

## ANALIZA PRZESTRZENNYCH ROZKŁADÓW STĘŻEŃ DWUTLENKU AZOTU W POWIETRZU NA TERENIE KRAKOWA

KATARZYNA KROMKA

Institut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, ul. Lipowa 3, 30-702 Kraków

Keywords: nitrogen dioxide, ambient air concentration, monitoring, Cracow agglomeration, statistical methods.

### ANALYSIS OF DISTRIBUTION OF NITROGEN DIOXIDE CONCENTRATION IN THE AIR IN THE AREA OF CRACOW

The aim of this work was to compare nitrogen dioxide atmospheric pollution in some parts of Cracow and to indicate the area in which ambient air concentration of NO<sub>2</sub> may be the highest. The measurements of 24-hour NO<sub>2</sub> concentration were made by spectrophotometric method with passive sampling in 20 sites in the period of 2 years. The results were analysed by statistical methods, such as: analysis of variance and correlation. The 24-hour NO<sub>2</sub> concentration has significant spatial variation in the area of Cracow. The highest values were measured in the street canyons, the lowest in residential areas. The highest values of NO<sub>2</sub> concentration were observed during heating season. The results of passive method are comparable with the results of automatic method and because of this both methods may be used together in monitoring networks.

#### Streszczenie

Celem pracy było dokonanie porównawczej oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem azotu w różnych rejonach Krakowa oraz wskazanie obszarów szczególnie narażonych na emisję NO<sub>2</sub>. Pomiar średniodobowych stężeń NO<sub>2</sub> wykonywane były metodą spektrofotometryczną z pasywnym pobieraniem próbek, w 20 punktach pomiarowych na przestrzeni 2 lat. Wyniki analizowano przy pomocy metod statystycznych, takich jak: analiza wariancji i określenie korelacji. Stwierdzono, że średniodobowe stężenia dwutlenku azotu na obszarze Krakowa wykazują istotne zróżnicowanie przestrzenne. Najwyższe wartości stężeń zmierzone zostały w kanionach ulicznych, najniższe na terenie osiedli mieszkaniowych. Zaobserwowano tendencję występowania wyższych wartości stężeń w sezonie grzewczym. Zgodność wyników uzyskanych metodą pasywną z rezultatami pomiarów automatycznego monitoringu umożliwia łączenie tych metod przy tworzeniu rozbudowanych sieci monitoringowych.

#### WPROWADZENIE

Dwutlenek azotu w sposób istotny wpływa na jakość powietrza atmosferycznego na obszarach aglomeracji miejskich, zarówno jako zanieczyszczenie pierwotne, jak i czynnik powodujący powstawanie zanieczyszczeń wtórnych. Związane jest to przede wszystkim ze znaczącym na tych terenach udziałem emisji ze źródeł komunikacyjnych, a także z systemów grzewczych, w których stosowane jest paliwo gazowe.

Stwierdzono, że dotychczas na obszarze Krakowa nie były prowadzone badania zanieczyszczenia powietrza tlenkami azotu w szerokiej skali przestrzennej, poza punktami pomiarowymi sieci monitoringu automatycznego (obecnie 5 stacji) oraz wyrwykowymi pomiarami w kilku innych miejscach (ruchliwe skrzyżowania, wielkie parkingi, otoczenie zakładów przemysłowych) [12]. Dokładne poznanie rozkładu stężeń zanieczyszczenia na obszarze miasta wymaga przeprowadzenia równoczesnych pomiarów imisji zarówno w miejscach, gdzie spodziewane są najwyższe wartości stężeń, jak i na terenach o przeciętnym i niewielkim oczekiwanym stopniu zanieczyszczenia powietrza [13].

Celem prezentowanych badań było określenie przestrzennego zróżnicowania średniodobowych stężeń dwutlenku azotu w powietrzu na terenie Krakowa, dokonanie porównawczej oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza  $\text{NO}_2$  w różnych rejonach miasta oraz wskazanie obszarów szczególnie narażonych na imisję tego zanieczyszczenia.

### METODYKA POMIARÓW

Pomiary średniodobowych stężeń dwutlenku azotu wykonywane były metodą spektrofotometryczną z pasywnym pobieraniem próbek [2]. Wybór metody pasywnej spowodowany był faktem, że jest to metoda prosta, tania, zalecana w licznych pozycjach literaturowych do stosowania przy określaniu przestrzennego i czasowego zróżnicowania stężeń dwutlenku azotu [1, 3, 4, 5, 9, 10, 11]. Ponadto metoda ta wykazuje zgodność z metodą chemiluminescencyjną, stosowaną w sieciach automatycznego monitoringu zanieczyszczeń powietrza [6, 7, 8].

Dwutlenek azotu przedostaje się na drodze dyfuzji do wnętrza eksponowanego próbnika, gdzie zostaje pochłonięty przez roztwór absorbujący (20% roztwór trietanolaminy), którym nasączony jest umieszczony wewnątrz próbnika krążek bibuły chromatograficznej. Po zakończeniu ekspozycji oznaczana jest zawartość jonów azotanowych (III) poprzez ekstrakcję elementu absorbującego roztworem Saltzmana i pomiar spektrofotometryczny. W oparciu o oznaczoną w próbniku masę jonów azotanowych (III) obliczone zostaje średnie stężenie  $\text{NO}_2$  w powietrzu podczas ekspozycji [2, 7, 8].

W jednym punkcie pomiarowym umieszcza się trzy próbники na wysokości ok. 1,5 m nad ziemią. Czas ekspozycji wynosi ok. 24 godzin. Za wynik końcowy oznaczenia stężenia średniodobowego dwutlenku azotu w danym punkcie przyjmuje się średnią arytmetyczną wyników uzyskanych z trzech eksponowanych próbników.

Dokładność metody pasywnej, zgodnie z danymi literaturowymi, wynosi 6%, a dolna granica oznaczalności – ok.  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [7].

### LOKALIZACJA PUNKTÓW SIECI POMIAROWEJ

W okresie dwóch lat wykonano na terenie Krakowa 17 serii pomiarowych średniodobowych stężeń dwutlenku azotu. Terminy pomiarów dobierano w taki sposób, aby reprezentowały wszystkie pory roku oraz różne warunki pogodowe.

Lokalizacja punktów pomiarowych przyjęta została na podstawie danych dotyczących rozmieszczenia źródeł emisji tlenków azotu na terenie aglomeracji, z uwzględnieniem zróżnicowania gęstości zabudowy i rodzaju zagospodarowania tere-

nu w różnych rejonach miasta. Jednym z podstawowych kryteriów lokalizacyjnych była odległość od tras komunikacyjnych.

Pomiary wykonywane były w 20 punktach (rys. 1), które, w zależności od lokalizacji, podzielone zostały na 5 kategorii:

1. „Centrum” – punkty nr 1, 2, 3 („Rynek”, „Wawel”, „Rynek Podgórski”) zlokalizowane na obszarze zwartej zabudowy centrum miasta, w odległości ponad 50 m od ulic o dużym natężeniu ruchu.
2. „Kanion” – punkty nr 4, 5, 6, 7 („Podwale”, „Dietla”, „Aleje Krasińskiego”, „Lubicz”) zlokalizowane w centrum miasta przy trasach komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu, w tzw. kanionach ulicznych.
3. „Ulica” – punkty nr 8, 9, 10, 11 („Warszawska”, „Kijowska”, „Rondo Bronowickie”, „Bora-Komorowskiego”) zlokalizowane w sąsiedztwie tras komunikacyjnych o dużym natężeniu ruchu, poza obszarem ścisłego centrum miasta.
4. „Osiedle” – punkty nr 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 („Prądnik Biały”, „Dywizjonu 303”, „Prokocim Nowy”, „Kurdwanów”, „Ruczaj”, „Prądnik Czerwony”, „Wieliczka”) zlokalizowane na terenie osiedli mieszkaniowych, w dużej odległości od źródeł komunikacyjnych, przemysłowych i komunalnych.
5. „Tereny rekreacyjne” – dwa punkty, z których jeden (nr 19 – „Ogród Botaniczny”) zlokalizowany był na obszarze parkowym w centrum miasta, drugi – na terenach leśnych na peryferiach zachodniej części miasta (nr 20 – „Las Wolski”).

Dwa punkty umieszczone zostały w sąsiedztwie stacji automatycznego monitoringu zanieczyszczeń powietrza – nr 1 („Rynek Główny”) i nr 6 („Aleje Krasińskiego”).

## STATYSTYCZNA ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

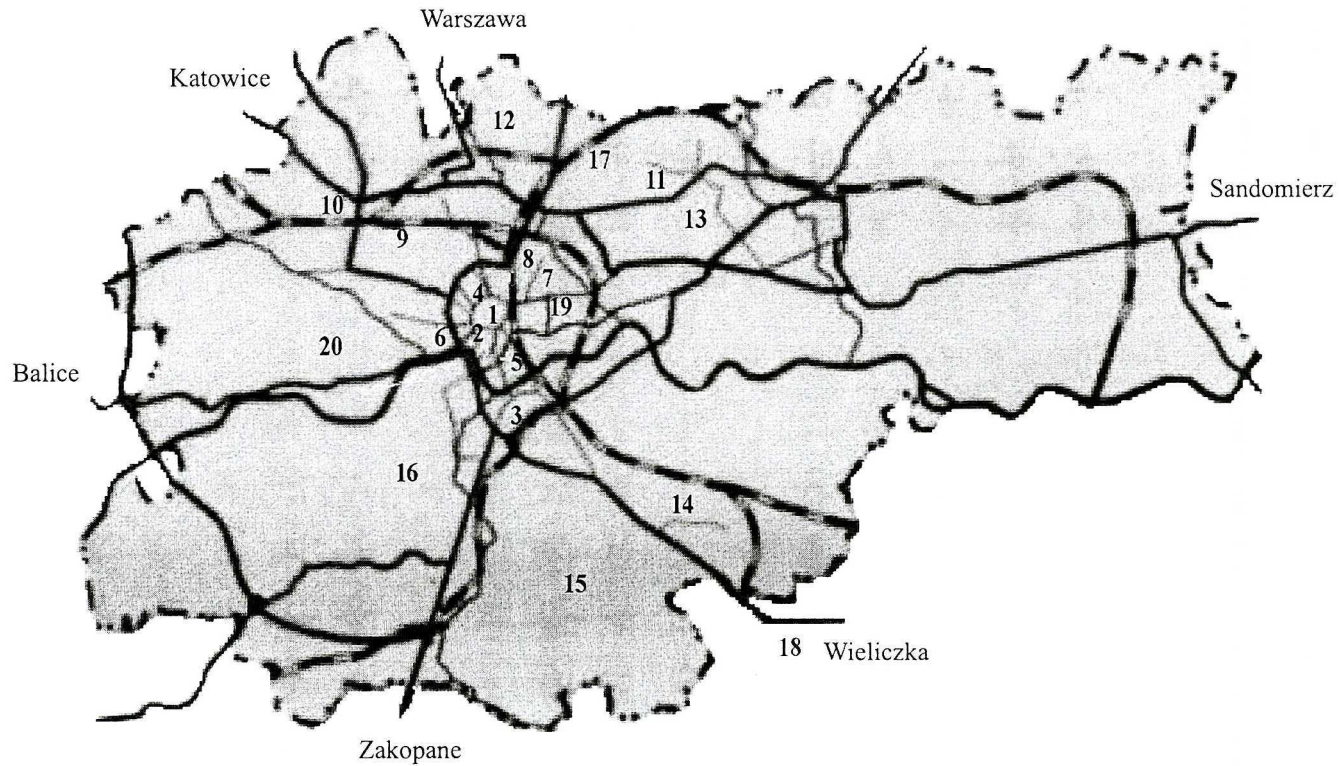
Przez wszystkie dni pomiarowe w żadnym punkcie nie stwierdzono wystąpienia przekroczenia dopuszczalnej wartości średniodobowego stężenia dwutlenku azotu, wynoszącej  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Zmierzone wartości stężeń mieściły się w zakresie od  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  do  $111 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Błąd pomiarowy, określony jako średnia wartość względnego odchylenia standardowego pomiędzy wynikami dla trzech eksponowanych równocześnie próbników, wyniósł 4,84%.

Rysunek 2 przedstawia wartości średnie z wyników uzyskanych w poszczególnych punktach pomiarowych. Najwyższa wartość średnia,  $85,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  uzyskana została dla punktu nr 6 zlokalizowanego przy Alejach Krasińskiego, w kanionie ulicznym o bardzo wysokim natężeniu ruchu pojazdów samochodowych. Dla kolejnych punktów z grupy „kaniony uliczne” – nr 4 i 5 (ul. Podwale i ul. Dietla) wartości średnie wynoszą powyżej  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dość wysokie wartości średnie stwierdzono również dla punktów zlokalizowanych przy trasach komunikacyjnych poza obszarem centrum miasta.

Zwraca uwagę fakt, że w punktach pomiarowych zlokalizowanych w kanionach ulicznych występują wyższe stężenia  $\text{NO}_2$  niż w punktach sąsiadujących z ulicami przebiegających na otwartej przestrzeni, przy porównywalnych wartościach natężenia ruchu na tych trasach. Przykładowo, dla al. Krasińskiego (nr 6) średnie wartości stężeń są wyższe niż dla Ronda Bronowickiego (nr 10), przy czym dla obydwu punktów maksymalne natężenie ruchu wynosi powyżej 4000 poj./h. Podobnie sytuacja wygląda dla

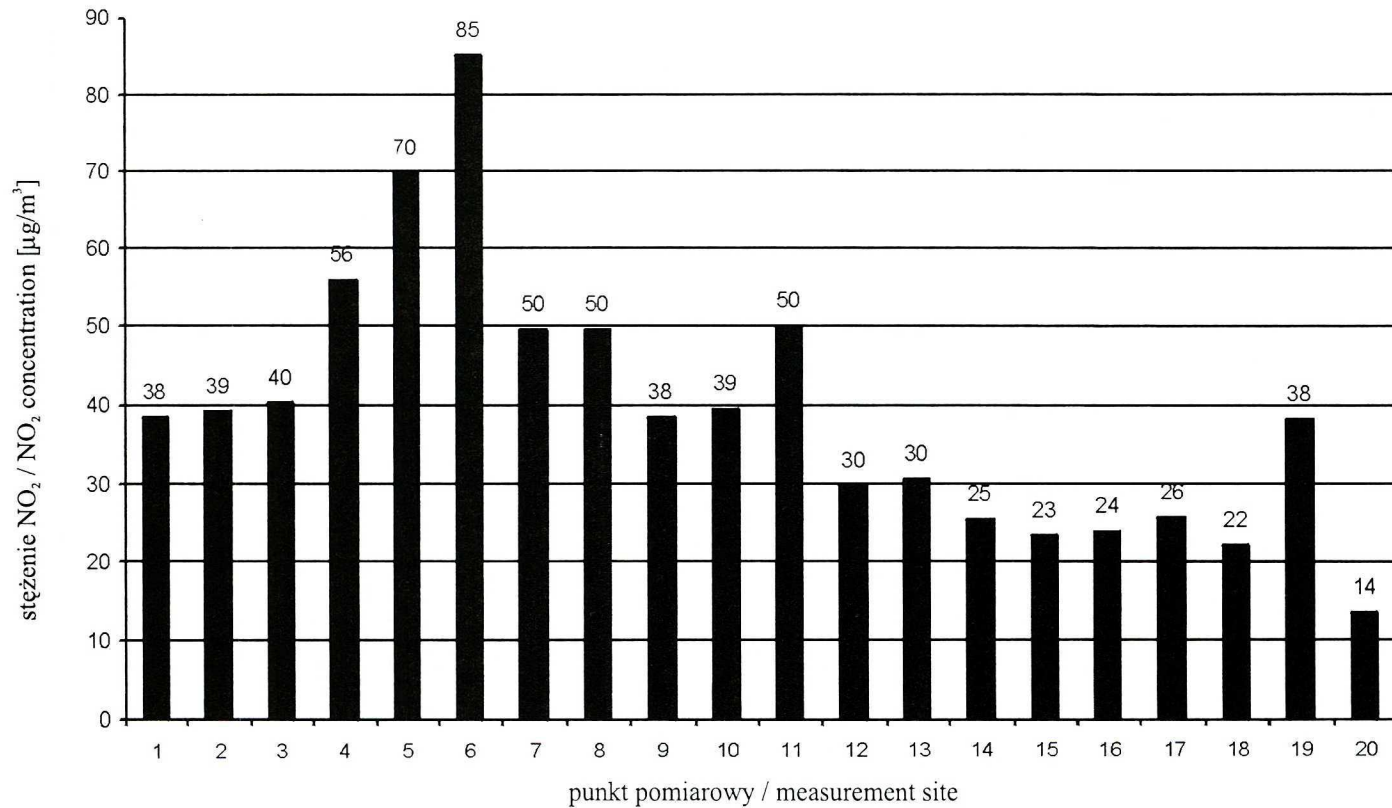




Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na obszarze Krakowa

Location of the measurement sites in the area of Cracow

- 1 – Rynek Główny, 2 – Wawel, 3 – Rynek Podgórski, 4 – ul. Podwale, 5 – ul. Dietla, 6 – al. Krasińskiego, 7 – ul. Lubicz, 8 – ul. Warszawska, 9 – ul. Kijowska, 10 – Rondo Bronowickie, 11 – ul. Bora-Komorowskiego, 12 – Prądnik Biały, 13 – Dywizjonu 303, 14 – Prokocim, 15 – Kurdwanów, 16 – Ruczaj, 17 – Prądnik Czerwony, 18 – Wieliczka, 19 – Ogród Botaniczny, 20 – Las Wolski



Rys. 2. Wartości średnie wyników pomiarów średniodobowego stężenia NO<sub>2</sub> dla poszczególnych punktów pomiarowych  
Average value of 24-hour NO<sub>2</sub> concentration for each site

ul. Dietla (nr 5), gdzie natężenie ruchu w godzinach szczytu dochodzi do 3000 poj./h, a średnia wartość średniodobowego stężenia  $\text{NO}_2$  jest wyższa, niż na skrzyżowaniu ul. Warszawskiej z ul. 29. Listopada (nr 8), gdzie maksymalne natężenie ruchu wynosi 3500 poj./h.

Najmniejsza wartość średnia została stwierdzona w punkcie „Las Wolski” (nr 20) i wynosiła  $13,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dla zaliczonego do tej samej grupy „tereny rekreacyjne” punktu „Ogród Botaniczny” (nr 19), zlokalizowanego w centrum miasta, wartość średnia była znacznie wyższa.

Analizując wyniki uzyskane w poszczególnych dniach pomiarowych w zestawieniu z warunkami meteorologicznymi, określonymi przez parametry, takie jak: temperatura, prędkość i kierunek wiatru, nie stwierdzono występowania wyraźnych korelacji. Wydaje się jednak, że liczba dni pomiarowych była zbyt mała, aby możliwe było zaobserwowanie tego typu zależności.

Porównanie średniej wielkości średniodobowych stężeń dwutlenku azotu zmierzonych w sezonie letnim i w sezonie grzewczym (rys. 3) pozwala na zaobserwowanie tendencji do występowania nieco większych wartości stężeń w sezonie grzewczym niemal dla wszystkich punktów, z wyjątkiem trzech zlokalizowanych na obszarze osiedli mieszkaniowych (Prokocim Nowy, Kurdwanów, Prądnik Czerwony). Wzrost stężeń w sezonie zimowym może być tłumaczony bardziej stabilnym stanem atmosfery oraz obecnością emisji z lokalnych kotłowni i palenisk domowych.

W celu określenia statystycznej istotności różnic pomiędzy średnimi w obrębie poszczególnych kategorii lokalizacyjnych przeprowadzona została jednoczynnikowa analiza wariancji, przy przyjęciu jako zmiennej niezależnej lokalizacji punktów pomiarowych, a jako zmiennej zależnej – wartości średniodobowego stężenia  $\text{NO}_2$ . Przed wykonaniem analizy wariancji sprawdzono spełnienie założeń o rozkładzie normalnym zmiennej zależnej (przy pomocy skategoryzowanych normalnych wykresów prawdopodobieństwa) oraz o jednorodności wariancji w obrębie różnych grup układu (przy pomocy testu Levene'a).

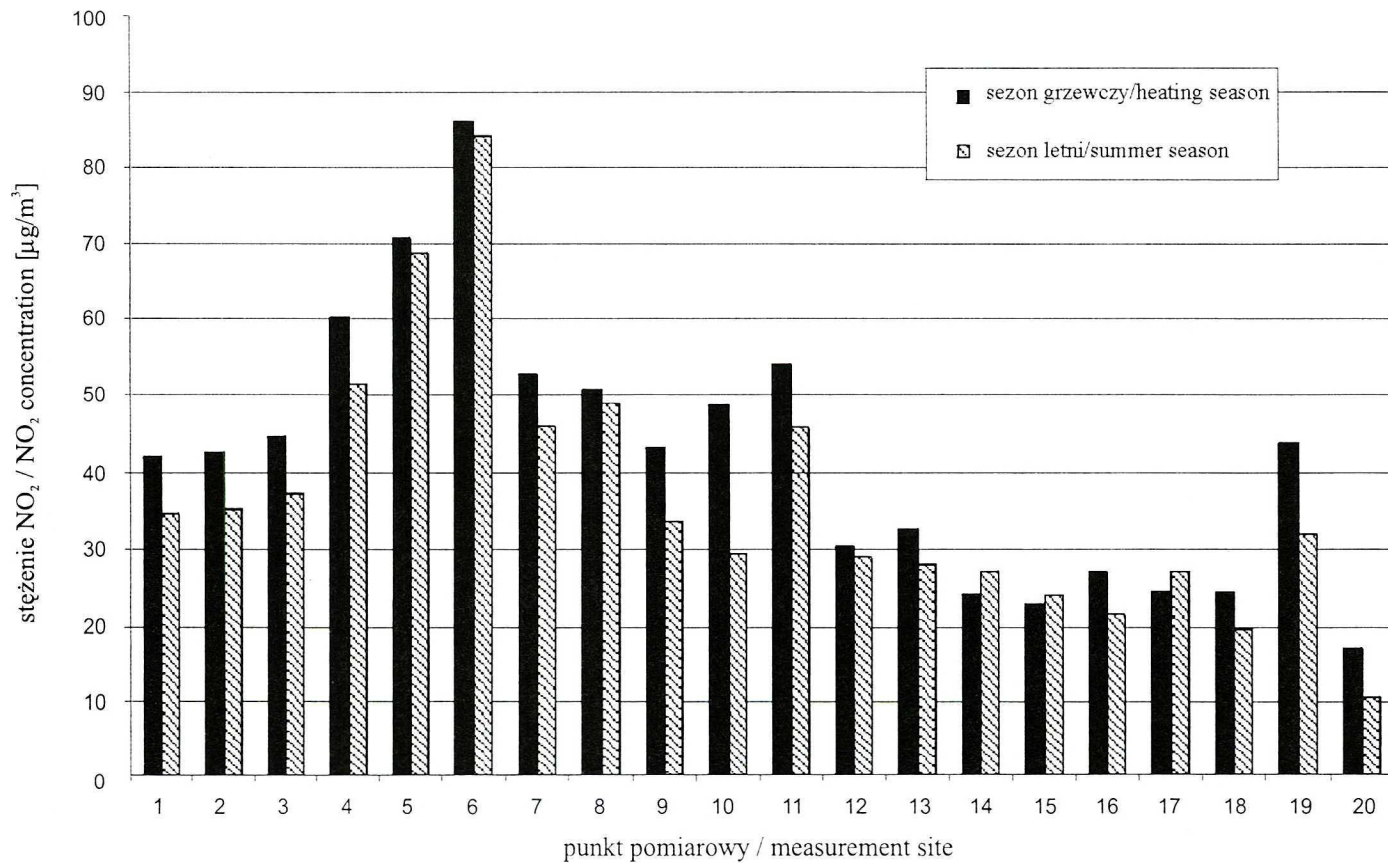
Jak wynika z analizy wariancji, jedynie dla kategorii „Centrum” nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o braku różnic wartości średnich (tab. 1). W pozostałych przypadkach należy przyjąć hipotezę alternatywną o występowaniu istotnych różnic wartości średniej pomiędzy punktami pomiarowymi w obrębie kategorii.

Dla kategorii „Kanion”, „Ulica” i „Osiedla” przeprowadzono porównanie średnich post hoc z zastosowaniem testu T Tukeya (tab. 2). Wartości prawdopodobieństwa większe od 0,05 świadczą, że dla odpowiadających im par punktów test T Tukeya nie wykazuje istotnych różnic wartości średniej.

Dla kategorii „Kanion” występuje istotne zróżnicowanie wartości średnich, przy czym punkt „Aleje” wyraźnie odbiega od pozostałych punktów. Niewielkie różnice pomiędzy wartościami średnich w poszczególnych punktach występują dla kategorii „Ulica”, a jeszcze mniejsze w obrębie kategorii „Osiedle”.

Aby sprawdzić, czy słuszne było w ogóle przyjęcie założenia o zróżnicowaniu punktów pomiarowych w oparciu o przynależność do jednej z czterech wymienionych kategorii, wykonano powtórnie porównanie średnich post hoc, tym razem przyjmując jako zmienną niezależną jedną z czterech kategorii, a jako zmienną zależną – średnio-





Rys. 3. Wartości średnie wyników pomiarów średnidobowego stężenia NO<sub>2</sub> w sezonie grzewczym i w sezonie letnim dla poszczególnych punktów pomiarowych  
Average value of 24-hour NO<sub>2</sub> concentration for each site in heating season and summer season

dobowe stężenie NO<sub>2</sub> (tab. 3). Test ten wykazał istotne zróżnicowanie średnich pomiędzy kategoriami, z wyjątkiem tworzących wspólną grupę kategorii „Centrum” i „Ulica”.

Tabela 1. Zestawienie efektów analizy wariancji  
Effects of analysis of variance

Lokalizacja punktu Location of site	df Efekt df Effect	MS Efekt MS Effect	df Błąd df Error	MS Błąd MS Error	wartość F F value	Poziom p p level	Wniosek Conclusion
„centrum” „downtown”	2	14,373	48	117,860	0,123	0,885	nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H <sub>0</sub> no reasons for rejection of H <sub>0</sub> hypothesis
„kanion” „canyon”	3	3898,178	60	277,662	14,039	0,000	hipoteza H <sub>0</sub> odrzucona H <sub>0</sub> hypothesis rejected
„ulica” „street”	3	634,040	60	182,375	3,477	0,021	hipoteza H <sub>0</sub> odrzucona H <sub>0</sub> hypothesis rejected
„osiedle” „residential area”	6	157,293	92	67,455	2,332	0,038	hipoteza H <sub>0</sub> odrzucona H <sub>0</sub> hypothesis rejected

Tabela 2. Porównania post hoc w obrębie poszczególnych kategorii.  
Wartości prawdopodobieństwa dla testu T Tukeya  
Post hoc comparison within each category. Probability value for T Tukey test

kategoria lokalizacji – „kanion” category of location – “canyon”							
Lokalizacja Location	Podwale	Dietla	Aleje	Lubicz			
Podwale		0,8845	0,0001	0,7138			
Dietla	0,8845		0,0439	0,0089			
Aleje	0,0001	0,0438		0,0002			
Lubicz	0,7138	0,0089	0,0001				
kategoria lokalizacji – „ulica” category of location – “street”							
Lokalizacja Location	Warszawska	Kijowska	Rondo Bronowickie	Bora- -Komorowskiego			
Warszawska		0,1637	0,2327	0,9998			
Kijowska	0,1637		0,9965	0,0699			
Rondo Bronowickie	0,2327	0,9965		0,1128			
Bora-Komorowskiego	0,9998	0,0699	0,11289				
kategoria lokalizacji – „osiedle” category of location – “residential area”							
Lokalizacja Location	Prądnik Biały	Dywizjonu 303	Prokocim	Kurdwa- nów	Ruczaj	Prądnik Czerwony	Wieliczka
Prądnik Biały		0,9999	0,8208	0,4182	0,5259	0,8441	0,1982
Dywizjonu 303	0,9999		0,7187	0,3127	0,4095	0,7474	0,0540
Prokocim Nowy	0,8208	0,7187		0,9951	0,9991	1,0000	0,9356
Kurdwanów	0,4183	0,3127	0,9951		0,9999	0,9928	0,9995
Ruczaj	0,5259	0,4096	0,9991	0,9999		0,9984	0,9969
Prądnik Czerwony	0,8441	0,7474	1,0000	0,9927	0,9984		0,9215
Wieliczka	0,1983	0,0540	0,9356	0,9995	0,9969	0,9215	



Tabela 3. Porównania post hoc pomiędzy kategoriami. Wartości prawdopodobieństwa dla testu T Tukeya  
 Post hoc comparison between categories. Probability value for T Tukey test

Kategoria lokalizacji Category of location	„centrum” „downtown”	„kanion” „canyon”	„ulica” „street”	„osiedle” „residential area”
„centrum” „downtown”		0,000008	0,284546	0,000016
„kanion” „canyon”	0,000008		0,000008	0,000008
„ulica” „street”	0,284565	0,000008		0,000008
„osiedle” „residential area”	0,000016	0,000008	0,000008	

W celu sprawdzenia, czy w ramach danej kategorii mierzone wartości średniodobowych stężeń  $\text{NO}_2$  są wzajemnie proporcjonalne, a więc, czy dla należących do niej punktów o zmienności stężeń w czasie decydują te same czynniki, zbadano korelacje pomiędzy wartościami stężeń dla punktów w poszczególnych kategoriach, obliczając współczynniki korelacji liniowej Pearsona (tab. 4).

Dla kategorii „Centrum” występuje bardzo silna dodatnia korelacja pomiędzy stężeniami w punktach nr 1 i 2 („Rynek” i „Wawel”). Dla punktu nr 3 („Rynek Podgórski”) zależność ta jest znacznie słabsza. Jak widać, pomimo porównywalnej wartości średniej, stężenia w poszczególne dni pomiarowe w Ryнку Podgórskim kształtują się nieco inaczej, niż w przypadku pozostałych dwóch punktów.

Dla kategorii „Kanyon” wartości dla wszystkich punktów, poza punktem nr 7 („Lubicz”) są ze sobą wysoko skorelowane. Jakkolwiek dla punktów tych występują istotne różnice pomiędzy wartościami średnich, to jednak wartości stężeń w poszczególne dni są proporcjonalne.

W obrębie kategorii „Ulica” i „Osiedla” występują pojedyncze przypadki korelacji pomiędzy punktami.

W celu porównania wyników uzyskiwanych metodą pasywną z pomiarami automatycznymi określono korelację pomiędzy wynikami pomiarów prowadzonych obydwojema metodami w te same dni w pokrywających się punktach na Alejach Krasińskich i w Ryнку. Stwierdzono bardzo silną dodatnią korelację pomiędzy obydwojema metodami. W przypadku pomiarów prowadzonych na Ryнку wartość współczynnika korelacji wynosi 0,93, a na Alejach 0,71.

## WNIOSKI

1. Pomiary prowadzone metodą spektrofotometryczną z pasywnym pobieraniem próbek wykazały występowanie istotnych różnic pomiędzy wartościami średniodobowych stężeń dwutlenku azotu w różnych miejscach na obszarze Krakowa w zależności od rodzaju zabudowy oraz odległości od tras komunikacyjnych.
2. Maksymalne wielkości stężeń  $\text{NO}_2$  zmierzone zostały przy ulicach o dużym natężeniu ruchu, charakteryzujących się cechami typowymi dla kanyonów ulicznych.

Tabela 4. Korelacje pomiędzy wynikami uzyskanymi w poszczególnych punktach pomiarowych (współczynniki korelacji Pearsona)

Correlations between results of measurements in different sites (Pearson correlation coefficients)

\* – współczynniki istotne z  $p < 0,05$  coefficients significant at  $p < 0,05$

kategoria lokalizacji – „centrum” category of location – “downtown”							
Lokalizacja Location	Rynek		Wawel			Rynek Podgórski	
Rynek	1,00		0,76*			0,22	
Wawel	0,76*		1,00			0,47	
Rynek Podgórski	0,22		0,47			1,00	
kategoria lokalizacji – „kanion” category of location – “canyon”							
Lokalizacja Location	Podwale		Dietla	Aleje		Lubicz	
Podwale	1,00		0,89*	0,83*		0,42	
Dietla	0,89*		1,00	0,85*		0,36	
Aleje	0,83*		0,85*	1,00		0,22	
Lubicz	0,42		0,36	0,22		1,00	
kategoria lokalizacji – „ulica” category of location – “street”							
Lokalizacja Location	Warszawska		Kijowska	Rondo Bronowickie		Bora-Komorowskiego	
Warszawska	1,00		0,35	0,16		0,75*	
Kijowska	0,35		1,00	0,77*		0,43	
Rondo Bronowickie	0,16		0,77*	1,00		0,43	
Bora-Komorowskiego	0,75*		0,43	0,43		1,00	
kategoria lokalizacji – „osiedle” category of location – “residential area”							
Lokalizacja Location	Prądnik Biały	Dywizjo- nu 303	Prokocim	Kurdwanów	Ruczaj	Prądnik Czerwony	Wieliczka
Prądnik Biały	1,00	0,58*	0,72*	0,48	0,09	0,76*	-0,22
Dywizjonu 303	0,58*	1,00	0,41	0,41	0,42	0,67*	0,59*
Prokocim	0,72*	0,41	1,00	0,54	-0,04	0,84*	-0,22
Kurdwanów	0,48	0,41	0,54	1,00	0,58*	0,35	0,19
Ruczaj	0,09	0,42	-0,04	0,58*	1,00	0,06	0,32
Prądnik Czerwony	0,76*	0,67*	0,84*	0,35	0,35	1,00	-0,12
Wieliczka	-0,22	0,59*	-0,22	0,19	0,19	-0,12	1,00

3. Dla punktów zlokalizowanych na obszarze osiedli mieszkaniowych w większej odległości od tras komunikacyjnych stężenia  $\text{NO}_2$  kształtują się na niskim poziomie.
4. Wyniki analizy statystycznej wskazują, że możliwe jest wnioskowanie o ogólnym poziomie „tła śródmiejskiego” stężeń  $\text{NO}_2$  na podstawie pomiarów prowadzonych w jednym z punktów zlokalizowanych na obszarze centrum miasta w odległości większej niż 50 m od ruchliwych tras komunikacyjnych.
5. Zaobserwować można tendencję do występowania na terenie Krakowa wyższych wartości średniodobowych stężeń  $\text{NO}_2$  w sezonie grzewczym w porównaniu z sezonem letnim.

6. Metoda spektrofotometryczna z pasywnym pobieraniem próbek pozwala uzyskiwać wyniki pomiarów średniodobowych stężeń  $\text{NO}_2$  porównywalne z wynikami metody chemiluminescencyjnej stosowanej przy pomiarach automatycznych. Może stanowić dobre uzupełnienie automatycznych pomiarów monitoringowych.

## LITERATURA

- [1] Ayers G.P., D. Keywood M., R. Gillett, P.C. Manins, H. Malfroy, T. Bardsley: *Validation of passive diffusion samplers for  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_2$* , Atmos. Environ., **20**, 3587–3592 (1998).
- [2] *Badania zawartości kwasu azotowego i tlenków azotu. Oznaczanie dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym (imisja) metodą spektrofotometryczną z pasywnym pobieraniem próbek*, PN-89 Z-04092/08.
- [3] Croxford B., A. Penn: *Siting considerations for urban pollution monitors*, Atmos. Environ., **6**, 1049–1057 (1998).
- [4] Ferm M., P. Svanberg: *Cost-efficient techniques for urban – and background measurements of  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_2$* , Atmos. Environ., **8**, 1377–1381 (1998).
- [5] Hargreaves P.R., A. Leidi, H. J. Grubb, M.T. Howe, M.A. Mugglestone: *Local and seasonal variations in atmospheric nitrogen dioxide levels at Rothamsted, UK, and relationships with meteorological conditions*, Atmos. Environ., **34**, 843–853 (2000).
- [6] Konstanty A.: *Optymalizacja procesu zbierania i przetwarzania informacji o skażeniu powietrza atmosferycznego w aglomeracjach miejskich*, Praca doktorska, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH, Kraków 1999.
- [7] Krochmal D., L. Górski: *Opracowanie metody oznaczania dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym z użyciem pasywnego pobierania próbek*, Chemia i Inżynieria Ekologiczna, **3**, 319–324 (1996).
- [8] Krochmal D., A. Kalina: *Pomiary stężenia dwutlenku siarki i dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym całej Polski przy użyciu metody pasywnej*, Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, **6**, 203–210 (1996).
- [9] Krupa S.V., A.H. Legge: *Passive sampling of ambient gaseous air pollutants: an assessment from an ecological perspective*, Environmental Pollution, **107**, 31–45 (2000).
- [10] Lebre E., D. Briggs: *Small area variations in ambient  $\text{NO}_2$  concentrations in four European areas*, Atmos. Environ., **34**, 177–185 (2000).
- [11] Mondal R., G. K. Sen, M. Chatterjee, B. K. Sen, S. Sen: *Ground-level concentration of nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ) at some traffic intersection points in Calcutta*, Atmos. Environ., **34**: 629–635 (2000).
- [12] Praca zbiorowa: *Raport o stanie środowiska naturalnego miasta Krakowa w latach 1994–1998, Stan aktualny i tendencje*, Biblioteka Monitoringu Środowiska. WIOŚ w Krakowie, Urząd Miasta Krakowa, Kraków 1999.
- [13] Praca zbiorowa: *Zasady projektowania elementów sieci monitoringu zanieczyszczenia atmosfery. Sieć nadzoru ogólnego nad jakością powietrza w miastach i aglomeracjach miejsko-przemysłowych*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, PIOŚ, Warszawa 1991.