

Magdalena Bieniek*

WPŁYW TLENKÓW AZOTU NA JAKOŚĆ POWIETRZA W POMIESZCZENIACH

Streszczenie

Z uwagi na fakt, że przeważająca większość ludzi spędza około 70% czasu w pomieszczeniach (budynkach mieszkalnych, pomieszczeniach pracy i nauki, obiektach handlowych), konieczna jest ich ochrona przed bezpośrednim wpływem zmiennych zewnętrznych warunków klimatycznych, a także zapewnienie poczucia względnego komfortu przebywania, warunkowane stworzeniem właściwego mikroklimatu pomieszczenia IAQ (*Indoor Air Quality*).

Dominujący wpływ na jakość powietrza wewnątrz budynków mają powstające w pomieszczeniach wentylowanych zanieczyszczenia. Ich źródłem są użytkownicy pomieszczeń oraz urządzenia stanowiące wyposażenie pomieszczeń, a także materiały budowlane użyte do wykończenia wnętrza (farby, lakiery, dywany, wykładziny syntetyczne). Odrębną grupę stanowią zanieczyszczenia wprowadzane do pomieszczeń wraz z powietrzem zewnętrznym, przy czym za zanieczyszczenie powietrza uważa się każdy jego składnik, który powoduje odstępstwa od klasycznego składu powietrza atmosferycznego. Do zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego zalicza się więc związki zawarte w spalinach, pyłki roślin, parę wodną, ale także jego naturalne składniki (O_2 , N_2 , CO_2), jeżeli ich udział w powietrzu zewnętrznym jest różny od określonego dla klasycznego składu powietrza.

Badania przeprowadzone przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (EPA) wykazały, że w powietrzu wewnętrznym stężenia wielu zanieczyszczeń mogą być kilka razy większe niż w powietrzu zewnętrznym. Obowiązujące w Polsce przepisy prawne nie poruszają problemu jakości powietrza wewnątrz pomieszczeń, dotyczą jedynie wymaganej ilości powietrza wentylacyjnego i dopuszczalnych wartości stężeń substancji zanieczyszczających. Bardziej szczegółowo opracowano normy stężeń zanieczyszczeń na stanowiskach pracy, w których wyszczególniono dopuszczalne wartości normatywne dla 352 substancji chemicznych i 17 rodzajów pyłów, podczas gdy w przepisach dotyczących pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi wzięto pod uwagę jedynie 35 substancji zanieczyszczających. Ustawodawca pominął wiele zanieczyszczeń, co do których obecności i negatywnego wpływu na użytkowników pomieszczeń mieszkalnych nie ma wątpliwości, jak np. dwutlenek azotu. Postanowiono więc przybliżyć tę problematykę. Podjęto badania w celu określenia wpływu tlenków azotu na jakość powietrza w pomieszczeniach. Ich wyniki zostały omówione w niniejszym artykule.

Impact of nitrogen oxides on the indoor air quality

Abstract

Due to the fact, that predominantly most people spend ca. 70% of time indoors (dwelling buildings, rooms for work and learning, trade objects), their protection is necessary against direct changing of external climatic conditions. And also assuring of feeling of relative comfort of habitation conditioned by creation of proper indoor microclimate IAQ (*Indoor Air Quality*). Pollution arising in ventilated rooms has predominant impact on the indoor air quality.

Its source are users of rooms as well as devices being equipment of rooms, and also building materials used to finish interior (paints, varnishes, carpets, synthetic facings). A separate group form the pollutants introduced to rooms together with an external air, and each component, which causes departures from classic composition of atmospheric air, is considered as a pollutant.

* Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie w Głównym Instytucie Górnictwa.

Therefore, compounds contained in fumes, pollens of plants, water vapor are classified to be atmospheric air pollutants, but also its natural components (O₂, N₂, CO₂), if their part in the external air differs from defined for classic composition of air. Researches conducted by U.S. Environmental Protection Agency (EPA) showed that concentrations of many pollutants in the indoor air could be few times higher than in the outdoor air. Legal regulations valid in Poland do not refer to the problem of indoor air quality, and concern required quantities of ventilating air and admissible values of polluting substances concentrations only. In more details there were developed standards of pollutants' concentrations at working posts, where admissible standardized values were specified for 352 chemical substances and 17 kinds of dusts. Whereas, only 35 polluting substances were taken into account in regulations related to rooms designed for permanent stay of people. Legislator skipped many contaminants, which presence and negative impact on users of habitable rooms is undoubted, e.g. nitrogen dioxide. Therefore, it was decided to study closer these problems and to conduct researches in this area. In this connection, researches were undertaken to define the nitrogen oxides' impact on the indoor air quality. Their results were discussed in the present article.

WPROWADZENIE

Na jakość powietrza wewnątrz budynku dominujący wpływ mają zanieczyszczenia powstające w pomieszczeniach wentylowanych (Namieśnik, Przyk, Zabiegała 1998; Nantka, Bieniek 2006). Źródłami zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego są użytkownicy przebywający w pomieszczeniach, nie mają one jednak znaczącego udziału w ogólnym bilansie zanieczyszczeń, oraz zanieczyszczenia wydzielające się w pomieszczeniach, pochodzące od maszyn i urządzeń biurowych oraz emitowane przez materiały budowlane i wykończeniowe, które mogą w znaczny sposób zwiększać stężenia substancji zanieczyszczających powietrze, np. formaldehyd.

Odrębną grupę stanowią zanieczyszczenia wprowadzane do pomieszczeń z powietrzem zewnętrznym, przy czym za zanieczyszczenie powietrza uważa się każdy jego składnik, który powoduje odstępstwa od klasycznego składu powietrza atmosferycznego. Do zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego zalicza się więc związki zawarte w spalinach, pyłki roślin, parę wodną, ale także naturalne składniki (O₂, N₂, CO₂), jeżeli ich udział w powietrzu zewnętrznym jest różny od klasycznego składu powietrza.

Badania przeprowadzone przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (EPA) wykazały, że w powietrzu wewnętrznym stężenia wielu zanieczyszczeń mogą być kilka razy większe niż w powietrzu zewnętrznym. W celu porównania tych wartości posłużono się tzw. ilorazem I/O (indoor/outdoor), określającym stosunek stężenia danego zanieczyszczenia w powietrzu wewnątrz pomieszczeń do jego stężenia w powietrzu zewnętrznym.

Obowiązujące w Polsce przepisy prawne nie dotyczą jakości powietrza wewnątrz pomieszczeń, a jedynie wymaganej ilości powietrza wentylacyjnego i dopuszczalnych wartości stężeń substancji zanieczyszczających. Również zdecydowanie bardziej szczegółowo opracowano normy stężeń zanieczyszczeń na stanowiskach pracy, w których wyszczególniono dopuszczalne wartości normatywne dla 352 substancji chemicznych i 17 rodzajów pyłów, podczas gdy w przepisach dotyczących pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi wzięto pod uwagę jedynie 35 substancji zanieczyszczających. Pominięto jednak wiele zanieczyszczeń, co do których obecności i negatywnego wpływu na użytkowników pomieszczeń mieszkalnych nie ma wątpliwości, jak np. dwutlenek azotu.

Dwutlenek azotu jest brunatnym gazem o ostrym zapachu, wykazującym dużą aktywność biologiczną, nawet przy małych stężeniach, niebezpiecznym ze względu na silne właściwości utleniające i dużą łatwość inicjowania reakcji chemicznych. Jest gazem niepalnym, natomiast tworzy mieszaniny wybuchowe z wodorem i amoniakiem.

Tlenki azotu, ze względu na dużą toksyczność oraz synergiczne działanie z innymi zanieczyszczeniami powietrza, stanowią zagrożenie dla zdrowia człowieka. Ich toksyczne działanie polega na silnie utleniającym i żrącym działaniu kwasów powstających w reakcji z wodą (Wojciechowska, Wojciechowski 1991). Dwutlenek azotu działa drażniąco na płuca, wywołując ich obrzęk, a także, w mniejszym stopniu, na górne drogi oddechowe i oczy. Oprócz działania drażniącego może powodować obniżenie ciśnienia krwi, rozszerzenie naczyń krwionośnych i zmiany zwyrodnieniowe mięśnia sercowego. Działa również narkotycznie na układ nerwowy.

W stężeniach notowanych w pomieszczeniach mieszkalnych prowadzić może do wzrostu liczby infekcji układu oddechowego i ataków astmy. Zweryfikowane najmniejsze stężenie dla krótkotrwałej ekspozycji, przy którym występują objawy działania dwutlenku azotu zaobserwowane w badaniach na zwierzętach i ludziach, przyjęto stężenie równe $940 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,5 ppm). Dopuszczalną granicę dla ekspozycji jednogodzinnej ustalono na $190\text{--}320 \mu\text{g}/\text{m}^3$, przy czym nie powinna ona być przekraczana częściej niż raz w miesiącu. Godzinne lub krótsze ekspozycje na stężenie dwutlenku azotu wynoszące $47\text{--}170 \text{mg}/\text{m}^3$ mogą spowodować zapalenie płuc i oskrzeli, podczas gdy przy stężeniach $560\text{--}940 \text{mg}/\text{m}^3$ może wystąpić obrzęk płuc lub uduszenie się (Biersteker 1982).

Szacuje się, że roczna globalna emisja tlenku i dwutlenku azotu, powstająca w wyniku naturalnych zjawisk i procesów, wynosi 1100 mln ton i znacznie przewyższa emisję wynikającą z działalności człowieka. Największym antropogenicznym źródłem emisji tlenków azotu są procesy spalania paliw. Do niedawna w głównej mierze dotyczyło to energetyki, obecnie jednak dominujący jest udział sektora komunikacyjnego.

1. STĘŻENIE DWUTLENKU AZOTU W ATMOSFERZE I W POMIESZCZENIACH

Dopuszczalne stężenia dwutlenku azotu obowiązujące w naszym kraju przedstawiono w tablicy 1 (Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska... 1998; Rozporządzenie Ministra Pracy... 1998). Z uwagi na zakres opracowania pominięto dopuszczalne stężenia dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym na obszarach parków narodowych, leśnych kompleksów promocyjnych i obszarach ochrony uzdrowiskowej.

Stężenie dwutlenku azotu w pomieszczeniach mieszkalnych nie jest normowane, ale do jego oceny można posłużyć się klasyfikacją zamieszczoną w tablicy 2 (Lambert i in. 1992).

Naturalne stężenia dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym mieszczą się zazwyczaj w przedziale od $0,4$ do $9,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,2–5 ppb). Średnioroczne stężenia dwutlenku azotu w powietrzu w miastach, na całym świecie, wahają się w granicach

20–90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10–50 ppb). Maksymalne wartości średniodobowe w tym samym miejscu wykonywania pomiarów mogą być nawet 5 razy większe, a maksymalne stężenia 1-godzinne nawet 10 razy większe od wartości średniorocznych. W odróżnieniu od wielu innych zanieczyszczeń, stężenia dwutlenku azotu zależą nie tylko od wielkości emisji i warunków rozprzestrzeniania w atmosferze, ale również od reakcji fotochemicznych, a więc od pory dnia i roku (Kozak 1991).

Tablica 1. Dopuszczalne stężenia dwutlenku azotu w powietrzu obowiązujące w Polsce

Rodzaj normy	Wartość	Uwagi
Powietrze atmosferyczne, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
D ₃₀	500	jako 99,8 percentyl obliczony ze stężeń odniesionych do 30 minut, występujących w roku kalendarzowym
D ₂₄	150	jako 99,8 percentyl obliczony ze stężeń odniesionych do 24 godzin, występujących w roku kalendarzowym
D _a	40	jako stężenie średnie w roku kalendarzowym
Środowisko pracy, mg/m^3		
NDS	5	tlenki azotu ogółem; średnia ważona w ciągu 8-godzinnego dobowego i 42-godzinnego tygodniowego wymiaru pracy
NDSCh	10	tlenki azotu ogółem; wartość średnia nie dłużej niż 30 minut w czasie zmiany roboczej

Tablica 2. Stężenia dwutlenku azotu w pomieszczeniach mieszkalnych

Klasa stężenia	Wartość	
	ppb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Niskie	<25	<47
Średnie	25–50	47–95
Wysokie	≥ 50	≥ 95

Najważniejszym źródłem emisji dwutlenku azotu w pomieszczeniach, jak zauważono wcześniej, są kuchnie gazowe. Przy braku okapów kuchennych tlenki azotu powstające w czasie ich pracy gromadzą się w kuchni, po czym są z niej stopniowo usuwane przez wentylację lub wymianę powietrza z powietrzem z innych pomieszczeń. W skrajnych przypadkach, różnice notowane między stężeniami w kuchni i w innych pomieszczeniach wynosiły nawet 300%. W typowych warunkach, badania wykazywały bardziej wyrównane stężenia w poszczególnych pomieszczeniach (Biersteker 1982). O znaczeniu kuchni gazowych jako źródeł emisji dwutlenku azotu mogą świadczyć również rezultaty badań, w których analizowano stężenia w pomieszczeniach wyposażonych w te urządzenia i w kuchniach z piecami elektrycznymi. Wybrane wyniki przedstawiono w tablicy 3 (Melia i in. 1978; Quackenboss i in. 1986):

Tablica 3. Zestawienie wartości stężeń dwutlenku azotu w kuchniach wyposażonych w piece gazowe i elektryczne

Typ kuchni	Stężenie maksymalne $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Stężenie średnie $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Stosunek stężeń gaz/el*	Iloraz I/O	Uwagi
Gazowa	141,61	67,37	8,2	13,0	sezon
elektryczna	16,80	8,24		0,7	zimowy
Gazowa	148,2	–	7,6	–	sezon
elektryczna	19,5	–		–	zimowy
Gazowa	–	29,6	2,4	2,4	sezon
elektryczna	–	12,3		0,8	letni
Gazowa	–	50,7	5,3	3,2	sezon
elektryczna	–	9,6		0,6	zimowy

* Stosunek stężeń NO_2 : w pomieszczeniu z piecem gazowym i w pomieszczeniu z piecem elektrycznym.

Warto zwrócić uwagę na dwa ostatnie przypadki, pochodzące z tego samego obiektu. W sezonie letnim różnice między stężeniami w porównywanych pomieszczeniach były mniejsze niż w sezonie zimowym. Można to tłumaczyć ograniczeniem wentylacji w miesiącach chłodniejszych, w efekcie czego do pomieszczeń napływało mniej powietrza zewnętrznego, co z kolei skutkowało zmniejszeniem stężenia w kuchni wyposażonej w piec elektryczny. Równocześnie, w takiej sytuacji z pomieszczeń jest usuwana mniejsza ilość powietrza zanieczyszczonego produktami spalania gazu, a to powoduje wzrost stężenia dwutlenku azotu w pomieszczeniu wyposażonym w kuchnię gazową.

Zwykle dwutlenek azotu napływający z powietrzem wentylacyjnym ma istotny wpływ na stężenie wewnętrzne, a jego stężenie w pomieszczeniach mieszkalnych zazwyczaj zmienia się nadejście za zmianami stężenia tego zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym (De Neavers 1995; Cyrus i in. 2000; Oparczyk 2001). W przeważającej większości (bo w ok. 90%) badanych obiektów zaobserwowano, że w przypadku braku źródeł emisji NO_2 w pomieszczeniu, jego stężenie jest mniejsze od stężenia w powietrzu zewnętrznym, natomiast gdy źródła takie występują, stężenia wewnętrzne mogą być wielokrotnie większe od stężeń zewnętrznych (Wilkes, Koontz, Bilick 1996; Dimitroulopoulou i in. 2001; Kasina i in. 1988; Lee, Yanagishawa, Spengler 1995). Przyczyną tego zjawiska jest rozkład, jakiemu dwutlenek azotu ulega w pomieszczeniach. Badania czasu połowicznego zaniku, spowodowanego jedynie przemianami dwutlenku azotu, wykazały wartości 0,5–1,2 h, w zależności od wilgotności powietrza w pomieszczeniu, jego wyposażenia i aktywności użytkowników.

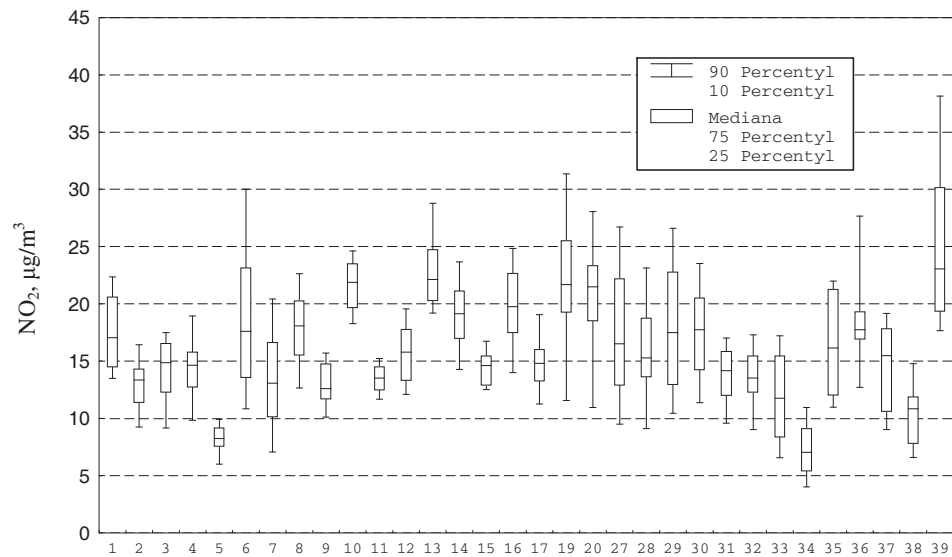
Wśród rozwiązań mogących zmniejszyć emisję dwutlenku azotu w pomieszczeniach, wymienia się stosowanie palników o specjalnej konstrukcji, zapewniającej znaczny nadmiar tlenu i stabilizację płomienia oraz stosowanie wkładek ognioodpornych zmniejszających temperaturę płomienia (Skłodowski, Zieleniewski 1991). To ostatnie rozwiązanie powoduje jednak równocześnie wzrost emisji tlenku węgla, więc korzyści są raczej wątpliwe. Właściwa jest z pewnością dbałość o stan techniczny przyborów gazowych i instalacji wentylacyjnej oraz stosowanie, tam gdzie jest to możliwe, okapów i wentylatorów wyciągowych.

2. OPIS OBIEKTÓW BADAŃ

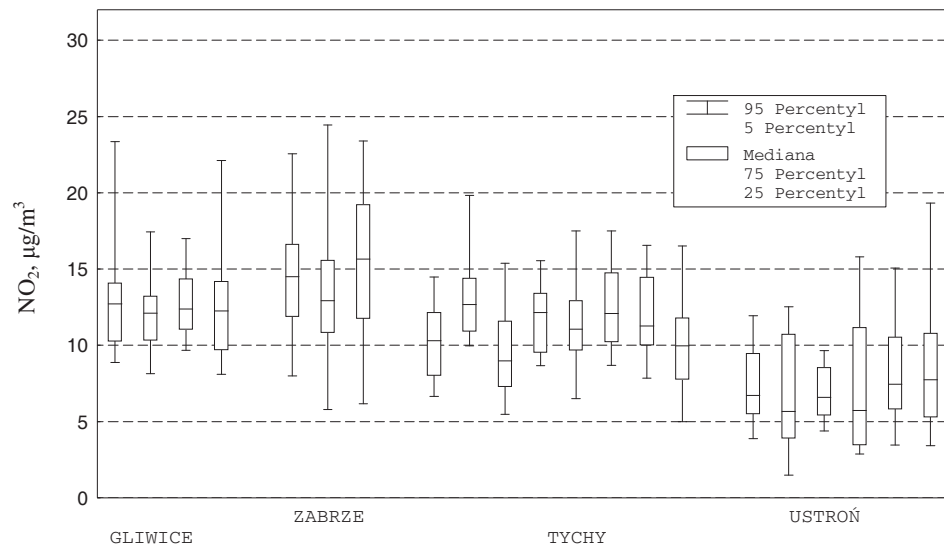
W grupie obiektów przyjętych do badań uwzględniono zróżnicowane pomieszczenia. Były to pomieszczenia wyposażone w źródła emisji analizowanych zanieczyszczeń, jak i ich pozbawione. Badania wykonywano w lokalach wchodzących w skład zabudowy indywidualnej i wielorodzinnej, niskiej i wysokiej, mieszczące się w centrach miast, jak i na terenach rekreacyjnych.

2.1. Stężenie dwutlenku azotu w badanych obiektach

Pomiary stężenia dwutlenku azotu przeprowadzono w 39 obiektach znajdujących się na terenie Górnego Śląska. Zakres zmierzonych stężeń wyniósł 3–40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ze względu na czas pobierania próbek powietrza, uzyskane wyniki należy traktować jako równoważne stężeniom średniobowym (24-godzinnym). W formie graficznej zestawiono podstawowe parametry statystyczne wyników pomiarów stężenia dwutlenku azotu w poszczególnych obiektach.



Rys. 1. Zakresy stężeń dwutlenku azotu w powietrzu badanych obiektów: 1–39 numery obiektów
Fig. 1. Ranges of nitrogen dioxide concentrations in the air of studied objects: 1–39 object numbers



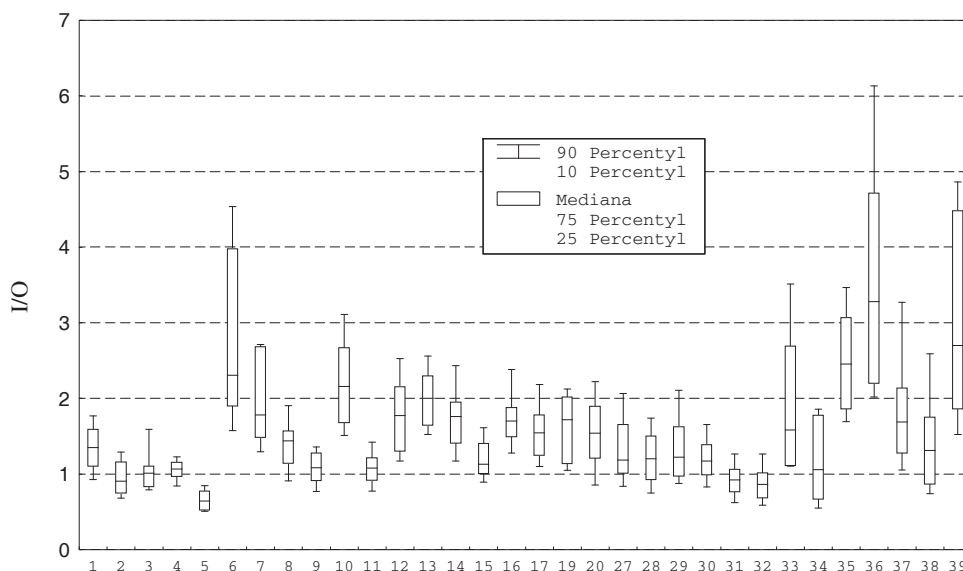
Rys. 2. Stężenia dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym
Fig. 2. Concentration of nitrogen dioxide in the atmospheric air

Maksymalne stężenie dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym wyniosło $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i zostało zmierzone w Zabrze. Najmniejsze stężenie stwierdzono w Ustroniu – $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W sezonie grzewczym, średnie stężenia dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym były większe niż w okresie letnim o 10–35%.

Uzyskane wartości wykazują dużą zgodność z danymi publikowanymi przez Państwową Inspekcję Sanitarno-Epidemiologiczną.

2.2. Wpływ użytkowania przyborów gazowych na wartości stężenia dwutlenku azotu w powietrzu wewnętrznym

Wpływ użytkowników pomieszczeń na stężenia zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym jest znikomy, dlatego szczególnie istotna jest analiza wpływu eksploatacji źródeł emisji zanieczyszczeń na stężenia w powietrzu wewnętrznym. W związku z powyższym, dokonano porównania stężenia dwutlenku azotu w badanych obiektach (I) i powietrzu atmosferycznym (O) (rys. 3).



Rys. 3. Iloraz I/O dla dwutlenku azotu: 1–39 numery obiektów

Fig. 3. Quotient I/O for nitrogen dioxide: 1–39 object numbers

We wszystkich badanych obiektach wyposażonych w źródła emisji, średnie stężenie dwutlenku azotu było większe niż stężenie w powietrzu atmosferycznym. Jest to szczególnie widoczne w pomieszczeniach wyposażonych w kuchnie gazowe, znajdujących się na terenie o względnie małym zanieczyszczeniu powietrza (obiekty 6, 33, 35, 36, 37, 39 zlokalizowane w Ustroniu). W tych obiektach, we wszystkich wykonanych pomiarach uzyskano wartości ilorazu $I/O \geq 1$. Średnie wartości ilorazu I/O w obiektach znajdujących się w poszczególnych miejscowościach wynosiły:

- Gliwice – 1,3,
- Tychy – 1,7,
- Ustroń – 2,7,
- Zabrze – 1,3.

Na podstawie powyższych danych można stwierdzić, że istotny wpływ atmosferycznego dwutlenku azotu na stężenie w pomieszczeniu przejawia się przede wszystkim na terenach dużych miast. Na obszarach pozbawionych znaczących źródeł emisji tlenków azotu do atmosfery, o jego stężeniu w pomieszczeniach decydują prowadzone we wnętrzach procesy spalania.

Porównanie stężeń dwutlenku azotu w powietrzu wewnętrznym i zewnętrznym wskazało, że w obiektach pozbawionych źródeł emisji (obiekty 2, 3, 5, 32) średnie stężenia wewnętrzne były mniejsze lub równe stężeniom atmosferycznym. Przyczyną tego zjawiska jest wspomniany wcześniej rozkład dwutlenku azotu, zachodzący w powietrzu wewnętrznym. Na podstawie analizy przypadków występowania w wymienionych pomieszczeniach stężeń przewyższających wartości stężeń zewnętrznych stwierdzono, że dotyczyło to wyłącznie okresu letniego. Jedną z przyczyn z pewnością były mniejsze stężenia atmosferyczne, ale jak wykazała analiza wartości stężeń utrzymujących się w obu sezonach, nie jedyną. W przypadku jedenastu pomieszczeń, dla których dysponowano danymi obejmującymi okres całego roku, średnie stężenia dwutlenku azotu w okresie letnim były większe niż w okresie zimowym o 5–20%. Zmniejszenie modułu napędowego wentylacji grawitacyjnej, występujące przy podwyższonej temperaturze zewnętrznej, może skutkować zmniejszeniem ogólnej wydajności układu wentylacyjnego, a tym samym wzrostem stężenia zanieczyszczeń.

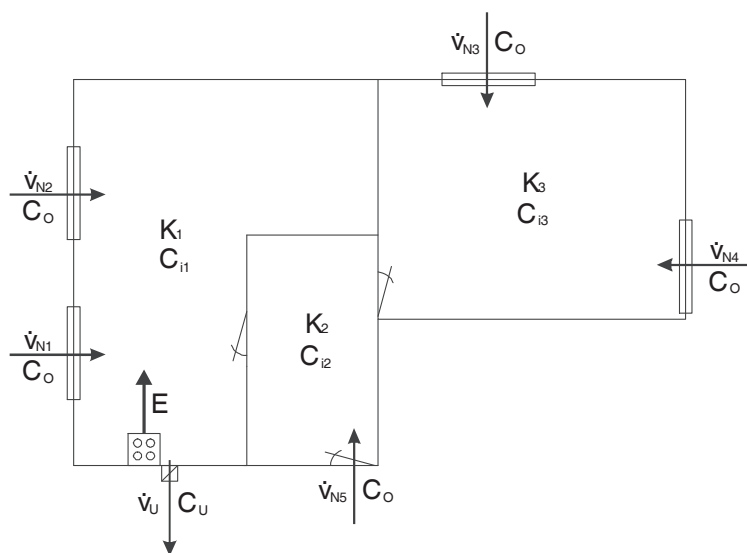
W celu zbadania rozkładu stężeń zanieczyszczeń w obrębie lokalu mieszkalnego, porównano stężenia dwutlenku azotu panujące w poszczególnych pomieszczeniach. W pomieszczeniach, w których znajdowały się źródła emisji dwutlenku azotu stwierdzono występowanie stężeń większych, przeciętnie o 10–40%, w porównaniu z pomieszczeniami pozbawionymi takich źródeł. W obrębie jednego lokalu mieszkalnego, w izbach, w których nie występowały źródła emisji, stężenia były porównywalne, a różnica między nimi nie przekraczała 10%.

Stężenia dwutlenku azotu w kuchniach i bezokiennych łazienkach wyposażonych w grzejniki wody przepływowej, znajdujących się w tym samym lokalu mieszkalnym były bardzo zbliżone, a różnica między nimi również nie przekraczała 10%.

Biorąc pod uwagę udział kubatury kuchni i łazienek w ogólnej kubaturze lokali mieszkalnych oraz zależności opisane powyżej, można przyjąć, że stężenia dwutlenku azotu notowane w izbach wyposażonych w źródła jego emisji przekraczają wartość uśrednioną dla całego lokalu mieszkalnego o około 15–20%. Uwzględniając czułość metod analitycznych można wobec tego założyć, że stężenie dwutlenku azotu mierzone w jednym z pomieszczeń stanowi uśrednioną wartość dla całego lokalu mieszkalnego.

Na podstawie wyników pomiarów można dokonać oceny wymiany powietrza (wydajności wentylacji) w badanych budynkach na podstawie modelu obliczeniowego. Do obliczeń przyjęto model bazujący na bilansie masy zanieczyszczenia w pomieszczeniu (Oparczyk 2002). W modelu tym uwzględniono napływ zanieczyszczenia z powietrzem zewnętrznym, usuwanie go wraz z powietrzem wentylacyjnym, występowanie źródeł emisji oraz rozkład zanieczyszczenia w pomieszczeniu.

Badania wykonano dla mieszkania według załączonego rzutu (rys. 4), znajdującego się na terenie Gliwic, na I piętrze dwukondygnacyjnego budynku. Źródłem emisji była kuchnia gazowa. Lokal był wyposażony w wentylację grawitacyjną.



Rys. 4. Rzut mieszkania modelowego

Fig. 4. Projection of model flat

Model obliczeniowy wykorzystano do oceny wydajności układów wentylacyjnych w wybranych obiektach badań. Do obliczeń zakwalifikowano jedynie te obiekty, dla których dysponowano kompletem niezbędnych danych, i w których jedynym źródłem emisji dwutlenku azotu była kuchnia gazowa. Mając na uwadze ograniczenia wynikające z dokładności modelu, wyznaczono jedynie średnią krotność wymiany powietrza w mieszkaniach, ekstrema i odchylenie standardowe uzyskanych wartości. Wyniki przedstawiono w tabelicy 4.

Tabela 4. Liczba wymian powietrza w badanych obiektach, wyznaczona na podstawie badań modelowych

Numer obiektu badań	Kubatura, m ³	Wymiana, h ⁻¹		
		średnia	minimum	maksimum
1	145	0,31	0,17	0,56
5	40	1,30	0,47	2,23
8	168	0,13	0,08	0,23
9	150	0,36	0,17	0,59
10	170	0,21	0,11	0,45
12	155	0,14	0,06	0,33
14	160	0,30	0,20	0,54
17	155	0,49	0,25	0,76
71	124	0,41	0,14	0,76

W mieszkaniach, w których była eksploatowana kuchnia gazowa, wymagana wydajność wentylacji jest określana nie przez krotność wymiany powietrza, ale przez wartość strumieni powietrza wentylacyjnego usuwanego z poszczególnych pomieszczeń. Biorąc pod uwagę kubaturę mieszkań, rodzaje pomieszczeń wchodzących w ich skład i wyposażenie w kuchnie gazowe, obliczono wartości strumieni powietrza usuwanego z obiektów w czasie badań i porównano z wymaganiami zawartymi w normie PN-83/B-03430, co przedstawiono w tabelicy 5.

Tablica 5. Porównanie obliczonych wydajności układów wentylacyjnych w badanych obiektach z normatywami

Numer obiektu badań	Wartość strumienia powietrza wentylacyjnego, m ³ /h			
	obliczona			minimalna według PN-83/B-03430
	średnia	minimum	maksimum	
1	45	24	81	150
5	52	19	89	40
8	23	14	39	120
9	54	25	89	120
10	36	18	77	150
12	21	9	51	120
14	48	33	86	120
17	76	39	118	150
71	51	18	94	85

3. WYNIKI ANALIZ WYDAJNOŚCI WENTYLACJI GRAWITACYJNEJ W BADANYCH OBIEKTACH

Wyznaczona średnia wymiana wynosiła 0,13–0,49 h⁻¹, a maksymalna wyliczona wymiana zaledwie 0,75 h⁻¹, co przy wymaganiach wynoszących 1,0 h⁻¹ było niewystarczające do prawidłowego wentylowania pomieszczeń.

Porównanie obliczonych wartości strumieni powietrza wentylacyjnego w badanych obiektach z wymaganiami zawartymi w obowiązujących w Polsce przepisach wykazało, że na dziewięć z nich, tylko w jednym średnia wartość strumienia powietrza przewyższała wartości podane w normie. W pozostałych wahały się od 18 do 73% od wartości podanej w normie.

Zaprezentowane wyniki są potwierdzeniem tezy, że system wentylacji grawitacyjnej, powszechnie stosowany w budownictwie mieszkaniowym, nie zapewnia dostarczania do pomieszczeń wymaganych przepisami strumieni powietrza wentylacyjnego. Okresy pracy charakteryzujące się wydajnością nominalną lub większą są co najwyżej sporadyczne.

3.1. Analiza występowania przekroczeń stężeń dopuszczalnych przez zmierzone wartości

Spśród analizowanych zanieczyszczeń, jedynie stężenie dwutlenku azotu w pomieszczeniach mieszkalnych i przeznaczonych na pobyt ludzi nie jest normowane. Ponieważ czas uśredniania próbek wynosił siedem dni, dlatego uzyskane wyniki porównywano z najmniejszą, określoną w przepisach, wartością dopuszczalną stężenia NO₂ dla powietrza atmosferycznego, odniesioną do 24 godzin. Stężenie to wynosi 50 ug/m³ i obowiązuje na obszarach parków narodowych. Jest zbliżone do wartości granicznej stężenia w pomieszczeniach określanego jako małe (tabl. 1). W analogiczny sposób dokonano porównania obliczonych wartości średnich, z odnoszącą się do okresu roku dopuszczalną wartością stężenia NO₂ w powietrzu na obszarach parków narodowych, wynoszącą 20 ug/m³. W tablicy 6 przedstawiono porównanie zmierzonych stężeń dwutlenku azotu ze stężeniami dopuszczalnymi.

Tablica 6. Porównanie stężeń dwutlenku azotu oznaczonych w obiektach ze stężeniami dopuszczalnymi

Numer obiektu badań	Porównanie wartości stężeń odniesionych do 24 godzin, % $\frac{S}{D_{24}}100\%$		Porównanie wartości stężeń średnich w roku kalendarzowym, % $\frac{\bar{S}}{D_a}100\%$
	wartość minimalna	wartość maksymalna	
1	18	55	88
2	14	37	65
3	13	41	71
4	17	47	73
5	7	24	41
6	13	65	95
7	12	43	68
8	24	55	90
9	13	32	64
10	32	51	108
11	22	38	68
12	23	42	78
13	34	60	114
14	26	53	95
15	22	35	72
16	26	55	100
17	22	43	74
19	20	63	109
20	11	59	101
27	13	66	87
28	14	61	80
29	14	69	90
30	18	58	89
31	11	39	69
32	13	38	67
33	13	37	60
34	7	26	37
35	18	47	81
36	21	64	94
37	17	39	71
38	12	30	52
39	19	80	126

Z tablicy wynika, że w żadnym przypadku nie nastąpiło przekroczenie D_{24} . Warunek, aby średnioroczne stężenia dwutlenku azotu w pomieszczeniach spełniały normę obowiązującą dla parków narodowych, nie dotyczył sześciu badanych obiektów.

Dopuszczalne stężenie dwutlenku azotu w powietrzu atmosferycznym w odniesieniu do 24 godzin, obowiązujące na obszarze kraju, wynosi $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, zaś w odniesieniu do roku – $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W żadnym przypadku mierzone stężenie w powietrzu atmosferycznym nie przekroczyło wartości dopuszczalnej.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników, sformułowano następujące wnioski:

- W powszechnym budownictwie wielorodzinnym wyposażenie mieszkań w przybory (kuchenki i piecyki) gazowe jest jednym z powodów nadmiernego zanieczyszczenia w nich powietrza.
- Wentylacja grawitacyjna, powszechnie stosowana w budownictwie wielorodzinnym, zwykle nie spełnia żadnych wymagań, co do zapewnienia odpowiednich normatywnych strumieni powietrza wentylacyjnego. Przy stosowaniu wentylacji grawitacyjnej średnia liczba wymian powietrza w badanych obiektach wyniosła około $0,4 \text{ h}^{-1}$, podczas gdy jest wymagana 1 h^{-1} .
- Procesy spalania, prowadzone w pomieszczeniach, współdecydują o stężeniu dwutlenku azotu w powietrzu wewnętrznym na obszarach pozbawionych znaczących źródeł emisji tlenków azotu do atmosfery. Na terenach zurbanizowanych na stężenie NO_2 w pomieszczeniu wpływa głównie NO_2 pochodzenia atmosferycznego.
- We wszystkich pomieszczeniach wyposażonych w źródła emisji dwutlenku azotu średnie stężenia tego zanieczyszczenia były większe niż w powietrzu atmosferycznym. W obiektach pozbawionych źródeł emisji średnie stężenia dwutlenku azotu były mniejsze lub równe stężeniom atmosferycznym.
- Stężenia dwutlenku azotu w pomieszczeniach, w których znajdowały się źródła emisji: kuchnie gazowe i grzejniki wody przepływowej, były większe o 10–40% niż w pomieszczeniach pozbawionych takich źródeł. Zmierzone wartości stężenia można określić jako małe.
- Stężenie dwutlenku azotu mierzone w jednym z pomieszczeń z dużym przybliżeniem można uznać jako wartość średnią dla całego lokalu mieszkalnego.

Literatura

1. Biersteker K. (1982): Indoor-Outdoor Air Quality Relationship. A Critical Review – Discussion. *Journal of the Air Pollution Control Association* Vol. 9, No. 33, s. 909–913.
2. Cyrus J., Heinrich J., Richter K., Wolke G., Wichmann H. (2000): Sources and concentrations of indoor nitrogen dioxide in Hamburg and Erfurt. *The Science of the Total Environment* No. 250, s. 51–62.
3. De Neavers N. (1995): *Air Pollution Control Engineering*. New York, McGraw-Hill.
4. Dimitroulopoulou C., Ashmore M., Byrne M., Kinnersley R. (2001): Modelling of indoor exposure to nitrogen dioxide in the UK. *Atmospheric Environment* No. 35, s. 269–279.
5. Kasina S., Krzyżanowska J., Rapacz J., Sękalski S. (1988): Zróżnicowanie stężeń dwutlenku siarki oraz innych zanieczyszczeń w powietrzu w mieszkaniach i przestrzeni otwartej. *Ochrona Powietrza* nr 5, s. 111–113.
6. Kozak Z. (1991): Zmienność stężeń tlenków azotu w powietrzu atmosferycznym. *Ochrona Powietrza* nr 3, s. 60–63.
7. Lambert W.E., Samet J.M., Stidley C.A., Spengler J.D. (1992): Classification of Residential Exposure to Nitrogen Dioxide. *Atmospheric Environment* Vol. 26A, No. 12, s. 2185–2192.
8. Lee K., Yanagishawa Y., Spengler J. (1995): Classification of house characteristics based on indoor nitrogen dioxide concentrations. *Environment International* Vol. 21 No. 3, s. 277–282.

9. Melia R., Florey C., Darby S., Palmes E., Goldstein B. (1978): Differences in NO₂ levels in kitchens with gas or electric cookers. *Atmospheric Environment* Vol. 12, s. 1379–1381.
10. Namieśnik J., Przyk E., Zabiegała B. (1998): Charakterystyka i zastosowanie dozymetrów pasywnych do kontroli jakości mediów gazowych. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* T. 5, nr 11, s. 1033–1043.
11. Nantka M., Bieniek M. (2006): Predykcja przepływów i zanieczyszczeń powietrza w budynkach z wentylacją naturalną. IV Symposium Architektura-Technika-Zdrowie. Gliwice, Politechnika Śląska, październik 2006 r.
12. Oparczyk G. (2001): Pomiary stężenia dwutlenku azotu w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych i otaczającej atmosferze z zastosowaniem pasywnej metody poboru próbek. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów* T. 35, nr 3, s. 87–93.
13. Oparczyk G. (2002): Badania zanieczyszczeń atmosfery wewnętrznej w pomieszczeniach mieszkalnych i biurowych. Gliwice, Politechnika Śląska (Praca doktorska).
14. Quackenboss J.J., Spengler J.D., Kanarek M.S., Letz R., Duffy C.P. (1986): Personal Exposure to Nitrogen Dioxide: Relationship to Indoor/Outdoor Air Quality and Activity Patterns. *Environmental Science & Technology* Vol. 20, No. 8, s. 775–783.
15. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 28 kwietnia 1998 r. w sprawie dopuszczalnych wartości stężeń substancji zanieczyszczających w powietrzu. *Dziennik Ustaw* Nr 55, poz. 355.
16. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 17 czerwca 1998 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *Dziennik Ustaw* Nr 79, poz. 513.
17. Skłodowski L., Zieleniewski R. (1991): Zmniejszenie emisji tlenków azotu z gazowych urządzeń domowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* nr 12, s. 281–283.
18. Wilkes C.R., Koontz M.D., Bilick I.H. (1996): Analysis of Sampling Strategies for Estimating Annual Average Indoor NO₂ Concentrations in Residences with Gas Ranges. *The Journal of the Air & Waste Management Association* No. 46, s. 853–860.
19. Wojciechowska A., Wojciechowski T. (1991): Motoryzacyjne zanieczyszczenia środowiska. *Skrypt Uczelniany* nr 5, Bielsko-Biała.
20. www.epa.gov/iaq/pubs/insidest.html

Recenzent: prof. dr hab. inż. Marian B. Nantka