

WPŁYW RODZAJU SPALANEGO PALIWA ORAZ URZĄDZENIA GRZEWCZEGO NA JAKOŚĆ POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO

Monika Wierzbńska^{1*}, Agnieszka Adamus¹

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, ul. Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biała

* Autor do korespondencji e-mail: mwierzbinska@ath.bielsko.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono ocenę wpływu rodzaju paliwa oraz urządzenia grzewczego na jakość powietrza atmosferycznego na obszarze obejmującym 15 emitorów charakterystycznych dla gospodarstw jednorodzinnych. Analizę jakości powietrza przeprowadzono obliczając stężenia zanieczyszczeń pyłowych i gazowych w atmosferze w różnych odległościach od emitorów. Pod uwagę wzięto zanieczyszczenia pyłowe i gazowe, emitowane w wyniku ogrzewania domów jednorodzinnych oraz podgrzewania wody użytkowej: pył zawieszony PM10, dwutlenek siarki, dwutlenek azotu oraz dwutlenek węgla. Przyjęto 8 wariantów urządzeń, opalanych paliwami gazowymi, stałymi i ciekłymi, w wersjach starszego typu oraz nowoczesnej. Do obliczeń emisji zanieczyszczeń wykorzystano program Ek100w firmy Atmoterm. Obliczenia wykazały, że maksymalna emisja SO₂ jest 963-krotnie niższa w przypadku spalania gazu ziemnego w kotłach nowoczesnych niż podczas opalania węglem kamiennym "ekogroszkiem", maksymalna emisja NO₂ powodowana użytkowaniem nowoczesnych urządzeń grzewczych, jest niższa w przypadku spalania gazu ziemnego w kotłach nowoczesnych niż przy opalaniu węglem kamiennym "ekogroszek" prawie 5-krotnie, natomiast maksymalna emisja pyłu PM10 jest około 1283-krotnie niższa w przypadku spalania gazu ziemnego w kotłach nowoczesnych, niż podczas wykorzystywania węgla kamiennego "ekogroszek".

Słowa kluczowe: model Pasquill'a, emisja zanieczyszczeń, jakość powietrza, spalanie paliw

IMPACT OF THE TYPE OF FUEL BURNED AND THE HEATING DEVICE ON THE QUALITY OF ATMOSPHERIC AIR

ABSTRACT

The article analyzes the impact of fuel type and heating device on the quality of atmospheric air in an area including 15 emitters characteristic for single-family households. The air quality analysis was conducted by calculating the concentrations of dust and gas pollutants in the atmosphere at various distances from the emitters. Dust and gas pollutants emitted as a result of heating single-family houses and heating utility water were taken into account: suspended dust PM10, sulfur dioxide, nitrogen dioxide and carbon dioxide. Eight variants of the device were used, fired with gaseous, solid and liquid fuels, in older and modern versions. The Ek100w program from Atmoterm was used to calculate the immission of pollutants. Calculations have shown that the maximum SO₂ immission is 963 times lower in the case of natural gas combustion in modern boilers than when firing with "eco-pea coal", the maximum NO₂ immunity caused by the use of modern heating devices is lower in the case of natural gas combustion in modern boilers than with "eco-pea coal" almost 5 times, while the maximum emission of PM10 dust is about 1283-fold lower in the case of natural gas combustion in modern boilers than when using "eco-pea" coal.

Keywords: Pasquill's model, immission, the quality of atmospheric air, fuel combustion

WSTĘP

Podstawowymi działaniami mającymi na celu ochronę powietrza atmosferycznego oraz poprawę jego jakości są metody pierwotne, czyli zapobieganie powstawaniu zanieczyszczeń na etapie doboru rodzaju paliwa spalane w celach grzewczych oraz doboru odpowiedniego kotła. To te dwa czynniki warunkują rodzaj i ilość powstających zanieczyszczeń atmosferycznych, pochodzących ze spalania paliw w celach grzewczych w gospodarstwach jednorodzinnych. Jednym z narzędzi służących do wykonania pełnej analizy stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego spowodowanego emisją zanieczyszczeń z zespołu emitorów jest program Ek100w Firmy Atmoterm. Obliczenia prowadzone są w oparciu o model Pasquilla, rekomendowany w Polsce jako model do obliczania wpływu emisji zanieczyszczeń na stan powietrza atmosferycznego.

IMISJA ZANIECZYSZCZEŃ W POWIETRZU

Imisja jest ilością zanieczyszczeń odbieraną przez środowisko. Jest miarą stopnia jego zanieczyszczenia, definiowaną jako stężenie zanieczyszczeń w powietrzu. Wyrażana jest w jednostkach masy danego zanieczyszczenia na jednostkę objętości powietrza ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ lub ppm, ppb).

Ruch gazowych i stałych zanieczyszczeń, odbywający się w dużych masach powietrza atmosferycznego, nosi nazwę rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze. W wyniku rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń zachodzi zmiana w czasie i przestrzeni, stanu i jakości atmosfery [Markiewicz 2004]. Proces rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze zdeterminowany jest czynnikami meteorologicznymi, topograficznymi i techniczno-technologicznymi [Janka 2014]. Podstawowymi parametrami, na które wpływ mają mieszkańcy budynków jedno- lub wielorodzinnych, jest rodzaj kotła i spalane w nim paliwa. Rzeczywistość polska pokazuje, że to właśnie te czynniki są odpowiedzialne za często występujące w sezonie grzewczym zjawisko smogu.

METODYKA ANALIZY JAKOŚCI POWIETRZA

Analizę jakości powietrza przeprowadzono obliczając stężenia zanieczyszczeń pyłowych i

gazowych w atmosferze w różnych odległościach od emitorów. Pod uwagę wzięto zanieczyszczenia pyłowe i gazowe, emitowane w wyniku ogrzewania domów jednorodzinnych oraz podgrzewania wody użytkowej: pył zawieszony PM10, dwutlenek siarki, dwutlenek azotu oraz dwutlenek węgla. Przyjęto 8 wariantów urządzeń, opalanych paliwami gazowymi, stałymi i ciekłymi, w wersjach starszego typu oraz nowoczesnej.

Do obliczeń imisji zanieczyszczeń wykorzystano program Ek100w firmy Atmoterm, który umożliwił graficzne przedstawienie wyników w postaci izolinii na mapach [Ek100w – Instrukcja Użytkownika 2007]. Program oparty jest na modelu Pasquilla, rekomendowanego przez Ministerstwo Środowiska [Rozporządzenie...2010] i umożliwia przeprowadzenie analizy imisji zanieczyszczeń, emitowanych z pojedynczych emitorów, bądź zespołu emitorów punktowych, liniowych, czy powierzchniowych. Analizę przeprowadzono dla ośmiu rodzajów kotłów i urządzeń grzewczych, korzystając z danych udostępnionych przez jedną z firm produkujących urządzenia grzewcze [www.Vaillant.pl].

Do obliczeń imisji zanieczyszczeń z przydomowych systemów grzewczych przyjęto następujące założenia:

- Emiterem był zespół 15 emitorów punktowych otwartych, charakterystycznych dla gospodarstw jednorodzinnych, o wysokościach 10 m oraz średnicach 1 m;
- Wszystkie kotły opalane były tym samym paliwem i charakteryzowały się tymi samymi parametrami techniczno-technologicznymi;
- Współczynnik szorstkości terenu wynosił 0,5, czyli był właściwy dla obszarów niskiej zabudowy;
- Obszar, na którym zlokalizowany był zespół emitorów wynosił 12 800 m², budynki usytuowano w odległościach 40 m od siebie;

Ponadto założono wartości emisji poszczególnych zanieczyszczeń [www.Vaillant.pl] dla następujących warunków:

- Powierzchnia ogrzewanego budynku wynosiła 300 m² każdy;
- Standard energetyczny budynku wynosił 90 kWh/m³ na rok (budynek dobrze izolowany termicznie);
- Ilość osób korzystających z ciepłej wody wynosiła 6 w każdym budynku;
- Zapotrzebowanie wody na osobę to 60 l/osobę na dzień (potrzeby standardowe);

- Temperatura wody ciepłej wynosiła 45 °C;
- Woda ogrzewana była przez 365 dni w roku;
- Roczna strata ciepła wynosiła +5% (cyrkulacja ciepłej wody użytkowej rocznie).

W obliczeniach wykorzystano następujące wartości opałowe paliw:

- gaz ziemny 10,29 kWh/m³,
- gaz płynny 25,6 kWh/m³,
- olej opałowy 10,09 kWh/m³,
- miał węglowy 5,83 kWh/m³,
- węgiel ekogroszek 6,94 kWh/m³,
- drewno opałowe 3,4 kWh/m³,
- pelet 5,36 kWh/m³ [www.Vaillant.pl].

Przyjęto również sprawności średnioroczne poszczególnych źródeł ciepła:

- kocioł gazowy starego typu: w trybie pracy na ogrzewanie 70%, w trybie pracy na wodę użytkową 60%,
- kocioł gazowy kondensacyjny: 109%/100%,
- kocioł olejowy niskotemperaturowy: 88%/70%,
- kocioł olejowy kondensacyjny: 105%/98%,
- kocioł węglowy na miał: 60%/50%,
- kocioł węglowy na ekogroszek: 75%/50%,
- kocioł na pelet: 88%/70% [www.Vaillant.pl].

W tabeli 1 zestawiono wartości emisji poszczególnych zanieczyszczeń, które w dalszym etapie stanowiły dane wejściowe do programu Ek100w.

Pozostałymi danymi wejściowymi do programu EK100 były:

- współrzędne 15 emitorów punktowych otwartych (E1-E15), zlokalizowanych po jednym na każdym z 15 budynków (wg przyjętego układu współrzędnych),

- współczynnik aerodynamicznej szorstkości terenu $z_0 = 0,5$ m,
- parametry emitorów (wysokość $h = 10$ m, średnica wewnętrzna $d = 1$ m),
- czas emisji $t = 8\ 760$ h w roku,
- średnia temperatura otoczenia dla roku $T_0 = 8$ °C,
- ilość punktów obliczeniowych wynosiła 1000.

Obliczone wartości emisji były wartościami maksymalnymi uśrednionymi dla 1 godziny, dla których wartości odniesienia można znaleźć w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 roku w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu [Rozporządzenie...2010]. W tymże dokumencie podano również metodykę, na podstawie której przeprowadzane były obliczenia stężeń poszczególnych zanieczyszczeń (w programie Ek100w).

W wyniku obliczeń otrzymano tabele zawierające stężenia poszczególnych zanieczyszczeń oraz współrzędne punktów, w których dane stężenie występuje. Program wskazał również najwyższe z obliczonych stężeń i podał współrzędne punktu na powierzchni obliczeniowej, w którym to stężenie wystąpiło. Na podstawie tabel zawierających po 1000 punktów i stężeń zostały wygenerowane mapy przedstawiające rozkład izolinii stężeń na analizowanym terenie 15 gospodarstw jednorodzinnych. Najwyższe ze stężeń maksymalnych 1-godzinowych wytypowanych przez program, zebrano i stworzono wykresy porównawcze dla wszystkich spośród czterech zanieczyszczeń i wszystkich ośmiu wariantów instalacji grzewczych.

Tabela 1. Wartości emisji poszczególnych zanieczyszczeń, emitowanych ze spalania paliw w konkretnych urządzeniach grzewczych [www.Vaillant.pl]

Table 1. Emission values of individual pollutants emitted from the combustion of fuels in specific heating devices [www.Vaillant.pl]

Rodzaj spalanego paliwa	Rodzaj kotła	Emisja CO ₂ [kg/h]	Emisja PM10×10 ⁻⁵ [kg/h]	Emisja SO ₂ ×10 ⁻⁵ [kg/h]	Emisja NO ₂ ×10 ⁻⁵ [kg/h]
Gaz ziemny	Kocioł starego typu, stałotemperaturowy	1,38	0,23	2,17	59,93
	Kocioł kondensacyjny	0,88	0,11	1,37	38,01
Olej opałowy	Kocioł niskotemperaturowy	1,40	3,08	282,99	99,89
	Kocioł kondensacyjny	1,14	2,51	231,28	81,62
Węgiel kamienny	Kocioł na miał	2,72	280,71	1534,70	223,86
	Kocioł na „ekogroszek”	2,28	235,62	1288,13	187,90
Drewno	Kocioł na zgazowanie drewna	0,11	7,76	3250,11	106,28
	Kocioł na pelet	0,31	6,74	94,63	91,55

WYNIKI I ANALIZA

W wyniku przeprowadzonych obliczeń stężeń maksymalnych 1-godzinowych podstawowych zanieczyszczeń powietrza, emitowanych z procesów spalania paliw (stałych, ciekłych i gazowych) w urządzeniach i kotłach przeznaczonych odpowiednio na paliwa stałe (węgiel kamienny, drewno opałowe), ciekłe (olej opałowy) i gazowe (gaz ziemny), otrzymano wartości emisji poszczególnych zanieczyszczeń wraz ze współrzędnymi punktów obliczeniowych. Wizualizację wyników oraz sposób rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń uwidoczniono na mapach rozkładu zanieczyszczeń. Spośród 32 map (emisja 4 rodzajów zanieczyszczeń obliczona dla 8 różnych urządzeń grzewczych) przedstawiono tylko przykładowe, dotyczące rozkładu emisji pyłu zawieszonego PM10 na terenie zespołu 15 emitorów i w bezpośredniej okolicy, w przypadkach zastosowania różnych paliw i różnych typów urządzeń grzewczych (rys. 1–4). Ostatecznie w celu uwidocznienia różnic w emisji poszczególnych czterech zanieczyszczeń, emitowanych z ośmiu różnych urządzeń grzewczych, najwyższe obliczone dla każdego przypadku stężenia zestawiono na wykresach (rys. 5–12).

Na rysunku 1 przedstawiono mapy rozprzestrzeniania się pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu, emitowanego przez zespół piętnastu emitorów, charakterystycznych dla gospodarstw domowych, w wyniku spalania gazu ziemnego w kotłach stałotemperaturowych oraz kotłach kondensacyjnych.

Analizując poziomy emisji PM10 w powietrzu przedstawione na rysunku 1, można zauważyć, że w przypadku kotłów gazowych stałotemperaturowych najwyższe stężenia maksymalne 1-godzinowe sięgają $0,00224 \mu\text{g}/\text{m}^3$, podczas gdy najwyższe wartości stężeń PM10 dla kotłów gazowych kondensacyjnych wynoszą rzędu $0,00090 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Oznacza to, że jeśli wszystkie z 15 kotłów gazowych starego typu zamienimy na nowoczesne kondensacyjne, maksymalna emisja zmaleje o 60%.

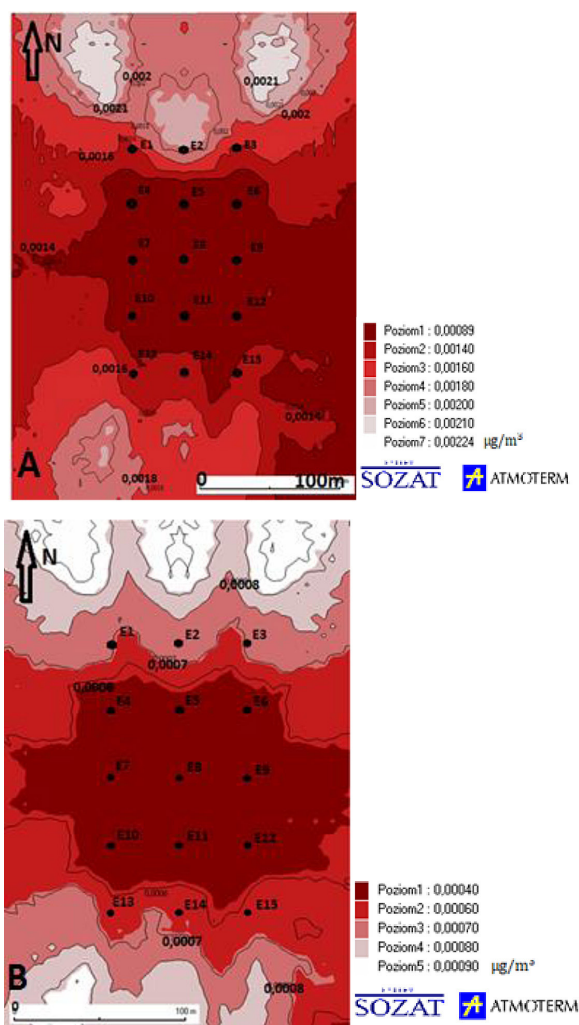
Analogicznie interpretując rysunek 2 można stwierdzić, że wymieniając wszystkie kotły olejowe starego typu na nowoczesne kotły olejowe kondensacyjne możemy spowodować redukcję emisji PM10 o 26%.

Jak pokazuje rysunek 3 modernizując kotłownię przydomową i wymieniając kotły węglowe na miał na kotły na „ekogroszek” zyskamy spadek emisji PM10 o około 16,5%.

Analizując wartości izolinii i poziomy stężeń PM10 przedstawione na rysunku 4 można wnioskować, że zamieniając kotły na zgazowanie drewna opałowego na kotły na pelet można obniżyć emisję maksymalną pyłu zawieszonego PM10 o ponad 13%.

Maksymalne wartości emisji pyłu zawieszonego PM10, obliczone dla ośmiu wariantów urządzeń grzewczych, zestawiono na wykresach ułatwiających porównanie tych stężeń pomiędzy kotłami starego typu, a kotłami nowoczesnymi oraz w ramach tych poszczególnych grup urządzeń (rys. 5–12).

Porównując wykresy przedstawione na rysunkach 5 i 6 nasuwa się wniosek, że najwięk-



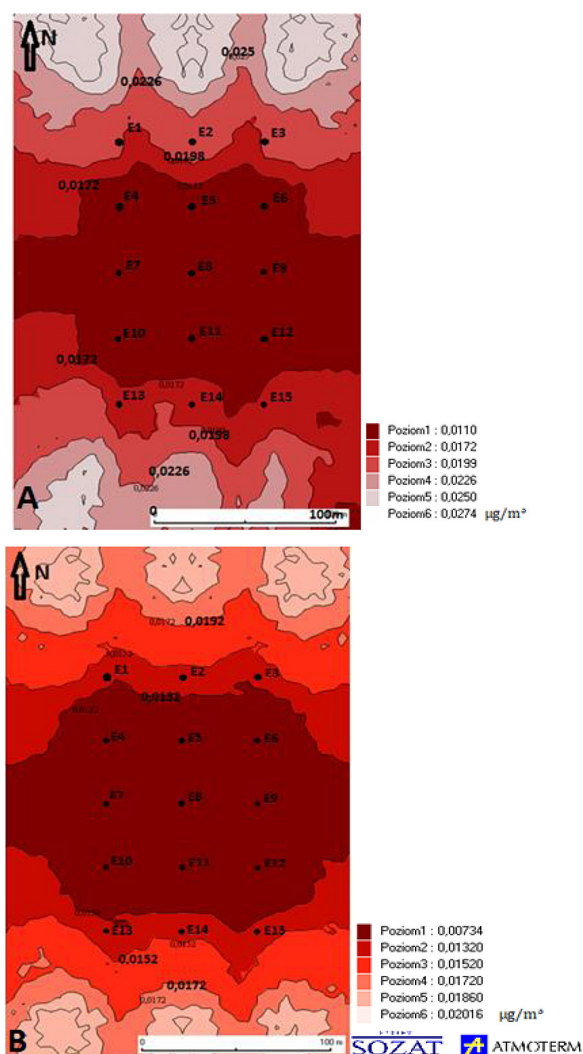
Rys. 1. Mapy rozkładu maksymalnych stężeń 1-godzinnych pyłu zawieszonego PM10 dla kotłów gazowych starego typu (stałotemperaturowych) (A) oraz dla kotłów gazowych kondensacyjnych (B)
Fig. 1. Distribution maps of the maximum 1-hour concentration of particulate matter PM10 for old type gas boilers (constant temperature) (A) and for condensing gas boilers (B)

szym emitentem pyłu zawieszonego PM10 spośród obecnych w handlu urządzeń grzewczych są kotły na węgiel, przy czym spalanie ekogroszku skutkuje niższą emisją PM10 o prawie 16% w porównaniu ze spalaniem mialu. Wartości najwyższe z maksymalnych przedstawione słupkowo na wykresach dotyczą stężeń, które zostały obliczone przez program Ek100w, ale nie zawsze uwzględnione na mapach ze względu na bardzo mały obszar ich występowania. We wszystkich przypadkach urządzeń grzewczych wartości stężeń maksymalnych uśrednionych dla 1 godziny są niższe dla kotłów nowocześniejszych. Wartości emisji PM10 są niższe 0,5-krotnie w przypadku kotłów gazowych kondensacyjnych,

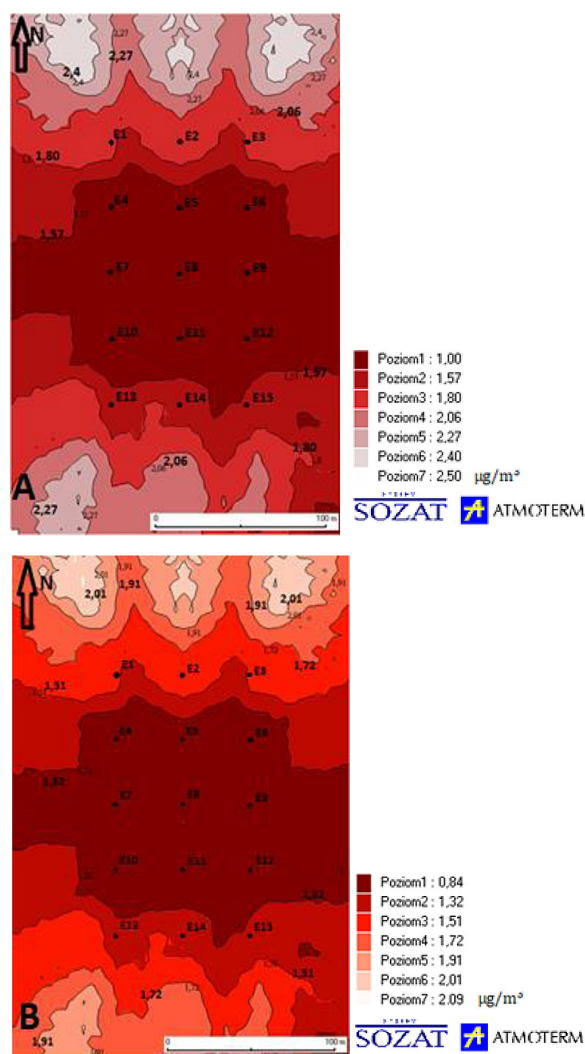
prawie 0,2-krotnie niższe dla kotłów olejowych kondensacyjnych oraz 0,16-krotnie niższe, kiedy wszystkie 15 źródeł emisji to kotły na pelet, a nie na drewno opałowe. Jak wynika z rysunków 5 i 6 najwyższą emisję PM10 zarejestrowano dla kotłów na paliwo węglowe, a najniższą dla kotłów gazowych.

Rysunki 7 i 8 przedstawiają wykresy najwyższych wartości spośród stężeń maksymalnych SO₂, uśrednionych dla 1 godziny, obliczonych dla kotłów starej i nowej generacji, będących w handlu na polskim rynku.

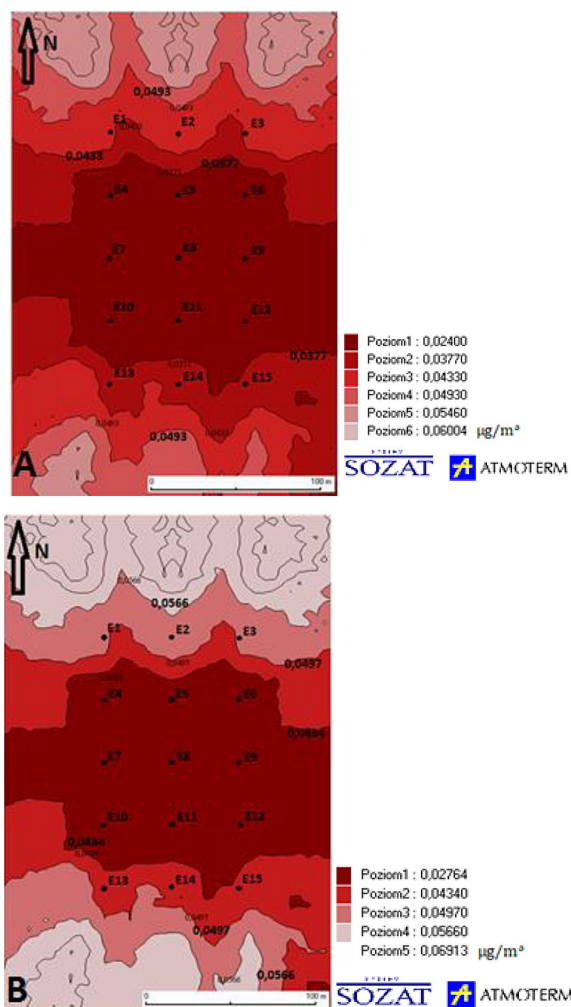
Najwyższą emisję SO₂ powodują kotły na paliwo węglowe, a najniższą kotły gazowe. Maksymalne wartości emisji SO₂ pochodzące z kotłów



Rys. 2. Mapy rozkładu maksymalnych stężeń 1-godzinnych pyłu zawieszonego PM10 dla kotłów olejowych niskotemperaturowych (A) oraz dla kotłów olejowych kondensacyjnych (B)
Fig. 2. Distribution maps of maximum 1-hour concentrations of particulate matter PM10 for low-temperature oil boilers (A) and for oil condensing boilers (B)



Rys. 3. Mapy rozkładu maksymalnych stężeń 1-godzinnych pyłu zawieszonego PM10 dla kotłów węglowych na mial (A) oraz dla kotłów węglowych na „ekogroszek” (B)
Fig. 3. Distribution maps of maximum 1-hour concentrations of particulate matter PM10 for coal-fired boilers (A) and coal boilers with “eco-pea coal” (B)

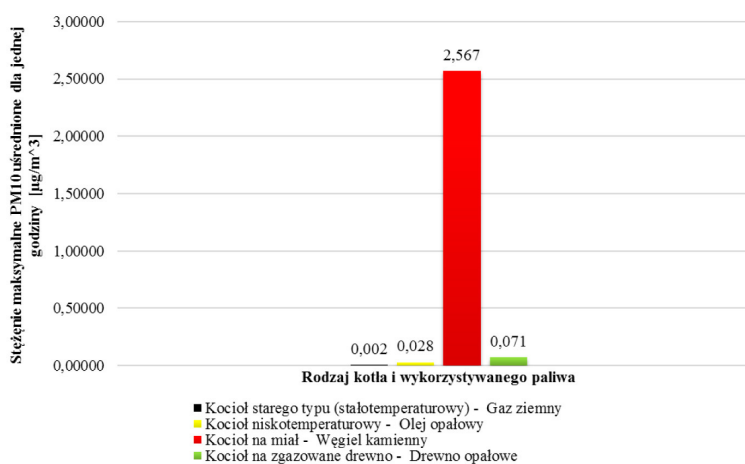


Rys. 4. Mapy rozkładu maksymalnych stężeń 1-godzinnych pyłu zawieszonego PM10 dla kotła na pelet (A) oraz dla kotła na zgazowanie drewna opałowego (B)
Fig. 4. Distribution maps of maximum 1-hour PM10 suspended dust concentrations for a pellet boiler (A) and for a wood gasification boiler (B)

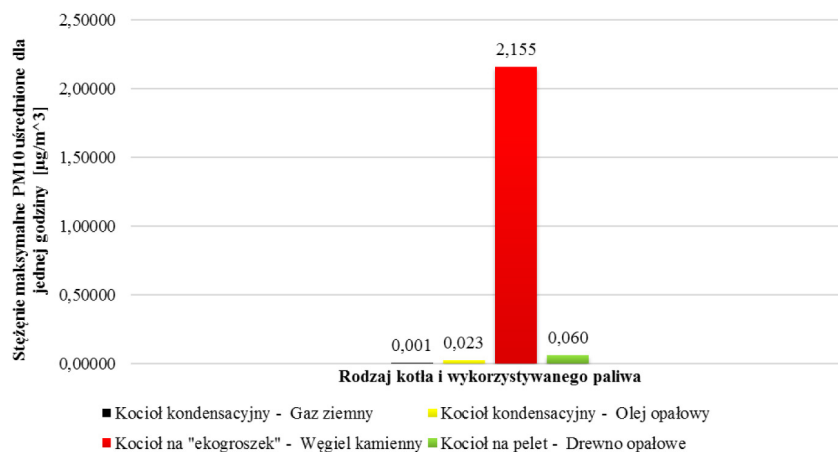
węglowych były wyższe w przypadku kotłów opalanych miałem węglowym o 16% niż kotłów na ekogroszek. Analogicznie imisja maksymalna była wyższa o 23% dla kotłów olejowych niskotemperaturowych niż kondensacyjnych, ponad 34-krotnie wyższa dla kotłów opalanych drewnem opałowym niż na pelet oraz 2-krotnie wyższa w przypadku kotłów gazowych stałotemperaturowych niż kotłów kondensacyjnych.

Jeśli chodzi o emisję CO₂ z różnych urządzeń grzewczych, najwyższą emisją spośród omawianych instalacji charakteryzują się kotły węglowe, a najmniejszą kotły opalane drewnem i peletem. Analogicznie rzecz się ma z imisją, która bezpośrednio jest determinowana charakterystyką emisyjną poszczególnych urządzeń oraz paliw. Na podstawie wykresów zamieszczonych na rysunkach 9 i 10 można wnioskować, że imisja maksymalna CO₂ jest wyższa o 16% jeśli opalamy miałem, a nie ekogroszkiem, wyższa o 41% przy kotłach gazowych starego typu, o prawie 23% wyższa kiedy opalamy nasze gospodarstwa domowe olejem opałowym w kotłach niskotemperaturowych oraz wyższa o ponad 65% gdy przeprowadzimy obliczenia dla zespołu źródeł opalanych drewnem opałowym.

Porównując zestawienia na rysunkach 11 i 12 można zauważyć, że najwyższe z maksymalnych 1-godzinowych stężeń NO₂ były niższe o 40% w przypadku kotłów gazowych kondensacyjnych, prawie jednakowe były dla kotłów olejowych starego i nowego typu, niższe o prawie 16% dla kotłów węglowych na ekogroszek i o niecałe 14% niższe, kiedy spalano pelet, a nie drewno opałowe.

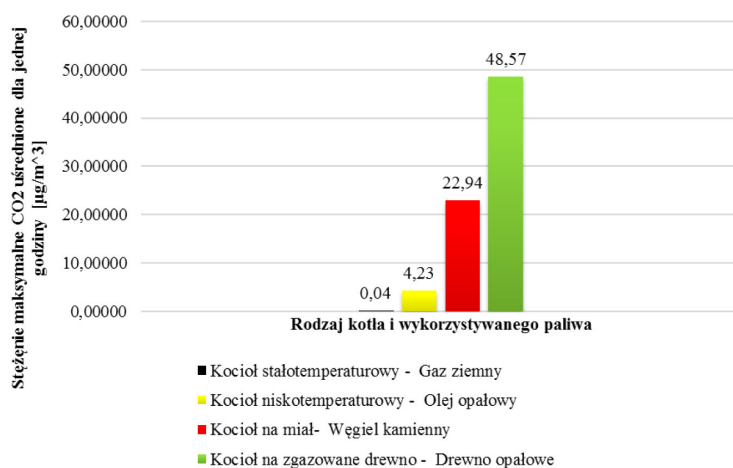


Rys. 5. Zestawienie imisji maksymalnych pyłu zawieszonego PM10 uśrednionych dla jednej godziny, dla kotłów starego typu opalanych różnymi rodzajami paliw
Fig.5. Maximum immission values of particulate matter PM10 averaged for one hour, for old-type boilers fired with various types of fuels



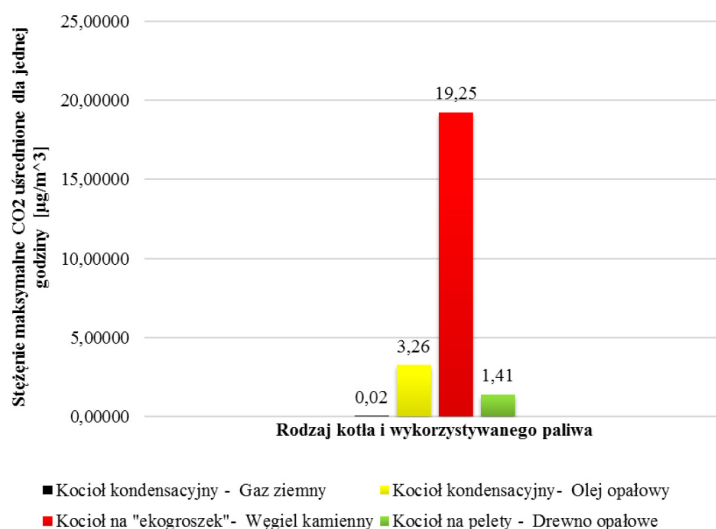
Rys. 6. Zestawienie imisji maksymalnych PM10 uśrednionych dla jednej godziny, dla kotłów nowego typu opalanych różnymi rodzajami paliw

Fig. 6. Maximum immission values PM10 averaged for one hour, for new type boilers fired with various types of fuels



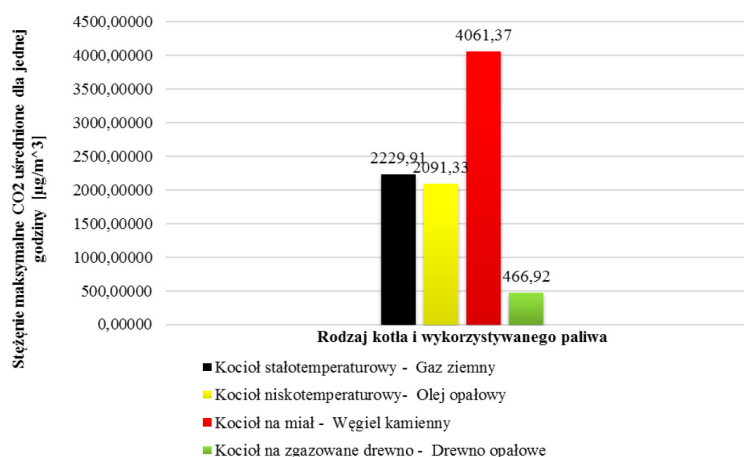
Rys. 7. Zestawienie imisji maksymalnych SO₂ uśrednionych dla jednej godziny dla kotłów starego typu opalanych różnymi rodzajami paliw

Fig. 7. Maximum SO₂ immission values averaged for one hour for old type boilers fired with various types of fuels



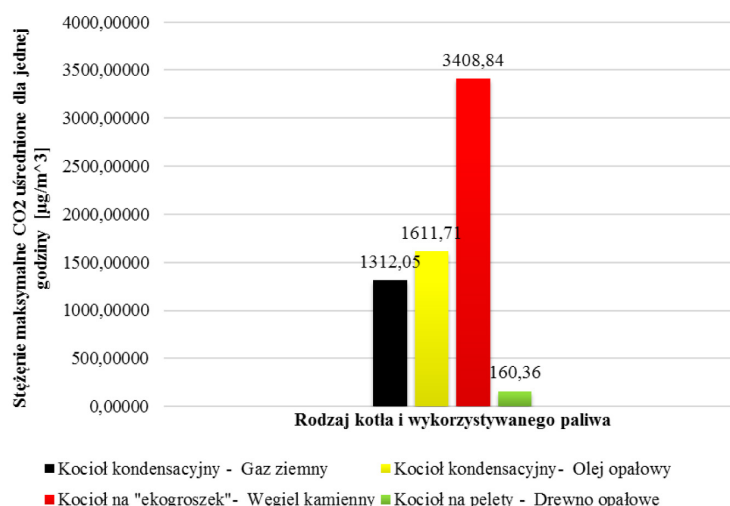
Rys. 8. Zestawienie imisji maksymalnych SO₂ uśrednionych dla jednej godziny dla kotłów nowego typu opalanych różnymi rodzajami paliw

Fig. 8. Maximum SO₂ immission values averaged for one hour for new type boilers fired with different types of fuels



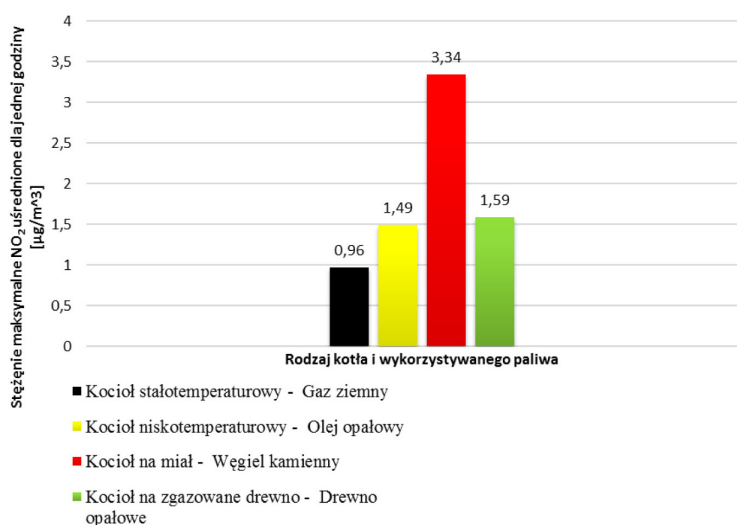
Rys. 9. Zestawienie emisji maksymalnych CO₂ uśrednionych dla jednej godziny dla kotłów starego typu opalanych różnymi rodzajami paliwa

Fig. 9. Maximum CO₂ immission values averaged for one hour for old type boilers fired with various types of fuel



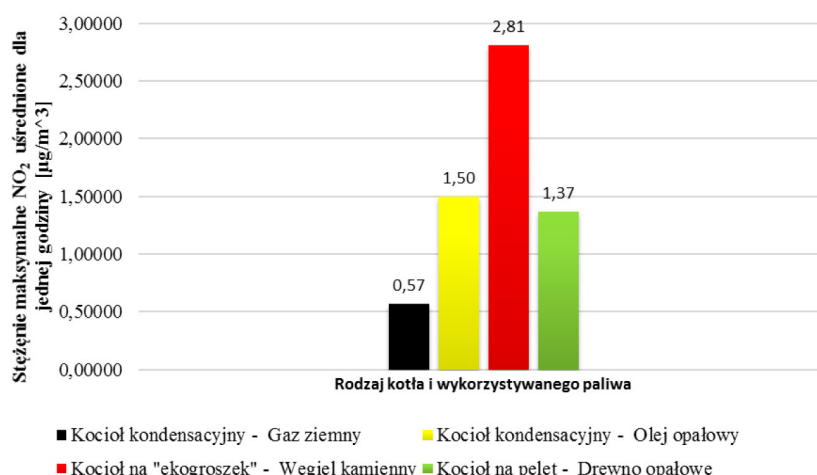
Rys. 10. Zestawienie emisji maksymalnych CO₂ uśrednionych dla jednej godziny dla kotłów nowego typu opalanych różnymi rodzajami paliw

Fig. 10. Maximum CO₂ immission values averaged for one hour for new type boilers fired with different types of fuels



Rys. 11. Zestawienie imisji maksymalnych NO₂ uśrednionych dla jednej godziny, dla kotłów starego typu opalanych różnymi rodzajami paliw

Fig. 11. Maximum NO₂ immission values, averaged for one hour, for old type boilers fired with various types of fuels



Rys. 12. Zestawienie emisji maksymalnej NO₂ uśrednionych dla jednej godziny dla kotłów nowego typu opalanych różnymi rodzajami paliw

Fig. 12. Maximum NO₂ immission values averaged for one hour for new type boilers fired with various types of fuels

WNIOSKI

Analizę wpływu rodzaju spalanego paliwa oraz zastosowanego do ogrzewania gospodarstw domowych rodzaju kotła, przeprowadzono pod kątem różnic w emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych, na terenie zespołu 15 emitorów charakterystycznych dla gospodarstw jednorodzinnych. Wykonane obliczenia pozwoliły na sformułowanie wniosków końcowych:

1. Maksymalna emisja NO₂ powodowana użytkowaniem nowoczesnych urządzeń grzewczych, jest najniższa w przypadku spalania gazu ziemnego w kotłach nowoczesnych (0,57 µg/m³), a najwyższa przy opalaniu węglem kamiennym "ekogroszkiem" (2,80 µg/m³), co przekracza wartość emisji dla gazu prawie 5-krotnie.
2. Maksymalna emisja SO₂ jest najniższa w przypadku spalania gazu ziemnego w kotłach nowoczesnych (0,02 µg/m³), a najwyższa przy opalaniu węglem kamiennym "ekogroszkiem" (19,25 µg/m³), wartość emisji dla gazu jest przekroczona w tym wypadku prawie 963-krotnie.
3. Maksymalna emisja CO₂ jest około 21-krotnie niższa w przypadku spalania drewna w kotłach nowoczesnych (160,36 µg/m³), niż przy zastosowaniu węgla kamiennego "ekogroszek" (3408,84 µg/m³).
4. Maksymalna emisja pyłu zawieszonego PM10 jest najniższa w przypadku spalania gazu ziemnego w kotłach nowoczesnych (0,002 µg/m³), a najwyższa przy opalaniu węglem

kamiennym "ekogroszek" (2,567 µg/m³), co przekracza wartość emisji dla gazu prawie 1283-krotnie.

5. Jeśli wszystkie z 15 kotłów gazowych starego typu zamienić na nowoczesne kondensacyjne, maksymalna emisja zmaleje o 60%.
6. Wymieniając wszystkie kotły olejowe starego typu na nowoczesne kotły olejowe kondensacyjne można spowodować redukcję emisji PM10 o 26%.
7. Gdyby kotły węglowe na miał zamienić na kotły na „ekogroszek” można by uzyskać spadek emisji PM10 o około 16,5%.
8. Zamieniając kotły na zgazowanie drewna opałowego na kotły na pelet można obniżyć emisję pyłu zawieszonego PM10 o ponad 13%.

BIBLIOGRAFIA

1. Ek100w – Instrukcja Użytkownika 2007, Atmterm, Opole.
2. Janka R.M. 2014. Zanieczyszczenia pyłowe i gazowe. Podstawy obliczania i sterowania poziomem emisji, PWN, Warszawa.
3. Markiewicz M.T. 2004. Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
4. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu.
5. <http://vaillant-partner.pl/kalkulatory-on-line/kalkulator-emisji-zanieczyszczen/> [data dostępu: 11.10.2019].