

BADANIE PARAMETRÓW POWIETRZA W KOTŁOWNI OPALANEJ RÓŻNYMI RODZAJAMI PALIWA

Katarzyna Gładyszewska-Fiedoruk¹, Natalia Rybałtowska¹

¹ Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-856 Białystok, e-mail: k.gladyszewska@pb.edu.pl; talka1991@gmail.com

STRESZCZENIE

W pracy podjęto próbę analizy wyników z przeprowadzonych pomiarów CO i CO₂ w kotłowniach przydomowych. Przedstawiono stężenie spalin w trakcie energetycznego wykorzystania różnych rodzajów paliwa (olej opałowy lekki, pellet drzewny, ekogroszek, drewno brzoźowe z węglem). Dało to możliwość oszacowania, które z badanych paliw daje najwyższą jakość powietrza w kotłowni podczas jego spalania, a tym samym najniższe stężenia badanych parametrów. Dodatkowo pozwoliło to dowiedzieć, które paliwo w jakich warunkach spala się całkowicie i zupełnie, co oznacza, że wszystkie składniki paliwa uległy spaleniowi do postaci ostatecznej i w spalinach nie ma już palnych cząstek. Analiza kosztów pozwoliła sprawdzić, jaki nośnik energii będzie najkorzystniejszy pod względem finansowym.

Słowa kluczowe: jakość powietrza wewnętrznego, tlenek węgla, dwutlenek węgla, kotłownia

PARAMETERS OF AIR FIRED BOILER FED WITH DIFFERENT TYPES OF FUEL

ABSTRACT

The measurement and interpretation of indoor carbon dioxide CO₂ concentration can provide information on building indoor air quality and ventilation. On the other hand, concentration of carbon monoxide CO can show as how combustion process run and if the boiler is safe. When there is not sufficient air available to complete the combustion process, some of the fuel is left unburned, resulting in inefficiency and undesirable emissions. An examination of the CO₂ and CO concentration in boiler and interpretation results help to improve indoor air quality. The paper presents characteristics of concentration CO₂ and CO depend on used fuel in tested boiler rooms. The concentration curves show how each fuel combustion affect the amount of CO₂ and CO that is produced.

Keywords: indoor air quality, carbon monoxide, carbon dioxide, boiler

WSTĘP

Celem pracy jest określenie zależności pomiędzy spalaniem poszczególnych rodzajów paliwa (olej opałowy lekki, pellet drzewny, ekogroszek, drewno brzoźowe z węglem), a stężeniem wybranych parametrów powietrza w kotłowni, tj. tlenu i dwutlenku węgla.

Jakość powietrza wewnętrznego w kotłowni

Jakość powietrza w kotłowni jest zależna m.in. od rodzaju paliwa, jakim kotłownia jest opalana [Gładyszewska–Fiedoruk 2012]. Zagadnienia jakości powietrza w kotłowniach poruszali

między innymi [Czech i in. 2013] oraz [Hilse i in. 2013]. Zakres paliw, które można wykorzystać do wytwarzania energii cieplnej jest bardzo duży na obecnym rynku. Od tradycyjnych paliw jak drewno czy węgiel podawanych ręcznie i spalanych na ruszcie, po biopaliwa, które często nie wymagają ingerencji człowieka dzięki automatyzacji kotłowni. Mimo mniejszej wartości opałowej, biopaliwa są coraz częściej wykorzystywane ze względu na środowisko. Niemniej ilość kotłowni dostosowanych do bardziej ekologicznych paliw rośnie powoli [Krawczyk i Gładyszewska-Fiedoruk 2014]. Czasami ludzie decydują się na zmianę kotła jedynie dzięki dofinansowaniom z Unii Europejskiej. Natomiast w niektórych większych

miastach Polski jak Kraków, mieszkańcy mają obowiązek wymiany starych kotłów węglowych na ekologiczną instalację grzewczą. Dzięki tym zmianom można polepszyć jakość powietrza zarówno zewnętrznego, jak i wewnętrznego.

W kotłowniach najczęściej istnieje wentylacja grawitacyjna. Ma ona wiele zalet, jednak nie zawsze dostarcza wymagany strumień powietrza. To natomiast prowadzi do przekroczenia dopuszczalnych stężeń dwutlenku węgla CO₂ i ryzyka wystąpienia czadu CO [Müller i Skrzyniowska 2012].

Tlenek węgla (CO) i dwutlenek węgla (CO₂)

Mimo że dwutlenek węgla nie jest gazem trującym, przy dużych stężeniach może powodować bezpośrednie zagrożenie życia [Albers i in. 2007].

W kotłowni, gdzie człowiek przebywa krótko, jedynie przy pracy związanej z dozorem bądź konserwacją maszyn i urządzeń lub utrzymaniem czystości i porządku, istnieje niewielkie zagrożenie zatrucia dwutlenkiem węgla [Rozporządzenie Ministra Infrastruktury 2002].

Zarówno tlenek węgla, jak i dwutlenek są substancjami szkodliwymi dla zdrowia w myśl [Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r.].

Tlenek węgla CO, zwany czadem, jest trującym gazem bez zapachu, smaku i koloru. Jest produktem ubocznym niepełnego spalania substancji zawierających węgiel, więc np. węgla kamiennego, drewna, oleju czy gazu ziemnego [Juszczak 2010]. Jednak skutki, jakie może wywołać u człowieka są znacznie poważniejsze niż w przypadku dwutlenku węgla CO₂. Objawy zatrucia w zależności od stężenia CO przedstawiono w tabeli 1.

Spalanie paliw

Spalanie jest szczególną formą utleniania, przy którym zostaje wydzielone ciepło [Albers i in. 2007], [Kowalewicz 2000]. Aby doszło do spalania niezbędne są: paliwo, tlen i ciepło. Jednak ciepło potrzebne jest jedynie do spalania paliw ciekłych i stałych. Paliwo gazowe nie potrzebuje ciepła do spalania, ponieważ nie musi, tak jak paliwo ciekłe i gazowe, być odparowanym i ogrzany, aż pojawią się palne gazy [Gessner 2008], [Matuszek i Hrycko 2015], [Rybak 2006].

W procesie spalania wyróżnia się substraty, czyli substancje doprowadzane do komory spalania oraz produkty będące substancjami wyprowa-

dzanymi z komory spalania, czyli spaliny. Przy niedoborze tlenu niektóre składniki paliw są podatne na rozkład termiczny [Zaborowska 2013]. Gdy dochodzi do spalania zupełnego i całkowitego to produktami utleniania pierwiastków palnych są: dwutlenek węgla, dwutlenek siarki i para wodna. Niedobór powietrza prowadzi do powstania mniejszej ilości energii i spalanie jest niezupełne [Głodek 2010]. Spaliny zawierają wtedy palne składniki gazowe, tj. tlenek węgla, cząstki wodoru czy metan. Jeśli w spalinach znajdują się stałe produkty palne jak, na przykład, sadza, spalanie nazywamy niecałkowitym.

Spaliny w kotłowni

Przy spalaniu gazów powstają gorące gazy spalinowe. Po oddaniu przez nie ciepła w paleniskach są nazywane spalinami. Powstałe podczas spalania spaliny składają się z [Kowalewicz 2000]:

- sadzy (przy stałych i płynnych paliwach),
- azotu ze spalanego powietrza,
- pary wodnej powstającej podczas spalania,
- tlenu resztkowego ze spalanego powietrza,
- dwutlenek węgla ze spalanego powietrza i paliwa,
- substancji szkodliwych (np. tlenku węgla CO, tzw. czadu).

Charkowska 2003 jako akceptowalne stężenia zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego przyjmuje – dla dwutlenku węgla CO₂ – 1000 ppm (1980 mg/m³) oraz dla tlenku węgla CO – 9 ppm (11 mg/m³).

Tabela 1. Objawy zatrucia tlenkiem węgla [<http://www.poradnikzdrowie.pl>]

Table 1. Symptoms of carbon monoxide poisoning

Stężenie CO w powietrzu [ppm]	Objawy zatrucia
100–200	lekki ból głowy przy 2–3 godzinach wdychania
400	silny ból głowy po godzinie wdychania tego stężenia
800	zawroty głowy, wymioty i konwulsje po 45 min. wdychania, a po 2 godz. stała śpiączka
1600	silny ból głowy, wymioty; konwulsje, po 20 min; zgon po 2 godz.
3200	intensywny ból głowy i wymioty po 5–10 min.; zgon po 30 min.
6400	ból głowy i wymioty po 1–2 min.; zgon po ok. 20 min.
12800	utrata przytomności po 1–2 wdechach; śmierć po 3 min.

WYNIKI BADAŃ

Opis kotłowni

Kotłownia I znajduje się w domu szeregowym wybudowanym w latach 90-tych. Jego powierzchnia użytkowa to ok. 300 m² (trzy kondygnacje oraz poddasze nieużytkowe).

Budynek zbudowany z cegły pełnej, otynkowany, ocieplony styropianem o grubości 7 cm. Okna na kondygnacjach mieszkalnych podwójnie szklone z PVC, na poddaszu – nieszczelna stolarka drewniana.

Kotłownia wyposażona jest w (rys. 1):

- kocioł grzewczy wodny z zasypem automatycznym o mocy 27 kW,
- kocioł gazowy 10,5–24 kW.

Kubatura kotłowni I wynosi 56 m³. Na powierzchni 25 m² mieści się pomieszczenie kotłowni wraz ze składem opału. Wyjście z kotłowni prowadzi na klatkę schodową domu.

Kanał nawiewny znajduje się po prawej stronie okna kotłowni na wysokości 20 centymetrów nad posadzką. Wykonany jest z rury PP o średnicy DN 15.

Kocioł wodny do podgrzewania wody w układzie centralnego ogrzewania do temperatury na wyjściu z kotła nie przekraczającej 90°C oraz ciśnieniu roboczym <0,15 MPa współpracuje z instalacją ciepłej wody użytkowej za pomocą wymiennika ciepła o pojemności 150 l. Rolę kontroli przebiegu procesu spalania w kotle przejmują

sterownik, dzięki czemu nie wymaga on stałej obsługi. Kocioł wyposażony jest w automatyczny podajnik paliwa stałego o mocy 0,09 kW. Jest to podajnik ślimakowy, który służy do podawania paliwa z zasobnika umieszczonego obok kotła.

Dwufunkcyjny kocioł gazowy należy do grupy wiszących kotłów kondensacyjnych. Ma zamkniętą komorę spalania. Posiada modulowany palnik atmosferyczny przystosowany do pracy z poborem powietrza z zewnątrz. Nie jest on tematem badań.

Kotłownia II znajduje się w piwnicy domu jednorodzinnego oddanego do użytku w 2000 roku. Budynek zbudowany z pustaków, ocieplony wełną mineralną, otynkowany. Na trzech kondygnacjach powierzchnia użytkowa to ok. 350 m². Stolarka okienna drewniana, potrójnie szklona na 3. kondygnacji. Na dwóch pozostałych – drewniana, podwójnie szklona.

Źródłami ciepła domu są: kocioł na olej opałowy o mocy 33 kW, pompa ciepła, kolektory słoneczne.

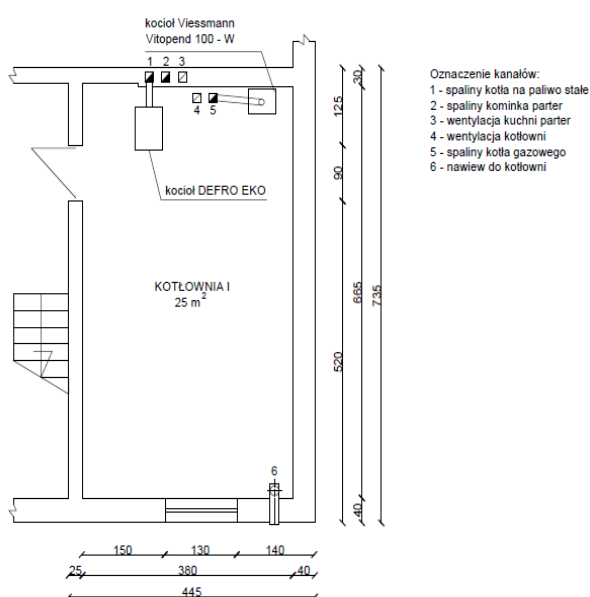
Kubatura kotłowni II to 13,4 m³. Magazyn na olej o kubaturze 5,4 m³ mieści się w pobliżu kotłowni (rys. 2). Znajduje się tam jeden zbiornik na olej o pojemności 2000 l. Między kotłownią, a magazynem znajduje się pralnia. Kotłownia sąsiaduje z łazienką i korytarzem.

Do badań wykorzystano kocioł opalany olejem opałowym lekkim.

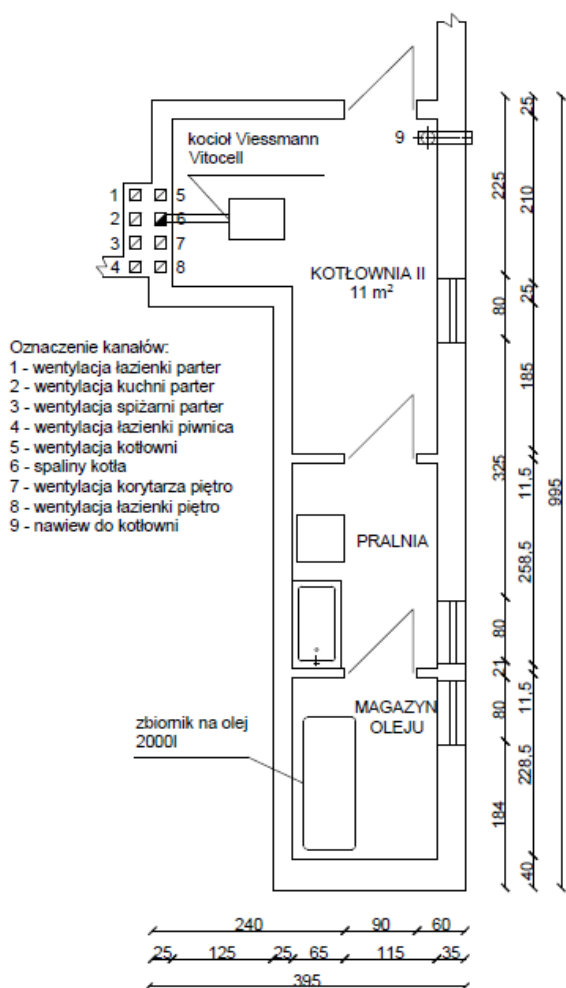
Stojący niskotemperaturowy kocioł kondensacyjny charakteryzuje się specjalną konstrukcją, gdzie przy braku zapotrzebowania na ciepło, kocioł wyłączy się oszczędzając paliwo. Dwustopniowy palnik olejowy dopasowuje ilość dostarczanego ciepła i zapewnia maksymalne jego wykorzystanie. Automatyka pozwala na dostosowanie ogrzewania do potrzeb użytkownika.

Pomiar gazów w kotłowni

Badania stężenia dwutlenku i tlenku węgla przeprowadzono w kotłowniach I i II. Pomiar przeprowadzono za pomocą detektora Testo 435 – 4. Jest to przyrząd pomiarowy do pomiarów jakości powietrza w pomieszczeniach. Zastosowano dwie sondy. Pierwsza z nich służyła do pomiaru stężenia dwutlenku węgla w powietrzu. Była to sonda IAQ (Indoor Air Quality), która umożliwia określenie jakości powietrza wewnętrznego dzięki zintegrowanemu pomiarowi wilgotności względnej w % rH, temperatury powietrza w pomieszczeniu w °C i ciśnienia absolut-



Rys. 1. Rzut kotłowni I
 Fig. 1. Throw the boiler room no I



Rys. 2. Kotłownia II
 Fig. 2. Throw the boiler room no II

nego w hPa. Zakres pomiarowy sondy wynosił od 0 ppm do 10000 ppm CO₂, a rozdzielczość 1 ppm CO₂. Zakres pomiarowy sondy do pomiaru CO wynosił od 0 ppm do 500 ppm, a rozdzielczość 1 ppm CO [Web-1]. Pozostałych parametrów nie uwzględniono, ponieważ nie miały wpływu na stężenie tlenu i dwutlenku węgla w procesie spalania badanych paliw.

Kotłownię I opalano czterema rodzajami paliwa, tj. drewnem, pelletem, węglem i ekogroszkiem. Natomiast kotłownia II była badana w zakresie spalania oleju opałowego.

Zarówno pomieszczenia kotłowni, jak i istniejące w niej instalacje (w tym wentylacyjna i spalinowa) były sprawne technicznie i spełniały wszystkie wymagania stawiane im przez obowiązujące obecnie przepisy. Przed sezonem grzewczym wszystkie instalacje zostały poddane przeglądowi.

W pierwszej kotłowni sondy były mocowane za pomocą magnesu na wysokości ok. 1 metra

nad posadzką pod kotłem. Natomiast w kotłowni II pomiaru dokonywano na wysokości około pół metra nad ziemią w odległości metra od kotła. Tlenek węgla wraz z dwutlenkiem węgla tworzą mieszaninę cięższą od powietrza, dlatego zasadne jest umieszczenie sond pomiarowych w dolnych częściach pomieszczenia.

Pomiary wykonywano w warunkach rzeczywistych w okresie listopad 2014 – marzec 2015. Sondę włączano przy opalaniu kotła poszczególnym paliwem, przy czym pomiar ten trwał ok. 3 dni. Następnie zmieniano paliwo i kontynuowano pomiary. W identyczny sposób przeprowadzono pomiary tlenu węgla i dwutlenku węgla. Wyniki były zapisywane przez rejestrator co 5 minut z dokładnością 1 ppm.

Analiza stężenia dwutlenku węgla

Pomiar CO₂ przy spalaniu pelletu prowadzono po zasypaniu zasobnika, włączano kocioł i uruchomiano automatyczny podajnik paliwa. Po uzupełnieniu paleniska pelletem, wstrzymano automatyczny tryb, by rozpalić zgromadzone paliwo za pomocą butli gazowej z palnikiem. Po tej czynności wrócono do automatycznego trybu pracy. Podajnik ślimakowy transportował paliwo z zasobnika w określonej ilości i częstotliwości do paleniska retortowego, gdzie było ono spalane.

Procedura rozpalania ekogroszku była podobna do procedury rozpalania pelletu. Po uzupełnieniu paleniska włączono tryb ręczny kotła, ponieważ ekogroszek rozpałał się dłużej niż pellet. Wymagało to włączenia dmuchawy. Ekogroszek dostarczany był do paleniska retortowego dołem przez co spychał popiół pozostały po spalaniu poprzedniej porcji paliwa.

Drewno i węgiel były paliwami, które spalano jednocześnie. Połączenie paliw było to nieodzowne, by utrzymać optymalną temperaturę w mieszkaniu i wydłużyć proces spalania. Przy kilkugodzinnym badaniu spalania samego drewna, nie zauważono różnicy w stężeniu CO₂ przy spalaniu go z domieszką węgla. Dlatego paliwa zmieszano. W nocy piec wygasł, co spowodowane było wypalaniem się i brakiem dostawy paliwa. Ponowne rozpalenie kotła spowodowało chwilowy wzrost stężenia dwutlenku i tlenu węgla (rys. 4).

Podczas badań stężenia dwutlenku węgla przy włączonym kotle gazowym nie odnotowano zwiększonej emisji CO₂.

Również niewielkie chwilowe różnice stężenia CO₂ odnotowano w kotłowni opalanej ole-

jem opałowym, są one uwarunkowane precyzją palnika. Najbardziej zautomatyzowany system spośród badanych kotłów, daje najoptymalniejsze warunki spalania, co wiąże się z ekonomicznym wykorzystaniem paliwa. Sterownik adaptacyjny daje możliwość dostosowania się do pogody czy zmiennego zapotrzebowania na ciepło, co daje optymalne spalanie i emisje spalin. Maksymalne i średnie stężenie CO₂ dla kotłowni opalanych różnymi paliwami podano w tabeli 2.

Analiza stężenia tlenu węgla

W kotłowni I badania stężenia CO rozpoczęto przy spalaniu pelletu (rys. 3). Przez pierwszą dobę badań doszło do jednorazowego skoku CO do poziomu 1 ppm. Przy optymalnym współczynniku nadmiaru powietrza nie doszło do powstawania czadu, natomiast pod koniec drugiej doby w celach eksperymentalnych zmniejszono o połowę obroty wentylatora. Doszło przez to do ciągłego wydzielania się niewielkich ilości tlenu węgla.

Po wypaleniu się peletu, założono tradycyjny ruszt i rozpoczęto badania nad emisją CO przy spalaniu drewna i węgla. Jest to najbardziej niekontrolowany proces spalania spośród omawianych. Dlatego też zachodzą tam najbardziej widoczne zmiany. Z reguły największe stężenie CO występowało przy rozpalaniu (rys. 4). Spowodowane było to niedoborem powietrza między warstwami drewna przy zbyt gwałtownym płomieniu, co prowadziło do niepełnego i niecałkowitego spalania. Gwałtowny skok stężenia tlenu węgla na rys. 4 spowodowany jest ponownym rozpaleniem kotła, który wygasł w nocy z powodu braku paliwa.

Dla kotłowni II, przy spalaniu lekkiego oleju opałowego nie zanotowano tlenu węgla w powietrzu kotłowni. Po powtórzeniu badania również nie doszło do żadnych zmian – wartość stę-

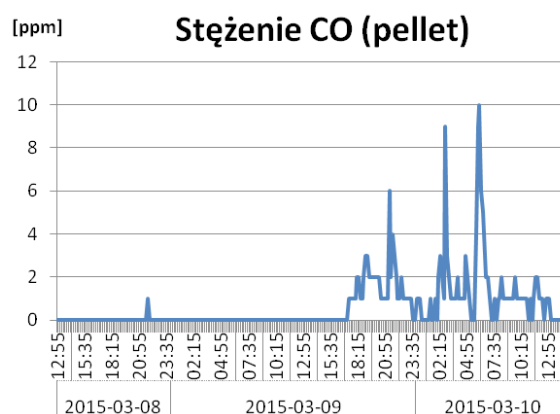
żenia CO była niezmienna przez cały czas badania i równa 0 ppm (rys. 5). Można tym samym stwierdzić, że jest to najbezpieczniejsza z badanych instalacji. Brak występowania CO w tej kotłowni jest prawdopodobnie spowodowany systematycznym czyszczeniem kotła i regulacją palnika, co przekłada się na sprawnie działającą instalację c.o.

Można wyciągnąć wnioski, że spośród wszystkich badanych paliw to właśnie olej opałowy spalany jest zupełnie i całkowicie, czyli bez emisji szkodliwych składników spalinowych. Spowodowane jest to prawidłowymi ustawieniami dostarczanego do palnika powietrza i dawki paliwa. Dodatkowo rodzaj palnika pozwala zoptymalizować proces spalania. Rozpylane paliwo częściowo zostaje zamienione w parę, co powoduje zwiększenie całkowitej powierzchni cieczy, a więc zwiększenie powierzchni reakcji. Dzięki rozpyleniu paliwo odpowiednio miesza się z powietrzem i zachodzi pełna reakcja spalania.

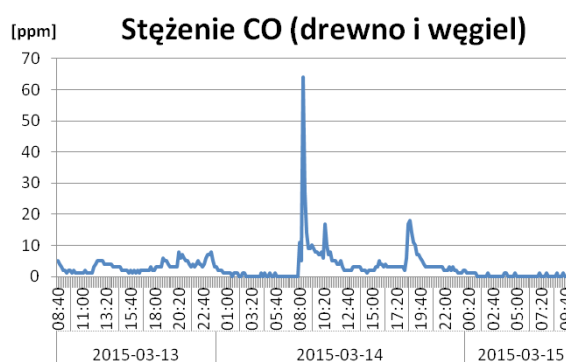
Tabela 2. Stężenie CO₂ w kotłowniach przy różnym paliwie

Table 2. The concentration of CO₂ in the boiler room at different fuel

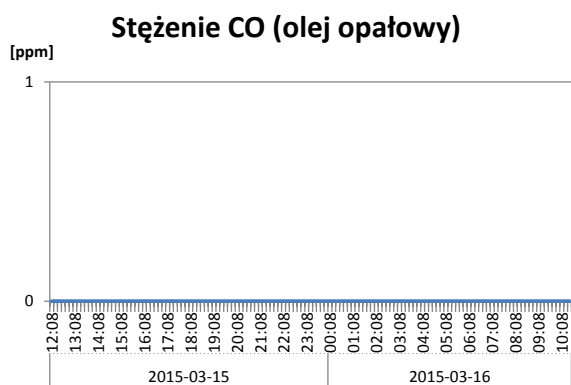
Paliwo	Stężenie CO ₂ [ppm]	
	Maksymalne	Średnie
Pellet	728	444
Ekogroszek	640	384
Drewno i węgiel	700	456
Gaz ziemny	450	350
Olej opałowy	450	375



Rys. 3. Stężenie tlenu węgla przy spalaniu pelletu
Fig. 3. The concentration of carbon monoxide by burning pellets



Rys. 4. Stężenie tlenu węgla przy spalaniu drewna i węgla
Fig. 4. The concentration of carbon monoxide when burning wood and coal



Rys. 5. Stężenie tlenku węgla przy spalaniu oleju opałowego

Fig. 5. The concentration of carbon monoxide in the combustion of fuel oil

WNIOSKI

1. Dobranie nieodpowiedniego współczynnika nadmiaru powietrza do spalania może doprowadzić do wzrostu, a nawet przekroczenia dopuszczalnych wskaźników emisji zanieczyszczeń. Jeśli jest niedobór powietrza, spalanie jest niecałkowite i niezupełne, co prowadzi do emisji CO.
2. Aby utrzymać stężenie zanieczyszczeń w kotłowni na niższym poziomie, niezbędne jest doprowadzenie odpowiedniej ilości świeżego powietrza w miejsce powietrza zużytego. Tak więc dzięki dobraniu odpowiedniego rodzaju wentylacji do kotłowni możemy uniknąć przekroczenia granicznych stężeń CO i CO₂ w powietrzu.
3. Badane kotłownie można uznać za bezpieczne pod względem emisji badanych parametrów. Emisje CO₂ i CO w trakcie badań były tak niskie, że nie stanowiły zagrożenia dla życia osób przebywających w kotłowni.
4. Aby zminimalizować emisję zanieczyszczeń należy:
 - wykorzystywać paliwa o odpowiednich właściwościach fizykochemicznych i stabilnej jakości, dostosowanych do rodzaju kotła,
 - stosować nowoczesne kotły,
 - zapewnić odpowiednią eksploatację instalacji spalania w ciągu całego roku, zwłaszcza w sezonie grzewczym.

Podziękowania

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBIS/04/2014 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

LITERATURA

1. Albers J., Dommel R., Montaldo-Ventsam H., Nedo H., Übelacker E., Wagner J. 2007. Systemy centralnego ogrzewania i wentylacji. Poradnik dla projektantów i instalatorów. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
2. Charkowska A. 2003. Zanieczyszczenia w instalacjach klimatyzacyjnych i metody ich usuwania. Wydawca I.P.P.U MASTA Sp. z o.o., Gdańsk.
3. Czech T., Gambuś F., Wieczorek J. 2013. Ocena składu chemicznego materiałów odpadowych ze spalania węgla kamiennego w aspekcie możliwości ich rolniczego i środowiskowego wykorzystania. Inżynieria Ekologiczna, 34, 89–95.
4. Gessner A. 2008. Instalacje sanitarne – poradnik dla projektantów i instalatorów. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa.
5. Gładyszewska-Fiedoruk K. 2012. Zużycie gazu ziemnego w domku jednorodzinny. W: H. Kaproń (red.) „Rynek Gazu 2012”, Kazimierz Dolny – Lublin, 135–150.
6. Głodek E. 2010. Spalanie i współspalanie biomasy – przewodnik. Opole.
7. Hilse D., Kapała J., Olczak Cz. 2013. Ekonomiczny model i narzędzia zarządzania ochroną powietrza na przykładzie zakładu koksowniczego. Inżynieria Ekologiczna 32, 55–64.
8. Juszczak M. 2010. Eksploatacyjne i konstrukcyjne przyczyny nadmiernej emisji tlenku węgla z kotłowni zasilanej drewnem. COW 10(41), 380–387.
9. Kowalewicz A. 2000. Podstawy procesów spalania. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
10. Krawczyk D.A., Gładyszewska-Fiedoruk K. 2014. The gas consumption in households in Poland – case study. Rynek Energii, 3(112), 125–129.
11. Matuszek K., Hrycko P. 2015. Przeliczenie składników gazowych i pyłu w spaliniach na tlen referencyjny – idea stosowania. COW 2(46), 43–45.
12. Müller J., Skrzyniowska D. 2012. Jakość powietrza a wentylacja pomieszczeń. Czasopismo Techniczne, 4, 38–41.
13. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, paragraf 5, ustęp 1.
14. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U. 2014 poz. 817.
15. Rybak W. 2006. Spalanie i współspalanie biopaliw stałych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, <https://www.testo.com.pl/produkt/0632+3153/>, dostęp 10.04.2015
16. http://www.poradnikzdrowie.pl/sprawdz-sie/ciekawostki/zatrucie-tlenkiem-węgla-objawy-zatrucia-tlenkiem-węgla_40845.html, dostęp 17.06.2016
17. Zaborowska E. 2013. Projektowanie kotłowni wodnych na paliwa ciekłe i gazowe. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.