

Ryszard Miller

Badania emisji zanieczyszczeń z kuchenek gazowych

Wzrost zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego ukierunkował badania głównie na dziedziny aktywności człowieka związane z jego działalnością przemysłową, a przeciętny człowiek spędza przeciętnie około 70% swojego życia w pomieszczeniu mieszkalnym [1,2]. Oczywiście jest, że poziom zanieczyszczeń wewnątrz mieszkania jest większy od poziomu zanieczyszczeń na zewnątrz pomieszczeń mieszkalnych w bezpośrednim ich sąsiedztwie, ponieważ dodają się zanieczyszczenia pochodzące z źródeł wewnętrznych, np. stężenia tlenków azotu w pomieszczeniu mieszkalnym są średnio 1,6-krotnie wyższe [3], a stężenie formaldehydu może kilkaset razy przekraczać stężenia dopuszczalne [4]. Jednym z typowych źródeł zanieczyszczeń w mieszkaniach są kucharki gazowe. W literaturze spotkać można szereg doniesień o wielkości emisji zanieczyszczeń z kuchni gazowej i ich wpływie na zanieczyszczenie powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych [5-7]. Z danych literaturowych wynika, że wartości stężeń zanieczyszczeń są wysokie, pomimo niewłaściwej (zdaniem autora) przyjętej metodyki ich obliczania, zaniżającej wartości stężeń i emisji zanieczyszczeń.

Wykonywane dotychczas badania emisji substancji toksycznych z domowego sprzętu grzewczego opalanego paliwem gazowym i ciekłym, w ramach badań atestacyjnych kucharki, prowadzone były na podstawie polskiej normy tylko dla stanów ustalonych cieplnie i tylko w odniesieniu do tlenku węgla. Sytuacja ta początkowo wynikała z nieuświadomienia, jakie zagrożenie dla zdrowia człowieka stanowią związki powstające w procesie spalania, a później była już tylko akceptowana przez producentów gazowego sprzętu grzewczego jak i Instytut Górnictwa Naftowego i Gazownictwa, który jest instytucją wydającą atest bezpieczeństwa pracy urządzeń i dopuszczającą do sprzedaży produkowane w Polsce urządzenia grzewcze oraz projektodawcą odnośnych Polskich Norm, na podstawie których wykonywano badania atestacyjne.

Fragmentarycznie przeprowadzone badania palników kuchenki gazowej wykazały, że emisja substancji toksycznych była wysoka na etapie nagrzewania (90% czasu eksploatacji kuchni), w którym wielokrotnie przekraczała emisję ze stanu ustalonego cieplnie, nawet w takim stopniu, że określone normami dopuszczalne stężenia dla pomieszczeń mieszkalnych mogły być znacznie przekroczone.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań były palniki nawierzchniowe i palnik piekarnika jednego z popularniejszych modeli kuchenki gazowej znajdującej się na naszym rynku od wielu lat. Kuchenka

była wyposażona w cztery palniki nawierzchniowe o zróżnicowanej mocy (mały, dwa średnie i duży), a także w ruszt żeliwny i fajerkę żeliwną. W piekarniku zamontowany był palnik piekarnika i palnik opiekacza. Palniki zasilano gazem użytkowym (wg PN-71/C-96001) – mieszaniną propanu i butanu technicznego. Przed badaniami, zgodnie z normą PN-79/M-40300, wyregulowano palniki (p. 5.5.2) oraz dokonano sprawdzenia palników, stabilności płomienia i równomierności płomienia (pp. 5.6.13, 5.6.22 i 5.6.26).

Metodyka, aparatura i zakres badań

Badania stężenia tlenku węgla przeprowadzono stosując pewne odstępstwa od metodyki badań opisanej w normie PN-79/M-40300 (p.5.6.27). Badania toksyczności spalin wg Polskich Norm wykonuje się w warunkach względnej równowagi cieplnej, gdy temperatura wody w aparacie do poboru spalin usytuowanym nad palnikiem powierzchniowym jest w przedziale 60+100 °C. Regulowany otwór spalinowy naczynia ustawiony jest w taki sposób, aby zawartość dwutlenku węgla w spalinach wynosiła co najmniej 4% obj.

W przyjętej metodyce badawczej stężenia tlenku węgla i azotu określano od momentu włączenia palnika i ustalenia wskazań przyrządu pomiarowego (ok. 30 s po włączeniu palnika). Pomiarów wykonywano w odstępach czasu odpowiadających przyrostom temperatury wody o około 10 °C, odczytując czas, temperaturę wody w naczyniu, stan gazomierza, stężenia tlenku węgla, tlenku azotu i tlenu. Dodatkowo mierzono stężenie tlenu w mieszaninie powietrza z gazem palnym. Pomiarów prowadzono do momentu, gdy temperatura wody w naczyniu osiągnęła 99 °C.

Oznaczenia sprawności cieplnej palników przeprowadzono zgodnie z procedurą opisaną w PN-79/M-40300 (p. 5.6.25). Badania wykonano w pomieszczeniu o warunkach zgodnych z wymaganiami PN-79/M-40300 (p. 5.4). Do pomiarów stężeń zastosowano analizator gazów ECOM-J z czujnikami elektrochemicznymi o wskazaniach CO i NO z rozdzielczością 1 ppm oraz O₂ z rozdzielczością 0,1%.

Śród palników nawierzchniowych przebadano palnik mały, jeden z palników średnich oraz palnik duży. Badania wykonano dla różnych odległości górnej płaszczyzny korpusu palnika od górnej płaszczyzny rusztu, czyli dla różnych wysokości usytuowania dna naczynia aparatu do poboru spalin nad palnikiem. Ponieważ ustawienie fabryczne palników wynosiło dla małego palnika h=10,0 mm, dla pierwszego średniego h=15,0 mm, dla drugiego średniego h=13,0 mm i dla dużego h=18,0 mm, przebadano poszczególne palniki dla odległości h=10,0+18,0 mm. Do każdego z palników stosowano aparaty do poboru spalin (wg normy) różnej wielkości, przyjmując umownie następujące nazwy: naczynie małe, naczynie

średnie i naczynie duże. Badania przeprowadzono zarówno z fajerką jak i bez fajerki na ruszcie. W artykule zamieszczono jedynie wyniki badań palników przy płomieniu pełnym.

Wyniki badań posłużyły do obliczenia stężeń substancji toksycznych w przykładowym pomieszczeniu, za które przyjęto pomieszczenie kuchenne o minimalnej powierzchni 6 m^2 i wysokości $2,5 \text{ m}$ ($V_k=15 \text{ m}^3$) i o strumieniu powietrza wentylacyjnego $S_{\text{went}}=70 \text{ m}^3/\text{h}$, wymaganego normą PN-83/B-03430. Obliczenia przeprowadzono w oparciu o następujące zależności:

– dla wielkości emisji składnika spalin:

$$E_i = 44,64 V_{\text{sp}} C_i M t_g^{-1} \quad (1)$$

– dla stężenia składnika spalin w pomieszczeniu:

$$C_i = E_i t_g / [V_k + (S_{\text{went}} t_g / 3600)] \quad (2)$$

– dla stężenia maksymalnego składnika spalin w pomieszczeniu:

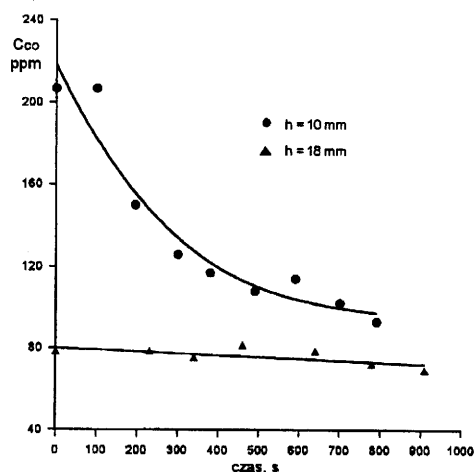
$$\text{lim } C_i = 3600 E_i / S_{\text{went}} \quad (3)$$

– dla czasu dojścia do stężenia dopuszczalnego w pomieszczeniu:

$$t_d = V_k / (E_i / C_{i,\text{NDS}} - S_{\text{went}} / 3600) \quad (4)$$

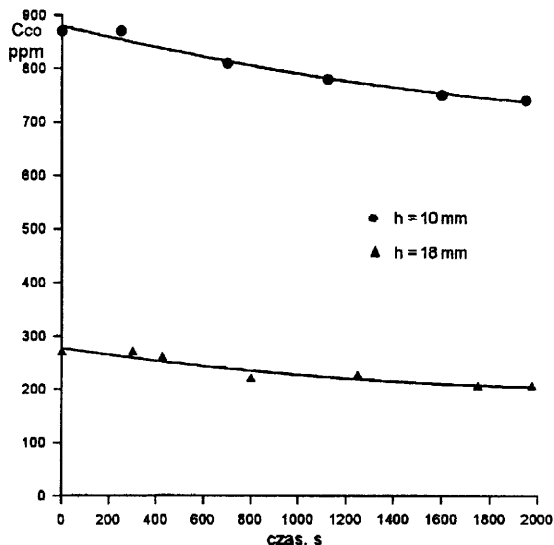
Omówienie wyników badań

Na wstępie przeprowadzono badania przebiegów czasowych stężeń tlenku węgla i tlenku azotu, mierzonych w kominku aparatu pomiarowego od chwili włączenia palnika do momentu podgrzania wody do temperatury $99 \text{ }^\circ\text{C}$, dla skrajnych odległości aparatu pomiarowego od palnika ($h=10 \text{ mm}$ i $h=18 \text{ mm}$). Największe stężenia tlenku węgla zaobserwowano na początku procesu, a najmniejsze w jego końcowej fazie (rys.1 i 2). Względne różnice stężenia CO, w odniesieniu do początkowej i końcowej fazy ogrzewania, były największe dla palnika małego, a najmniejsze dla palnika dużego.



Rys. 1. Stężenie CO w spalinach nierozcieńczonych w funkcji czasu dla różnych odległości naczynia pomiarowego od palnika (palnik mały, naczynie małe)

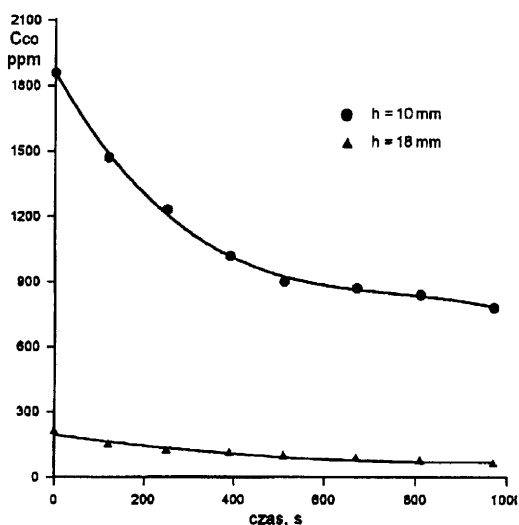
Dopuszczalna zawartość tlenku węgla w spalinach nierozcieńczonych, wynosząca wg polskiej normy 500 ppm , nie została przekroczona dla palników małego i średniego oraz piekarnika, w badanym zakresie zmian wysokości usytuowania naczynia nad palnikiem, dla wszystkich rodzajów naczyń.



Rys. 2. Stężenie CO w spalinach nierozcieńczonych w funkcji czasu dla różnych odległości naczynia pomiarowego od palnika (palnik duży, naczynie duże)

Należy zaznaczyć, że w normach niemieckich i europejskiej stężenia dopuszczalne CO są dwukrotnie wyższe.

W spalinach z palnika dużego stężenie tlenku węgla przy naczyniu średnim nieznacznie przekraczało dopuszczalne stężenie o około 20% dla $h=10 \text{ mm}$. Podobnie było przy naczyniu dużym, z tym, że przekroczenie dopuszczalnego stężenia wynosiło 80%. Najwyższe przekroczenia dopuszczalnych stężeń CO zaobserwowano przy zastosowaniu fajerki w stanie nieustalonym ciepłnie, w początkowej fazie nagrzewania. Dla przykładu, w palniku małym, dla naczynia małego przy $h=10 \text{ mm}$, przekroczenia wynosiły: normy polskiej około 4-krotne, norm niemieckiej i europejskiej około 2-krotne, a normy rosyjskiej około 20-krotne (rys.3).



Rys. 3. Stężenie CO w spalinach nierozcieńczonych w funkcji czasu dla różnych odległości naczynia pomiarowego od palnika (palnik mały, naczynie małe, z zastosowaniem fajerki)

Stężenie tlenku azotu w spalinach podczas pracy wszystkich palników było praktycznie stałe. Średnie wartości stężeń NO w spalinach nierozcieńczonych podano w tabeli 1. W nawiasach podano wartości stężeń NO w spalinach przeliczone na dwutlenek azotu.

Tabela 1. Średnie stężenia tlenu azotu w spalinach

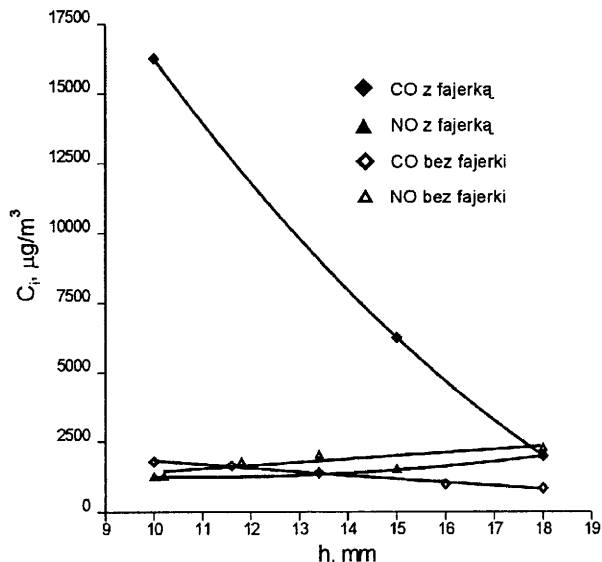
Konfiguracja przy nominalnej wysokości palników nawierzchniowych	Średnie stężenie NO mg/m ³
Palnik mały naczynie małe naczynie średnie	145 (222) 294 (450)
Palnik średni: naczynie średnie naczynie duże	153 (235) 183 (281)
Palnik duży: naczynie średnie naczynie duże	125 (192) 123 (189)
Palnik mały z fajerką, naczynie małe Palnik średni z fajerką, naczynie średnie	119 (182) 160 (245)
Palnik piekarnika	377 (578)

Przytoczone dane doświadczalne stężenia tlenu azotu w spalinach, uzyskane w stanie nieustalonym cieplnie, były o 50% wyższe od podawanych przez literaturę, a określonych w warunkach ustalonej cieplnie pracy palników. Z danych przedstawionych w pracy [6] wynika, że w spalinach palników nawierzchniowych stężenie tlenków azotu zmieniło się w przedziale od kilkunastu do pięćdziesięciu ppm przy spalaniu gazu mieszkowego, natomiast przy spalaniu propanu i butanu było dwukrotnie większe. Przy temperaturze 220 °C w komorze piekarnika stężenie NO_x w spalinach było czterokrotnie wyższe niż w spalinach średniego palnika nawierzchniowego i wynosiło 60+100 ppm. Najwyższe stężenia tlenków azotu występowały przy zasilaniu palnika piekarnika mieszaniną propanu i butanu, natomiast spaliny opiekacza zawierały tlenki azotu w stężeniach zbliżonych do palników nawierzchniowych [6].

Stężenie tlenków azotu w spalinach kuchni gazowych „Ewa” produkowanych przez WROZAMET wynosiło około 100 mg/m³ dla palników nawierzchniowych i 182 mg/m³ dla piekarnika [5]. Stężenie tlenków azotu w spalinach gazowego sprzętu grzewczego nie jest normowane. IGNiG proponuje przyjęcie wartości stężenia granicznego 100 mg/m³ dla palnika nawierzchniowego i palnika opiekacza oraz 120 mg/m³ dla palnika piekarnika [5], wymagałoby to jednak wprowadzenia istotnych zmian konstrukcyjnych palników nawierzchniowych i piekarnika.

Ocena stężenia tlenków węgla i azotu w spalinach jest istotna dopiero w połączeniu z wyznaczoną wartością emisji tych związków, gdyż pozwala na określenie stopnia zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniu mieszkalnym. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów w oparciu o wzory (1) i (2) obliczono stężenia tlenu węgla i dwutlenku azotu w pomieszczeniu o powierzchni 15 m² i wysokości 2,5 m, o normatywnej wentylacji 70 m³, po podgrzaniu wody do 100 °C. Stężenia CO i NO₂ w pomieszczeniu oraz zmiany sprawności cieplnej w zależności od odległości h dla palnika małego i naczynia małego pokazano na rysunku 4.

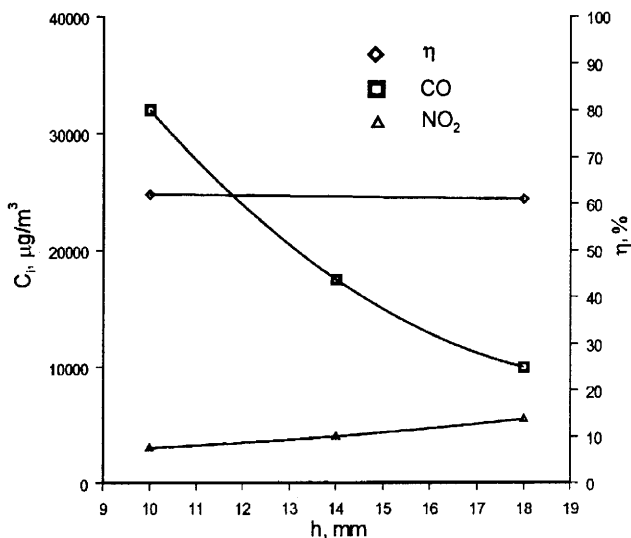
Stężenie CO malało wraz ze wzrostem odległości h i nie przekraczało C_{CO,NDS30min}=3 mg/m³, natomiast stężenie NO₂ w pomieszczeniu rosło wraz ze wzrostem tej odległości. W całym zakresie zmian odległości h występowało 10+15-krotne przekroczenie C_{NO2,NDS30min}=0,15 mg/m³. Palnik mały z fajerką emitował znaczne ilości CO, np. dla h=10 mm dopuszczalne stężenie CO było 5-krotnie przekroczone. Stężenie NO₂ było przekroczone w stosunku do dopuszczalnego w badanym zakresie zmienności h 8+12-krotnie (rys.4).



Rys. 4. Stężenie CO i NO₂ w pomieszczeniu dla palnika małego i naczynia małego z fajerką i bez fajerki w zależności od odległości h

W palniku średnim, niewielkie (maks. 2-krotne, a z fajerką 4-krotne) przekroczenie dopuszczalnego stężenia CO w pomieszczeniu obserwowane było tylko dla małych odległości powierzchni palnika od dna naczynia (h=10+14 mm). Stężenie dwutlenku azotu w powietrzu pomieszczenia przy tym palniku było bardzo wysokie i przekraczało wartości dopuszczalne 10+30-krotnie. W palniku dużym, w całym zakresie zmian odległości h, obserwowano znaczne przekroczenie dopuszczalnego stężenia CO w pomieszczeniu od 3-krotnego dla h=18 mm do 10-krotnego dla h=10 mm. Stężenie NO₂ było 20+30-krotnie wyższe niż dopuszczają normy czystości powietrza (rys.5). Przy pracujących kilku palnikach stężenie NO₂ przekraczało stężenie dopuszczalne 170-krotnie, a stężenie CO 5+15-krotnie (rys.6).

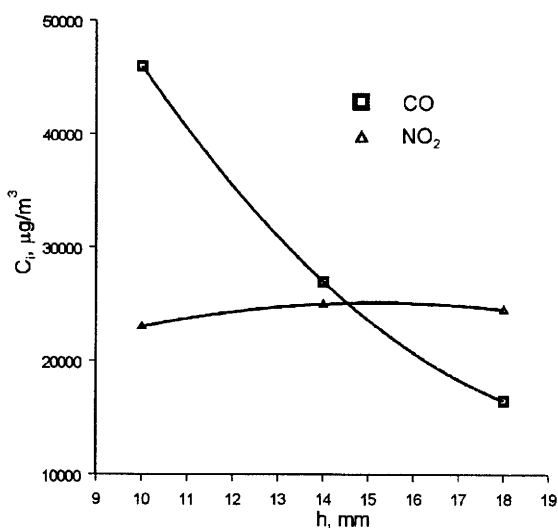
Wykazano wyraźny wpływ odległości h na stężenia CO oraz nieznaczny spadek sprawności palnika i wzrost stężenia NO₂ dla większych odległości palnika. Jak pokazały badania, palnik piekarnika charakteryzował się bardzo wysoką emisją NO₂, natomiast palnik mały, o stosunkowo małej emisji CO, po zastosowaniu fajerki dawał bardzo dużą emisję CO.



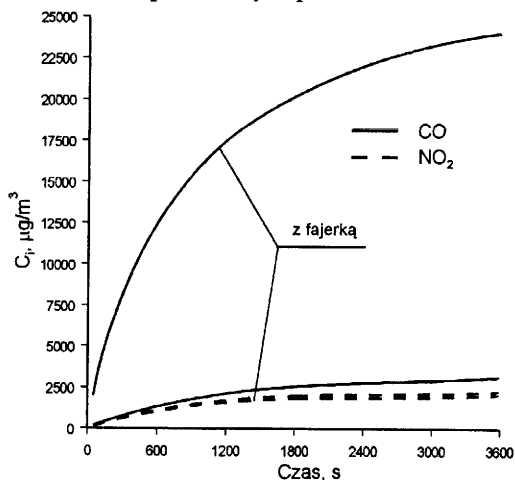
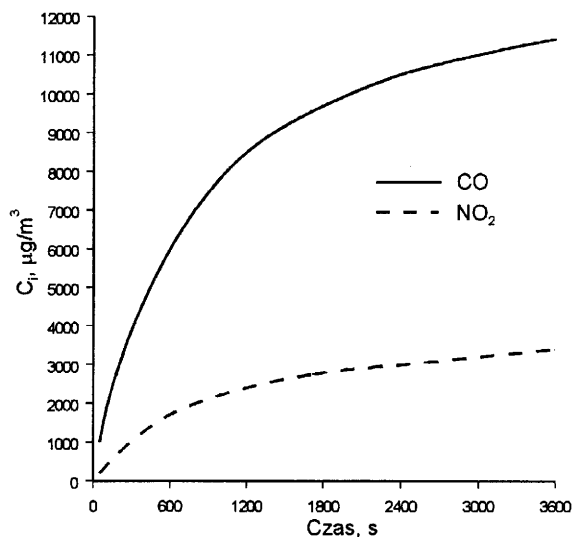
Rys. 5. Stężenie CO i NO₂ w pomieszczeniu dla palnika dużego i naczynia dużego oraz sprawność cieplna palnika w zależności od odległości h

Tabela 2. Czasy dojścia do stężeń dopuszczalnych oraz graniczne stężenia zanieczyszczeń

Urządzenie, konfiguracja	lim CO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	lim NO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$t_{d, \text{CO}=3000}$ s	$T_{d, \text{NO}_2=150}$
Palnik mały, naczynie małe + fajerka (h – ustawienie fabryczne)	29.006	2.203	89	56
Palnik mały, naczynie małe (h – ustawienie fabryczne)	3.446	2.833	5.192	43
Palnik średni, naczynie średnie + fajerka (h – ustawienie fabryczne)	4.011	5.115	2.288	23
Palnik mały, naczynie średnie (h – ustawienie fabryczne)	2.571	5.036	–	24
Palnik piekarnika	5.503	20.301	925	6
Palnik mały, średni i duży (h – ustawienie fabryczne)	22.680	17.783	118	7
Palnik mały, średni i duży (h – ustawienie optymalne)	18.720	15.895	147	7
Piekarnik + palniki nawierzchniowe (h – ustawienie fabryczne)	28.183	38.005	92	3

Rys. 6. Stężenie sumaryczne CO i NO₂ w pomieszczeniu dla palnika piekarnika i palników nawierzchniowych małego, średniego i dużego

Stężenia CO i NO₂ w pomieszczeniu w funkcji czasu przedstawiono dla dwóch palników na rysunkach 7 i 8, natomiast wartości maksymalnych stężeń zanieczyszczeń oraz czasy dojścia do stężeń dopuszczalnych przedstawiono w tabeli 2.

Rys. 7. Stężenie CO i NO₂ w powietrzu pomieszczenia w funkcji czasu dla palnika małego z fajerką i bez o fabrycznym ustawieniu odległości hRys. 8. Stężenie CO i NO₂ w powietrzu pomieszczenia w funkcji czasu (palnik duży, naczynie duże)

Z rysunków 7 i 8 oraz tabeli 2 wynika, że stężenia CO i NO₂ po czasie jednej godziny były wysokie (zwłaszcza NO₂), a czasy dojścia do stężeń dopuszczalnych, poza wyjątkami, były bardzo krótkie.

Badania innych autorów dały zbliżone wyniki. Badania stężeń tlenków azotu w zamkniętym pomieszczeniu, przy braku wymiany powietrza, wykazały maksymalne stężenia tlenków azotu o wartości 25 mg/m³; przy dwukrotnej wymianie powietrza w ciągu godziny i mocy palnika 2kW stężenie NO_x wynosiło 6 mg/m³ [6].

Wnioski

♦ Kuchenka gazowa z aktualnymi atestami emitowała tak znaczne ilości tlenku węgla i tlenków azotu, że najwyższe dopuszczalne stężenia dla pomieszczeń mieszkalnych były wielokrotnie przekroczone w pomieszczeniu o normatywnej wentylacji. Przy złej wentylacji stężenia toksycznych składników spalin mogą przekraczać również wartości stężeń dozwolonych dla zakładów pracy.

♦ W pomieszczeniu o normatywnej wentylacji już po kilkunastu sekundach po włączeniu piekarnika i palników nawierzchniowych przekroczone było dopuszczalne stężenie dwutlenku azotu.

♦ Badania według Polskiej Normy stężenia tlenku węgla emitowanego z procesu spalania zaniżają wartość emisji, w porównaniu do emisji rzeczywistej, określonej w warunkach eksploatacyjnych. Jak wykazały przeprowadzone badania, o wielkości emisji decydowało wiele czynników (rodzaj i wielkość naczynia, usytuowanie palnika względem naczynia, rodzaj rusztu oraz fajerka), czego nie uwzględniła Polska Norma.

♦ Badania wykonano stosując gaz użytkowy, zastępując gaz wzorcowy odniesienia, co dopuszcza norma PN-79/M-40300, ale należałoby wykonać badania stosując również gaz graniczny na niezupełne spalanie (p. 5.6.27.1), a wówczas emisja CO byłaby jeszcze wyższa.

♦ Szokująca jest wysoka emisyjność palników nawierzchniowych i piekarnika kuchenki gazowej. Stwierdzono, że poprzez optymalne ustawienie odległości palników można zmniejszyć emisję CO z palników nawierzchniowych o około 30%, przy czym emisja byłaby nadal duża, ponieważ wynika to z konstrukcji palników gazowych. Zastosowanie fajerki i płytek metalowych obniża temperaturę płomieni, co prowadzi do zwiększenia emisji tlenku węgla i nieznacznego obniżenia emisji tlenków azotu.

♦ Ponieważ badana kuchenka gazowa miała prawidłowo wyregulowane palniki, dlatego też wskazane byłoby sprawdzenie wpływu nieznacznego rozregulowania palników na wielkość emisji substancji toksycznych. W związku z ograniczoną możliwością zwiększania objętości pomieszczenia kuchennego i strumienia powietrza wentylacyjnego, jedynym sposobem zmniejszenia stężenia (poza wymianą palników) jest zainstalowanie okapu nadkuchennego o określonym wydatku.

♦ Należy mieć na uwadze, że badania stężeń innych zanieczyszczeń w pomieszczeniach mieszkalnych, np. acetonu, formaldehydu, alkoholu metylowego oraz toluenu wskazywały na ich wielokrotne (nawet kilkusetkrotne) przekroczenia w odniesieniu do NDS [2], a ponadto należy uwzględnić zanieczyszczenia pochodzące z procesów spalania nie tylko w kuchenkach gazowych.

OZNACZENIA

C_i – stężenie składnika spalin, ppm_{vs}

$C_{i,NDS}$ – dopuszczalne stężenie substancji zanieczyszczającej powietrze, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

E_i – emisja składnika spalin, $\mu\text{g}/\text{s}$

h – odległość dna palnika od powierzchni palnika, mm

M – względna masa cząsteczkowa

S_{went} – strumień powietrza wentylacyjnego, m^3/h

t_g – czas pracy palnika, s

t_d – czas dojścia do stężenia dopuszczalnego w pomieszczeniu, s

V_k – objętość pomieszczenia, m^3

V_{sp} – objętość spalin powstała w czasie pracy palnika, m^3

LITERATURA

1. A. NIEŚŁOCHOWSKI: Zanieczyszczenia chemiczne wewnątrz mieszkalnych – przepisy i działania różnych krajów. Ochrona Powietrza, 1984, nr 6(104), ss. 130–132.
2. J. WESOŁOWSKI: Rola jakości powietrza w pomieszczeniach w ogólnym narażeniu na czynniki szkodliwe w powietrzu. Spojrzenie z Kalifornii. Ochrona Powietrza, 1992, nr 1(147), ss. 1–6.
3. S. KASINA i inni: Zróżnicowanie stężeń dwutlenku siarki oraz inne zanieczyszczenia w powietrzu w mieszkaniach i przestrzeni otwartej. 1988, nr 5(124), ss. 111–114.
4. J. TRZESZCZYŃSKI, P. KUKUŁA: Zanieczyszczenie powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych. Ochrona Powietrza, 1988, nr 4(123), ss. 100–104.
5. L. SKŁODOWSKI, R. ZIELENIEWSKI: Zmniejszenie emisji tlenku azotu z gazowych urządzeń domowych. Gaz Woda i Technika Sanitarna, 1991, nr 12, ss. 281–284.
6. R. ZIELENIEWSKI i inni: Występowanie tlenków azotu przy użytkowaniu gazowych urządzeń domowych. Gaz Woda i Technika Sanitarna, 1989, nr 4–5, ss. 81–84.
7. R. ZIELENIEWSKI: Sprawność urządzeń gazowych po przestawieniu na gaz zaazotowany, głos w dyskusji. Gaz Woda i Technika Sanitarna, 1990, nr 7, ss. 132–133.

Emission of Pollutants from Gas Cookers

Experiments were run to determine the emissions of carbon monoxide and nitrogen oxide from a gas cooker at a thermally unstable state. Tested were the superficial burners and the burner of the cooking oven. The gas cooker was fed with a propane-butane mixture. The ambient air of the kitchen was analyzed for the presence of carbon monoxide and nitrogen oxide. Although the cooker had a valid attestation, CO and NO emissions exceeded considerably the admissible levels for a kit-

chen room with a standard ventilation system. The study led to the following findings: (1) Optimization of the burner spacing decreased CO emission from the superficial burners by about 30%, but the concentrations of CO in the ambient air still exceeded the admissible values as a result of designer's error; and (2) The application of metal plates reduced flame temperature, thus increasing the emission of CO and slightly abating the emission of NO.