na podwyższoną emisję zanieczyszczeń. W okresie letnim większą rolę odgrywać mogą czynniki meteorologiczne wpływające na zmiany rejestrowanych poziomów zanieczyszczeń oraz przemiany chemiczne związane z fotolitycznym cyklem azotu, wpływające na wyraźny wzrost stężenia NO<sub>2</sub> w godzinach wieczornych. Stąd większa zmienność stężeń zanieczyszczeń, wynikająca z innych, aniżeli natężenie ruchu, czynników, a więc również nieco słabsza zależność pomiędzy zmianami natężenia ruchu pojazdów a przebiegiem stężeń poszczególnych zanieczyszczeń.

## 6.5. Struktura ruchu pojazdów i ich udział w emisji zanieczyszczeń

Z przedstawionych wcześniej danych pomiarowych (Tabela 7) wynika, iż dominujący udział w całkowitym natężeniu ruchu pojazdów w przekroju Al. Niepodległości w Warszawie mają samochody osobowe. W ogólnej liczbie pojazdów poruszających się tą arterią komunikacyjną stanowią one ponad 97% natężenia ruchu, zarówno w dni robocze, jak i wolne od pracy. Wyraźny spadek ogólnego natężenia ruchu notowany jest w dni wolne od pracy – udział całkowitego dobowego natężenia ruchu w sobotę w stosunku do średniego natężenia ruchu w dni robocze wynosi 66%, zaś w przypadku niedzieli jest to 53%. W podziale na kategorie pojazdów, proporcje te pozostają zbliżone, choć zauważyć należy, że udział samochodów ciężarowych w ogólnym natężeniu ruchu pojazdów w niedzielę jest znikomy – wyniki testu serii Walda-Wolfowitza ( $p < 0,05$ ) pozwalają na odrzucenie hipotezy o równości rozkładów natężenia ruchu tych pojazdów w sobotę oraz w niedzielę, przy czym w przypadku pozostałych kategorii pojazdów brak jest podstaw do odrzucenia takiej hipotezy.

W dni wolne nieznacznie wzrasta udział autobusów, co wynika z faktu, iż liczba kursujących autobusów w dni wolne jest jedynie o 25% mniejsza w porównaniu z dniami roboczymi. Nieco inaczej na tym tle przedstawia się natężenie emisji produktów spalania paliw, zależne od natężenia ruchu pojazdów, ich średniej prędkości oraz rodzaju pojazdu. Z obliczeń, wykonanych z zastosowaniem metodyki prof. Zdzisława Chłopka z Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej, wynika, że udział w emisji tlenku węgla w ramach poszczególnych kategorii pojazdów jest zbliżony do ich udziału w całkowitym natężeniu ruchu. Zdecydowanie odmiennie jest jednakże w przypadku natężenia emisji tlenków azotu oraz zanieczyszczeń pyłowych. Natężenie emisji  $NO_x$  w przypadku samochodów osobowych to niespełna 60% całkowitego natężenia emisji tlenków azotu, natomiast w przypadku zanieczyszczeń pyłowych udział ten jest jeszcze mniejszy i nie przekracza 50%. Zależności z tym związane prezentuje Wykres 32.

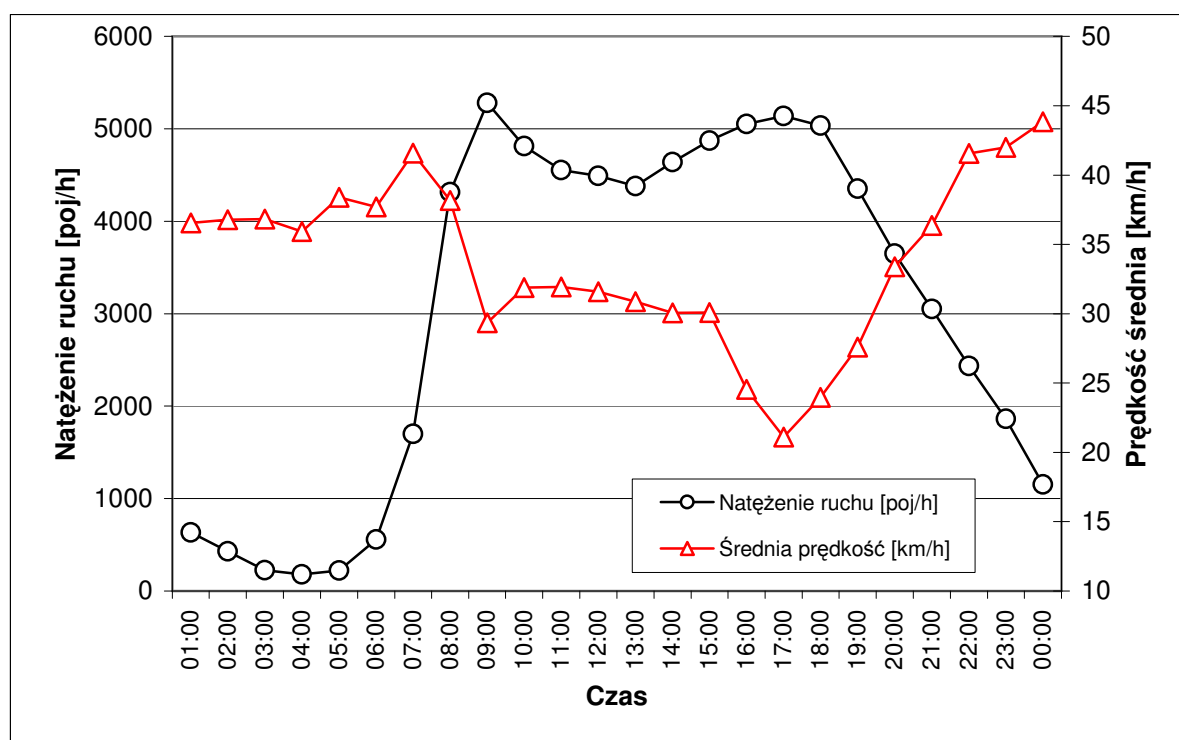


Wykres 32 Udział poszczególnych kategorii pojazdów w natężeniu emisji oraz ogólnym natężeniu ruchu w Al. Niepodległości w dni robocze

Mimo stosunkowo niewielkiej ilości autobusów oraz samochodów ciężarowych, jakie w ciągu doby poruszają się analizowaną arterią, ich udział w natężeniu emisji tlenków azotu oraz zanieczyszczeń pyłowych jest znaczący. Świadczyć o tym mogą również w pewnym stopniu współczynniki korelacji przedstawione we wcześniejszej części pracy (Tabela 8), które nie

uwzględniają struktury ruchu, a jedynie sumaryczną liczbę pojazdów, które przekroczyły przekrój pomiarowy. Z tego względu są one stosunkowo wysokie w przypadku tlenku węgla, na którego natężenie emisji rodzaj pojazdu zdaje się najmniej wpływać, niższe zaś w przypadku ditlenku azotu, czy  $PM_{10}$ , w przypadku których przejazd niewielkiej liczby pojazdów ciężarowych i autobusów sprzyja wzrostowi emisji w czasie. Częściowo fakt ten wynikać może również z niższej, aniżeli w przypadku samochodów osobowych średniej prędkości ruchu tych pojazdów, co wpływa na większe natężenie emisji zanieczyszczeń komunikacyjnych. Emisja zanieczyszczeń z pojazdów jest bowiem wrażliwa na zmiany warunków ruchu. Według danych przytaczanych przez *Kellera M. i in. [88]* oraz *Chłopka Z. [3, 23, 24]* jazda na zatłoczonych ulicach, a więc z niskimi prędkościami średnimi sprzyja znacznemu zwiększeniu się zużycia paliwa (przekraczającego  $20 \text{ dm}^3$  w przeliczeniu na 100 km), a w efekcie również zanieczyszczeń komunikacyjnych: tlenku węgla, węglowodorów, a w przypadku silników o zapłonie samoczynnym również cząstek stałych.

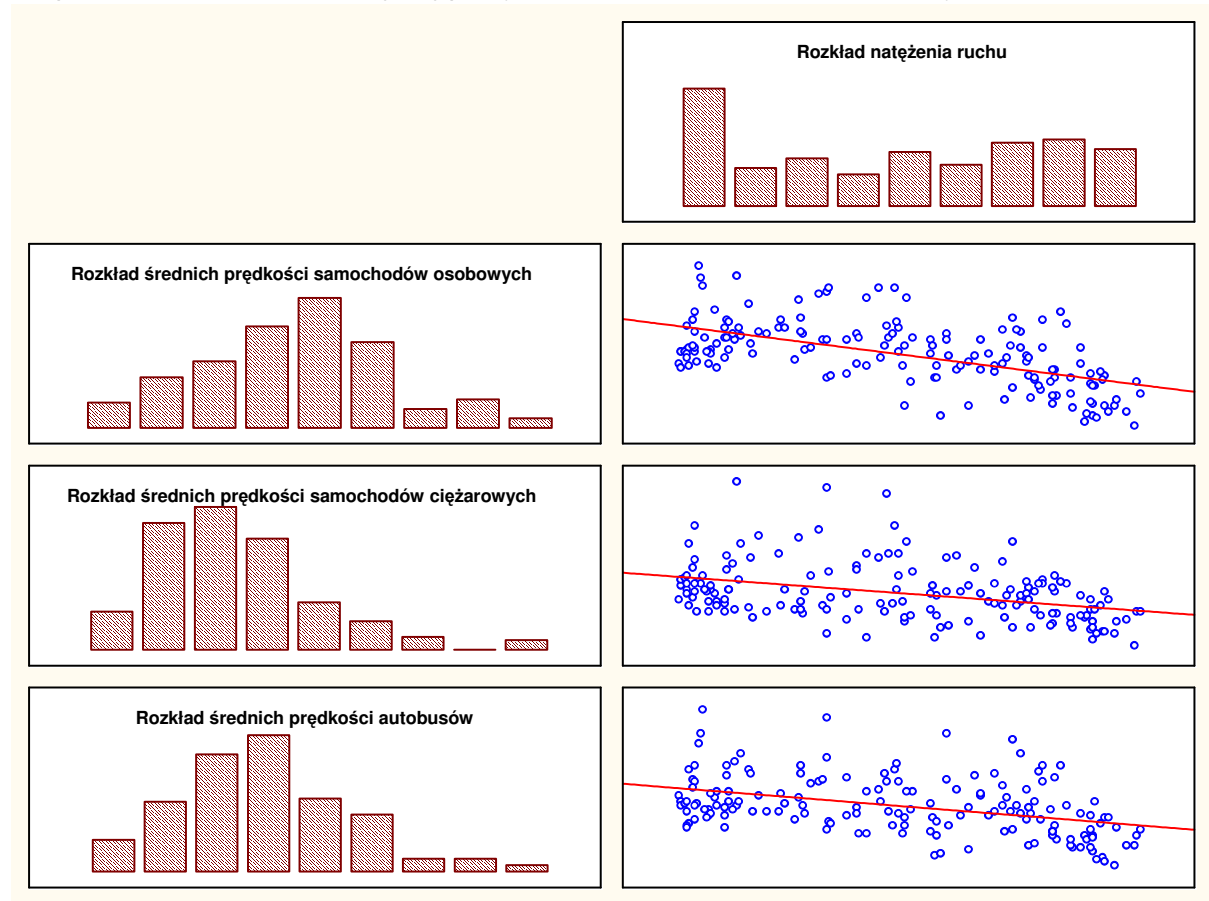
Dla celów obliczenia natężenia emisji z poszczególnych grup pojazdów dokonano również pomiarów czasu przejazdu odcinka Al. Niepodległości pomiędzy ulicami Nowowiejską a Wawelską (długość 350 m), dzięki czemu możliwe było określenie średniej prędkości ruchu pojazdów. Pewna niedokładność tego pomiaru wynikała z faktu, iż nie było możliwości dokonania pomiaru czasu przejazdu każdego pojazdu – na każdej z jezdni dokonywano pomiaru czasu przejazdu samochodów osobowych z krokiem czasowym 2 minuty, zaś w grupie samochodów ciężarowych i autobusów pomiar obejmował wszystkie pojazdy (z uwzględnieniem jezdni wschodniej i zachodniej). Analiza zależności pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów w omawianym okresie pomiarowym (*Wykres 33*) a ich średnią prędkością wykazała, iż w grupie samochodów osobowych istnieje istotna statystycznie ( $p < 0,05$ ) i stosunkowo wyraźna korelacja ujemna pomiędzy tymi wielkościami, wynosząca od -0,58 do -0,61 (zależnie od analizowanego kierunku jazdy).



**Wykres 33 Zmiany średniej prędkości pojazdów osobowych na tle natężenia ruchu**

W grupie samochodów ciężarowych oraz autobusów, korelacje te nie są tak silne i wahają się w granicach -0,35 do -0,41, są jednak istotne statystycznie przy  $p < 0,05$ . Wynika to najpewniej z faktu, iż w okresach niewielkiego natężenia ruchu kierowcy samochodów osobowych rozwijają wyższe prędkości. Kierowcy natomiast pozostałych grup pojazdów poruszają się raczej w niższych przedziałach prędkości, nawet gdy stopień wypełnienia arterii jest relatywnie niewielki (zależności te przedstawiają *Wykres 34* i *Tabela 21*). Począwszy dopiero od pewnego

granicznego natężenia ruchu liczba pojazdów poruszających się w jednostce czasu w ciągu analizowanej arterii komunikacyjnej zaczyna mieć wpływ na kształtowanie się średniej prędkości ruchu pojazdów, dochodząc w pewnym momencie do poziomu bliskiego zero, gdy przepustowość danego odcinka jezdni lub skrzyżowania nie pozwala na obsłużenie takiej ilości pojazdów, jaka dociera do początku tegoż odcinka lub skrzyżowania np. w czasie trwania jednego cyklu sygnału zielonego. Wartość tak sformułowanego granicznego natężenia ruchu można oszacować stosując model bilansowy. Problematyka ta nie wiąże się jednakże bezpośrednio z tematem niniejszej pracy i może stanowić materiał do dalszych badań.



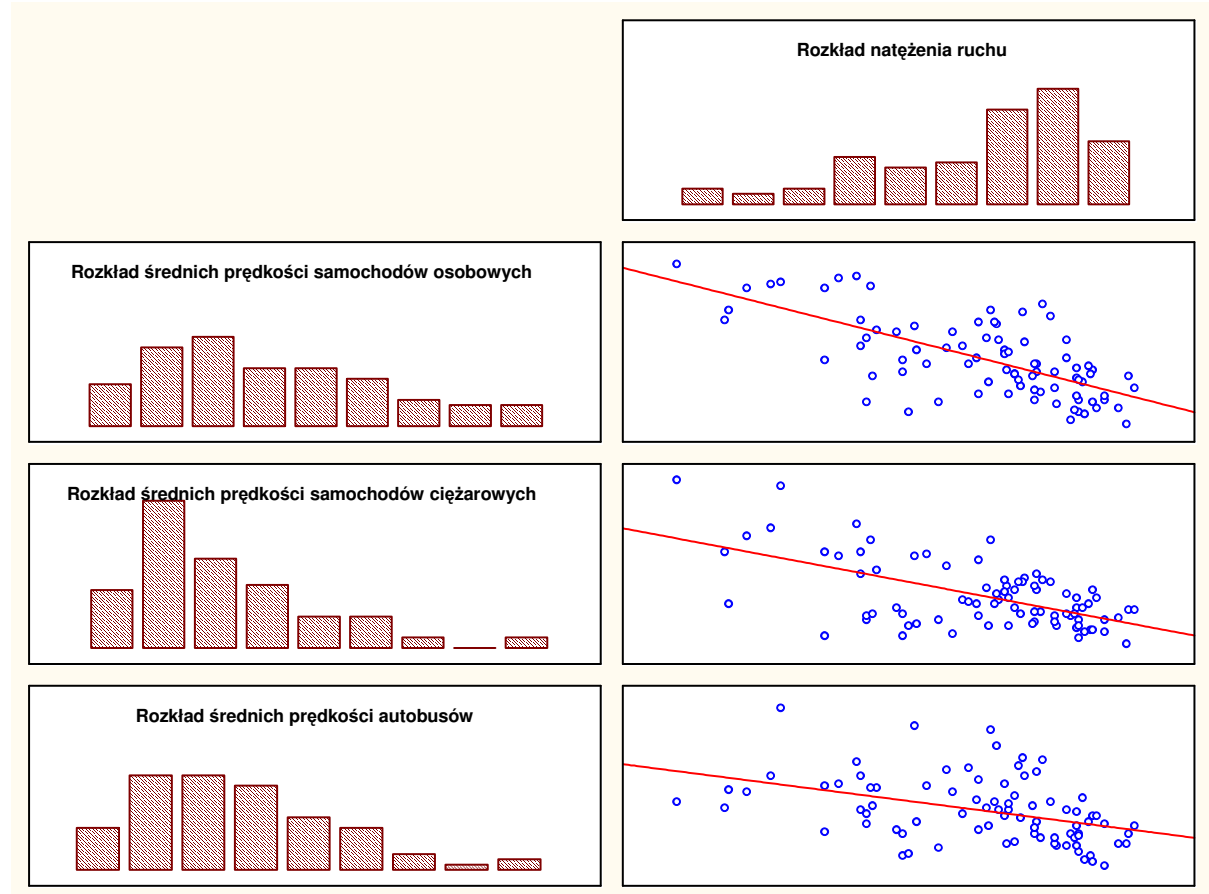
**Wykres 34** Rozkłady natężenia ruchu oraz średnich prędkości (z uwzględnieniem kategorii pojazdów) wraz z wykresami rozrzutu (na podstawie pomiarów na jezdni zachodniej)

**Tabela 21** Współczynniki korelacji pomiędzy ogólnym natężeniem ruchu (z uwzględnieniem podziału na jezdnie) a średnimi prędkościami poszczególnych kategorii pojazdów

Natężenie ruchu	Prędkość średnia w poszczególnych kategoriach		
	Samochody osobowe	Samochody ciężarowe	Autobusy
Jezdnia zachodnia	-0,58	-0,38	-0,41
Jezdnia wschodnia	-0,61	-0,35	-0,38

Ze względu na fakt, iż przy większych natężeniach ruchu pojazdów ich liczba zaczyna kształtować średnią prędkość ruchu, silniejszą ujemną zależność korelacyjną pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a średnią ich prędkością zaobserwować można w okresie począwszy od porannego szczytu komunikacyjnego do zakończenia szczytu popołudniowego, a więc w godzinach 07:00 do 19:00, na który to okres przypada średnio 70% i 78% całodobowego natężenia ruchu odpowiednio w dni wolne od pracy oraz w dni robocze. Korelacje wahają się między -0,68 a -0,73 w grupie samochodów osobowych i -0,42 a -0,69 w kategorii autobusów i samochodów ciężarowych (wszystkie istotne przy  $p < 0,05$ ). Ilustracją tych zależności są Wykres 35 i Tabela 22. W tych godzinach w pewnym stopniu to natężenie ruchu kształtuje średnią prędkość pojazdów i brak jest możliwości swobodnego wyboru prędkości, z jaką będzie

się poruszać pojazd, co z kolei jest możliwe w godzinach wieczornych i nocnych, gdy ilość pojazdów poruszających się w sieci drogowej jest niewielka. Odnosząc warunki panujące w Al. Niepodległości do pojęcia „zatoru komunikacyjnego” („congestion”) stosowanego w Anglii (zdefiniowanego jako sytuację, w której pojazdy nie są w stanie rozwijać prędkości wyższej aniżeli 70% prędkości dopuszczalnej na danej drodze) stwierdza się, iż w dni robocze średnia prędkość pojazdów (ważona liczbą pojazdów w każdej z kategorii) w godzinach od 08:00 do 19:00 (niekiedy 20:00) nie przekracza 35 km/h, tj. 70% prędkości dopuszczalnej. Biorąc z kolei pod uwagę termin „poważnego zatoru komunikacyjnego” („severe congestion”), a więc sytuację, gdy pojazdy nie są w stanie rozwijać prędkości wyższej aniżeli 50% prędkości dopuszczalnej na danej drodze, stwierdza się, że warunki takie panują w dni robocze w godzinach popołudniowego szczytu komunikacyjnego, tj. w godzinach od około 15:00÷16:00 do około 18:00÷19:00



**Wykres 35** Rozkłady natężenia ruchu oraz średnich prędkości (z uwzględnieniem kategorii pojazdów) wraz z wykresami rozrzutu (na podstawie pomiarów na jezdni zachodniej) w godzinach 07:00-19:00

**Tabela 22** Współczynniki korelacji pomiędzy ogólnym natężeniem ruchu w godzinach 07:00-19:00 (z uwzględnieniem podziału na jezdnie) a średnimi prędkościami poszczególnych kategorii pojazdów

Natężenie ruchu	Prędkość średnia w poszczególnych kategoriach		
	Samochody osobowe	Samochody ciężarowe	Autobusy
Jezdnia zachodnia	-0,68	-0,60	-0,42
Jezdnia wschodnia	-0,73	-0,69	-0,54

## 6.6. Model regresyjny

Omówione powyżej analizy wskazują na wysoki i istotny statystycznie wpływ natężenia ruchu pojazdów w ciągu Al. Niepodległości w Warszawie na poziom zanieczyszczenia powietrza w sąsiedztwie tej arterii komunikacyjnej. W celu precyzyjnego wyrażenia mechanizmu powiązania



między tymi wielkościami, na podstawie danych zebranych podczas pomiarów ruchu, oszacowano modele regresji prostej dla każdego z analizowanych zanieczyszczeń osobno. Równania, wraz z zaznaczeniem współczynnika determinacji, przedstawiono poniżej (równanie 6.1).

$$CO = 0,249 \cdot N + 785,954 \quad (R^2=0,448)$$

$$NO_2 = 0,012 \cdot N + 34,335 \quad (R^2=0,442)$$

$$PM_{10} = 0,005 \cdot N + 25,046 \quad (R^2=0,199)$$

$$C_6H_6 = 0,00017 \cdot N + 0,80366 \quad (R^2=0,210)$$

#### Równanie 6.1

CO – średnie 1-h stężenie tlenku węgla [ $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ]

NO<sub>2</sub> – średnie 1-h stężenie ditlenku azotu [ $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ]

PM<sub>10</sub> – średnie 1-h stężenie frakcji pyłów respirabilnych ( $\phi \leq 10 \mu\text{m}$ ) [ $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ]

C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> – średnie 1-h stężenie benzenu [ $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ]

N – 1-h natężenie ruchu pojazdów [poj. / h]

W każdym z przeanalizowanych modeli, oszacowane parametry były istotne (na poziomie  $p < 0,05$ ), a więc ich wpływ na zmienną zależną był silny. Zauważyć jednak należy, iż przedstawione powyżej modele nie wyjaśniają stosunkowo dużej części obserwowanej zmienności stężeń poszczególnych zanieczyszczeń, o czym świadczą stosunkowo niskie współczynniki determinacji. Już wartości współczynników korelacji Pearsona, obliczonych pomiędzy zmianami natężenia ruchu a stężeniami zanieczyszczeń wskazywały, iż na rejestrowane poziomy zanieczyszczeń wpływają dodatkowe czynniki, niezwiązane z przebiegiem zmian natężenia ruchu pojazdów. Również analiza dobowych wzorców zmienności stężeń zanieczyszczeń dowodzi, iż zwłaszcza w okresie letnim, części zmian poziomów zanieczyszczeń nie można tłumaczyć zmianami natężenia ruchu. Założono, iż sytuacja taka wynika z wpływu pewnych zjawisk meteorologicznych. Do modeli regresji zostały wobec powyższego włączone również wyniki pomiarów meteorologicznych: prędkości wiatru, temperatury powietrza, wilgotności względnej oraz promieniowania całkowitego. Ze względu na fakt, iż na analizowanej stacji monitoringu spośród parametrów meteorologicznych rejestrowane są jedynie temperatura i wilgotność względna, skorzystano z danych meteorologicznych, gromadzonych w najbliższej zlokalizowanej stacji monitoringu z ul. Kruczej (urządzenia pomiarowe zainstalowane na dachu budynku znajdują się wysokości 12 m nad poziomem terenu, przy czym pomiary prędkości wiatru odbywają się na wysokości 16 m nad poziomem terenu). Parametry meteorologiczne zatem wraz z wynikami pomiarów natężenia ruchu pojazdów stanowią w modelu regresji wielokrotnej zmienne objaśniające. Otrzymane równania regresji (równanie 6.2) dla poszczególnych zanieczyszczeń, wraz z zaznaczonymi współczynnikami determinacji, zestawiono poniżej.

$$CO = 0,36 \cdot N + 9,03 \cdot T - 1291,79 \cdot V_w - 7,45 \cdot f - 0,56 \cdot I + 2427,62 \quad (R^2=0,788)$$

$$NO_2 = 0,017 \cdot N + 0,328 \cdot T - 60,153 \cdot V_w - 0,411 \cdot f - 0,026 \cdot I + 117,831 \quad (R^2=0,758)$$

$$PM_{10} = 0,006 \cdot N - 1,680 \cdot T - 26,587 \cdot V_w - 0,598 \cdot f - 0,002 \cdot I + 115,820 \quad (R^2=0,384)$$

$$C_6H_6 = 0,0003 \cdot N + 0,0079 \cdot T - 1,2877 \cdot V_w - 0,0040 \cdot f - 0,0003 \cdot I + 2,1009 \quad (R^2=0,528)$$

#### Równanie 6.2

T – średnia 1-h temperatura powietrza [ $^{\circ}\text{C}$ ]

V<sub>w</sub> – średnia 1-h prędkość wiatru [m / s]

f – średnia 1-h wilgotność względna powietrza [%]

I – średnie 1-h natężenie promieniowania słonecznego [ $\text{W} / \text{m}^2$ ]

Pozostałe oznaczenia jak wyżej.

W wyniku wprowadzenia dodatkowych zmiennych niezależnych, zaobserwować można wyraźny wzrost współczynników determinacji, nie tylko dla najbardziej charakterystycznych

indykatorów zanieczyszczenia powietrza ze źródeł komunikacyjnych (CO i NO<sub>2</sub>), ale również dla pozostałych analizowanych zmiennych zależnych. Ze względu na fakt, iż poszczególne elementy składowe powyższych równań wyrażone są w różnych jednostkach miary, nie jest możliwe na ich podstawie określenie siły powiązania pomiędzy poszczególnymi zmiennymi niezależnymi a odpowiednią zmienną zależną. Standaryzowane współczynniki regresji, umożliwiające takie porównanie, świadczą natomiast o najsilniejszym wpływie natężenia ruchu pojazdów na zmienność poszczególnych zmiennych zależnych (poziomów odpowiednich zanieczyszczeń). Silne powiązanie występuje także pomiędzy prędkością wiatru a stężeniami poszczególnych zanieczyszczeń. W przypadku pozostałych zmiennych powiązania te okazują się być słabsze. Podobnych wyników dostarczyła analiza regresji dla wybranych miesięcy sezonu grzewczego (grudzień 2004 i styczeń 2005) oraz letniego (maj i czerwiec 2005), przeprowadzona na podstawie danych meteorologicznych ze stacji pomiarowej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (Badyda A. i Majewski G. [18]), przy czym modele dla sezonu grzewczego nie uwzględniały natężenia promieniowania słonecznego.

W każdym z powyższych równań w stosunku do części współczynników regresji (zwłaszcza związanych ze zmiennymi: temperatura powietrza oraz natężenie promieniowania słonecznego) nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o braku istotności tych współczynników (poziom istotności  $p > 0,05$ ). Wobec powyższego nieistotne parametry zostały usunięte z równań regresji. W przypadku modelu PM<sub>10</sub> poziom istotności zmiennej temperatura powietrza jest znacząco niższy (0,16) w porównaniu ze wszystkimi pozostałymi zmiennymi niezależnymi (0,39 ÷ 0,86), które okazały się być nieistotne na poziomie  $p > 0,05$ . Fakt ten świadczy, iż w pewnym stopniu, stężenie PM<sub>10</sub> zależne jest od temperatury powietrza, co w istocie ma miejsce w warunkach rzeczywistych.

Dla tak zmodyfikowanych modeli współczynniki determinacji w zasadzie nie uległy zmianie. Niewielki ich spadek (na 3-cim miejscu po przecinku) zanotowano w przypadku PM<sub>10</sub> oraz C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>. Wydaje się celowym przyjęcie założenia, iż średnie stężenie w określonej godzinie  $t$  zależy od poziomu tegoż zanieczyszczenia w godzinie  $t-1$ . Zgodnie z tym założeniem do modeli regresyjnych zestawionych powyżej wprowadzono dodatkową zmienną objaśniającą – średnie 1-godzinne stężenia poszczególnych zanieczyszczeń w poprzedniej chwili czasowej (1 godzinę wcześniej). Zmienne nieistotne statystycznie zostały wyeliminowane z modeli. Otrzymano następujące równania regresji (równanie 6.3), wraz z zaznaczeniem współczynników determinacji.

$$CO_{(t)} = 0,25 \cdot N + 0,41 \cdot CO_{(t-1)} - 959,07 \cdot V_w - 3,13 \cdot f + 1441,36 \quad (R^2=0,865)$$

$$NO_{2(t)} = 0,010 \cdot N + 0,555 \cdot NO_{2(t-1)} - 33,972 \cdot V_w + 37,436 \quad (R^2=0,881)$$

$$PM_{10(t)} = 0,003 \cdot N + 0,599 \cdot PM_{10(t-1)} - 14,458 \cdot V_w - 0,142 \cdot f + 33,634 \quad (R^2=0,654)$$

$$C_6H_6(t) = 0,0002 \cdot N + 0,5665 \cdot C_6H_6(t-1) - 0,8356 \cdot V_w + 0,8721 \quad (R^2=0,759)$$

### Równanie 6.3

CO<sub>(t)</sub>, CO<sub>(t-1)</sub> – średnie 1-h stężenie tlenku węgla [ $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ] odpowiednio w chwili  $t$  oraz  $t-1$

NO<sub>2(t)</sub>, NO<sub>2(t-1)</sub> – średnie 1-h stężenie ditlenku azotu [ $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ] odpowiednio w chwili  $t$  oraz  $t-1$

PM<sub>10(t)</sub>, PM<sub>10(t-1)</sub> – średnie 1-h stężenie frakcji pyłów respirabilnych ( $\phi \leq 10 \mu\text{m}$ ) [ $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ] odpowiednio w chwili  $t$  oraz  $t-1$

C<sub>6</sub>H<sub>6(t)</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6(t-1)</sub> – średnie 1-h stężenie benzenu [ $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ] odpowiednio w chwili  $t$  oraz  $t-1$

Pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Bardzo zbliżoną formę zaprezentowanych powyżej równań regresji dostarcza metoda regresji krokowej (wstecznej). Różnice dotyczą jedynie równania regresji CO i PM<sub>10</sub>, z których, przy nieznacznym spadku R<sup>2</sup>, wyeliminowana została zmienna niezależna „wilgotność” ( $f$ ). W obu przypadkach powyższych równań regresji zmienna ta charakteryzowała się poziomem istotności zbliżonym do 0,05. Ostatecznie równania te (równanie 6.4), przy niezmiennych pozostałych, przyjmują postać:

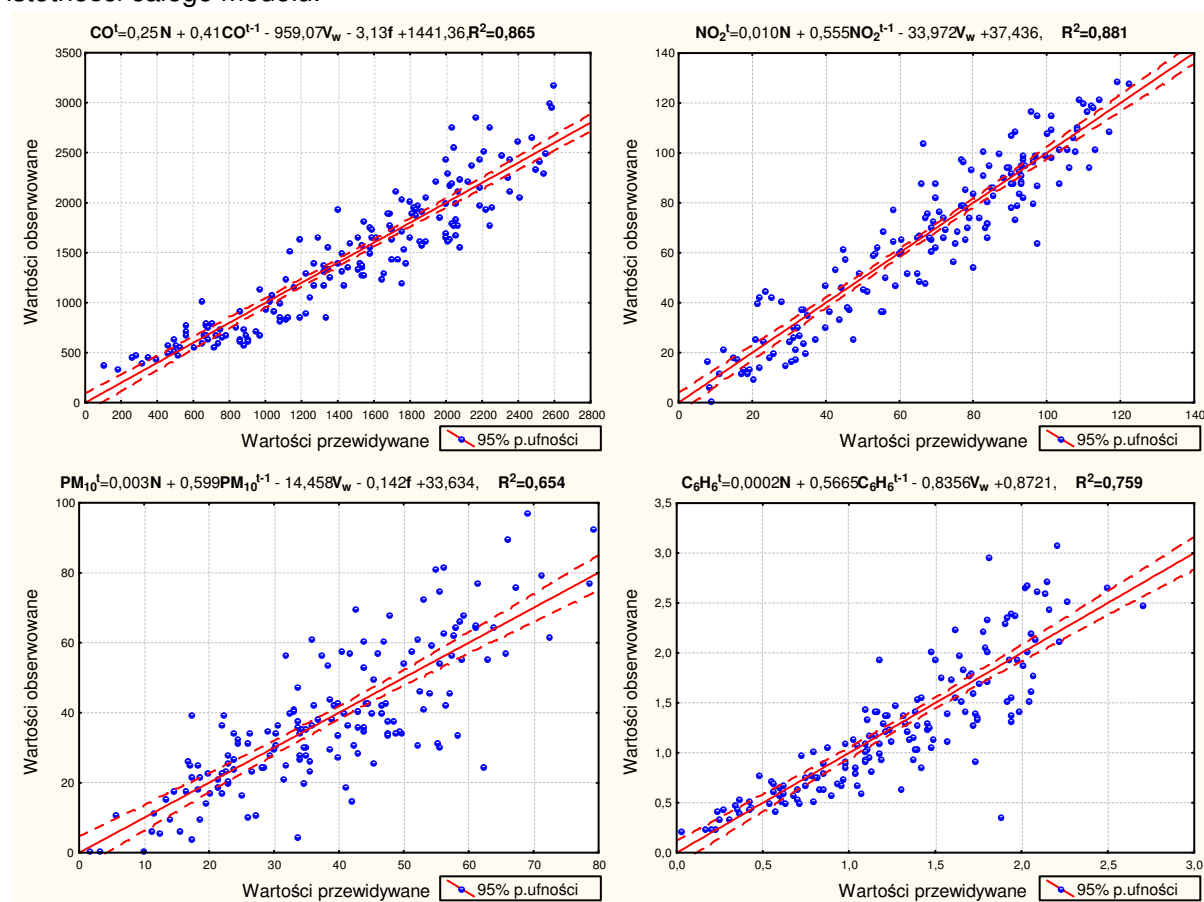
$$CO_{(t)} = 0,26 \cdot N + 0,43 \cdot CO_{(t-1)} - 906,62 \cdot V_w + 1057,89 \quad (R^2=0,861)$$

$$PM_{10(t)} = 0,004 \cdot N + 0,633 \cdot PM_{10(t-1)} - 12,585 \cdot V_w + 16,782 \quad (R^2=0,645)$$

#### Równanie 6.4

Tak sformułowane modele regresji wielokrotnej, a więc uwzględniające zarówno wskaźniki meteorologiczne jak i zmienne opóźnione (stężenia zanieczyszczeń w chwili  $t-1$ ), wydają się w pełniejszym stopniu wyjaśniać zmienność zmiennych zależnych, o czym świadczą wyższe współczynniki determinacji. Analiza standaryzowanych współczynników regresji dowodzi, iż w przypadku tlenku węgla, ditlenku azotu oraz benzenu natężenie ruchu jest najsilniej powiązane ze zmienną zależną, a więc ze zmiennością poziomów poszczególnych zanieczyszczeń. Innymi słowy wielkość ta samodzielnie wyjaśnia najwięcej wariacji zmiennej zależnej (przy nieuwzględnianiu wpływu pozostałych zmiennych niezależnych) – zależnie od modelu od nieco ponad 30% do przeszło 50%. Mniej wariacji wyjaśniają stężenia odpowiednich zanieczyszczeń w chwili czasowej  $t-1$  (od 19% do 31%), przy czym w przypadku benzenu standaryzowane współczynniki regresji dla natężenia ruchu i stężeń w chwili  $t-1$  są bardzo zbliżone (wynoszą po około 30%). Silniej natomiast zmienna opóźniona powiązana jest ze zmienną zależną w modelu opisującym  $PM_{10}$  (wyjaśnia 41% wariacji zmiennej zależnej), gdzie z kolei mniej wariacji samodzielnie wyjaśnia natężenie ruchu pojazdów (nieco ponad 12%). Potwierdzać to może wcześniejsze obserwacje, wskazujące, iż na poziom  $PM_{10}$ , poza spalaniem paliw w silnikach pojazdów, zauważalny wpływ mają również inne źródła zanieczyszczeń pyłowych. Prędkość wiatru samodzielnie wyjaśnia między 5% a 26% wariacji poziomów zanieczyszczeń.

Wykresy rozrzutu pomiędzy zmiennymi przewidywanymi a zmiennymi zaobserwowanymi (Wykres 36) wskazują, iż liczne punkty znajdują się poza 95% przedziałem ufności. Dzieje się tak pomimo wysokich współczynników determinacji i braku podstaw do odrzucenia hipotezy o braku istotności całego modelu.



Wykres 36 Wykresy rozrzutu wartości przewidywanych przez modele regresji wielokrotnej oraz wartości obserwowanych

Generalnie zauważyć należy, iż reszty wszystkich modeli charakteryzują się rozkładem normalnym (co potwierdza test Kołmogorowa-Smirnowa-Lillieforsa), a modele te nie wykazują tendencji nieliniowych względem parametrów. Statystyka Durбина-Watsona, której wartość w każdym z modeli jest bliska  $d=2$  świadczy o spełnieniu założenia o braku autokorelacji.

Korzystając z wyników analiz przedstawionych w *rozdziale 6.4* wskazujących, iż zależność logarytmiczno-liniowa pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń stanowi lepszą aproksymację w porównaniu z zależnością liniową zbudowano modele zawierające zlogarytmowane zmienne niezależne. Operacja ta wpłynęła na zauważalny wzrost współczynnika determinacji w przypadku modeli dla tlenku węgla,  $PM_{10}$  oraz benzenu. W przypadku ditlenku azotu model liniowy charakteryzuje się lepszym dopasowaniem. Ostatecznie więc, po wyeliminowaniu wszystkich zmiennych nieistotnych, równania regresji (*równanie 6.5*) przyjmują następującą postać:

$$\ln CO_{(t)} = 0,389 \cdot \ln N_{(t)} - 0,139 \cdot \ln N_{(t-1)} + 0,569 \cdot \ln CO_{(t-1)} - 0,386 \cdot \ln V_{w(t)} + 1,201 \quad (R^2=0,911)$$

$$NO_{2(t)} = 0,010 \cdot N_{(t)} + 0,555 \cdot NO_{2(t-1)} - 33,972 \cdot V_{w(t)} + 37,436 \quad (R^2=0,881)$$

$$\ln PM_{10(t)} = 0,515 \cdot \ln N_{(t)} - 0,313 \cdot \ln N_{(t-1)} + 0,661 \cdot \ln PM_{10(t-1)} - 0,366 \cdot \ln V_{w(t)} - 0,352 \quad (R^2=0,696)$$

$$\ln C_6H_{6(t)} = 0,314 \cdot \ln N_{(t)} + 0,498 \cdot \ln C_6H_{6(t-1)} - 0,174 \cdot \ln V_{w(t)} - 0,489 \cdot \ln V_{w(t-1)} - 2,325 \quad (R^2=0,835)$$

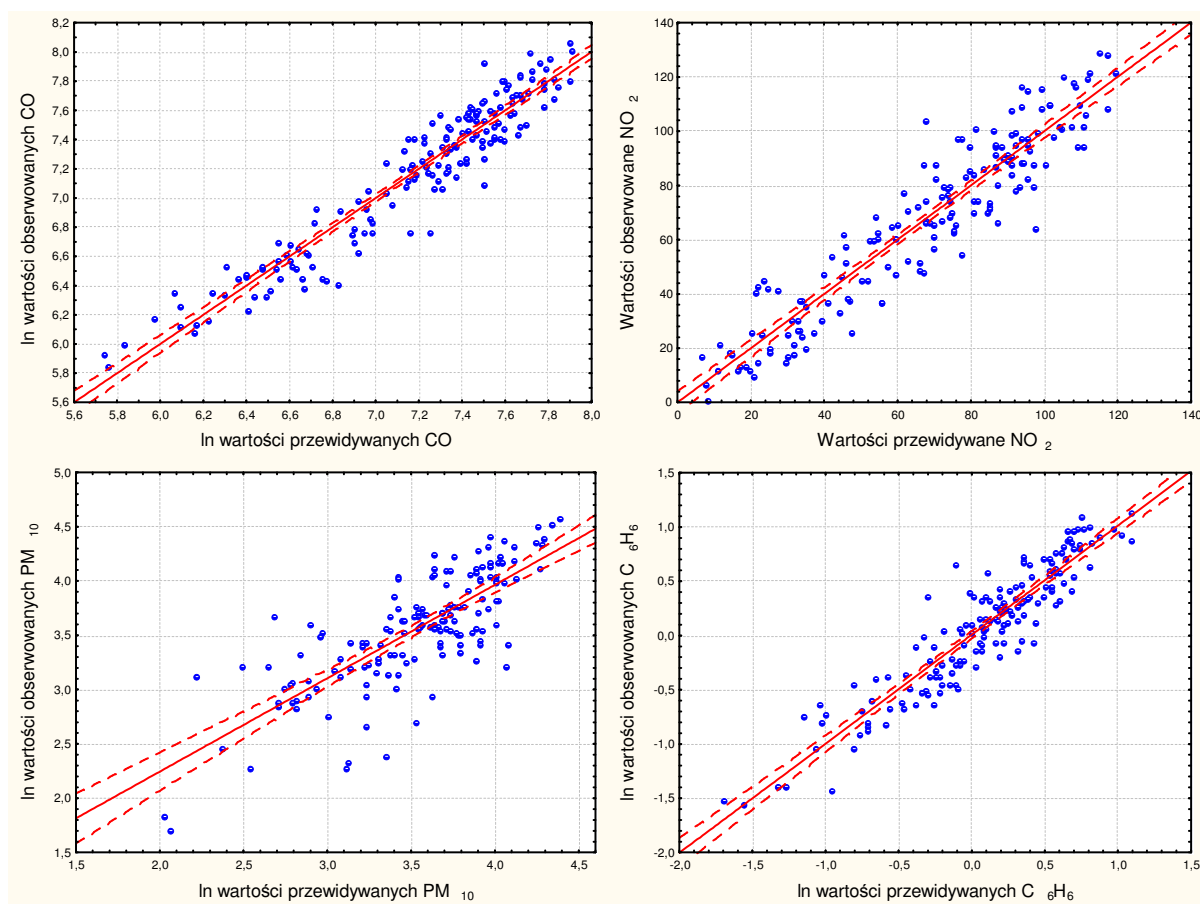
#### Równanie 6.5

$N_{(t)}$ ,  $N_{(t-1)}$  – 1-h natężenie ruchu pojazdów [poj. / h] odpowiednio w chwili  $t$  oraz  $t-1$

$V_{w(t)}$ ,  $V_{w(t-1)}$  – średnia 1-h prędkość wiatru [m / s] odpowiednio w chwili  $t$  oraz  $t-1$

Pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Podstawowe założenia, które zostały spełnione w przypadku modeli liniowych, są również spełnione w odniesieniu do modeli przedstawionych powyżej. Zaprezentowano także wykresy rozrzutu wartości obserwowanych od przewidywanych dla powyższych modeli (*Wykres 37*).



**Wykres 37 Wykresy rozrzutu ln wartości przewidywanych przez modele regresji wielokrotnej oraz ln wartości obserwowanych**

Goyal P. i in. [34] przedstawia oparte o regresję wielokrotną modele przewidywania 24-h średniego stężenia cząstek stałych w oparciu o wybrane wskaźniki meteorologiczne na przykładzie Delhi i Hong-Kongu. Modele te nie uwzględniają jednakże natężenia ruchu pojazdów, lecz zaprezentowane wyniki wskazują, że w predykcji stężenia cząstek stałych w Delhi najbardziej istotne statystycznie są wilgotność względna, temperatura powietrza oraz prędkość wiatru, zaś w przypadku Hong-Kongu wilgotność względna oraz prędkość wiatru. Prędkość wiatru i wilgotność to również te wskaźniki, które okazały się istotne w modelach przedstawionych w niniejszej pracy (równanie 6.3). Jak również wspomniano, mimo, że zmienna związana z temperaturą okazała się być nieistotna, poziom jej istotności był znacząco niższy od innych zmiennych niezależnych usuniętych z modeli. W modelach, które prezentuje Goyal P. i in. [34], współczynniki determinacji są stosunkowo niskie i wynoszą 0,31 (Hong-Kong) i 0,58 (Delhi).

Model regresyjny 1-h stężeń tlenków azotu i ditlenku azotu na przykładzie Londynu prezentują z kolei Shi Ping Ji i Harrison R.M. [71]. Analizowane modele uwzględniają więcej czynników, mogących wpływać na stężenia tych zanieczyszczeń w powietrzu, w porównaniu z modelami zaproponowanymi powyżej. W przypadku  $\text{NO}_x$  największe wartości standaryzowanych współczynników regresji związane były z czynnikiem emisyjnym oraz prędkością wiatru. W modelu  $\text{NO}_2$  zmienne te nadal pozostały bardzo istotne, jednakże więcej wariacji zmiennej zależnej samodzielnie wyjaśnia zmienna opisująca reakcję tlenku azotu i ozonu, co wskazuje, że reakcja titracji ma decydujący wpływ na poziom ditlenku azotu w powietrzu obszarów miejskich. W modelu  $\text{NO}_x$  stosunkowo duże znacznie ma jeszcze temperatura powietrza, zaś w obu modelach pozostałe zmienne, jak wysokość warstwy mieszania, wilgotność względna, klasa stabilności atmosfery oraz w modelu  $\text{NO}_2$  dodatkowo natężenie promieniowania słonecznego, wyjaśniają niewielką część wariacji zmiennych zależnych.

## 6.7. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych pomiarów natężenia ruchu w Al. Niepodległości w Warszawie oraz wyniki pomiarów stężeń zanieczyszczeń zarejestrowanych przez pobliską stację monitoringu jakości powietrza wykazały, iż natężenie ruchu pojazdów, które w analizowanym przekroju pomiarowym w dni robocze przekracza 70 000 pojazdów na dobę, ma statystycznie istotny wpływ na poziom zanieczyszczeń tego obszaru. Poziom ten jest jednocześnie wyraźnie wyższy od rejestrowanego przez stacje tła, zwłaszcza tła regionalnego.

Jednocześnie zauważyć należy, iż na podstawie danych monitoringowych z lat 2004-2005 stwierdza się statystycznie istotnie wyższe stężenia zanieczyszczeń rejestrowane w dni robocze w porównaniu z dniami wolnymi od pracy. Wynika to ze znacznego spadku ogólnego natężenia ruchu, zwłaszcza w niedzielę, ale prawdopodobnie również z mniejszej liczby autobusów i samochodów ciężarowych, które w dni wolne poruszają się w ciągu analizowanej arterii, a które w znaczącym stopniu odpowiedzialne są za wysokie natężenie emisji tlenków azotu i cząstek stałych.

Fakt ten wskazuje, że pozytywny efekt ekologiczny przynieść może nie tyle ograniczanie całkowitego natężenia ruchu pojazdów w sieci drogowo-ulicznej miast, ile zdecydowane obostrzenie możliwości poruszania się pojazdów ciężarowych na obszarach miejskich. W przypadku autobusów natomiast niezbędna wydaje się być szybka wymiana taboru na możliwie najmniej niekorzystnie wpływający na jakość powietrza atmosferycznego.

Natężenie ruchu pojazdów w Al. Niepodległości to dominujące źródło zanieczyszczeń powietrza tego obszaru, przy czym widoczna jest również sezonowa zmienność poziomów zanieczyszczeń. Statystycznie istotnie wyższy średni poziom tlenku węgla i węglowodorów (benzenu) notowany jest w okresie grzewczym, większe stężenia ditlenku azotu występują zaś w okresie letnim. Średnie stężenia pyłów respirabilnych PM<sub>10</sub> w okresie grzewczym i letnim są bardzo zbliżone, jednakże zmienność w sezonie grzewczym jest wyraźnie większa aniżeli w sezonie letnim (*Wykres 24*), zaś przebieg zmian poziomu tego zanieczyszczenia w skali doby jest zupełnie różny – w okresie międzyszczytowym utrzymuje się na poziomie wyższym w sezonie grzewczym, zaś w pozostałej części doby jest wyższy w okresie letnim, co odróżnia to zanieczyszczenie od pozostałych opisanych w niniejszym rozdziale. Świadczyć to może o obecności innych, aniżeli natężenie ruchu, czynników, które wpływają na kształtowanie się poziomów PM<sub>10</sub>. Jest to emisja zanieczyszczeń pyłowych z innych źródeł spalania, ale także czynniki meteorologiczne, przede wszystkim wysokość warstwy mieszania i prędkość wiatru, które wpływają również na wzrost stężeń zanieczyszczeń (zwłaszcza NO<sub>2</sub>) w godzinach wieczornych (20:00-23:00) w okresie letnim.

Generalnie jednak to natężenie ruchu pojazdów warunkuje poziomy rejestrowanych zanieczyszczeń, o czym świadczy silna korelacja pomiędzy uśrednionym dla okresu pomiarowego natężeniem ruchu a średnimi 1-godzinowymi stężeniami zanieczyszczeń w latach 2004-2005, przy czym zauważyć należy, iż korelacja ta jest silniejsza w dni robocze. Z porównania w ujęciu sezonowym wynika również, że korelacja ta jest wyższa w okresie grzewczym w porównaniu do sezonu letniego.

Poziomy zanieczyszczeń, jakie rejestrowane są w Al. Niepodległości w porównaniu ze stężeniami notowanymi na terenach oddalonych od bezpośredniego oddziaływania ruchu kołowego, pozwalają przypuszczać iż osoby mieszkające w pobliżu ruchliwych ulic są w większym stopniu narażone na oddziaływanie zanieczyszczeń komunikacyjnych. Przypuszcza się, że osoby takie częściej zapadać mogą na schorzenia układu oddechowego w porównaniu z osobami zamieszkującymi tereny miejskie odseparowane od ruchu drogowego, a zwłaszcza z mieszkańcami obszarów pozamiejskich. Dodatkowo fakt, iż w ostatnich latach zaczęły pojawiać się w literaturze medycznej pewne potwierdzenia tego rodzaju przypuszczeń w odniesieniu do różnych miast europejskich (o czym szerzej w *rozdziale 7.1*), skłoniło autora niniejszej pracy do podjęcia działań zmierzających do zweryfikowania postawionej hipotezy. Efektem tego są badania spirometryczne przeprowadzone wśród mieszkańców Al. Niepodległości w Warszawie, które miały za zadanie ocenić stan ich zdrowia pod kątem sprawności wentylacyjnej. Wyniki

badania wraz z ich odniesieniem do wyników z grupy kontrolnej (mieszkańców terenów niezurbanizowanych) zostały zaprezentowane i omówione w *rozdziale 7.2*.

Utrzymujące się na wysokim poziomie, zwłaszcza w okresach szczytu komunikacyjnego, natężenie ruchu, wpływające na spadek średniej prędkości pojazdów, sprzyja formowaniu się zatorów komunikacyjnych. Skutki zatorów mają charakter wielowymiarowy, zaś wśród najistotniejszych wyróżnić można zasygnalizowany potencjalny wpływ na zdrowie mieszkańców, jak również na straty ich czasu i obniżenie standardu życia (*rozdział 8.2*), na utrudnianie płynnego ruchu pojazdom służb ratownictwa (*rozdział 8.3*), jak również na pewne trudno wymierne straty budżetu miejskiego (*rozdział 8.4*).

## 7. Ocena wpływu zanieczyszczeń z ruchu drogowego na sprawność wentylacyjną osób zamieszkujących wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych

### 7.1. Wprowadzenie

Materiał przedstawiony w poprzednim rozdziale dowodzi istnienia podwyższonych poziomów zanieczyszczeń powietrza w bezpośrednim sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu w porównaniu z obszarami miejskimi zlokalizowanymi w oddaleniu od ruchliwych ulic a zwłaszcza z terenami nieurbanizowanymi. W efekcie osoby mieszkające w pobliżu najsilniej obciążonych arterii komunikacyjnych mogą być bardziej narażone na niekorzystny wpływ zanieczyszczeń z ruchu drogowego aniżeli mieszkańcy innych terenów. W dalszej części pracy pojawiać się będzie odniesienie do przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POCHP) oraz pojęcia obturacji. Zgodnie z definicją przytoczoną przez *Zielińskiego J. i in.* [14], POChP jest przewlekłą chorobą charakteryzującą się trwałym upośledzeniem drożności oskrzeli. Następuje ograniczenie przepływu powietrza w drogach oddechowych, które nie jest w pełni odwracalne. Jest ono zwykle postępujące i powiązane z nieprawidłową odpowiedzią zapalną tkanki płucnej na działanie szkodliwych cząstek lub gazów. Pod pojęciem obturacji należy rozumieć nieproporcjonalne obniżenie natężonej pierwszosekundowej objętości wydechowej w stosunku do aktualnej pojemności życiowej.

Generalnie, jak wskazują *MacNee W. i Donaldson K.* [55], zanieczyszczenia powietrza, jako czynnik wzmagający objawy POChP są rozpoznane już od ponad 50 lat. Ten fakt zaważył o ustanowieniu standardów jakości powietrza, co przyczyniło się do znaczącego spadku poziomu zanieczyszczeń atmosferycznych pochodzących ze spalania paliw kopalnych, w szczególności pyłów i ditlenku siarki. Dynamiczny wzrost natężenia ruchu drogowego przyczynił się jednakże do wzrostu poziomów innych zanieczyszczeń, jak ozon, cząstki stałe o średnicy poniżej 10  $\mu\text{m}$ , czy tlenki azotu.

Liczne badania epidemiologiczne wskazują na istnienie zależności pomiędzy rejestrowanymi poziomami zanieczyszczeń powietrza a negatywnymi skutkami zdrowotnymi, takimi jak nasilenie się dolegliwości układu oddechowego, a nawet wzrost śmiertelności z powodu chorób układu oddechowego i sercowo-naczyniowych. Szereg publikacji wskazuje, że nasilenie objawów związanych ze schorzeniami płuc zauważa się już wśród dzieci i młodzieży szkolnej zamieszkującej tereny położone wzdłuż ciągów komunikacyjnych o znacznym natężeniu ruchu – *Venn A.J. i in.* [75] wskazuje, iż mimo braku jasnych dowodów na zwiększoną zachorowalność na astmę oskrzelową w wyniku zanieczyszczeń atmosferycznych, widoczne jest podwyższone ryzyko występowania objawów świadczących o trudnościach oddechowych wśród dzieci, odwrotnie proporcjonalne do odległości miejsca zamieszkania od arterii komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu.

Ryzyko to jest największe wśród osób mieszkających w odległości mniejszej niż 90 m od ulic. Przytaczając wyniki badań niemal 10000 dzieci, na podstawie obliczeń ilorazów szans (z ang. *odds ratio* – OR), autorzy wykazali, że wśród dzieci zamieszkujących w odległości mniejszej niż 150 m od głównego ciągu komunikacyjnego, każde 30 m bliżej osi drogi powoduje wzrost ryzyka występowania objawów astmy (konkretnie świszczącego oddechu) o 1,08 oraz 1,16 odpowiednio dla grup wiekowych 4÷11 lat oraz 11÷16 lat. Wyniki badań 1129 dzieci z różnych środowisk (o niskim i wysokim poziomie  $\text{SO}_2$  i  $\text{PM}_{10}$ ), zaprezentowane przez *Jędrychowskiego W.A. i Flak E.* [39], wskazują na istnienie silnego związku pomiędzy poziomem zanieczyszczeń powietrza a pewnymi objawami ze strony układu oddechowego (ilość wydzieliny). Zaobserwowano wyraźne zwiększenie się częstości występowania kaszlu i świstów (objawów astmy) wśród dzieci bez objawów alergicznych, zamieszkujących tereny o zwiększonym poziomie zanieczyszczeń powietrza. W przypadku dzieci ze stwierdzoną alergią, wyciągnięcie tego typu wniosków jest trudniejsze, z uwagi na fakt, iż wyzwolenie objawów astmatycznych może być skutkiem wielu czynników, wśród których jest również zanieczyszczenie



powietrza. Również *Kim J.J. i in.* [42] dowodzi, na podstawie wyników badań 1109 dzieci w wieku szkolnym, iż istnieje nieznaczny, acz istotny statystycznie wzrost objawów zapalenia oskrzeli oraz astmy u dzieci mieszkających na terenach o podwyższonych poziomach zanieczyszczeń komunikacyjnych. Badania prowadzono na terenie zurbanizowanym o stosunkowo czystym powietrzu w skali regionu, gdzie lokalne zanieczyszczenia powietrza wynikają głównie z obecności ruchu drogowego. Dla wybranych zanieczyszczeń ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ) obliczono ilorazy szans w odniesieniu do wzrostu stężeń o wartość równą odstępowi międzykwartyłowemu (z ang. *interquartile range* – IQR) rozkładu stężenia danego zanieczyszczenia. W zależności od rodzaju zanieczyszczenia OR wyniosły dla zapalenia oskrzeli od 1,02 do 1,06, zaś dla astmy od 1,01 do 1,08.

Z kolei *Schikowski T. i in.* [68] przytacza wyniki jednych z pierwszych i jak dotąd nielicznych badań nad długotrwałym wpływem zanieczyszczeń z ruchu drogowego na rozwój przewlekłej obturacyjnej choroby płuc. 10-letnie badania, które objęły 4757 kobiet zamieszkujących w rejonie Zagłębia Ruhry (w Niemczech), dowodzą, że wzrost średniego stężenia  $\text{PM}_{10}$  (odstępu międzykwartyłowego) o  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  w ciągu 5 lat spowodował zauważalny spadek wskaźników spirometrycznych – natężona pierwszosekundowa objętość wydechowa ( $\text{FEV}_1$ ) uległa spadkowi o 5,1% (95% poziom ufności: 2,5%-7,7%), zaś natężona pojemność życiowa (FVC) zmniejszyła się o 3,7% (95% poziom ufności: 1,8%-5,5%). Jednocześnie autor wskazuje, że badane kobiety zamieszkujące tereny położone w odległości mniejszej niż 100 m od ruchliwych ciągów komunikacyjnych wykazywały statystycznie istotnie niższe parametry oddechowe, a ryzyko zachorowania z powodu POChP jest 1,79 razy większe (iloraz szans z 95% poziomem ufności: 1,06-3,02) w porównaniu z mieszkankami obszarów położonych w dalszej odległości od dróg.

*Jędrzychowski W.A. i in.* [41] przytacza wyniki badań nad stopniem wyeksponowania ciężarnych kobiet na zanieczyszczenia powietrza cząstkami stałymi o średnicy mniejszej niż  $2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ) w zależności od różnych czynników zewnętrznych. Przedstawione rezultaty wskazują, iż generalnie badane osoby zamieszkujące tereny centrum miasta (badania prowadzono w Krakowie) są silniej wyeksponowane na zanieczyszczenia pyłowe w porównaniu z mieszkankami obszarów peryferyjnych, przy czym aż 20% badanych było narażonych na znaczne stężenia  $\text{PM}_{2,5}$ , tj. przekraczające poziom  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wyniki badań wskazują, że spośród wszystkich analizowanych czynników zewnętrznych, które mogą mieć potencjalny wpływ na stopień wyeksponowania na zanieczyszczenie powietrza  $\text{PM}_{2,5}$ , poza samym faktem zamieszkiwania w centralnej części miasta, statystycznie istotnymi czynnikami są narażenie na dym tytoniowy, korzystanie z indywidualnych źródeł ciepła (np. piece węglowe) oraz bliskość zakładów przemysłowych. Z kolei takie czynniki, jak bliskość skrzyżowań arterii komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu, czy położenie miejsca zamieszkania w sąsiedztwie zajezdni autobusowych okazały się nie wpływać istotnie na ekspozycję.

Inne badania, których wyniki prezentuje *Jędrzychowski W.A. i in.* [40], dotyczą ekspozycji ciężarnych kobiet na zanieczyszczenie powietrza wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi i jej wpływu na występowanie objawów zaburzeń oddychania w ciągu pierwszego roku życia dziecka. Autorzy wskazują, że zasadnicze zewnętrzne źródła WWA, jak emisja z silników pojazdów i źródeł przemysłowych, kształtujące stężenia tych zanieczyszczeń w powietrzu zewnętrznym, determinują poziom WWA wewnątrz domów i mieszkań. Dodatkowy niekorzystny wpływ mają wewnętrzne źródła emisji, jak piece opalane węglem lub drewnem, kominki, a także dym tytoniowy. Wyniki badań dowodzą istnienia statystycznie istotnego związku pomiędzy oddziaływaniem WWA na kobiety w drugim trymestrze ciąży a występowaniem symptomów oddechowych u ich dzieci w pierwszym roku życia. Największe ryzyko dotyczy występowania urywanego kaszlu oraz świszczącego oddechu niebędącego efektem przeziębienia, jednak inne efekty świadczące o zaburzeniach respiracji (świsty w klatce piersiowej, trudności w oddychaniu, duszności, kaszel niebędący efektem przeziębienia, katar) również obserwowane były częściej i trwały dłużej u tych dzieci, których matki w okresie ciąży narażone były na wyższe stężenia WWA.

Nieco innego rodzaju badania opisują *Maheswaran R. i Elliott P. [56]*, przytaczając wyniki wskazujące na powiązanie zgonów z powodu chorób sercowo-naczyniowych z poziomem zanieczyszczeń komunikacyjnych wśród niemal 200 000 mieszkańców Anglii i Walii w wieku powyżej 45 lat. Wyniki te wskazują, iż odsetek zgonów wzrasta wraz z wiekiem osób i wykazuje tendencję wzrostową w miarę spadku odległości od miejsca zamieszkania do głównych ciągów komunikacyjnych. Autorzy wskazują, że co prawda, ze względu na brak danych, nie wzięli pod uwagę informacji na temat palenia tytoniu, czy nadciśnienia, to sugerują jednak, zaznaczając, że niezbędne są dalsze badania w tym zakresie, iż zamieszkiwanie w sąsiedztwie arterii komunikacyjnych jest powiązane z niewielkim lecz istotnym statystycznie wzrostem ryzyka umieralności z powodu chorób sercowo-naczyniowych. Wyniki badań, które przytaczają wskazują, iż wśród osób zamieszkujących w odległości mniejszej aniżeli 200 m od ruchliwych ciągów komunikacyjnych ryzyko zgonu z powodu schorzeń sercowo-naczyniowych jest wyższe o 5% (7% wśród mężczyzn oraz 4% w grupie kobiet) w stosunku do osób mieszkających w większych odległościach od dróg. Brak jest tu jednak odniesienia do bezwzględnych poziomów zanieczyszczeń na analizowanym obszarze, co uniemożliwia ocenę zależności między ekspozycją na zanieczyszczenia a wzrostem ryzyka umieralności. Powołując się na publikacje przytoczone również w niniejszej pracy (m.in. [27, 37, 64]), autorzy uważają, że poczynione przez nich obserwacje, w obliczu wyników bardziej szczegółowych badań innych zespołów, należy uważać za faktycznie mające miejsce.

Z kolei *Grynkiewicz-Bylina B. i in. [35]* przytacza dane świadczące o zmniejszeniu czynności układu oddechowego, nasileniu objawów schorzeń układu oddechowego, ale również o wzroście przyjęć do szpitali i zwiększonej śmiertelności, wynikających z podwyższonej ekspozycji na zanieczyszczenia pyłowe. Wyniki przedstawionych badań (wybrany ciąg komunikacyjny w Gliwicach) wskazują, iż średniodobowe wartości stężeń  $PM_{10}$  w kanionie ulicy są o ponad 70% większe a wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych o przeszło 60% wyższe, w porównaniu z poziomami tych zanieczyszczeń mierzonymi w odległości 100 metrów od ulicy. Ze względu na utrzymujące się w kanionie ulicy stężenie  $PM_{10}$  na poziomie powyżej  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , należy, według autora, oczekiwać około 10%-ego wzrostu przypadków chorób układu oddechowego w populacji wyeksponowanej na podwyższone stężenie tego zanieczyszczenia.

Jak podaje *Lubiński W. i in. [53]* zwiększenie stężenia  $PM_{10}$  o  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wpływa na ponad 3-procentowy wzrost umieralności na choroby układu oddechowego, ale również na 3-procentowe zwiększenie częstości zaostrzeń astmy oskrzelowej i ponad 12-procentowe zwiększenie użycia bronchodilatatorów (leków udrażniających drogi oddechowe) u osób cierpiących na astmę i przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (POChP). *Schwartz J. i in. [69]* podaje natomiast, że dzienny odsetek śmiertelności jest związany ze zmianami stężenia  $PM_{2,5}$ , ale już nie ze zmianami stężenia  $PM_{10}$ . Przytacza wyniki badań, które wskazują, że każdorazowy wzrost średniej 2-dniowej  $PM_{2,5}$  o  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  jest związany z 1,5% (95% poziom ufności: 1,1÷1,9%) zwiększeniem dziennej śmiertelności. W dalszych badaniach, zrealizowanych w sześciu miastach w Stanach Zjednoczonych, *Schwartz J. i in. [70]* wskazuje, że rezultaty badań dowodzą istnienia liniowej zależności pomiędzy stężeniem  $PM_{2,5}$  a śmiertelnością. Wykazuje także w dodatku, że nie istnieje w zasadzie dolna granica stężenia tego zanieczyszczenia, które można by było uznać za bezpieczne. Autor dowodzi, że przedstawiona zależność pomiędzy zmianą stężenia  $PM_{2,5}$  a zmianą wskaźnika śmiertelności jest prawdziwa również dla stężeń poniżej dopuszczalnego poziomu, określonego przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska, przytaczając wyniki świadczące o 1,5% wzroście dziennej śmiertelności na każde  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  stężenia  $PM_{2,5}$  oraz o 3% wzroście tego wskaźnika na każde  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  cząstek stałych pochodzących z emisji komunikacyjnych. Autor wskazuje, że wyniki te są zbieżne z rezultatami przedstawionymi przez *Laden F. i in. [47]*.

W badaniach, których rezultaty prezentuje *Dockery D.W. i in. [27]*, dokonano oceny wpływu różnych czynników ryzyka na wskaźnik śmiertelności 8111 dorosłych osób w sześciu miastach w Stanach Zjednoczonych. Stwierdzono, że poziom śmiertelności silnie zależy od palenia tytoniu. Po dokonaniu korekty ze względu na ten i inne czynniki ryzyka, obserwowano istnienie istotnej statystycznie i silnej zależności pomiędzy zanieczyszczeniem powietrza pyłami

respirabilnymi a śmiertelnością. Interpretacja wyników analizy przeżycia (zastosowano model proporcjonalnego hazardu Coxa) dowodzi, że współczynnik ryzyka śmiertelności (z ang. *hazard ratio* – HR) z powodu nowotworu płuc oraz chorób krążeniowo-oddechowych wśród mieszkańców najsilniej zanieczyszczonych miast wynosi 1,26 (95% poziom ufności: 1,08÷1,47) w porównaniu z mieszkańcami miast o najniższym poziomie zanieczyszczeń atmosferycznych.

Współczynnik ryzyka, jak podaje *Stanisz A. [13]*, zdefiniowany jest, jako:

$$HR = \exp\left(\sum_{i=1}^n a_i(x_i - y_i)\right)$$

**Równanie 7.1 – współczynnik ryzyka**

HR – współczynnik ryzyka

$a_i$  – estymowane współczynniki regresji

$x_i, y_i$  – wartości cechy (np. miejsce zamieszkania) w dwóch analizowanych grupach

*Dockery D.W. i in. [27]* zwraca uwagę, iż stwierdzono silny związek pomiędzy poziomem zanieczyszczenia powietrza a odsetkiem śmiertelności z powodu nowotworów płuc i chorób krążeniowo-oddechowych. Nie wykazano natomiast takiej zależności podczas rozważania wszystkich pozostałych przyczyn śmiertelności. Jakkolwiek nie można z całą pewnością wykluczyć, iż inne, nie wzięte pod uwagę czynniki ryzyka wpływają na obserwowany stan rzeczy, to jednak przytaczane wyniki sugerują, że pyłowe zanieczyszczenia powietrza, w tym także bardziej skomplikowane substancje związane z cząstkami stałymi, przyczyniają się do nadmiernego wskaźnika śmiertelności w pewnych miastach Stanów Zjednoczonych.

Z kolei *Hoek G. i in. [37]* przytacza wyniki długoterminowych (trwających 8 lat) badań, zrealizowanych w Holandii w grupie 5000 osób w wieku 55÷69 lat, opartych o oszacowanie związku pomiędzy poziomem zanieczyszczeń komunikacyjnych a śmiertelnością z różnych powodów – prowadzono pomiar poziomu zanieczyszczeń (pyłów i ditlenku azotu) na terenach zurbanizowanych oraz poziomu tła regionalnego, wprowadzając zmienną charakteryzującą zamieszkiwanie wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych. W okresie trwania badań zmarło 11% objętych nimi osób. Analiza, prowadzona z zastosowaniem modelu proporcjonalnego hazardu Coxa, wskazuje, iż współczynnik ryzyka śmiertelności wśród osób zamieszkujących wzdłuż głównych arterii komunikacyjnych wynosi 1,41 (95% poziom ufności: 0,94÷2,12) dla wszystkich powodów zgonów oraz 1,95 (95% poziom ufności: 1,09÷3,52) dla zgonów z powodu chorób krążeniowo-oddechowych. Autorzy wnioskuje, iż długotrwała ekspozycja na zanieczyszczenia komunikacyjne może skracać oczekiwaną długość życia, wskazując, że śmiertelność z powodu schorzeń niezwiązanych z układem krążeniowo-oddechowym oraz nowotworami innymi aniżeli płuc są niezwiązane z poziomem zanieczyszczeń powietrza – współczynnik ryzyka wyniósł 1,03 (95% poziom ufności: 0,54÷1,96).

Warte przytoczenia są również wyniki badań, które przedstawia *Pope C.A. i in. [64]*. Skupiają się one co prawda na określeniu wpływu na wskaźnik śmiertelności zanieczyszczeń pochodzących ze spalania paliw kopalnych, zwłaszcza związków siarki i cząstek stałych, to jednak ich wartość wynika z faktu, że objęły bardzo duży teren badania (151 obszarów metropolitarnych w USA) oraz liczną grupę badanych osób (ponad 550 tysięcy), wraz z uwzględnieniem indywidualnego ryzyka. Rezultaty badań wskazują na istnienie zależności pomiędzy poziomem zanieczyszczenia powietrza pyłami respirabilnymi a przypadkami nowotworów płuc i chorób krążeniowo-oddechowych. Wykazano, że współczynnik ryzyka wzrostu umieralności na terenach najsilniej zanieczyszczonych w porównaniu z obszarami najmniej zanieczyszczonymi wynosi od 1,15 (95% poziom ufności: 1,09÷1,22) dla związków siarki do 1,17 (95% poziom ufności: 1,09÷1,26) dla  $PM_{2,5}$ .

W literaturze przedmiotu napotkać można również wyniki badań nad powiązaniem ilości przyjęć do szpitali z powodu różnego rodzaju dolegliwości układu oddechowego oraz poziomem zanieczyszczenia powietrza, w tym substancjami pochodzenia komunikacyjnego. Różnice jednak w wynikach badań prowadzonych na różnych obszarach są wyraźnie odmienne. *Fusco D. i in. [31]* przytacza wyniki badań, świadczące o powiązaniu aktualnego poziomu zanieczyszczenia powietrza na terenie Rzymu z przyjęciami do szpitali z powodu dolegliwości układu

oddechowego. Opisywane badania obejmowały pomiary średnich dobowych poziomów zanieczyszczeń powietrza w okresie kolejnych 34 miesięcy. W tym samym okresie w placówkach medycznych zbierano dane dotyczące powodów przyjęć do szpitali (dostęp do danych obejmował 96% placówek). W analizach uwzględniono dane związane z przyjęciami z powodu wszystkich dolegliwości układu oddechowego, w tym przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP) i astmy. Na podstawie wyników przeprowadzonych analiz autor dowodzi, iż całkowita liczba przyjęć z powodu dolegliwości oddechowych jest statystycznie istotnie związana z poziomem ditlenku azotu w tym samym dniu (2,5% wzrost liczby przyjęć wraz ze wzrostem odstępów międzykwartylowego (IQR) stężenia  $\text{NO}_2$  o  $22,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oraz z poziomem tlenku węgla (2,8% wzrost wraz ze wzrostem IQR o  $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Zaobserwowano również związek z ostrymi infekcjami układu oddechowego – 4% wzrost w przypadku  $\text{NO}_2$  i 2,2% wzrost dla CO (dla tych samych odstępów międzykwartylowych), a w przypadku CO również 5,5% wzrost przypadków astmy oskrzelowej i 4,3% wzrost przypadków POChP. Nie notowano związku pomiędzy liczbą przyjęć do szpitali a poziomem zanieczyszczeń w czasie dłuższym aniżeli 2 dni od momentu wzrostu stężenia. Z kolei wśród dzieci w wieku 0-14 lat ogólna ilość zgłoszeń do szpitali z powodu dolegliwości oddechowych związana była ze wzrostem stężenia ozonu i ditlenku azotu – w przypadku  $\text{O}_3$  notowano 5,4% wzrost liczby przyjęć (dla IQR wzrastającego o  $23,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), zaś w przypadku  $\text{NO}_2$  wzrost o 4%. Zarejestrowano, że ozon wykazywał silniejszy wpływ na liczbę przyjęć z powodu ostrych stanów chorobowych (wzrost o 8,1%), zaś ditlenek azotu z powodu astmy (10,7% wzrost). Z astmą związane były również rosnące stężenia tlenku węgla (wzrost liczby przyjęć o 8,2%). Generalnie nie zanotowano związku między liczbą przyjęć do szpitali z powodu chorób układu oddechowego a poziomami zapylenia i ditlenku siarki. Nie wykryto również istotnego wpływu pory roku na zmianę liczby przyjęć. Z kolei wyniki nieco innego rodzaju badań, przedstawionych przez *Wilkinsona P. i in.* [79], wskazują na brak jakiegokolwiek powiązania między przyjęciami do szpitali z powodu astmy i schorzeń oddechowych wśród dzieci w wieku 5-14 lat, a zamieszkiwaniem w sąsiedztwie ruchliwych ciągów komunikacyjnych. Analizowano przypadki przyjęć do szpitali w regionie North Thames w Anglii w czasie kolejnych 24 miesięcy, przy czym odnoszono je nie do rejestrowanych poziomów zanieczyszczeń a do odległości miejsca zamieszkania od najbliższej ruchliwej arterii komunikacyjnej. Nie stwierdzono istotnych statystycznie zależności pomiędzy zamieszkiwaniem w odległości mniejszej aniżeli 150 m od drogi a podwyższoną liczbą przyjęć do szpitali z powodu astmy oraz ogólnie dolegliwości oddechowych – iloraz szans dla astmy wyniósł 0,94 (95% poziom ufności:  $0,83 \div 1,06$ ), zaś dla wszystkich przyjęć związanych ze schorzeniami układu oddechowego 1,02 (95% poziom ufności:  $0,92 \div 1,13$ ). Autor wskazuje jednak, że wyniki podobnych badań w większości przypadków wskazują na istnienie zależności pomiędzy odległością zamieszkania od ruchliwej ulicy a liczbą przyjęć do szpitali z powodu dolegliwości układu oddechowego, choć zaznacza, że wyniki jego badań nie są zupełnie odosobnione.

Wyników badań zrealizowanych w innych krajach, w szczególności w Stanach Zjednoczonych, nie można wprost odnosić do sytuacji w tym zakresie na terenie Warszawy. Inna struktura ruchu, wyższy średni wiek pojazdów, odmienne warunki klimatyczne i meteorologiczne powodują, iż charakter ekspozycji na mieszaninę zanieczyszczeń komunikacyjnych na terenie Warszawy jest różny od panującego w innych miastach. Oszacowanie wpływu zanieczyszczeń komunikacyjnych na stan zdrowia mieszkańców Warszawy zamieszkujących wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych podjęto w ramach badań, których wyniki omówiono poniżej.

## **7.2. Ocena wpływu zanieczyszczeń powietrza na wartości wskaźników spirometrycznych**

Analiza objęła wyniki badań, przy uwzględnieniu obciążenia badanych osób nałogiem palenia tytoniu. Łącznie uwzględniono w analizach wyniki badań 750 mieszkańców Warszawy oraz 756 osób zamieszkujących obszary nieurbanizowane. Wpływ zanieczyszczeń powietrza na wartości wskaźników badań czynnościowych oddychania oceniano, porównując wyniki badań osób zamieszkujących wzdłuż arterii komunikacyjnej o znacznym natężeniu ruchu

(AI. Niepodległości w Warszawie) z wynikami badań osób z terenów niezurbanizowanych, odpowiednio w grupie niepalących i palących. W Warszawie badania prowadzono w sąsiedztwie komunikacyjnej stacji monitoringu jakości powietrza Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Badania w grupie kontrolnej objęły mieszkańców 29 miejscowości zlokalizowanych na obszarach niezurbanizowanych w różnych częściach Polski.

### 7.2.1. Ocena wpływu zanieczyszczeń powietrza na wartości wskaźników spirometrycznych w grupie osób niepalących

Grupa osób niepalących objęła w sumie 512 mieszkańców Warszawy (w tym 249 kobiet i 263 mężczyzn) oraz 445 mieszkańców terenów niezurbanizowanych (w tym 274 kobiety i 171 mężczyzn). Badane osoby cechowały prawidłowe średnie wartości należne poszczególnych wskaźników spirometrycznych, zarówno w grupie osób zamieszkujących obszary pozamiejskie, jak i wśród mieszkańców Warszawy. Stwierdzono jednak istotne różnice pomiędzy grupami. W grupie badanej natężona pierwszosekundowa objętość wydechu ( $FEV_1$ ), natężony przepływ śródwydechowy ( $FEF_{50}$ ) oraz wskaźnik pseudo-Tiffeneau ( $FEV_1\%FVC$ ) są istotnie statystycznie niższe w porównaniu z grupą kontrolną, co potwierdził test t-Studenta (hipoteza o równości średnich wartości wskaźników została odrzucona na poziomie  $p < 0,05$ ). Z kolei natężona pojemność życiowa (FVC) oraz przepływ szczytowy (PEF) osiągają w grupie kontrolnej niższe wartości w porównaniu z mieszkańcami Warszawy. Wartości  $FEV_1$ ,  $FEF_{50}$  (będące wskaźnikami drożności oskrzeli) oraz  $FEV_1\%FVC$  są szczególnie istotne dla oceny potencjalnych zmian chorobowych. Obniżenie tych parametrów świadczy o zaburzeniu przepływu powietrza przez drogi oddechowe, a więc o obturacji oskrzeli. Z kolei obniżone wartości FVC oraz PEF nie wskazują wprost na obecność zmian chorobowych, a sytuacja taka świadczyć może o niedostatecznej współpracy badanej osoby z lekarzem, czy niedokładnym zrozumieniu jego poleceń dotyczących czynności, które należy wykonywać podczas badania. Sytuacja taka nie ma jednak znaczenia klinicznego. Różnice pomiędzy wartościami poszczególnych wskaźników czynności oddychania prezentuje *Tabela 23*.

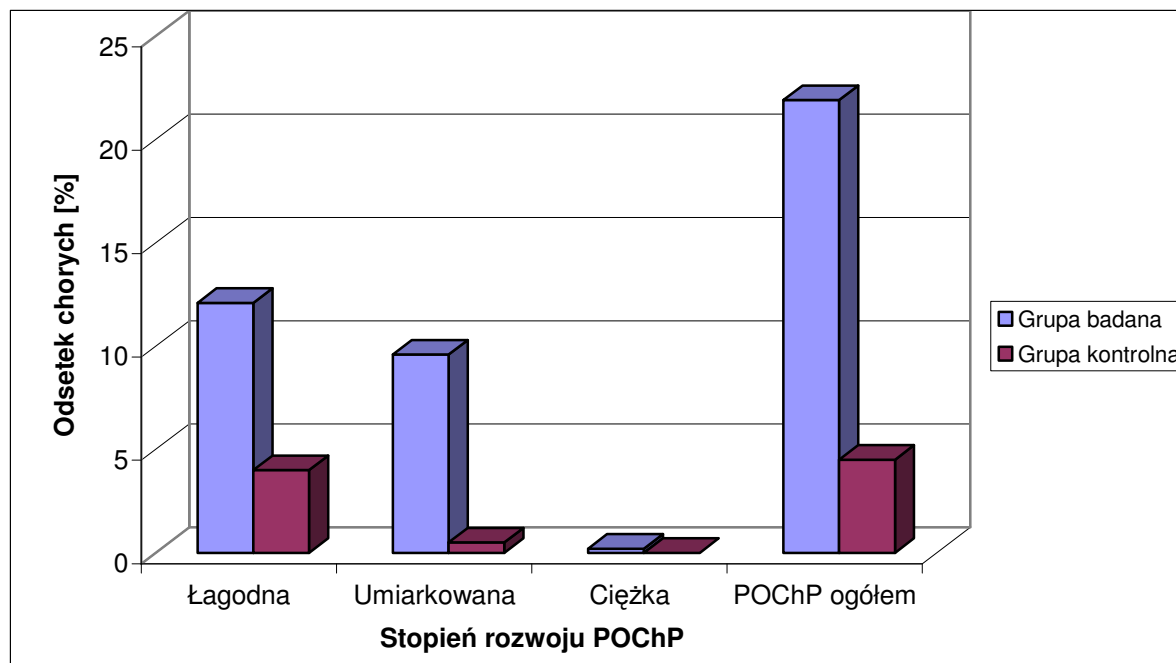
**Tabela 23** Wartości średnie i odchylenia standardowe wartości należnych badanych wskaźników spirometrycznych w grupie osób niepalących z Warszawy (grupa badana) oraz obszarów pozamiejskich (grupa kontrolna). Kolorem czerwonym oznaczono statystycznie istotne różnice

Wskaźnik	Grupa badana	Grupa kontrolna	Poziom istotności
	% wartości należnej		
$FEV_1$	<b>100,43 ± 17,95</b>	<b>103,49 ± 15,06</b>	<b>p&lt;0,05</b>
FVC	<b>109,51 ± 15,82</b>	<b>102,85 ± 15,37</b>	<b>p&lt;0,05</b>
PEF	<b>100,58 ± 21,47</b>	<b>96,25 ± 18,13</b>	<b>p&lt;0,05</b>
$FEF_{50}$	<b>88,62 ± 36,67</b>	<b>100,56 ± 28,87</b>	<b>p&lt;0,05</b>
$FEV_1\%FVC$	<b>97,59 ± 10,95</b>	<b>106,36 ± 11,13</b>	<b>p&lt;0,05</b>

W celu wykazania wpływu zanieczyszczeń powietrza na poszczególne osoby w każdej z badanych grup obliczono następnie odsetek osób z zaburzeniami przepływu powietrza przez układ oddechowy z uwzględnieniem stopnia ich zaawansowania. Zwężenie oskrzeli należy rozpoznać, gdy  $FEV_1\%FVC$  przyjmuje wartości mniejsze od 70%, przy czym obturację uznaje się za łagodną, gdy jednocześnie wartość  $FEV_1 \geq 80\%$  wartości należnej. W przypadku, gdy wartość należna  $FEV_1$  znajduje się w przedziale między 50% a 79% stwierdza się umiarkowaną obturację, zaś gdy jest ona mniejsza od 50% świadczy to o ciężkiej formie zwężenia oskrzeli. Wyniki obliczeń zawiera *Tabela 24* oraz *Wykres 38*.

**Tabela 24 Odsetek osób niepalących z zaburzeniami oddychania w grupie badanej i kontrolnej, z uwzględnieniem stopnia zaawansowania choroby**

Forma obturacji	Grupa badana	Grupa kontrolna
	Odsetek osób z zaburzeniami przepływu	
Łagodna	12,1%	4,0%
Umiarkowana	9,6%	0,5%
Ciężka	0,2%	0,0%
Ogółem	21,9%	4,5%



**Wykres 38 Odsetek osób niepalących z zaburzeniami przepływu powietrza przez drogi oddechowe w grupie badanej i kontrolnej, z zaznaczeniem stopnia rozwoju choroby**

Wśród osób niepalących, zamieszkujących wzdłuż ciągu komunikacyjnego o znacznym natężeniu ruchu:

- o odsetek badanych z zaburzeniami oddychania jest niemal 5-krotnie większy w porównaniu z mieszkańcami obszarów pozamiejskich
- o największe różnice dotyczą umiarkowanej postaci obturacji, której częstość występowania wśród mieszkańców Warszawy stwierdzano prawie 20-krotnie częściej aniżeli w grupie kontrolnej
- o łagodną obturację u osób mieszkających wzdłuż ruchliwej ulicy stwierdzano 3-krotnie częściej w porównaniu z mieszkańcami terenów pozamiejskich
- o ciężką postać rozpoznano u 0,2% mieszkańców miasta.

Ze względu na normalny charakter rozkładu badanych wskaźników, istotność różnic pomiędzy odsetkami osób z zaburzeniami przepływu powietrza przez drogi oddechowe analizowano stosując test różnic pomiędzy dwoma wskaźnikami struktury, na podstawie którego wykazano, iż hipotezę o równości odsetków należy odrzucić przy  $p < 0,05$  w przypadku łagodnej i umiarkowanej postaci obturacji. W przypadku ciężkiej odmiany nie było podstaw do odrzucenia takiej hipotezy, co najprawdopodobniej związane było z niewielką liczbą stwierdzonych przypadków.

## 7.2.2. Ocena wpływu zanieczyszczeń powietrza na wartości wskaźników spirometrycznych w grupie osób palących

Wśród zbadanych osób obciążonych nałogiem palenia tytoniu było 238 mieszkańców Warszawy (w tym 84 kobiety i 154 mężczyzn) oraz 311 osób zamieszkujących obszary pozamiejskie (w tym 149 kobiet i 162 mężczyzn). Podobnie, jak wśród osób niepalących, również w grupie osób palących średnie wartości należne poszczególnych wskaźników spirometrycznych mieściły się w granicach normy, zarówno w grupie osób zamieszkujących tereny pozamiejskie, jak i wśród mieszkańców Warszawy.

U osób mieszkających w sąsiedztwie Al. Niepodległości stwierdzono obniżone, w stosunku do grupy kontrolnej, średnie wartości należne natężonej pierwszosekundowej objętości wydechowej ( $FEV_1$ ), natężonego przepływu śródwydechowego ( $FEF_{50}$ ) oraz wskaźnika pseudo-Tiffeneau ( $FEV_1\%FVC$ ). Należy przy tym dodać, iż test t-Studenta wykazał, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o równości wskaźnika  $FEV_1$  w grupie badanej i kontrolnej. Różnice zatem w wartościach tego wskaźnika w obu grupach nie są statystycznie istotne. Wydaje się, iż palenie tytoniu i inhalowanie zanieczyszczeń powstających w strefie żarzenia papierosa to czynniki znacznie bardziej obciążające, aniżeli zanieczyszczenia powietrza. Z tego względu w grupie osób palących wpływ zanieczyszczeń na stan zdrowia może być niewyraźny, choć zauważyć należy, że poziom istotności w wykonanym teście zbliżony jest do 0,05 (wynosi 0,08). Niższe w porównaniu z mieszkańcami Warszawy średnie wartości natężonej pojemności życiowej (FVC) i przepływu szczytowego (PEF) nie mają znaczenia klinicznego. Różnice pomiędzy średnimi wartościami omawianych wskaźników przedstawia *Tabela 25*.

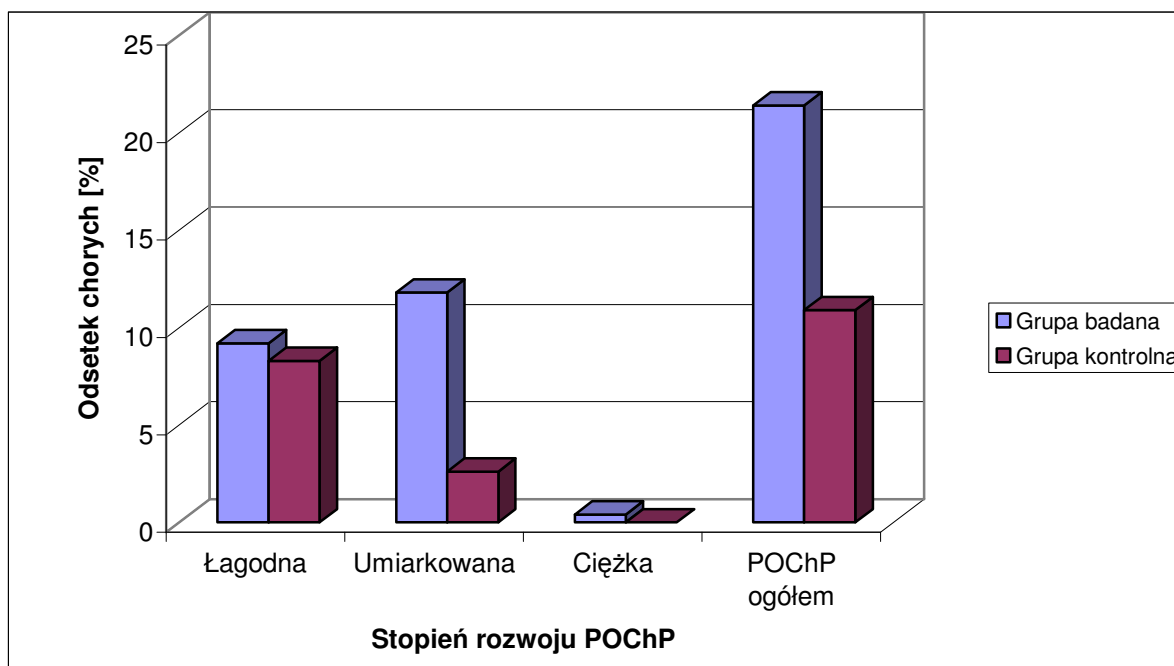
**Tabela 25 Wartości średnie i odchylenia standardowe wartości należnych badanych wskaźników spirometrycznych w grupie osób palących z Warszawy (grupa badana) oraz obszarów pozamiejskich (grupa kontrolna). Kolorem czerwonym oznaczono statystycznie istotne różnice**

Wskaźnik	Grupa badana	Grupa kontrolna	Poziom istotności
	% wartości należnej		
$FEV_1$	<b>96,71 ± 18,08</b>	<b>99,06 ± 13,39</b>	<b>p=0,08</b>
FVC	<b>107,19 ± 16,55</b>	<b>102,04 ± 13,47</b>	<b>p&lt;0,05</b>
PEF	<b>96,62 ± 20,48</b>	<b>92,70 ± 17,11</b>	<b>p&lt;0,05</b>
$FEF_{50}$	<b>84,49 ± 34,59</b>	<b>95,02 ± 28,02</b>	<b>p&lt;0,05</b>
$FEV_1\%FVC$	<b>95,18 ± 9,29</b>	<b>102,10 ± 11,07</b>	<b>p&lt;0,05</b>

W obu grupach obliczony został odsetek osób z zaburzeniami przepływu powietrza przez drogi oddechowe, przy uwzględnieniu stopnia obturacji. Wyniki obliczeń prezentuje *Tabela 26* oraz *Wykres 39*.

**Tabela 26 Odsetek osób palących z zaburzeniami oddychania w grupie badanej i kontrolnej, z uwzględnieniem stopnia zaawansowania choroby**

Forma obturacji	Grupa badana	Grupa kontrolna
	Odsetek osób z zaburzeniami przepływu	
Łagodna	9,2%	8,3%
Umiarkowana	11,8%	2,6%
Ciężka	0,4%	0,0%
Ogółem	21,4%	10,9%



**Wykres 39** Odsetek osób palących z zaburzeniami przepływu powietrza przez drogi oddechowe w grupie badanej i kontrolnej, z zaznaczeniem stopnia rozwoju choroby

Podobnie, jak w przypadku osób niepalących, również w grupie palących odsetek osób z cechami zwężenia dróg oddechowych jest większy pośród mieszkańców Warszawy. Jednakże różnica ta jest znacznie mniejsza, wyraźnie mniejsze są również różnice w częstościach występowania poszczególnych stopni zwężenia oskrzeli pomiędzy obiema analizowanymi grupami:

- o częstość występowania objawów obturacji wśród osób zamieszkujących w sąsiedztwie ruchliwych ulic jest bez mała 2-krotnie większa w porównaniu z mieszkańcami terenów niezurbanizowanych
- o podobnie, jak w grupie osób niepalących, również wśród palących największe różnice występują w przypadku umiarkowanej postaci obturacji – niemal 5-krotnie częściej występuje ona wśród mieszkańców Warszawy w porównaniu z osobami mieszkającymi poza miastem
- o w przypadku łagodnej jej formy różnica ta jest znikoma i wynosi 1,1
- o ciężką obturację stwierdzono wśród 0,4% badanych.

Testy różnic pomiędzy dwoma wskaźnikami struktury wykazały, iż hipotezę o równości odsetków osób z obturacją w obu grupach należy odrzucić przy poziomie istotności  $p < 0,05$ . Wśród osób z umiarkowaną postacią choroby również odsetek przypadków w grupie mieszkańców miasta jest statystycznie istotnie wyższy (przy  $p < 0,05$ ) w porównaniu z mieszkańcami terenów pozamiejskich. Brak jest natomiast podstaw do odrzucenia takiej hipotezy w przypadku łagodnej oraz ciężkiej postaci choroby.

### 7.2.3. Ocena łącznego wpływu zanieczyszczeń powietrza i palenia tytoniu na wartości wskaźników spirometrycznych

Łączny wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych oraz palenia tytoniu na poziom wskaźników czynnościowych oddychania oceniano porównując wyniki badań niepalących mieszkańców terenów pozamiejskich (bez czynników ryzyka) i palących mieszkańców miasta (2 czynniki ryzyka: palenie tytoniu i zanieczyszczenia powietrza).

Osoby palące, zamieszkujące wzdłuż arterii komunikacyjnej o znacznym natężeniu ruchu w porównaniu z niepalącymi mieszkańcami obszarów niezurbanizowanych wykazywały obniżone



średnie wartości należne FEV<sub>1</sub>, FEF<sub>50</sub> oraz FEV<sub>1</sub>%FVC. Szczegóły w tym zakresie prezentuje *Tabela 27*.

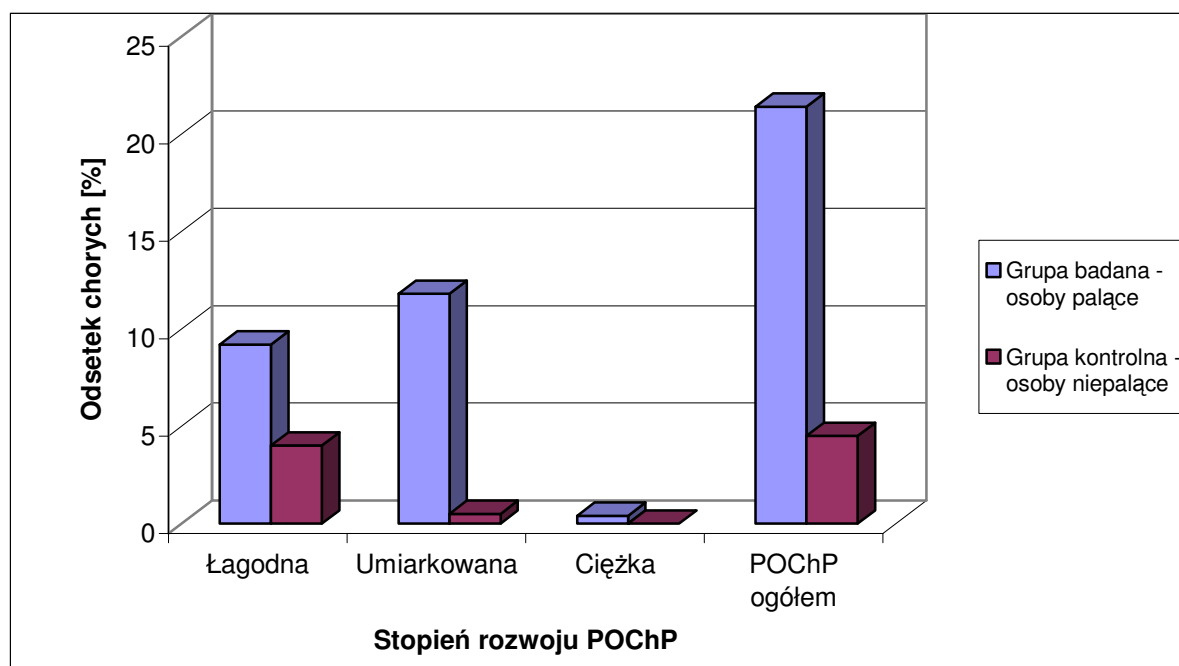
**Tabela 27** Wartości średnie i odchylenia standardowe wartości należnych badanych wskaźników spirometrycznych w grupie osób palących z Warszawy oraz niepalących mieszkańców obszarów pozamiejskich. Kolorem czerwonym oznaczono statystycznie istotne różnice

Wskaźnik	Grupa badana – osoby palące	Grupa kontrolna – osoby niepalące	Poziom istotności
	% wartości należnej		
FEV <sub>1</sub>	96,71 ± 18,08	103,49 ± 15,06	P<0,05
FVC	107,19 ± 16,55	102,85 ± 15,37	p<0,05
PEF	96,62 ± 20,48	96,25 ± 18,13	P=0,81
FEF <sub>50</sub>	84,49 ± 34,59	100,56 ± 28,87	p<0,05
FEV <sub>1</sub> %FVC	95,18 ± 9,29	106,36 ± 11,13	p<0,05

Porównano również różnice w odsetkach osób wykazujących cechy obturacji w obu analizowanych grupach. Wyniki przedstawia *Tabela 28* oraz *Wykres 40*.

**Tabela 28** Odsetek osób palących w grupie badanej oraz niepalących w grupie kontrolnej z zaburzeniami oddychania (z uwzględnieniem stopnia zaawansowania choroby)

Forma obturacji	Grupa badana – osoby palące	Grupa kontrolna – osoby niepalące
	Odsetek osób z zaburzeniami przepływu	
Łagodna	9,2%	4,0%
Umiarkowana	11,8%	0,5%
Ciężka	0,4%	0,0%
Ogółem	21,4%	4,5%



**Wykres 40** Odsetek osób palących z grupy badanej oraz niepalących z grupy kontrolnej wykazujących cechy zaburzenia przepływu powietrza przez drogi oddechowe

Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują, iż:

- o osoby palące zamieszkujące w sąsiedztwie ruchliwej ulicy wykazują cechy obturacji niemal 5-krotnie częściej w porównaniu z niepalącymi mieszkańcami obszarów pozamiejskich

- o największe różnice związane są tu z występowaniem umiarkowanej obturacji – u palących mieszkańców miasta obserwowano ją blisko 24-krotnie częściej w porównaniu z osobami niepalącymi pochodzącymi z terenów niezurbanizowanych
- o ponad 2-krotnie częściej stwierdzano również łagodną formę obturacji

Testy różnic pomiędzy tymi odsetkami wykazały, iż hipotezę o ich równości należy (przy  $p < 0,05$ ) odrzucić. W grupie osób zamieszkujących w sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych o znacznym natężeniu ruchu oraz dodatkowo obciążonych nałogiem palenia tytoniu liczba osób z istotnymi zaburzeniami przepływu powietrza przez drogi oddechowe jest statystycznie istotnie wyższa w porównaniu z niepalącymi mieszkańcami terenów niezurbanizowanych. Największe różnice dotyczą przypadków ze stwierdzoną umiarkowaną postacią obturacji. Wśród osób palących rzadziej stwierdzano łagodne zwężenie dróg oddechowych, częściej zaś obturację umiarkowaną. Może to świadczyć o addytywnym wpływie palenia tytoniu oraz zanieczyszczeń atmosferycznych na stan zdrowia tych osób.

O wpływie zaś samego faktu palenia tytoniu na stan zdrowia świadczyć może z kolei porównanie wskaźników czynnościowych pomiędzy osobami niepalącymi i palącymi zamieszkującymi obszary niezurbanizowane. Niemal 2,5-krotnie więcej przypadków chorobowych zdiagnozowano wśród palących mieszkańców terenów pozamiejskich w porównaniu z osobami niepalącymi. Wyraźnie rzadziej osoby niepalące wykazywały cechy zarówno łagodnego (2-krotnie), jak i umiarkowanego (ponad 5-krotnie) zwężenia dróg oddechowych.

### **7.3. Ocena narażenia na zachorowanie ze względu na czynniki zewnętrzne**

Wartości wskaźników czynnościowych oddychania pozwalają na stwierdzenie bądź wyeliminowanie obturacji dróg oddechowych u badanej osoby. Jak już wspomniano, pierwszym wskaźnikiem świadczącym o zaburzeniach procesu oddychania jest wskaźnik pseudo-Tiffeneau ( $FEV_1\%FVC$ ) przyjmujący wartości poniżej 70%. Wobec tego osoby, u których wartość  $FEV_1\%FVC < 70\%$  to osoby wykazujące cechy obturacji, a więc charakteryzujące się nieproporcjonalnym obniżeniem  $FEV_1$  w stosunku do aktualnej pojemności życiowej. Z kolei osoby, u których  $FEV_1\%FVC \geq 70\%$  uznaje się za niewykazujące objawów obturacji. Każdej z badanych osób można zatem przypisać zmienną typu dychotomicznego. W dalszych analizach sytuacja, w której zmienna ta przyjmie wartość „0” oznaczać będzie osobę zdrową, zaś wartość „1” osobę chorą. Poszukiwane będzie powiązanie, podobne do funkcji regresji, prawdopodobieństwa wystąpienia obturacji z grupą zmiennych niezależnych, takimi jak wiek, płeć, obciążenie nałogiem palenia oraz miejsce zamieszkania. W tego typu analizach nie jest możliwe zastosowanie regresji wielokrotnej, stosuje się natomiast regresję logistyczną.

Regresja logistyczna jest pewnym modelem matematycznym, który może zostać zastosowany do opisu wpływu zmiennych niezależnych na dychotomiczną zmienną zależną (Stanisz A [13]). Niech  $Y$  oznacza zmienną zależną o wartościach: 0 – nie wykazuje objawów POChP ( $FEV_1\%FVC \geq 70\%$ ), 1 – wykazuje objawy POChP ( $FEV_1\%FVC < 70\%$ ). Model regresji logistycznej dla takiej zmiennej dychotomicznej przyjmuje postać:

$$P(Y = 1 | x_1, x_2, \dots, x_k) = \frac{e^{\left(a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i\right)}}{1 + e^{\left(a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i\right)}}$$

**Równanie 7.2 – model regresji logistycznej**

$a_i, i=0, \dots, k$  – współczynniki regresji

$x_1, x_2, \dots, x_k$  – zmienne niezależne

Prawdopodobieństwo warunkowe, że zmienna  $Y$  przyjmie wartość 1 dla wartości zmiennych niezależnych  $x_1, x_2, \dots, x_k$  oznaczane będzie w dalszej części przez  $P(X)$ .

Poza oszacowaniem współczynników regresji i ich statystycznej istotności w modelu logistycznym dochodzi dodatkowy parametr – iloraz szans. Wykorzystuje on pojęcie szansy ( $S$ ), zdefiniowanej, jako stosunek prawdopodobieństwa wystąpienia pewnego zjawiska ( $A$ ), np. choroby, do prawdopodobieństwa, że zjawisko to nie wystąpi. Definicję tą można zapisać w następujący sposób:

$$S(A) = \frac{p(A)}{p(\text{nie}A)} = \frac{p(A)}{1 - p(A)}$$

**Równanie 7.3 – szansa wystąpienia zjawiska A**

Aby precyzyjnie wyjaśnić pojęcie ilorazu szans, pod uwagę wzięto dwie zmienne dychotomiczne: miejsce zamieszkania badanych osób (Warszawa i obszary pozamiejskie) oraz występowanie objawów POChP (choroba występuje lub nie). Zastosowano następujące podziały ze względu na dwie cechy jakościowe, którymi w analizowanym przypadku niech będą:

- podział na osoby zamieszkujące przy ruchliwej ulicy w Warszawie oraz osoby zamieszkujące na obszarach pozamiejskich
- podział na osoby, które wykazują objawy POChP i u których nie stwierdza się tych objawów

Wiedząc z wcześniejszych obliczeń, że:

- w grupie mieszkańców Warszawy stwierdzono objawy POChP wśród 164 osób, zaś 586 nie wykazywało cech choroby
- w grupie mieszkańców terenów pozamiejskich objawy POChP zidentyfikowano u 54 osób, natomiast 702 osoby uznano za zdrowe

można policzyć szansę wystąpienia POChP w grupie mieszkańców Warszawy ( $S(\text{POChP}_W)$ ) i terenów pozamiejskich ( $S(\text{POChP}_P)$ ), co przedstawia *równanie 7.4*:

$$S(\text{POChP}_W) = \frac{164}{586} = 0,2799; \quad S(\text{POChP}_P) = \frac{54}{702} = 0,0769$$

**Równanie 7.4**

Korzystając następnie z definicji ilorazu szans dwóch grup porównywanych, którą przedstawia *równanie 5.2*, można zapisać następującą równość:

$$OR_{W \times P} = \frac{S(\text{POChP}_W)}{S(\text{POChP}_P)} = \frac{0,2799}{0,0769} \approx 3,64$$

**Równanie 7.5**

Z zależności, którą przedstawia *równanie 7.5* wynika, że szansa zachorowania na przewlekłą obturacyjną chorobę płuc wśród osób zamieszkujących w sąsiedztwie ruchliwej ulicy w Warszawie jest ponad 3.5-krotnie większa w porównaniu z szansą zachorowania w grupie mieszkańców terenów pozamiejskich.

Dla celów wyjaśnienia powiązania ilorazu szans z regresją logistyczną przedstawić należy przekształcenie logitowe, czyli transformację prawdopodobieństwa  $p(Y=1)$  w następujący sposób:

$$\text{logit } P = \ln \frac{p(Y=1)}{1 - p(Y=1)}$$

**Równanie 7.6 – transformacja logitowa**

Podstawiając zamiast prawdopodobieństwa  $p(Y=1)$  prawą stronę *równania 7.2*, otrzymuje się:

$$\text{logit } P = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i$$

**Równanie 7.7 – logitowa postać modelu logistycznego**

Dla rozważanego przypadku występowania objawów POChP w dwóch grupach badanych osób, zapisać można model logistyczny lub jego równoważną postać logitową:

$$P(X) = \frac{e^{a_0 + a_1 \cdot ZAM}}{1 + e^{a_0 + a_1 \cdot ZAM}}; \quad \text{logit } P = a_0 + a_1 \cdot ZAM$$

**Równanie 7.8**

ZAM oznacza miejsce zamieszkania i przyjmować będzie wartość 1 dla osób mieszkających w sąsiedztwie ruchliwej ulicy w Warszawie oraz wartość 0 dla mieszkańców obszarów pozamiejskich. Dychotomiczna zmienna zależna POChP przyjmie wartość 1 dla osób chorych na POChP, zaś wartość 0 dla osób niecierpiących na tą chorobę.

Powiązanie logitowej postaci modelu logistycznego z definicją szansy pozwala na zapisanie, odpowiednio dla grupy badanych osób z Warszawy (W) oraz terenów pozamiejskich (P), następujących zależności:

$$(W) \ln S(POChP) = \ln \frac{p(POChP=1)}{1-p(POChP=1)} = \text{logit } p(POChP=1) = a_0 + a_1 \cdot 1 = a_0 + a_1;$$

$$(P) \ln S(POChP) = \ln \frac{p(POChP=1)}{1-p(POChP=1)} = \text{logit } p(POChP=1) = a_0 + a_1 \cdot 0 = a_0$$

**Równanie 7.9**

Iloraz szans obliczony zatem dla grup W i P przyjmie następującą postać:

$$OR_{W \times P} = \frac{e^{(a_0 + a_1)}}{e^{a_0}} = e^{a_1}$$

**Równanie 7.10**

Postać ilorazu szans zaprezentowana w *równaniu 7.10* to tzw. iloraz szans dla zmiany jednostkowej (od ZAM=0 do ZAM=1). Pozwala on na obliczenie szansy wystąpienia pewnego zjawiska (w tym przypadku przewlekłej obturacyjnej choroby płuc) w przypadku zmiany zmiennej niezależnej o jednostkę, przy założeniu, że pozostałe zmienne niezależne nie uległy zmianie.

Estymacja parametrów powyższego modelu wykazała, że  $a_0 = -2,5649$ , zaś  $a_1 = 1,2915$ . Iloraz szans dla zmiany jednostkowej wynosi więc  $e^{1,2915} = 3,6382 \approx 3,64$ . Jest to więc ten sam wynik, który otrzymano w *równaniu 7.5*.

Iloraz szans można uogólnić na dowolną, niekoniecznie jednostkową zmianę zmiennej niezależnej, jak również na dowolną ilość zmiennych niezależnych, w tym zmiennych dychotomicznych, jakościowych i ilościowych. W tej sytuacji, dla dwóch porównywanych grup A i B, których wartości zmiennych niezależnych  $x_1, x_2, \dots, x_k$  oznaczy się jako  $X_A$  i  $X_B$ , iloraz szans opisuje się w następujący sposób:

$$OR_{A \times B} = e^{\sum_{j=1}^k (X_{A_j} - X_{B_j}) a_j}$$

**Równanie 7.11**

Chcąc porównać palące osoby, zamieszkujące w sąsiedztwie ruchliwej ulicy w Warszawie ( $X_A = (1, 1)$ ) z niepalącymi mieszkańcami terenów pozamiejskich ( $X_B = (0, 0)$ ) zapisać można poniższą zależność:

$$OR_{A \times B} = e^{(1-0) \cdot a_1 + (1-0) \cdot a_2} = e^{a_1 + a_2}$$

**Równanie 7.12**

W wyniku estymacji parametrów modelu otrzymano następujące wartości:  $a_0 = -2,6806$ ,  $a_1 = 0,2635$ ,  $a_2 = 1,3193$ . Obliczony w ten sposób iloraz szans przyjmuje następującą wartość:

$$OR_{A \times B} = e^{0,2635 + 1,3193} = e^{1,5828} \approx 4,87$$

**Równanie 7.13**

Uzyskany wynik oznacza, że ryzyko rozwinięcia się przewlekłej obturacyjnej choroby płuc u palących osób z Warszawy jest prawie 5-krotnie wyższe w porównaniu z grupą mieszkańców terenów pozamiejskich nieobciążonych nałogiem palenia tytoniu.

Poniżej przedstawiono i omówiono modele logistyczne wykonane na podstawie wyników badań czynnościowych oddychania oraz wartości wybranych wskaźników antropometrycznych, obciążenia nałogiem palenia i miejsca zamieszkania. Estymację parametrów modeli przeprowadzono osobno dla całej przebadanej zbiorowości, jak też z uwzględnieniem podziału na osoby niepalące i obciążone nałogiem palenia tytoniu. Przedstawione modele logistyczne zawierają jedynie te zmienne niezależne, które w wyniku analizy okazały się być istotne statystycznie (przy  $p < 0,05$ ). W każdym z przypadków stosowano metodę estymacji quasi-Newtona, przy czym dodać należy, iż użycie każdej z pozostałych dostępnych metod estymacji w zasadzie nie powodowało widocznych zmian w postaci modelu i wartościach współczynników regresji. Stosunek iloczynu poprawnie zaklasyfikowanych przypadków do iloczynu przypadków zaklasyfikowanych niepoprawnie w każdym z modeli osiągnął wartości zdecydowanie przewyższające 1, co oznacza klasyfikację o wiele lepszą od tej, której można oczekiwać przez przypadek. Dla każdego z modeli wyliczone również zostały ilorazy szans dla jednostkowej zmiany analizowanych parametrów, które zestawiono w tabelach prezentujących wyniki estymacji.

Postać modelu obliczonego dla wszystkich uwzględnionych przypadków przedstawia równanie 7.14:

$$P(X) = \frac{e^{-6,608 + 0,075 \cdot WIEK - 0,528 \cdot PŁEĆ + 0,780 \cdot PAL + 1,014 \cdot ZAM}}{1 + e^{-6,608 + 0,075 \cdot WIEK - 0,528 \cdot PŁEĆ + 0,780 \cdot PAL + 1,014 \cdot ZAM}}$$

**Równanie 7.14**

WIEK – wiek badanej osoby [lata]

PŁEĆ – płeć badanej osoby – zmienna dychotomiczna: mężczyzna (PŁEĆ=0), kobieta (PŁEĆ=1)

PAL – obciążenie nałogiem palenia – zmienna dychotomiczna: niepalący (PAL=0), palący (PAL=1)

ZAM – miejsce zamieszkania – zmienna dychotomiczna: grupa kontrolna (osoby z terenów pozamiejskich, ZAM=0), grupa badana (mieszkańcy Warszawy, ZAM=1)

Wartość testu dobroci dopasowania chi-kwadrat ( $\chi^2$ ) dla różnicy między przedstawionym modelem a modelem tylko z wyrazem wolnym jest wysoce istotna statystycznie ( $p < 0,0001$ ), co świadczy o tym, iż występujące w modelu zmienne niezależne istotnie wpływają na możliwość zachorowania. Wartości estymatorów parametrów modelu są również istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ).

Z modelu wynika, iż wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia zwiężenia oskrzeli wzrasta wraz ze zwiększającymi się wartościami zmiennych: „WIEK”, „PAL” oraz „ZAM”. W przypadku dwóch ostatnich zmiennych wzrost ten należy rozumieć, jako zmianę wartości „0” na „1”. Wobec powyższego prawdopodobieństwo zachorowania rośnie w przypadku osób palących oraz zamieszkujących obszary miejskie. Analogicznie prawdopodobieństwo to maleje wraz ze wzrostem zmiennej „PŁEĆ”, co świadczy o mniejszym prawdopodobieństwie zachorowania wśród kobiet.

Tabela 29 prezentuje zestawienie wartości estymatorów parametrów modelu oraz ilorazy szans dla jednostkowych zmian poszczególnych parametrów.

**Tabela 29 Wybrane wyniki estymacji parametrów modelu regresji logistycznej dla całej badanej zbiorowości**

	Zmienna			
	WIEK	PŁEĆ	PAL	ZAM
Wartość estymowanego parametru	0,075	-0,528	0,780	1,014
Poziom istotności	<0,05			
95% przedział ufności dla parametrów	0,063÷0,087	-0,862÷-0,193	0,412÷1,142	0,659÷1,369
iloraz szans dla jednostkowej zmiany parametru	1,07	0,59	2,18	2,76
95% przedział ufności dla ilorazu szans	1,06÷1,09	0,42÷0,82	1,52÷3,13	1,93÷3,93

Zaprezentowane wyniki pozwalają stwierdzić, iż palenie tytoniu zwiększa ponad 2-krotnie ryzyko wystąpienia zaburzeń przepływu powietrza przez oskrzela, co jest w zasadzie równoważne z zachorowaniem na przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (POChP), zaś fakt zamieszkiwania wzdłuż ruchliwego ciągu komunikacyjnego (w porównaniu z terenem niezurbanizowanym) powoduje wzrost tego ryzyka niemal 3-krotnie. Mężczyźni są 1,7-krotnie ( $0,59^{-1}$ ) bardziej narażeni na zachorowanie w porównaniu z kobietami.

Analogiczne modele wykonane zostały w rozbiciu na grupę osób niepalących i palących, w celu przeanalizowania wpływu miejsca zamieszkania na prawdopodobieństwo zachorowania z powodu POChP. Postać modelu wykonanego dla grupy osób niepalących przedstawia *równanie 7.15*:

$$P(X) = \frac{e^{-7,249+0,081 \cdot WIEK - 0,764 \cdot PŁEĆ + 1,470 \cdot ZAM}}{1 + e^{-7,249+0,081 \cdot WIEK - 0,764 \cdot PŁEĆ + 1,470 \cdot ZAM}}$$

**Równanie 7.15**

Oznaczenia jak wyżej.

Zgodnie z przedstawionym powyżej modelem prawdopodobieństwo zachorowania wzrasta wraz z wiekiem oraz jest większe dla próby badanej w porównaniu z kontrolną, mniejsze zaś wśród kobiet. Podobnie, jak w poprzednim modelu wartość statystyki  $\chi^2$  oraz wartości estymatorów parametrów modelu są wysoce istotne statystycznie. Zestawienie tych wartości zawiera *Tabela 30*.

**Tabela 30 Wybrane wyniki estymacji parametrów modelu regresji logistycznej, uwzględniającego wyniki badań osób niepalących**

	Zmienna		
	WIEK	PŁEĆ	ZAM
Wartość estymowanego parametru	0,081	-0,764	1,470
Poziom istotności	<0,05		
95% przedział ufności dla parametrów	0,065÷0,098	-1,204÷-0,324	0,945÷1,994
Iloraz szans dla jednostkowej zmiany parametru	1,08	0,47	4,35
95% przedział ufności dla ilorazu szans	1,07÷1,10	0,30÷0,72	2,57÷7,35

Wśród osób niepalących ryzyko zachorowania z powodu POChP rośnie z wiekiem, podobnie, jak w całej przebadanej zbiorowości. Narażenie mężczyzn na zachorowanie jest ponad 2-krotnie ( $0,47^{-1}$ ) większe aniżeli wśród kobiet. Osoby mieszkające w sąsiedztwie ruchliwego ciągu komunikacyjnego są ponad 4-krotnie bardziej narażone na wystąpienie obturacji w porównaniu z mieszkańcami terenów niezurbanizowanych. Zwrócić jednakże należy uwagę na stosunkowo dużą rozpiętość 95% przedziału ufności zarówno dla estymowanych parametrów, jak i dla jednostkowej zmiany parametru.

Z kolei dla grupy osób palących postać modelu prezentuje *równanie 7.16*:

$$P(X) = \frac{e^{-6,793+0,071 \cdot WIEK + 0,017 \cdot WAGA + 0,463 \cdot ZAM}}{1 + e^{-6,793+0,071 \cdot WIEK + 0,017 \cdot WAGA + 0,463 \cdot ZAM}}$$

**Równanie 7.16**

WAGA – masa ciała badanej osoby [kg]

Pozostałe oznaczenia jak wyżej.

W grupie osób palących wpływ płci na prawdopodobieństwo rozwoju choroby okazał się nieistotny, zaznaczył się natomiast niewielki, acz istotny statystycznie ( $p=0,04$ ) dodatni wpływ masy ciała. Wartość statystyki dobroci dopasowania modelu  $\chi^2$  jest wysoce istotna statystycznie. Zwrócić należy jednak uwagę na fakt, iż wśród estymatorów modelu zmienna niezależna

określająca miejsce zamieszkania jest nieistotna. Szczegółowe zestawienie wyników estymacji zawiera *Tabela 31*.

**Tabela 31 Wybrane wyniki estymacji parametrów modelu regresji logistycznej, uwzględniającego wyniki badań osób palących**

	Zmienna		
	WIEK	WAGA	ZAM
Wartość estymowanego parametru	0,071	0,017	0,463
Poziom istotności	<0,05		0,08
95% przedział ufności dla parametrów	0,052÷0,091	0,001÷0,032	-0,056÷0,982
Iloraz szans dla jednostkowej zmiany parametru	1,07	1,02	1,59
95% przedział ufności dla ilorazu szans	1,05÷1,10	1,00÷1,03	0,95÷2,67

Model zawierający nieistotny statystycznie estymator zmiennej „ZAM” zaprezentowany został celowo, aby pokazać iż wśród osób palących wpływ miejsca zamieszkania na prawdopodobieństwo zachorowania z powodu POChP nie odgrywa tak istotnej roli. Potwierdza to zaprezentowane wcześniej wyniki, zgodnie z którymi różnica średnich wartości jednego z najważniejszych wskaźników czynnościowych oddychania (FEV<sub>1</sub>) pomiędzy mieszkańcami aglomeracji miejskiej a grupą kontrolną również okazała się statystycznie nieistotna. Zebrane wyniki badań wskazują, że wzrost ryzyka wystąpienia obturacji wśród osób palących wynika przede wszystkim z samego faktu palenia tytoniu. Ryzyko to wzrasta również z wiekiem oraz jest nieco większe dla osób charakteryzujących się wyższą masą ciała. Jednostkowy iloraz szans zmiennej „ZAM” świadczy co prawda o 1,6-krotnie wyższym ryzyku zachorowania wśród mieszkańców miasta, jednakże dolna granica 95% przedziału ufności przyjmuje wartość niższą od jedności, zaś sam estymowany parametr, jak już wspomniano nie jest istotny statystycznie. Ostatecznie więc model logistyczny obliczony dla grupy osób palących przyjmuje postać, którą przedstawia *równanie 7.17*:

$$P(X) = \frac{e^{-6,858+0,075 \cdot WIEK+0,018 \cdot WAGA}}{1 + e^{-6,858+0,075 \cdot WIEK+0,018 \cdot WAGA}}$$

**Równanie 7.17**

Pozostałe oznaczenia jak wyżej.

W kwestionariuszu osobowym, prowadzonym jednocześnie z badaniem spirometrycznym, uwzględnione zostały również informacje dotyczące okresu zamieszkiwania w danym miejscu oraz miejsca pracy i potencjalnego oddziaływania szkodliwych dla zdrowia czynników zewnętrznych, związanych z wykonywaną pracą. Jednakże fakt, iż informacje te zbierane były jedynie w grupie mieszkańców Warszawy, sprawił, że nie mogły one stanowić danych wejściowych do przedstawionych powyżej modeli, uwzględniających zarówno wyniki badań mieszkańców miasta, jak i obszarów pozamiejskich. Ponadto ze względu na stosunkowo niewielką liczebność badanej próby, oraz znikomą liczbę osób, które deklarowały obecność szkodliwych czynników w miejscu pracy, uzyskane wyniki mogłyby być trudne do jednoznacznej interpretacji.

## 7.4. Podsumowanie

Podsumowując przedstawioną powyżej analizę stwierdzić należy, że jakkolwiek nie można z całą pewnością wykluczyć, iż inne, nie wzięte pod uwagę czynniki ryzyka wpływają na zwiększony odsetek przypadków POChP wśród osób zamieszkujących tereny wzdłuż ruchliwych szlaków komunikacyjnych, to jednak przytaczane w niniejszej pracy wyniki badań wskazują na znaczącą rolę zanieczyszczeń powietrza w rozwoju chorób przebiegających ze zwężeniem oskrzeli (głównie POChP). Istotnie statystycznie różnice w wartościach średnich i odsetku osób z obturacją oskrzeli pomiędzy mieszkańcami terenów pozamiejskich a osobami zamieszkującymi w sąsiedztwie ruchliwych ulic wskazują na wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych. Fakt ten potwierdza po części model logistyczny, z którego wynika wzrost prawdopodobieństwa

wystąpienia zwężenia oskrzeli wśród osób palących tytoń i wśród osób starszych. Przede wszystkim jednak dowodzi wzrostu ryzyka zachorowania z powodu POChP wraz ze stopniem narażenia na wpływ zanieczyszczeń komunikacyjnych – prawdopodobieństwo wystąpienia obturacji oskrzeli jest niemal 3-krotnie wyższe w grupie mieszkańców obszarów miejskich zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie arterii komunikacyjnej o znacznym natężeniu ruchu w porównaniu z mieszkańcami obszarów pozamiejskich.

Modele logistyczne nie klasyfikują niestety w oczekiwany sposób przypadków chorobowych (przypadki braku objawów POChP klasyfikuje bardzo dobrze), co wskazywać może na istnienie innych czynników, które wpływają na wystąpienie obturacji, a które nie zostały uwzględnione w badaniach. Niski poziom w klasyfikacji przypadków chorobowych świadczy o zbyt małej liczności próby, która została poddana badaniom – a w istocie o zbyt małej liczbie osób chorych. Innymi słowy modele nie mogły precyzyjnie rozpoznać wpływu czynników chorobogennych a tym samym dokonać oczekiwanego, podobnie jak w przypadku osób zdrowych, wysokiego poziomu poprawnych klasyfikacji.

Mimo tego jednak wśród wziętych pod uwagę czynników, to fakt zamieszkiwania przy ruchliwej ulicy w Warszawie powoduje największy, bo bez mała 3-krotny (a wśród niepalących ponad 4-krotny) wzrost ryzyka wystąpienia choroby. Konkludując przyjąć należy, że uzyskane wyniki w oparciu o zaproponowane modele nie odwzorowują rzeczywistości w sposób zadawalający, choć wskazują na znaczny i statystycznie istotny wpływ zamieszkiwania przy ruchliwym ciągu komunikacyjnym na zwiększone ryzyko zachorowania z powodu POChP. Wynika z tego w sposób jednoznaczny, że tego typu badania powinny być prowadzone w przyszłości i niewątpliwie powinny objąć liczniejszą grupę oraz uwzględniać inne potencjalne czynniki, których obecność może wpływać na rozwój przewlekłej obturacyjnej choroby płuc. Spełniając postawione postulaty co do zwiększenia liczebności i objęcia badaniem większej liczby czynników, oczekiwać należy zdecydowanej poprawy precyzji identyfikacji w zakresie rozpoznania czynników chorobogennych.

Postuluje się wobec powyższego, aby badania tego typu prowadzone były cyklicznie, w wieloletnim horyzoncie czasowym, wśród tej samej grupy osób, zamieszkujących zarówno wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych miasta, na obszarach odizolowanych od bezpośredniego wpływu zanieczyszczeń komunikacyjnych, jak również na terenach niezurbanizowanych. Umożliwi to określenie trendu zmian zachorowalności z powodu POChP, wskazując równocześnie w jaki sposób zmiany zanieczyszczenia powietrza przyczyniają się do zmian liczby zachorowań na schorzenia układu oddechowego.



## **8. Ocena wpływu zatorów komunikacyjnych na straty społeczne**

### **8.1. Wprowadzenie**

Zatory komunikacyjne formujące się w sieciach drogowo-ulicznych dużych aglomeracji miejskich związane są nie tylko ze zwiększoną emisją toksycznych produktów spalania paliw w silnikach i potencjalnym negatywnym oddziaływaniem na zdrowie osób zamieszkujących w sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych. Z punktu widzenia mieszkańców miast najbardziej wyraźnym, odczuwalnym przez większość kierowców skutkiem, są straty czasu. Dla każdego mieszkańca czas bezproduktywnie tracony w zatorach komunikacyjnych stanowi pewną uciążliwość, w skali całego miasta jednakże sytuacja taka oznaczać może straty finansowe przedsiębiorstw, ale również straty finansowe dla budżetu miasta. Znaczna liczba osób spóźniających się do pracy wskutek zatorów, wpływać może w dłuższej perspektywie czasowej na zmniejszoną efektywność ekonomiczną jednostki, w której są zatrudnieni. W efekcie wpływy z podatków do miejskiego budżetu także mogą być niższe. Z tego też względu oszacowanie charakteru i wielkości strat ponoszonych przez mieszkańców Warszawy umożliwić może wstęp do ewaluacji strat ponoszonych z tego tytułu dla miejskiego budżetu.

Innym aspektem problemu zatorów komunikacyjnych jest możliwość utrudniania lub wręcz blokowania przejazdu pojazdom specjalnym, w szczególności pojazdom służb ratownictwa, takich jak Pogotowie Ratunkowe i Straż Pożarna. Zagadnienia związane z utrudnianiem przejazdu pojazdom uprzywilejowanym nie były dotychczas rozpatrywane, choć wydaje się, iż w skali aglomeracji problem może być niebagatelny.

Szczegółowe omówienie wyników ankiety, w tym zwłaszcza porównanie opinii ze względu na rodzaj najczęściej stosowanego środka transportu, wykonywany zawód, czy miejsce zamieszkania, zostało zamieszczone w osobnym opracowaniu (*Badyda A. [85]*).

### **8.2. Ocena wpływu zatorów komunikacyjnych na poziom życia mieszkańców aglomeracji warszawskiej**

Zebrane wyniki wskazują, iż istnieją zasadnicze różnice pomiędzy grupami respondentów w badaniu internetowym (treść ankiety w *Załączniku 2*) oraz ankiecie realizowanej w ramach Barometru Warszawskiego, co prezentuje *Tabela 32*. Ze względu na charakter przeprowadzania ankiety internetowej, znaczącą grupę wśród jej uczestników stanowili ludzie młodzi, aktywni zawodowo, średnio o wyższym wykształceniu i częściej pracujący na wyższych stanowiskach w porównaniu z respondentami badania reprezentatywnego. Uczestnicy badania internetowego nieznacznie częściej zamieszkiwali w peryferyjnych dzielnicach miasta, częściej również deklarowali korzystanie z samochodów, aniżeli z pojazdów transportu miejskiego.

**Tabela 32 Podstawowe parametry różnicujące grupy ankietowane w ramach badania internetowego oraz badania przeprowadzonego na próbie losowej mieszkańców Warszawy**

Zmienna		Próba internetowa	Próba reprezentatywna
Średni wiek [lata]		33	47
Udział kobiet / mężczyzn [%]		43 / 57	57 / 43
Kategorie wiekowe [%]	15-19	2,9	2,4
	20-29	40,7	21,1
	30-39	33,9	15,9
	40-49	14,3	11,5
	50-59	6,5	20,2
	>60	1,7	28,9
Kategorie wykształcenia [%]	Podstawowe i gimnazjalne	2,7	5,9
	Zasadnicze zawodowe	7,2	7,5
	Średnie i pomaturalne	30,2	47,2
	Licencjackie i wyższe	59,9	39,4
Sytuacja zawodowa [%]	Emeryt, rencista, bezrobotny, gospodyni domowa	6,4	36,9
	Student, uczeń	16,0	12,3
	Pracownik niższego szczebla	29,1	24,1
	Właściciel firmy, średnia kadra zarządzająca	41,1	24,7
	Wyższa kadra zarządzająca	7,4	2,0
Osoby korzystające z [%]	Samochodu	50,1 <sup>(*)</sup>	35,1
	Roweru	2,9 <sup>(*)</sup>	2,5
	Transportu publicznego	45,5 <sup>(*)</sup> / 41,9 <sup>(**)</sup>	62,4 / 61,0 <sup>(**)</sup>

<sup>(\*)</sup> w badaniu internetowym respondenci wskazywali również inny sposób codziennego poruszania się (motocykl, skuter, pieszo), czego nie uwzględniało badania reprezentatywne. Z tego względu oznaczone odpowiedzi nie sumują się do 100%

<sup>(\*\*)</sup> wartość ta nie obejmuje osób, które zadeklarowały korzystanie z autobusów komunikacji prywatnej oraz kolei podmiejskiej

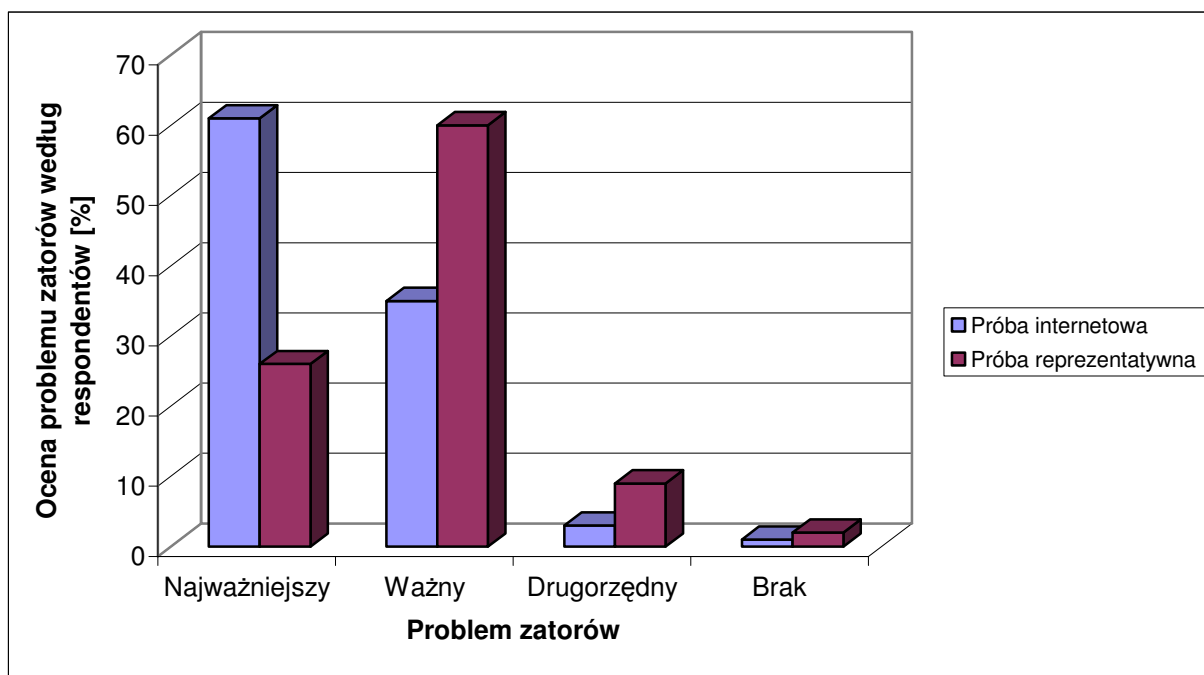
Zatory komunikacyjne z punktu widzenia mieszkańców Warszawy stanowią znaczącą uciążliwość dla prawidłowego funkcjonowania i poruszania się w sieci drogowo-ulicznej miasta. Wśród respondentów badania internetowego:

- o ponad 61% uważa zatory drogowe za „najważniejszy lub jeden z najważniejszych” problemów Warszawy (w porównaniu z innymi pilnymi kwestiami wymagającymi rozwiązania)
- o kolejne niemal 35% twierdzi, że jest to problem „ważny, choć nie najważniejszy”

Odmienne w stosunku do tej kwestii odnoszą się respondenci badania reprezentatywnego:

- o jedynie 26% spośród badanych uważa problem za „najważniejszy lub jeden z najważniejszych”
- o w opinii niemal 60% mieszkańców jest to problem „ważny, choć nie najważniejszy”.

Różnice w tym zakresie prezentuje *Wykres 41*.



**Wykres 41 Różnice w opinii na temat problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie pomiędzy próbą z badań internetowego i reprezentatywnego (ankieta reprezentatywna nie uwzględnia odpowiedzi „Trudno powiedzieć”)**

W obu badaniach problem zatorów najczęściej wskazywany był przez użytkowników samochodów, najrzadziej zaś przez osoby korzystające zwykle z transportu publicznego (w badaniu reprezentatywnym nie rozróżniano rodzaju transportu zbiorowego). Z kolei spośród respondentów ankiety internetowej, najrzadziej na problem zatorów, jako najważniejszą do rozwiązania kwestię, wskazywały osoby korzystające zwykle z metra, najczęściej zaś podróżujący autobusami.

Istotnie statystycznie różnice ( $p < 0,05$ ) dotyczące postrzegania problemu zaznaczają się również wśród różnych grup zawodowych oraz osób zamieszkujących różne części miasta. Za „najważniejszy...” problem miasta uważają zatory komunikacyjne:

- o przedstawiciele wyższej i średniej kadry zarządzającej, samodzielni specjaliści oraz właściciele firm
- o ze względu na miejsce zamieszkania – mieszkańcy terenów podmiejskich.

Najrzadziej zaś problemy komunikacyjne uznawali za „najważniejsze...”:

- o uczniowie i studenci oraz osoby niepracujące zawodowo (przebywające na emeryturze lub rencie, osoby bezrobotne oraz gospodynie domowe)
- o biorąc pod uwagę miejsce zamieszkania, opinię taką najrzadziej wyrażają mieszkańcy lewobrzeżnej centralnej części miasta (zgodnie z podziałem terytorialnym zaproponowanym w opracowaniu *Gierycha P. [33]*, który przedstawia *Tabela 33*).

**Tabela 33 Podział terytorialny Warszawy przyjęty w analizach obu badań ankietowych**

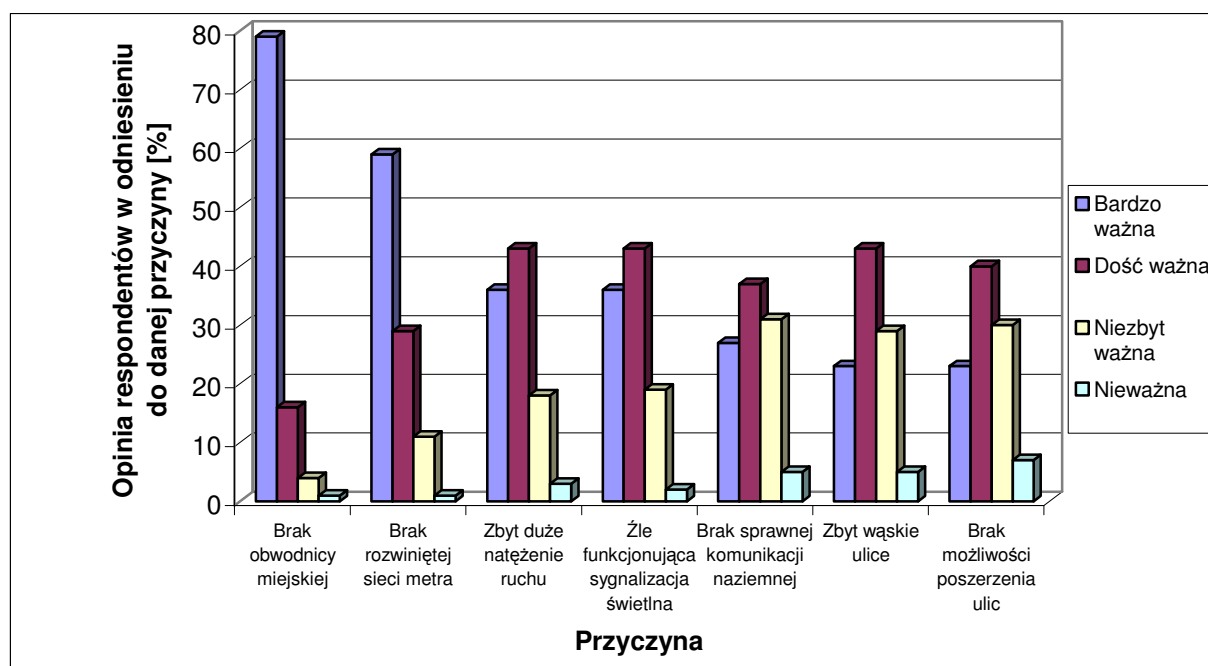
Strefa	Dzielnice
Lewobrzeżne Centrum	Mokotów, Ochota, Wola, Śródmieście, Żoliborz
Prawobrzeżne Centrum	Praga Południe, Praga Północ, Targówek
Lewobrzeżne Peryferia	Bielany, Bemowo, Ursus, Usynów, Włochy, Wilanów
Prawobrzeżne Peryferia	Białołęka, Rembertów, Wawel, Wesoła

Przedstawiona sytuacja częściowo wynikać może z faktu, iż respondenci zamieszkujący lewobrzeżną centralną część miasta do pracy, szkół lub w innych celach w większości (57%) nie

wyjeżdżają poza tą strefę. W związku z tym relatywnie niewielkie odległości, jakie mieszkańcy tej części Warszawy przebywają w porównaniu z osobami z innych stref (również w większości docierających do Lewobrzeżnego Centrum, głównie Śródmieścia) sprawiać może, iż w grupie tej nieco mniejszy jest udział osób uznających zatory za „najważniejszy lub jeden z najważniejszych” problemów Warszawy. Należy również dodać, iż mieszkańcy centralnych dzielnic lewobrzeżnych nieco częściej aniżeli respondenci z pozostałych obszarów korzystają ze środków transportu, na które zatory komunikacyjne najmniej wpływają – łącznie udział osób korzystających zwykle z tramwajów, metra, rowerów bądź chodzących pieszo wynosi ponad 27%. Podobnie jest w przypadku osób zamieszkujących Lewobrzeżne Peryferia, gdzie z tych środków transportu korzysta najczęściej 25% respondentów, na co wpływ ma głównie stosunkowo wysoki udział metra, jako zasadniczego środka transportu mieszkańców Ursynowa i Mokotowa.

W kwestiach związanych z potencjalnymi przyczynami problemów komunikacyjnych Warszawy (Wykres 42) widoczne są różnice w postrzeganiu ich ważności, choć w przypadku obwodnicy miejskiej zdecydowana większość respondentów jest raczej zgodna co do konieczności jej powstania. Wśród najistotniejszych przyczyn zatorów komunikacyjnych wymieniano najczęściej:

- o brak obwodnicy Warszawy – to „bardzo ważna” przyczyna zatorów według niemal 80% respondentów
- o brak rozwiniętej sieci metra – bez mała 60% ankietowanych uznaje tą sytuację za „bardzo ważną” przyczynę korków, przy czym osoby korzystające z komunikacji miejskiej wskazują ją częściej (69% respondentów korzystających zwykle z metra, 62% osób korzystających najczęściej z autobusów miejskich oraz 63% użytkowników tramwajów) w porównaniu z użytkownikami samochodów i rowerów (odpowiednio 54% i 56%)



**Wykres 42** Opinia respondentów badania internetowego na temat potencjalnych przyczyn problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie wraz z oceną ważności poszczególnych przyczyn

Z kolei do najmniej istotnych przyczyn problemów komunikacyjnych zaliczono:

- o zbyt wąskie ulice i brak możliwości ich poszerzenia – według odpowiednio 29% i 30% respondentów są to kwestie „niezbyt ważne”
- o brak sprawnie funkcjonującej komunikacji naziemnej – 31% ankietowanych uznaje tą możliwość za „niezbyt ważną” przyczynę problemów komunikacyjnych miasta.

Odzwierciedleniem tej opinii może być wynik badania ankietowego mieszkańców Warszawy, przeprowadzonego na zlecenie Urzędu Miasta przez agencję badawczą CBOS, przytoczonego przez *Gierecha P.* [33] – 78% osób intensywnie korzystających z komunikacji miejskiej w Warszawie pozytywnie ocenia jej funkcjonowanie.

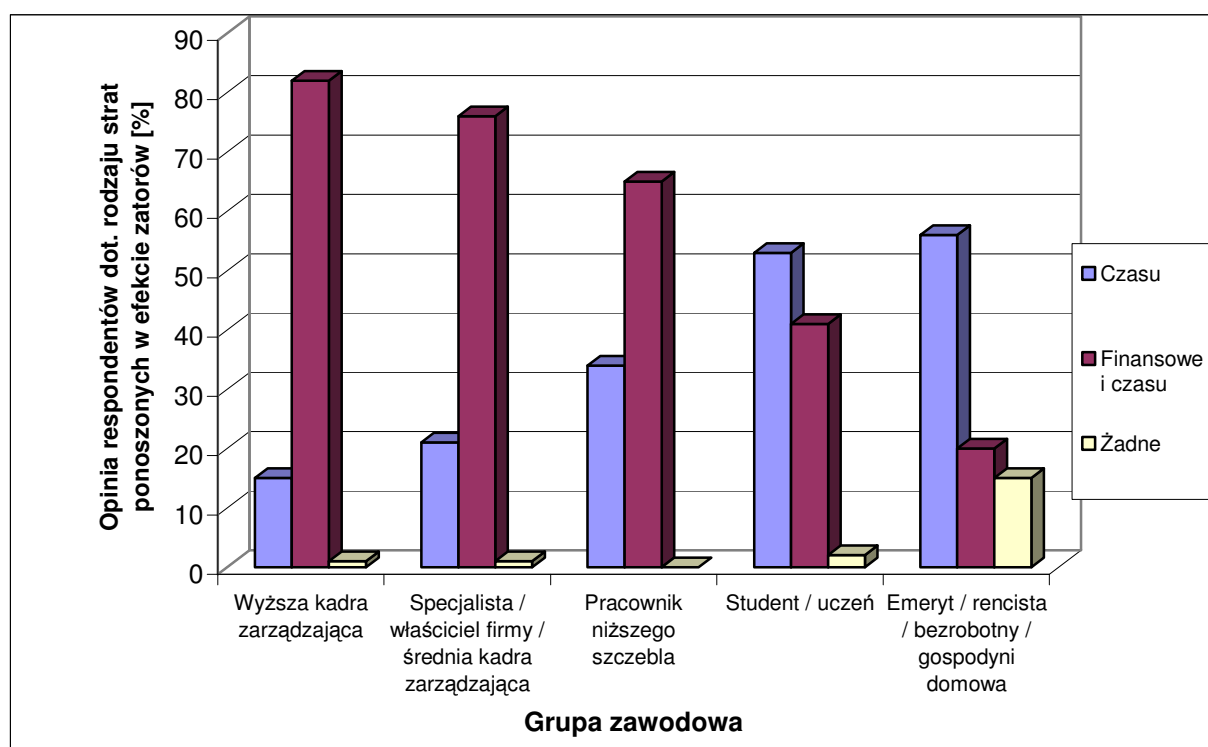
Jednym z zasadniczych pytań ankiety była kwestia określenia rodzaju strat ponoszonych przez mieszkańców miasta w efekcie problemów komunikacyjnych:

- niemal 32% badanych zadeklarowało, iż w wyniku zatorów ponosi straty czasu
- kolejne 64% respondentów uznało, że dodatkowo ponosi również wymierne straty finansowe

Rodzaj udzielanych odpowiedzi różnił się w zależności od grup zawodowych, do których należeli ankietowani:

- największy odsetek osób, które uznały, iż ponoszą jednocześnie straty czasu i finansowe (czy też straty finansowe wynikające ze strat czasu) to wyższa kadra zarządzająca (82% osób z tej grupy) oraz specjaliści, właściciele prywatnych przedsiębiorstw i średnia kadra zarządzająca (76%)
- nieco mniej odsetek ten wyniósł wśród pracowników niższego szczebla (65%)
- najwięcej zaś osób, które w wyniku zatorów tracą jedynie czas to uczniowie i studenci (53%) oraz osoby przebywające na emeryturze, rencie, osoby bezrobotne i gospodynie domowe (56%)

Szczegóły tego pytania ilustruje Wykres 43.



**Wykres 43 Rodzaj strat ponoszonych w wyniku zatorów komunikacyjnych przez różne grupy zawodowe (respondenci badania internetowego)**

Zatory komunikacyjne, formujące się w sieci drogowo-ulicznej miasta, powodują, że mieszkańcy w codziennych podróżach zmuszeni są korzystać z zatłoczonych ciągów komunikacyjnych. Na problem ten zwrócili uwagę respondenci obu badań, deklarując, że:

- występuje on codziennie – tak uważa:
  - 42% respondentów badania internetowego

- 22% respondentów badania reprezentatywnego
- 4-6 razy w tygodniu – taką opinię wyraża
  - 26% respondentów badania internetowego
  - 17% respondentów badania reprezentatywnego

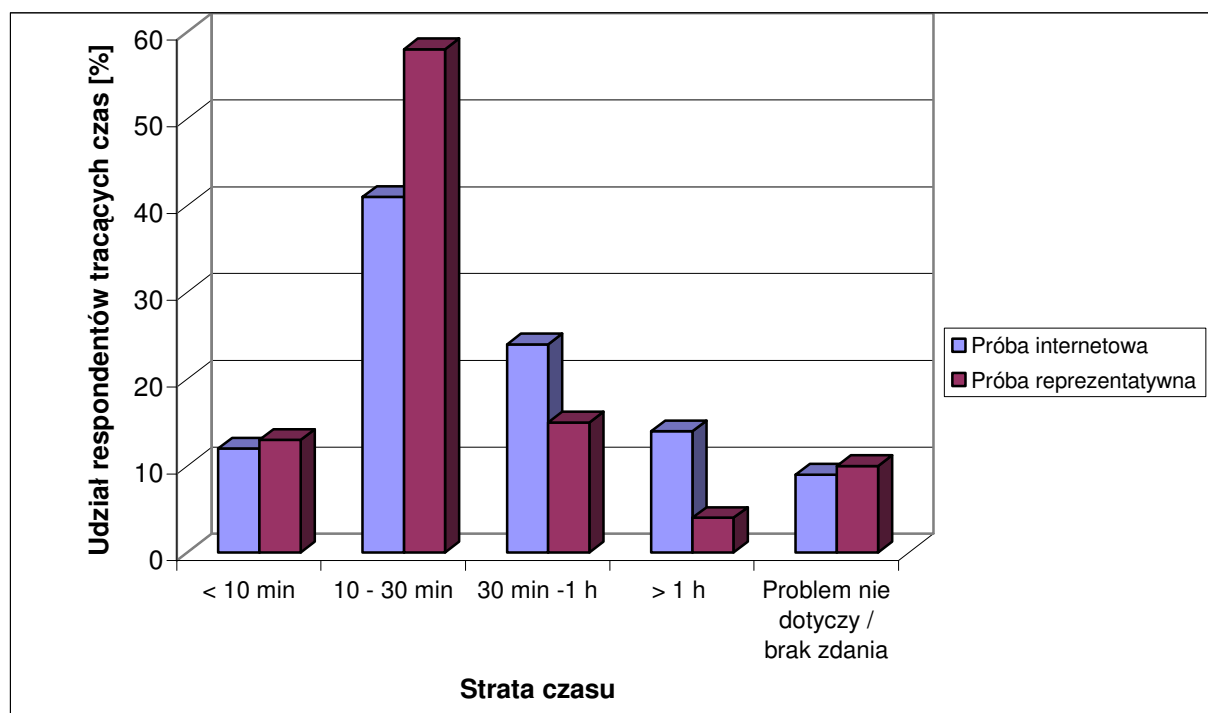
Najczęściej na problem ten zwracają uwagę osoby poruszające się samochodami i autobusami miejskimi, najrzadziej – podróżujące transportem szynowym. Ze względu na fakt, iż wśród respondentów z wyższej kadry menedżerskiej oraz z grupy samodzielnych specjalistów, właścicieli firm i średniej kadry zarządzającej największy udział mają osoby korzystające właśnie z prywatnych lub służbowych samochodów, to właśnie te grupy zawodowe najczęściej zmuszone są korzystać z zakorkowanych ulic, a osoby te deklarują ponoszenie największych strat czasu. Najrzadziej zaś z problemami komunikacyjnymi (kilka razy w miesiącu i rzadziej) mają do czynienia uczniowie i studenci oraz osoby przebywające na emeryturze, bądź rencie, bezrobotni i gospodynie domowe.

Bezpośrednim skutkiem konieczności poruszania się zatłoczonymi ciągami komunikacyjnymi są straty czasu użytkowników sieci drogowo-ulicznej miasta (szczegóły dotyczące tego rodzaju strat prezentuje Wykres 44). Spośród respondentów badania internetowego:

- 24% twierdzi, iż dziennie w zatorach traci od 30 minut do 1 godziny
- 21% ocenia swoje straty czasu na 20-30 minut dziennie
- 20% uważa, że jest to 10-20 minut w skali dnia
- 15% traci w ciągu dnia ponad 1 godzinę

Wśród uczestników badania reprezentatywnego natomiast

- 58% jest zdania, iż spędza w korkach od 10 do 30 minut (w tym badaniu nie rozróżniono przedziału czasowego 10-20 minut i 20-30 minut)
- 15% respondentów uważa, że jego dzienne straty czasu to od 30 minut do 1 godziny
- zdecydowanie mniej, bo niespełna 4% ankietowanych, sądzi, że traci dziennie z powodu zatorów drogowych ponad 1 godzinę



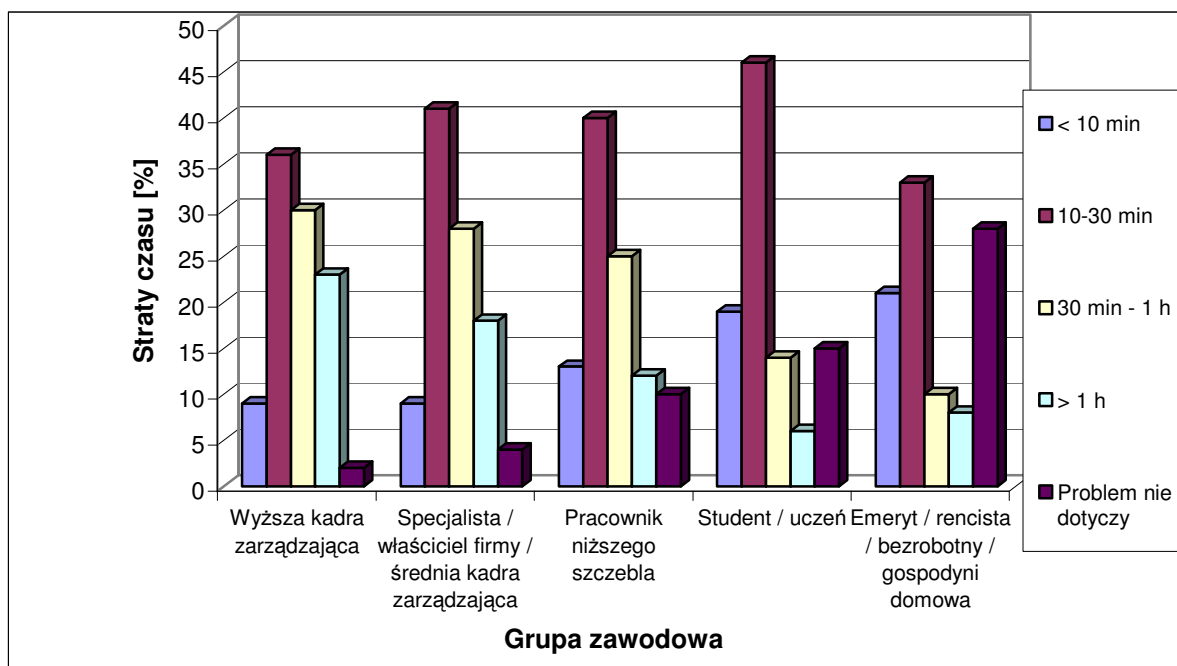
Wykres 44 Dienne straty czasu spowodowane zatorami komunikacyjnymi w Warszawie

Na dość znaczny udział w badaniu internetowym dużych strat czasu pewien wpływ miały odpowiedzi osób spoza Warszawy (stanowiących niemal 19% ogółu respondentów). W tej grupie, w porównaniu z mieszkańcami miasta, najwięcej było osób, które zadeklarowały, iż dziennie ponoszą straty czasu przekraczające 30 minut. Po uwzględnieniu w wynikach badania internetowego odpowiedzi jedynie mieszkańców Warszawy, udział osób tracących najwięcej czasu nieco maleje – 10% (mniej o 5 punktów procentowych) to respondenci tracący dziennie więcej aniżeli 1 godzinę, natomiast 22% (mniej o 2 punkty procentowe) to osoby spędzające w zatorach od 30 minut do 1 godziny – rośnie natomiast (o 3 punkty procentowe, do 44%) udział osób ponoszących straty 10-30 minut dziennie.

Częsta konieczność korzystania z najbardziej zatłoczonych ciągów komunikacyjnych w mieście sprzyja ponoszeniu największych strat czasu. Wyniki obu badań dowiodły, iż z reguły najbardziej zatłoczonymi ulicami poruszają się osoby pracujące na wysokich stanowiskach. Te właśnie grupy zawodowe ponoszą największe straty czasu w zatorach komunikacyjnych w Warszawie. Ponad 1 godzinę dziennie traci (odpowiednio dla badania internetowego i reprezentatywnego):

- 23% i 21% przedstawicieli wyższej kadry zarządzającej
- 18% i 6% reprezentantów średniej kadry menedżerskiej, samodzielnych specjalistów oraz właścicieli firm.

Najkrócej zaś w zatorach oczekują uczniowie i studenci oraz osoby niepracujące zawodowo, w opinii których problem strat czasu w dużej mierze ich nie dotyczy, bądź też straty ich czasu nie przekraczają dziennie 10 minut (szczegóły zawiera Wykres 45). Sytuacja ta wynika najpewniej z częstszego użytkowania środków transportu najmniej narażonych na niekorzystny wpływ sytuacji drogowej.



**Wykres 45** Dienne straty czasu w zatorach komunikacyjnych w poszczególnych grupach zawodowych (badanie internetowe)

W zależności od stosowanego zwykle środka transportu (Wykres 46), największe straty czasu ponoszą:

- użytkownicy samochodów, z których:
  - 23% traci w ciągu dnia ponad 1 godzinę
  - 33% spędza w zatorach komunikacyjnych powyżej 30 minut dziennie
- osoby, których głównym środkiem transportu jest autobus miejski:

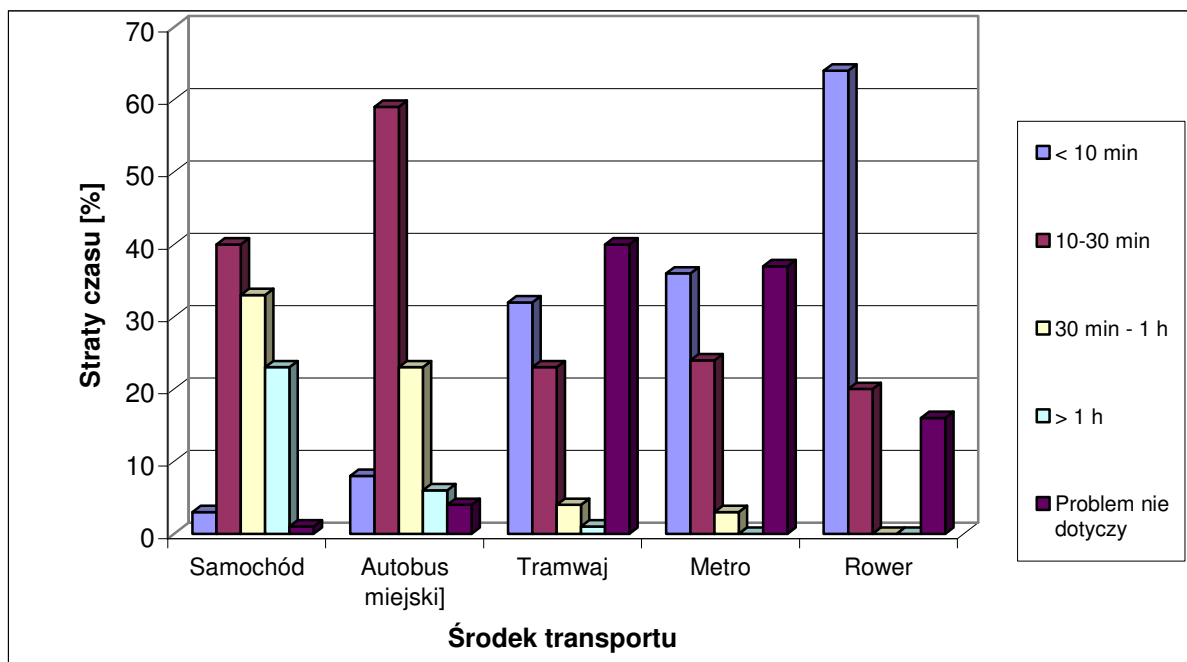
- 6% uważa, że straty ich czasu przekraczają 1 godzinę dziennie
- 23% ankietowanych z tej grupy traci dziennie od 30 minut do 1 godziny

W tych grupach najmniej jest też osób, których problem strat czasu nie dotyczy, bądź też straty te nie przekraczają 10 minut dziennie. Taką opinię prezentuje:

- 4% użytkowników samochodów
- 12% respondentów korzystających z autobusów

Zdecydowanie odmiennie przedstawia się sytuacja w tym zakresie wśród mieszkańców Warszawy zwykle poruszających się transportem szynowym lub rowerami. Opinię, że problem strat czasu ich nie dotyczy lub, że dzienne straty ich czasu nie przekraczają 10 minut prezentuje odpowiednio:

- 40% i 32% osób korzystających z tramwajów
- 37% i 36% respondentów jeżdżących zwykle metrem
- 16% i 64% użytkowników rowerów



**Wykres 46** Dienne straty czasu w zatorach komunikacyjnych w zależności od stosowanego środka transportu (badanie internetowe)

W pytaniu o środek transportu, z którego respondent najczęściej korzysta nie było możliwości wskazania więcej niżeli 1 odpowiedzi. Wobec powyższego osoby deklarujące korzystanie w codziennych podróżach po Warszawie z metra i innego środka transportu, wskazując metro mogły zaznaczyć jednocześnie, iż ponoszą pewne straty czasu w efekcie zatorów komunikacyjnych. Straty te jednakże wynikają z faktu korzystania dodatkowo z innego środka komunikacji, na którego płynne poruszanie się wpływać może sytuacja drogowa.

Wyniki badania losowego wskazują, podobnie jak w badaniu internetowym, iż użytkownicy samochodów ponoszą największe straty czasowe:

- 6% z nich traci dziennie w zatorach więcej niżeli 1 godzinę
- 22% ponosi straty od 30 minut do 1 godziny.

Spośród osób korzystających z reguły z transportu publicznego:

- jedynie 2% twierdzi, iż traci więcej niż 1 godzinę
- 11% jest zdania, że straty te wynoszą od 30 do 60 minut

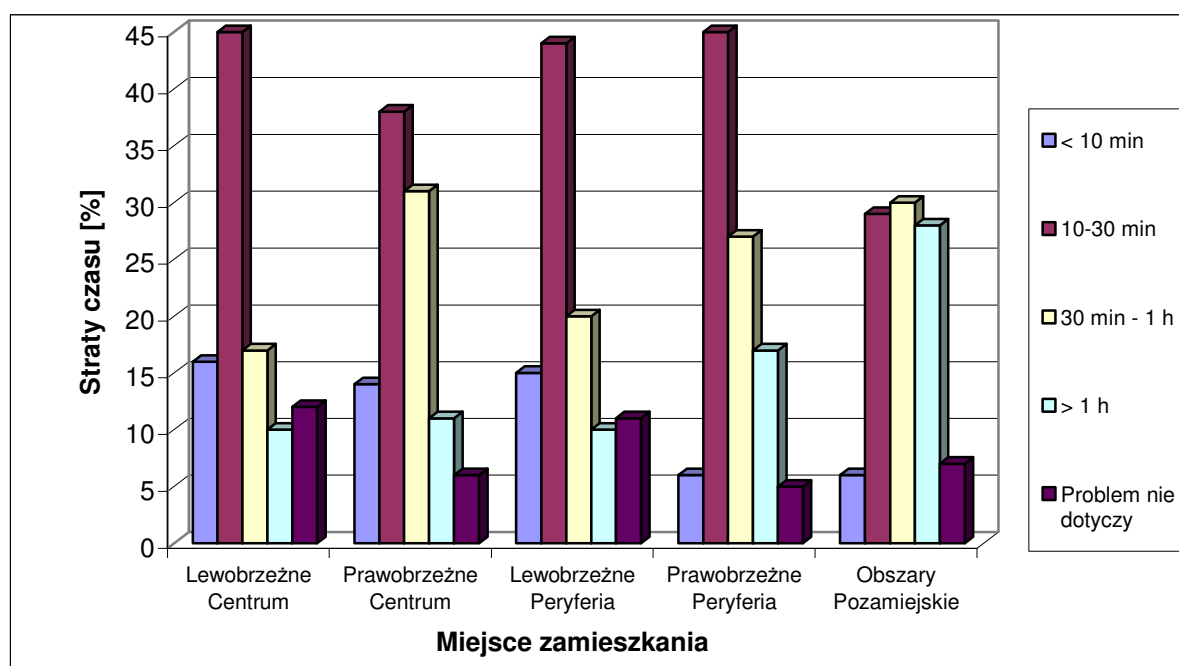


Jak wspomniano, ankieta ta nie uwzględniała rodzaju środka transportu publicznego z którego respondent korzysta, jednak wnioskuje z wyników ankiety internetowej, można domniemywać, iż wśród osób tracących powyżej 30 minut dziennie znajdują się głównie pasażerowie autobusów.

Mieszkańcy terenów podwarszawskich, anketowani w ramach badania internetowego, najczęściej poruszający się samochodami, wśród których w porównaniu z innymi grupami zawodowymi najwięcej jest osób z wyższej kadry zarządzającej oraz z grupy samodzielnych specjalistów, średniej kadry menedżerskiej i właścicieli firm, częściej korzystający z zatłoczonych ciągów komunikacyjnych, ponoszą również relatywnie większe straty czasu, czego niewątpliwie podstawową przyczyną jest konieczność pokonania średnio większej odległości podczas dojazdu do centralnych części Warszawy, aniżeli w przypadku mieszkańców miasta. Spośród uczestników ankiety zamieszkujących tereny podwarszawskie:

- o 28% twierdzi, iż dziennie straty ich czasu przekraczają 1 godzinę
- o 30% jest zdania, iż straty te wynoszą co najmniej 30 minut
- o jedynie 7% uważa, że problem korków komunikacyjnych ich nie dotyczy

Najmniej dokuczliwe wydają się być problemy komunikacyjne z punktu widzenia mieszkańców lewobrzeżnej strefy śródmiejskiej. W porównaniu z osobami z pozostałych stref częściej uważają oni, że zatory nie stanowią dla nich problemu lub też w ciągu dnia czas spędzony w korkach nie przekracza 10 minut, rzadziej natomiast deklarowane przez nich straty przekraczają 30 minut w skali doby. Szczegóły zagadnienia ilustruje Wykres 47.



**Wykres 47** Dienne straty czasu w zatorach komunikacyjnych w zależności od miejsca zamieszkania (ankieta internetowa)

Konieczność częstego oczekiwania w zatorach komunikacyjnych i wynikające z tego faktu straty czasu generować mogą uciążliwości istotne zarówno z punktu widzenia prowadzenia pracy zawodowej, jak i ze względu na spędzanie wolnego czasu. Wśród pracujących zawodowo respondentów badania internetowego:

- o 29% anketowanych uznało, iż zatory komunikacyjne w Warszawie stanowią znaczący problem z punktu widzenia ich pracy zawodowej, często krzyżujący realizację planów związanych z wykonywaną pracą
- o 53% osób jest zdania, iż to problem zauważalny, od czasu do czasu wpływający niekorzystnie na zaplanowane zadania

Proporcje te są bardzo podobne w przypadku odpowiedzi na pytanie o wpływ zatorów komunikacyjnych na życie prywatne:

- 26% ankietowanych uważa problem za „znaczący”
- 53% twierdzi, iż jest to problem „zauważalny”

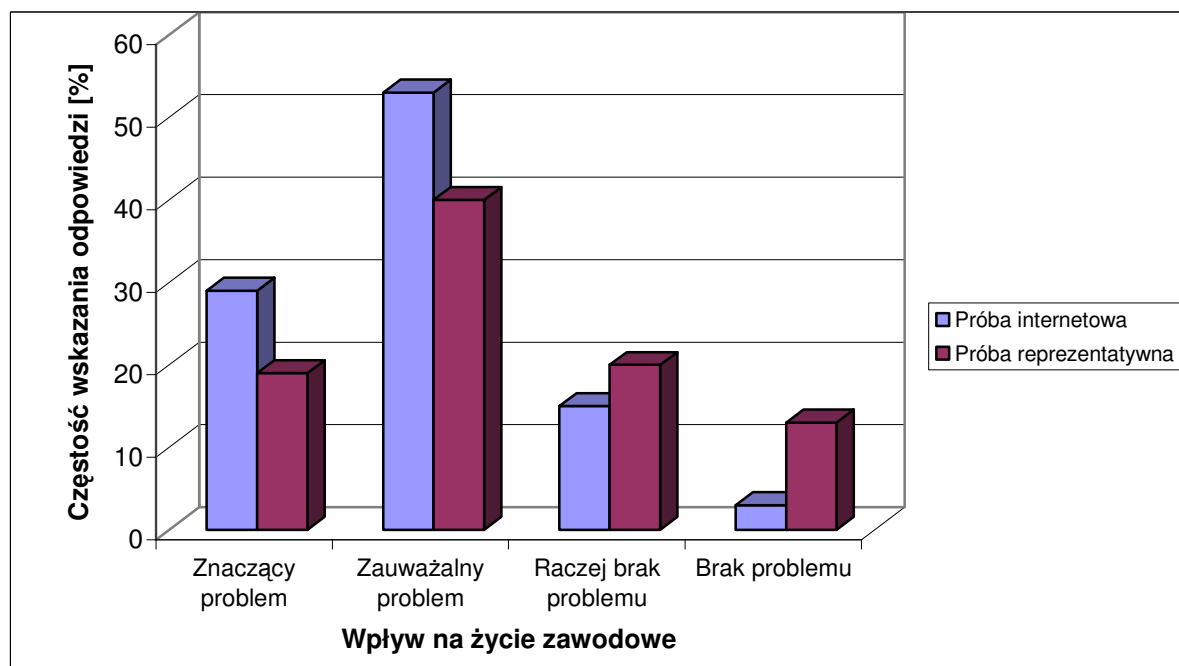
Mieszkańcy Warszawy ankietowani w ramach badania reprezentatywnego rzadziej wyrażali opinię, iż zatory komunikacyjne mają duży wpływ na ich pracę zawodową:

- 19% ankietowanych uważa, że problemy komunikacyjne często krzyżują ich plany zawodowe
- 40% twierdzi, że to problem zauważalny, od czasu do czasu utrudniający realizację zadań związanych z wykonywanym zawodem

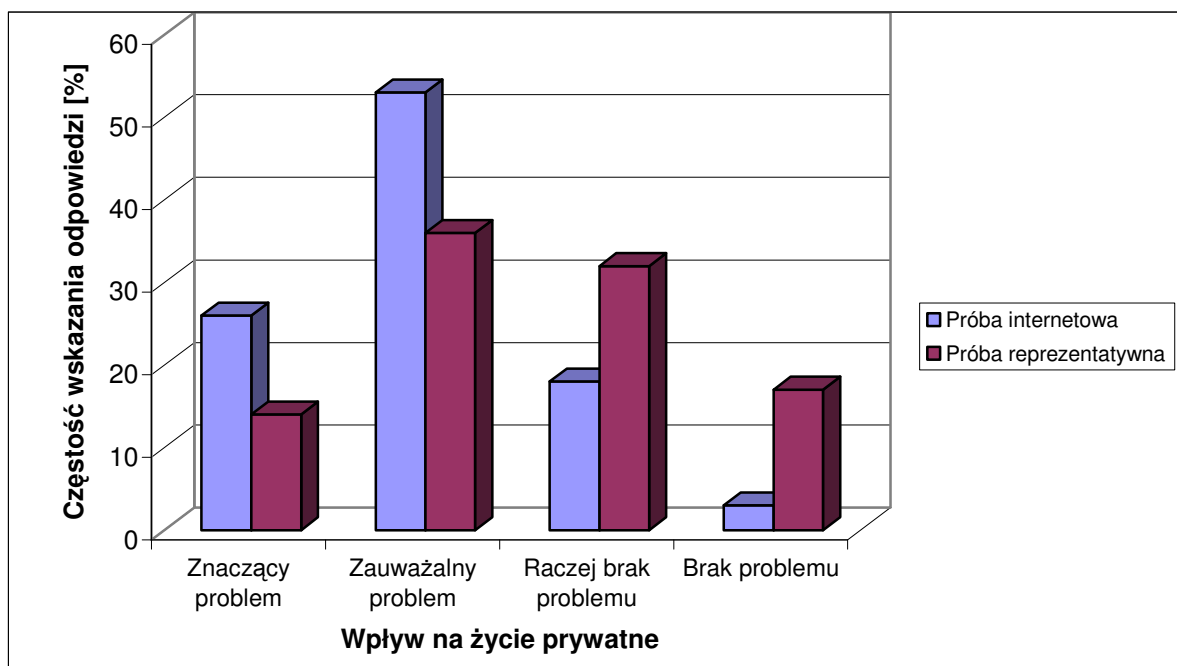
Również w tym przypadku podobnie kształtują się proporcje odpowiedzi w pytaniu dotyczącym wpływu zatorów na życie prywatne:

- 14% respondentów uważa, iż ich plany związane ze spędzaniem wolnego czasu często nie mogą zostać zrealizowane ze względu na problemy komunikacyjne
- 36% jest zdania, że takie sytuacje występują od czasu do czasu

Zagadnienia te pełniej ilustrują: *Wykres 48* oraz *Wykres 49*.

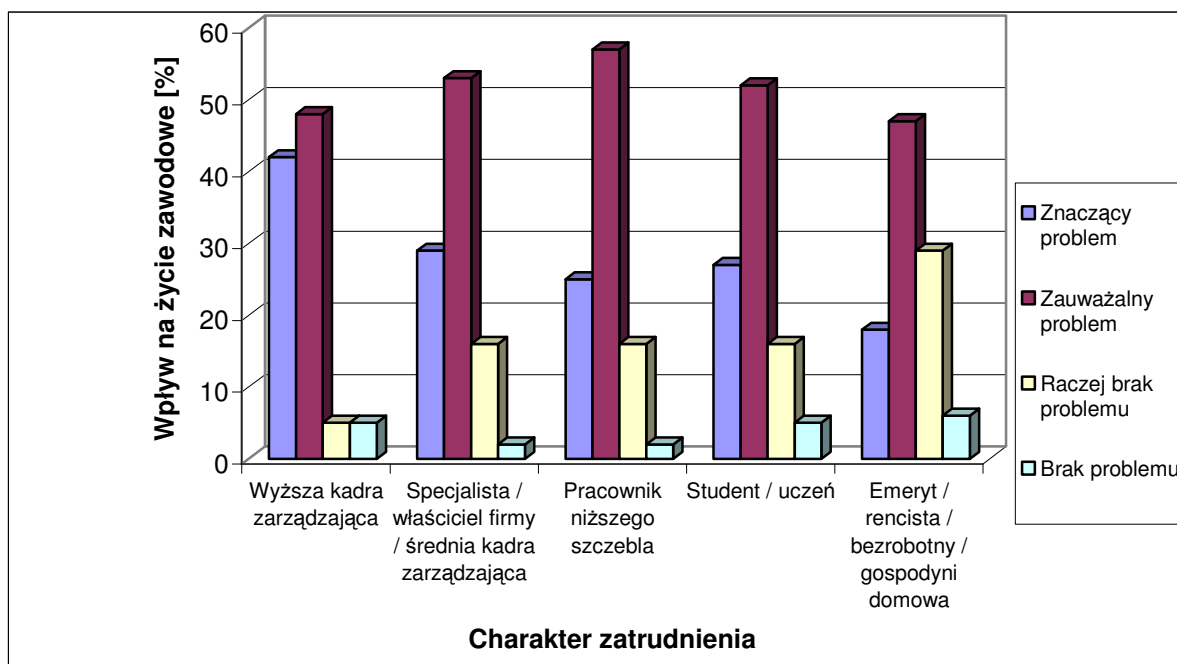


**Wykres 48** Różnice w opinii na temat wpływu zatorów komunikacyjnych w Warszawie na życie zawodowe mieszkańców pomiędzy próbą z badań internetowego i reprezentatywnego (ankieta reprezentatywna nie uwzględnia odpowiedzi „Trudno powiedzieć”)



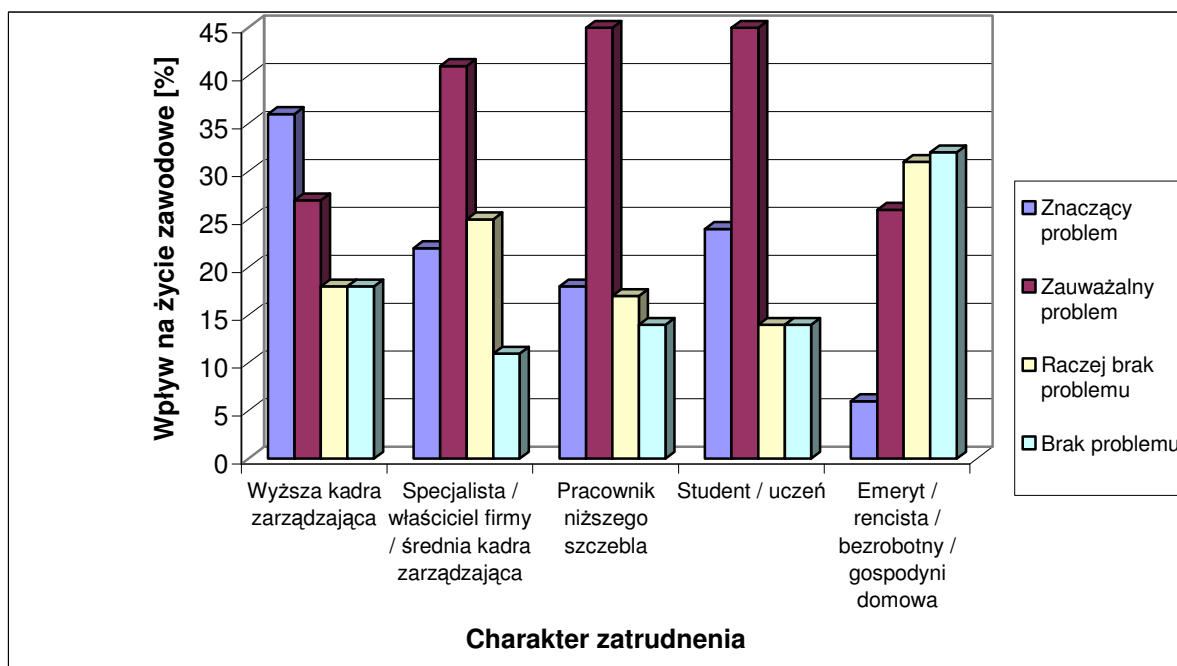
**Wykres 49 Różnice w opinii na temat wpływu zatorów komunikacyjnych w Warszawie na życie prywatne mieszkańców pomiędzy próbą z badań internetowego i reprezentatywnego (ankieta reprezentatywna nie uwzględnia odpowiedzi „Trudno powiedzieć”)**

Fakt, iż w grupie wyższej kadry zarządzającej, jak też samodzielnych specjalistów, średniej kadry menedżerskiej i właścicieli firm największy udział stanowią osoby, które co najmniej 4 razy w tygodniu korzystają z najsilniej zatłoczonych ulic oraz tracą w zatorach relatywnie najwięcej czasu, powoduje, iż to właśnie w tych grupach zawodowych częściej panuje opinia, że zatory komunikacyjne są znaczącym problemem ze względu na wykonywanie obowiązków zawodowych. W pozostałych grupach przeważa opinia, że jest to problem zauważalny, natomiast pośród pracujących emerytów, rencistów, osób bezrobotnych i gospodyń domowych, jak również w grupie osób uczących się (i jednocześnie podejmujących pracę) stosunkowo dużo osób uważa, że z punktu widzenia ich pracy zatory drogowe raczej nie stanowią problemu. Szczegółowo kwestię tą prezentuje Wykres 50. Nieznacznie od struktury odpowiedzi na to pytanie różnią się odpowiedzi dotyczące wpływu zatorów na życie prywatne. Nieco więcej osób z grupy emerytów, rencistów, bezrobotnych i gospodyń domowych uważa, iż w czasie wolnym zatory nie stanowią lub raczej nie stanowią problemu, zaś zmniejsza się udział osób, w opinii których stanowią one znaczący problem.



**Wykres 50 Różnice zdań dotyczących wpływu zatorów komunikacyjnych na życie zawodowe mieszkańców Warszawy w zależności od charakteru zatrudnienia (badanie internetowe)**

Wyniki ankiety reprezentatywnej są w tym zakresie nieco różne w porównaniu z wynikami badania internetowego. W grupie wyższej kadry menedżerskiej przeważają osoby, w opinii których zatory komunikacyjne są znaczącym problemem z punktu widzenia ich pracy zawodowej. W grupie samodzielnych specjalistów, właścicieli firm oraz średniej kadry zarządzającej struktura odpowiedzi jest bardzo zbliżona do opinii uczniów i studentów. Podobnie, jak w przypadku badania internetowego grupa emerytów, rencistów, bezrobotnych i gospodyń domowych znacznie rzadziej w porównaniu z innymi grupami uznaje problem za znaczący, przeważają zaś w tym przypadku odpowiedzi, iż zatory komunikacyjne raczej nie stanowią problemu dla realizowania planów związanych z wykonywaną pracą lub też, że problem ten w zasadzie nie istnieje. Szczegóły ilustruje Wykres 51. W każdej z grup zawodowych w odpowiedziach dotyczących wpływu zatorów komunikacyjnych na prywatne życie mieszkańców Warszawy, w porównaniu z wpływem na życie zawodowe notuje się niewielki spadek udziału odpowiedzi „znaczący problem” oraz wzrost (szczególnie w grupie uczniów i studentów oraz osób przebywających na emeryturze, rencie, osób bezrobotnych i gospodyń domowych) odpowiedzi „raczej brak problemu” i „brak problemu”.



**Wykres 51 Różnice zdań dotyczących wpływu zatorów komunikacyjnych na życie zawodowe mieszkańców Warszawy w zależności od charakteru zatrudnienia (badanie reprezentatywne, nie uwzględniono odpowiedzi „Trudno powiedzieć”)**

Niezależnie od niekorzystnych efektów zatorów drogowych, takich jak konieczność poruszania się zatłoczonymi ulicami, wynikające z tego straty czasu, czy też straty finansowe, które odczuwane są bezpośrednio przez mieszkańców miasta, istnieje szereg innych negatywnych efektów pośrednich, wynikających z dużego natężenia ruchu pojazdów i braku możliwości obsłużenia tego ruchu przez istniejącą sieć drogowo-uliczną miasta.

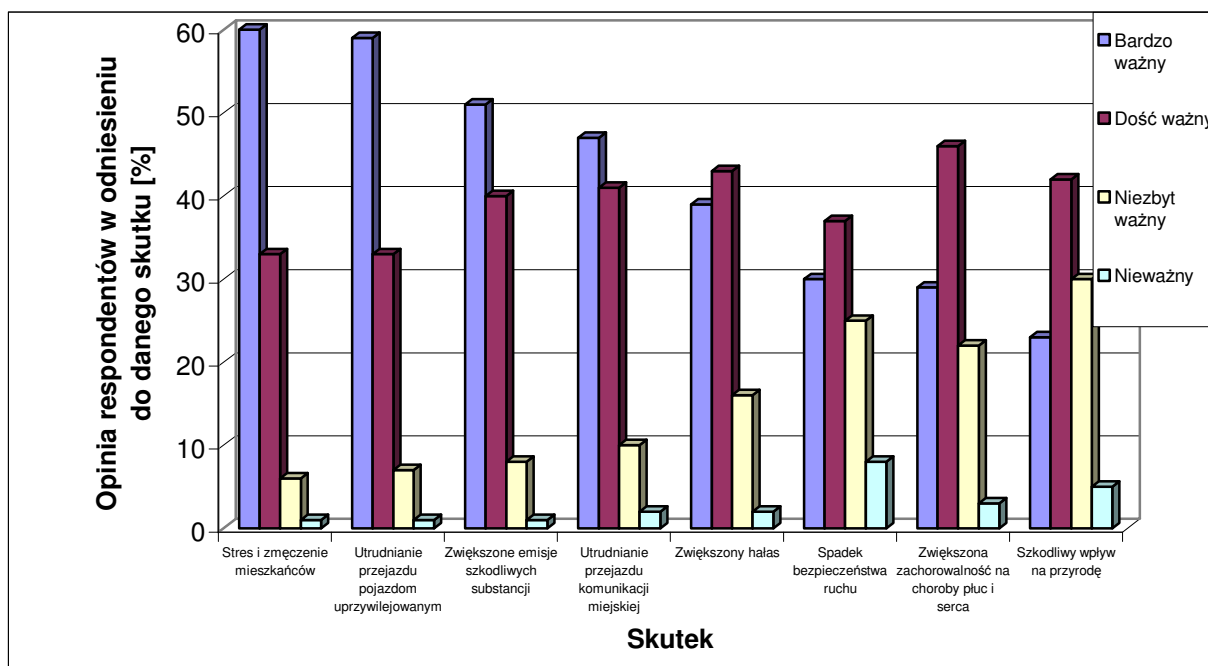
Jako „bardzo ważny” skutek problemów komunikacyjnych Warszawy najczęściej wskazywane były:

- stres i zmęczenie – taką opinię wyraża 60% badanych
- utrudnienia w przejazdach pojazdów uprzywilejowanych – to zdanie 59% respondentów
- zwiększone emisje zanieczyszczeń – taki pogląd prezentuje 51% ankietowanych

Do mniej istotnych efektów problemów komunikacyjnych (uznanych odpowiednio za „niezbyt ważny” i „zupełnie nieważny”) respondenci zaliczają:

- poprawę bezpieczeństwa ruchu ze względu na niską prędkość jazdy – 38% i 42%
- spadek estetyki Warszawy – 31% i 12%
- zwiększone koszty opieki medycznej związane ze zwiększoną zachorowalnością – 33% i 5%
- szkodliwy wpływ na przyrodę terenów miejskich – 30% i 5%

Szczegóły dotyczące kwestii poruszonych w tym pytaniu zawiera Wykres 52.



**Wykres 52** Opinia respondentów badania internetowego na temat skutków problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie wraz z oceną ważności poszczególnych skutków dla mieszkańców

Stres i zmęczenie mieszkańców w niewielkim stopniu zależy od tego, w jaki sposób ankietowani poruszają się na co dzień po mieście:

- o ponad 60% osób dojeżdżających samochodami oraz środkami naziemnej komunikacji miejskiej uważa ten skutek za „bardzo ważny”
- o niewiele mniej osób korzystających z metra (54% respondentów) i kolei podmiejskiej (53% badanych) jest podobnego zdania
- o jedynie dla osób poruszających się głównie pieszo jest to wyraźnie mniej ważny skutek – 33% z nich uznało go za „bardzo ważny”

Wśród osób czynnie pracujących zawodowo, z niewielkimi w zasadzie różnicami, wszystkie grupy zawodowe uznają stres i zmęczenie za „bardzo ważny” efekt zatorów komunikacyjnych:

- o 66% przedstawicieli wyższej kadry zarządzającej
- o ponad 60% samodzielnych specjalistów, właścicieli firm oraz średniej kadry zarządzającej i pracowników niższego szczebla
- o 58% osób uczących się
- o rzadziej opinię taką wyrażają osoby przebywające na emeryturze, rencie, osoby bezrobotne i gospodynie domowe (48%)

Ze względu na konieczność najdłuższego oczekiwania w zatorach i częstszego pokonywania najsilniej zatłoczonych ciągów komunikacyjnych, osoby docierające do Warszawy z obszarów podmiejskich, stres i zmęczenie częściej uznają za „bardzo ważny” efekt zatorów (64%) w porównaniu z mieszkańcami miasta (56-63%). Najrzadziej, jako „bardzo ważny” i zarazem najczęściej za „niezbyt ważny” lub „zupełnie nieważny” uważają stres i zmęczenie mieszkańcy lewobrzeżnych terenów centralnych, którzy też problem korków częściej uznają za „drugorzędny” i rzadziej zmuszeni są korzystać z najbardziej zatłoczonych ulic, a w efekcie najmniejsze są straty ich czasu spowodowane problemami komunikacyjnymi.

Względnie wyrównany charakter odpowiedzi dotyczył, w zakresie rodzaju środków transportu, utrudnień w przejeździe pojazdów ratownictwa:

- o około 61÷62% osób korzystających z komunikacji publicznej uważa ten efekt za „bardzo ważny”
- o nieco rzadziej uważały ten skutek za „bardzo ważny” jedynie osoby korzystające z samochodów oraz motocykli i skuterów (w około 55% przypadków) a użytkownicy samochodów częściej aniżeli respondenci z pozostałych grup wskazywali go jako „niezbyt ważny” (16%)

Dość znaczny odsetek mieszkańców zwraca również uwagę na utrudnienia, jakie zatory powodują w sprawnym poruszaniu się po mieście pojazdów komunikacji zbiorowej, choć opinia z tym związana wyraźnie zależy od sposobu poruszania się po Warszawie. Za „bardzo ważny” efekt problemów komunikacyjnych uznaje tę sytuację:

- o 66% pasażerów autobusów i tramwajów
- o 61% respondentów poruszających się zwykle metrem
- o 51% rowerzystów
- o 44% osób poruszających się zazwyczaj pieszo
- o 32% kierowców

Zwiększone emisje szkodliwych produktów spalania:

- o zdecydowanie częściej, w porównaniu z pozostałymi grupami osób, za „bardzo ważny” skutek zatorów uznają rowerzyści i piesi (odpowiednio 72% i 78% ankietowanych), według których też jest to najważniejszy efekt korków komunikacyjnych
- o rzadziej opinię taką wyrażają pasażerowie komunikacji szynowej – to „bardzo ważny” skutek według 58% pasażerów metra oraz 60% osób korzystających zwykle z tramwajów
- o najrzadziej za „bardzo ważny” skutek uważają emisje zanieczyszczeń użytkownicy samochodów (50%) oraz pasażerowie autobusów (46%) i motocykliści (45%)

Ze względu natomiast na miejsce zamieszkania osoby z centralnych obszarów (szczególnie Lewobrzeżnego Centrum) mimo, iż sami rzadziej ponoszą straty czasu i rzadziej zatory ingerują w ich życie zawodowe czy prywatne, częściej (54% z nich) aniżeli mieszkańcy pozostałych terenów (od 41% do 50%) uważają zwiększone emisje produktów spalania paliw za „bardzo ważny” efekt zatorów. Sami więc, mając co prawda do przebycia średnio mniejsze odległości pomiędzy domem a miejscem pracy czy nauki, mają świadomość, że ruch pojazdów z innych dzielnic dociera w dużej mierze do obszarów centralnych lewobrzeżnej części miasta, czego efektem mogą być większe, aniżeli na pozostałych obszarach emisje z pojazdów.

W ankiecie poruszono również kwestię niekorzystnego wpływu zatorów komunikacyjnych na zdrowie mieszkańców. Należy zwrócić uwagę, iż w etiologii przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP), obok palenia tytoniu, wśród najważniejszych czynników ryzyka wymienia się także zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Specjaliści zajmujący się schorzeniami układu oddechowego podkreślają jednakże, iż coraz więcej danych świadczy o tym, że emisje zanieczyszczeń, w tym emisje z pojazdów mechanicznych na terenie dużych aglomeracji miejskich, odgrywają zasadniczą rolę w zwiększaniu częstości występowania astmy oskrzelowej i POChP. W opinii respondentów ankiety internetowej – osób zainteresowanych problemami komunikacyjnymi Warszawy i częściej zwracających uwagę na potencjalne skutki ruchu drogowego i zatorów komunikacyjnych – zwiększona zachorowalność na schorzenia układu oddechowego i krążenia oraz alergie nie są szczególnie liczącymi się skutkami.

Wśród innych niekorzystnych skutków zatorów komunikacyjnych mieszkańcy wyróżniali najczęściej:

- o ogólne obniżenie jakości życia i jego dezorganizację, powodujące konieczność rezygnacji z rozrywek, czy też możliwość poświęcenia rodzinie mniejszej ilości czasu
- o wzrost agresji wśród kierowców
- o dodatkowe obciążenia finansowe, wynikające przede wszystkim ze zwiększonego zużycia paliwa w zatorach komunikacyjnych

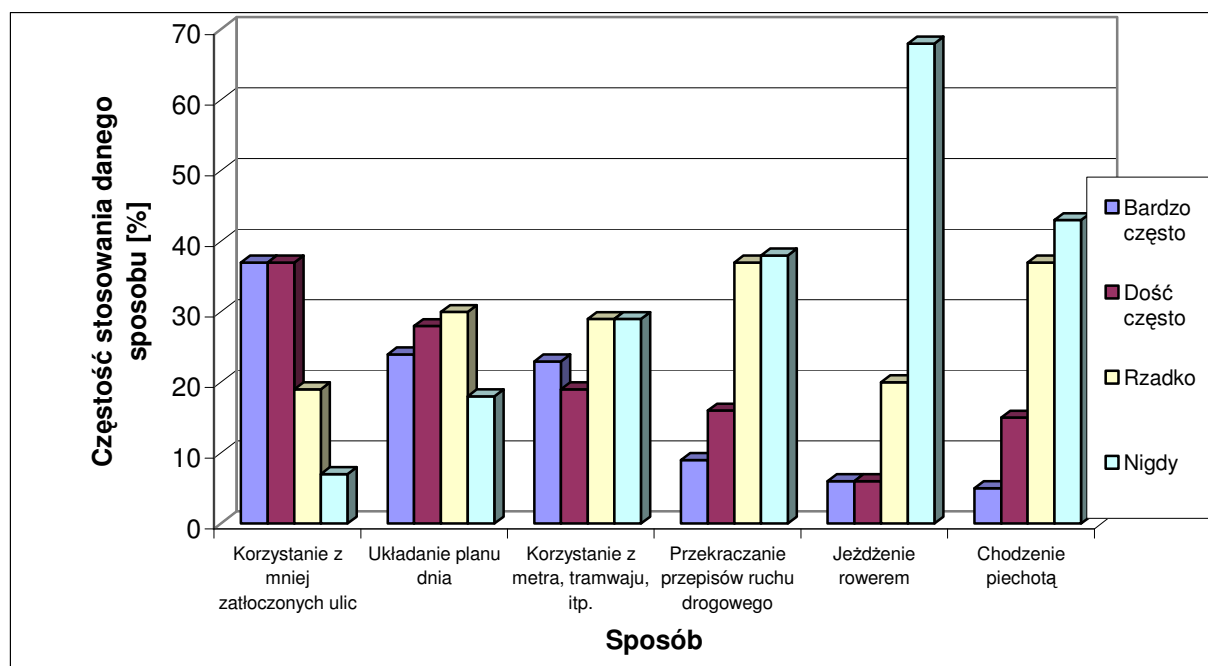
Mieszkańcy miasta, znając specyfikę jego problemów komunikacyjnych, stosują różnego rodzaju sposoby, aby zmniejszyć prawdopodobieństwo napotkania zatoru komunikacyjnego, czy też skrócić czas ewentualnego oczekiwania. Uczestnicy badania internetowego unikają zatorów komunikacyjnych najczęściej:

- o korzystając ze sprawdzonych tras, ulic, na których zatłoczenie jest relatywnie mniejsze – ten sposób „bardzo często” stosuje 37% mieszkańców, zaś kolejne 37% „dość często”
- o układając plan dnia w taki sposób, aby poruszać się po mieście w godzinach, gdy utrudnienia są najmniejsze – to metoda stosowana „bardzo często” przez 24% respondentów, zaś „dość często” przez 28% z nich
- o korzystając ze środków transportu, na które zatory najmniej wpływają (komunikacja szynowa) – „bardzo często” stosuje ten sposób unikania korków 23% ankietowanych, natomiast „dość często” 19%

Respondenci badania reprezentatywnego stosują z reguły te same sposoby:

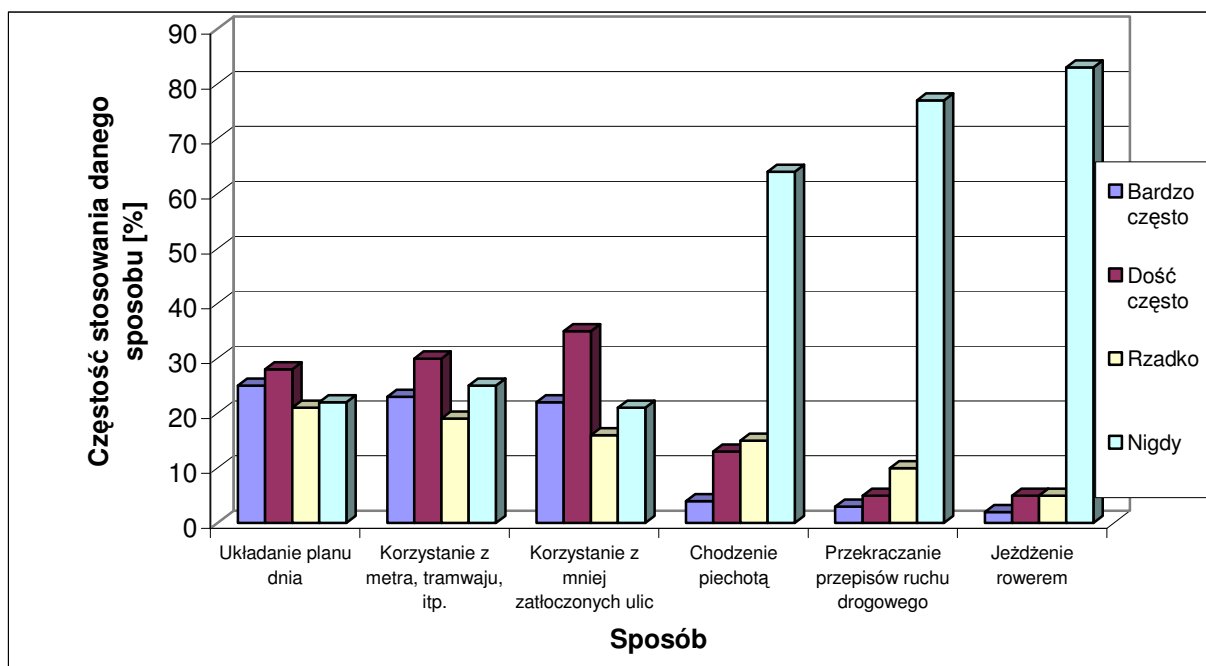
- o układanie planu dnia to metoda „bardzo często” stosowana przez 25% uczestników badania, a „dość często” przez 28% z nich
- o korzystanie ze środków komunikacji szynowej „bardzo często” stosuje 23%, zaś „dość często” 30% ankietowanych
- o korzystanie z tras o mniejszym zatłoczeniu jest rozwiązaniem „bardzo często” wybieranym przez 22% badanych natomiast „dość często” przez 35% respondentów

Najrzadziej uczestnicy obu ankiet korzystają z roweru bądź poruszają się pieszo, a uczestnicy ankiety reprezentatywnej dodatkowo bardzo rzadko deklarują, iż w celu uniknięcia zatorów przekraczają przepisy ruchu drogowego. Na stosunkowo mało popularny w Warszawie, w porównaniu z innymi europejskimi stolicami, rower wpływa zapewne słabo rozwinięta sieć ścieżek rowerowych, zwłaszcza w obszarach centralnych, do których dociera najwięcej osób, oraz brak w zasadzie infrastruktury pozwalającej na bezpieczne pozostawienie tego środka transportu w pobliżu miejsca pracy, czy nauki. Z kolei dość rzadkie chodzenie piechotą, jako sposób na unikanie zatorów drogowych, wynika najpewniej z braku powszechnej możliwości stosowania takiej metody na terenie dużej aglomeracji miejskiej. Częstość korzystania z różnych sposobów unikania zatorów przedstawiają: *Wykres 53* i *Wykres 54*.



**Wykres 53** Częstość korzystania z różnych sposobów unikania zatorów komunikacyjnych (ankieta internetowa)





**Wykres 54 Częstość korzystania z różnych sposobów unikania zatorów komunikacyjnych (ankieta reprezentatywna, nie uwzględniono odpowiedzi „Trudno powiedzieć”)**

Wyniki obu ankiet wskazują, iż układanie planu dnia, częściej stosują osoby korzystające z samochodów, tracące najwięcej czasu w zatorach, a więc dążące do choćby częściowego zmniejszenia poniesionych strat. Taki sposób postępowania stosować jednak mogą osoby, które mają możliwość późniejszego przyjazdu do pracy, czy też wyjścia z niej o takiej porze dnia, gdy prawdopodobieństwo napotkania zatoru jest mniejsze, aniżeli w okresie szczytu komunikacyjnego. Z tego względu wśród prywatnych przedsiębiorców oraz osób przebywających na emeryturze, rencie, osób bezrobotnych i wśród gospodyń domowych największy jest udział osób, które „bardzo często” lub „dość często” tak układają swój rozkład dnia, aby poruszać się po mieście w okresie mniejszego zatłoczenia. Najrzadziej z kolei ze sposobu tego korzystają osoby, których charakter pracy wymaga dotarcia do niej na określoną godzinę (pracownicy administracyjno-biurowi, wyższa kadra zarządzająca oraz osoby uczące się).

Osoby, które zwykle poruszają się komunikacją szynową, uważają ten sposób podróżowania po Warszawie za bardzo dobrą metodę unikania zatorów komunikacyjnych, co prezentują przytoczone poniżej wyniki – wśród uczestników ankiety internetowej ten sposób poruszania się „bardzo często” lub „dość często” stosuje odpowiednio:

- 80% i 15% osób najczęściej podróżujących metrem
- 68% i 27% mieszkańców korzystających zwykle z tramwajów
- 36% i 27% rowerzystów
- 34% i 34% pasażerów autobusów
- 5% i 10% respondentów poruszających się po mieście głównie samochodem

Pośród respondentów ankiety reprezentatywnej korzystanie z komunikacji szynowej „bardzo często” lub „dość często” deklaruje odpowiednio:

- 32% i 36% pasażerów komunikacji publicznej (przy czym, jak już wspomniano, w badaniu reprezentatywnym nie rozróżniano podziału na środki transportu zbiorowego)
- 22% i 39% rowerzystów
- 6% i 19% osób korzystających zwykle z samochodów

Wybór trasy przejazdu, a więc możliwość skorzystania z mniej zatłoczonych ciągów komunikacyjnych, jest łatwiejszy w przypadku podróżowania samochodem, aniżeli autobusem,

czy innymi środkami transportu publicznego. Z tego względu sposób ten zdecydowanie częściej stosują osoby zwykle poruszające się samochodem. Spośród uczestników ankiety internetowej z mniej zatłoczonych ulic „bardzo często” lub „dość często” stara się korzystać:

- 51% i 37% respondentów poruszających się samochodem
- 21% i 40% osób korzystających zwykle z autobusów
- 21% i 30% rowerzystów
- 19% i 44% pasażerów tramwajów
- 11% i 38% mieszkańców podróżujących zwykle metrem

W grupie uczestników badania reprezentatywnego, z metody tej „bardzo często” lub „dość często” korzysta:

- 35% i 38% osób korzystających z reguły z transportu indywidualnego
- 17% i 50% rowerzystów
- 15% i 32% pasażerów komunikacji publicznej

Relatywnie rzadko stosowanymi metodami unikania zatorów są wszelkiego rodzaju sposoby niezgodne z postanowieniami Kodeksu Drogowego. Najczęściej z metod tych korzystają użytkownicy rowerów, motocykli i skuterów (18% i 6% odpowiednio respondentów ankiety internetowej i reprezentatywnej przekracza przepisy „bardzo często”) oraz samochodów („bardzo często” czyni to odpowiednio 12% i 6% kierowców). Wśród grup zawodowych wyraźnie częściej przepisy Kodeksu Drogowego przekraczają prywatni przedsiębiorcy, wyższa kadra zarządzająca oraz osoby uczące się. Z tego sposobu osoby w młodszych kategoriach wiekowych (15-19, 20-29, ale również 30-39) korzystają częściej aniżeli osoby starsze. Wyniki ankiety reprezentatywnej wskazują, iż metoda ta jest w ogóle bardzo rzadko stosowana, jednak na uwadze należy mieć fakt, iż zapewne łatwiej jest przyznać się do nie przestrzegania przepisów w typowo anonimowej ankiecie internetowej, aniżeli w konfrontacji z ankierem, jak miało to miejsce w przypadku badania reprezentatywnego.

Jak już wspomniano powyżej, jeżdżenie rowerem oraz chodzenie pieszo to najmniej popularne sposoby unikania zatorów komunikacyjnych. Pierwszą z tych metod stosują niemal wyłącznie osoby, które i tak deklarują, iż zwykle poruszają się rowerem, zaś na przejście pieszo decydują się z reguły osoby, które podróżują najczęściej komunikacją miejską. Uczniowie i studenci to osoby, które najczęściej unikają zatorów poruszając się rowerem, zaś chodzenie pieszo to metoda, którą częściej aniżeli inne osoby stosują emeryci, renciści oraz osoby bezrobotne. Na obie metody częściej decydują się osoby, mające średnio mniejsze dystanse do pokonania, a więc mieszkańcy lewobrzeżnych obszarów centralnych.

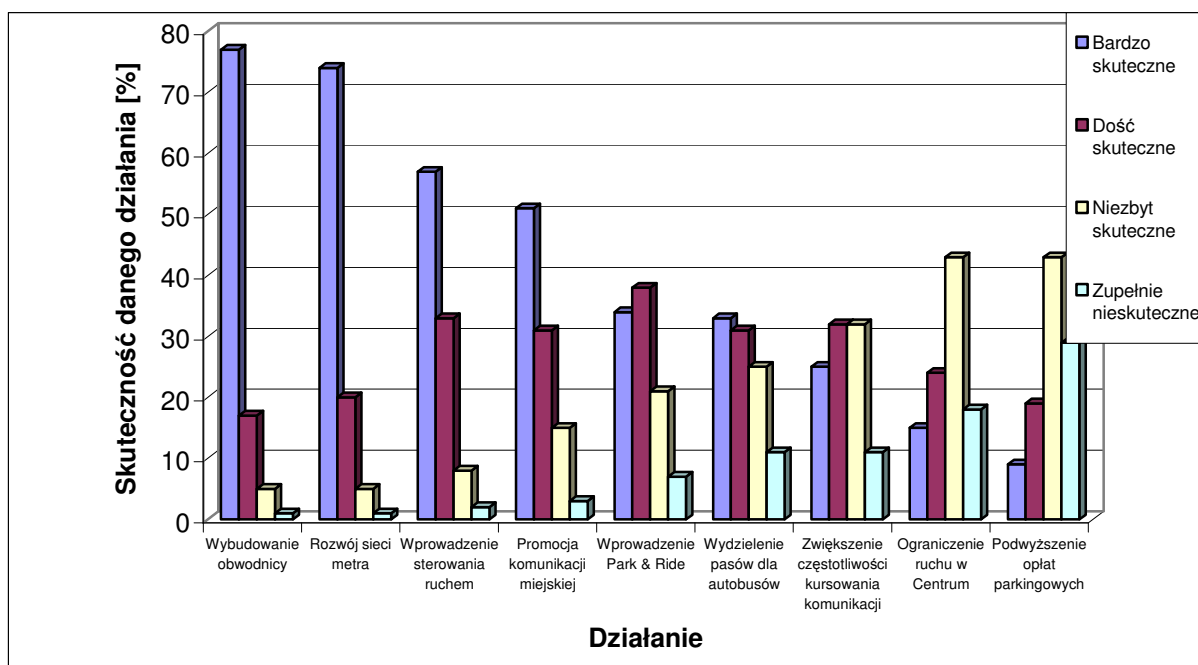
Analiza ankiet przeprowadzonych w formie badania internetowego, jak i zrealizowanych na próbie losowej mieszkańców miasta wykazała, że z punktu widzenia mieszkańców problemy komunikacyjne w Warszawie stanowią istotny problem. Większość społeczności Warszawy, w zasadzie niezależnie od wieku, poziomu wykształcenia, czy też wykonywanego zawodu, dostrzega problem zatorów komunikacyjnych w Warszawie, uważając go w dużej mierze za najważniejszy lub jeden z najważniejszych problemów miasta w porównaniu do innych pilnych spraw, wymagających rozwiązania. Z tego też względu respondenci obu badań zostali zapytani o skuteczność różnego rodzaju rozwiązań, dzięki którym w ich opinii możliwe będzie zmniejszenie lub wręcz zlikwidowanie zatorów komunikacyjnych w Warszawie.

W obu badaniach najczęściej postulowanymi działaniami, mającymi na celu likwidację a co najmniej redukcję, problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie są:

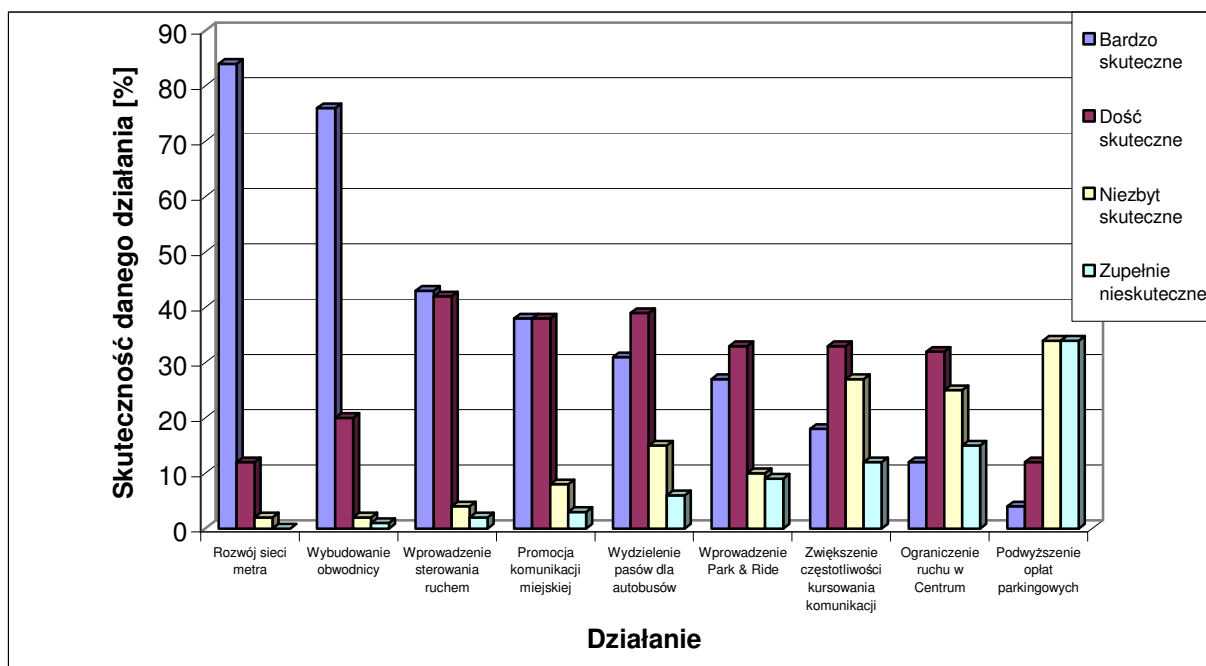
- wybudowanie obwodnicy miejskiej – uznawanej za „bardzo skuteczne” działanie minimalizujące problem zatorów przez 77% uczestników ankiety internetowej i 76% respondentów badania reprezentatywnego

- o rozwój sieci metra – wskazywany jako „bardzo skuteczne” rozwiązanie przez 74% respondentów ankiety internetowej i 84% mieszkańców uczestniczących w Barometrze Warszawskim

Należy przy tym dodać, iż z badania ankietowego mieszkańców Warszawy, przeprowadzonego na zlecenie Urzędu Miasta przez agencję badawczą CBOS (*Gierech P. [33]*), wynika, że te zadania znajdują się w grupie trzech najpilniejszych do rozwiązania kwestii. Działania restrykcyjne, jak ograniczenie ruchu w centrum Warszawy, podwyższenie opłat za parkowanie pojazdów, czy też wprowadzenie opłat za wjazd samochodem do części centralnej są najmniej akceptowane przez respondentów, a co za tym idzie najczęściej uznane zostały one za „niezbyt skuteczne” lub „zupełnie nieskuteczne”. Jednak, jak wskazuje *Dybiczy T. [29]*, wprowadzenie opłat parkingowych na terenie Warszawy w 1999 roku przyczyniło się do znaczących zmian zachowań komunikacyjnych mieszkańców, w tym zwłaszcza do zwiększonej rotacji pojazdów na miejscach parkingowych i spadku średniej długości czasu parkowania oraz częściowo do rezygnacji z podróży komunikacją indywidualną na rzecz transportu zbiorowego. Opinie mieszkańców dotyczące skuteczności wybranych działań mających na celu ograniczenie problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie prezentują *Wykres 55* i *Wykres 56*.



**Wykres 55** Opinia dotycząca skuteczności działań ograniczających problem zatorów komunikacyjnych w Warszawie (ankieta internetowa)



**Wykres 56** Opinia dotycząca skuteczności działań ograniczających problem zatorów komunikacyjnych w Warszawie (ankieta reprezentatywna, nie uwzględniono odpowiedzi „Niemożliwe do wprowadzenia” oraz „Trudno powiedzieć”)

Rozkład wyników w zakresie skuteczności rozwiązań mogących zmniejszyć problem zatorów komunikacyjnych w Warszawie w obu ankietach jest bardzo zbliżony. Jednym z dwóch zdecydowanie częściej uważanych za najskuteczniejsze rozwiązań jest budowa drogi obwodowej Warszawy – planowana od wielu lat inwestycja budzi niewątpliwie wiele kontrowersji, szczególnie co do rejonu miasta, przez który miałyby przebiegać. Wielu uczestników ankiety internetowej, wyrażając zdecydowane poparcie dla tej inwestycji, zastrzegło, iż poparcie to jest pod warunkiem prowadzenia obwodnicy przez inny obszar miasta, aniżeli ten, w którym respondent zamieszkuje.

W zależności od środka transportu, jakim uczestnicy badań poruszają się po mieście, budowa obwodnicy miejskiej jest różnie postrzegana. Wśród respondentów ankiety internetowej jako „bardzo skuteczną” inwestycję uważa ją:

- 84% kierowców
- 73% osób podróżujących zwykle metrem
- 70% pasażerów autobusów
- 61% respondentów korzystających z komunikacji tramwajowej
- 49% rowerzystów

Uczestnicy Barometru Warszawskiego prezentują pod tym względem bardziej wyrównane opinie. Budowa obwodnicy postrzegana jest jako „bardzo skuteczna” metoda zmniejszenia problemów komunikacyjnych przez:

- 79% kierowców
- 75% mieszkańców podróżujących przeważnie komunikacją zbiorową
- 72% rowerzystów

Pewne różnice w opinii na temat budowy obwodnicy miejskiej widoczne są wśród różnych grup zawodowych, przy czym w porównaniu z osobami pracującymi zawodowo, emeryci, renciści, bezrobotni, gospodynie domowe oraz osoby uczące się nieco rzadziej uważają tą inwestycję za „bardzo skuteczną”. Zróżnicowane są także odpowiedzi osób mieszkających w różnych częściach miasta. Respondenci ankiety internetowej zamieszkujący tereny podmiejskie (81% z nich), częściej korzystający z zatłoczonych dróg dojazdowych do Warszawy i spędzający

w zatorach więcej czasu aniżeli mieszkańcy miasta jak również osoby mieszkające w lewobrzeżnej części centralnej (79%), do której dociera najwięcej osób, częściej uważają budowę obwodnicy za „bardzo skuteczne” rozwiązanie przeciwdziałające zatorom. Z kolei wśród uczestników badania losowego nieco więcej jest osób przekonanych do skuteczności obwodnicy w prawobrzeżnej części miasta (79% mieszkańców tych terenów), w której też więcej osób deklaruje, iż zatory są „znaczącym problemem” z punktu widzenia ich pracy zawodowej oraz życia osobistego.

Rozwój sieci metra to drugi najczęściej pojawiający się postulat ograniczenia zatorów komunikacyjnych – jak wynika z wcześniejszego opisu, osoby korzystające z tego środka komunikacji wyraźnie rzadziej uważają problem korków za „najważniejszy lub jeden z najważniejszych” problemów Warszawy. Najmniej z tych osób ponosi straty czasu, czy finansowe, najrzadziej deklarują oni, iż problemy komunikacyjne ich dotyczą, że wpływają one na ich życie zawodowe, czy prywatne. Wniosek z tego zatem, że sieć metra w Warszawie wymaga pilnej rozbudowy a inwestycja ta jest jedną z najważniejszych, która powinna być w najbliższym czasie realizowana.

W grupie uczestników badania internetowego taka opinia panuje wśród:

- 86% pasażerów metra
- 77% podróżujących autobusami
- 73% osób korzystających z komunikacji tramwajowej
- 72% rowerzystów
- 70% kierowców

Wśród respondentów ankiety reprezentatywnej z kolei rozwijanie sieci metra w Warszawie jest najczęściej wskazywanym rozwiązaniem, stanowiącym „bardzo skuteczne” przeciwdziałanie problemom komunikacyjnym miasta. Stanowisko takie prezentuje:

- 86% mieszkańców korzystających z transportu zbiorowego
- 80% uczestników badania poruszających się komunikacją indywidualną
- 78% rowerzystów

Za stosunkowo skuteczne rozwiązanie uważa się również wprowadzenie automatycznego sterowania ruchem i tzw. „zielonej fali”, co częściej uważane jest za „bardzo skuteczne” wśród kierowców. Z kolei promowanie komunikacji miejskiej, jako alternatywnego środka transportu jest rozwiązaniem częściej popieranym przez użytkowników transportu zbiorowego.

Wyniki raportu dotyczącego diagnozy systemu transportowego Warszawy [95], wskazują, iż średnio 98% mieszkańców miasta znajduje się w zasięgu 500-metrowego dojazdu do przystanków autobusowych, zaś średnio 50% do przystanków tramwajowych (przy czym w wielu dzielnicach, zwłaszcza peryferyjnych, komunikacja szynowa nie jest w ogóle dostępna). Promowanie zatem komunikacji miejskiej, szczególnie wśród tej grupy osób, która z komunikacji tej najmniej korzysta, mając do niej dostęp, może skłonić przynajmniej część z tych osób do rezygnacji z podróżowania samochodem na rzecz transportu miejskiego.

W grupie respondentów ankiety internetowej promowanie korzystania z komunikacji zbiorowej za „bardzo skuteczne” działanie uważa:

- od 57% do 66 % pasażerów różnych środków transportu publicznego (średnio 61%)
- 56% rowerzystów
- 42% kierowców

Podobna opinia w grupie respondentów badania reprezentatywnego panuje wśród:

- 42% osób korzystających z transportu zbiorowego
- 32% mieszkańców podróżujących samochodem
- 11% rowerzystów

Promocja niemniej jednak powinna być związana z wymiernymi korzyściami dla mieszkańców w postaci redukcji strat czasu spowodowanych zatorami, czy podwyższenia standardu i bezpieczeństwa podróżowania. W przypadku tramwajów można wprowadzać priorytety dla tych środków komunikacji na skrzyżowaniach, zaś dla autobusów dodatkowo specjalnie wydzielone pasy ruchu. To rozwiązanie jednak, będące elementem promowania komunikacji zbiorowej, jest wyraźnie niepopularne w grupie osób poruszających się najczęściej samochodami.

Spośród respondentów badania internetowego wydzielone pasy ruchu dla autobusów za „bardzo skuteczne” rozwiązanie uważa:

- 55% pasażerów tramwajów
- 54% rowerzystów
- 49% osób korzystających z komunikacji autobusowej
- 44% respondentów podróżujących zwykle metrem
- 17% kierowców

W grupie osób uczestniczących w badaniu reprezentatywnym opinię taką prezentuje:

- 35% mieszkańców korzystających z komunikacji publicznej
- 25% respondentów, którzy najczęściej poruszają się samochodem
- 22% rowerzystów

Wspomniane opracowanie (*Gierech P. [33]*), wskazuje, iż mieszkańcy Warszawy raczej dobrze oceniają częstotliwość kursowania i punktualność komunikacji zbiorowej. Niemniej jednak wśród uczestników ankiety reprezentatywnej 20% respondentów korzystających najczęściej z komunikacji miejskiej uważa, że zwiększenie częstotliwości jej kursowania będzie „bardzo skutecznym” działaniem w kierunku zmniejszenia zatłoczenia na ulicach miasta. Dalsze 35% ocenia, iż będzie to działanie „dość skuteczne”. W porównaniu z osobami korzystającymi z komunikacji publicznej, użytkownicy samochodów wyrażają mniejsze poparcie dla skuteczności tej metody – za odpowiednio „bardzo skuteczną” i „dość skuteczną” uznaje ją:

- 15% i 29% kierowców
- 20% i 35% mieszkańców korzystających z transportu zbiorowego

Większe zróżnicowanie panuje wśród respondentów ankiety internetowej, zwłaszcza w grupie osób podróżujących zwykle transportem publicznym. Zwiększenie częstotliwości kursowania komunikacji miejskiej wskazywane jest jako odpowiednio „bardzo skuteczne” i „dość skuteczne” rozwiązanie przez:

- 17% i 30% użytkowników samochodów
- 48% i 32% respondentów korzystających z komunikacji publicznej

Częściej kursujące pojazdy komunikacji zbiorowej spowodują, iż zatłoczenie w nich ulegnie zmniejszeniu. To zatłoczenie zaś jest jedną z najgorzej ocenianych cech komunikacji miejskiej w Warszawie. Domniemywać można zatem, iż spośród tych kierowców, którzy pozytywnie odnoszą się do zwiększenia częstotliwości kursowania komunikacji zbiorowej, przynajmniej część mogłaby zrezygnować z dojazdów samochodem, gdy poprawie uległby standard podróżowania pojazdami komunikacji miejskiej.

Kolejnym, z proponowanych działań, również po części związanym z komunikacją miejską, jest wprowadzenie systemu *Park&Ride*, a więc sieci parkingów zlokalizowanych na peryferyjnych obszarach miasta, które służyłyby osobom docierającym do Warszawy głównie z obszarów podmiejskich, zaś po terenie miasta poruszałyby się komunikacją zbiorową. Niespodziewanie propozycja ta spotkała się ze stosunkowo niską oceną skuteczności wśród osób korzystających zwykle z samochodów. Wśród uczestników ankiety internetowej system *Park&Ride* jako „bardzo skuteczny” ocenia:

- o 30% użytkowników samochodów
- o od 32% do 45% pasażerów różnych środków komunikacji zbiorowej (średnio 36%)
- o 49% rowerzystów

W grupie respondentów ankiety reprezentatywnej podobną opinię prezentuje:

- o 26% mieszkańców podróżujących komunikacją publiczną
- o 29% osób poruszających się po mieście samochodami
- o 33% rowerzystów

Zwrócić należy uwagę na fakt, iż docelowa grupa mieszkańców, którym przede wszystkim miałyby służyć system parkingów, a więc mieszkańcy terenów podwarszawskich, rozwiązanie to nieco częściej ocenia jako „bardzo skuteczne” (39%) lub „dość skuteczne” (41%). Wskazywać to może na wysokie zainteresowanie korzystaniem z takiego rozwiązania, gdyby zostało ono zrealizowane, a więc faktycznie na dużą skuteczność systemu *Park&Ride* w ograniczeniu problemów komunikacyjnych miasta.

Jak już wspomniano wcześniej, ze zdecydowanym sprzeciwem mieszkańców, w postaci przeważających ocen niewielkiej skuteczności lub jej braku, spotkały się działania takie jak ograniczenie ruchu pojazdów prywatnych w centralnej części Warszawy lub wprowadzenie opłat za możliwość takiego wjazdu, czy też podwyższenie opłaty za korzystanie z miejsc parkingowych w strefie płatnego parkowania. Zaznaczyć jednak należy, iż opinia ta znacząco różni się w zależności od środków transportu, z których respondenci najczęściej korzystają.

W obu badaniach ograniczenie ruchu pojazdów prywatnych w centrum Warszawy, czy też wprowadzenie opłat za wjazd do tej części miasta to rozwiązania najczęściej krytykowane przez kierowców. Z kolei osoby podróżujące na co dzień komunikacją publiczną oraz rowerzyści wyraźnie częściej popierają to rozwiązanie, uznając je za „bardzo skuteczne” – opinie, iż jest to działanie „niezbyt skuteczne” lub „zupełnie nieskuteczne” pojawiają się zdecydowanie rzadziej w porównaniu z grupą osób podróżujących samochodami.

Zwiększenie opłat za korzystanie z miejsc parkingowych w strefie płatnego parkowania to rozwiązanie, które zyskało najmniejszą akceptację w grupie osób korzystających zwykle z samochodów, choć osoby podróżujące najczęściej komunikacją miejską również stosunkowo rzadko uważały to działanie za „bardzo skuteczne”. Mniejsze poparcie takiego sposobu zmniejszenia zatorów komunikacyjnych, w porównaniu z wcześniej omówionymi działaniami restrykcyjnymi, panuje również wśród rowerzystów. Przypuszczać można, że jakkolwiek podwyższenie opłat parkingowych nie znajduje szerokiego poparcia wśród mieszkańców miasta, to nie jest to jednoznaczne z brakiem akceptacji dla samego systemu płatnego parkowania. Jak wykazały bowiem badania ankietowe zrealizowane przed i po wprowadzeniu Systemu Parkowania Płatnego Niestrzeżonego (SPPN), których wyniki prezentuje *Dybiczy T. [29]*, 68% kierowców parkujących w Śródmieściu akceptuje wprowadzenie systemu, 32% zaś jest przeciwnego zdania. Jednocześnie 69% respondentów tego badania przyznaje, iż uruchomienie SPPN nie wpłynęło na zmianę ich zachowań komunikacyjnych, 21% twierdzi, że rzadziej używa samochodu, zaś pozostałe 10% wskazuje, że dzięki płatnemu parkowaniu w strefie śródmiejskiej może częściej korzystać z transportu indywidualnego. Jednocześnie wyniki badań zrealizowanych w grudniu 2003 roku, gdy na okres 10 dni przestały obowiązywać strefy płatnego parkowania w Polsce, wykazały, że na terenie objętym SPPN, nastąpił wzrost liczby zaparkowanych samochodów o 23÷43% (zależnie od obszaru badań). Przy czym, jak wskazuje autor badań (*Dybiczy T. [28]*) wyraźnie zwiększyła się liczba pojazdów parkujących niezgodnie z obowiązującymi przepisami o ruchu drogowym – wzrosła o 102÷126% w stosunku do okresu, gdy za parkowanie pobierane były opłaty. Przeprowadzone równocześnie badania ankietowe wykazały, że niemal 60% spośród kierowców korzystających z miejsc parkingowych w tych dniach było zdania, że przywrócenie opłat parkingowych jest niezbędne, zaś 35% respondentów wyraziło przeciwną opinię.

Pytanie dotyczące skuteczności różnego rodzaju rozwiązań przeciwdziałających problemom komunikacyjnym Warszawy, zwłaszcza w kwestii zatorów komunikacyjnych, wzbudziło największą inwencję wśród osób biorących udział w ankiecie internetowej – wskazano aż 18 innych rozwiązań ponad te, które zaproponowano w ankiecie. Do najczęściej powtarzających się propozycji należą:

- o zwiększenie liczby skrzyżowań bezkolizyjnych
- o wprowadzenie rozwiązań konkurencyjnych czasowo w stosunku do samochodów (pasów dwukierunkowych, kontrapasów, wspólnych pasów dla autobusów i tramwajów)
- o zlikwidowanie tzw. wąskich gardeł, sprzyjających formowaniu się zatorów komunikacyjnych poprzez poszerzenie ulic wjazdowych do Warszawy, budowę miejskich dróg ekspresowych, czy też uwzględnianie potrzeb nowobudowanych osiedli mieszkaniowych
- o rozwój sieci ścieżek rowerowych w Warszawie i promowanie roweru, jako środka transportu

### **8.3. Ocena wpływu zatorów komunikacyjnych na poziom pracy Kierowców Służb Ratowniczych**

Wśród omówionych wcześniej różnego rodzaju oddziaływań na środowisko społeczne aglomeracji warszawskiej, związanych z zatorami komunikacyjnymi, poruszono również kwestie utrudniania przejazdu pojazdom uprzywilejowanym. W celu oszacowania skali utrudnień przeprowadzono ankietę wśród kierowców Stołecznej Kolumny Transportu Sanitarnego (treść ankiety w *Załączniku 3*) oraz Państwowej Straży Pożarnej (treść ankiety w *Załączniku 4*). W pytaniu dotyczącym wagi różnego rodzaju skutków, jakie zatory komunikacyjne niosą dla społeczeństwa miejskiego, aż 59% ankietowanych mieszkańców Warszawy uznało, iż jest to „bardzo ważny” skutek zatorów komunikacyjnych, kolejne zaś niemal 33% stwierdziło, że jest to skutek „dość ważny”. Jest to drugi z kolei najczęściej wskazywany jako „bardzo ważny” skutek zatorów drogowych, co wskazywać może, iż mieszkańcy miasta zauważają problem w płynnym poruszaniu się po Warszawie karetka pogotowia, czy pojazdów straży pożarnej. Prawidłowo funkcjonujące służby miejskie, a w szczególności te, których zadaniem jest ratowanie zdrowia i życia, są podstawą bezpieczeństwa w mieście. Wobec powyższego blokowanie sprawnego poruszania się po mieście tych pojazdów stanowi swego rodzaju zagrożenie bezpieczeństwa dla mieszkańców.

Dotychczas zagadnienia związane z możliwością wpływu zatorów komunikacyjnych na wydłużenie czasu dojazdu do miejsc interwencji pojazdom służb ratowniczych nie były rozpatrywane, wobec czego uznano, iż jest to problematyka istotna zarówno z perspektywy tematyki pracy, jak również z czysto praktycznego punktu widzenia. W razie wypadku czy nagłego zachorowania jak najszybsze udzielenie pomocy przesądza o zdrowiu, a bardzo często o życiu poszkodowanego. Z tego względu natychmiastowa interwencja lekarska jest niezbędna. Podobnie w przypadku pożaru, czy wypadku wymagającego użycia specjalistycznego sprzętu przez straż pożarną. Drożność ciągów komunikacyjnych zatem warunkuje możliwość szybkiego dotarcia do miejsca interwencji, zatory komunikacyjne zaś mogą czas ten znacznie wydłużyć.

Zdanie kierowców służb ratownictwa (w szczególności Straży Pożarnej) na temat istotności problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie w kontekście innych pilnych do rozwiązania spraw jest nieco odmienne od opinii wyrażonej przez mieszkańców. Kierowcy pojazdów służb ratowniczych, ze względu na specyfikę pracy, silniej odczuwają problemy komunikacyjne miasta i częściej od przeciętnego mieszkańca Warszawy uważają je za „najważniejszą lub jedną z najważniejszych” kwestii na tle innych pilnych spraw wymagających rozwiązania.

Różnice poglądów w tym zakresie prezentuje *Tabela 34*.



**Tabela 34 Poglądy na temat problemu korków wśród grup poddanych badaniu ankietowemu**

Grupa badana	Problem zatorów <sup>(*)</sup>	
	Najważniejszy lub jeden z najważniejszych	Ważny, choć nie najważniejszy
Mieszkańcy (próba internetowa)	61%	35%
Mieszkańcy (próba losowa)	42%	24%
Kierowcy SKTS	49%	49%
Kierowcy PSP	64%	35%

<sup>(\*)</sup> odpowiedzi nie sumują się do 100%, gdyż w tabeli nie uwzględniono odpowiedzi „problem o drugorzędym znaczeniu” oraz „brak problemu”.

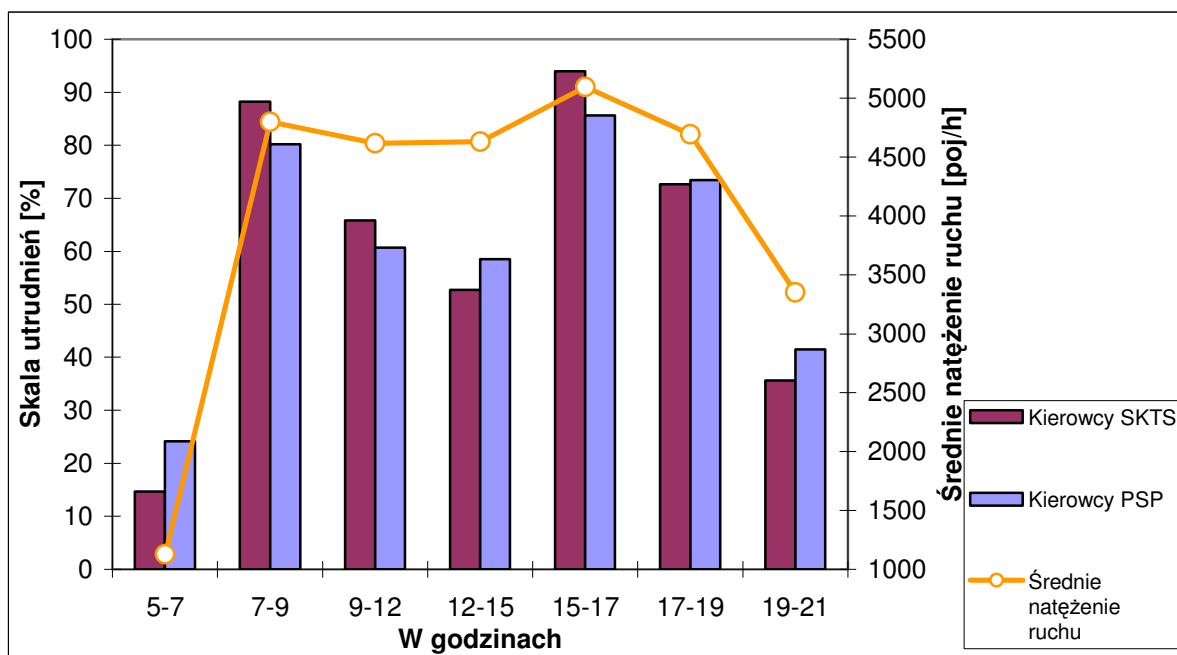
Natężenie ruchu pojazdów ulega dynamicznym zmianom, zarówno na drogach zamiejskich, jak i w systemach drogowo-ulicznych obszarów miejskich. Wahania ruchu występują zarówno w skali doby, tygodnia, jak i w zależności od sezonu. Najbardziej wyraźne różnice natężenia ruchu pojazdów dotyczą zmian w poszczególnych godzinach doby, kiedy to zarówno w najbardziej obciążonej godzinie szczytu porannego, jak i popołudniowego (na podstawie pomiarów ruchu omówionych w *rozdziale 6.3* oraz w *rozdziale 6.5*) natężenie ruchu przekracza 7% dobowego natężenia ruchu na analizowanej arterii komunikacyjnej (według danych literaturowych (*Data S. i in. [4]*) natężenie w godzinie szczytu sięga zwykle 8÷12% natężenia całodobowego). Okresy szczytu komunikacyjnego, przypadającego w dni robocze zwykle w godzinach 07:00-09:00 (08:00-09:00) i 15:00-18:00 (16:00-18:00) charakteryzują się również najbardziej odczuwalnymi uciążliwościami w płynnym ruchu pojazdów, co potwierdzają wyniki badania ankietowego. Zarówno kierowcy SKTS, jak i PSP uznali, iż przedziały godzinowe:

- 07:00-09:00
- 15:00-19:00

charakteryzują się największymi utrudnieniami dla sprawnego poruszania się pojazdów uprzywilejowanych.

Różnice w odczuwanych trudnościach w ruchu pojazdów specjalnych w różnych porach doby prezentuje *Wykres 57*, na którym dodatkowo zaznaczono średnie natężenie ruchu pojazdów w poszczególnych przedziałach godzinowych (na podstawie pomiarów ruchu omówionych w *rozdziale 6.3* oraz w *rozdziale 6.5*). Respondenci wskazywali trudności w przejeździe w skali 0÷100, przy czym za „0” przyjęto sytuację pustej drogi, za „100” natomiast sytuację drogi całkowicie zapełnionej pojazdami (zator komunikacyjny).

Z wyników przedstawionych na wykresie wnioskować można, iż warunki panujące w Al. Niepodległości w Warszawie mogą stosunkowo dobrze reprezentować sytuację w sieci drogowo-ulicznej miasta. Wyniki pomiarów natężenia ruchu w tej arterii bowiem wyraźnie korelują z opiniami kierowców służb ratownictwa dotyczącymi trudności w płynnym ruchu drogowym w poszczególnych okresach doby. Opinie te kształtowane są zaś w oparciu o doświadczenia zdobywane na podstawie sytuacji w ruchu panującej w całej sieci drogowo-ulicznej Warszawy.



**Wykres 57 Utrudnienia w sprawnym przejeździe pojazdu specjalnego dla różnych pór dnia, na tle średniego natężenia ruchu**

Kierowcy SKTS wśród potencjalnych przyczyn, które mogą wpływać na utrudnianie płynnego ruchu pojazdów specjalnych za najistotniejsze uznali (w nawiasach podano odsetek wskazań odpowiedzi „bardzo ważna”):

- brak wydzielonych pasów ruchu dla pojazdów uprzywilejowanych (86%)
- zbyt duże natężenie ruchu pojazdów w sieci drogowej miasta (85%)
- niestosowanie się kierowców innych pojazdów do nakazu ustąpienia pierwszeństwa pojazdowi specjalnemu (85%)

Wśród kierowców Straży Pożarnej panowały nieco bardziej wyważone opinie, a za najistotniejsze przyczyny spowalniania ruchu pojazdów uprzywilejowanych respondenci uznali (w nawiasach podano odsetek wskazań odpowiedzi „bardzo ważna”):

- brak respektowania przepisów nakazujących ustąpienia pierwszeństwa (70%)
- brak miejskiej obwodnicy (65%)
- zbyt wąskie ulice w systemie drogowym Warszawy (61%)

Postrzeganie tej ostatniej kwestii przez kierowców Straży Pożarnej może wynikać z faktu, iż porusza się ona pojazdami o znacznie większych gabarytach, aniżeli karetki pogotowia. Utrudnienia zatem w przejeździe takim pojazdem do miejsca interwencji, szczególnie na wąskich ulicach, są niewątpliwie bardziej wyraźne w porównaniu z utrudnieniami w stosunku do karetek. Z udzielonych odpowiedzi wynika również, że powszechnie występującą sytuacją jest naruszanie przepisów ruchu drogowego zobowiązujących do ustępowania pierwszeństwa pojazdom uprzywilejowanym przez pozostałych uczestników ruchu. Szczegółowe wyniki związane z kwestią potencjalnych czynników wpływających na opóźnienia dojazdu do miejsc interwencji załóg ratowniczych zawiera *Tabela 35*.

**Tabela 35** Opinia kierowców pojazdów służb ratowniczych na temat potencjalnych przyczyn wpływających na opóźnienia w dojeździe pojazdów uprzywilejowanych do miejsc wezwania

Przyczyna opóźnień w dojeździe do miejsc interwencji	Istotność przyczyny <sup>(*)</sup>			
	Bardzo ważna		Dość ważna	
	SKTS	PSP	SKTS	PSP
Zbyt wąskie ulice	37%	61%	62%	37%
Brak obwodnicy Warszawy	82%	65%	12%	31%
Zbyt duże natężenie ruchu pojazdów	85%	58%	15%	39%
Brak specjalnych, wydzielonych pasów dla pojazdów uprzywilejowanych	86%	48%	12%	39%
Niestosowanie się kierowców do nakazu ustąpienia pierwszeństwa	85%	70%	12%	26%
Brak możliwości poszerzenia niektórych ulic	9%	38%	82%	50%

<sup>(\*)</sup> odpowiedzi nie sumują się do 100%, gdyż w tabeli nie uwzględniono odpowiedzi „niezbyt ważna” oraz „zupełnie nieważna”.

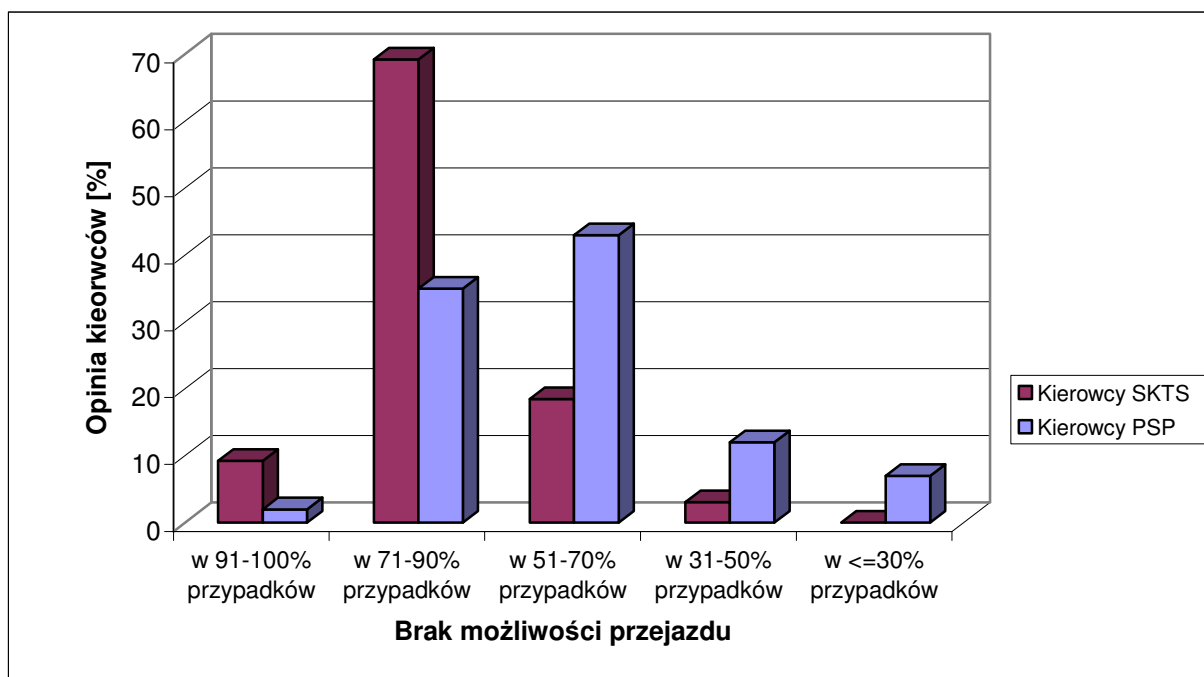
Utrudnianie, a często również uniemożliwienie przejazdu pojazdowi uprzywilejowanemu powoduje spadek skuteczności interwencji, do której załoga ratownicza została wezwana. Zdarza się, iż ze względu na sytuację drogową panującą w godzinach szczytu komunikacyjnego, nawet mimo prób ustąpienia pierwszeństwa pojazdowi specjalnemu przez kierowców pozostałych pojazdów, przejazd karetki pogotowia, czy wozu straży pożarnej nie jest możliwy w inny sposób, aniżeli wraz z innymi samochodami. Na pytanie skierowane do kierowców SKTS, jak często dochodzi do takich sytuacji:

- niemal 10% odpowiada, że sytuacja taka występuje „zawsze lub prawie zawsze” (w 91÷100% przypadków)
- bez mała 70% z nich twierdzi, iż jest to sytuacja „dość częsta” (71÷90% przypadków)
- w opinii 18% badanych warunki takie panują „często” (51÷70% przypadków)

Nieco innego zdania w tym zakresie są kierowcy Straży Pożarnej, z których:

- jedynie 2% uważa omawianą sytuację za występującą „zawsze lub prawie zawsze” (w 91÷100% przypadków)
- w opinii co trzeciego ankietowanego jest to sytuacja „dość częsta” (71÷90% przypadków)
- według 43% respondentów sytuacja ta występuje „często” (51÷70% przypadków)

Pozostali kierowcy uważają brak możliwości przejazdu pojazdu specjalnego za okoliczności pojawiające się „niekiedy” (w 31÷50% przypadków) lub „rzadko” (w 30% przypadków lub mniej). Szczegóły w tym zakresie prezentuje Wykres 58.

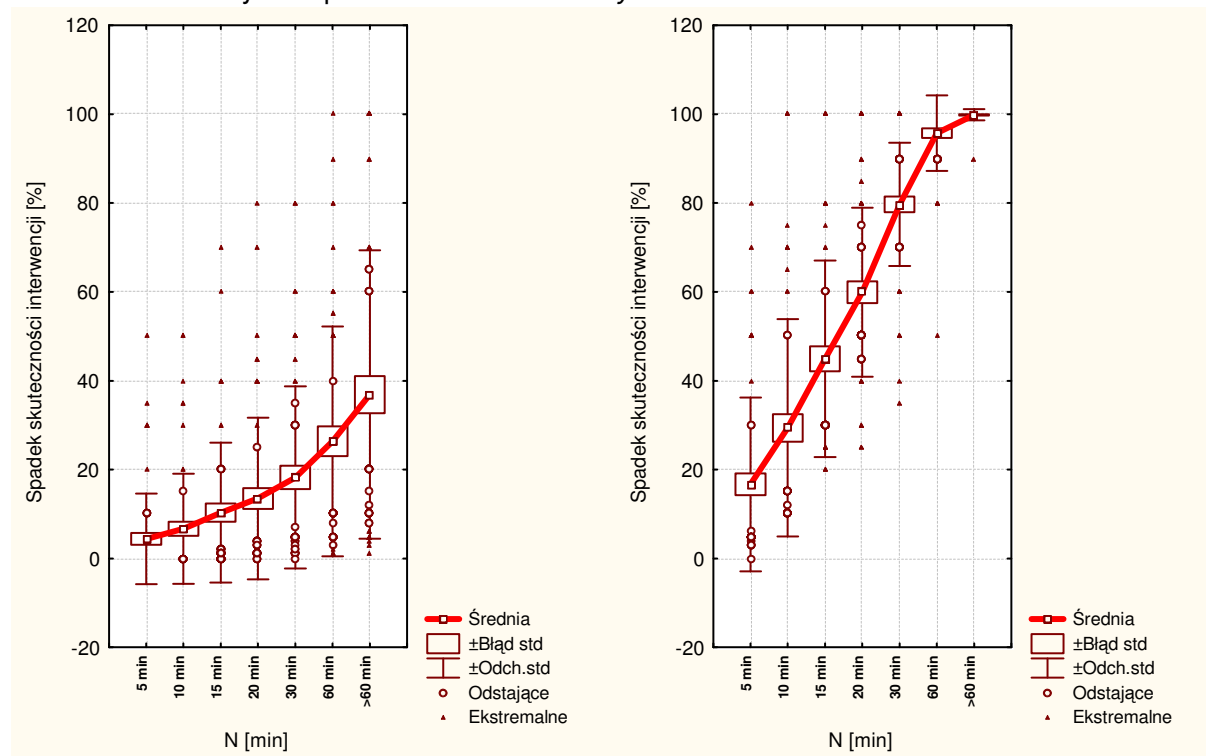


**Wykres 58** Częstość występowania przypadków braku możliwości przejazdu pojazdem uprzywilejowanym z uwagi na panującą sytuację drogową w godzinach szczytu komunikacyjnego

Wspomniany już spadek skuteczności interwencji, w konsekwencji sytuacji drogowej uniemożliwiającej natychmiastowe dotarcie do miejsca wezwania, wpływać może na bezpieczeństwo osób, do których wezwana została załoga. Respondenci z obu grup zawodowych wskazywali o ile procent szacunkowo zmniejsza się skuteczność interwencji prowadzonej przez służby medyczne lub jednostki ratowniczo-gaśnicze w przypadku przyjazdu na miejsce wezwania później o 5, 10, 15, 20, 30 i 60 minut oraz w czasie przekraczającym 60 minut. W pytaniu do kierowców Pogotowia Ratunkowego uwzględniono typową sytuację braku zagrożenia życia oraz sytuację, gdy życie poszkodowanej osoby jest zagrożone, w pytaniu zaś do kierowców Straży Pożarnej interwencję w sytuacji typowego pożaru lub wypadku drogowego. Należy wziąć pod uwagę fakt, iż odpowiedzi udzielone na to pytanie przez kierowców Pogotowia Ratunkowego nie są odpowiedziami specjalistów z zakresu medycyny, bazują one jednak na pewnym doświadczeniu tych osób w procesie ratowania zdrowia i życia mieszkańców Warszawy. Inaczej jest w przypadku kierowców Straży Pożarnej, będących jednocześnie funkcjonariuszami PSP, a więc specjalistami w zakresie prowadzenia akcji ratowniczych, związanych z pożarem lub wypadkiem komunikacyjnym.

W przypadku braku zagrożenia życia, kierowcy SKTS uznali, iż nawet kilkudziesięciominutowe opóźnienie w dojeździe do wezwania nie stanowi znaczącego negatywnego wpływu na skuteczność interwencji zespołu ratowniczego. Skuteczność podjętych interwencji ulega spadkowi w miarę rosnącego opóźnienia w dotarciu do miejsca wezwania, osiągając w przypadku późniejszego przyjazdu o więcej niż 60 minut poziom 37%. Zwrócić jednak uwagę należy na fakt, iż jednocześnie wzrasta rozproszenie wyników i dla tego przypadku jest dość znaczące – odchylenie standardowe wynosi  $\pm 32\%$ . Może to świadczyć o tym, iż typowe przypadki, do których wzywane jest Pogotowie Ratunkowe, w sytuacji braku zagrożenia życia, są na tyle różne od siebie, że występują tak znaczne rozbieżności w odpowiedziach udzielonych na to pytanie. Zdecydowanie odmienne odpowiedzi pojawiły się w odniesieniu do sytuacji zagrożenia życia. Maksymalny czas dotarcia do miejsca wezwania w takiej sytuacji (zgodnie z informacją Pogotowia Ratunkowego w Warszawie) wynosi 8 minut. Efektywność akcji ratowniczej maleje gwałtownie wraz z upływem czasu, na co wskazują również odpowiedzi udzielone przez ankietowanych kierowców SKTS. Zdecydowanie mniejsze są w tym przypadku również rozbieżności pomiędzy opinią ankietowanych osób, a w przypadku przyjazdu do miejsca

wezwania później o 60 minut lub więcej różnice w zasadzie nie występują – wszyscy respondenci zgodnie twierdzą, iż skuteczność interwencji maleje o 100%. Sytuacje tak znacznego opóźnienia zdarzają się stosunkowo rzadko, jednak późniejsze przyjazdy o kilka do kilkunastu minut, zwłaszcza w okresach szczytów komunikacyjnych, występują codziennie, co nie pozostaje bez znaczenia dla bezpieczeństwa społeczności miasta. Szczegółowe parametry charakteryzujące różnice w udzielonych odpowiedziach zawiera Wykres 59.

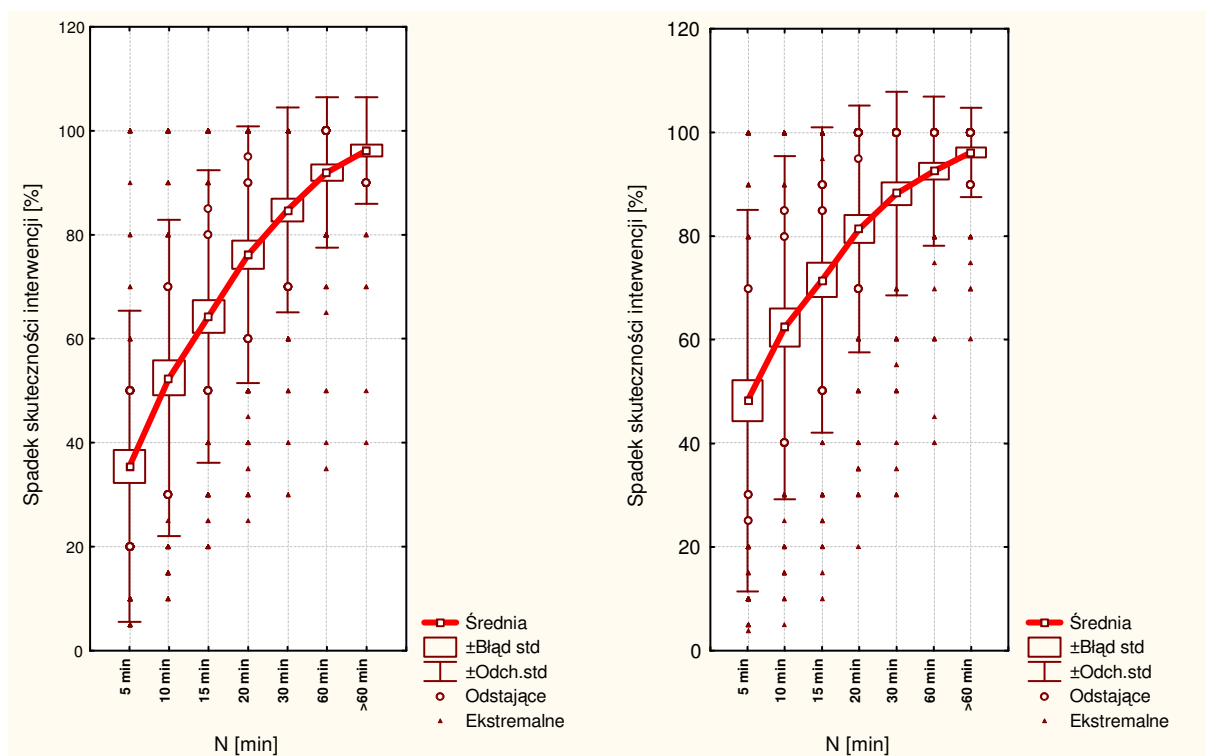


**Wykres 59 Parametry statystyczne charakteryzujące spadek skuteczności interwencji załogi Pogotowia Ratunkowego w przypadkach braku zagrożenia życia (wykres z lewej) oraz w sytuacji istnienia takiego zagrożenia (wykres z prawej), po przyjeździe na miejsce zdarzenia o N minut później. Wartości odstające znajdują się powyżej wartości stanowiącej 1,5\*H, zaś wartości ekstremalne powyżej 3\*H (H – przedział wyznaczony przez dolną i górną wartość odchylenia standardowego)**

W pytaniu dotyczącym zmniejszonej skuteczności interwencji postawionym kierowcom Straży Pożarnej rozpatrywano sytuację wezwania do pożaru lub wypadku drogowego. Ze względu na fakt, iż Straż Pożarna wzywana jest raczej do poważniejszych wypadków, obie sytuacje dotyczą przypadków potencjalnego zagrożenia życia. Z tego względu nawet kilkuminutowe opóźnienie w dojeździe do miejsca interwencji pociąga za sobą zdecydowany spadek skuteczności podjętej akcji, wyraźnie zwiększający się w miarę rosnącego opóźnienia. Znaczące opóźnienia charakteryzują się relatywnie niewielkimi odchyleniami od średniej udzielanych odpowiedzi, a więc rozbieżność stanowiska w tym zakresie wśród funkcjonariuszy PSP jest nieznaczna. Wyrażają oni pogląd, iż:

- o przyjazd na miejsce pożaru później, aniżeli 30 minut w stosunku do oczekiwanego czasu dojazdu jest już zwykle jedynie oceną pogorzeliska
- o przy wypadkach drogowych, czynności podjęte przez funkcjonariuszy PSP, przy takim opóźnieniu sprowadzają się do zabezpieczenia miejsca zdarzenia

Szczegółowe parametry charakteryzujące różnice w udzielonych odpowiedziach zawiera Wykres 60.



**Wykres 60** Parametry statystyczne charakteryzujące spadek skuteczności interwencji załogi Straży Pożarnej w sytuacji pożaru (wykres z lewej) oraz wypadku drogowego (wykres z prawej), po przyjeździe na miejsce zdarzenia o N minut później. Wartości odstające znajdują się powyżej wartości stanowiącej  $1,5 \cdot H$ , zaś wartości ekstremalne powyżej  $3 \cdot H$  (H – przedział wyznaczony przez dolną i górną wartość odchylenia standardowego)

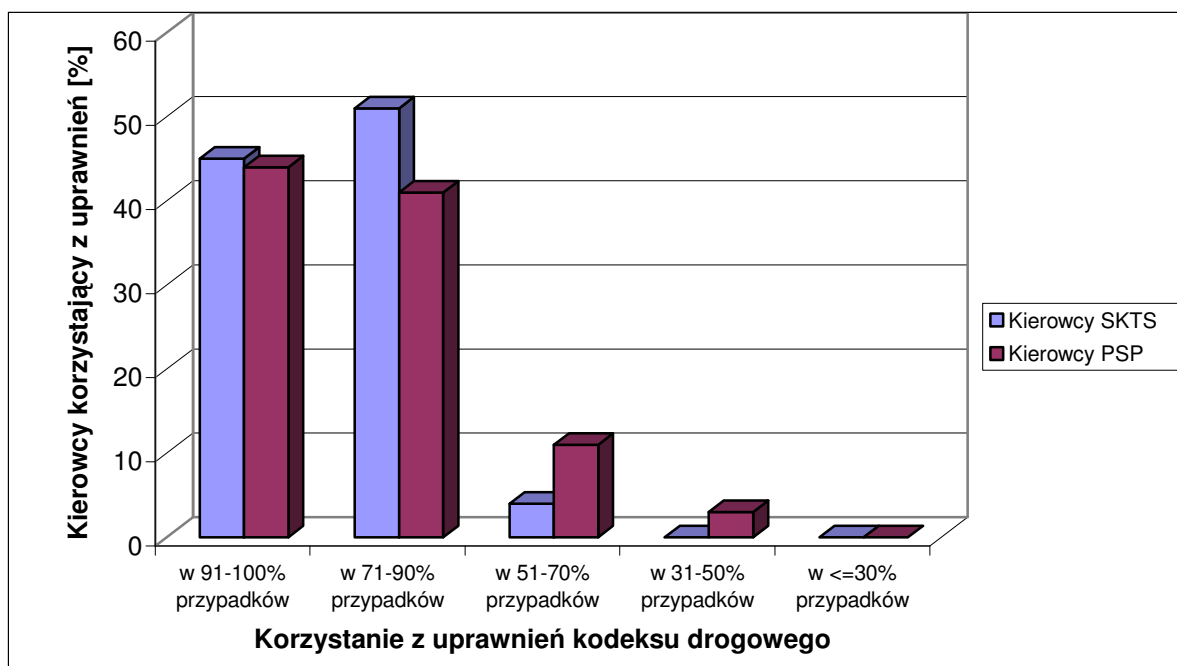
Aby zmniejszyć ryzyko zbyt późnego dotarcia do miejsca wezwania, kierowcy pojazdów służb ratowniczych, dzięki zapisom Kodeksu Drogowego, dysponują różnego rodzaju uprawnieniami, które umożliwiają im niestosowanie się do pewnych zapisów Kodeksu. Sytuacja, jaka w godzinach szczytów komunikacyjnych panuje niejednokrotnie w sieci drogowo-ulicznej w Warszawie, zmusza kierowców pojazdów specjalnych do stosowania technik jazdy zmniejszających wpływ zatorów komunikacyjnych na skuteczność dotarcia do miejsca wezwania. Na pytanie: „Jak często, jadąc do miejsca interwencji, w czasie tzw. godzin szczytu komunikacyjnego, zmuszony jest Pan do korzystania z uprawnień przewidzianych w Kodeksie Drogowym jedynie w odniesieniu do pojazdów uprzywilejowanych?” spośród kierowców Pogotowia:

- 45% twierdzi, iż zdarza się to „zawsze lub prawie zawsze” (w 91÷100% przypadków)
- 51% uważa, że do takich sytuacji dochodzi „dość często” (w 71÷90% przypadków)
- 4% wyraża pogląd, że sytuacja taka występuje „często” (w 51÷70% przypadków)

W grupie kierowców PSP konieczność korzystania z tego typu uprawnień występuje według:

- 44% „zawsze lub prawie zawsze” (w 91÷100% przypadków)
- 41% „dość często” (w 71÷90% przypadków)
- 11% „często” (w 51÷70% przypadków)
- 3% „niekiedy” (2 31÷50% przypadków)

Szczegóły w tym zakresie prezentuje Wykres 61.



**Wykres 61 Korzystanie z uprawnień Kodeksu Drogowego w okresie szczytów komunikacyjnych**

Kierowcy SKTS, w opinii których brak możliwości przejazdu karetki w godzinach szczytu występuje „zawsze lub prawie zawsze”, korzystają z uprawnień Kodeksu Drogowego również „zawsze lub prawie zawsze”. Spośród osób uznających brak możliwości przejazdu za sytuację „dość częstą” 36% korzysta z nadanych im uprawnień „zawsze lub prawie zawsze” zaś 62% „dość często”. W przypadku kierowców PSP jedynie 2% uznaje sytuację utrudnień w płynnym ruchu pojazdu Straży Pożarnej za występującą „zawsze lub prawie zawsze”, natomiast spośród tych, którzy twierdzą, iż jest to sytuacja „dość częsta” 57% korzysta z uprawnień Kodeksu Drogowego „zawsze lub prawie zawsze” natomiast 37% „dość często”.

Generalnie należy zauważyć, iż stosowanie różnych technik, pozwalających skrócić czas dotarcia do miejsca interwencji niesie jednakże za sobą pewne ryzyko, związane ze spadkiem bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Kierowcy pojazdów uprzywilejowanych korzystają z możliwości jazdy w kierunku przeciwnym do obowiązującego na danej drodze lub pasie ruchu, mogą przejeżdżać przez skrzyżowania podczas sygnału czerwonego, znacząco przekraczać dozwoloną prędkość, jak również korzystać z torowisk tramwajowych, czy chodników. Choć pozostali użytkownicy dróg są zobowiązani do ustępowania pierwszeństwa pojazdowi uprzywilejowanemu, to wymienione sytuacje stwarzają jednak bezpośrednie zagrożenie w ruchu drogowym.

Kierowcy karetek pogotowia najczęściej skuteczność dojazdu do miejsca wezwania poprawiają:

- poruszaniem się w kierunku przeciwnym do ruchu obowiązującego na danej drodze (tzw. jazda „pod prąd”) – 92% przypadków
- jazdą po torowisku tramwajowym – 91% przypadków

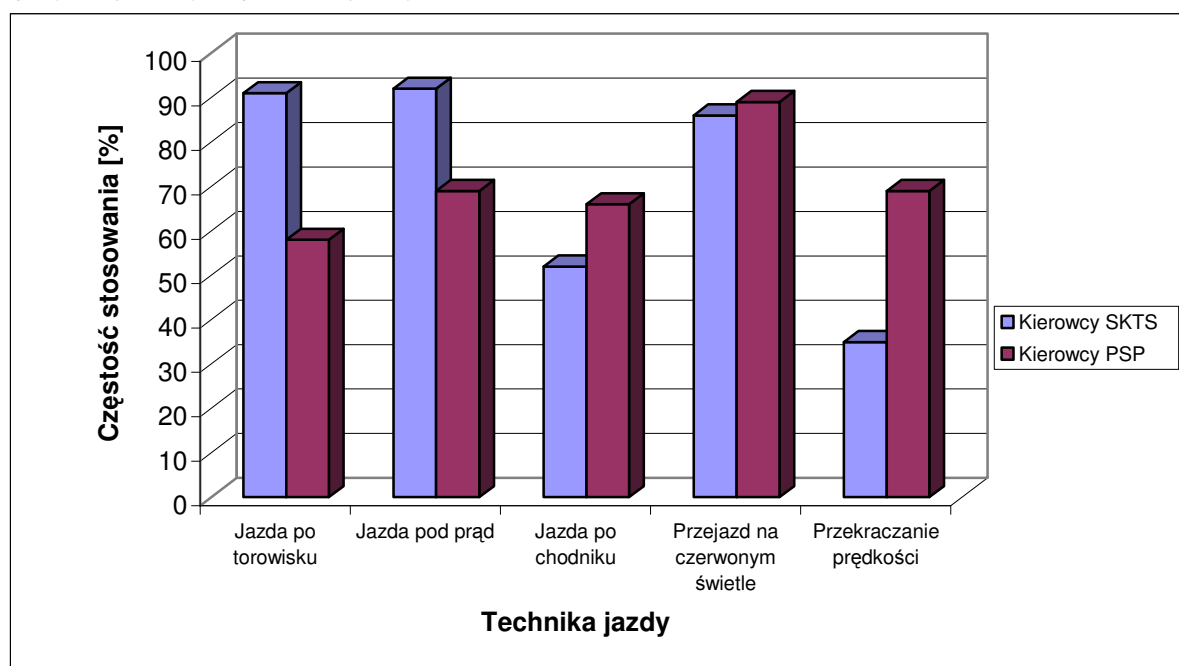
Rzadziej z metod tych korzystają kierowcy Straży Pożarnej:

- z jazdy w przeciwnym do obowiązującego kierunku ruchu korzystają oni w 69% przypadków
- po torowisku tramwajowym poruszają się w 58% przypadków jazdy do miejsc interwencji, co najpewniej wynika ze znacznie większych gabarytów pojazdów (w porównaniu z rozmiarami karetek pogotowia), a w efekcie znacznych trudności ze stosowania tego typu technik jazdy.

Wśród kierowców PSP najczęściej wykorzystywaną metodą skrócenia czasu dotarcia do wezwania jest przejazd przez skrzyżowania podczas sygnału czerwonego (89% wezwań), choć kierowcy SKTS również bardzo często stosują ten sposób (w 86% przypadków).

Dopuszczalna na danym odcinku drogi prędkość znacznie częściej przekraczana jest przez kierowców Straży Pożarnej (69% przypadków) w porównaniu z kierowcami Pogotowia Ratunkowego (35%). Na taki stan rzeczy wpływać może konieczność zachowania szczególnej ostrożności i unikanie gwałtownych manewrów podczas przejazdu karetki z osobą chorą lub poszkodowaną. Ponadto należy zwrócić uwagę, że ze względu na fakt, iż strażnice Straży Pożarnej są rzadziej rozmieszczone w porównaniu z jednostkami Pogotowia Ratunkowego, załogi PSP pokonują podczas dojazdów do miejsc interwencji większe odległości, aniżeli zespoły medyczne. W efekcie Straż Pożarna zmuszona jest rozwijać większe prędkości, aby do minimum skrócić możliwości zbyt późnego dotarcia do miejsca interwencji.

Częstość stosowania wybranych technik jazdy przewidzianych dla pojazdów uprzywilejowanych prezentuje Wykres 62.



Wykres 62 Częstość korzystania przez kierowców pojazdów uprzywilejowanych z wybranych technik ułatwiających poruszanie się w sieci drogowej

## 8.4. Ocena strat gospodarczych aglomeracji warszawskiej wynikających z problemów komunikacyjnych

Jak już wspomniano we wcześniejszej części pracy, straty gospodarcze, jakie aglomeracja warszawska może ponosić w efekcie problemów komunikacyjnych, dotyczą wielu aspektów i z tego względu są niezwykle trudne do oszacowania. Co więcej samorządy, w tym samorząd m.st. Warszawy, nie gromadzą danych, które mogłyby świadczyć o ponoszeniu jakichkolwiek strat ze strony budżetu miejskiego wskutek problemu zatorów komunikacyjnych i różnorodnych negatywnych efektów przez nie generowanych. Panuje wobec tego przeświadczenie, że aglomeracja warszawska, jako całość, nie ponosi strat ekonomiczno-gospodarczych wynikających z obecnej sytuacji komunikacyjnej.

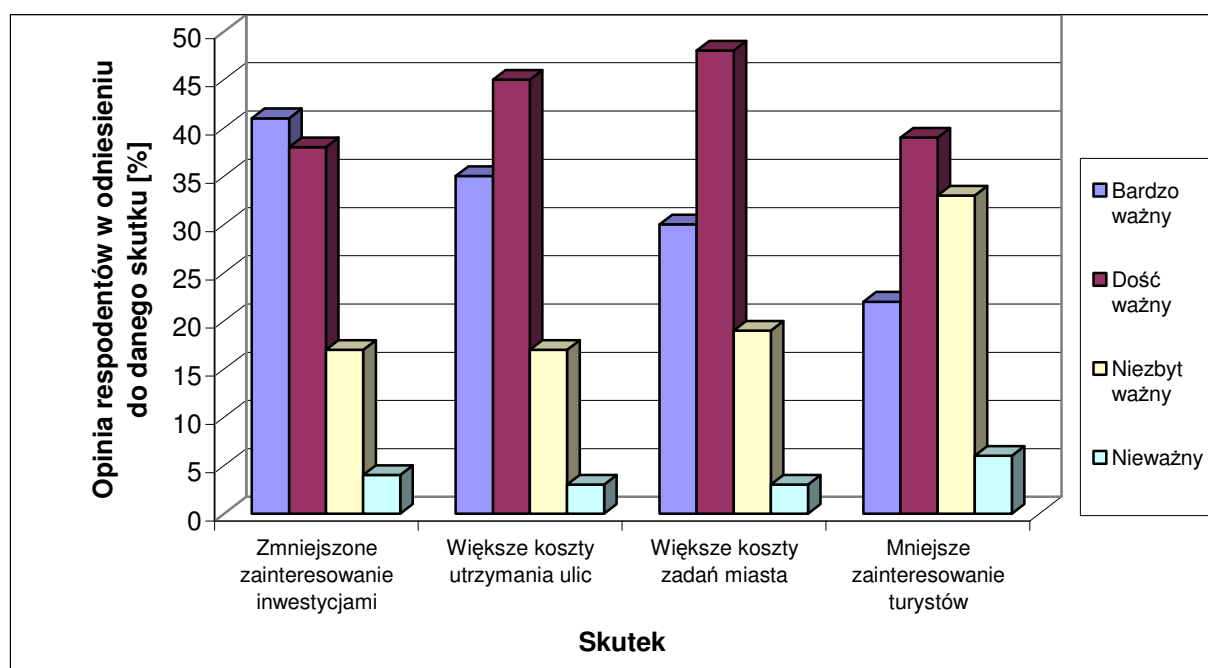
### 8.4.1. Straty gospodarcze generowane przez straty czasu

Kwestia strat gospodarczych miasta została poruszona w ankiecie do mieszkańców, która została szczegółowo omówiona w rozdziale 8.2 oraz w opracowaniu, które prezentuje Badyda A.



[85]. 41% uczestników badania internetowego uznało, iż „bardzo ważnym” skutkiem problemów komunikacyjnych miasta jest zmniejszone zainteresowanie inwestycjami w Warszawie – najczęściej pogląd taki wyrażają przedstawiciele kadry zarządzającej oraz właściciele firm, częściej mieszkańcy terenów podmiejskich oraz osoby korzystające z komunikacji indywidualnej. Większe koszty utrzymania ulic oraz większe koszty zadań miasta, w tym utrzymanie autobusów i pojazdów służb miejskich spalających w zatorach więcej paliwa to skutki uznawane częściej za „dość ważne” (to opinie bez mała 50% respondentów), przy czym, jako „bardzo ważne” wskazywali go zwykle użytkownicy rowerów oraz naziemnej komunikacji publicznej. Z kolei wpływ problemów komunikacyjnych na możliwość zmniejszonego zainteresowania Warszawą ze strony turystów to w opinii przeważającej liczby respondentów skutek wskazywany jako „dość ważny” i „niezbyt ważny”.

Szczegóły dotyczące opinii respondentów na temat skutków zatorów komunikacyjnych na życie gospodarcze miasta przedstawia Wykres 63.



**Wykres 63** Opinia respondentów badania internetowego na temat skutków problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie wraz z oceną ważności poszczególnych skutków dla gospodarki miasta

Respondenci ankiety prowadzący działalność gospodarczą, osoby zarządzające przedsiębiorstwami na rzecz innych podmiotów lub mające dostęp do finansowych informacji o przedsiębiorstwie uważają, iż jednostki te mogą ponosić pewne straty wynikające pośrednio z zatorów drogowych. Spośród tych osób:

- o 18% uważa, iż zatory komunikacyjne regularnie przyczyniają się do ponoszenia przez przedsiębiorstwo strat finansowych, w związku z utrudnieniami przejazdów lub przewozów towarów po ulicach Warszawy
- o 39% deklaruje, że tego typu straty firma ponosi od czasu do czasu
- o 19% twierdzi, że sytuacje tego typu występują sporadycznie

Ponadto respondenci reprezentujący te grupy zawodowe wskazują, że problemy komunikacyjne Warszawy wpływają na odpływ kapitału i ogólnie zmniejszoną efektywność ekonomiczną warszawskich przedsiębiorstw.

Podjęto próbę weryfikacji tej opinii konsultując te kwestie z przedstawicielami zarządów 2 warszawskich centrów handlowych, zlokalizowanych w sąsiedztwie ulic o znacznym natężeniu ruchu, na których problem zatorów zaznacza się szczególnie silnie. Dane z monitoringu liczby odwiedzin, wskazują, że od momentu rozpoczęcia prac remontowych, które nasiliły skalę zatorów

komunikacyjnych w sąsiedztwie centrów, nastąpił pewien spadek liczby klientów. Spadek ten jednakże nie pociągnął za sobą zauważalnego zmniejszenia obrotów. Wnioskować można zatem, iż stali klienci nie zmienili swoich preferencji i korzystają z usług centrów mimo wydłużonego dojazdu do nich. Spadek liczby odwiedzających zaś dotyczy głównie osób, które wcześniej przyjeżdżały do centrów, nie dokonując jednakże zakupów. Ponadto zmniejszenie liczby odwiedzin rzędu 10÷20% (w porównaniu z analogicznym okresem roku poprzedzającego), miało charakter krótkotrwały i ograniczało się do pierwszych 2÷3 miesięcy od momentu rozpoczęcia prac remontowych.

O opinię w tym zakresie zapytano również (w formie ankietowej) najemców lokali handlowych w tychże centrach. Na ankiety odpowiedziało 22% najemców, z których wszyscy zauważają narastające problemy komunikacyjne na ciągach komunikacyjnych w pobliżu miejsca ich pracy. Nieco ponad 70% uważa, iż problemy te są zdecydowanie większe w porównaniu z innymi częściami Warszawy, pozostali zaś uznają je za raczej większe. Porównując analogiczne okresy z lat, gdy problem zatorów w sąsiedztwie centrów handlowych był mniejszy, niemal 80% najemców jest zdania, że obecnie zarówno ilość klientów odwiedzających ich lokale, jak i obroty handlowe, uległy spadkowi, przy czym spadek liczby klientów jest większy aniżeli spadek obrotów. Wśród ankietowanych, twierdzących, że zauważają spadek liczby klientów:

- 18% uważa, że liczba klientów zmniejszyła się o ponad 70%
- 36% twierdzi, że spadek ten wynosi między 30% a 50%
- 27% jest zdania, że liczba ta zmniejszyła się o mniej niż 30%
- 19% nie chciało lub nie mogło udostępnić tej informacji

Jeśli chodzi natomiast o spadek obrotów, to:

- 18% ankietowanych podaje, że zmniejszyły się one o 50% do 70%
- 27% uważa, że jest to spadek rzędu 30% do 50%
- 36% twierdzi, że nie przekracza on 30%
- 19% nie chciało lub nie mogło udostępnić tej informacji

Największy spadek zarówno liczby klientów, jak i obrotów dotyczy tzw. sklepów ekskluzywnych oraz lokali usługowych. Wnioskować można zatem, iż osoby o wyższym statusie majątkowym rzadziej odwiedzają centra handlowe, w pobliżu których problemy komunikacyjne mogą narazić ich na znaczne straty czasu.

Potencjalne straty ekonomiczne przedsiębiorstw i budżetu miasta wynikać mogą także z opóźnień w dojazdach pracowników do miejsc pracy, ale mogą być również efektem absencji związanych ze zwiększoną zachorowalnością na choroby, w których etiologii zaznacza się wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych. Straty będące efektem opóźnionych dojazdów do miejsca pracy mogą wpływać niekorzystnie zarówno na pracownika, jak i pracodawcę. W pierwszym przypadku wynika to z sytuacji, w której pracownik oczekując w korku nie zarabia pieniędzy lub nie otrzymuje części wynagrodzenia wynikającej z czasu opóźnionych dojazdów. W drugim przypadku z kolei pracodawca wypłacający pracownikowi, docierającemu do miejsca pracy z opóźnieniami, stałą pensję (np. miesięczną) *de facto* płaci częściowo za okres, w którym pracownik stał w korku. Oszacowanie tego typu strat podjęto na podstawie danych ankietowych (ankiety internetowej i reprezentatywnej) dotyczących dziennych strat czasu wskutek zatorów komunikacyjnych oraz informacji na temat liczby pracujących w m.st. Warszawie i średniego miesięcznego wynagrodzenia brutto w gospodarce narodowej w m.st. Warszawie. Z uwagi na brak możliwości określenia poziomu wynagrodzenia z uwzględnieniem rodzaju wykonywanego zawodu (brak dostępnych danych), czy też nieuwzględnienie aspektów takich jak zadaniowy system pracy, przedstawione oszacowania mają jedynie charakter orientacyjny.

Na podstawie danych GUS (z roku 2004) średnie miesięczne wynagrodzenie brutto w gospodarce narodowej w Warszawie wynosiło 3421,61 PLN, zaś liczba osób pracujących wynosiła 698 661. Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- 168-godzinny miesiąc pracy, co przyjęto za punkt odniesienia do obliczeń, wyznaczając średnie wynagrodzenie za 1 godzinę pracy, wynoszące 20,55 PLN
- analizowano wyłącznie odpowiedzi osób pracujących zawodowo
- osoby deklarujące dziennie straty czasu poniżej 10 minut traktowano, jako nieponoszące strat
- w przypadku pozostałych osób przyjęto dolne granice wyznaczonych przedziałów:
  - 10, 20, 30 minut i 1 godzinę dla ankiety internetowej
  - 10 i 30 minut oraz 1 godzinę w przypadku ankiety reprezentatywnej

Obliczenia wykonane na podstawie ankiety internetowej wykazały, że:

- miesięczne straty czasu wynoszą około 4,5 miliona godzin
- straty finansowe osiągać mogą poziom około 90 milionów PLN w skali miesiąca

Mając na uwadze reprezentatywny charakter ankiety prowadzonej w ramach Barometru Warszawskiego, należy domniemywać, że proporcje osób (m.in. ze względu na charakter zatrudnienia, czy sposób poruszania się po mieście), które brały udział w tym badaniu są bliższe rzeczywistości, a więc deklaracje dotyczące dziennych strat czasu (wśród osób pracujących) uznać można za reprezentatywne dla Warszawy. Należy uwzględnić przy tym fakt, iż ankieta prowadzona w ramach Barometru Warszawskiego zawierała również pytanie dotyczące średnich miesięcznych przychodów. Wyniki obliczeń uzyskane przy uwzględnieniu tak zadeklarowanych przychodów są bardzo zbliżone do tych uzyskanych na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego. Analogiczne obliczenia więc, wykonane na podstawie danych z ankiety reprezentatywnej, wykazały, iż:

- pracujący mieszkańcy Warszawy tracą w ciągu miesiąca 1,8 miliona godzin
- utracony czas kosztuje wobec powyższego niemal 38 milionów PLN miesięcznie

Uwzględniono również fakt, iż część osób zadeklarowało, że w zatorach komunikacyjnych nie spędzają czasu codziennie. Obliczenia, przeprowadzone z uwzględnieniem odpowiedzi na temat częstotliwości napotykania zatorów w skali tygodnia, wskazują, iż:

- miesięczne straty czasu osiągają poziom 1,3 miliona godzin
- generowane w ten sposób straty finansowe szacować można na poziomie 27 milionów PLN miesięcznie, co w skali roku skutkuje stratami rzędu 330 milionów PLN

#### **8.4.2. Straty gospodarcze generowane przez straty zdrowotne**

Jak już wspomniano w *rozdziale 4.3* zwiększona zachorowalność na schorzenia układu oddechowego z jednej strony wpływa również niekorzystnie na przedsiębiorstwa, ze względu na absencje pracowników, z drugiej zaś generuje koszty związane z opieką medyczną i ewentualną hospitalizacją. Jak wykazała jednak ankieta skierowana do mieszkańców miasta, niemal 40% respondentów uznało, że zwiększone koszty opieki medycznej, związane ze zwiększoną zachorowalnością na schorzenia układu oddechowego i krążenia oraz różnego rodzaju zmiany alergiczne są „niezbyt ważnym” lub „zupełnie nieważnym” efektem problemów komunikacyjnych Warszawy. Opinię taką najczęściej prezentują osoby podróżujące zwykle samochodami lub komunikacją autobusową, osoby niepracujące zawodowo oraz uczące się. Z kolei jako „bardzo ważny” wskazują ten efekt rowerzyści i osoby korzystające najczęściej z komunikacji szynowej, zaś ze względu na grupę zawodową – wyższa kadra zarządzająca.

Jak wykazuje natomiast *Zieliński J. i in. [14]*, w Polsce zwolnienia z pracy spowodowane chorobami płuc stanowią 20% wszystkich dni absencji w pracy (dla porównania w Wielkiej Brytanii, jak podaje *Barnes P.J. [2]*, wskaźnik ten wynosi około 9%). Podobnie renty inwalidzkie przyznawane z powodu tego rodzaju schorzeń stanowią 20% wszystkich przyznawanych w Polsce rent. Koszty związane zatem z opieką medyczną osób cierpiących z powodu chorób układu oddechowego, w tym zwłaszcza POChP, mogą stanowić znaczącą pozycję w budżetach

jednostek, którym podlegają placówki medyczne. Szacuje się, że POChP występuje u około 2 milionów mieszkańców Polski, a więc u około 5% populacji. Dane epidemiologiczne z USA wskazują, że chorobowość z powodu POChP jest zbliżona i wynosi około 6%, z kolei w Wielkiej Brytanii POChP rozpoznaje się u około 4% mężczyzn i około 2% kobiet w wieku powyżej 45 lat.

Jak wykazują badania prowadzone w Stanach Zjednoczonych (*Hilleman D.E. i in. [36]*), oraz w Szwecji (*Jansson S.A. i in. [38]*), całkowite roczne koszty związane z występowaniem przewlekłej obturacyjnej choroby płuc kształtują się, w przeliczeniu na 1 pacjenta (w przypadku łagodnej postaci POChP), na poziomie:

- o od około 1300 USD (Szwecja)
- o do około 1700 USD (USA)

Bezpośrednie koszty, a więc nieuwzględniające absencji w pracy, czy rent z tytułu niezdolności do pracy, stanowią około 42% kosztów całkowitych. W przypadku cięższych postaci choroby koszty leczenia gwałtownie rosną, kształtując się na poziomie:

- o około 3-krotnie wyższym w przypadku umiarkowanej formy obturacji
- o około 6÷10-krotnie wyższym przy ciężkiej postaci choroby w porównaniu z łagodną obturacją

*Hilleman D.E. i in. [36]*, *Jansson S.A. i in. [38]*, *Masa J.F. i in. [57]* oraz *Miravittles M. i in. [60]* podają, iż hospitalizacja pochłania średnio około 37%÷44% kosztów bezpośrednich związanych z leczeniem POChP, zaś dalsze od 16% (USA) do 37%÷41% (Szwecja, Hiszpania) stanowią koszty farmakoterapii. Pozostałe koszty obejmują diagnostykę, opiekę ambulatoryjną, wizyty domowe, czy tlenoterapię.

Szacując, zgodnie z przytoczonymi powyżej wskaźnikami, iż w Polsce z powodu POChP cierpi około 5% populacji, założyć można, że w przypadku Warszawy, którą zamieszkuje około 1,7 miliona osób, cechy obturacji wykazuje około 85 000 mieszkańców. Wieloletnie badania epidemiologiczne nad przewlekłą obturacyjną chorobą płuc, prowadzone w Szwecji (*Jansson S.A. i in. [38]*), wykazały, iż wśród stwierdzonych przypadków POChP, 83% chorych wykazywało cechy łagodnej obturacji, 13% umiarkowanej, zaś 4% ciężkiej postaci choroby. Odnosząc te proporcje do Warszawy należałoby przyjąć, iż:

- o łączne roczne wydatki, jakie generowane byłyby w Warszawie w związku z leczeniem POChP, przy założeniu, że wszyscy chorzy zostali zdiagnozowani i korzystają z pomocy medycznej, kształtowałyby się na poziomie około 240 milionów PLN (75 milionów USD)

Należy przy tym mieć na uwadze, iż w budżecie m.st. Warszawy w roku 2006 na wydatki związane z ochroną zdrowia zaplanowano łącznie 125 milionów PLN.

Ograniczenie zatem czynników wpływających na rozwój schorzenia, w tym w szczególności poziomów zanieczyszczeń powietrza, stanowiących jedną z najważniejszych przyczyn w genezie POChP, pozwoli ograniczyć zachorowalność z powodu chorób układu oddechowego. Możliwe będzie dzięki temu ograniczenie nakładów finansowych kierowanych na opiekę medyczną związaną z tego typu schorzeniami, jak również na pewne ograniczenie kosztów pośrednich. Ze względu na znaczący wzrost obciążeń finansowych niezbędnych na leczenie osób z umiarkowaną obturacją, a zwłaszcza z ciężką postacią choroby, niezbędne jest prowadzenie diagnostyki profilaktycznej, a w szczególności masowych badań epidemiologicznych w tym zakresie. Możliwie wczesne wykrycie POChP bowiem z jednej strony daje większe rokowania co do skuteczności leczenia, z drugiej zaś znacząco ogranicza potencjalne koszty, jakie należałoby ponieść na leczenie osoby w zaawansowanym stadium choroby. Zaniechanie natomiast działań zmierzających do ograniczenia poziomów zanieczyszczeń na terenach zurbanizowanych, w tym zwłaszcza problemu zatorów komunikacyjnych stanowiących poważne źródło emisji zanieczyszczeń, skutkować będzie narastającym problemem zanieczyszczenia atmosfery, a w efekcie zwiększającą się zachorowalnością z powodu chorób układu oddechowego.

## 8.5. Podsumowanie

Jak wynika z przedstawionych wyników generalnie problem zatorów komunikacyjnych jest, na tle innych pilnych do rozwiązania spraw, kwestią co najmniej ważną dla większości mieszkańców Warszawy. Dostrzegają oni zarówno czynniki, które warunkują występowanie problemów komunikacyjnych, jak również negatywne skutki spowodowane zatorami. Około 80% respondentów badań ankietowych deklaruje ponoszenie strat czasu przekraczających 10 minut dziennie. Efektem takiej sytuacji są także różnego rodzaju inne straty, zwłaszcza finansowe. Te ostatnie, choć niezwykle trudne do ewaluacji, stanowić mogą w skali miasta znaczącą, choć słabo dostrzeganą, pozycję budżetową. Wydaje się, iż niezbędne staje się zgłębienie omawianej kwestii i podjęcie wnikliwej oceny kosztów, jakie gospodarka miejska ponosi w efekcie utrudnień komunikacyjnych, zatorów drogowych, wynikających z tego strat czasu i strat pochodnych. Szczególna uwaga powinna zostać zwrócona na fakt, iż nie wszystkie straty, w tym straty czasu, mogą być wyrażone w postaci negatywnych skutków finansowych.

Warto zauważyć, iż niezwykle istotną kwestią są problemy komunikacyjne również z punktu widzenia kierowców pojazdów ratownictwa, z których niemal wszyscy zatory komunikacyjne w Warszawie uważają za co najmniej ważny problem miasta. Wskazują również na znaczące utrudnienia, a bardzo często na brak możliwości przejazdu, w szczególności w okresach szczytu komunikacyjnego. Mieszkańcy Warszawy, w zasadzie niezależnie od miejsca zamieszkania, wykonywanej pracy, poziomu wykształcenia, wieku, czy środka komunikacji, z którego najczęściej korzystają, uznali ten fakt za drugi najważniejszy skutek zatorów, co potwierdza, jak duże znaczenie może mieć dla mieszkańców szybkość reakcji służb ratowniczych, a więc jak dużą wagę przywiązują oni do własnego bezpieczeństwa.

Zdaniem kierowców Pogotowia Ratunkowego i Straży Pożarnej już kilkuminutowe opóźnienia w dojeździe do miejsca wezwania, w sytuacji zagrożenia życia ludzi, w tym w razie pożaru czy wypadku drogowego, znacząco zmniejszają skuteczność podjętej interwencji. Kilku-, czy kilkunastominutowe opóźnienia występują w zasadzie codziennie w okresach szczytów komunikacyjnych. Większość kierowców, dążąc do zmniejszenia opóźnień korzysta z różnego rodzaju technik i możliwości przewidzianych w Kodeksie Drogowym dla pojazdów specjalnych, co zmniejsza jednak bezpieczeństwo ruchu innych pojazdów. Zwiększenie płynności ruchu pojazdów w sieci drogowej miasta jest zatem z punktu widzenia bezpieczeństwa mieszkańców niezwykle istotne. Nie można również dopuścić do sytuacji, gdy skuteczność interwencji załóg ratowniczych będzie się zmniejszać, a zatem niezbędne jest natychmiastowe podjęcie działań zaradczych.

Kolejnym aspektem jest równie trudny do oszacowania koszt opieki medycznej związanej ze zwiększoną zachorowalnością na choroby układu oddechowego. Zanieczyszczenie powietrza może być równie istotnym czynnikiem w genezie POChP, jak palenie tytoniu, na co zwraca uwagę Barnes P.J. [2]. Wskazują na to w pewnym stopniu również wyniki badań omówionych w rozdziale 7, z których wynika, że palenie tytoniu zwiększa ryzyko zachorowania z powodu POChP niemal 2,2-krotnie, zaś zamieszkiwanie w pobliżu ruchliwych ulic zwiększa to ryzyko prawie 2,8-krotnie (w porównaniu z mieszkańcami terenów nieurbanizowanych).

Niepodjęcie zatem radykalnych kroków zmierzających do ograniczenia problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie spowoduje nasilenie obecnych trudności przejawiających się stratami czasu mieszkańców, które pociągać mogą za sobą realne i znaczące straty finansowe związane z opóźnieniami przejazdów lub przewozów towarów w sieci drogowo-ulicznej Warszawy. Wzrastające natężenie ruchu pojazdów, przy braku bezwzględnych działań zmniejszających zatłoczenie sieci drogowej Warszawy, może przyczynić się także do narastania utrudnień w ruchu pojazdów specjalnych, także w innych, niż to ma miejsce obecnie, okresach doby. Ponadto zwiększające się zanieczyszczenie powietrza generować może wzrost liczby zachorowań z powodu chorób układu oddechowego, zwłaszcza POChP, czego efektem może być konieczność ponoszenia większych nakładów finansowych na leczenie osób dotkniętych tym schorzeniem. Pośrednio zjawisko to wpływać może także na wzrost liczby absencji w pracy oraz wzrost liczby rent przyznawanych z tytułu niezdolności do pracy ze względu na stan zdrowia, co będzie generować dodatkowe wydatki budżetu.

Wydaje się więc, iż wielowątkowy wpływ zatorów komunikacyjnych na różne elementy środowiska miejskiego wymaga pilnej reakcji ze strony władz miejskich. Należy domniemywać, iż wyniki badań przedstawionych w niniejszej pracy stanowią mogą podstawę do sformułowania wniosków, które nakłonią Samorząd Warszawy do podjęcia bardziej radykalnych, aniżeli dotychczas działań, umożliwiających w niedługiej perspektywie czasowej zwiększenie płynności ruchu pojazdów, a co za tym idzie ograniczenie przynajmniej części problemów komunikacyjnych aglomeracji i poprawę standardu życia mieszkańców Warszawy. Niezbędne jest zatem opracowanie harmonogramu realizacji najważniejszych zadań w tym zakresie, przy czym opinia mieszkańców bez wątpienia powinna zostać wzięta pod uwagę.

## 9. Podsumowanie i wnioski

Analiza materiału badawczego zaprezentowanego w niniejszej pracy dowodzi, iż ruch drogowy oraz wynikające z niego zatory komunikacyjne formujące się w sieci drogowo-ulicznej dużej aglomeracji miejskiej mają znaczny i wielostronny wpływ na środowisko społeczne obszarów zurbanizowanych.

Najważniejszy efekt pracy stanowi wykazanie statystycznie istotnego związku pomiędzy poziomem zanieczyszczeń atmosferycznych rejestrowanych na zatłoczonej arterii komunikacyjnej Warszawy z kilkukrotnie wyższą liczbą przypadków przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP) wśród mieszkańców domów przylegających do tej arterii w porównaniu z próbą kontrolną, którą stanowili mieszkańcy terenów podmiejskich. Wykazano przy tym ponad wszelką wątpliwość wysoki i statystycznie istotny związek korelacyjny pomiędzy strumieniem pojazdów a poziomami zanieczyszczeń, jakie rejestruje się w pobliżu ciągu komunikacyjnego o znacznym natężeniu ruchu. Nie pozostawia to wątpliwości, że wysokie emisje związane z kongestią w ruchu drogowym na obszarze miasta mają istotny i nadspodziewanie duży wpływ na stan zdrowia mieszkańców wyeksponowanych na zanieczyszczenia komunikacyjne.

Do wysnucia tego wniosku uprawniają wyniki analiz, których podsumowanie przedstawiono poniżej.

Wyniki pomiarów ze stacji monitorującej poziomy zanieczyszczeń komunikacyjnych wskazują, iż rejestrowane przez nią stężenia są statystycznie istotnie wyższe w porównaniu z poziomami zanieczyszczeń notowanymi w stacjach odseparowanych od bezpośredniego wpływu ruchu drogowego. Stężenia zarejestrowane w roku 2005 w stacji komunikacyjnej, w porównaniu ze stacjami tła miejskiego są:

- o w przypadku  $\text{NO}_2$  od 2,15 do 2,24 razy wyższe
- o w przypadku  $\text{PM}_{10}$  od 1,57 do 1,61 razy wyższe
- o w przypadku CO 2,45 razy wyższe

Badania ruchu wykonane przez autora, skorelowane z wynikami monitoringu stężeń zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego, dowodzą jednoznacznie (w kategoriach statystyki matematycznej) silnego związku przyczynowo-skutkowego pomiędzy emisją zanieczyszczeń komunikacyjnych a stanem jakości powietrza. Współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy natężeniem ruchu pojazdów a poziomami zanieczyszczeń powietrza wynoszą od 0,45 do 0,70 w zależności od zanieczyszczenia, zaś w dni robocze są wyższe, wahając się od 0,51 do 0,73.

Wyniki badań spirometrycznych zrealizowanych w ramach niniejszej pracy wspólnie z lekarzami z Wojskowego Instytutu Medycznego dowodzą, że wśród osób mieszkających w pobliżu ruchliwej arterii komunikacyjnej w porównaniu z mieszkańcami terenów pozamiejskich:

- o w grupie osób niepalących odsetek badanych z zaburzeniami oddychania jest niemal 5-krotnie większy, przy czym generalnie łagodna forma przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP) występuje częściej od cięższych postaci
- o w grupie osób palących odsetek badanych z zaburzeniami oddychania jest prawie 2-krotnie wyższy, jednak wśród mieszkańców Warszawy umiarkowana forma POChP występuje częściej od postaci łagodnej, natomiast w grupie kontrolnej nadal przypadki łagodne przeważają nad ciężkimi

Ocena narażenia na zachorowanie z powodu POChP ze względu na czynniki zewnętrzne dowodzi, iż wśród całej badanej zbiorowości:

- o palenie tytoniu zwiększa ponad 2-krotnie ryzyko zachorowania na POChP
- o zamieszkiwanie wzdłuż arterii komunikacyjnej o dużym natężeniu ruchu wpływa na bez mała 3-krotnie wyższe ryzyko zachorowania w porównaniu z mieszkańcami obszarów niezurbanizowanych

Osoby niepalące i jednocześnie zamieszkujące przy ruchliwej ulicy są ponad 4-krotnie bardziej narażone na wystąpienie obturacji w porównaniu z grupą kontrolną, zaś wśród osób palących wykazano brak statystycznie istotnego wpływu miejsca zamieszkania na ryzyko zachorowania z powodu POChP.

Powyższe fakty wskazują, iż osoby zamieszkujące w bezpośrednim sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych są silniej wyeksponowane na wpływ zanieczyszczeń typowych dla ruchu drogowego w porównaniu z osobami mieszkającymi w pewnym oddaleniu od głównych arterii, a zwłaszcza z mieszkańcami obszarów nieurbanizowanych.

Równie złych wyników należy się niestety spodziewać i w innych dużych polskich miastach, bowiem bezwzględne wartości stężeń zanieczyszczeń komunikacyjnych w Warszawie nie należą do najwyższych w kraju. W roku 2005 na stacjach komunikacyjnych zarejestrowano wyższe stężenia średnioroczne:

- NO<sub>2</sub> w Krakowie (63 µg/m<sup>3</sup>) i Wrocławiu (68 µg/m<sup>3</sup>) – dla porównania w Warszawie stężenie to wyniosło 56 µg/m<sup>3</sup>
- PM<sub>10</sub> w Krakowie (87 µg/m<sup>3</sup>) – dla porównania w Warszawie wyniosło 58 µg/m<sup>3</sup>
- CO – w Krakowie (1650 µg/m<sup>3</sup>) – dla porównania w Warszawie wyniosło 1302 µg/m<sup>3</sup>, zaś we Wrocławiu 925 µg/m<sup>3</sup>

Poza ryzykiem poważnej choroby, wpływ zatorów drogowych przejawia się spadkiem standardu życia mieszkańców miasta, przede wszystkim ze względu na liczne uniedogodnienia powodujące straty czasu podczas codziennych podróży pomiędzy miejscem zamieszkania a miejscem pracy lub nauki, czy w czasie pozostałych rodzajów podróży, niezwiązanych z pracą lub nauką.

Jak dowodzą wyniki badań ankietowych, przeprowadzonych przez autora wśród mieszkańców Warszawy, około 80% respondentów wskazuje, że dziennie w wyniku zatorów komunikacyjnych, ponosi straty czasu przekraczające 10 minut, przy czym największe straty ponoszą osoby podróżujące samochodami. Łącznie skutkuje to stratą ogromnej sumy co najmniej 1,3 mln. godzin w miesiącu, jakie pracujący warszawiacy spędzają bezproduktywnie w swych samochodach i w pojazdach komunikacji miejskiej w wyniku kongestii drogowych. Nie dziwi zatem, że podobny odsetek wskazuje na problemy komunikacyjne, jako co najmniej zauważalne utrudnienie dla prawidłowego realizowania ich obowiązków zawodowych, zaś niewiele mniej osób uważa, że zatory utrudniają im realizację planów związanych z życiem prywatnym.

Do innych niekorzystnych efektów respondenci zaliczyli:

- stres i zmęczenie
- utrudnianie płynnego ruchu pojazdom uprzywilejowanym
- podwyższone emisje zanieczyszczeń

Zatory komunikacyjne stanowią dla mieszkańców problem niebagatelny, który ich zdaniem wymaga natychmiastowych działań zmierzających do poprawy płynności ruchu drogowego na terenie Warszawy. Wśród priorytetowych działań, jakie należy podjąć w kierunku ograniczenia niekorzystnych efektów problemów komunikacyjnych miasta, respondenci wymieniali najczęściej wybudowanie obwodnicy miejskiej oraz rozwój sieci metra – te działania ponad 75% uczestników ankiet uznało za najbardziej skuteczne w zmniejszaniu problemu zatorów komunikacyjnych.

Nie bez znaczenia pozostaje zasygnalizowany fakt wpływu problemów komunikacyjnych na płynny ruch pojazdów specjalnych, w tym zwłaszcza pojazdów ratownictwa. Wyniki badań ankietowych skierowanych do kierowców Stołecznej Kolumny Transportu Sanitarnego (SKTS) oraz Państwowej Straży Pożarnej (PSP) dowodzą, że problemy komunikacyjne stanowią poważne utrudnienie w prawidłowym przemieszczaniu się pojazdów uprzywilejowanych, a krytyczne w tym zakresie są godziny szczytu komunikacyjnego: 7:00-9:00 oraz 15:00-19:00. Znacząca większość ankietowanych kierowców (97% kierowców SKTS i 80% kierowców PSP) uważa, iż w co najmniej 50% wyjazdów do miejsc interwencji płynne poruszanie się pojazdu



uprzywilejowanego w sieci drogowo-ulicznej Warszawy jest niemożliwe. Efektem tego jest konieczność korzystania ze specjalnych uprawnień, które przewidziane są w Prawie o ruchu drogowym, co znacząco zmniejsza bezpieczeństwo przejazdu zarówno pojazdu specjalnego, jak i pozostałych uczestników ruchu drogowego. Dodatkowo kierowcy pojazdów ratownictwa wskazują na brak respektowania przez kierowców pozostałych pojazdów nakazu ustępowania pierwszeństwa pojazdowi uprzywilejowanemu.

Reasumując należy stwierdzić, iż postawiona na początku pracy teza wskazująca na istotne i nie do końca poznane oddziaływanie zatorów komunikacyjnych na środowisko miejskie, w tym na zdrowie ludzi, jest prawdziwa. W istocie wpływ zatorów na standard życia mieszkańców miasta jest wielowątkowy i znaczący, objawiając się podwyższoną ekspozycją na zanieczyszczenia komunikacyjne i negatywnym wpływem na zdrowie, jak również stratami czasu i wynikającymi z tego potencjalnymi stratami gospodarczymi.

Przedmiotem dalszych badań w tym zakresie winno być oszacowanie wpływu emisji hałasu komunikacyjnego związanego z zatorami, na zdrowie ludzi, ale również wieloletni program cyklicznie prowadzonych badań nad oddziaływaniem zanieczyszczeń komunikacyjnych na zdrowie mieszkańców miast (w zależności od odległości miejsca zamieszkania od arterii komunikacyjnych), wraz z uwzględnieniem innych czynników, które mogą mieć wpływ na stan ich zdrowia.

Wyniki badań przedstawionych w pracy pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- wyniki badań świadczące o takim wzroście ryzyka zachorowania z powodu przewlekłej obturacyjnej choroby płuc dowodzą konieczności monitorowania stanu zdrowia mieszkańców miast pod kątem zaburzeń układu oddechowego. Wykrycie bowiem zaburzeń przepływu powietrza przez oskrzela pozwoli na ograniczenie liczby przypadków zachorowań z powodu POChP, co w efekcie umożliwi oszczędzenie cierpień wielu ludziom, a także ograniczenie nakładów finansowych ponoszonych na leczenie choroby, zwłaszcza w umiarkowanej i ciężkiej formie,
- ponadto dane wskazujące na wysoki udział samochodów ciężarowych i autobusów w emisji ditlenku azotu i cząstek stałych dowodzą konieczności ograniczenia ruchu pojazdów ciężarowych po miejskich arteriach komunikacyjnych, zaś w przypadku autobusów wskazują na konieczność niezwłocznej modernizacji, a w zasadzie wymiany taboru,
- straty czasu oraz pozostałe straty ponoszone przez mieszkańców miasta w wyniku zatorów komunikacyjnych stanowią poważne ograniczenie standardu ich życia. Niezwłoczne podjęcie działań zmierzających do poprawy systemu komunikacyjnego miasta powinno zatem stanowić priorytet w działaniach władz municypalnych. Niepodjęcie tych działań w najbliższej perspektywie czasowej skutkować będzie nasileniem się problemów związanych z zatorami komunikacyjnymi, a więc
  - ze wzrostem strat czasu ponoszonych przez mieszkańców
  - ze spadkiem bezpieczeństwa wynikającym z nasilenia się problemu braku płynnego ruchu pojazdów uprzywilejowanych
  - ze zwiększającą się emisją zanieczyszczeń komunikacyjnych, których udział w bilansie emisji na terenie Warszawy jest i tak dominujący
  - z intensyfikacją problemów zdrowotnych mieszkańców Warszawy, a nawet ze wzrostem wskaźnika śmiertelności wskutek schorzeń układu oddechowego
- wszystkie wymienione efekty powiązane są również z aspektem finansowym – zwiększone straty czasu będą skutkować wzrostem strat finansowych, a w tym także wskutek:
  - mniejszej wydajności pracowników

- odpływu kapitału
- braku zainteresowania inwestycjami

Z kolei wzrost zarówno liczby przypadków chorób układu oddechowego, jak i nasilenie stopnia rozwoju chorób wpłynie na:

- wzrost kosztów leczenia, w tym hospitalizacji, farmakoterapii i rehabilitacji
- wzrost kosztów związanych z absencją w pracy
- potencjalną konieczność ponoszenia wyższych nakładów finansowych na wypłacanie świadczeń rentowych osobom niezdolnym do pracy ze względu na choroby układu oddechowego, w tym spowodowane wpływem zanieczyszczeń komunikacyjnych.

Wyniki pracy dowodzą zatem pilnej konieczności:

- wybudowania obwodnicy miejskiej, co staje się sprawą priorytetową i władze Warszawy powinny domagać się od administracji drogowej szybkiego przygotowania i realizacji tej najważniejszej dla Miasta inwestycji drogowej,
- podjęcia działań w kierunku istotnego wzmocnienia komunikacji publicznej, w tym zwłaszcza szybkiej budowy 2 i 3 linii metra, a także wprowadzenia rozwiązań organizacyjnych i systemowych, które są możliwe do stosunkowo szybkiej realizacji:
  - wprowadzenia systemu sterowania ruchem, który umożliwi zwiększenie płynności ruchu pojazdów, a tym samym pozwoli na: ograniczenie emisji zanieczyszczeń komunikacyjnych, poprawę bezpieczeństwa ruchu, w tym zmniejszenie czasu dojazdu pojazdów ratownictwa do miejsc interwencji, poprawę funkcjonowania komunikacji zbiorowej, w tym zwiększenie częstotliwości kursowania i zmniejszenia zatłoczenia, a w efekcie zachęci część kierowców do korzystania z publicznych środków transportu
  - budowy systemu parkingów typu „Parkuj i Jedź”, co skłoni zwłaszcza kierowców docierających do Warszawy z terenów podmiejskich do niekorzystania w mieście z komunikacji indywidualnej a z transportu publicznego. To wymaga jednakże po pierwsze wprowadzenia wspomnianych już priorytetów dla pojazdów komunikacji zbiorowej, a więc w efekcie poprawy punktualności ich kursowania, a ponadto poprawy komfortu jazdy, a więc przede wszystkim zmniejszenia zatłoczenia w autobusach i tramwajach
  - zintegrowania systemu transportowego, a więc wprowadzenia wspólnego biletu na wszystkie środki transportu zbiorowego, w tym koleje podmiejskie i prywatnych przewoźników autobusowych. Niepodjęcie tych działań sprawi, że osoby, które obecnie poruszają się po mieście samochodami nie będą skłonne do rezygnacji z transportu indywidualnego na rzecz komunikacji publicznej. Dowodzą tego wyniki ankiety, omówione w niniejszej pracy, świadczące o tym, iż relatywnie niewielki odsetek kierowców decyduje się na w obliczu problemów komunikacyjnych na rezygnację z podróży samochodem i korzystanie z transportu zbiorowego

# Literatura

## Monografie:

1. Babbie E.: „Badania społeczne w praktyce”. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2003
2. Barnes P.J.: „Przewlekła obturacyjna choroba płuc”. Medical Press. Gdańsk 2001
3. Chłopek Z.: „Pojazdy samochodowe. Ochrona środowiska naturalnego”. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2002
4. Datka. S, Suchorzewski W., Tracz M.: „Inżynieria ruchu”. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1999
5. Dobosz M.: „Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań”. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa 2001
6. Falkowska L., Korzeniewski K.: „Chemia atmosfery”. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego. Gdańsk 1995
7. Jaroński J.: „Techniki czystego spalania”. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 1996
8. Juda-Rezler K.: „Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2000
9. Merkisz J.: „Ekologiczne problemy silników spalinowych. Tom I”. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 1998
10. Ming-Ho Yu: „Environmental Toxicology. Impacts of Environmental Toxicants on Living System”. Lewis Publishers. Washington 2001
11. Namieśnik J., Jaśkowski J.: „Zarys ekotoksykologii”. EKO-Pharma. Gdańsk 1995
12. Siemiński M.: „Środowiskowe zagrożenia zdrowia”. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2001
13. Stanisław A.: „Przystępny kurs statystyki z wykorzystaniem programu *STATISTICA PL* na przykładach z medycyny”. Tom II. StatSoft Polska. Kraków 2000
14. Zieliński J., Górecka D., Śliwiński P.: „Przewlekła obturacyjna choroba płuc”. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 1998
15. Zwoździak J., Zwoździak A., Szczurek A.: „Meteorologia w ochronie atmosfery”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1998

## Publikacje naukowe:

16. Anderson H.R., Spix C., Medina S., Schouten J.P., Castellsaque J., Rossi G., Zmirou D., Touloumi G., Wojtyński B., Ponka A., Bacharova L., Schwartz J., Katsouyanni K.: „Air pollution and daily admission for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project”. *The European Respiratory Journal*, 1997, 10: 1064-1071
17. Babisch W., Ising H., Gallacher J.: „Health status as a potential effect modifier of the relation between noise annoyance and incidence of ischaemic heart disease”. *Occupational and Environmental Medicine*, 2003, 60: 739-745
18. Badyda A., Majewski G.: „Analiza zmienności stężenia zanieczyszczeń komunikacyjnych w aglomeracji miejskiej na tle natężenia ruchu pojazdów i warunków meteorologicznych”. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 2006, 1(33): 146-157
19. Becker D., Richter F.: „Czy rozbudowa dróg jest ochroną środowiska?”. *Bezpieczne Drogi IX 2002* (przedruk z *Internationales Verkehrswesen* 4/2002)
20. Bohatkiewicz J.: „Problemy związane z ochroną środowiska w pasie drogowym w odniesieniu do zmian wprowadzonych w ustawie Prawo Ochrony Środowiska”. *Transport miejski* 9/2002
21. Brauer M., Hoek G., van Vliet P., Meliefste K., Fischer P.H., Wijga A., Koopman L.P., Neijens H.J., Gerritsen J., Kerkhof M., Heinrich J., Bellander T., Brunekreef B.: „Air pollution from traffic and the development of respiratory infections and asthmatic and allergic symptoms in children”. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2002, 166: 1092-1098
22. Brzeziński A.: „Ruch na drogach ekspresowych i autostradach w otoczeniu miast. Cz. II. Zastosowanie metody”. *Transport miejski* 3/99
23. Chłopek Z.: „Badania modelu globalnej emisji spalin z silników pojazdów drogowych”. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* T 6, 8/1999
24. Chłopek Z.: „Główne problemy modelowania emisji substancji szkodliwych dla środowiska z silników spalinowych”. *Materiały z Konferencji Naukowej dla uczczenia 70-lecia Profesora*

- Mariana Cichogo. „MODES” Modelowanie Systemów Energetycznych z Silnikami Spalinowymi. Komitet Transportu PAN. Gdańsk 2001
25. Chłopek Z., Jarczewski M., Bardziński W., Sar H.: „Influence of fatty acid methyl esters' additive to diesel engine on ecology, fuel consumption and vehicle's performance”. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 13, No 1, 2006 (s.261-268)
  26. Chłopek Z., Polichnowski T.: „Modelowanie emisji zanieczyszczeń z pojazdów poruszających się na skrzyżowaniach”. *Archiwum motoryzacji* 4/2002
  27. Dockery D.W., Pope C.A.3rd, Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G. Jr, Speizer F.E.: „An association between air pollution and mortality in six U.S. cities”. *The New England Journal of Medicine*, 1993, 329: 1753–1759
  28. Dybicz T.: „10 dni bezpłatnego parkowania w Warszawie”. *Transport miejski* 1/2004
  29. Dybicz T.: „Wpływ wprowadzenia opłat za parkowanie na zachowania komunikacyjne”. *Seminarium Centrum Kształcenia Ustawicznego w Inżynierii Komunikacyjnej nt. „Systemy Dynamicznego Zarządzania Ruchem Drogowym”*. Falenty 2005
  30. Edward J., Walters A., Griffiths R.K.: “Hospital admission for asthma in pre-school children: relationship to major roads in Birmingham, United Kingdom”. *Archives of Environmental Health*, 1994, 49: 223-227
  31. Fusco D., Forastiere F., Michelozzi P., Spadea T., Ostro B., Arca M., Perucci C.A.: „Air pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy”. *The European Respiratory Journal*, 2001, 17: 1143–1150
  32. Galler S.: „Public Transport in Vienna”. *Materiały konferencyjne Eurocities Mobility Forum*. Urząd m.st. Warszawy. Warszawa 2006
  33. Gierech P.: „Opinie Warszawiaków nt. systemu komunikacji miejskiej w Barometrze Warszawskim 2003-2005”. *Materiały z konferencji “Transport publiczny w Warszawie kluczem harmonijnego rozwoju stolicy Polski”*. Urząd m.st. Warszawy. Warszawa 2005
  34. Goyal P., Chan A.T., Jaiswal N.: “Statistical models for the prediction of respirable suspended particulate matter in urban cities”. *Atmospheric Environment*, 2006, 40: 2068-2077
  35. Gryniewicz-Bylina B., Rakwicz B., Pastuszka J.S.: „Assessment of exposure to traffic-related aerosol and to particle-associated PAHs in Gliwice, Poland”. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2005, Vol. 14, No. 1: 117-123
  36. Hilleman D.E., Dewan N., Malesker M., Friedman M.: „Pharmacoeconomic evaluation of COPD”. *Chest*, 2000, 118: 1278–1285
  37. Hoek G., Brunekreef B., Goldbohm S., Fischer P., van den Brandt P.A.: „Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study”. *Lancet*, 2002, 360: 1203–1209
  38. Jansson S.A., Andersson F., Borg S., Ericsson Å., Jönsson E., Lundbäck B.: „Costs of COPD in Sweden according to disease severity”. *Chest*, 2002, 122: 1994–2002
  39. Jędrychowski W.A., Flak E.: „Effect of air quality on chronic respiratory symptoms adjusted for allergy among preadolescent children”. *European Respiratory Journal*, 1998, 11: 1312-1318
  40. Jędrychowski W.A., Galas A., Pac A., Flak E., Camman D., Raugh V., Perera F.: „Prenatal ambient air exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and the occurrence of respiratory symptoms over the first year of life”. *European Journal of Epidemiology*, 2005, 20: 775-782
  41. Jędrychowski W.A., Perera F.P., Pac A., Jacek R., Whyatt R.M., Spengler J.D., Dumyahn T.S., Sochacka-Tatara E.: „Variability of total exposure to PM<sub>2,5</sub> related to indoor and outdoor pollution sources. Krakow study in pregnant women”. *Science of the Total Environment*, 2006, 366: 47-54
  42. Kim J.J., Smorodinsky S., Lipsett M., Singer B.C., Hodgson A.T., Ostro B.: „Traffic-related air pollution near busy roads”. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2004, 170: 520–526
  43. Kopta T.: „Spaliny samochodowe a zdrowie”. *Transport miejski* 12/2000
  44. Krzywkowska G.: „Survey of Public Transport in Warsaw and Budapest”. *Materiały konferencyjne Eurocities Mobility Forum*. Urząd m.st. Warszawy. Warszawa 2006
  45. Kuropka J.: „Emisja tlenu diazotu – potencjalne zagrożenie, bilans i możliwości redukcji”. *Praca zbiorowa pod redakcją Musialik-Piotrowskiej A. i Rutkowskiego J.D. „Ochrona powietrza atmosferycznego. Osiągnięcia w nauce, energetyce i przemyśle”*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych. Wrocław 2006

46. Kuszewski H, Lejda K.: „Selected methods of toxicity exhaust gas reduction from diesel engine in aspect of emission standards”. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 13, No 1, 2006 (s.279-287)
47. Laden F., Neas L.M., Dockery D.W., Schwartz J.: „Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities”. *Environmental Health Perspectives*, 2000, Vol. 108, No. 10:941-947
48. Lesiuk A.: „Rozkład stężenia ditlenku azotu przy wybranych trasach komunikacyjnych o różnym natężeniu ruchu pojazdów”. Praca zbiorowa pod redakcją Musialik-Piotrowskiej A. i Rutkowskiego J.D. „Ochrona powietrza atmosferycznego. Osiągnięcia w nauce, energetyce i przemyśle”. *Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych*. Wrocław 2006
49. Lima S.: „Prague Integrated Transport”. *Materiały konferencyjne Eurocities Mobility Forum*. Urząd m.st. Warszawy. Warszawa 2006
50. Lipiec A., Różaniecka K., Litwińczuk A.: „Wpływ odległości od trasy komunikacyjnej na zanieczyszczenia roślin łożyskami w sezonie wegetacyjnym”. *Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych*, z. 462 1998
51. Lipiec A., Różaniecka K., Saba L.: „Zawartość metali ciężkich w runi łąkowo-pastwiskowej na obrzeżach Lublina”. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*. Vol. XV, No. 37. Lublin 1997
52. Lippmann M., Thurston G.D.: „Sulfate concentration as an indicator of ambient particulate air pollution for health risk evaluations”. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 1996, 6: 123-146
53. Lubiński W., Chciałowski A.: „Zanieczyszczenia powietrza a czynność układu oddechowego”. *Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej*, 2003, 110(1): 783-788
54. Lubiński W., Frank-Piskorska A., Chciałowski A., Płusa T.: „Wpływ zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na czynność układu oddechowego u młodych mężczyzn w różnych rejonach polski (lata 1993-1998)”. *Polski Merkuriusz Lekarski*, 2004, 16(92): 28-132
55. MacNee W., Donaldson K.: “Exacerbations of COPD – environmental mechanism”. *Chest*, 2000, 117: 390-397
56. Maheswaran R., Elliott P.: „Stroke mortality associated with living near main roads in England and Wales”. *Stroke*, 2003, 34: 2776–2780
57. Masa J.F., Sobradillo V., Villasante C., Jimenez-Ruiz C.A., Fernandez-Fau L., Viejo J.L., Miravittles M.: „Costs of Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Spain: Estimation from a population-based study”. *Archivos de bronconeumología*, 2001, 37: 375–381
58. Merksiz J., Kozak M.: „Wymagania stawiane paliwom silnikowym przez współczesne silniki spalinowe”. *Materiały z II Międzynarodowej Konferencji pt. „Rozwój technologii paliw w świetle Dyrektyw Europejskich i Narodowych Uregulowań Normatywnych”*. Centralne Laboratorium Naftowe. Warszawa 1999
59. Miller F.J., Graham J., Overton J., Myers E.: „Pulmonary dosimetry of nitrogen dioxide in animals and man. Air pollution by Nitrogen Oxides”. Elsevier, Amsterdam, 1982: 377-386 (*Studies in Environmental Science*, No. 21)
60. Miravittles M., Murio C., Guerrero T., Gisbert R.: „Costs of Chronic Bronchitis and COPD”. *Chest*, 2003, 123: 784–791
61. Osterlee A., Drijver M., Lebrecht E., Brunekreef B.: „Chronic respiratory symptoms in children and adults living along streets with high traffic density”. *Occupational and environmental medicine*, 1996, 53: 241-247
62. Pelchner A., Płoski T.: „Ocena uciążliwości zanieczyszczenia powietrza z powodu zwiększonego natężenia ruchu na wybranym węzle komunikacyjnym”. Praca magisterska wykonana na Wydziale Inżynierii Środowiska PW. Warszawa 2003
63. Piekarska K., Karpińska-Smulikowska J.: „Wpływ indukcji mikrosomalnej na wykrywalność mutagennych zanieczyszczeń powietrza frakcji PM10 bakteryjnym testem Ames”. Praca zbiorowa pod redakcją Musialik-Piotrowskiej A. i Rutkowskiego J.D. „Ochrona powietrza atmosferycznego. Osiągnięcia w nauce, energetyce i przemyśle”. *Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych*. Wrocław 2006
64. Pope C.A.3rd, Thun M.J., Namboodiri M.M., Dockery D.W., Evans J.S., Speizer F.E., Heath C.W. Jr: „Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults”. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 1995, 151: 669–674

65. Quanjer P.H., Tammeling G.J., Cotes J.E., Pedersen O.F., Peslin R., Yernault J.C.: „Lung volumes and forced ventilatory flows. Report working party: Standardization of lung function tests. European Community for Steel and Coal. Official statement of the European Respiratory Society”. *The European Respiratory Journal*, 1993, 16: 5–40
66. Roemer W., Hoek G., Brunekreef B., Haluszka J., Kalandidi A., Pekkanen J.: „Daily variation in air pollution and respiratory health in a multicentre study: PEACE project”. *The European Respiratory Journal*, 1998, 12:1354-1361
67. Rowińska-Zakrzewska E.: „Pneumonologia”. *Medycyna Praktyczna* 2003/01
68. Schikowski T., Sugiri D., Ranft U., Gehring U., Heinrich J., Wichmann E.H., Kraemer U.: „Long-term air pollution and living close to busy roads are associated with COPD in women”, *Respiratory Research*, 2005, 6: 152-177
69. Schwartz J., Dockery D.W., Neas L.M.: „Is daily mortality associated specifically with fine particles?”. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1996, 46: 927-939
70. Schwartz J., Laden F., Zanobetti A.: „The concentration-response relation between PM<sub>2,5</sub> and daily deaths”. *Environmental Health Perspectives*, 2002, Vol 110, No. 10: 1025-1029
71. Shi Ping Ji, Harrison R.M.: „Regression modelling of hourly NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> concentration in urban air in London”. *Atmospheric Environment*, 1997, 31: 4081-4094
72. Sin D.D., Stafinski T., Ying Chu NG, Bell N.R., Jacobs P.: “The impact of chronic obstructive pulmonary disease on work loss in the United States”. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2002, 165: 704-707
73. Suchorzewski W.: „Program budowy autostrad a rozwój ekologicznie zrównoważony”. *Drogownictwo* 5/95
74. Uzdalewicz Z.: „Autostrada na Mazowszu”. *Bezpieczne drogi IV* 1999
75. Venn A.J., Lewis S.A., Cooper M., Hubbard R., Britton J.: „Living near a main road and the risk of wheezing illness in children”. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2001, 164: 2177–2180
76. Viegi G.: „Air pollution epidemiology and the European Respiratory Society: the PEACE project”. *European Respiratory Review*, 1998, 8 (52): 1-3
77. von Mutius E.: „The environmental predictors of allergic diseases”. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2001, 105: 9-19
78. Warząchowski M.: „Zewnętrzna obwodnica Warszawy”. *Bezpieczne drogi V* 2001
79. Wilkinson P., Elliott P., Grundy C., Shaddick G., Thakrar B., Walls P., Falconer S.: „Case-control study of hospital admission with asthma in children aged 5-14 years: relation with road traffic in north west London”. *Thorax*, 1999, 54: 1070–1074
80. Wjst M., Reitmeier P., Dold S., Wulff A., Nicolai T., von Loeffelholz-Colberg E.F., von Mutius E.: „Road traffic and adverse effects on respiratory health in children”. *British Medical Journal*, 1993, 307: 596-600
81. Wojtyniak B., Piekarski T.: „Short effect of air pollution on mortality in Polish urban populations – what different?”. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 1996, 50 (suppl. 1): 36-41
82. Zwoździak J., Jadczyk P., Kucharczyk J.: „Seasonal variability of the mutagenicity of airborne particles in the town center”. *Journal of Aerosol Science*, 2001, 32: 409-423
83. Zwoździak J., Zwoździak A.: „Charakterystyka i zmienność stężeń pyłów PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> w atmosferze we Wrocławiu”. *Praca zbiorowa pod redakcją Musialik-Piotrowskiej A. i Rutkowskiego J.D. „Ochrona powietrza atmosferycznego. Osiągnięcia w nauce, energetyce i przemyśle”. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych. Wrocław 2006*

#### **Raporty:**

84. Allen J.O., Alexandrova O., Gonzales D., Kaloush K.E., Rodezno M.C.: „Tire Wear Emissions from Asphalt Rubber and Portland Cement Concrete Pavement Surfaces”. *Progress Report. Arizona State University* 2004
85. Badyda A.: „Korki komunikacyjne w Warszawie – jak odczuwamy ich skutki i jak je ograniczyć”. *Raport z realizacji zadania badawczego „Ocena strat czasu mieszkańców Warszawy spowodowanych zatorami drogowymi” zrealizowanego w ramach grantu MNiI. Warszawa 2006*
86. Brzeziński A., Rezwow M., Roszkowski M., Suchorzewski W., Reksnis M.: „Diagnoza Systemu Transportowego Warszawy”. *Biuro Drogownictwa i Komunikacji Urzędu m.st. Warszawy. Warszawa 2006*

87. Chyła A., Kraszewski M., Koszarny Z., Kucharski R.J.: „Stan klimatu akustycznego w kraju w świetle badań WIOŚ”. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa 1998
88. Keller M., Evéquoz R., Rellstab J., Kessler H.: “Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950-2010”. Schriftenreihe Umwelt Nr 255. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern 1995.
89. Kowalski K.J., Opoczyński K., Więch P.: „Synteza wyników Generalnego Pomiaru Ruchu w roku 2000 na drogach krajowych”. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Warszawa 2001
90. Opoczyński K.: „Generalny Pomiar Ruchu 2005. Synteza wyników. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Warszawa 2006
91. Plasencia A., Medina S., Ballester F., Muecke H.G., Schwartz J.: „Monitoring the impact of Air Pollution on Public Health in 26 European Cities” – Raport APHEIS (Air Pollution and Health: A European Information System”. Mediolan 2003
92. „Air Quality Guidelines for Europe” WHO Regional Publications, European Series No. 91. Copenhagen 2000
93. „Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide”. Report on a WHO Working Group. Bonn 2003
94. „Ocena oddziaływania na zdrowie wariantów obwodnicy autostrady A-2 w rejonie Warszawy” Etap III „Dokumentacji do wniosku o udzielenie wskazań lokalizacyjnych dla autostrady płatnej A-2 na odcinku Stryków-Siedlce”. Warszawa 2000
95. „Program przedsięwzięć w zakresie układu drogowo-ulicznego i miejskiego transportu pasażerskiego w Warszawie do roku 2005. Diagnoza istniejącego systemu transportowego”. Biuro Planowania Rozwoju Warszawy. Warszawa 1997
96. Raport Głównego Urzędu Statystycznego „Ochrona Środowiska 2005”. Zakład Wydawnictw Statystycznych. Warszawa 2005
97. Raport Mazowieckiego Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska „Stan środowiska w województwie mazowieckim w 2004 roku”. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa 2005
98. Raport NHLBI/WHO (National Heart, Lung, and Blood Institute) „Światowa strategia zapobiegania, leczenia i prewencji astmy”. Rozdział 2 – „Obciążenia powodowane przez astmę”. Medycyna praktyczna 2002/06
99. Raport NHLBI/WHO (National Heart, Lung, and Blood Institute) „Światowa strategia zapobiegania, leczenia i prewencji przewlekłej obturacyjnej choroby płuc”. Rozdział 2 – „Obciążenia związane z POChP”. Medycyna praktyczna 2002/01
100. Raport „Stan środowiska w Polsce w latach 1996-2001”. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa 2003
101. Raport „Stan środowiska w województwie mazowieckim w 2002 roku”. Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa 2003
102. „Warszawskie Badanie Ruchu 2005”. Biuro Planowania Rozwoju Warszawy. Warszawa 2005
103. „Wstępne studium ruchu drogowego” Etap I „Dokumentacji do wniosku o udzielenie wskazań lokalizacyjnych dla autostrady płatnej A-2 na odcinku Stryków-Siedlce”. Warszawa 1999

#### **Akty prawne:**

104. Dyrektywa Rady 1999/30/WE z dnia 22 kwietnia 1999 r. w sprawie dopuszczalnych wartości stężenia dwutlenku siarki, dwutlenku azotu i tlenków azotu oraz pyłu i ołowiu w otaczającym powietrzu
105. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/69/WE z dnia 16 listopada 2000 r. dotycząca wartości dopuszczalnych benzenu i tlenku węgla w otaczającym powietrzu
106. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/3/WE z dnia 12 lutego 2002 r. odnosząca się do ozonu w otaczającym powietrzu
107. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu, alarmowych poziomów niektórych substancji w powietrzu oraz marginesów tolerancji dla dopuszczalnych poziomów niektórych substancji (Dz.U. 2002/87/796)
108. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. 2002/87/798)

109. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 lipca 2004 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. 2004.178.1841)

**Pozostałe publikacje:**

110. Bojanowska I.: „Ochrona powietrza”. Materiały wykładowe publikowane na stronie internetowej Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego,  
[http://www.chemik.chem.univ.gda.pl/~bojirka/WYK\\_POW.pdf](http://www.chemik.chem.univ.gda.pl/~bojirka/WYK_POW.pdf)
111. Kopta. T.: „Rower – brakujące ogniwo transportu”. Referat na posiedzenie Warszawskiego Okrągłego Stołu Transportowego. Warszawa 2004
112. American Thoracic Society. Medical Section of the American Lung Association: „Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies”. The American Review of Respiratory Disease, 1991, 144 :1202–1218, <http://www.epa.gov/air/criteria.html>
113. American Thoracic Society. Medical Section of the American Lung Association: „Standardisation of spirometry. 1994 Update”. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 1995, 152: 1107–1136
114. Bank Danych Regionalnych Głównego Urzędu Statystycznego, <http://www.stat.gov.pl>
115. London Air Quality Network, <http://www.londonair.org.uk>
116. „Ochrona powietrza”. Publikacja na stronie internetowej Elektrowni „Łaziska”,  
<http://www.ellaz.pl/polska/ksia-powietrze.htm>
117. Podręczny przewodnik rozpoznawania, leczenia i prewencji przewlekłej obturacyjnej choroby płuc dla lekarzy i pielęgniarek. Wytyczne Światowej Inicjatywy Zwalczenia Przewlekłej Obturacyjnej Choroby Płuc (GOLD). Serwis internetowy Medycyna Praktyczna,  
<http://www.mp.pl/gold/show.php?aid=13439>
118. System Monitoringu Jakości Powietrza Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Warszawie, <http://www.wios.warszawa.pl>
119. „National Ambient Air Quality Standards”. Wytyczne Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska dotyczące jakości powietrza atmosferycznego
120. „Worldwide Fuel Charter”, Fourth Edition. European Automobile Manufactures Association, Alliance of Automobile Manufacturers, Engine Manufacturers Association, Japan Automobile Manufacturers Association. September 2006



## Spis wykresów

Wykres 1 Zależność stężenia tlenu azotu od temperatury spalania.....	19
Wykres 2 Zależność emisji drogowej tlenu węgla od prędkości średniej w modelowych warunkach ruchu dla samochodów osobowych w Niemczech w 2001 r.....	28
Wykres 3 Zależność emisji drogowej węglowodorów od prędkości średniej w modelowych warunkach ruchu dla samochodów osobowych w Niemczech w 2001 r.....	28
Wykres 4 Zależność emisji drogowej tlenków azotu od prędkości średniej w modelowych warunkach ruchu dla samochodów osobowych w Niemczech w 2001 r.....	29
Wykres 5 Średnioroczne stężenie tlenu węgla w powietrzu atmosferycznym w roku 2005 (dla stacji: komunikacyjnej (WaK) i Targówek (WaT)) .....	42
Wykres 6 Średnioroczne stężenie ditlenku siarki w powietrzu atmosferycznym w roku 2005.....	43
Wykres 7 Średnioroczne stężenie ditlenku azotu w powietrzu atmosferycznym w roku 2005.....	44
Wykres 8 Średnioroczne stężenie ozonu w powietrzu atmosferycznym w roku 2005 .....	45
Wykres 9 Średnioroczne stężenie benzenu w powietrzu atmosferycznym w roku 2005 .....	46
Wykres 10 Średnioroczne stężenie cząstek stałych (frakcji PM <sub>10</sub> ) w powietrzu atmosferycznym w roku 2005.....	50
Wykres 11 Różnice średnich 1-h stężeń NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , CO oraz C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> z lat 2004-2005, rejestrowanych na stacji komunikacyjnej (WaK), stacjach tła miejskiego (WaT, WaU i Pia) oraz stacjach tła regionalnego (Leg i Gra).....	63
Wykres 12 Porównanie wartości średnich rocznych stężeń ditlenku azotu rejestrowanych przez stacje komunikacyjne oraz tła miejskiego w wybranych miastach Polski w roku 2005.....	65
Wykres 13 Porównanie wartości średnich rocznych stężeń pyłów PM <sub>10</sub> rejestrowanych przez stacje komunikacyjne oraz tła miejskiego w wybranych miastach Polski w roku 2005 .....	66
Wykres 14 Porównanie wartości średnich rocznych stężeń tlenu węgla rejestrowanych przez stacje komunikacyjne oraz tła miejskiego w wybranych miastach Polski w roku 2005 .....	66
Wykres 15 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń (na podstawie danych z całego tygodnia).....	68
Wykres 16 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń (na podstawie danych dla dni roboczych) .....	69
Wykres 17 Przebiegi dobowe (w dni robocze) średnich 1-godzinowych stężeń (w µg/m <sup>3</sup> ) wybranych zanieczyszczeń (CO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) w 7 dniowym okresie pomiarowym.....	70
Wykres 18 Średnie dobowe natężenia ruchu w poszczególne dni tygodnia w okresie pomiarowym	71
Wykres 19 Porównanie uśrednionych 1-godzinowych natężeń ruchu pojazdów w dni robocze oraz wolne od pracy .....	72
Wykres 20 Dobowy wzorzec zmienności stężeń (na podstawie pomiarów z dni roboczych w latach 2004-2005) wybranych zanieczyszczeń dla stacji komunikacyjnej (WaK) wraz z uśrednionym natężeniem ruchu pojazdów.....	73
Wykres 21 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń uśrednionymi za okres lat 2004-2005 (na podstawie danych z całego tygodnia) .....	74
Wykres 22 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń uśrednionymi za okres lat 2004-2005 (na podstawie danych dla dni roboczych).....	75
Wykres 23 Średnie stężenia (w µg/m <sup>3</sup> ) wybranych zanieczyszczeń (CO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) w poszczególne dni tygodnia (na podstawie pomiarów 24-h z lat 2004-2005), rejestrowanych przez stację komunikacyjną .....	77
Wykres 24 Przebieg średnich dobowych stężeń PM <sub>10</sub> zarejestrowanych w roku 2005 na stacji monitoringu Warszawa-Al. Niepodległości (WaK) .....	78
Wykres 25 Przebieg średnich dobowych stężeń PM <sub>10</sub> zarejestrowanych w roku 2005 na stacji monitoringu Warszawa-Targówek (WaT) .....	78
Wykres 26 Dobowy wzorzec zmienności stężeń NO <sub>2</sub> (na podstawie pomiarów z lat 2004-2005) dla stacji komunikacyjnej (WaK) wraz z uśrednionym natężeniem ruchu pojazdów.....	80
Wykres 27 Dobowy wzorzec zmienności stężeń PM <sub>10</sub> (na podstawie pomiarów z lat 2004-2005) dla stacji komunikacyjnej (WaK) wraz z uśrednionym natężeniem ruchu pojazdów.....	80
Wykres 28 Dobowy wzorzec zmienności stężeń CO (na podstawie pomiarów z lat 2004-2005) dla stacji komunikacyjnej (WaK) wraz z uśrednionym natężeniem ruchu pojazdów.....	81
Wykres 29 Dobowy wzorzec zmienności stężeń C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (na podstawie pomiarów z lat 2004-2005) dla stacji komunikacyjnej (WaK) wraz z uśrednionym natężeniem ruchu pojazdów.....	81
Wykres 30 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu (natężeniem ruchu w przypadku CO) a stężeniami wybranych zanieczyszczeń w okresach grzewczych w latach 2004-2005.....	83
Wykres 31 Wykresy rozrzutu pomiędzy ln natężenia ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń w okresach letnich w latach 2004-2005 .....	84
Wykres 32 Udział poszczególnych kategorii pojazdów w natężeniu emisji oraz ogólnym natężeniu ruchu w Al. Niepodległości w dni robocze.....	85
Wykres 33 Zmiany średniej prędkości pojazdów osobowych na tle natężenia ruchu .....	86

Wykres 34 Rozkłady natężenia ruchu oraz średnich prędkości (z uwzględnieniem kategorii pojazdów) wraz z wykresami rozrzutu (na podstawie pomiarów na jezdni zachodniej) .....	87
Wykres 35 Rozkłady natężenia ruchu oraz średnich prędkości (z uwzględnieniem kategorii pojazdów) wraz z wykresami rozrzutu (na podstawie pomiarów na jezdni zachodniej) w godzinach 07:00-19:00 .....	88
Wykres 36 Wykresy rozrzutu wartości przewidywanych przez modele regresji wielokrotnej oraz wartości obserwowanych .....	91
Wykres 37 Wykresy rozrzutu ln wartości przewidywanych przez modele regresji wielokrotnej oraz ln wartości obserwowanych .....	93
Wykres 38 Odsetek osób niepalących z zaburzeniami przepływu powietrza przez drogi oddechowe w grupie badanej i kontrolnej, z zaznaczeniem stopnia rozwoju choroby .....	102
Wykres 39 Odsetek osób palących z zaburzeniami przepływu powietrza przez drogi oddechowe w grupie badanej i kontrolnej, z zaznaczeniem stopnia rozwoju choroby .....	104
Wykres 40 Odsetek osób palących z grupy badanej oraz niepalących z grupy kontrolnej wykazujących cechy zaburzenia przepływu powietrza przez drogi oddechowe.....	105
Wykres 41 Różnice w opinii na temat problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie pomiędzy próbą z badań internetowego i reprezentatywnego.....	115
Wykres 42 Opinia respondentów badania internetowego na temat potencjalnych przyczyn problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie wraz z oceną ważności poszczególnych przyczyn ..	116
Wykres 43 Rodzaj strat ponoszonych w wyniku zatorów komunikacyjnych przez różne grupy zawodowe (respondenci badania internetowego).....	117
Wykres 44 Dzielne straty czasu spowodowane zatorami komunikacyjnymi w Warszawie .....	118
Wykres 45 Dzielne straty czasu w zatorach komunikacyjnych w poszczególnych grupach zawodowych (badanie internetowe) .....	119
Wykres 46 Dzielne straty czasu w zatorach komunikacyjnych w zależności od stosowanego środka transportu (badanie internetowe) .....	120
Wykres 47 Dzielne straty czasu w zatorach komunikacyjnych w zależności od miejsca zamieszkania (ankieta internetowa).....	121
Wykres 48 Różnice w opinii na temat wpływu zatorów komunikacyjnych w Warszawie na życie zawodowe mieszkańców pomiędzy próbą z badań internetowego i reprezentatywnego .....	122
Wykres 49 Różnice w opinii na temat wpływu zatorów komunikacyjnych w Warszawie na życie prywatne mieszkańców pomiędzy próbą z badań internetowego i reprezentatywnego .....	123
Wykres 50 Różnice zdań dotyczących wpływu zatorów komunikacyjnych na życie zawodowe mieszkańców Warszawy w zależności od charakteru zatrudnienia (badanie internetowe).....	124
Wykres 51 Różnice zdań dotyczących wpływu zatorów komunikacyjnych na życie zawodowe mieszkańców Warszawy w zależności od charakteru zatrudnienia (badanie reprezentatywne) .....	125
Wykres 52 Opinia respondentów badania internetowego na temat skutków problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie wraz z oceną ważności poszczególnych skutków dla mieszkańców .....	126
Wykres 53 Częstość korzystania z różnych sposobów unikania zatorów komunikacyjnych (ankieta internetowa) .....	128
Wykres 54 Częstość korzystania z różnych sposobów unikania zatorów komunikacyjnych (ankieta reprezentatywna) .....	129
Wykres 55 Opinia dotycząca skuteczności działań ograniczających problem zatorów komunikacyjnych w Warszawie (ankieta internetowa) .....	131
Wykres 56 Opinia dotycząca skuteczności działań ograniczających problem zatorów komunikacyjnych w Warszawie (ankieta reprezentatywna) .....	132
Wykres 57 Utrudnienia w sprawnym przejeździe pojazdu specjalnego dla różnych pór dnia, na tle średniego natężenia ruchu .....	138
Wykres 58 Częstość występowania przypadków braku możliwości przejazdu pojazdem uprzywilejowanym z uwagi na panującą sytuację drogową w godzinach szczytu komunikacyjnego .....	140
Wykres 59 Parametry statystyczne charakteryzujące spadek skuteczności interwencji załogi Pogotowia Ratunkowego w przypadkach braku zagrożenia życia (wykres z lewej) oraz w sytuacji istnienia takiego zagrożenia (wykres z prawej), po przyjeździe na miejsce zdarzenia o N minut później.....	141
Wykres 60 Parametry statystyczne charakteryzujące spadek skuteczności interwencji załogi Straży Pożarnej w sytuacji pożaru (wykres z lewej) oraz wypadku drogowego (wykres z prawej), po przyjeździe na miejsce zdarzenia o N minut później.....	142
Wykres 61 Korzystanie z uprawnień Kodeksu Drogowego w okresie szczytów komunikacyjnych .	143
Wykres 62 Częstość korzystania przez kierowców pojazdów uprzywilejowanych z wybranych technik ułatwiających poruszanie się w sieci drogowej.....	144

Wykres 63 Opinia respondentów badania internetowego na temat skutków problemu zatorów komunikacyjnych w Warszawie wraz z oceną ważności poszczególnych skutków dla gospodarki miasta.....	145
---	-----

## Spis tabel

Tabela 1 Antropogeniczna emisja zanieczyszczeń z transportu drogowego w Polsce na tle emisji całkowitej .....	29
Tabela 2 Efekty oddziaływania tlenu węgla na zdrowie i życie człowieka .....	41
Tabela 3 Klasyfikacja pyłów ze względu na ich zdolność do przenikania i zatrzymywania się w płucach człowieka .....	47
Tabela 4 Poziom zwrotów ankiety skierowanej do kierowców służb ratowniczych .....	59
Tabela 5 Średnioroczne stężenia PM <sub>10</sub> i NO <sub>2</sub> rejestrowane przez stację komunikacyjną w latach 2004-2005.....	64
Tabela 6 Porównanie wartości średnich rocznych stężeń ditlenku azotu i pyłu PM <sub>10</sub> w wybranych stacjach monitoringu jakości powietrza w Londynie (wartości w µg/m <sup>3</sup> ) .....	67
Tabela 7 Średni udział poszczególnych kategorii pojazdów w całkowitym natężeniu ruchu w zależności od dni tygodnia.....	67
Tabela 8 Współczynniki korelacji pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń obliczone dla całego tygodnia.....	68
Tabela 9 Współczynniki korelacji pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń obliczone dla dni roboczych.....	68
Tabela 10 Statystyki C <sub>p</sub> Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń (obliczenia dla wszystkich dni tygodnia) .....	69
Tabela 11 Statystyki C <sub>p</sub> Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń (obliczenia dla dni roboczych) .....	69
Tabela 12 Współczynniki korelacji pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń uśrednionymi za okres lat 2004-2005.....	73
Tabela 13 Współczynniki korelacji pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami wybranych zanieczyszczeń uśrednionymi za okres lat 2004-2005 (obliczenia dla dni roboczych) .....	73
Tabela 14 Statystyki C <sub>p</sub> Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń (obliczenia dla wszystkich dni tygodnia) .....	74
Tabela 15 Statystyki C <sub>p</sub> Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń (obliczenia dla dni roboczych) .....	75
Tabela 16 Porównanie podstawowych statystyk opisowych pomiędzy analizowanymi zanieczyszczeniami w sezonie letnim oraz sezonie grzewczym (dotyczy stacji komunikacyjnej WaK). Obliczenia na podstawie średnich 1-h stężeń z lat 2004-2005.....	77
Tabela 17 Współczynniki korelacji pomiędzy dobowymi przebiegami średnich stężeń wybranych zanieczyszczeń w zależności od sezonu .....	82
Tabela 18 Współczynniki korelacji pomiędzy dobowymi przebiegami średnich stężeń wybranych zanieczyszczeń w zależności od sezonu (z uwzględnieniem jedynie dni roboczych).....	82
Tabela 19 Statystyki C <sub>p</sub> Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń w okresie grzewczym.....	83
Tabela 20 Statystyki C <sub>p</sub> Mallowa dla zależności liniowej i logarytmicznej pomiędzy natężeniem ruchu a stężeniami zanieczyszczeń w okresie letnim.....	84
Tabela 21 Współczynniki korelacji pomiędzy ogólnym natężeniem ruchu (z uwzględnieniem podziału na jezdnie) a średnimi prędkościami poszczególnych kategorii pojazdów.....	87
Tabela 22 Współczynniki korelacji pomiędzy ogólnym natężeniem ruchu w godzinach 07:00-19:00 (z uwzględnieniem podziału na jezdnie) a średnimi prędkościami poszczególnych kategorii pojazdów .....	88
Tabela 23 Wartości średnie i odchylenia standardowe wartości należnych badanych wskaźników spirometrycznych w grupie osób niepalących z Warszawy (grupa badana) oraz obszarów pozamiejskich (grupa kontrolna). Kolorem czerwonym oznaczono statystycznie istotne różnice .....	101
Tabela 24 Odsetek osób niepalących z zaburzeniami oddychania w grupie badanej i kontrolnej, z uwzględnieniem stopnia zaawansowania choroby.....	102
Tabela 25 Wartości średnie i odchylenia standardowe wartości należnych badanych wskaźników spirometrycznych w grupie osób palących z Warszawy (grupa badana) oraz obszarów pozamiejskich (grupa kontrolna). Kolorem czerwonym oznaczono statystycznie istotne różnice .....	103
Tabela 26 Odsetek osób palących z zaburzeniami oddychania w grupie badanej i kontrolnej, z uwzględnieniem stopnia zaawansowania choroby.....	103

Tabela 27 Wartości średnie i odchylenia standardowe wartości należnych badanych wskaźników spirometrycznych w grupie osób palących z Warszawy oraz niepalących mieszkańców obszarów pozamiejskich. Kolorem czerwonym oznaczono statystycznie istotne różnice.....	105
Tabela 28 Odsetek osób palących w grupie badanej oraz niepalących w grupie kontrolnej z zaburzeniami oddychania (z uwzględnieniem stopnia zaawansowania choroby).....	105
Tabela 29 Wybrane wyniki estymacji parametrów modelu regresji logistycznej dla całej badanej zbiorowości.....	109
Tabela 30 Wybrane wyniki estymacji parametrów modelu regresji logistycznej, uwzględniającego wyniki badań osób niepalących.....	110
Tabela 31 Wybrane wyniki estymacji parametrów modelu regresji logistycznej, uwzględniającego wyniki badań osób palących.....	111
Tabela 32 Podstawowe parametry różnicujące grupy ankietowane w ramach badania internetowego oraz badania przeprowadzonego na próbie losowej mieszkańców Warszawy.....	114
Tabela 33 Podział terytorialny Warszawy przyjęty w analizach obu badań ankietowych .....	115
Tabela 34 Poglądy na temat problemu korków wśród grup poddanych badaniu ankietowemu .....	137
Tabela 35 Opinia kierowców pojazdów służb ratowniczych na temat potencjalnych przyczyn wpływających na opóźnienia w dojeździe pojazdów uprzywilejowanych do miejsc wezwania.....	139

## ZAŁĄCZNIKI

### **Załącznik 1. Formularz wywiadu do badania spirometrycznego**

1. Czy leczy się Pani/Pan przewlekle z powodu chorób układu oddechowego? Jeśli tak to jakich?  
.....  
.....
2. Czy odczuwa Pani/Pan długotrwale (codziennie, co najmniej od kilku miesięcy):
  - a. duszność Tak    Nie
  - b. kaszel Tak    Nie
  - a. odkształcenie Tak    Nie
3. Czy miewa Pani/Pan objawy świszczącego oddechu? Tak    Nie
4. Czy jest Pani/Pan uczulona/y na jakiś czynnik? Jeśli tak to jaki? Tak    Nie  
.....
5. Proszę podać miejsce aktualnego zamieszkania (miasto, dzielnica, ulica) oraz okres od jakiego Pani/Pan mieszka w tym miejscu .....
6. Proszę podać miejsce pracy (miasto, dzielnica, ulica) .....
7. W jakim miejscu spędza Pani/Pan najwięcej czasu? .....
8. Czy jest Pani/Pan narażona/y na szkodliwe czynniki w miejscu pracy? Tak    Nie  
Jeśli tak to jakie? .....
9. Jaki zawód Pani/Pan wykonuje? .....
10. Czy pali Pani/Pan papierosy? Tak    Nie  
Jeśli tak to ile sztuk dziennie i od ilu lat .....

### **Załącznik 2. Treść ankiety do mieszkańców Warszawy**

Szanowna Pani, Szanowny Panie,

Powszechnie wiadomo, że jednym z problemów w naszym mieście są zatory komunikacyjne, popularnie zwane „korkami”. Ich skutki w mniejszym lub większym stopniu odczuwają wszyscy mieszkańcy Warszawy, zarówno właściciele samochodów, jak i osoby korzystające z komunikacji miejskiej, a także rowerzyści, czy osoby nie korzystające z komunikacji. Z tego względu w ramach projektu „Metoda oceny efektów ograniczenia uciążliwości ruchu drogowego w aspekcie środowiska miejskiego w Warszawie”, wykonywanego na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Andrzeja Kraszewskiego, podjęto badania zmierzające do ograniczenia korków i ich uciążliwości dla społeczeństwa. Jednym z elementów tego badania jest ankieta skierowana do mieszkańców Warszawy, mająca na celu uwzględnienie opinii mieszkańców w ocenie aktualnej sytuacji w naszym mieście. Badania współfinansowane są ze środków Ministerstwa Nauki i Informatyzacji, a ich wyniki zostaną przedstawione władzom Warszawy.

Oczekujemy, że efekty badań skłonią władze miasta do bardziej wnikliwego zainteresowania się problemem korków i uświadomienia sobie wysokiego społecznego kosztu zatorów. Liczymy, że skuteczniej zaczną się poszukiwać efektywnych rozwiązań, dzięki którym zatłoczenie Warszawy ulegnie radykalnemu zmniejszeniu, a co za tym idzie zwiększy się komfort życia jej mieszkańców.

Ankieta ma charakter anonimowy – jej wyniki zostaną opracowane statystycznie. W razie pytań dotyczących niniejszego badania ankietowego prosimy dzwonić pod numer 0-22 660 78 91 lub kierować e-maile na adres [artur.badyda@is.pw.edu.pl](mailto:artur.badyda@is.pw.edu.pl)

Zespół badawczy serdecznie dziękuje za czas, jaki poświęciliście Państwo na wypełnienie ankiety.

Z poważaniem.

dr hab. inż. Andrzej Kraszewski  
kierownik projektu

mgr. inż. Artur Badyda

**Na początek chcielibyśmy poruszyć kwestie przyczyn korków oraz problemów z nimi związanych.**

1. Pani/Pana zdaniem w porównaniu z innymi pilnymi sprawami do rozwiązania w Warszawie, korki komunikacyjne:
  - a. Stanowią najważniejszy lub jeden z najważniejszych problemów
  - b. Stanowią problem ważny, choć nie najważniejszy
  - c. Są sprawą o drugorzędym znaczeniu
  - d. Nie stanowią problemu
  
2. Najbardziej zatłoczonymi ulicami Warszawy są według Pani/Pana:  
.....  
.....
  
3. Istnieje wiele przyczyn, które mogą wpływać na powstawanie korków. Które z nich uważa Pani/Pan za najważniejsze, a które za mniej ważne. Odpowiadając proszę zaznaczyć **jedną** odpowiedź w **każdym** wierszu:

Przyczyna	Bardzo ważna	Dość ważna	Niezbyt ważna	Zupełnie nieważna
Zbyt wąskie ulice	1	2	3	4
Brak obwodnicy Warszawy	1	2	3	4
Zbyt duże natężenie ruchu pojazdów	1	2	3	4
Źle funkcjonująca sygnalizacja świetlna	1	2	3	4
Brak rozwiniętej sieci metra	1	2	3	4
Brak sprawnie funkcjonującej komunikacji tramwajowej i autobusowej	1	2	3	4
Brak możliwości poszerzenia niektórych ulic	1	2	3	4
Inne (jakie?) .....	1	2	3	4

**Teraz przejdźmy do sprawy skutków, jakie wywoływać mogą korki.**

4. Jakiego rodzaju straty korki powodują w Pani/Pana życiu:
  - a. Tylko straty finansowe
  - b. Tylko straty czasu
  - c. Straty finansowe i straty czasu
  - d. Nie powodują żadnych strat
  - e. Korki mnie nie dotyczą

Pytanie 5 wypełniają tylko osoby pracujące zawodowo. Pozostałe osoby przechodzą do pytania 6.

5. W jaki sposób korki wpływają na Pani/Pana życie zawodowe:
  - a. Są znaczącym problemem, często krzyżą moje plany
  - b. Są zauważalnym problemem, od czasu do czasu krzyżą moje plany
  - c. Raczej nie stanowią problemu, tylko niekiedy krzyżą moje plany
  - d. Nie są problemem

Pytanie 6 wypełniają tylko osoby prowadzące działalność gospodarczą lub zarobkową – własną lub na rzecz innych. Pozostałe osoby przechodzą do pytania 7.

6. Czy w związku z prowadzoną przez Panią/Pana działalnością gospodarczą lub zarobkową ponosi Pani/Pan (lub firma) straty finansowe ze względu na korki uliczne i spowodowane tym m.in. spóźnienia pracowników lub opóźnienia w dostarczaniu towarów czy usług:
  - a. Tak. Regularnie ponoszone są istotne straty finansowe w związku z utrudnieniami przejazdów lub przewozów po zatłoczonych ulicach Warszawy
  - b. Raczej tak. Od czasu do czasu ponoszone są straty finansowe spowodowane korkami
  - c. Raczej nie. Tylko niekiedy korki uliczne wpływają na niewielkie straty finansowe
  - d. Nie. Korki uliczne nie są przyczyną strat finansowych Pani/Pana (lub firmy)
  - e. Ze względu na charakter prowadzonej działalności, nie wymagający przejazdów lub przewozów po ulicach Warszawy korki uliczne nie dotyczą Pani/Pana działalności

7. W jaki sposób korki wpływają na Pani/Pana życie prywatne, czas wolny:
- Są znaczącym problemem, często krzyżują moje plany
  - Są zauważalnym problemem, od czasu do czasu krzyżują moje plany
  - Raczej nie stanowią problemu, tylko niekiedy krzyżują moje plany
  - Nie są problemem

8. Można spotkać się z różnymi opiniami na temat skutków korków komunikacyjnych dla mieszkańców. Które z poniżej wymienionych skutków są według Pani/Pana najważniejsze, a które mniej ważne. Odpowiadając proszę zaznaczyć **jedną** odpowiedź w **każdym** wierszu:

Skutek	Bardzo ważny	Dość ważny	Niezbyt ważny	Zupełnie nieważny
Zwiększone emisje do powietrza szkodliwych substancji	1	2	3	4
Zwiększony hałas	1	2	3	4
Zwiększona zachorowalność na choroby układu oddechowego i układu krążenia	1	2	3	4
Alergie	1	2	3	4
Zwiększone koszty opieki medycznej związane ze zwiększoną zachorowalnością	1	2	3	4
Stres i zmęczenie mieszkańców	1	2	3	4
Utrudnianie przejazdu pojazdom Pogotowia Ratunkowego, Straży Pożarnej, Policji, itp.	1	2	3	4
Utrudnianie przejazdu pojazdom komunikacji publicznej	1	2	3	4
Spadek bezpieczeństwa w ruchu drogowym	1	2	3	4
Większe bezpieczeństwo w ruchu drogowym (z uwagi na mniejszą prędkość)	1	2	3	4
Szkodliwy wpływ na przyrodę terenów miejskich	1	2	3	4
Spadek estetyki Warszawy	1	2	3	4
Inne (jakie?) .....	1	2	3	4

9. Oprócz skutków odczuwanych przez każdego z mieszkańców, sytuacja drogowa i korki komunikacyjne wpływają również na życie gospodarcze samego miasta. Które z wymienionych poniżej skutków uważa Pani/Pan za najbardziej istotne dla sytuacji gospodarczej Warszawy, a które są Pani/Pana zdaniem mniej ważne. Odpowiadając proszę zaznaczyć **jedną** odpowiedź w **każdym** wierszu:

Skutek	Bardzo ważny	Dość ważny	Niezbyt ważny	Zupełnie nieważny
Zmniejszone zainteresowanie inwestycjami w Warszawie	1	2	3	4
Mniejsze zainteresowanie Warszawą ze strony turystów	1	2	3	4
Większe koszty ponoszone przez miasto na utrzymanie ulic, którymi poruszają się pojazdy	1	2	3	4
Większe koszty ponoszone przez miasto na wykonanie jego zadań (utrzymanie autobusów, śmieciarek, itp. spalających w korkach więcej paliwa)	1	2	3	4
Inne (jakie?) .....	1	2	3	4

**W kolejnym pytaniu chcielibyśmy poznać Pani/Pana opinię na temat działań, które według Pani/Pana pozwolą rozwiązać problem korków.**

10. Istnieje szereg rozwiązań, dzięki którym można będzie zmniejszyć lub zlikwidować problem korków w Warszawie. Według Pani/Pana, które z wymienionych poniżej działań będą najbardziej skuteczne, a których raczej nie należy stosować. Odpowiadając proszę zaznaczyć **jedną** odpowiedź w **każdym** wierszu:

Działanie	Bardzo skuteczne	Dość skuteczne	Niezbyt skuteczne	Zupełnie nieskuteczne
Wybudowanie obwodnicy Warszawy	1	2	3	4
Ograniczenie ruchu pojazdów prywatnych w	1	2	3	4

centrum Warszawy				
Poszerzenie ulic w centrum Warszawy	1	2	3	4
Wydzielenie pasów lub specjalnych stref tylko dla autobusów	1	2	3	4
Zwiększenie częstotliwości kursowania pojazdów komunikacji miejskiej	1	2	3	4
Podwyższenie opłat za parkowanie	1	2	3	4
Wprowadzenie opłat za wjazd do centrum miasta	1	2	3	4
Rozwój sieci metra	1	2	3	4
Wprowadzenie systemu specjalnych parkingów na peryferiach miasta, skąd po zostawieniu samochodu przesiada się do komunikacji miejskiej	1	2	3	4
Sterowanie sygnalizacją świetlną automatycznie dopasowujące cykl zmiany świateł do natężenia ruchu pojazdów	1	2	3	4
Promocja komunikacji masowej poprzez np. obniżenie cen biletów okresowych, wspólny bilet komunikacji miejskiej i kolei podmiejskich, itp.				
Inne (jakie?) .....	1	2	3	4

**W ostatniej części tej ankiety prosimy o podanie kilku informacji o sobie. Pozwolą one na sprawdzenie, na ile opinie uczestników badania różnią się w zależności od miejsca zamieszkania, pracy, korzystania z różnych środków transportu, itp.:**

11. Na stałe mieszka Pani/Pan w (prosimy o podanie miasta, dzielnicy i ulicy zamieszkania):

.....

12. W ciągu tygodnia najwięcej czasu spędza Pani/Pan:

- W stałym miejscu pracy (prosimy o podanie miasta, dzielnicy i ulicy miejsca pracy)  
.....
- W pracy, która wymaga ciągłego lub prawie ciągłego poruszania się po Warszawie
- W szkole, na uczelni (prosimy o podanie miasta, dzielnicy i ulicy miejsca nauki)  
.....
- W domu
- W innym miejscu (prosimy o podanie miasta, dzielnicy i ulicy tego miejsca)  
.....

13. Najczęściej porusza się Pani/Pan po Warszawie:

- Prywatnym samochodem
- Autobusem miejskim
- Autobusem komunikacji prywatnej
- Koleją podmiejską
- Tramwajem
- Metrem
- Motocyklem, skuterem
- Rowerem
- Pieszko

Pytania 14, 15 i 16 wypełniają tylko osoby, których problem korków bezpośrednio dotyczy. Pozostałe osoby przechodzą do pytania 17.

14. W korkach spędza Pani/Pan średnio:

- Poniżej 10 minut dziennie lub wcale nie stoję w korkach
- Od 10 do 20 minut dziennie
- Od 20 do 30 minut dziennie
- Od 30 minut do 1 godziny dziennie
- Powyżej 1 godziny dziennie



15. Jak często stoi Pani/Pan w korkach:
- Codziennie
  - 4-6 razy w tygodniu
  - 2-3 razy w tygodniu
  - Kilka razy w miesiącu
  - Rzadziej niż kilka razy w miesiącu

16. Osoby, które często jeżdżą zakorkowanymi ulicami stosują różne sposoby, dzięki którym unikają stania w korku. W jaki sposób Pani/Pan najczęściej unika korków, a których sposobów raczej Pani/Pan nie stosuje. Odpowiadając proszę zaznaczyć **jedną** odpowiedź w **każdym** wierszu:

Unika Pani/Pan korków:	Bardzo często	Dość często	Rzadko	Nigdy
Układając plan dnia, aby jeździć w godzinach, kiedy nie ma korków	1	2	3	4
Korzystając ze środków transportu, których korki nie dotyczą (np. metro, tramwaj)	1	2	3	4
Korzystając ze znanych Pani/Panu tras, na których zatłoczenie jest nieduże	1	2	3	4
Przekraczając przepisy i zasady ruchu drogowego	1	2	3	4
Jeżdżąc rowerem	1	2	3	4
Chodząc piechotą	1	2	3	4
W inny sposób (jaki?) .....	1	2	3	4

**Prosimy jeszcze o podanie informacji o wieku, płci i wykształceniu, co pozwoli sprawdzić, jak osoby w różnym wieku i o różnym wykształceniu postrzegają problem korków oraz czy ich opinie różnią się w zależności od płci.**

17. Wiek: .....lat

18. Wykształcenie:
- Podstawowe
  - Gimnazjalne
  - Zasadnicze zawodowe
  - Średnie
  - Licencjackie lub inżynierskie
  - Wyższe magisterskie lub lekarskie

19. Charakter zatrudnienia:
- Dyrektorzy, prezesi i kadra kierownicza przedsiębiorstw i instytucji oraz zajmujący równorzędne stanowiska w administracji państwowej i samorządowej
  - Zawody twórcze i samodzielni specjaliści z wyższym wykształceniem, inżynierowie, kierownicy średniego szczebla, dyrektorzy szkół, lekarze, prawnicy, nauczyciele, oficerowie, sportowcy
  - Pracownicy administracyjno-biurowi, kierownicy i specjaliści niższego szczebla, mistrzowie-technicy, pielęgniarki
  - Pracownicy fizyczno-umysłowi, pracownicy sklepów, punktów usługowych itp., listonosze, konduktorzy, podoficerowie itp.
  - Brygadziści i Robotnicy wykwalifikowani oraz najemni
  - Rolnicy indywidualni i pomagający im członkowie rodzin
  - Właściciele prywatnych firm, zakładów, sklepów, punktów sprzedaży, pomagający im członkowie rodzin oraz ajenci, taksówkarze
  - Uczniowie, studenci
  - Renciści, emeryci
  - Bezrobotni
  - Zajmujący się domem, gospodynie domowe

20. Płeć:
- Kobieta
  - Mężczyzna

### **Załącznik 3. Treść ankiety do kierowców Stołecznej Kolumny Transportu Sanitarnego**

Szanowny Panie,

Powszechnie wiadomo, że jednym z problemów w naszym mieście są zatory komunikacyjne, popularnie zwane „korkami”. Ich skutki w mniejszym lub większym stopniu odczuwają wszyscy mieszkańcy Warszawy. Wpływać one mogą również na poziom skuteczności interwencji Pogotowia Ratunkowego, jak również na wiele innych dziedzin życia społeczeństwa Warszawy. Z tego względu w ramach projektu „Metoda oceny efektów ograniczenia uciążliwości ruchu drogowego w aspekcie środowiska miejskiego w Warszawie”, wykonywanego na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Andrzeja Kraszewskiego, podjęto badania zmierzające do ograniczenia korków i ich uciążliwości dla społeczeństwa. Jednym z elementów tego badania jest ankieta skierowana do Panów – kierowców karetek Pogotowia Ratunkowego. Ankieta ma na celu uwzględnienie Panów opinii w ocenie aktualnej sytuacji w naszym mieście. Badania współfinansowane są ze środków Ministerstwa Nauki i Informatyzacji, a ich wyniki zostaną przedstawione władzom Warszawy.

Oczekujemy, że efekty badań skłonią władze miasta do bardziej wnikliwego zainteresowania się problemem korków i uświadomienia sobie wysokiego społecznego kosztu zatorów. Liczymy, że skuteczniej zaczną się poszukiwać efektywnych rozwiązań, dzięki którym zatłoczenie Warszawy ulegnie radykalnemu zmniejszeniu, a co za tym idzie zwiększy się komfort życia jej mieszkańców.

Ankieta jest całkowicie anonimowa.

Gdyby chciał się Pan skontaktować z nami w sprawie badania, prosimy dzwonić pod numer 0-22 660 78 91 lub kierować e-maile na adres [artur.badyda@is.pw.edu.pl](mailto:artur.badyda@is.pw.edu.pl)

Zespół badawczy serdecznie dziękuje za czas, jaki poświęciliście Państwo na wypełnienie ankiety.

Z poważaniem.

dr hab. inż. Andrzej Kraszewski  
kierownik projektu

mgr. inż. Artur Badyda

1. Z punktu widzenia pracownika Kolumny Transportu Sanitarnego, korki komunikacyjne w Warszawie, w porównaniu z innymi pilnymi sprawami do rozwiązania:

- a. Stanowią najważniejszy lub jeden z najważniejszych problemów
- b. Stanowią problem ważny, choć nie najważniejszy
- c. Są sprawą o drugorzędnym znaczeniu
- d. Nie stanowią problemu

2. Jak według Pana wzrastają trudności w sprawnym przejeździe karetki pogotowia po ulicach Warszawy w różnych porach doby? Proszę przyjąć skalę 0÷100, przyjmując poziom 0 za sytuację całkowicie pustej drogi, a poziom 100 za sytuację całkowitego korka, uniemożliwiającego przejazd karetki.

W godzinach	Procentowy wzrost utrudnień
5-7	
7-9	
9-12	
12-15	
15-17	
17-19	
19-21	

3. O ile procent szacunkowo zmniejsza się skuteczność interwencji służb medycznych w przypadku późniejszego przyjazdu na miejsce interwencji? Proszę wziąć pod uwagę najbardziej typowe przypadki, do których wzywane jest Pogotowie Ratunkowe w sytuacjach braku zagrożenia życia oraz w sytuacji jego zagrożenia.

Przyjazd później o	Procentowy spadek skuteczności interwencji – brak zagrożenia życia	Procentowy spadek skuteczności interwencji – zagrożenie życia
5 min		
10 min		
15 min		
20 min		
30 min		
60 min		
> 60 min		

4. Istnieje wiele przyczyn, które mogą wpływać na opóźnienia dojazdu karetek Pogotowia Ratunkowego do miejsc interwencji. Które z nich według Pana są najważniejsze, a które uważa Pan za mniej ważne. Odpowiadając proszę zaznaczyć jedną odpowiedź w każdym wierszu:

Przyczyna	Bardzo ważna	Dość ważna	Niezbyt ważna	Zupełnie nieważna
Zbyt wąskie ulice	1	2	3	4
Brak obwodnicy Warszawy	1	2	3	4
Zbyt duże natężenie ruchu pojazdów	1	2	3	4
Brak specjalnych, wydzielonych pasów dla karetek Pogotowia	1	2	3	4
Niestosowanie się przez kierowców do nakazu ustąpienia pierwszeństwa przejazdu pojazdowi uprzywilejowanemu	1	2	3	4
Brak możliwości poszerzenia niektórych ulic	1	2	3	4
Inne (jakie?) .....	1	2	3	4

5. Jak często, jadąc do miejsca interwencji, w czasie tzw. godzin szczytu komunikacyjnego, zmuszony jest Pan do korzystania z uprawnień przewidzianych w Kodeksie Drogowym jedynie w odniesieniu do pojazdów uprzywilejowanych (np. jazda pod prąd, przejazd na czerwonym świetle, jazda po torowisku tramwajowym, itp.)?

	Procent przypadków
a	Zawsze lub prawie zawsze – w 90-100 % przypadków
b	Dość Często – w 70-90% przypadków
c	Często – w 50-70% przypadków
d	Niekiedy – w 30-50% przypadków
e	Rzadko – w mniej niż 30% przypadków

6. Jak często zdarza się, że z uwagi na panującą sytuację drogową (korki) w godzinach tzw. szczytu komunikacyjnego, mimo prób ustąpienia pierwszeństwa przez kierowców innych pojazdów, przejazd karetki Pogotowia nie jest możliwy w inny sposób, aniżeli razem z pozostałymi pojazdami?

	Procent przypadków
a	Zawsze lub prawie zawsze – w 90-100 % przypadków
b	Dość Często – w 70-90% przypadków
c	Często – w 50-70% przypadków
d	Niekiedy – w 30-50% przypadków
e	Rzadko – w mniej niż 30% przypadków

7. Jakiego rodzaju techniki, wspomniane w pytaniu 4 (np. jazda pod prąd, przejazd na czerwonym świetle, jazda po torowisku tramwajowym, itp.) stosuje Pan podczas jazdy do miejsca interwencji, aby zmniejszyć wpływ sytuacji drogowej (korków) na skuteczność dotarcia do miejsca wezwania?

.....  
 .....

8. Jakie ma Pan inne uwagi na temat problemów komunikacyjnych dużych miast i związanych z tym negatywnych skutków dla społeczeństwa?

.....  
.....

9. Które ulice w Warszawie uważa Pan za najbardziej narażone na korki i na których według Pana należałoby wyznaczyć pasy przewidziane tylko dla pojazdów uprzywilejowanych (lub współdzielonych z komunikacją miejską)?

.....  
.....

10. Wiek: .....

11. Staż pracy jako kierowca pojazdów uprzywilejowanych .....

### **Załącznik 4. Treść ankiety do kierowców Państwowej Straży Pożarnej**

Szanowny Panie,

Powszechnie wiadomo, że jednym z problemów w naszym mieście są zatory komunikacyjne, popularnie zwane „korkami”. Ich skutki w mniejszym lub większym stopniu odczuwają wszyscy mieszkańcy Warszawy. Wpływać one mogą również na poziom skuteczności interwencji Straży Pożarnej, czy Pogotowia Ratunkowego, jak również na wiele innych dziedzin życia społeczeństwa Warszawy. Z tego względu w ramach projektu „Metoda oceny efektów ograniczenia uciążliwości ruchu drogowego w aspekcie środowiska miejskiego w Warszawie”, wykonywanego na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Andrzeja Kraszewskiego, podjęto badania mierzące do ograniczenia korków i ich uciążliwości dla społeczeństwa. Jednym z elementów tego badania jest ankieta skierowana do Panów – funkcjonariuszy i kierowców pojazdów Straży Pożarnej. Ankieta ma na celu uwzględnienie Panów opinii w ocenie aktualnej sytuacji w naszym mieście. Badania współfinansowane są ze środków Ministerstwa Nauki i Informatyzacji, a ich wyniki zostaną przedstawione władzom Warszawy.

Oczekujemy, że efekty badań skłonią władze miasta do bardziej wnikliwego zainteresowania się problemem korków i uświadomienia sobie wysokiego społecznego kosztu zatorów. Liczymy, że skuteczniej zaczną się poszukiwać efektywnych rozwiązań, dzięki którym zatłoczenie Warszawy ulegnie radykalnemu zmniejszeniu, a co za tym idzie zwiększy się komfort życia jej mieszkańców.

Ankieta jest całkowicie anonimowa.

Gdyby chciał się Pan skontaktować z nami w sprawie badania, prosimy dzwonić pod numer 0-22 660 78 91 lub kierować e-maile na adres [artur.badyda@is.pw.edu.pl](mailto:artur.badyda@is.pw.edu.pl)

Zespół badawczy serdecznie dziękuje za czas, jaki poświęciliście Państwo na wypełnienie ankiety.

Z poważaniem.

dr hab. inż. Andrzej Kraszewski  
kierownik projektu

mgr. inż. Artur Badyda

1. Z punktu widzenia funkcjonariusza Państwowej Straży Pożarnej, korki komunikacyjne w Warszawie, w porównaniu z innymi pilnymi sprawami do rozwiązania:

- a. Stanowią najważniejszy lub jeden z najważniejszych problemów
- b. Stanowią problem ważny, choć nie najważniejszy
- c. Są sprawą o drugorzędnym znaczeniu
- d. Nie stanowią problemu

2. Jak według Pana wzrastają trudności w sprawnym przejeździe pojazdu Straży Pożarnej po ulicach Warszawy w różnych porach doby? Proszę przyjąć skalę 0÷100, przyjmując poziom **0** za sytuację całkowicie pustej drogi, a poziom **100** za sytuację całkowitego korka, uniemożliwiającego przejazd uprzywilejowanego samochodu.

W godzinach	Procentowy wzrost utrudnień
5-7	
7-9	
9-12	
12-15	
15-17	
17-19	
19-21	

3. O ile procent szacunkowo zmniejsza się skuteczność interwencji załogi ratowniczo-gaśniczej w przypadku późniejszego przyjazdu na miejsce interwencji? Proszę wziąć pod uwagę najbardziej typowe przypadki, do których wzywana jest Straż Pożarna w razie pożaru lub w razie wypadku drogowego.

Przyjazd później o	Procentowy spadek skuteczności interwencji – typowy pożar	Procentowy spadek skuteczności interwencji – wypadek drogowy
5 min		
10 min		
15 min		
20 min		
30 min		
60 min		
> 60 min		

4. Istnieje wiele przyczyn, które mogą wpływać na opóźnienia dojazdu wołów Straży Pożarnej do miejsc interwencji. Które z nich według Pana są najważniejsze, a które uważa Pan za mniej ważne. Odpowiadając proszę zaznaczyć jedną odpowiedź w każdym wierszu:

Przyczyna	Bardzo ważna	Dość ważna	Niezbyt ważna	Zupełnie nieważna
Zbyt wąskie ulice	1	2	3	4
Brak obwodnicy Warszawy				
Zbyt duże natężenie ruchu pojazdów	1	2	3	4
Brak specjalnych, wydzielonych pasów dla pojazdów uprzywilejowanych	1	2	3	4
Niestosowanie się przez kierowców do nakazu ustąpienia pierwszeństwa przejazdu pojazdowi uprzywilejowanemu	1	2	3	4
Brak możliwości poszerzenia niektórych ulic	1	2	3	4
Inne (jakie?) .....	1	2	3	4

5. Jak często, jadąc do miejsca interwencji, w czasie tzw. godzin szczytu komunikacyjnego, zmuszony jest Pan do korzystania z uprawnień przewidzianych w Kodeksie Drogowym jedynie w odniesieniu do pojazdów uprzywilejowanych (np. jazda pod prąd, przejazd na czerwonym świetle, jazda po torowisku tramwajowym, jazda po chodnikach, przekraczanie dopuszczalnej prędkości, itp.)?

	Procent przypadków
a	Zawsze lub prawie zawsze – w 90-100 % przypadków
b	Dość Często – w 70-90% przypadków
c	Często – w 50-70% przypadków
d	Niekiedy – w 30-50% przypadków
e	Rzadko – w mniej niż 30% przypadków

6. Jak często zdarza się, że z uwagi na panującą sytuację drogową (korki) w godzinach tzw. szczytu komunikacyjnego, mimo prób ustąpienia pierwszeństwa przez kierowców innych pojazdów, przejazd samochodu Straży Pożarnej nie jest możliwy w inny sposób, aniżeli razem z pozostałymi pojazdami?

	Procent przypadków
a	Zawsze lub prawie zawsze – w 90-100 % przypadków
b	Dość Często – w 70-90% przypadków
c	Często – w 50-70% przypadków
d	Niekiedy – w 30-50% przypadków
e	Rzadko – w mniej niż 30% przypadków

7. Jakiego rodzaju techniki, wspomniane w pytaniu 5 (np. jazda pod prąd, przejazd na czerwonym świetle, jazda po torowisku tramwajowym, chodniku, przekraczanie prędkości, itp.) stosuje Pan podczas jazdy do miejsca interwencji, aby zmniejszyć wpływ sytuacji drogowej (korków) na skuteczność dotarcia do miejsca wezwania?

.....  
 .....

8. Jakie ma Pan inne uwagi na temat problemów komunikacyjnych dużych miast i związanych z tym negatywnych skutków dla społeczeństwa?

.....  
 .....

9. Które ulice w Warszawie uważa Pan za najbardziej narażone na korki i na których według Pana należałoby wyznaczyć pasy przewidziane tylko dla pojazdów uprzywilejowanych (lub współdzielonych z komunikacją miejską)?

.....  
 .....

10. Wiek: .....

11. Staż pracy jako kierowca pojazdów uprzywilejowanych .....