



Justyna SORDYL, Łukasz DRĄG

ZANIECZYSZCZENIE POWIETRZA W OBSZARZE INFRASTRUKTURY PARKINGOWEJ

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów zanieczyszczeń powietrza pochodzenia motoryzacyjnego w obszarze parkingów samochodowych zlokalizowanych w obrębie miasta Bielska-Białej. Pomiarów wykonano za pomocą przenośnej stacji monitoringu powietrza AQM 10, rejestrującej warunki atmosferyczne oraz stężenia zanieczyszczeń tlenu węgla, tlenków azotu, węglowodorów. Analiza stężeń zarejestrowanych w obszarze zamkniętych i otwartych parkingów nie wskazuje na występowanie przekroczeń dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń. Największe stężenia zanieczyszczeń odnotowano na parkingu zamkniętym, na którym było ono kilkukrotnie większe niż w obszarze parkingów otwartych.

WSTĘP

W wyniku działalności człowieka do atmosfery emitowane są duże ilości różnego rodzaju związków i substancji chemicznych. Te z nich, które normalnie nie występują w środowisku naturalnym lub występują w niewielkich ilościach, uważane są za zanieczyszczenia. Do zanieczyszczeń powietrza powstających w wyniku spalania paliw, a mających negatywny wpływ na środowisko i organizm człowieka zalicza się: tlenki siarki, tlenki azotu, tlenek węgla, dwutlenek węgla, węglowodory aromatyczne i alifatyczne, pyły - cząsteczki sadzy, na powierzchni których łatwo osiadają różnorodne substancje, takie jak kancerogenne węglowodory i metale ciężkie.

Głównym miejscem powstawania zanieczyszczeń w trakcie eksploatacji trakcyjnej pojazdów samochodowych jest silnik pojazdu [3]. Na emisję oraz rozkład przestrzenny stężeń zanieczyszczeń pochodzenia motoryzacyjnego ma wpływ wiele czynników, do najważniejszych z nich można zaliczyć:

- właściwości ekologiczne i struktura rodzajowa floty pojazdów,
- natężenie ruchu potoku pojazdów,
- parametry ruchu pojazdu,
- rodzaj oraz parametry infrastruktury drogowej,
- warunki meteorologiczne determinujące proces rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Na emisję zanieczyszczeń w początkowej fazie eksploatacji pojazdu, tuż po jego uruchomieniu, bardzo istotny wpływ ma temperatura otoczenia. W fazie nagrzewania silnika pojazd zużywa większe ilości paliwa i emituje większe ilości substancji zanieczyszczających.

Przy czym bardziej wrażliwsze na temperaturę zewnętrzną są silniki o zapłonie iskrowym niż silniki o zapłonie samoczynnym [1,3].

W układach komunikacyjnych, charakteryzujących się dużym natężeniem ruchu, do miejsc o niedostatecznej przepustowości zalicza się drogi zlokalizowane w centrum miasta. Na drogach tych w godzinach szczytu komunikacyjnego tworzą się zatory drogowe. Zakłócenie płynności w ruchu drogowym jest zjawiskiem niekorzystnym, ponieważ częste zmiany w dynamice ruchu potoku pojazdów wpływają na zwiększenie emisji substancji szkodliwych.

Ze względu na miejsce powstawania zanieczyszczeń, bezpośrednie sąsiedztwo człowieka, zanieczyszczenia pochodzenia motoryzacyjnego uznawane są za szczególnie niebezpieczne. Szacuje się, że każdego roku środki transportu drogowego w Polsce są odpowiedzialne za emisję kilkudziesięciu milionów ton substancji zanieczyszczających powietrze atmosferyczne [7]. Z danych opracowanych przez Komisję Europejską [6] wynika, że w Unii Europejskiej spośród wszystkich gałęzi transportu, transport drogowy jest odpowiedzialny za największą emisję dwutlenku węgla. Środki transportu drogowego przyczyniają się do emisji aż 71% tego zanieczyszczenia.

W obszarach miejskich do miejsc, w których można dochodzić do nagromadzenia zanieczyszczeń powstałych w wyniku eksploatacji trakcyjnej środków transportu drogowego zalicza się: kaniony uliczne, obszary w bezpośrednim sąsiedztwie skrzyżowań oraz parkingi samochodowe. W kanionach ulicznych, kumulacja nadmiernych ilości zanieczyszczeń następuje w wyniku zaburzenia swobodnej cyrkulacji powietrza. Sytuacje taką zazwyczaj obserwuje się w miastach posiadających zwartą zabudowę. Usytuowanie budynków w pobliżu ciągów komunikacyjnych utrudnia wymianę powietrza z obszaru drogi, co przekłada się na powstawanie stref o podwyższonych stężeniach zanieczyszczeń. Z kolei, występowanie niekorzystnej sytuacji w otoczeniu skrzyżowań jest spowodowane występującymi zmianami w dynamice ruchu pojazdów podczas przejazdu przez skrzyżowanie. Na emisję oraz jej przestrzenny rozkład zasadniczy wpływ ma sposób organizacji ruchu na skrzyżowaniu, ponieważ to on determinuje wartości przyśpieszeń i prędkości pojazdów.

Dokonując przeglądu literatury dotyczącej oceny oddziaływania środków transportu kołowego na środowisko trudno jest znaleźć jakiegokolwiek opracowania odnoszące się do stanu jakości powietrza w obszarze otwartych i zamkniętych parkingów samochodowych dla warunków krajowych. W związku z powyższym, autorzy w pracy podjęli próbę oceny jakości powietrza w obszarze parkingów samochodowych usytuowanych w sąsiedztwie wielkopowierzchniowych centrów handlowych. W celu określenia jakości powietrza w obszarze infrastruktury parkingowej przeprowadzono szczegółowe badania eksperymentalne stężeń zanieczyszczeń na trzech parkingach samochodowych zlokalizowanych na terenie Bielska-Białej. Na dwóch parkingów typu otwartego, i jednym typu zamkniętego, na którym parkowanie pojazdów odbywa się na kilku poziomach. Badania eksperymentalne obejmowały pomiary warunków meteorologicznych oraz stężeń zanieczyszczeń powietrza za pomocą przenośnej stacji pomiarowej. Na podstawie przeprowadzonych badań przeprowadzono analizę stężeń zanieczyszczeń pod kątem przekraczania dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń.

1. JAKOŚĆ POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO W OBSZARZE INFRASTRUKTURY PARKINGOWEJ

Nagromadzenie dużej liczby pojazdów w ograniczonej przestrzeni stwarza niebezpieczeństwo występowania wysokich stężeń zanieczyszczeń powietrza. Z taką sytuacją mamy do czynienia na parkingach samochodowych, na których dąży się do maksymalnego wykorzystania przestrzeni parkingowej, wymuszając przy tym na kierowcach poruszanie

z niewielką prędkością. Ponadto, na parkingach dochodzi do częstych rozruchów silników pojazdów,

a w godzinach szczytu obserwuje się zakłócenia w płynności ruchu, często objawiające się formowaniem kolejki pojazdów oczekujących na włączenie się do ruchu.

Przebywanie w miejscach o słabej przewietrzalności, w obszarze których dochodzi do emisji substancji zanieczyszczających do powietrza, stwarza niebezpieczeństwo narażenia zdrowia wśród osób w nich przebywających. Na parkingach samochodowych, do osób narażonych zalicza się pasażerów pojazdów oraz pracowników obsługi. W przypadku pierwszej grupy osób, ekspozycja na zanieczyszczenia w obszarze parkingu jest krótkotrwała i nie powinna mieć wpływu na stan zdrowia. Z odmienną sytuacją mamy do czynienia w przypadku pracowników parkingu, ponieważ wykonywanie obowiązków zawodowych przez te osoby wymusza na nich ciągłe przebywanie w obszarze parkingu. Długotrwała ekspozycja na substancje zanieczyszczające (nawet o małych stężeniach) jest niebezpieczna dla organizmu człowieka. Może powodować pogorszenie koncentracji, bóle głowy, zasłabnięcia oraz prowadzić do innych dolegliwości i schorzeń. Z tego powodu niezmiernie istotne jest zastosowanie, szczególnie w obszarze parkingu zamkniętego, skutecznego systemu wentylacji. Systemu, który pozwala na utrzymanie warunków środowiskowych i higieny pracy na poziomie określonym zapisami ustawowymi [10].

W celu doboru systemu wentylacji pozwalającego zapewnić wytyczne i normy w zakresie jakości powietrza na etapie projektowania parkingów stosuje się modelowanie komputerowe. Wykonanie pomiarów eksperymentalnych stężeń zanieczyszczeń pozwala na ocenę i weryfikację skuteczności zastosowanego systemu wymiany powietrza.

Literatura związana z badaniami jakości powietrza atmosferycznego w obszarze infrastruktury parkingowej zawiera stosunkowo niewiele pozycji. Najwięcej publikacji z tego tematu pochodzi z rejonów południowo – wschodniej Azji. Prezentowane w nich wyniki badań w większości przypadków dotyczą zagadnień związanych z modelowaniem rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń na parkingach samochodowych. Ze względu na wysoki stopień urbanizacji, mieszkańcy dynamicznie rozwijających się miast Azji zmuszeni są do częstego korzystania z parkingów wielopoziomowych. Z tego powodu kwestia jakości powietrza na ich obszarze jest rzeczą niezmiernie ważną. Już na etapie projektowania dokłada się wszelkich starań, aby zastosowane rozwiązania konstrukcyjne i system wentylacji zapewniał bezpieczeństwo i komfort osób przebywających na terenie obiektu.

Wyniki pomiarów stężenia zanieczyszczeń na parkingu podziemnym zlokalizowanym w budynku centrum handlowego przedstawiono w pracy Ho, Xue i Tay [8]. Badania eksperymentalne obejmowały pomiar stężenia tlenu węgla oraz temperatury otoczenia w wielu miejscach rozlokowanych w obszarze parkingu. Analiza wyników pomiarów pozwoliła autorom na sformułowanie następujących wniosków: najlepszą przewietrzalność posiadają miejsca w pobliżu ramp wjazdowych i wyjazdowych, natomiast najgorszą przewietrzalnością charakteryzują się miejsca zlokalizowane na krańcach parkingu, tzn. w miejscach najdalej oddalonych od wjazdów do parkingu.

Wyniki innych badań, dotyczące pomiarów stężenia tlenu węgla, prędkości przepływu powietrza, wilgotności i temperatury w obszarze infrastruktury parkingowej przedstawiono w pracy Chow, Wong, Fung [4]. Zamieszczone w pracy porównanie zarejestrowanych średnich stężeń tlenu węgla z wartościami uśrednionej prędkości przepływu powietrza zezwalają na stwierdzenie istnienia korelacji pomiędzy tymi wielkościami. W miarę zwiększania prędkości przepływu powietrza zanotowano mniejsze stężenia tlenu węgla. Przy czym, wbrew przypuszczeniom, stężenie analizowanego zanieczyszczenia nie zawsze było bezpośrednio proporcjonalne do liczby pojazdów poruszających się w obrębie parkingu. Autorzy wnioskujeją, że za występowanie podwyższonego stężenia zanieczyszczenia są odpowiedzialne pojazdy, które parking już opuściły.

Powyższą spostrzeżenie potwierdzają badania przeprowadzone na 6 parkingach zlokalizowanych na terenie Aten, które wskazują, że za emisję tlenku węgla w obszarze miejsc parkingowych odpowiedzialne są głównie pojazdy wyjeżdżające [2]. Ze względu na większą liczbę pojazdów parkujących w ciągu tygodnia, odnotowywano większe stężenia zanieczyszczeń w dni robocze niż w dni wolne od pracy. Największe stężenie tlenku węgla obserwowano w godzinach popołudniowych, w czasie szczytu komunikacyjnego, podczas którego na parkingach odnotowywano największą liczbę pojazdów.

Wyniki badań dotyczące oceny jakości powietrza w obszarach parkingów dla warunków polskich można znaleźć w pracy Janke i Faron[9]. Przedmiotem badań były dwa parkingi samochodowe, usytuowane w bezpośrednim sąsiedztwie wielkopowierzchniowych centrów handlowych. W ramach pomiarów na obu parkingach rejestrowano poziom stężenia tlenków azotu oraz liczbę pojazdów uczestniczących w ruchu. Autorzy podkreślają, że zarejestrowane w ciągu jednej godziny stężenie zanieczyszczenia tlenku azotu, mieści się w przedziale od 0 do kilku ppm i w dużej mierze zależy od natężenia ruchu pojazdów w obrębie parkingu. Średnie stężenie tlenków azotu podczas pomiaru na pierwszym parkingu wyniosło 2,25 ppm, a na drugim 1,35 ppm. Wraz ze wzrostem natężenia ruchu pojazdów obserwowano pogorszenie jakości powietrza (większe stężenie tlenków azotu).

2. UNORMOWANIA PRAWNE

Na świecie pierwsze akty prawne dotyczące ochrony jakości powietrza powstały w stanie Kalifornia w 1966 roku. W 1970 roku w Stanach Zjednoczonych Ameryki podpisano dokument Clean Air Act, który zobowiązał Agencję Ochrony Środowiska (EPA) do ochrony powietrza i warstwy ozonowej. W stanie Kalifornia podjęto dodatkowe kroki na rzecz ochrony zdrowia swoich mieszkańców. Za pośrednictwem Kalifornijskiej Agencji Ochrony Środowiska (CEPA) ogłoszono stanowe normy prawne na rzecz ochrony powietrza. Określają one poziomy dopuszczalnych substancji zanieczyszczających, które mogą być obecne w powietrzu atmosferycznym bez szkody dla zdrowia publicznego.

Również Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) i Komisja Europejska (EC) w celu ochrony zdrowia człowieka przed negatywnymi skutkami oddziaływania zanieczyszczeń znajdujących się w powietrzu wydały wytyczne dotyczące poziomów dopuszczalnych substancji zanieczyszczających [11, 12, 5]. WHO w swym zaleceniu ogłosiła wartości poziomów dopuszczalnych, które odnoszą się do krótkotrwałej (15 min., 30 min., 1 godz.) i długotrwałej (8 godz., 1 rok) ekspozycji organizmu człowieka na zanieczyszczenia. Wytyczne EC z kolei odnoszą się tylko do długotrwałej (8 godz., 24 godz., 1 rok) ekspozycji na zanieczyszczenia.

W Polsce obowiązującymi aktami prawnymi określającymi sposób ochrony powietrza są:

- rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 grudnia 2008 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. 2009 nr 5 poz. 31),
- rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 2008 nr 47 poz. 281),
- rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie zakresu i sposobu przekazywania informacji dotyczących zanieczyszczenia powietrza (Dz. U. 2008 nr 216 poz. 1377).

Poziomy dopuszczalne substancji zanieczyszczających w powietrzu dla obszaru Polski szczegółowo definiuje Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu.

W celu zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w obszarze zamkniętych i otwartych garaży wielostanowiskowych stosuje się wentylację oraz stosowne instalacje sygnalizacyjno-alarmowe. O konieczności zapewnienia właściwej wymiany powietrza oraz odpowiedniego

bezpieczeństwa pożarowego w garażach dla samochodów osobowych informuje pkt 4 § 102 wcześniej wspomnianego Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r.

Inny paragraf tego rozporządzenia (§ 108), szczegółowo precyzuje rodzaje stosowanych wentylacji. I tak, w garażach zamkniętych dopuszcza się stosowanie co najmniej wentylacji naturalnej i grawitacyjnej (zapewniającej 1,5 – krotną wymianę powietrza na godzinę) lub mechanicznej. Przy czym wentylacja mechaniczna musi być sterowana czujkami stężenia tlenu węgla. W garażach otwartych dopuszcza się stosowanie wentylacji naturalnej. Jednak musi ona spełniać ustalone wymagania odnośnie wielkości niezamkniętych otworów, odległości pomiędzy parą przeciwległych ścian oraz zagłębienia najniższego poziomu posadzki poniżej poziomu terenu.

Do innych metod podejmowanych na rzecz zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w obszarze parkingów samochodowych zalicza się:

- rozwiązania umożliwiające wymianę powietrza,
- rozwiązania wpływające na poprawę organizacji ruchu pojazdów.

Pierwsza grupa metod obejmuje stosowanie systemów wentylacji naturalnej (grawitacyjnej), wentylacji naturalnej wspomaganiej mechanicznie i konwencjonalnej wentylacji mechanicznej. Dotychczas najczęściej stosowanym typem wentylacji były tradycyjne instalacje kanałowe złożone z ciągów kanałów wyciągowych oraz instalacji nawiewu powietrza. Jednak ze względu na duże wymiary instalacje kanałowe obecnie stosowane są sporadycznie. W ich miejsce coraz częściej wykorzystuje się instalacje strumieniowe, dotychczas stosowane do przewietrzania tuneli. Zasada ich działania polega na przetłaczaniu przez wentylator strumieniowy powietrza z dużą prędkością na odległość około 20-40 m bez wykorzystania kanałów wentylacyjnych.

Druga grupa metod obejmująca poprawę organizacji ruchu wewnątrz parkingu dotyczy skrócenia czasu wjazdu i wyjazdu do i z parkingu. Skrócenie czasu przejazdu pojazdu przez parking przyczynia się do ograniczania emisji związków szkodliwych spalin.

Poprawę organizacji ruchu na parkingu można osiągnąć przez :

- stosowanie rogatek wjazdowych z sygnalizacją świetlną informując o liczbie wolnych stanowisk postojowych (zapobiega niepotrzebnym przejazdom),
- zrozumiałe oznakowanie kierunków ruchu i miejsc wyjazdów,
- umieszczenie punktów poboru opłat poza strefą wjazdową, najlepiej przy wejściach do parkingu,
- stosowanie rozwiązań ułatwiających włączanie się pojazdów do ruchu ulicznego (np. bezkolizyjnych wyjazdów, rond).

3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

W celu oceny jakości powietrza w obszarze parkingów samochodowych zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie wielkopowierzchniowych centrów handlowych przeprowadzono pomiary stężeń zanieczyszczeń: tlenku węgla (CO), tlenków azotu (NO_x), węglowodorów (HC). Pomiary wykonano przy użyciu przenośnej stacji monitoringu powietrza AQM10 firmy Areoqual, umożliwiającej pomiar stężeń zanieczyszczeń w zróżnicowanych warunkach środowiskowych i atmosferycznych. Stacja posiada budowę modułową, tzn. jej poszczególne elementy mogą być dobierane i konfigurowane na indywidualnie życzenie klienta. W skład prezentowanej na fot. 1 stacji AQM10 wchodzi następujące elementy:

- cztery grubowarstwowe sensory, umożliwiające pomiar stężenia zanieczyszczeń powietrza: tlenku węgla (CO), tlenków azotu (NO_x), węglowodorów (HC) i ozonu (O₃),
- dwa czujniki zewnętrzne: służące do pomiaru temperatury i wilgotności powietrza,
- moduł kontroli temperatury, utrzymujący stałą temperaturę sensorów,
- moduł GPS, informujący o położeniu stacji,

- moduł sterujący, zapisujący wyniki pomiarów na karcie pamięci typu SD,
- pompa powietrza, doprowadzająca próbkę gazu do zamontowanych sensorów,
- moduł zasilający, zasilany z akumulatora,
- wodoszczelna obudowa.

W celu ochrony ww. modułów przed działaniem niekorzystnych warunków atmosferycznych urządzenie zostało wyposażone w wodoszczelną obudowę. Powietrze do wnętrza urządzenia (sensorów) doprowadzane jest za pomocą systemu połączonych ze sobą przewodów o niewielkiej średnicy. Odpowiedni przepływ powietrza w przewodach, zapewnia zamontowana wewnątrz stacji pompa powietrza. Umożliwia ona przepływ powietrza w przewodach na poziomie $1 \text{ dm}^3/\text{min}$. Stacja pracuje w zakresie temperatur od -10°C do $+55^\circ\text{C}$, i wilgotności względnej w przedziale od 10% do 95%.



Fot. 1. Stacja monitoringu powietrza AQM10 firmy Areoqual

Źródło: opracowanie własne

Wykonanie pomiaru stężeń zanieczyszczeń w obszarze infrastruktury parkingowej z wykorzystaniem przenośnej stacji monitoringu powietrza AQM10 wymagało opracowania odpowiedniej metodologii badań.

Przyjęta metodyka badań powinna zapewnić pomiar stężeń zanieczyszczeń w:

- wybranych miejscach parkingu (np. w pobliżu wjazdu lub wyjazdu do lub z parkingu, na środku parkingu, w pobliżu jednej ze ścian)
- zbliżonych ramach czasowych (pora dnia, dzień tygodnia, pora roku),
- porównywalnych warunkach natężenia ruchu pojazdów w obszarze parkingu.

W celu określenia stanu zanieczyszczenia powietrza w obszarze parkingów samochodowych badania eksperymentalne przeprowadzono w okresie zimowym w godzinach szczytu komunikacyjnego (godz. 15.00 – 18.00). Wybór tej pory roku, charakteryzującej się średnimi dobowymi temperaturami powietrza znacznie niższymi niż w miesiącach letnich, jest związany z występowaniem w tym okresie roku temperatur powietrza sprzyjających większej emisji zanieczyszczeń z silników pojazdów samochodowych.

Badania eksperymentalne obejmowały pomiary parametrów meteorologicznych i stężeń zanieczyszczeń powietrza w trzech seriach pomiarowych (S1 – 21.12.201 r., S2 – 4.01.2012 r., S3 – 11.01.2012 r.). Na parkingach typu otwartego wykonano dwie serie pomiarowe (S1 i S2), a na parkingu zamkniętym przeprowadzono o jeden pomiar więcej (S3). Każda seria pomiarowa obejmowała ciągły jednogodzinny pomiar:

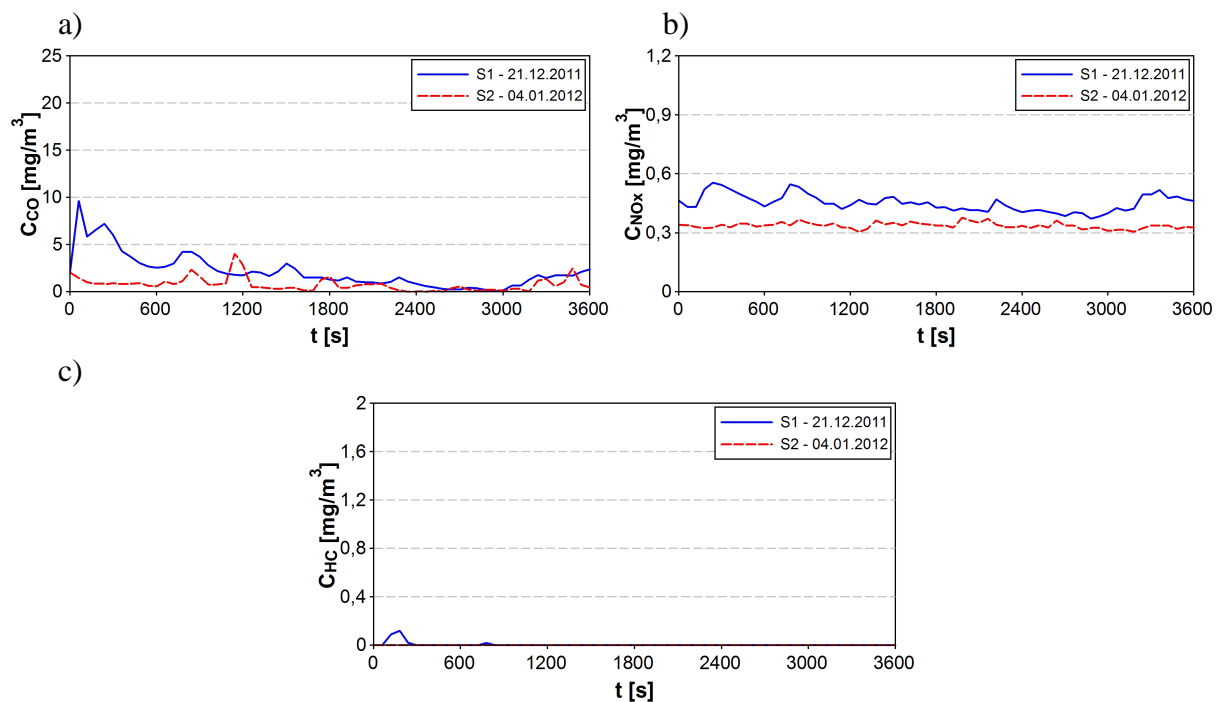
- stężeń: tlenku węgla (CO), tlenków azotu (NO_x) i węglowodorów (HC),
- parametrów meteorologicznych: temperatury i względnej wilgotności powietrza.

Wyniki pomiarów rejestrowano dla jednonminutowego czasu uśredniania. W trakcie przeprowadzania pomiaru, stacje monitoringu powietrza umieszczano na wysokości 1 m nad powierzchnią podłoża w pobliżu jednego z wyjazdów.

Ze względu na wrażliwość aparatury pomiarowej (zamontowanych wewnątrz stacji AQM10 grubowarstwowych sensorów) na nagłe zmiany temperatury otoczenia, w przyjętej metodyce badań uwzględniono czas konieczny na stabilizację parametrów pracy urządzenia (czas potrzebny na osiągnięcie przez sensory zalecanej temperatury pracy). Dla zagwarantowania podczas wykonywania pomiarów odpowiedniej temperatury sensorów, każdorazowo przed rozpoczęciem sesji pomiarowej dokonywano 15 minutowej stabilizacji parametrów pracy urządzenia do warunków otoczenia.

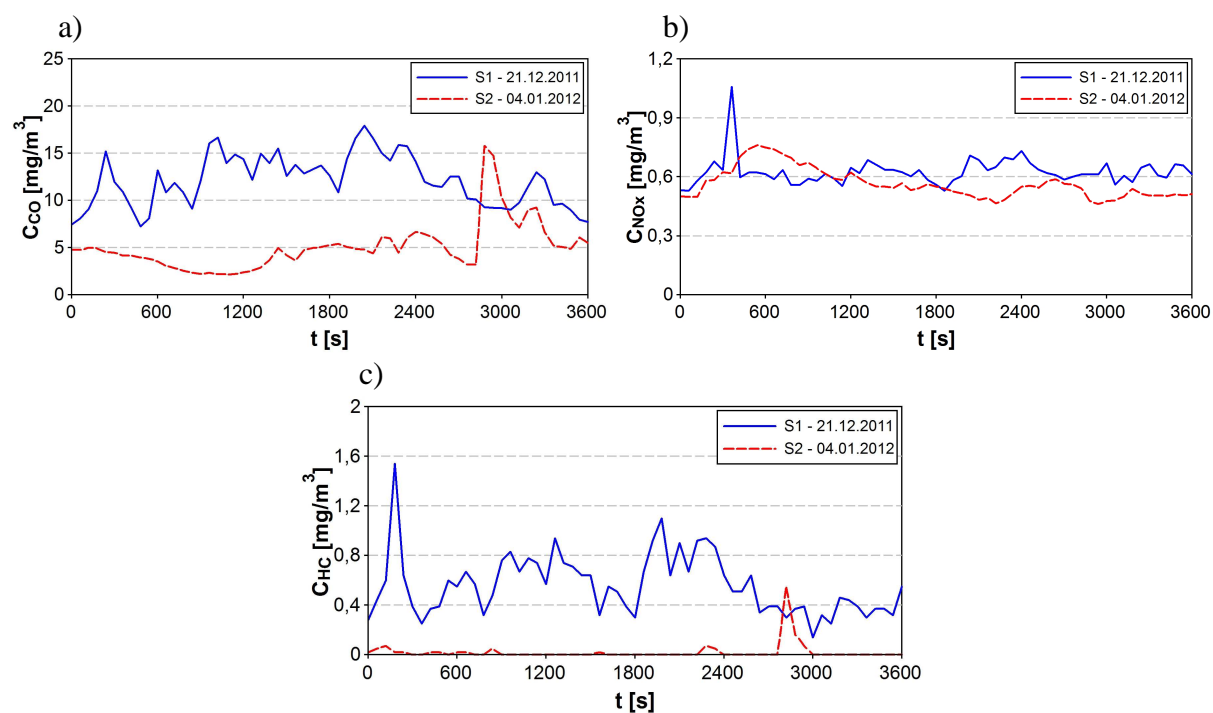
Do największych obiektów umożliwiających parkowanie pojazdów zalicza się parkingi samochodowe zlokalizowane w pobliżu wielkopowierzchniowych centów handlowych. Ich pojemność często przekracza 1000 miejsc postojowych. Badania eksperymentalne przeprowadzono na trzech parkingach usytuowanych w pobliżu obiektów handlowych. Wszystkie parkingi są położone w obrębie miasta Bielska-Białej. Różnią się typem zabudowy. Parkingi (P1, P2) można zaklasyfikować do obiektów typu otwartego (bez pełnej obudowy ścianami zewnętrznymi). Przy tym, parking P1 ograniczony jest dwiema ścianami, a parking P2 trzema ścianami. Parking P3 jest typu zamkniętego. Posiada pełną obudowę zewnętrzną. Wentylację mechaniczną sterowaną czujkami dopuszczalnego poziomu stężenia zastosowano we wszystkich badanych obiektach. W dwóch z nich również zastosowano wentylację grawitacyjną.

Na rys. 1÷3 przedstawiono zarejestrowane stężenia zanieczyszczeń tlenku węgla, tlenków azotu i węglowodorów w obszarze infrastruktury parkingowej P1, P2 i P3. W tab. 1. zamieszczono zarejestrowane średnie wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza dla każdej serii pomiarowej.



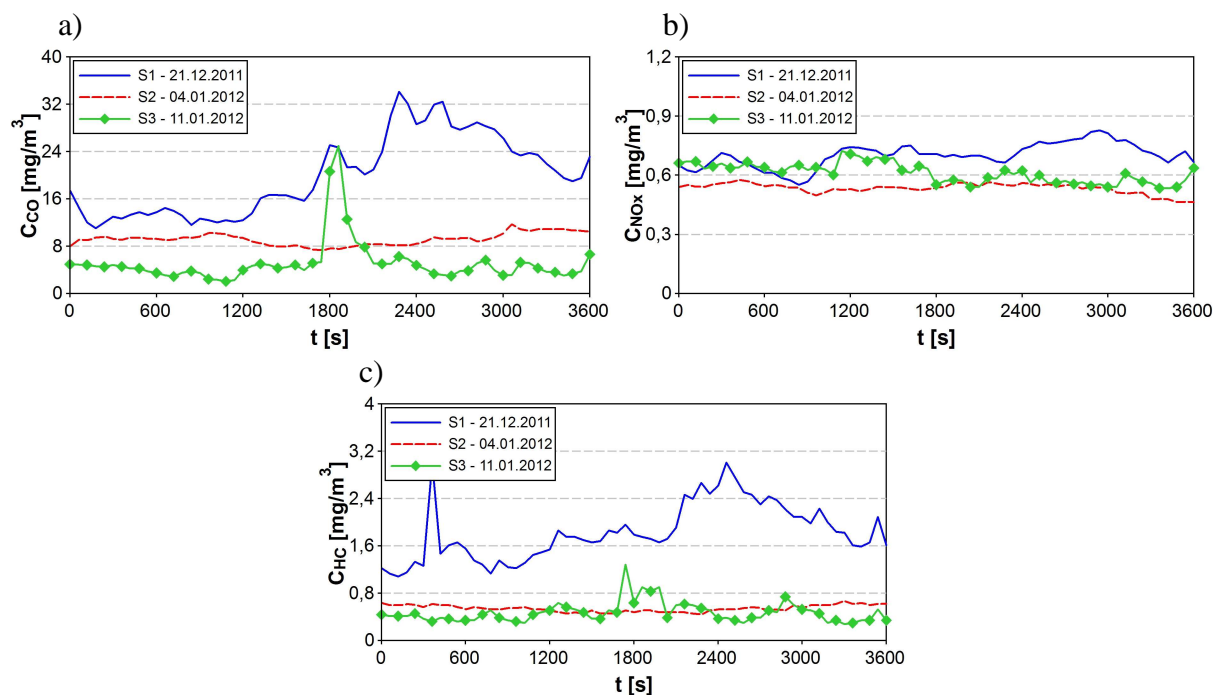
Rys. 1. Stężenie a) tlenku węgla C_{CO} [mg/m^3], b) tlenków azotu C_{NO_x} [mg/m^3] i c) węglowodorów C_{HC} [mg/m^3] w obszarze infrastruktury parkingowej P1

Źródło: opracowanie własne



Rys. 2. Stężenie a) tlenku węgla C_{CO} [mg/m^3], b) tlenków azotu C_{NO_x} [mg/m^3] i c) węglowodorów C_{HC} [mg/m^3] w obszarze infrastruktury parkingowej P2

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Stężenie a) tlenku węgla C_{CO} [mg/m^3], b) tlenków azotu C_{NO_x} [mg/m^3] i c) węglowodorów C_{HC} [mg/m^3] w obszarze infrastruktury parkingowej P3

Źródło: opracowanie własne

Tab. 1. Średnia temperatura powietrza \bar{T} i średnia wilgotność względna powietrza \bar{f} w obszarze infrastruktury parkingowej P1, P2, P3

Obiekt	P1		P2		P3		
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S3
Średnia temperatura powietrza \bar{T} [$^{\circ}\text{C}$]	2,4	7,1	4,1	9,3	13,4	14,1	12,7
Średnia wilgotność względna powietrza \bar{f} [%]	68,1	73,2	78,1	59,1	56,2	69,8	53,7

Źródło: opracowanie własne

Analiza wyników pomiarów prowadzi do wniosku, że większe stężenia zanieczyszczeń w danej serii pomiarowej odnotowuje się w obszarze parkingu o zabudowie zamkniętej niż w obszarze parkingów typu otwartego. Potwierdzają to także zarejestrowane maksymalne i średnie stężenia zanieczyszczeń (tab. 2 i 3). Największe stężenie tlenku węgla $C_{CO}^{\max} = 34,17 \text{ mg}/\text{m}^3$ i węglowodorów $C_{HC}^{\max} = 3,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ zarejestrowano na parkingu P3 w serii pomiarowej S1, a największe stężenie tlenków azotu $C_{NO_x}^{\max} = 1,06 \text{ mg}/\text{m}^3$ na parkingu P2 w tej samej serii.

Porównując wyniki pomiarów zarejestrowanych na parkingach otwartych P1 i P2 można zauważyć, że na parkingu P1 odnotowuje się niższe stężenia zanieczyszczeń w danej serii pomiarowej niż na parkingu P2. Można zatem wysnuć wniosek, że sytuacja ta jest bezpośrednio wynika ze sposobu zabudowy obu parkingów. Obszar parking P1 ograniczony jest dwiema ścianami zewnętrznymi, natomiast obszar parking P2 trzema ścianami. Mniejsza obudowa parkingu P1 skutkuje jego lepszą przewietrzalnością.

Tab. 2. Maksymalne C^{\max} stężenie tlenku węgla, tlenków azotu i węglowodorów zarejestrowane w obszarze infrastruktury parkingowej P1, P2 i P3

Seria pomiarowa	P1			P2			P3		
	C_{CO}^{\max} [mg/m ³]	$C_{NO_x}^{\max}$ [mg/m ³]	C_{HC}^{\max} [mg/m ³]	C_{CO}^{\max} [mg/m ³]	$C_{NO_x}^{\max}$ [mg/m ³]	C_{HC}^{\max} [mg/m ³]	C_{CO}^{\max} [mg/m ³]	$C_{NO_x}^{\max}$ [mg/m ³]	C_{HC}^{\max} [mg/m ³]
S1 21.12.2011	9,59	0,56	0,12	17,93	1,06	1,54	34,17	0,83	3,01
S2 04.01.2012	4,03	0,38	0	15,78	0,76	0,55	11,70	0,58	0,67
S3 11.01.2012	–	–	–	–	–	–	24,94	0,72	1,29

Źródło: opracowanie własne

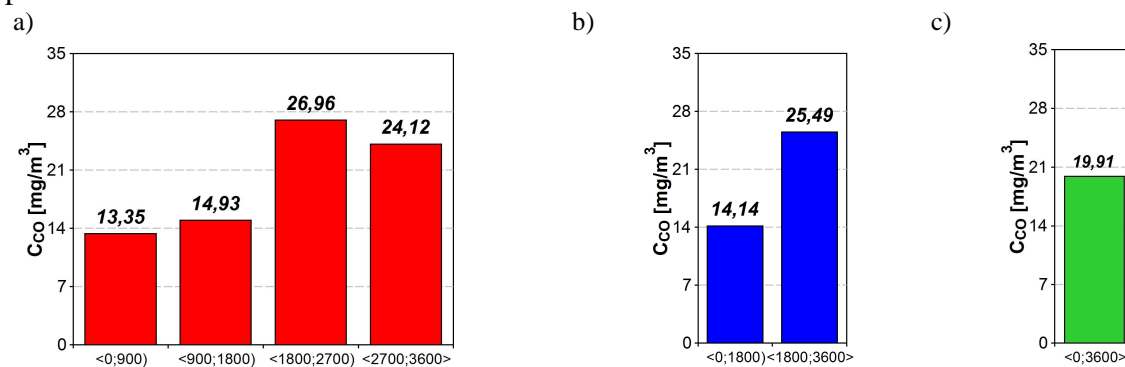
Tab. 3. Średnie \bar{C} stężenie tlenku węgla, tlenków azotu i węglowodorów zarejestrowane w obszarze infrastruktury parkingowej P1, P2 i P3 dla czasu uśredniania $t = 3600$ s

Seria pomiarowa	P1			P2			P3		
	\bar{C}_{CO} [mg/m ³]	\bar{C}_{NO_x} [mg/m ³]	\bar{C}_{HC} [mg/m ³]	\bar{C}_{CO} [mg/m ³]	\bar{C}_{NO_x} [mg/m ³]	\bar{C}_{HC} [mg/m ³]	\bar{C}_{CO} [mg/m ³]	\bar{C}_{NO_x} [mg/m ³]	\bar{C}_{HC} [mg/m ³]
S1 21.12.2011	2,15	0,45	0,004	12,06	0,63	0,56	19,91	0,70	1,83
S2 04.01.2012	0,78	0,34	0	5,04	0,56	0,02	9,17	0,53	0,54
S3 11.01.2012	–	–	–	–	–	–	5,08	0,61	0,47

Źródło: opracowanie własne

Występowanie wysokich stężeń zanieczyszczeń w seriach pomiarowych S1 jest spowodowane występowaniem w obszarze parkingów natężenia ruchu pojazdów powodującego formowanie się kolejki pojazdów oczekujących na wyjazd oraz występowaniem warunków meteorologicznych (temperatury powietrza) sprzyjających zwiększonej emisji zanieczyszczeń z silników pojazdów.

W celu oceny krótkotrwałych skutków oddziaływania zanieczyszczeń powietrza dla każdej serii pomiarowej obliczono średnie stężenia zanieczyszczeń powietrza dla 900 s., 1800 s, 3600 s czasu uśredniania wyników pomiaru (Rys. 4). Maksymalne średnie stężenie zanieczyszczenia tlenku węgla odnoszono do wytycznych Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) dotyczących dopuszczalnego poziomu średniego stężenia tego zanieczyszczenia w powietrzu.



Rys. 4. Średnie stężenie tlenku węgla \bar{C}_{CO} w obszarze infrastruktury parkingowej P3 – seria S1-21.12.2011 dla czasu uśredniania a) 900 s, b) 1800 s i c) 3600 s

Źródło: opracowanie własne

Jak można było się spodziewać systemy wentylacji zainstalowane w obszarze badanej infrastruktury parkingowej w sposób znaczący przyczyniają się, nawet w warunkach dużego wykorzystania parkingów, do nie przekraczania dopuszczalnego poziomu stężenia tlenu węgla.

Według wytycznych WHO, dopuszczalne poziomy stężenia tlenu węgla dla 900 s., 1800 s, 3600 s czasu uśredniania wyniku pomiaru wynoszą odpowiednio 100 mg/m^3 , 60 mg/m^3 i 30 mg/m^3 [11]. W obszarze infrastruktury parkingowej P3, parkingu zamkniętego, w obrębie którego rejestrowano najwyższe stężenia zanieczyszczeń tlenu węgla odnotowano następujące wartości stężenia zanieczyszczenia $\bar{C}_{CO} = 26,96 \text{ mg/m}^3$ dla $t = 900 \text{ s}$, $\bar{C}_{CO} = 25,49 \text{ mg/m}^3$ dla $t = 1800 \text{ s}$ i $\bar{C}_{CO} = 19,91 \text{ mg/m}^3$ dla $t = 3600 \text{ s}$.

PODSUMOWANIE

Z przedstawionych w pracy wyników badań wynika, że na stężenia zanieczyszczeń powietrza pochodzenia motoryzacyjnego w obszarze infrastruktury parkingowej zasadniczy wpływ ma rodzaj zastosowanej zabudowy parkingu. Mniejsze stężenia zanieczyszczeń obserwuje się na parkingach otwartych, niż na parkingach typu zamkniętego. Na wszystkich parkingach większe stężenia zanieczyszczeń obserwuje się w pobliżu wyjazdów. Z taką sytuacją zazwyczaj ma się do czynienia w porze szczytu komunikacyjnego, w trakcie którego pojazdy oczekujące na włączenie się do ruchu tworzą kolejkę.

Analiza średnich stężeń tlenu węgla pozwala stwierdzić, że w obszarze wszystkich trzech parkingów samochodowych nie dochodzi do przekraczania dopuszczalnego poziomu zanieczyszczeń ustalonego przez Światową Organizację Zdrowia (WHO).

Autorzy mają świadomość, że przedstawione w pracy analizy i wyniki badań nie pozwalają na pełną ocenę stopnia zanieczyszczenia powietrza w obszarze badanych parkingów samochodowych. W celu sformułowania należytej oceny planuje się przeprowadzenie pomiarów z wykorzystaniem przenośnej stacji monitoringu dla dłuższych przedziałów czasu.

AMBIENT AIR QUALITY IN THE PARKING AREA

Abstract

The paper presents the results of preliminary measurements of car exhaust pollutants for two types of car parks located within the city of Bielsko-Biala. The AQM 10 Air Quality Station to gather the pollutants concentration data in real time was used. In each garage, concentration of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOx) and volatile organic compounds (VOC) with one minute averaging were measured. At the same time, metrological parameters, temperature and humidity were also collected. Analysis of all pollutants concentration collected in an enclosed and in a opened car parks indicates that the air quality standards were not exceeds. The highest pollutants concentrations are measured in an enclosed garage, in which concentration of carbon monoxide were several times higher than in the open parking areas.

BIBLIOGRAFIA

1. Bielaczyc P., Merkisz J., Pielecha J.: *Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.

2. Chaloulakou A., Duci A., Spyrellis N.: *Exposure to carbon monoxide in enclosed multilevel parking garages in the central Athens*. Indoor and Built Environment 2002, nr 11.
3. Chłopek Z.: *Ochrona środowiska naturalnego*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
4. Chow W.K., Wong L.T., Fung W.Y.: *Field study on the indoor thermal environment and carbon monoxide levels in a large underground car park*. Tunnelling and Underground Space Technology 1996, nr 11(3).
5. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 *on ambient air quality and cleaner air for Europe*. Official Journal of the European Union 2008.
6. *EU Energy and transport in figures. Statistical pocketbook 2009*. Directorate-General for Energy and Transport, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg 2009
7. Gronowicz J.: *Ochrona środowiska w transporcie lądowym*. Politechnika Poznańska, wyd. II uzupełnione, Poznan – Radom 2004.
8. Ho J.C., Xue H., Tay K.L.: *A field study on determination of carbon monoxide level and thermal environment in an underground car park*. Building and Environment 2004, nr 39.
9. Janka R. M., Faron K.: *Wieloaspektowa ocena jakości powietrza na obszarach parkingów dużych sieci handlowych*. Problemy Ekologii 2009, R. 13, nr 1.
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. *w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*. Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690.
11. *WHO Regional Office for Europe: Air quality guidelines for Europe*, 2nd ed., Copenhagen 2000 (WHO Regional Publications, European Series, No. 91).
12. *WHO: Air quality guidelines for PM, O₃, NO₂, SO₂*. Global update 2005, Copenhagen 2000.

Autorzy:

mgr Justyna SORDYL – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

dr inż. Łukasz DRĄG – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej