

Zduny, dnia 3 listopada 2022r.

SEJMIK WOJEWÓDZTWA MAZOWIECKIEGO
00-142 Warszawa, Plac Bankowy 3/5

Petycja

W sprawie naprawy programu ochrony powietrza.

Niniejszym wnosimy o podjęcie działań niezbędnych do naprawy UCHWAŁY NR 115/20 SEJMIKU WOJEWÓDZTWA MAZOWIECKIEGO z dnia 8 września 2020 r. w sprawie programu ochrony powietrza dla stref w województwie mazowieckim, w których zostały przekroczone poziomy dopuszczalne i docelowe substancji w powietrzu,

poprzez usunięcie z niej przepisów wskazanych w uzasadnieniu.

UZASADNIENIE

UCHWAŁA NR 115/20 SEJMIKU WOJEWÓDZTWA MAZOWIECKIEGO z dnia 8 września 2020 r. wprowadza czasowe ograniczenia eksploatacji urządzeń na odnawialne paliwa stałe spełniających wymogi ekoprojektu w tzw. dni smogowe oraz w związku z przekroczeniami poziomów docelowych BaP

Pierwszy kwestionowany przez nas zapis mazowieckiego POP to działania o kodach Maz1_EmiPM10_03, Maz2_EmiPM10_03 i Maz3_EmiPM10_03 : Zakaz korzystania z instalacji do spalania biomasy drzewnej (kominków, piecyków kominkowych, piecyków ozdobnych). Zakazy te są wskazane odpowiednio w Tabeli 1 strona 780 POP, Tabeli 2 strona 784 POP i Tabeli 3 strona 789 POP

Drugi kwestionowany przez nas zapis mazowieckiego Programu Ochrony Powietrza to działanie o kodzie "Maz1_EmiBAP_02: Zakaz korzystania z instalacji do spalania biomasy drzewnej gdy nie jest to jedyne źródło ciepła lub gdy do lokalu nie jest dostarczana energia elektryczna wskutek awarii" wskazany w Tabeli 5, strona 792 POP, która określa działania podejmowane w przypadku ryzyka przekroczenia poziomu dopuszczalnego i/lub docelowego dla benzo(a)pirenu

Tabela 1 na stronie 922 POP określa Poziomy dopuszczalne i docelowe substancji w powietrzu

Punkt 5.3. na stronie 806 POP określa tryb ogłaszania wdrożenia działań krótkoterminowych dla benzo(a)pirenu w pyle PM10 w strefach województwa mazowieckiego.

Wnosimy o usunięcie tych zapisów z mazowieckiego Programu Ochrony Powietrza.

Wśród wszystkich źródeł emisji BaP POP wskazuje:

- tło regionalne ze źródeł krajowych
- tło regionalne ze źródeł zagranicznych
- tło regionalne ze źródeł innych
- transport drogowy
- przemysł oraz produkcja ciepła i energii elektrycznej
- sektor handlowy i mieszkaniowy

W ramach tego ostatniego źródła POP nie precyzuje już w jakim stopniu emisja BaP powstaje w wyniku spalania śmieci w urządzeniach do tego nie przeznaczonych, w jakim stopniu w wyniku spalania węgla w urządzeniach pozaklasowych, w jakim stopniu w wyniku spalania biomasy stałej w kominkach i wreszcie w jakim stopniu w wyniku spalania drewna w kominkach spełniających wymogi ekoprojektu.

W świetle przeprowadzonych badań emisji BaP z urządzeń ekoprojektowych i biorąc pod uwagę fakt, że od 1 stycznia roku 2023 nie będzie można na terenie województwa mazowieckiego używać innych urządzeń, ogólny zakaz używania wszelkich kominków jest fatalnym błędem.

Wspomniane badania to:

1. Badanie kominka w warunkach rzeczywistych wykonane w 2021 r. na zlecenie Ogólnopolskiego Stowarzyszenia Kominki i Piece przez Przedsiębiorstwo Badań i Ekspertyz Środowiska „SEPO” (Raport z badań o numerze 527/10-20/1 i publikacja w Science Direct <https://authors.elsevier.com/c/1f1Qc7tDQ9Kmmo>). Badanie to wykazało, że emisja BaP z kominka jest o 95,8% niższa niż przewiduje to wskaźnik EMEP i o 97,5% niższa od wskaźnika Krajowej Bazy KOBiZE.
2. Badanie kominka w warunkach rzeczywistych wykonane na zlecenie firmy Hajduk przez Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla (obecnie Instytut Technologii Paliw i Energii) w 2022 r. (Nr ewidencyjny IChPW 47/2022). Badanie to wykazało, że emisja BaP z kominka jest o 98,3% niższa niż przewiduje to wskaźnik EMEP i aż o 99 % niższa od wskaźnika Krajowej Bazy KOBiZE.

Podsumowanie badania IChPW wskazuje, że „Emisje WWA, w tym wybitnie szkodliwego benzo(a)pirenu są na poziomie nawet 1000-krotnie niższym, niż można znaleźć w źródłach literaturowych, więc jednoznacznie można stwierdzić, że mają nieistotny wpływ na środowisko, czy oddziaływanie na zdrowie człowieka. Zaawansowane konstrukcje miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń spełniających kryteria Ekoprojektu ograniczają wpływ jakości spalanego paliwa (w tym jego wilgotności) na emisję zanieczyszczeń i wpisują się w trend urządzeń OZE minimalizujących negatywne oddziaływanie na jakość powietrza. Ponadto rekomenduje się ich stosowanie szczególnie w miejscach narażonych na pojawianie się tzw. epizodów smogowych.”

Z drugiej strony ekspert alarmu smogowego prof. Piotr Kleczkowski, autorytet w dziedzinie smogu i autor książki "Smog w Polsce. Przyczyny, skutki, przeciwdziałanie" przyznał niedawno, że "Nawet przy 150 krotnym PRZEKROCZENIU normy benzo a pirenu ryzyko wystąpienia choroby nowotworowej jest bardzo niskie".

Można zatem powiedzieć, że związek używania kominków z emisją BaP praktycznie nie istnieje. **Tymczasem w roku 2021 kwestionowany zakaz został wprowadzony od dnia 26.04.2021 r. do dnia 31.12.2021 r. A w tym roku od dnia 25.04.2022 r. do dnia 31.12.2022 r.**

Drewno jest paliwem ekologicznym na każdym etapie jego przetwarzania i energetycznego wykorzystania. Produkcja drewna opałowego nie ma negatywnego wpływu na poziom zalesienia w Polsce a wręcz przeciwnie: stymuluje rozwój gospodarki przez zalesianie niezagospodarowanych gruntów i zapewnia miejsca pracy. Paliwa drzewne są w głównej mierze produktem ubocznym pozyskiwania i przetwarzania drewna pełnowartościowego wykorzystywanego w przemyśle meblarskim i w konstrukcjach drewnianych. Lokalne wykorzystywanie drewna przekłada się na minimalny ślad węglowy wynikający z transportu i przygotowania do wykorzystania jako stałego biopaliwa. Drewno z polskich lasów, jako uboczny produkt gospodarki leśnej, jest powszechnie dostępne i niedrogie.

W przypadku ogrzewania drewnem powstaje tyle samo dwutlenku węgla ile wchłonęło ono podczas swojego wzrostu, czego rezultatem jest zerowy bilans emisji CO₂. Jest to zgodne z polityką UE, której celem jest osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050r. Używanie drewna, w przeciwieństwie do gazu, który jest paliwem kopalnym, nie wiąże się z emisją gazów cieplarnianych i pozwala na spełnienie wymaganego przez UE udziału OZE w miksie energetycznym.

Badania kominków w warunkach rzeczywistych wykazały, że emisje pyłów mieszczą się w granicach wyznaczonych przez normy a emisja BaP pozostaje na poziomie nieistotnym i nie mającym wpływu na zdrowie. Ograniczenia eksploatacji kominków spełniających wymogi ekoprojektu z tych powodów nie mają uzasadnienia.

Zakazy i ograniczenia eksploatacji kominków należy zastąpić edukacją na temat prawidłowego spalania.

Niedopuszczalne są jakiegokolwiek ograniczenia stosowania odnawialnego źródła energii jakim jest biomasa. Niedopuszczalne są również ograniczenia eksploatacji urządzeń spełniających wymogi ekoprojektu. W szczególności jeśli chodzi o ogrzewanie gospodarstw domowych i realizację prawa obywateli do bezpieczeństwa energetycznego.

Podstawowym błędem technicznym i merytorycznym kwestionowanych przepisów jest stosowanie pojęcia „paliwa stałe” przez co dochodzi do zestawienia i jednakowego potraktowania przez uchwały drewna i pelletu, które są odnawialnymi źródłami energii z węglem, który jest paliwem kopalnym.

Biomasa drzewna - to biopaliwo stałe, niekopalne - zalecane do powszechnego stosowania w Unii Europejskiej dyrektywą PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. Drewno kawałkowe, zrębki, pellet, brykiet to produkty biomasy drzewnej, które zgodnie z art.2 pkt.3 i 7a Ustawy z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, dalej jako ustawa o OZE - są zaliczane do odnawialnych źródeł energii.

Postulujemy, żeby usunąć ograniczenia dla urządzeń na biomasę, które spełniają wymogi Ekoprojektu – są to wystarczające normy zapewniające brak istotnego wpływu na jakość powietrza, co potwierdziła grupa wybitnych naukowców europejskich w tej właśnie dyrektywie.

Używanie urządzeń spełniających wymagania Ekoprojektu na drewno nie ma istotnego wpływu na jakość powietrza. Jeśli ktoś twierdzi, że jest inaczej dla tej grupy urządzeń, to powinien przedstawić badanie naukowe, które by to potwierdzały. Takich badań nie ma, więc i zakazów być nie może. Zwłaszcza dotyczących używania drewna kawałkowego, które ma najmniejszy z paliw ślad węglowy i nie da się do niego dodać zanieczyszczeń.

Przede wszystkim należy wskazać, że bez wątpienia kwestionowane przepisy ograniczają prawo własności właścicieli kominków i miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń w tym właścicieli kominków spełniających wymogi ekoprojektu określonych Rozporządzeniem 2015/1185, poprzez wprowadzenie zakazów i ograniczeń eksploatacji. Co najistotniejsze ograniczenie to jest wprowadzone w drodze uchwały sejmiku województwa, czyli w drodze aktu prawa miejscowego, a nie ustawy. Naszym zdaniem ustawa Prawo Ochrony Środowiska nie daje wystarczającej delegacji do wprowadzania takich ograniczeń prawa własności.

Programy Ochrony Powietrza i Uchwały Antysmogowe powinny być tworzone z dbałością o bezpieczeństwo energetyczne obywateli poprzez promowanie ogrzewaczy pomieszczeń opalanych odnawialną biomasą leśną, spełniających wymagania EKOPROJEKTU na równi z innymi urządzeniami zasilanymi OZE (jak np. pompy ciepła, fotowoltaika). Przepisy takie nie mogą prowadzić do powstawania lub zwiększania zjawiska ubóstwa energetycznego.

Wnosimy o odwołanie się do wyników konsultacji społecznych do projektu nowelizacji mazowieckiej uchwały antysmogowej, które były przeprowadzone jesienią tego roku. Podczas tych konsultacji zdecydowana większość głosów była przeciwna wprowadzaniu jakichkolwiek nowych ograniczeń dla biomasy.

W obliczu rosnących cen gazu, braku pewności co do ciągłości dostaw tego surowca oraz zawieszenia przez dostawców gazu wykonywania nowych przyłączy, wszelkie ograniczenia możliwości używania biomasy prowadzą wprost do ubóstwa energetycznego i godzą w bezpieczeństwo energetyczne uzależniając ludzi od dużych sieci przesyłowych i skazując na monopol dostawców i związane z tym wysokie ceny.

W załączeniu przesyłamy badania emisji z kominków ekoprojektowych.

W imieniu Zarządu i Członków



Piotr Batura

Prezes Ogólnopolskiego Stowarzyszenia „KOMINKI i PIECE”

l.dz.

Ogólnopolskie Stowarzyszenie „Kominki i Piece”
ul. Rynek 2, 63-760 Zduny

Opinia naukowa

dotyczy raportu z badań pomiarów emisji miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń na drewno

Autor

Dr hab. inż. Robert Kubica, Prof. Pol. Śl.

Podstawa formalna opracowania

Podstawą opracowania niniejszej opinii jest zlecenie z dnia 17.09.2021 r., otrzymane z Ogólnopolskiego Stowarzyszenia „Kominki i Piece” z siedzibą w Zdunach, adres ul. Rynek 2, 63-760 Zduny, wpisanego do rejestru stowarzyszeń, innych organizacji społecznych i zawodowych, fundacji oraz samodzielnych publicznych zakładów opieki zdrowotnej KRS pod nr 0000174273. Zgodnie z zakresem zlecenia autor opinii obejmie analizą porównawczą udostępniony przez Zleceniodawcę raport badawczy.

Cel i przedmiot opracowania

Celem niniejszej analizy jest ocena emisyjności miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń na drewno, zbadanej w warunkach rzeczywistych w odniesieniu do wymogów norm produktowych oraz wskaźników emisji stosowanych w inwentaryzacji emisji, wyliczaniu emisji a także w modelowaniu rozprzestrzeniania zanieczyszczeń. Przedmiotowa ocena dotyczy w szczególności poziomu emisji pyłu całkowitego oraz benzo(a)pirenu, jako głównych, szkodliwych zanieczyszczeń stanowiących podstawę regulacji prawnych wdrażanych w obszarze ochrony powietrza.

Przedmiotem oceny są wyniki pomiarów emisji, zrealizowanych w warunkach terenowych w przedsiębiorstwie Konrad Kućmierz „EKO-TERM KUĆMIERZ” Firma Handlowo-Usługowa z siedzibą w Jasienicy, adres 43-385 Jasienica nr 1472, nr NIP 9372222782, przez akredytowane laboratorium, Przedsiębiorstwo Badań i Ekspertyz Środowiska „SEPO” spółka z ograniczoną odpowiedzialnością z siedzibą w Knurowie, adres ul. Dworcowa 47, 44-190 Knurów, wpisana do rejestru przedsiębiorców KRS pod nr 0000099952 (dalej również „laboratorium akredytowane”), na zlecenie Ogólnopolskiego Stowarzyszenia „Kominki i Piece” z siedzibą w Zdunach, adres ul. Rynek 2, 63-760 Zduny, wpisanego do rejestru stowarzyszeń, innych organizacji społecznych i zawodowych, fundacji oraz samodzielnych publicznych zakładów opieki zdrowotnej KRS pod nr 0000174273 (Raport z badań o numerze 527/10-20/1).

Zakres badań terenowych

Według przedmiotowego sprawozdania dotyczącego pomiarów emisji zanieczyszczeń zrealizowanych przez laboratorium akredytowane, badaniami objęto dwa typy urządzeń opalanych drewnem: piec o mocy 33 kW z akumulacyjnym wymiennikiem ciepła (urządzenie „A”) i piec o mocy 14 kW (urządzenie „B”) z wymiennikiem spaliny-woda. Najważniejsze cechy i parametry w/w urządzeń grzewczych zestawiono w tabeli 1. Badania zostały wykonane w dniach od 20.10.2020 r. do 21.10.2020 roku.

Tabela 1. Parametry obiektów badanych

Parametry urządzenia	A	B
Wymiary komory spalania (S/G/H)	1.01 / 0.45 / 0.65 [m]	0.65 / 0.35 / 0.70 [m]
Konstrukcja	Piec z układem ceramicznych kanałów akumulacyjnych	Wkład kominkowy / 99 [dm ³] wymiennik ciepła spaliny-woda
Wymiana ciepła	Wymiana ciepła do otoczenia przez promieniowanie i konwekcję z urządzenia i modułu akumulacyjnego	Wymiana ciepła bezpośrednio do otoczenia przez promieniowanie i konwekcję, oraz pośrednia wymiana ciepła przez czynnik roboczy w obiegu, wodę
Przewód kominowy (średnica/wysokość)	0.2 / 9 [m]	
Ciąg kominowy	12 – 15 [Pa]	
Rok wprowadzenia na rynek	2014	2006

Badane urządzenia to generacja urządzeń znacznie starsza niż obecnie wprowadzane na rynek, zgodne z Ekoprojektem. Badane konstrukcje, urządzenie A i B mają odpowiednio 7 i 15 lat. Jednak ich budowa lokuje te rozwiązania w grupie zaawansowanych urządzeń.

Urządzenia w trakcie badań zasilane były dwoma różnymi rodzajami drewna: brzoza i buk. Drewno pocięto na szczapy o długości 0,3-0,4m. Porcje paliwa do kolejnych testów zostały zważone tak, aby utrzymać nominalny wsad paliwa zgodnie z zaleceniami określonymi w instrukcjach obsługi: 9 kg dla urządzenia A i 5 kg dla urządzenia B. Jako paliwo stosowano drewno bukowe i brzożowe, ponieważ są one zalecane przez producentów urządzeń. Charakterystykę paliwa (wartość opałowa i wilgotność w stanie roboczym) przedstawiono w tabeli 2. Paliwo spełniało wymogi określone dla paliw stałych wg norm przepisanych. Drewno nie było pozbawione kory.

Tabela 2. Wartość opałowa i zawartość wilgoci w biopaliwach stałych, zastosowanych w badaniach

Właściwości	Symbol	Jednostka	Drewno	
			Buk	Brzoza
Wilgoć w stanie roboczym	W_t^r	%	14	13
Wartość opałowa	Q_s^r	MJ/kg	16,5	16,3

Metodyka pomiarów

W badaniach pomiarów emisji stosowano metody laboratorium akredytowanego w krajowej jednostce akredytującej – Polskim Centrum Akredytacji, zgodnie z normami PN i ISO.

Pomiar stężenia lotnych związków organicznych (LZO) przeprowadzono w oparciu o normę PN-EN 12619:2013-05 techniką płomieniowo-jonizacyjną (FID).

Strumień masowy spalin wyznaczono na podstawie normy PN-Z-04030-7:1994. Prędkość gazu zmierzono metodą anemometryczną. Zastosowano sondę wyposażoną w anemometr wiatraczkowy. Prędkość gazu została zmierzona w kilku punktach na każdą oś pomiarową, zgodnie z normami odniesienia.

Pomiar stężenia pyłu w gazach odlotowych został wykonany manualną metodą grawimetryczną z zachowaniem izokinetyczności pomiaru. Metoda ta polega na pobieraniu próbek gazów odlotowych z kanału za pomocą sondy pomiarowej. Na wlocie sondy zamocowana jest końcówka aspiracyjna, a następnie separator pyłu z umieszczoną w nim przegrodą filtracyjną (filtracja wewnętrzna). Izokinetyczność pomiaru utrzymywana jest w sposób automatyczny.

Oznaczenie stężenia wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych WWA wykonano przez pobór reprezentatywnej próbki gazu z poszczególnych punktów przekroju pomiarowego.

Z zaaspirowanych spalin po ich przejściu przez odpowiednio dobraną końcówkę na materiale filtracyjnym wydzielana jest stała frakcja, zawierająca benzo(a)piren i pozostałe wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Następnie próbka gazów odlotowych kierowana jest do szklanego toru, który jest chłodzony cieczą. Ochłodzenie próbki powoduje wykroplenie pary wodnej, która zbierana jest w szklanym pojemniku na skropliny. Następnie próbka przechodzi przez układ dwóch szklanych cartridge'ów z sorbentem XAD-2, na którym adsorbowane są WWA występujące w gazach spalinowych w fazie gazowej. Stężenie w spalinach pobranych WWA analizowane jest metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detekcją fluorescencyjną.

Pomiary stężenia tlenków azotu (NO_x) przeprowadzono metodą chemiluminescencyjną przy użyciu analizatora gazów.

Stężenie objętościowe tlenu (O₂) zawartego w gazach odlotowych wyznaczane było z zastosowaniem analizatora gazów, działającego w oparciu o metodę paramagnetyczną.

Stężenie tlenku węgla (CO), dwutlenku węgla (CO₂), oraz dwutlenku siarki (SO₂) było mierzone analizatorem gazów z zastosowaniem metody niedyspersyjnej spektrometrii w podczerwieni (NDIR).

Pobór pyłu prowadzony na standardowe sączi lub gilzy do pomiaru stężenia pyłu ogółem (metoda grawimetryczna z poborem prowadzonym w sposób izokinetyczny), z których jest on następnie wymywany¹⁾ do ośrodka dyspersyjnego z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej. Subfrakcje PM₁₀ i PM_{2.5} oznaczane są metodą dyfrakcji laserowej.

Zestawienie metod analitycznych i ich zakresów oraz norm odniesienia właściwych dla oznaczania stężeń badanych zanieczyszczeń przedstawiono w tablicy 3.

Tabela 3. Identyfikacja zastosowanych metod badawczych

Lp.	Badana substancja lub parametr	Metoda badawcza	Zakres metody
1	Strumień objętości gazu	PN-Z-04030-7:1994 (metoda anemometryczna)	Prędkość 0,40 – 25 [m/s]
2	Pył ogółem	PN-Z-04030-7:1994 (metoda grawimetryczna)	1,0 – 100 000 [mg/m ³]
3	PM ₁₀ , PM _{2,5}	pobór; PN-Z-04030-7:1994 analiza (metoda dyfrakcji laserowej) ISO 13320:2009 ISO 14488:2007	0,01 – 2100 [um] Współczynnik absorpcji strumienia 2-15 [%]
4	Tlen	PN-ISO 10396:2001 oraz PN-EN 14789:2006 - (Wz)	0,5 – 21 [% obj.]
5	Dwutlenek węgla	PN-ISO 10396:2001 ISO 12039:2001 (metoda NDIR)	0,03 – 18 [% obj.]
6	Dwutlenek siarki	PN-ISO 10396:2001 (metoda NDIR)	20 – 2860 [mg/m ³]
7	NO _x (w przeliczeniu na NO ₂) ¹⁾	PN-ISO 10396:2001 PN-EN 14792:2006 – (Wz) (met. - chemiluminescencja)	3 – 2000 [mg/m ³]
8	Tlenek węgla	PN-ISO 10396:2001 PN-EN 15058:2006 – (Wz) (met. absorpcja IR)	1,25 – 1500 [mg/m ³]
9	OGC jako TVOC (Suma LZO)	PN-EN 12619:2013-05	2 – 1000 [mg/m ³]
10	Suma WWA	ISO 11338-1:2003, ISO 11338-2:2003	Dla każdego składnika sumy WWA 0,00005 – 1 [mg/m ³] 0,050 – 5,0 [μg/próbkę]

(Wz) – Norma wycofana z zbioru norm PKN, zastąpiona (okres przejściowy do 20.09.2021r. zgodnie z rozporządzeniem zmieniającym Ministra Klimatu z dnia 16 grudnia 2019 r. poz. 2455).

¹⁾ NO_x (w przeliczeniu na NO₂) – tlenek azotu i dwutlenek azotu w przeliczeniu na dwutlenek azotu zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 30 października 2014 w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody Dz.U. 2014 poz. 1542 (tekst jednolity ogłoszony w obwieszczeniu Ministra Środowiska z dnia 15 października 2019 r. poz. 2286).

Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów w przeliczeniu na wskaźnik emisji wyrażony w g/GJ przedstawione zostały w tablicy 4.

Tabela 4. Wyniki pomiarów emisji zanieczyszczeń ze spalania różnych rodzajów drewna kawałkowego w badanych ogrzewaczach pomieszczeń, g/GJ.

		Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Średnia	Niepewność
Palenisko akumulacyjne, buk	Wskaźnik emisji	Pył ogółem	9,56	6,95	12,74	10,30
		Pył zawieszony PM10	6,70	5,29	10,47	8,11
		Pył zawieszony PM2,5	1,59	2,38	4,52	3,28
		OGC	311,67	15,77	42,85	86,87
		NOx (w przeliczeniu na NO2) 3)	40,35	48,91	76,04	60,57
		Dwutlenek siarki	18,65	4,21	2,70	6,29
		Tlenek węgla	5452,00	2981,66	545,62	2271,57
		Dwutlenek węgla	81252,67	83256,47	89004,49	85740,93
Palenisko akumulacyjne, brzoza	Wskaźnik emisji	Pył ogółem	20,11	11,25	10,14	12,22
		Pył zawieszony PM10	8,27	10,21	6,39	7,90
		Pył zawieszony PM2,5	1,32	5,97	2,23	3,23
		OGC	976,03	152,50	9,44	221,44
		NOx (w przeliczeniu na NO2) 3)	58,87	71,87	59,28	63,12
		Dwutlenek siarki	46,87	10,89	2,77	12,93
		Tlenek węgla	3339,08	1038,38	183,30	995,01
		Dwutlenek węgla	87470,72	89379,25	89151,87	88973,31
Palenisko z płaszczem, buk	Wskaźnik emisji	Pył ogółem	33,50	12,21	17,19	23,99
		Pył zawieszony PM10	30,82	10,40	13,98	21,41
		Pył zawieszony PM2,5	20,65	5,63	9,06	13,92
		OGC	112,97	64,86	351,67	158,72
		NOx (w przeliczeniu na NO2) 3)	59,15	61,26	43,19	55,81
		Dwutlenek siarki	9,19	4,88	14,54	9,37
		Tlenek węgla	1332,06	2029,14	3517,49	2046,29
		Dwutlenek węgla	90025,72	89106,71	86673,42	88969,15
Palenisko z płaszczem, brzoza	Wskaźnik emisji	Pył ogółem	22,06	12,96	13,04	15,72
		Pył zawieszony PM10	17,81	12,40	12,89	14,22
		Pył zawieszony PM2,5	8,76	10,85	9,27	9,60
		OGC	56,27	127,06	42,11	72,22
		NOx (w przeliczeniu na NO2) 3)	61,21	53,50	62,52	59,41
		Dwutlenek siarki	3,28	6,44	2,47	3,92
		Tlenek węgla	1430,61	1446,65	523,48	1075,89
		Dwutlenek węgla	88199,06	90717,75	90714,97	90009,07

		Akumulacyjne		Z płaszczem	
		Buk	Brzoza	Buk	Brzoza
Wskaźnik emisji	Suma WWA	210,36	164,15	126,03	142,57
	Naftalen	113,65	63,83	68,16	51,42
	Acenaften	1,49	4,71	0,95	0,39
	Fluoren	19,92	21,36	8,10	2,76
	Fenantren	37,35	58,97	37,60	43,01
	Antracen	20,74	3,29	1,90	1,94
	Fluoranten	9,09	3,60	4,28	25,02
	Piren	2,59	1,82	1,91	11,28
	Benzo(a)antracen	1,02	0,87	0,55	1,59
	Chryzen	2,01	3,35	1,02	1,98
	Benzo(b)fluoranten	0,91	0,73	0,43	0,96
	Benzo(k)fluoranten	0,27	0,28	0,19	0,46
	Benzo(a)piren	0,51	0,55	0,27	0,55
	Dibenzo (a,h) antracen	0,17	0,25	0,18	0,21
	Benzo(g,h,i)perylene	0,33	0,30	0,25	0,48
	Indeno(1,2,3-c,d)piren	0,31	0,26	0,24	0,53

Suma 4WWA	mg/GJ	2,00	1,82	1,13	2,50
-----------	-------	------	------	------	------

Omówienie uzyskanych wyników

Uzyskane wyniki pomiarów można odnieść, m.in. do wymagań Ekoprojektu, Rozp. KE (UE) w odniesieniu do miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń, które przedstawione zostały w tablicy 5. Wymagania te będą obowiązującymi we wszystkich krajach UE od 1 stycznia 2022 r. Dopuszczalne wielkości emisji wyrażone zostały w g/GJ.

Tabela 5. Wymagania rozporządzeń ekoprojektu dla urządzeń grzewczych na biopaliwa stałe: Rozp. KE (UE) 2015/1185 dla ogrzewaczy pomieszczeń; Rozp. KE (UE) 2015/1189 dla kotłów c.o.

Wymagania, Ogrzewacze pomieszczeń Rozp. KE (UE) 2015/1185 Kotły Rozp. KE (UE) 2015/1189	Sprawność użytkowa (η_s) %	Emisja zanieczyszczeń, ⁽¹⁾ g/GJ			
		Pył (PM) ⁽²⁾	OGC ⁽³⁾	CO	NO _x
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń na drewno z zamkniętą komorą spalania	≥65	≤26,8	≤80,3	≤1004	≤134
Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń na drewno z otwartą komorą spalania	≥30	≤33,5	≤80,3	≤1340	≤201
Kocioł automatyczny na biomasę	≥75 ¹⁾ oraz ≥77 ²⁾	≤26,8	≤13,4	≤335	≤134
Kocioł ręczny na biomasę o mocy	≥75 ¹⁾ oraz ≥77 ²⁾	≤40,2	≤20,1	≤469	≤134

1) mocy ≤20kW

2) mocy >20kW

Biomasa drzewna, paliwo, którego podstawowymi pierwiastkami są: węgiel ok.49,5%, tlen ok.43,8%, wodór ok. 6,0%, azot ok. 0,2% i inne, w tym pierwiastki tworzące substancję mineralną. Główne struktury chemiczne tworzące drewno to: celuloza (ok. 45%), hemicelulozy (ok. 30%) i lignina (ok. 20%). W drewnie występują też cukry, białka, skrobia, garbniki, oleje eteryczne, gumy, żywice, woski. Lignina w drzewie liściastym występuje w ilości od 19 do 26 % natomiast u iglastych od 26 do 29%. Nie pozostaje to bez wpływu na przebieg procesu spalania i emitowane zanieczyszczenia organiczne, zwłaszcza w warunkach niepełnego spalania powodującego emisję niskotemperaturowej termolizy substancji organicznej paliwa (niska temperatura, nieodpowiednia ilość powietrza podawanego do procesu spalania). Procesowi spalania towarzyszyć może emisja formaldehydu, metanu, amoniaku, chlorowodoru, fenoli, alkoholi itp. Monitorowane są jednak głównie zanieczyszczenia takie jak SO₂, NO_x, CO, LZO, pył (PM, TSP) czy WWA, zgodnie z obowiązującymi uregulowaniami.

Emisja SO₂ uzależniona jest od zawartości siarki w paliwie, średnia zawartość siarki w biomasie drzewnej pozbawionej kory nie przekracza 0,05%, ale w korze zawartość może być nawet kilkunastokrotnie lub

kilkudziesięciokrotnie większe (A. Karaszkiewicz; *Analiza wybranych właściwości chemicznych drewna i kory robinii akacjowej (ROBINIA PSEUDOACACIA L.)*, *Inżynieria Rolnicza* 8(117)/2009 ¹.

W przeprowadzonych badaniach typ ogrzewacza, jak i rodzaj spalanego drewna nie miały istotnego wpływu na zmierzone stężenia SO₂. Wyznaczone wskaźniki emisji wahały się w zakresie od 3,9 g/GJ do 12,9 g/GJ, średnio 8,1 g/GJ, czyli poniżej wskaźnika 11,0 g/GJ, przyjętego w poradniku EIG EMEP 2019 ².

Emisja NO_x uzależniona jest zarówno od zawartości azotu w paliwie – drewnie, jak i od organizacji procesu spalania. Jednak w przypadku ogrzewaczy pomieszczeń, ze względu na rozkład temperatury w komorze spalania emisja tego zanieczyszczenia zależy przede wszystkim od zawartości azotu w paliwie. Podobnie jak w przypadku siarki, zawartość azotu jest kilkunastokrotnie lub kilkudziesięciokrotnie wyższa w korze niż w drewnie pozbawionym kory. Stąd też emisja NO_x będzie podobnie jak w przypadku SO₂, zależała od przygotowania opału. Wyznaczone wskaźniki emisji w przypadku obydwu urządzeń grzewczych wahają się od 55,0 g/GJ do 63,1 g/GJ, ze średnią 59,5 g/GJ, czyli znacząco poniżej wymagania rozp. Ekoprojekt, a także podobnie jak w przypadku SO₂, poniżej 95 g/GJ przyjętym dla ogrzewaczy ze znakiem ekologicznym w poradniku EIG EMEP 2019 ³.

Emisja TSP i jego subfrakcji uzależniona jest zarówno od zawartości substancji mineralnej/popiołu w paliwie – drewnie, jak i od organizacji procesu spalania. W warunkach niepełnego spalania mamy do czynienia z powstawaniem i emisją sadzy (BC), cząstek PM_{2.5} (jak poniżej w akapicie Emisja CO, OGC(LZO)). W przeprowadzonych badaniach spalania drewna w ogrzewaczach pomieszczeń uśredniony wskaźnik emisji TSP – 15,6 g/GJ był niższy w porównaniu do wymagań rozp. ekoprojekt, 26,8 g/GJ. W porównaniu do wartości wskaźnika przyjętego TSP/PM oraz PM₁₀ i PM_{2.5} dla ogrzewaczy ze znakiem ekologicznym w poradniku EIG EMEP 2019, wyznaczone w badaniach wartości wskaźników emisji są znacząco niższe.

Emisja CO, OGC (LZO), wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) oraz pyłu (produktów niepełnego i niezupełnego spalania)

Emisja CO i lotnych związków organicznych, podobnie jak i pozostałych zanieczyszczeń organicznych, w tym benzo(a)pirenu kancerogennych WWA w procesie spalania biomasy drzewnej w ogrzewaczach pomieszczeń uzależniona jest przede wszystkim od organizacji procesu spalania, (za wyjątkiem dioksyn i furanów, gdzie mamy zależność od zawartości chloru). Zanieczyszczenia te stanowią produkty niepełnego spalania substancji organicznej paliwa. Im wyższy jest stopień niepełnego spalania substancji organicznej

¹ [https://ir.ptir.org/artykuly/pl/117/IR\(117\)_2575_pl.pdf](https://ir.ptir.org/artykuly/pl/117/IR(117)_2575_pl.pdf)

² , <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion/view>

³ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion/view>

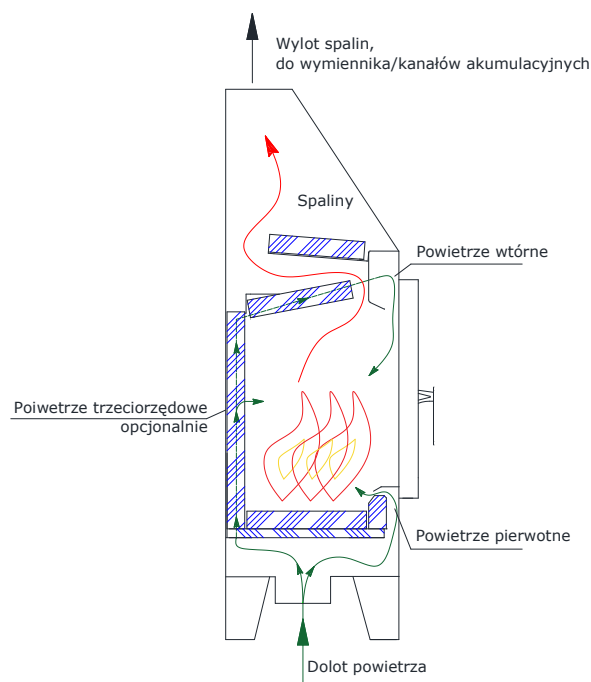
paliwa, tym niższa sprawność energetyczna paleniska (mniejsza ilość wytworzonego ciepła użytkowego). Jednocześnie wzrasta emisja zanieczyszczeń produktów niepełnego spalania.

Optymalny dobór parametrów procesu spalania określa, tzw. zasada 3T (ang. Turbulence – Temperature – Time), czyli homogenizacja/wymieszanie spalanej mieszanki gazowych produktów rozkładu substancji organicznej paliwa z tlenem z powietrza, odpowiednia temperatura w strefie spalania/utleniania i odpowiednio długi czas przebywania mieszaniny reakcyjnej w odpowiednio wysokiej temperaturze. Te zasady w przypadku urządzeń grzewczych realizowane są poprzez właściwy dobór stosunku ilości powietrza do spalnego paliwa – optymalnie poprzez automatyzację dozowania paliwa i powietrza oraz sterowanie i kontrolę ich ilości w czasie, podział wprowadzanego powietrza na pierwotne i wtórne oraz zastosowanie systemu sterownia i kontroli jego ilości, w zależności od jakości paliwa i konstrukcji urządzenia grzewczego, a także stosowanie odpowiednich elementów konstrukcji i materiałów konstrukcyjnych komory spalania, które sprzyjają homogenizacji mieszanki paliwowej i utrzymywaniu odpowiednio wysokiej temperatury w palenisku (deflektory, „zawirówywalce” w komorach dopalania). Ważnym elementem, w przypadku urządzeń grzewczych z pośrednim przekazywaniem wytworzonego użytkowego ciepła do otoczenia jest sposób odbioru tego ciepła przez czynnik, jakim zazwyczaj jest woda lub rzadziej powietrze, czyli konstrukcja wymiennika ciepła.

W prostych urządzeniach grzewczych – ogrzewaczach pomieszczeń, stosowanych w rozproszonym indywidualnym ogrzewnictwie stosowana jest technologia spalania w złożu stałym, która może być realizowana różnymi technikami, w zależności od organizacji procesu spalania: dolnego spalania, spalania przeciwpądowego; dolnego spalania w prądzie krzyżowym; spalania współpądowego (Kubica K.; Rozdział 7: „Zanieczyszczenia środowiska powodowane termicznym przetwarzaniem paliw i biomasy” i rozdział 8: „Przemiany termochemiczne węgla i biomasy” w Termochemiczne Przetwórstwo Węgla i Biomasy; str. 145-232, ISBN 83-913434-1-3, Copyright by IChPW and IGSMiE PAN; Zabrze-Kraków; 2003). Technika dolnego spalania, spalanie przeciwpądowe jest charakterystyczne dla prostych urządzeń z okresowym, ręcznym załadunkiem paliwa. W układzie takim realizowane jest, tzw. dolne spalanie. W spalaniu dolnym, biopaliwo stałe – drewno opałowe jest dostarczane do strefy spalania (złoża) ze strony przeciwnej do kierunku dopływu powietrza. Powstające lotne produkty rozkładu paliwa stałego wchodzić więc w strefę spalania z lokalnym niedoborem tlenu, słabą homogenizacją mieszaniny; lotne produkty – tlen z powietrza spalania. Jest to strefa o stosunkowo niskiej temperaturze (poniżej 800°C), zwłaszcza w fazie rozpału (nawet poniżej 500°C). W tych warunkach lotne produkty rozkładu biopaliw stałych nie ulegają zupełnemu, całkowitemu spalaniu tylko po przejściu przez komin dostają się do środowiska w formie aerozolu wodno-pyłowo-gazowego (dymu) z dużą zawartością zanieczyszczeń organicznych, tzw. substancji smolistych, w tym: lotnych związków organicznych (LZO/VOCs: niskowrzące węglowodory alifatyczne, aromatyczne, alkiloaromatyczne, aldehydy, ketony, fenole itd.), średniolotne (SVOCs – ang. Semivolatile Organic Compounds) i niskolotne wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (benzo(a)piren). Należy zauważyć, że emisja CO wzrasta także w wysokich temperaturach, 800–850°C, w przypadku zachodzenia reakcji Boudouarda (dysproporcjonowanie tlenku węgla do dwutlenku węgla oraz C). Urządzenia grzewcze o prostej konstrukcji, umożliwiają również prowadzenie procesu spalania w reżimie współpądowym, tzw.

spalanie górne, które jest zalecane przez producentów urządzeń grzewczych, jako rozwiązanie istotnie ograniczające emisję zanieczyszczeń.

Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne analizowanych ogrzewaczy pomieszczeń wykorzystują dystrybucję powietrza podawanego do spalania, na pierwotne i wtórne, czasami trzeciorzędowe. Przykład dystrybucji powietrza w ogrzewaczu pomieszczeń przedstawiony został na rysunku 1.



Rys. 1. Dystrybucja powietrza do spalania

Zmodyfikowany jest również sposób wprowadzania powietrza gwarantujący zwiększenie homogenizacji mieszanki paliwowej (powietrze – gazy palne, produkty odgazowania paliwa). Stosuje się także wstępne podgrzanie powietrza dla uzyskania możliwie wysokiej temperatury w palenisku, niezbędnej dla dobrego spalania. Rozwój techniczny tego typu konstrukcji, obserwowany powszechnie na świecie objawia się również w obszarze stosowania zaawansowanych materiałów konstrukcyjnych, w tym ceramiki refrakcyjnej ma gwarantować optymalny profil temperatury w komorze spalania. Konstrukcja komory, w tym liczne deflektory o optymalnej geometrii, zaprojektowane z wykorzystaniem narzędzi numerycznej mechaniki płynów CFD) mają gwarantować wydłużenie czasu przebywania mieszanki reakcyjnej (produkty odgazowania-powietrze) w strefie wysokich temperatur. W wyniku zastosowania tak zaawansowanej techniki spalania, nowoczesne ogrzewacze pomieszczeń – piece i kominki charakteryzują się wysokimi sprawnościami energetycznymi (powyżej 80%) oraz niskimi wskaźnikami emisji zanieczyszczeń stanowiących produkty niepełnego spalania, tj. CO, OGC (LZO/VOCs), pył (cząstki stałe, PM, TSP), sadza

(sadza, BC). Urządzenia spełniające wymagania Rozp. KE (UE) 2015/1185 w/s wymagań ekoprojektu, realizując proces dobrego spalania charakteryzują się również bardzo niską emisją wielopierścieniowych węglowodorów, zwłaszcza 3-6 pierścieniowych, których generowanie w procesie spalania stanowi pośrednie stadium tworzenia się i emisji sadzy (BC), cząstek PM2.5.

W przypadku pośredniego przekazywania wytworzonego użytkowego ciepła do otoczenia, ważna jest konstrukcja wymiennika ciepła i miejsce jego zabudowy w ogrzewaczu pomieszczenia. Zabudowa wymiennika w bezpośredniej bliskości paleniska (np. ścian i stropu komory spalania czy rusztu) będzie skutkować przechłodzeniem komory i intensywnym tworzeniem się wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, sadzy i PM2.5, PM10. W przypadku badanych konstrukcji (urządzenie B) wymiennik zabudowany był za czopuchem paleniska, co gwarantuje utrzymanie niskiej emisji zanieczyszczeń.

Uśredniona emisja CO, OGC, TSP i jego subfrakcji PM10 i PM2.5 oraz 4 WWA ze spalania obydwu rodzajów drewna kawałkowego w obydwu typach pieców, w warunkach eksploatacji w terenie, jest zdecydowanie niższa niż stosowane wskaźniki emisji dla ogrzewaczy pomieszczeń ze znakiem ekologicznym przyjętych w poradniku EIG EMEP 2019 ⁴. Natomiast, uśredniona emisja CO i OGC ze spalania obydwu rodzajów drewna kawałkowego w obu badanych typach pieców, jest nieco wyższa w porównaniu do odnośnych wymagań rozp. Ekoprojekt. W przypadku OGC, może skutkować wyższą rzeczywistą emisją pyłu, w szczególności cząstek drobnych, pyłów kondensacyjnych. Te ostatnie, drobne subfrakcje pyłu (w tym PM1) mogą zawierać znaczący udział WWA. Dzieje się tak gdyż pyły drobne, kondensacyjne powstają przez kondensację prekursorów gazowych występujących w spalinach, w tym lotnych WWA. Formowanie tych zanieczyszczeń związane jest z obniżeniem temperatury spalin na drodze do wylotu z komina i poza nim i przejściem przez punkt rosy średniolotnych i niskolotnych związków organicznych zawartych w spalinach wprowadzanych z ogrzewaczy do kanału odprowadzania spalin. Uzyskane wyniki, również w odniesieniu do emisji CO i OGC uznać należy za niskie, gdyż uzyskane zostały w badaniach terenowych, poza laboratoryjnych, na urządzeniach o konstrukcji datowanej na 2006 i 2014 rok.

⁴ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion/view>

Odniesienie do wskaźników emisji i danych literaturowych

Ocena wyników badań obejmowała również porównanie wskaźników emisji TSP/PM, PM₁₀, PM_{2.5}, LZO (OGC), CO, NO_x i SO₂ oraz 4 WWA wyznaczonych w warunkach rzeczywistych z danymi literaturowymi, w tym wskaźnikami emisji wykorzystywanymi w modelowaniu rozprzestrzeniania zanieczyszczeń i inwentaryzacji emisji.

Uzyskane, uśrednione rezultaty badań, odniesione do wartości opałowej paliwa zestawiono w tabeli 5. Porównano je ze wskaźnikami emisji stosowanymi w przygotowaniu raportów krajowych zgodnie z wymogami Protokołu LRTAP (EIG 2019r), literaturowymi wskaźnikami z lat 90 ubiegłego stulecia (USEPA) i początkowych lat XXI wieku, które w ostatnim czasie były wielokrotnie cytowane w różnych źródłach i przypisywane również urządzeniom nowoczesnym, zaawansowanym. Dane te są charakterystyczne dla spalania biomasy w kominkach otwartych lub z, tzw. otwartą komorą spalania, o przestarzałej konstrukcji. Jednak wartości te powszechnie przypisuje wszystkim ogrzewaczom na drewno, niezależnie od ich konstrukcji. Wyniki pomiarów porównano także z danymi zagregowanych wskaźników emisji pyłu, dla pieców i kominków, opalanych drewnem zawartymi w poradniku KOBIZE IOŚ PIB Warszawa 2021r., z raportów dla IOŚ KOBIZE.

Tab.5. porównanie wskaźników emisji TSP/PM, PM₁₀, PM_{2.5}, LZO (OGC), CO, NO_x i SO₂ oraz 4 WWA wyznaczonych w warunkach rzeczywistych (kolor zielony) ze spalania drewna bukowego i brzoźowego w piecu z układem kanałów akumulacyjnych i palenisku płomienicowym z wodnym wymiennikiem ciepła z danymi literaturowymi.

Zanieczyszczenie	Wskaźnik emisji, g/GJ ²⁾									
	Czechy, tunel rocz. ¹⁾	EIG 2019 ⁴⁾	EIG 2019 ⁵⁾	Badania US EPA ⁶⁾	KOBIZE ⁷⁾ Tier 1	Palenisko z akumulacją		Palenisko Z wymiennikiem wodnym		Średnia z badań 1-4
		nowocz. znak. ekolog.	Tier 1	Kominki konwenc.	Piece, kominki	Buk/1 ³⁾	Brzoza/2 ³⁾	Buk/3 ³⁾	Brzoza/4 ³⁾	1-4
TSP/PM ogółem	97,9	100; (20 - 250)	800 (400-1600)	b.d.	370	10,3	12,2	24,0	15,7	15,6
PM.10	93,0	95; (19 - 238)	760 (380-1520)	b.d.	330	8,1	7,9	21,4	14,2	12,9
PM 2.5	90,6	93; (19 – 233)	740 (370-1480)	b.d.	300	3,3	3,2	13,9	9,6	7,5
OGC (VOC/LZO)	705,8	250; (20 – 500)	600; (20-3000)	b.d.	600	86,9	221,4	158,7	72,2	138,4
CO	4851,8	2000; (500 – 5000)	4000; (1000-10000)	b.d.	5500	2 271	995	2046	1076	1597
NOx	61,9	95; (50 – 150)	50; (30 – 150)	b.d.	50	60,6	63,1	55,0	59,4	59,5
SO ₂	b.d.	11; (8 – 40)	11; (8 – 40)	b.d.	11	6,3	12,9	9,4	3,9	8,1
Benzo(a)piren	92,1	10; (5 – 20)	121; (12-1210)	176	250	0,51	0,55	0,27	0,55	0,47
Benzo(b)fluoranten	72,4	16; (8 – 32)	111; (11-1110)	235	240	0,91	0,73	0,43	0,96	0,76
Benzo(k)fluoranten	47,9	5; (2 – 10)	42; (4-420)	59	150	0,27	0,28	0,19	0,46	0,30
Indeno(1,2,3-cd)piren	61,5	4; (2 – 8)	71; (7-710)	588	180	0,31	0,26	0,24	0,54	0,34
Suma 4 WWA	273,9	35; (17 – 70)	345	1058	820	2,00	1,82	1,13	2,51	1,87
Suma WWA (15)	n.d.	n.d.	b.d.	15705,7	b.d.	210,36	164,16	126,03	142,57	160,78

¹⁾ NovaMetodikaEBSpalowZdrojuVDomacnostech; średnia dla kominków, pieców (ogrzewaczy pomieszczeń); T121044, uwzględniają nowe konstrukcje;

²⁾ WWA mg/GJ

³⁾ numer badania w raporcie

⁴⁾ WWA pochodzą z danych literaturowych: Boman, C., Pettersson, E., Westerholm, R., Boström, D. & Nordin, A., 2011: Stove Performance and Emission Characteristics in Residential Wood Log and Pellet Combustion, Part 1: Pellet Stoves. *Energy Fuels* 2011, 25. (2011); Johansson, L.S., Leckner, B., Gustavsson, L., Cooper, D., Tullin, C. & Potter, A., 2004: Emissions characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. *Atmospheric Environment*, 2004, 38. (2004)⁵⁾;

⁵⁾ Tier 1, czyli zagregowane do wyliczenia przez ilość spalanej paliwa; takie same wartości przyjęto dla *Conventional stoves* oraz *High-efficiency stoves (stoves, fireplaces, cooking,...)*; WWA pochodzą z danych literaturowych: Goncalves et al. (2012); Tissari et al. (2007); Hedberg et al. (2002); Pettersson et al. (2011); Glasius et al. (2005); Paulrud et al. (2006); Johansson et al. (2003); Lamberg et al. (2011)⁶⁾;

⁶⁾ US EPA, 1996; AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors Vol 1 Stationary Point and Area Sources, United States Environmental Protection Agency,⁷⁾; (za: John J. Todd; Wood-Smoke Handbook: Woodheaters, Firewood and Operator Practice; Eco-Energy Options, 2003⁸⁾;

⁵⁾ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion/view>

⁶⁾ <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-small-combustion/view>

⁷⁾ <http://www.epa.gov/ttn/chief/index.html>

⁸⁾ <https://www.cleantairtas.com/links/woodsmoke-handbook.pdf>

oryginalne dane w mg/kg, przeliczono na GJ przyjmując 17GJ/tonę; dane przywołane w materiale Piotr Siergiej, Jakub Jędrak: Kominki. Czy spalanie drewna jest problemem?, Warszawa, luty 2019;⁹

⁷⁾ KOBIZE (opracowanie: K. Kubica; Analiza i oszacowanie trendu wskaźników emisji CO₂, WWA, PCDD/Fs oraz PCB ze spalania paliw stałych w sektorach mieszkalnictwa i usług w latach 2000-2014 Warszawa marzec 2017 rok), zagregowany dla starych ogrzewaczy pomieszczeń; znikomy udział nowych konstrukcji eksploatowanych w terenie.

Analiza danych, zestawionych w tab. 5., jednoznacznie wskazuje na istotne różnice w pomiędzy wartościami zmierzonymi i raportowanymi w przywołanych źródłach literaturowych. Dotyczy to wszystkich analizowanych zanieczyszczeń, tj. pyłu całkowitego (TSP), jego subtrakcji PM₁₀ i PM_{2.5} (drobnych cząstek stałych pyłu zawieszonego), tzw. gazowych związków organicznych OGC (VOC/LZO), tlenku węgla, sumy 4 WWA, w tym benzo(a)pirenu o kancerogennym i mutagennym charakterze szkodliwości dla zdrowia, które są objęte raportowaniem do Konwencji EKG ONZ w sprawie transgranicznego zanieczyszczania powietrza na dalekie odległości (CRLTAP) oraz sumy WWA. Zastosowana technika spalania w nowoczesnych urządzeniach grzewczych, skutkuje wysokim stopniem redukcji emisji zanieczyszczeń w porównaniu do przyjmowanych aktualnie wielkości właściwych dla przestarzałych urządzeń:

- redukcja emisji pyłu >98%
- redukcja emisji WWA >99%
- redukcja emisji benzo(a)pirenu >>99% (ponad stukrotnie niższa wartość)
- redukcja emisji lotnych związków organicznych >85%.

Odniesienie wartości zmierzonych nawet do przyjmowanych oficjalnie dla nowoczesnych urządzeń ponownie wypada korzystnie:

- redukcja emisji pyłu >80%
- redukcja emisji WWA >90%
- redukcja emisji benzo(a)pirenu >95%

Podsumowanie i wnioski

Badania emisyjności urządzeń omówione w niniejszej analizie zostały zrealizowane w sposób metodycznie poprawny, z wykorzystaniem odpowiedniego sprzętu i procedur pomiarowych zgodnych z normami odniesienia, zatwierdzonych przez PCA.

Rozwój techniki i technologii spalania stałych biopaliw w ostatnich dziesięcioleciach zaowocował powszechną dostępnością na rynku wysokoefektywnych energetycznie i niskoemisyjnych ogrzewaczy pomieszczeń – kominków, pieców, regulowanych Rozp. KE (UE) 2015/1185 w/s ekoprojektu. Od kilku lat

⁹ <https://smoglab.pl/wp-content/uploads/2020/09/Kominki-opracowanie-FINAL-1.pdf>

na rynku są dostępne kominki spełniające jego wymagania, (Kubica K., *Dyrektywa NEC – redukcja emisji zanieczyszczeń zagrażających zdrowiu...*; *EKOLOGIA* nr 3/95/2020 str. 31 do 34; <http://ekologia-info.com.pl/images/stories/pdf/ekologia-3-2020.pdf>).

Analizowane wyniki badań przeprowadzonych przez akredytowane laboratorium w warunkach zbliżonych do rzeczywistych dla ogrzewaczy pomieszczeń zasilanych drewnem kawałkowym, dowodzą, że:

- zaawansowane technologicznie urządzenia, o ręcznym załadunku mogą realizować proces czystego spalania. Dzieje się tak dzięki zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych. Innowacje techniczne związane są przede wszystkim z kilkustopniową dystrybucją powietrza podawanego do spalania i kontrolą jego strumienia, konstrukcją komory spalania i odpowiednimi materiałami w tym ceramiką akumulacyjną i refrakcyjną.
- nowoczesne miejscowe ogrzewacze pomieszczeń są skutecznym rozwiązaniem dla poprawy jakości powietrza przez zastąpienie/eliminację przestarzałych źródeł ciepła tego samego rodzaju, służących do bezpośredniego ogrzewania pomieszczeń. Charakteryzują się wielokrotnie niższą emisją zanieczyszczeń, w tym kancerogenów i pyłu całkowitego i jego subtrakcji PM10 i PM2.5.

Należy jednak podkreślić, że te rezultaty można osiągnąć w przypadku nowoczesnych urządzeń opalanych drewnem opałowym, dobrej jakości, sezonowanym do wilgotności <20%. Jeśli chcemy korzystać z zalet tych urządzeń, to jako użytkownicy musimy zapewnić poprawną ich obsługę, gwarantującą minimalne oddziaływanie na środowisko, a także regularnie czyścić instalacje odprowadzania spalin - komin. Urządzenia te muszą być zasilane paliwem, pozyskiwanym i wykorzystywanym lokalnie. Biomasa drzewna musi posiadać odpowiednie parametry jakościowe – pellety drzewne, brykiety drzewne, drewno kawałkowe (o zaw. wilgoci poniżej 20% i optymalnie z minimalną ilością kory, lub bez jej udziału; sezonowane, suszone).

Dane te pokazują pozytywny potencjał urządzeń na biomasę w procesie redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza. Konieczne jest możliwie powszechne stosowanie takich nowoczesnych urządzeń grzewczych. Pozwoli to skutecznie przeciwdziałać zjawisku smogu, ale również osiągać cele klimatyczne – neutralność węglową. Pozyskanie drewna i następnie jego przygotowanie jako stałego biopaliwa (przez sezonowanie/suszenie) oraz ostatecznie lokalne wykorzystanie, nie wiąże się ze zużyciem się dużej ilości energii, co sprawia że ślad węglowy tego OZE jest znikomy.

Zauważyć należy, że biomasa drzewna nie jest odpowiednio promowana jako OZE. W realizowanych programach na rzecz poprawy jakości powietrza (nawet zakazywana zapisami niektórych uchwał antysmogowych), eliminuje się lub ogranicza jej stosowanie, co jest działaniem wbrew powszechnym trendom światowym. Brak odpowiedniej promocji zastanawia szczególnie w odniesieniu do obserwowanych trendów europejskich i odnośnych regulacji prawnych (dyrektywa REDII, „Zielony Ład”). Austria w strategii do 2050 roku zaplanowała udział biomasy w sektorze ogrzewnictwa na poziomie 47%, ponieważ sektor pozyskiwania, przeróbki biomasy na paliwo oraz branża kotłowa i kominkowa na drewno

przynosi do budżetu dochody większe, niż pozostałe branże OZE razem wzięte (PV, el. wiatrowe, pompy ciepła) i zapewnia pracę dla tysięcy ludzi, (<https://biznesalert.pl/smog-czyste-powietrze-polska-biomasa-krystyna-kubica-tomasz-mirowski/>).

Miejscowe ogrzewacze pomieszczeń: wkłady kominkowe, piecyki, piece akumulacyjne są istotnym elementem bezpieczeństwa energetycznego w rozproszonym indywidualnym ogrzewnictwie mieszkaniowym. Dotyczy to szczególnie awarii sieci elektroenergetycznych, lub niekorzystnych warunków meteorologicznych. Jednocześnie, konstrukcje spełniające wymagania ekoprojektu, niskoemisyjne ogrzewacze pomieszczeń, zasilane drewnem są lokalnie dostępnym, ważnym źródłem energii odnawialnej.

Krajowe regulacje prawne w odniesieniu do miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń na drewno – uchwały antysmogowe

Biomasa, w tym drewno to największy, rodzimy zasób OZE. Jej energetyczne wykorzystanie w nowoczesnych urządzeniach grzewczych, jako opcja dla ograniczenia emisji niskiej z sektora komunalno-bytowego i jednocześnie ochrony klimatu, jest nie tylko pomijane, ale co ważne blokowane. Aktualnie, w wielu strefach naszego kraju, trwają analizy studialne i konsultacje w zakresie oceny jakości stanu powietrza. Stanowią one podstawę, m.in. zakazów stosowania paliw stałych wdrażanych miejscowymi uchwałami antysmogowymi, lub ograniczeń w zakresie eksploatacji urządzeń. W większości tych aktów prawnych podstawą podejmowanych, radykalnych działań jest uśredniony/zagregowany **wskaźnik emisji pyłu całkowitego ze spalania drewna w ogrzewaczach pomieszczeń**, przyjęty na poziomie **550 g/GJ** w opracowaniu KOBIZE IOŚ PIB, nt. „Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw dla źródeł o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW, (tablica 5.1, strona 13)¹⁰. Należy zauważyć, że opracowanie KOBIZE zawiera także wartości wskaźników emisji wyodrębnione dla nowoczesnych ogrzewaczy pomieszczeń (piece, piecokuchnie, kominki) spełniających wymogi ekoprojektu (tablica 7.2., str. 16). Według zawartych w opracowaniu informacji wskaźnik **emisji pyłu całkowitego dla nowoczesnych urządzeń** nie przekracza wartości określonej w raporcie KOBIZE na poziomie **37 g/GJ**.

Wskaźnik emisji pyłu 550 g/GJ z pewnością nie powinien być wykorzystywany do opisu emisyjności nowoczesnych ogrzewaczy pomieszczeń, czy pieców na pellet drzewny. W świetle przeprowadzonych badań jest to wartość wielokrotnie zawyżona w stosunku to rzeczywistej emisyjności tych urządzeń, jeśli są użytkowane zgodnie z wytycznymi producenta. Należy więc stwierdzić, że **w odniesieniu do nowoczesnych ogrzewaczy pomieszczeń należy stosować wskaźnik nieprzekraczający wartości 37 g/GJ, określony w raporcie KOBIZE**¹¹.

Ponadto, w świetle analizowanych omówionych wyników badań stwierdzić można, że brak jest podstawy do wdrażania zakazu spalania stałych biopaliw otrzymywanych z biomasy drzewnej, w tym drewna kawałkowego w nowoczesnych urządzeniach grzewczych, tym bardziej zgodnych z wymogami

¹⁰ https://krajowabaza.kobize.pl/docs/MATERIAL_wskazniki_male_kotly_2020.pdf

¹¹ https://krajowabaza.kobize.pl/docs/MATERIAL_wskazniki_male_kotly_2020.pdf

Ekoprojektu. Można stwierdzić, że w sposób bezzasadny, i całkowicie niepotrzebny ogranicza się przez to wykorzystanie rodzimych zasobów OZE, biomasy drzewnej ponieważ jak dowodzą wyniki badań nowoczesne urządzenia nie oddziałują na środowisko i ludzi w sposób istotny. Wręcz przeciwnie, wykorzystywanie drewna do celów grzewczych we wszystkich jego postaciach, w nowoczesnych urządzeniach i przez to ograniczenie wykorzystywania paliw kopalnych, jak gaz ziemny, może wydatnie przyczynić do poprawy stanu środowiska naturalnego. Promowanie biomasy drzewnej dla ogrzewnictwa indywidualnego jest ugruntowanym trendem w wysokorozwiniętych krajach Europy zachodniej, gdzie od lat funkcjonują mechanizmy intensywnego wsparcia finansowego dla urządzeń na biomasę, w tym ogrzewaczy pomieszczeń. Przykładem może tu być chociażby Francja, Niemcy, Austria, Skandynawia czy Szwajcaria znana ze szczególnej troski o czystość powietrza oraz zdrowie ludności.

Przyjmowane rozwiązania prawne, w tym miejscowe uchwały antysmogowe, winny w sposób zdecydowany rozróżniać nowoczesne, niskoemisyjne urządzenia grzewcze OZE, zgodne z Ekoprojektem od prawdziwych zagrożeń dla jakości powietrza, tj. źródeł przestarzałych, niespełniających jakichkolwiek wymogów – szkodliwych kopciuchów. Drastyczne regulacje prawne, eliminujące OZE z sektora ogrzewnictwa indywidualnego uznać należy za wadliwe, wręcz szkodliwe, szczególnie w przypadku ich oddziaływania na obszarach pozamiejskich. Różnią się one w sposób zasadniczych od obszarów wielkomiejskich. W takich szczególnych przypadkach, tj. obszarach ścisłych centrów miast o charakterystycznej zwartej zabudowie i słabym przewietrzaniu, uzasadnione wydaje się wdrażanie co najwyżej okresowych ograniczeń użytkowania urządzeń na paliwa stałe, szczególnie w trakcie występowania incydentów smogowych. Takim działaniom powinny jednak towarzyszyć symetryczne rozwiązania obejmujące pozostałe, główne źródła emisji, w szczególności transport, ponieważ jak wynika z raportów Najwyższej Izby Kontroli to w szczególności zanieczyszczenia pochodzące z transportu mają decydujący wpływ na stan powietrza w miastach¹².

dr hab. inż. Robert Kubica, Prof. Pol.Śl.

¹² <https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/zabojczy-smog-z-samochodowych-spalin.html>



Rok założenia 1955

INSTYTUT CHEMICZNEJ PRZERÓBKİ WĘGLA

ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze
tel. centrala: 32-271-00-41 • faks: 32-271-08-09
tel. sekretariat: 32 271 51 52, 32 274 50 07
e-mail: office@ichpw.pl • www.ichpw.pl
NIP 648-000-87-65 • REGON 000025945 • KRS 0000138095

SPRAWOZDANIE

z wykonania pracy pt.:

Przeprowadzenie badań emisji dla wkładu kominkowego w rzeczywistych warunkach eksploatacji



Polska
INNOWACJE



Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla

Z-ca Dyrektora ds. Badań i Rozwoju
prof. dr hab. inż. **Jarosław Zuwała**

.....
podpis i pieczęć dyrektora

Zabrze, marzec 2022r.

47/2022
nr ewidencyjny IChPW

Zleceniodawca: HAJDUK Agnieszka i Dariusz Nasińscy spółka z ograniczoną
odpowiedzialnością sp. k., ul. Kasprzaka 6F, 66-400 Gorzów Wlkp.

Komórka organizacyjna: Zakład Ochrony Powietrza

Kierownik komórki organizacyjnej: dr inż. Jolanta Telenga-Kopczyńska

Tytuł pracy: „Przeprowadzenie badań emisji dla wkładu kominkowego w rzeczywistych
warunkach eksploatacji”

Termin rozpoczęcia pracy: 19.01.2022

Termin zakończenia pracy: 31.03.2022

Autorzy pracy:

1. dr inż. Katarzyna Matuszek 
(imię i nazwisko, podpis)
2. dr inż. Katarzyna Rychlewska 
(imię i nazwisko, podpis)
3. mgr inż. Piotr Hrycko 
(imię i nazwisko, podpis)
4. Zygmunt Kamiński
(imię i nazwisko, podpis)

Praca wykonana w ramach projektu nr: 31.22.403

Nr umowy: -

Tytuł projektu: „Przeprowadzenie badań emisji dla wkładu kominkowego w rzeczywistych
warunkach eksploatacji”

Termin rozpoczęcia projektu: 19.01.2022

Termin zakończenia projektu: 31.03.2022

Kierownik projektu: dr inż. Katarzyna Matuszek 
(imię i nazwisko, podpis)

Sprawdził:
dr hab. inż. Sławomir Stelmach, prof. Instytutu
(imię i nazwisko, podpis)



Ilość stron: 23
Ilość tablic: 6
Ilość rysunków: 6
Ilość załączników: -

Rozdzielnik:

- Zleceniodawca 1 egz.
- ZOP IChPW 1 egz.

SPIS TREŚCI

1. PODSTAWA OPRACOWANIA.....	4
2. CEL I ZAKRES BADAŃ	4
3. OPIS STNOWISKA POMIAROWEGO	4
4. PRZEBIEG POMIARÓW	7
5. WYNIKI BADAŃ.....	10
6. PODSUMOWANIE.....	16

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawą opracowania jest zlecenie z dn. 19.01.2022 r. przesłane pocztą elektroniczną z firmy HAJDUK Agnieszka i Dariusz Nasińscy spółka z ograniczoną odpowiedzialnością sp. k., ul. Kasprzaka 6F, 66-400 Gorzów Wlkp.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem pracy było określenie zakresu stężeń wybranych zanieczyszczeń emitowanych z typowego wkładu kominowego bez płaszcza wodnego, w warunkach rzeczywistej eksploatacji.

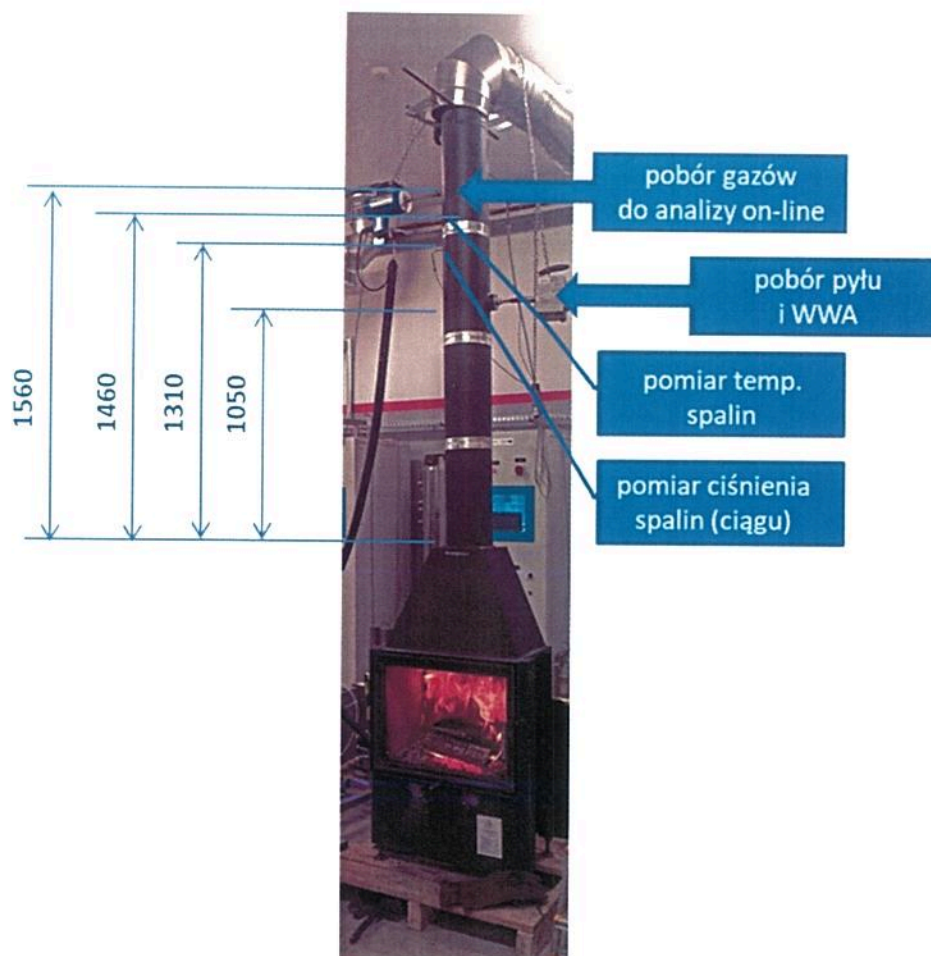
Do badań Zleceniodawca wybrał wkład kominkowy własnej produkcji. Był to wkład kominkowy VOLCANO, przeznaczony do spalania paliw stałych, z zamkniętą komorą paleniskową, stałopalny, kategorii 1C, o mocy nominalnej 11 kW. Wkład został zamontowany do testów na stanowisku pomiarowym w siedzibie firmy Zleceniodawcy, wyposażonym w mobilną aparaturę pomiarową będącą na wyposażeniu Laboratorium Technologii Spalania i Energetyki IChPW.

Przeprowadzone badania obejmowały pomiary podstawowego składu gazu: O₂, CO, CO₂, SO₂, NO_x oraz stężenia pyłu i 16 WWA wg EPA (naftalen, acenaften, acenaftylen, fenantren, antracen, fluoren, fluoranten, piren, benzo(a)antracen, benzo(a)piren, benzo(b)fluoranten, benzo(ghi)perylen, benzo(k)fluoranten, chryzen, dibenzo(a,h)antracen, indeno(123-cd)piren). W trakcie testów mierzono również temperaturę spalin, podciśnienie spalin (ciąg kominowy) oraz parametry otoczenia. W ramach pracy przeprowadzono sześć cykli pomiarowych różniących się gatunkiem, masą i wilgotnością drewna dostarczanego do komory paleniskowej wkładu kominkowego w kolejnych załadunkach.

3. OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO

Wkład kominkowy został zamontowany na stanowisku pomiarowym znajdującym się w siedzibie firmy Zleceniodawcy, przy ul. Kasprzaka 6F w Gorzowie Wielkopolskim.

Zdjęcie oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych przedstawiono na rys. 3.1.



Rys. 3.1. Zdjęcie stanowiska pomiarowego przygotowanego przez Zleceniodawcę wraz z rozmieszczeniem poszczególnych punktów pomiarowych.

Opis układu pomiarowego

Skład spalin

Do pomiaru składu spalin wykorzystano analizator mobilny firmy SIEMENS. W skład analizatora weszły analizatory ULTRAMAT 23 umożliwiające pomiar CO w zakresie 0÷5%, CO₂ w zakresie 0÷25%, SO₂ w zakresie 0÷1000 ppm i analizator NO o zakresie 0÷1000 ppm. Analizatory te umożliwiają pomiar z wykorzystaniem referencyjnej metody NDIR. Pomiar

stężenia O_2 w gazie odbywał się za pomocą analizatora typu OXYMAT 61, działającego w oparciu o referencyjną metodę wykorzystującą zjawisko paramagnetyzmu. Analizator ten posiada zakres $0 \div 25\% O_2$.

Stężenia O_2 , CO_2 , CO , NO , SO_2 oznaczono na podstawie normy PN-ISO 10396:2001 „Emisja ze źródeł stacjonarnych. Pobieranie próbek do automatycznego pomiaru stężenia składników gazowych”.

Próbkowanie spalin do analizy odbywało się za pomocą układu sondy grzanej z filtrem ceramicznym, węża grzanego oraz układu kondycjonowania gazu.

Stężenie pyłu, całkowitych zanieczyszczeń organicznych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA)

Pomiary stężenia pyłu wykonano przy wykorzystaniu referencyjnej metody grawimetrycznej.

Pobieranie spalin w celu oznaczenia stężenia pyłu, całkowitych zanieczyszczeń organicznych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) wykonano wykorzystując układ składający się z sondy połączonej z ogrzewanym separatorem pyłu, chłodnicy, systemu rurek z materiałem sorpcyjnym: żywicą XAD-2 i węglem aktywnym oraz aspiratora gazu, opierając się na procedurze Q/LS/02/D:2018 Oznaczanie stężeń związków emitowanych w gazach odlotowych i technologicznych.

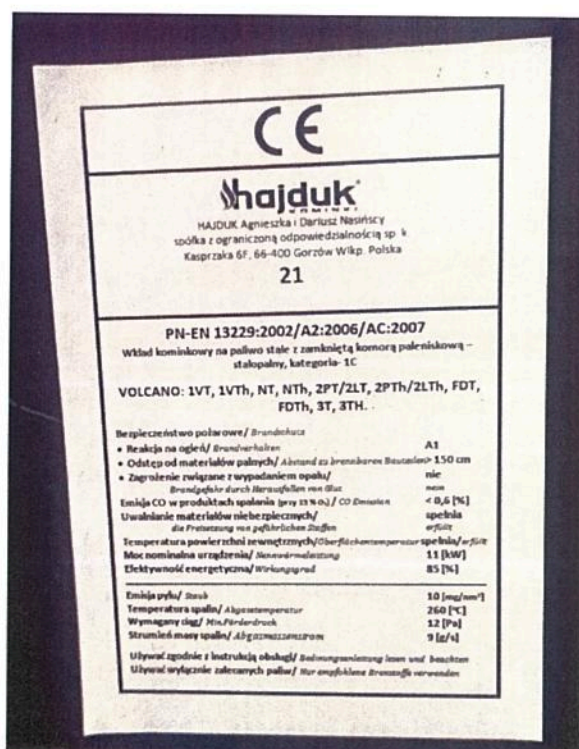


Rys. 3.2. Układ do poboru pyłu, całkowitych zanieczyszczeń organicznych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA).

Próbki pobrane wg wymienionej procedury w podziale na filtr pyłowy (16 WWA wg EPA z pobranych zanieczyszczeń pyłowych) oraz zestaw rurek sorpcyjnych i pojemnik z zebranym kondensatem i popłuczynami, poddano analizie w E&H services, a.s., Testing Laboratory, Dobrá 240, 739 51 Dobrá, Czechy, nr akredytacji No. 1665. Wyniki w tablicach 5.1.-5.6. podano w podziale na 16 WWA wg EPA oznaczonych dla filtra pyłowego, zestawu rurek sorpcyjnych i pojemnika (z zebranym kondensatem i popłuczynami) i opisanych jako „total” oraz 16 WWA wg EPA z pobranych zanieczyszczeń pyłowych (pyłu).

4. PRZEBIEG POMIARÓW

Plan pomiarów przewidywał wykonanie sześciu cykli pomiarowych różniących się między sobą gatunkiem, masą załadunku i wilgotnością drewna podawanego do komory paleniskowej wkładu kominkowego na paliwo stałe, z zamkniętą komorą paleniskową, stałopalnym, kategoria 1C, VOLCANO o mocy nominalnej 11 kW rys. 4.1.



Rys. 4.1. Rozpalony wkład kominkowy poddany testom.

Przed wykonaniem cykli pomiarowych wkład kominkowy został rozpalony i wygrzany przez około 2h. W trakcie testów utrzymywano ciąg kominowy na poziomie 12 Pa. Załadunki paliw przeznaczonych do spalania w kolejnych cyklach pomiarowych, zostały wcześniej przygotowane przez Zlecniodawcę, co pokazano na rys. 4.2.



Rys. 4.2. Paliwo przygotowane do testów badawczych.

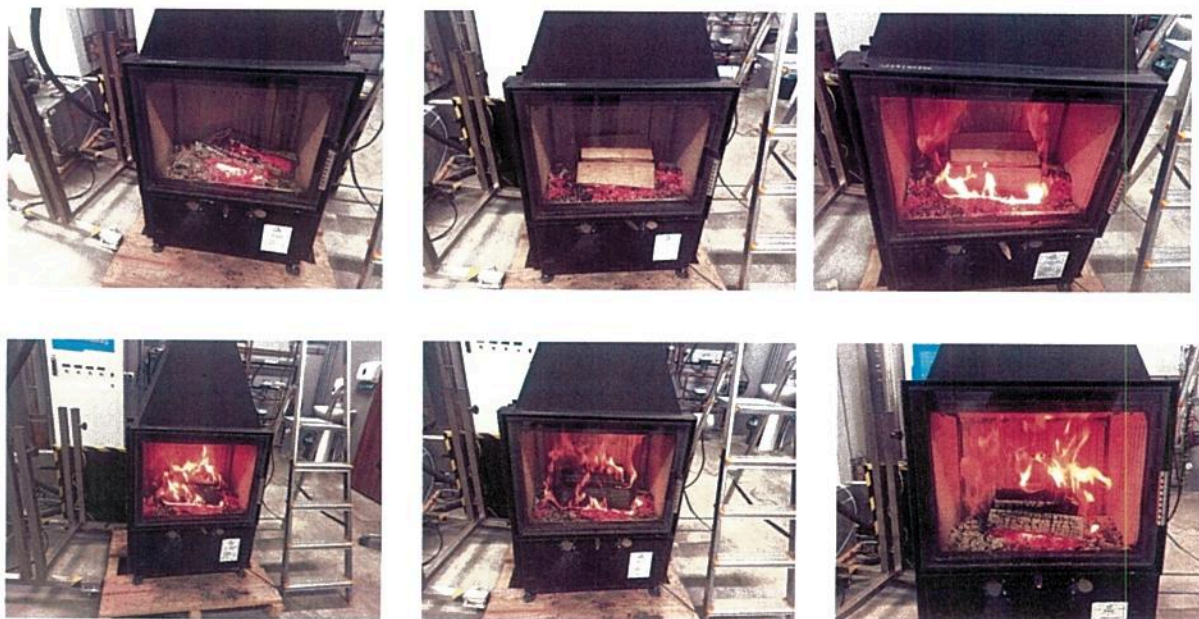
Miejsce pomiaru temperatury wybrano na podstawie doświadczenia producenta. Chodzi o uwzględnienie części kominowej, która zazwyczaj znajduje się w pomieszczeniu ogrzewanym przez wkład kominkowy i również oddaje ciepło, a więc stosunkowo wysoka temperatura spalin w tej części przewodu kominowego jest pożądana.



Rys. 4.3. Ważenie porcji drewna przygotowanej do testu spalania.

Przed rozpoczęciem każdego cyklu pomiarowego kontrolnie ważono masę drewna przeznaczonego do spalania w danym teście (rys 4.3.). Paliwem przeznaczonym do spalania podczas pierwszych dwóch cykli pomiarowych (cykl 1-2) było drewno brzozone sezonowane, o wilgotności w stanie roboczym około 12–13%, podczas kolejnych dwóch cykli pomiarowych (cykl 2-4) drewno bukowe sezonowane o wilgotności w stanie roboczym około 16%. Paliwem przeznaczonym do spalania podczas dwóch ostatnich testów (cykl 5-6) było drewno bukowe o zwiększonej wilgotności, wynoszącej około 21–23%. Dane dotyczące gatunku oraz wilgotności drewna przekazał Zleceniodawca, co zweryfikowano w miejscu pomiaru za pomocą przenośnego wilgotnościomierza.

Ładunek komory paleniskowej odbywał się przy środkowym położeniu wskaźnika przepustnicy powietrza i trwał około 1 min. Ładunek obejmował otwarcie drzwiczek, wyrównanie złoża żaru pogrzebaczem, załadunek przygotowanej wcześniej porcji paliwa do testu, zamknięcie drzwiczek, całkowite otwarcie przepustnicy powietrza (wskaźnik przepustnicy powietrza przesunięty maksymalnie w prawo). Średnio po około 2-3 min., po widocznym zapaleniu się drewna, wskaźnik przepustnicy powietrza ustawiano na pozycję środkową i rozpoczynano pomiar stężenia pyłu oraz WWA. Pozostałe pomiary były wykonywane w sposób ciągły z zapisem co 30 sekund. Zdjęcia obrazujące przebieg testu przedstawiono na rys. 4.4.



Rys. 4.4. Zdjęcia obrazujące kolejne fazy cyklu na przykładzie cyklu 1.

Czas pomiędzy zasypami wynosił średnio 60 min. Po zakończeniu testów spalania drewna suchego (po cyklu 4, przed cyklem 5), zdecydowano o częściowym usunięciu żaru i popiołu w trakcie operacji załadunku. Było to spowodowane nadmierną ilością popiołu, który zalegał w komorze paleniskowej i zaczynał się wysypywać z wkładu kominkowego do pomieszczenia w trakcie otwierania drzwiczek.

W ramach pracy przeprowadzono 6 cykli pomiarowych:

C1 – Załadunek, drewno brzozone sezonowane, masa 3,75 kg,

C2 – Załadunek, drewno brzozone sezonowane, masa 4,04 kg,

C3 – Załadunek, drewno bukowe sezonowane, masa 3,77 kg,

C4 – Załadunek, drewno bukowe sezonowane, masa 4,52 kg,

C5 – Załadunek, drewno bukowe o zwiększonej wilgotności, masa 3,56 kg,

C6 – Załadunek, drewno bukowe o zwiększonej wilgotności, masa 4,22 kg.

5. WYNIKI BADAŃ

W tablicy 5.1. – 5.6. przedstawiono średnie wyniki z pomiarów przeprowadzonych w 6 cyklach.

Tablica 5.1. Średnie wartości pomiarów przeprowadzonych w cyklu C1.

Parametr	Symb.	Jedn.	Wartość	
temperatura otoczenia	t _{ot}	°C	25	
ciśnienie barometryczne	p _b	hPa	992	
parametry spalin				
temperatura spalin	t _{sp}	°C	249,7	
CO ₂	z _{CO2}	%	9,77	
O ₂	z _{O2}	%	7,29	13,00
CO	C _{CO}	mg/m ³ _n	550,3	321,1
NO	C _{NO}	mg/m ³ _n	91,4	53,3
NO _x	C _{NOX}	mg/m ³ _n	139,8	81,6
pył	C _{pył}	mg/m ³ _n	28,50	16,63
16 WWA wg EPA (total)				
O ₂	z _{O2}	%	7,29	13,00
naftalen	C _{T1}	µg/m ³ _n	253,80	148,08
acenaftylen	C _{T2}	µg/m ³ _n	4,66	2,72
acenaften	C _{T3}	µg/m ³ _n	29,41	17,16
fluoren	C _{T4}	µg/m ³ _n	3,27	1,91
fenantren	C _{T5}	µg/m ³ _n	8,72	5,09
antracen	C _{T6}	µg/m ³ _n	2,53	1,48

fluoranten	C _{T7}	µg/m ³ _n	3,94	2,30
piren	C _{T8}	µg/m ³ _n	3,19	1,86
chryzen	C _{T9}	µg/m ³ _n	0,62	0,36
benzo(a)antracen	C _{T10}	µg/m ³ _n	0,41	0,24
benzo(b)fluoranten	C _{T11}	µg/m ³ _n	0,29	0,17
benzo(k)fluoranten	C _{T12}	µg/m ³ _n	<0,32	<0,19
benzo(a)piren	C _{T13}	µg/m ³ _n	0,23	0,13
indeno(123-cd)piren	C _{T14}	µg/m ³ _n	<0,20	<0,12
dibenzo(a,h)antracen	C _{T15}	µg/m ³ _n	0,08	0,05
benzo(ghi)perylene	C _{T16}	µg/m ³ _n	<0,17	<0,10
Suma 16 WWA wg EPA	C _T	µg/m ³ _n	311,84	181,95
16 WWA wg EPA z pobranych zanieczyszczeń pyłowych (pyłu)				
O ₂	Z _{O2}	%	7,29	13,00
naftalen	C _{PM1}	µg/m ³ _n	1,82	1,06
acenaftylen	C _{PM2}	µg/m ³ _n	0,10	0,06
acenaften	C _{PM3}	µg/m ³ _n	0,28	0,16
fluoren	C _{PM4}	µg/m ³ _n	0,30	0,18
fenantren	C _{PM5}	µg/m ³ _n	0,92	0,54
antracen	C _{PM6}	µg/m ³ _n	0,14	0,08
fluoranten	C _{PM7}	µg/m ³ _n	0,63	0,37
piren	C _{PM8}	µg/m ³ _n	0,31	0,18
chryzen	C _{PM9}	µg/m ³ _n	0,30	0,18
benzo(a)antracen	C _{PM10}	µg/m ³ _n	0,15	0,09
benzo(b)fluoranten	C _{PM11}	µg/m ³ _n	0,26	0,15
benzo(k)fluoranten	C _{PM12}	µg/m ³ _n	0,29	0,17
benzo(a)piren	C _{PM13}	µg/m ³ _n	0,10	0,06
indeno(123-cd)piren	C _{PM14}	µg/m ³ _n	0,18	0,11
dibenzo(a,h)antracen	C _{PM15}	µg/m ³ _n	<0,02	<0,01
benzo(ghi)perylene	C _{PM16}	µg/m ³ _n	0,16	0,09
Suma 16 WWA wg EPA	C _{PM}	µg/m ³ _n	5,97	3,49

Tablica 5.2. Średnie wartości pomiarów przeprowadzonych w cyklu C2.

Parametr	Symb.	Jedn.	Wartość	
temperatura otoczenia	t _{ot}	°C	27	
ciśnienie barometryczne	p _b	hPa	992	
parametry spalin				
temperatura spalin	t _{sp}	°C	257,1	
CO ₂	z _{CO2}	%	10,36	
O ₂	z _{O2}	%	6,51	13,00
CO	C _{CO}	mg/m ³ _n	782,3	431,9
NO	C _{NO}	mg/m ³ _n	106,4	58,7
NO _x	C _{NOX}	mg/m ³ _n	162,8	89,9
pył	C _{pył}	mg/m ³ _n	44,6	24,6
16 WWA wg EPA (total)				
O ₂	z _{O2}	%	6,51	13,00
naftalen	C _{T1}	µg/m ³ _n	535,24	295,49
acenaftylen	C _{T2}	µg/m ³ _n	10,64	5,87
acenaften	C _{T3}	µg/m ³ _n	13,20	7,29
fluoren	C _{T4}	µg/m ³ _n	3,62	2,00
fenantren	C _{T5}	µg/m ³ _n	9,78	5,40

antracen	C _{T6}	µg/m ³ _n	1,90	1,05
fluoranten	C _{T7}	µg/m ³ _n	3,34	1,85
piren	C _{T8}	µg/m ³ _n	3,13	1,73
chryzen	C _{T9}	µg/m ³ _n	0,46	0,26
benzo(a)antracen	C _{T10}	µg/m ³ _n	0,27	0,15
benzo(b)fluoranten	C _{T11}	µg/m ³ _n	0,29	0,16
benzo(k)fluoranten	C _{T12}	µg/m ³ _n	0,39	0,21
benzo(a)piren	C _{T13}	µg/m ³ _n	0,19	0,10
indeno(123-cd)piren	C _{T14}	µg/m ³ _n	<0,41	<0,22
dibenzo(a,h)antracen	C _{T15}	µg/m ³ _n	0,05	0,03
benzo(ghi)perylene	C _{T16}	µg/m ³ _n	<0,20	<0,11
Suma 16 WWA wg EPA	C _T	µg/m ³ _n	583,09	321,91
16 WWA wg EPA z pobranych zanieczyszczeń pyłowych (pyłu)				
O ₂	Z _{O2}	%	6,51	13,00
naftalen	C _{PM1}	µg/m ³ _n	0,81	0,44
acenaftylen	C _{PM2}	µg/m ³ _n	<0,02	<0,01
acenaften	C _{PM3}	µg/m ³ _n	0,12	0,07
fluoren	C _{PM4}	µg/m ³ _n	0,15	0,08
fenantren	C _{PM5}	µg/m ³ _n	0,64	0,35
antracen	C _{PM6}	µg/m ³ _n	0,21	0,12
fluoranten	C _{PM7}	µg/m ³ _n	0,28	0,16
piren	C _{PM8}	µg/m ³ _n	0,12	0,07
chryzen	C _{PM9}	µg/m ³ _n	0,15	0,09
benzo(a)antracen	C _{PM10}	µg/m ³ _n	0,07	0,04
benzo(b)fluoranten	C _{PM11}	µg/m ³ _n	0,24	0,13
benzo(k)fluoranten	C _{PM12}	µg/m ³ _n	0,27	0,15
benzo(a)piren	C _{PM13}	µg/m ³ _n	0,05	0,03
indeno(123-cd)piren	C _{PM14}	µg/m ³ _n	0,39	0,22
dibenzo(a,h)antracen	C _{PM15}	µg/m ³ _n	<0,01	<0,01
benzo(ghi)perylene	C _{PM16}	µg/m ³ _n	0,18	0,10
Suma 16 WWA wg EPA	C _{PM}	µg/m ³ _n	3,72	2,05

Tablica 5.3. Średnie wartości pomiarów przeprowadzonych w cyklu C3.

Parametr	Symb.	Jedn.	Wartość	
temperatura otoczenia	t _{ot}	°C	29	
ciśnienie barometryczne	p _b	hPa	993	
parametry spalin				
temperatura spalin	t _{sp}	°C	257,2	
CO ₂	z _{CO2}	%	9,78	
O ₂	z _{O2}	%	7,37	13,00
CO	C _{CO}	mg/m ³ _n	558,1	327,6
NO	C _{NO}	mg/m ³ _n	90,2	52,9
NO _x	C _{NOX}	mg/m ³ _n	137,9	81,0
pył	C _{pył}	mg/m ³ _n	44,3	26,0
16 WWA wg EPA (total)				
O ₂	z _{O2}	%	7,37	13,00
naftalen	C _{T1}	µg/m ³ _n	410,30	240,80
acenaftylen	C _{T2}	µg/m ³ _n	7,62	4,47
acenaften	C _{T3}	µg/m ³ _n	48,05	28,20
fluoren	C _{T4}	µg/m ³ _n	13,90	8,16

fenantren	C _{T5}	µg/m ³ _n	11,21	6,58
antracen	C _{T6}	µg/m ³ _n	4,71	2,76
fluoranten	C _{T7}	µg/m ³ _n	3,85	2,26
piren	C _{T8}	µg/m ³ _n	3,31	1,94
chryzen	C _{T9}	µg/m ³ _n	0,58	0,34
benzo(a)antracen	C _{T10}	µg/m ³ _n	0,27	0,16
benzo(b)fluoranten	C _{T11}	µg/m ³ _n	<2,89	<1,70
benzo(k)fluoranten	C _{T12}	µg/m ³ _n	<0,43	<0,25
benzo(a)piren	C _{T13}	µg/m ³ _n	0,44	0,26
indeno(123-cd)piren	C _{T14}	µg/m ³ _n	<0,19	<0,11
dibenzo(a,h)antracen	C _{T15}	µg/m ³ _n	0,14	0,08
benzo(ghi)perylene	C _{T16}	µg/m ³ _n	<0,31	<0,18
Suma 16 WWA wg EPA	C _T	µg/m ³ _n	508,19	298,25
16 WWA wg EPA z pobranych zanieczyszczeń pyłowych (pyłu)				
O ₂	Z _{O2}	%	7,37	13,00
naftalen	C _{PM1}	µg/m ³ _n	1,75	1,03
acenaftylen	C _{PM2}	µg/m ³ _n	0,06	0,03
acenaften	C _{PM3}	µg/m ³ _n	0,30	0,17
fluoren	C _{PM4}	µg/m ³ _n	0,58	0,34
fenantren	C _{PM5}	µg/m ³ _n	1,61	0,94
antracen	C _{PM6}	µg/m ³ _n	0,28	0,17
fluoranten	C _{PM7}	µg/m ³ _n	0,96	0,56
piren	C _{PM8}	µg/m ³ _n	0,51	0,30
chryzen	C _{PM9}	µg/m ³ _n	0,40	0,24
benzo(a)antracen	C _{PM10}	µg/m ³ _n	0,19	0,11
benzo(b)fluoranten	C _{PM11}	µg/m ³ _n	0,39	0,23
benzo(k)fluoranten	C _{PM12}	µg/m ³ _n	0,39	0,23
benzo(a)piren	C _{PM13}	µg/m ³ _n	0,24	0,14
indeno(123-cd)piren	C _{PM14}	µg/m ³ _n	0,18	0,10
dibenzo(a,h)antracen	C _{PM15}	µg/m ³ _n	<0,02	<0,01
benzo(ghi)perylene	C _{PM16}	µg/m ³ _n	0,28	0,16
Suma 16 WWA wg EPA	C _{PM}	µg/m ³ _n	8,13	4,77

Tablica 5.4. Średnie wartości pomiarów przeprowadzonych w cyklu C4.

Parametr	Symb.	Jedn.	Wartość	
temperatura otoczenia	t _{ot}	°C	30	
ciśnienie barometryczne	p _b	hPa	993	
parametry spalin				
temperatura spalin	t _{sp}	°C	261,0	
CO ₂	z _{CO2}	%	10,08	
O ₂	z _{O2}	%	6,86	13,00
CO	C _{CO}	mg/m ³ _n	1327,5	751,0
NO	C _{NO}	mg/m ³ _n	82,6	46,7
NO _x	C _{NOX}	mg/m ³ _n	126,4	71,5
pył	C _{pył}	mg/m ³ _n	58,1	32,9
16 WWA wg EPA (total)				
O ₂	z _{O2}	%	6,86	13,00
naftalen	C _{T1}	µg/m ³ _n	549,50	310,84
acenaftylen	C _{T2}	µg/m ³ _n	12,61	7,13
acenaften	C _{T3}	µg/m ³ _n	49,56	28,03

fluoren	C _{T4}	µg/m ³ _n	7,50	4,24
fenantren	C _{T5}	µg/m ³ _n	5,01	2,83
antracen	C _{T6}	µg/m ³ _n	2,54	1,44
fluoranten	C _{T7}	µg/m ³ _n	3,71	2,10
piren	C _{T8}	µg/m ³ _n	2,65	1,50
chryzen	C _{T9}	µg/m ³ _n	0,59	0,34
benzo(a)antracen	C _{T10}	µg/m ³ _n	0,33	0,18
benzo(b)fluoranten	C _{T11}	µg/m ³ _n	0,47	0,27
benzo(k)fluoranten	C _{T12}	µg/m ³ _n	0,93	0,52
benzo(a)piren	C _{T13}	µg/m ³ _n	0,58	0,33
indeno(123-cd)piren	C _{T14}	µg/m ³ _n	0,55	0,31
dibenzo(a,h)antracen	C _{T15}	µg/m ³ _n	0,31	0,17
benzo(ghi)perylene	C _{T16}	µg/m ³ _n	0,65	0,37
Suma 16 WWA wg EPA	C _T	µg/m ³ _n	637,47	360,61
16 WWA wg EPA z pobranych zanieczyszczeń pyłowych (pyłu)				
O ₂	Z _{O2}	%	6,86	13,00
naftalen	C _{PM1}	µg/m ³ _n	1,18	0,67
acenaftylen	C _{PM2}	µg/m ³ _n	<0,01	<0,01
acenaften	C _{PM3}	µg/m ³ _n	0,11	0,06
fluoren	C _{PM4}	µg/m ³ _n	0,18	0,10
fenantren	C _{PM5}	µg/m ³ _n	1,51	0,85
antracen	C _{PM6}	µg/m ³ _n	0,31	0,18
fluoranten	C _{PM7}	µg/m ³ _n	0,69	0,39
piren	C _{PM8}	µg/m ³ _n	0,37	0,21
chryzen	C _{PM9}	µg/m ³ _n	0,45	0,26
benzo(a)antracen	C _{PM10}	µg/m ³ _n	0,25	0,14
benzo(b)fluoranten	C _{PM11}	µg/m ³ _n	0,44	0,25
benzo(k)fluoranten	C _{PM12}	µg/m ³ _n	0,87	0,49
benzo(a)piren	C _{PM13}	µg/m ³ _n	0,34	0,19
indeno(123-cd)piren	C _{PM14}	µg/m ³ _n	0,37	0,21
dibenzo(a,h)antracen	C _{PM15}	µg/m ³ _n	0,07	0,04
benzo(ghi)perylene	C _{PM16}	µg/m ³ _n	0,58	0,33
Suma 16 WWA wg EPA	C _{PM}	µg/m ³ _n	7,74	4,38

Tablica 5.5. Średnie wartości pomiarów przeprowadzonych w cyklu C5.

Parametr	Symb.	Jedn.	Wartość	
temperatura otoczenia	t _{ot}	°C	31	
ciśnienie barometryczne	p _b	hPa	994	
parametry spalin				
temperatura spalin	t _{sp}	°C	247,5	
CO ₂	z _{CO2}	%	8,20	
O ₂	z _{O2}	%	9,49	13,00
CO	C _{CO}	mg/m ³ _n	687,3	477,6
NO	C _{NO}	mg/m ³ _n	92,9	64,6
NO _x	C _{NOX}	mg/m ³ _n	142,2	98,8
pył	C _{pył}	mg/m ³ _n	28,8	20,0
16 WWA wg EPA (total)				
O ₂	z _{O2}	%	9,49	13,00
naftalen	C _{T1}	µg/m ³ _n	409,44	284,53
acenaftylen	C _{T2}	µg/m ³ _n	8,78	6,10

acenaften	C _{T3}	µg/m ³ _n	24,40	16,95
fluoren	C _{T4}	µg/m ³ _n	5,20	3,61
fenantren	C _{T5}	µg/m ³ _n	4,24	2,95
antracen	C _{T6}	µg/m ³ _n	3,89	2,70
fluoranten	C _{T7}	µg/m ³ _n	4,05	2,81
piren	C _{T8}	µg/m ³ _n	3,33	2,32
chryzen	C _{T9}	µg/m ³ _n	0,43	0,30
benzo(a)antracen	C _{T10}	µg/m ³ _n	0,26	0,18
benzo(b)fluoranten	C _{T11}	µg/m ³ _n	<0,13	<0,09
benzo(k)fluoranten	C _{T12}	µg/m ³ _n	0,32	0,22
benzo(a)piren	C _{T13}	µg/m ³ _n	0,32	0,22
indeno(123-cd)piren	C _{T14}	µg/m ³ _n	<0,06	<0,04
dibenzo(a,h)antracen	C _{T15}	µg/m ³ _n	0,18	0,13
benzo(ghi)perylene	C _{T16}	µg/m ³ _n	0,21	0,14
Suma 16 WWA wg EPA	C _T	µg/m ³ _n	465,23	323,30
16 WWA wg EPA z pobranych zanieczyszczeń pyłowych (pyłu)				
O ₂	Z _{O2}	%	9,49	13,00
naftalen	C _{PM1}	µg/m ³ _n	0,83	0,58
acenaftylen	C _{PM2}	µg/m ³ _n	<0,01	<0,00
acenaften	C _{PM3}	µg/m ³ _n	0,14	0,10
fluoren	C _{PM4}	µg/m ³ _n	0,10	0,07
fenantren	C _{PM5}	µg/m ³ _n	0,63	0,44
antracen	C _{PM6}	µg/m ³ _n	0,18	0,13
fluoranten	C _{PM7}	µg/m ³ _n	0,37	0,26
piren	C _{PM8}	µg/m ³ _n	0,17	0,12
chryzen	C _{PM9}	µg/m ³ _n	0,13	0,09
benzo(a)antracen	C _{PM10}	µg/m ³ _n	0,09	0,06
benzo(b)fluoranten	C _{PM11}	µg/m ³ _n	0,10	0,07
benzo(k)fluoranten	C _{PM12}	µg/m ³ _n	0,21	0,15
benzo(a)piren	C _{PM13}	µg/m ³ _n	<0,03	<0,02
indeno(123-cd)piren	C _{PM14}	µg/m ³ _n	<0,03	<0,02
dibenzo(a,h)antracen	C _{PM15}	µg/m ³ _n	0,03	0,02
benzo(ghi)perylene	C _{PM16}	µg/m ³ _n	0,11	0,08
Suma 16 WWA wg EPA	C _{PM}	µg/m ³ _n	3,17	2,20

Tablica 5.6. Średnie wartości pomiarów przeprowadzonych w cyklu C6.

Parametr	Symb.	Jedn.	Wartość	
temperatura otoczenia	t _{ot}	°C	32	
ciśnienie barometryczne	p _b	hPa	994	
parametry spalin				
temperatura spalin	t _{sp}	°C	251,1	
CO ₂	z _{CO2}	%	9,26	
O ₂	z _{O2}	%	8,12	13,00
CO	C _{CO}	mg/m ³ _n	876,6	544,3
NO	C _{NO}	mg/m ³ _n	117,7	73,1
NO _x	C _{NOX}	mg/m ³ _n	180,0	111,8
pył	C _{pył}	mg/m ³ _n	38,0	23,6
16 WWA wg EPA (total)				
O ₂	z _{O2}	%	8,12	13,00

naftalen	C _{T1}	µg/m ³ _n	371,42	230,63
acenaftylen	C _{T2}	µg/m ³ _n	7,79	4,84
acenaften	C _{T3}	µg/m ³ _n	14,90	9,25
fluoren	C _{T4}	µg/m ³ _n	6,23	3,87
fenantren	C _{T5}	µg/m ³ _n	4,21	2,62
antracen	C _{T6}	µg/m ³ _n	3,25	2,02
fluoranten	C _{T7}	µg/m ³ _n	4,95	3,08
piren	C _{T8}	µg/m ³ _n	4,21	2,61
chryzen	C _{T9}	µg/m ³ _n	0,60	0,37
benzo(a)antracen	C _{T10}	µg/m ³ _n	0,31	0,19
benzo(b)fluoranten	C _{T11}	µg/m ³ _n	0,27	0,17
benzo(k)fluoranten	C _{T12}	µg/m ³ _n	0,46	0,29
benzo(a)piren	C _{T13}	µg/m ³ _n	0,21	0,13
indeno(123-cd)piren	C _{T14}	µg/m ³ _n	<0,09	<0,06
dibenzo(a,h)antracen	C _{T15}	µg/m ³ _n	<0,08	<0,05
benzo(ghi)perylene	C _{T16}	µg/m ³ _n	0,20	0,12
Suma 16 WWA wg EPA	C _T	µg/m ³ _n	419,17	260,28
16 WWA wg EPA z pobranych zanieczyszczeń pyłowych (pyłu)				
O ₂	Z _{O2}	%	8,12	13,00
naftalen	C _{PM1}	µg/m ³ _n	1,69	1,05
acenaftylen	C _{PM2}	µg/m ³ _n	0,03	0,02
acenaften	C _{PM3}	µg/m ³ _n	0,30	0,19
fluoren	C _{PM4}	µg/m ³ _n	0,28	0,17
fenantren	C _{PM5}	µg/m ³ _n	1,28	0,80
antracen	C _{PM6}	µg/m ³ _n	0,22	0,14
fluoranten	C _{PM7}	µg/m ³ _n	0,61	0,38
piren	C _{PM8}	µg/m ³ _n	0,34	0,21
chryzen	C _{PM9}	µg/m ³ _n	0,28	0,17
benzo(a)antracen	C _{PM10}	µg/m ³ _n	0,13	0,08
benzo(b)fluoranten	C _{PM11}	µg/m ³ _n	0,19	0,12
benzo(k)fluoranten	C _{PM12}	µg/m ³ _n	0,34	0,21
benzo(a)piren	C _{PM13}	µg/m ³ _n	0,09	0,06
indeno(123-cd)piren	C _{PM14}	µg/m ³ _n	0,08	0,05
dibenzo(a,h)antracen	C _{PM15}	µg/m ³ _n	0,05	0,03
benzo(ghi)perylene	C _{PM16}	µg/m ³ _n	0,11	0,07
Suma 16 WWA wg EPA	C _{PM}	µg/m ³ _n	6,03	3,74

6. PODSUMOWANIE

W ramach pracy przeprowadzono sześć cykli pomiarowych różniących się między sobą gatunkiem, masą załadunku i wilgotnością drewna podawanego do komory paleniskowej wkładu kominkowego na paliwo stałe, z zamkniętą komorą paleniskową, stałopalnego, kategorii 1C, VOLCANO o mocy nominalnej 11 kW. Paliwem przeznaczonym do spalania podczas pierwszych dwóch cykli pomiarowych (cykl 1-2) było drewno brzożowe sezonowane, o wilgotności w stanie roboczym około 12–13%, podczas kolejnych dwóch cykli pomiarowych

(cykl 2-4) drewno bukowe sezonowane, o wilgotności w stanie roboczym około 16%. Paliwem przeznaczonym do spalania podczas dwóch ostatnich testów (cykl 5-6) było drewno bukowe o zwiększonej wilgotności wynoszącej około 21–23%. Przeprowadzone badania obejmowały pomiary podstawowego składu gazu O_2 , CO , CO_2 , SO_2 , NO_x oraz stężenia pyłu i 16 WWA wg EPA (naftalen, acenaften, acenaftylen, fenantren, antracen, fluoren, fluoranten, piren, benzo(a)antracen, benzo(a)piren, benzo(b)fluoranten, benzo(ghi)perylen, benzo(k)fluoranten, chryzen, dibenzo(a,h)antracen, indeno(123-cd)piren), przy czym określono dodatkowo WWA zaabsorbowane na filtrze pyłowym. Wyniki przedstawione w niniejszej pracy stanowią średnie z czasu pomiaru pyłu i WWA.

Z mierzonych, w ramach pracy, trzy wielkości są limitowane kryteriami zawartymi w Rozporządzeniu Komisji (UE) 2015/1185 z dn. 24.04.2015 r. w sprawie wykonania dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń na paliwo stałe, tzw. „ekoprojekcie” dla miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń z zamkniętą komorą spalania, zasilanych drewnem kawałkowym. Te trzy wielkości to: CO , NO_x i pył w przeliczeniu na 13% O_2 . Oczywiście wartości kryterialne należałoby porównać z wartościami zmierzonymi zgodnie z normą, co w ramach niniejszej pracy nie miało miejsca, jednak dla zobrazowania poziomu stężeń odnotowanych podczas przeprowadzonych pomiarów, tego typu porównanie przedstawiono w tabelicy 6.1.

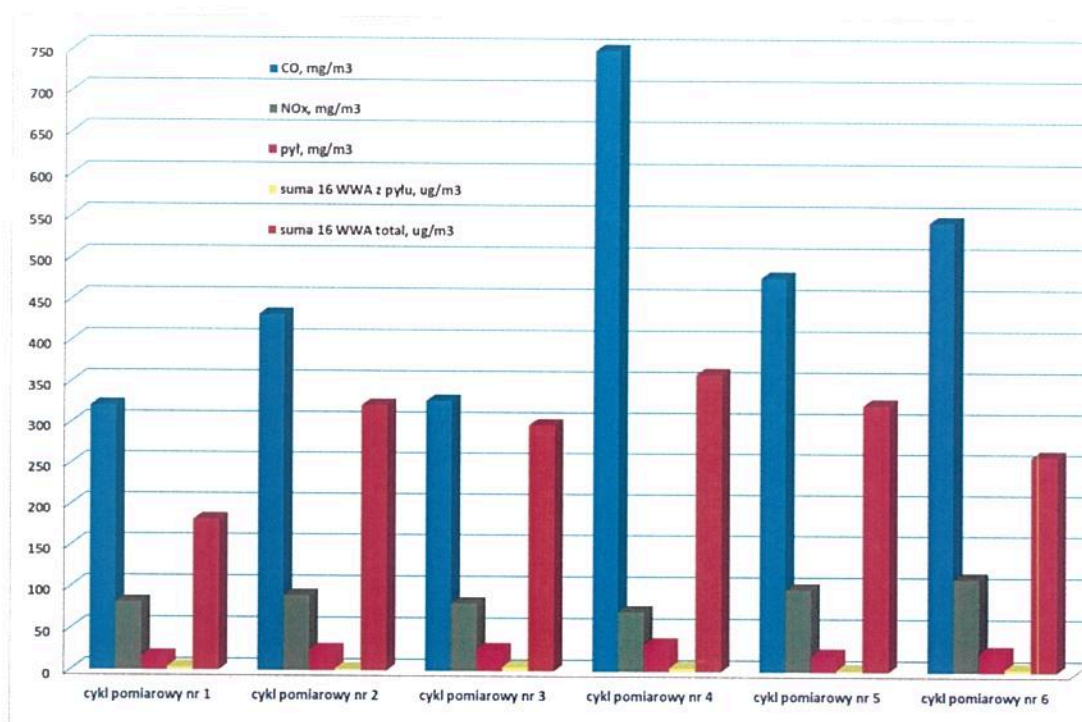
Tablica 6.1. Średnie wartości pomiarów przeprowadzonych w ramach pracy porównane z wartościami kryterialnymi zawartymi w Rozporządzeniu Komisji (UE) 2015/1185, tzw. „ekoprojekcie”.

Parametr	CO	NO _x	Pył
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
Zakres średnich wartości zmierzonych w ramach pracy	321 - 751	72 - 99	17 - 33
Kryteria „ekoprojektu”	1500	200	40

Jak wynika z przedstawionego porównania, najwyższe wartości stężeń CO i NO_x zmierzone w trakcie pomiarów oscylują w połowie wartości podanych w „ekoprojekcie” jako graniczne. Natomiast stężenia pyłu kształtują się na poziomie między 42,5 a 82,5% dopuszczalnego zakresu.

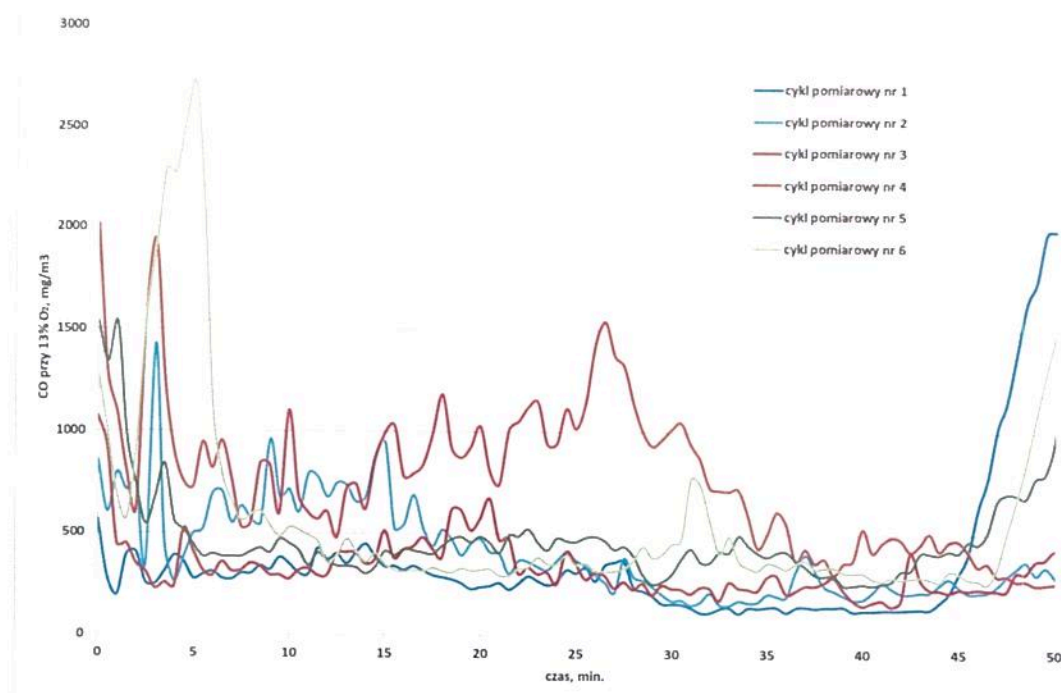
Szczegółowe średnie wyniki pomiarów zobrazowano na rys. 6.1.

Rysunek 6.1. Średnie wartości pomiarów uzyskane w ramach pracy.



Analizując przedstawione wyniki widać wyraźnie, że najwyższe stężenia CO oraz sumy 16 WWA otrzymano w cyklu 4. Są to związki, których powstawanie w rozpatrywanym przypadku silnie zależy od intensywności procesu spalania. W cyklu czwartym skumulowały się czynniki zwiększające tę intensywność, a były to: większa masa zasypu, aż 4,52 kg oraz największa ilość żaru (po tym cyklu, w trakcie podawania paliwa do cyklu nr 5, usunięto część żaru z urządzenia). Stężenia mierzonych związków w pozostałych cyklach kształtują się na zbliżonych poziomach. Jeśli przeanalizować średnie stężenia dla poszczególnych gatunków i wilgotności spalanego drewna, a więc odpowiednio cykle 1 i 2, 3 i 4 oraz 5 i 6, jednoznacznie widać wzrost stężeń CO i pyłu wraz ze wzrostem masy paliwa podawanego jednorazowo w trakcie zasypu do komory spalania urządzenia. Dla drewna sezonowanego trend ten utrzymuje się również dla sumy 16 WWA wg EPA. Można również zauważyć wzrost stężeń CO oraz NO_x w przypadku zwiększenia zawilgocenia drewna.

Na rysunku 6.2. przedstawiono jak w czasie zmieniał się stężenie CO dla analizowanych cykli pomiarowych.

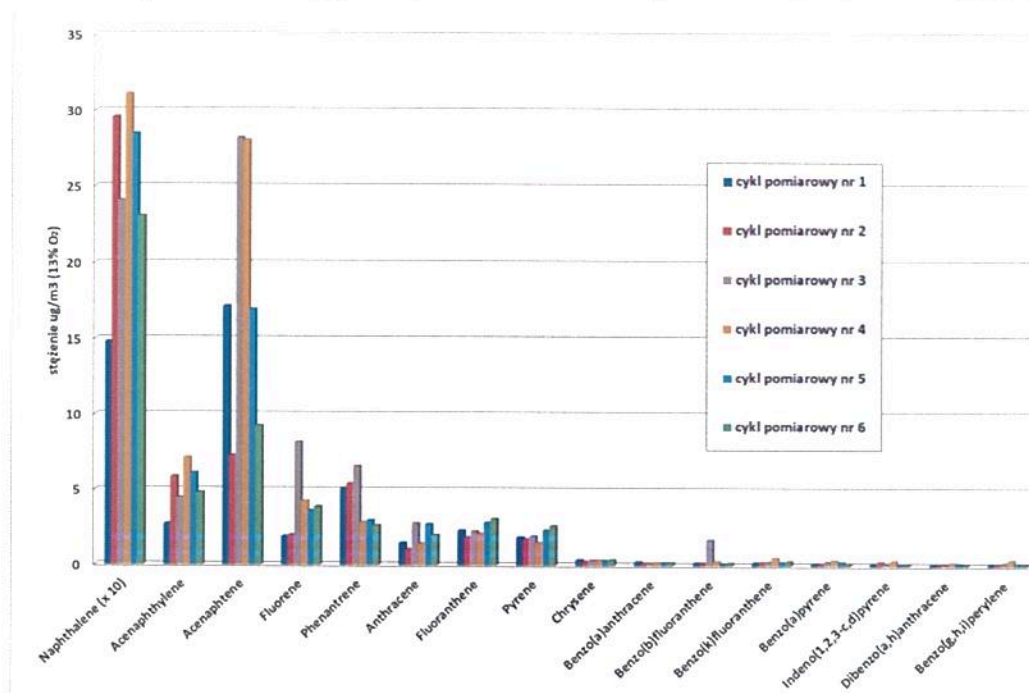
Rysunek 6.2. Stężenie CO w mg/m^3 w przeliczeniu na 13% O_2 , w trakcie cykli pomiarowych 1-6.

Analiza wykresu przedstawionego na rysunku 6.2. - podobnie jak w przypadku wykresu przedstawionego na rysunku 6.1. - również wskazuje cykl 4 jako odbiegający wyraźnie od przedstawionych pozostałych pięciu cykli pomiarowych. I tak jak wspomniano powyżej wydaje się, że zostało to spowodowane zwiększoną intensywnością procesu spalania w tym cyklu pomiarowym, w porównaniu do pozostałych. Widać również, że najwyższe zanotowane stężenia CO w pierwszych minutach testu, są dla drewna o zwiększonej wilgotności odnotowywane z opóźnieniem w porównaniu do drewna sezonowanego, charakteryzującego się mniejszą wilgotnością w stanie roboczym. Również wyraźnie widać, że w granicach jednego gatunku drewna, im większa masa jednorazowego załadunku drewna do komory spalania, tym większe osiągnęte chwilowe, maksymalne stężenie CO.

W ramach pracy określono również stężenia 16 WWA wg EPA emitowanych ze spalania drewna w badanym wkładzie kominkowym. Wyniki zaprezentowano na wykresie (rysunek 6.3.). Wśród oznaczonych WWA najwyższe średnie wartości otrzymano dla naftalenu - od 148,1 do 310,8 mg/m^3 w przeliczeniu na 13% O_2 . Około 10-cio krotnie niższe stężenia oznaczono dla acenaftenu - od 7,3 do 28,2 mg/m^3 . Stężenia w przedziale od 1 do 10 mg/m^3 w przeliczeniu na 13% O_2 kształtowały się dla acenaftyleny, fluoreny, fenantreny, antracenu,

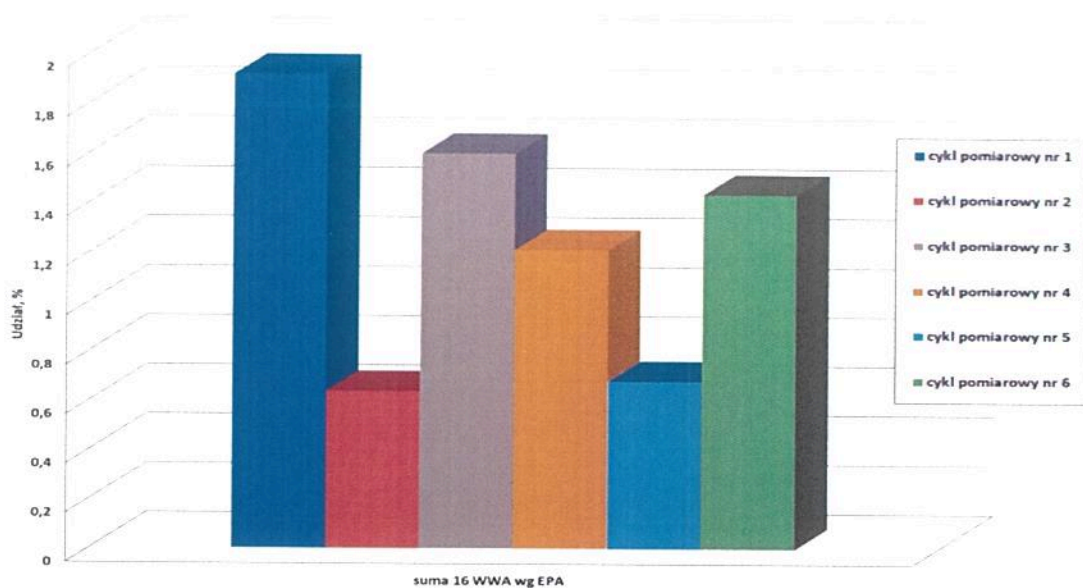
fluorantenu i pirenu. Stężenia poniżej 1 mg/m^3 w przeliczeniu na 13% O_2 odnotowano dla chryzenu, benzo(a)antracenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(a)pirenu, indeno(123-cd)pirenu, dibenzo(a,h)antracenu, benzo(ghi)perylenu oraz benzo(b)fluorantenu, za wyjątkiem cyklu 3, gdzie wartość stężenia benzo(b)fluorantenu wyniosła $1,7 \text{ mg/m}^3$ w przeliczeniu na 13% O_2 .

Rysunek 6.3. Stężenia WWA w $\mu\text{g/m}^3$ w przeliczeniu na 13% O_2 , w trakcie cykli pomiarowych 1-6.

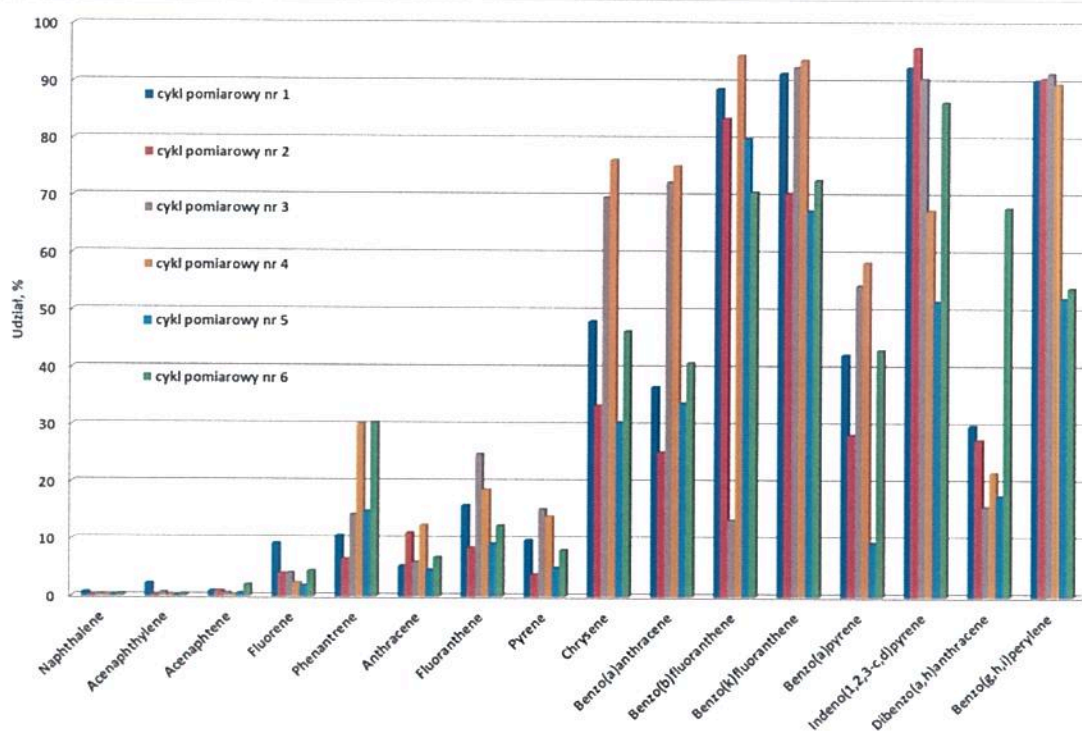


Jednym z celów pracy było określenie jaka część WWA emitowanych w spalinach ze spalania drewna w kominkach zaabsorbowana jest na zanieczyszczeniach pyłowych powstających w tym procesie. Wyniki tej analizy zobrazowano na wykresie przedstawionym na rysunku 6.4. Z analizy wyników otrzymanych w ramach pracy wynika, że udział 16 WWA wg EPA zaabsorbowanych na pyłe nie przekracza 2% całkowitych 16 WWA wg EPA emitowanych podczas spalania drewna w rozpatrywanym wkładzie kominkowym. Najniższy udział WWA zaabsorbowanych na pyłe miał miejsce podczas cyklu pomiarowego nr 2 i wyniósł 0,64%, a najwyższy wynosił 1,92% dla cyklu pomiarowego nr 1.

Analizując poszczególne związki z oznaczonych WWA, najmniejszy udział (poniżej 2,5%) zaabsorbowania na pyłe miał miejsce dla naftalenu, acenaftyleny i acenaftenu.



Rysunek 6.4. Oznaczony udział stężeń WWA w $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w pyłe, w stosunku do całkowitej emisji stężenia WWA ze spalania drewna w cyklach pomiarowych 1-6.



Rysunek 6.5. Oznaczony udział stężeń poszczególnych WWA w $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w pyłe, w stosunku do całkowitej emisji stężenia poszczególnych WWA ze spalania drewna w cyklach pomiarowych 1-6.

Takie związki jak fluoren, fenantren, antracen, fluoranten i piren w pyłe stanowiły maksymalnie do około 30% całkowitej emisji, natomiast chryzen, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)piren, indeno(123-cd)piren, dibenzo(a,h)antracen oraz benzo(ghi)perylen nawet do 96% całkowitej emisji WWA. Przy czym dla wszystkich przeprowadzonych cykli spalania stężenia benzo(k)fluorantenu, indeno(123-cd)pirenu i benzo(ghi)peryleny oznaczone z zanieczyszczeń pyłowych przekraczały 50% całkowitej emisji.

W ramach pracy nie zlecono wykonania bilansów energetycznych przeprowadzonych cykli pomiarowych oraz przeprowadzenia analizy technicznej i elementarnej paliw wykorzystanych do testów spalania, co uniemożliwia dokładne przeliczenie zmierzonych stężeń związków emitowanych w spalinach. Na prośbę Zleceniodawcy przeprowadzono przybliżone przeliczenia opierając się m.in. na posiadanych w IChPW danych archiwalnych dla paliw. Przeliczenia te pozwalają na ustalenie średnich emisji zanieczyszczeń w przeliczeniu na 1 GJ, które to wskaźniki można bezpośrednio porównać z danymi literaturowymi zestawionymi m.in. w pracy <https://kominkipro.ihz.pl/kominki-nie-emituja-benzoapirenu-raport-badan/>

Tablica 6.2. Średnie wartości pomiarów przeprowadzonych w ramach pracy porównane z wartościami literaturowymi.

Parametr ¹⁾	jedn.	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2
pył	g/GJ	b.d.	100	800	550	24	15,6	15-30
NO _x	g/GJ	b.d.	95	50	60	122	59,5	64-102
Benzo(a)piren	mg/GJ	176	10	121	200	20,4	0,47	0,1-0,3
Benzo(b)fluoranten	mg/GJ	235	16	111	b.d.	22	0,76	0,1-1,5
Benzo(k)fluoranten	mg/GJ	59	5	42	b.d.	13,9	0,3	0,2-0,5
Indeno(1,2,3-c,d)piren	mg/GJ	588	4	71	b.d.	18,8	0,34	0,1-0,3
suma 4 WWA	mg/GJ	1058	35	345	b.d.	75,1	1,87	0,5-2,1
suma 16 WWA wg EPA	mg/GJ	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	233,6	162-325

1) <https://kominkipro.ihz.pl/kominki-nie-emituja-benzoapirenu-raport-badan/>

1.1 US EPA 1996; AP-42 Compilation

1.2 Wskaźniki dla kominków spełniających wymagania ekoznakowania, dane z lat 2004-2011 według EIG EMEP

1.3 Zagregowane wskaźniki dla uproszczonej metody inwentaryzacji z wykorzystaniem sumarycznej ilości zużytego paliwa (na podstawie danych z lat 2004-2011), EMEP guidebook 2019

1.4 Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw dla źródeł o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW, zastosowane do automatycznego wyliczenia emisji w raporcie do Krajowej bazy za 2020rok

1.5 Opracowanie wskaźników emisji dla źródeł spalania paliw stałych w sektorze komunalno-bytowym. MODUŁ I, MODUŁ II oraz MODUŁ III. Zabrze, 2021

1.6 Średnie wyniki badań przeprowadzonych przez Ogólnopolskie Stowarzyszenie Kominki i Piece

2 Zakres wyników otrzymanych w ramach niniejszej pracy

Z zestawienia przedstawionego w tablicy 6.2. wynika, że wyniki otrzymane w ramach realizacji niniejszej pracy są najbardziej zbliżone do średnich wyników otrzymanych w pracach badawczych zleconych przez Ogólnopolskie Stowarzyszenie Kominki i Piece (OSKP). Jest to spowodowane głównie tym, że wyniki przedstawiane w 4 pierwszych kolumnach, są wartościami opisującymi proces spalania w urządzeniach grzewczych starego typu, przestarzałej konstrukcji, zazwyczaj charakteryzujących się dużą bezwładnością. Wyniki przedstawione w trzech ostatnich kolumnach dotyczą urządzeń wykonanych z uwzględnieniem BAT, sprawdzonych zgodnie z normami przedmiotowymi w notyfikowanych laboratoriach badawczych i spełniających kryteria dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń na paliwo stałe, tzw. „ekoprojekcie” dla miejscowych ogrzewaczy pomieszczeń.

Podsumowując wyniki otrzymane w ramach pracy można jednoznacznie stwierdzić, że badany miejscowy ogrzewacz pomieszczenia jest urządzeniem charakteryzującym się konstrukcją umożliwiającą eksploatację kominka z emisją zanieczyszczeń na poziomie kryterialnym tzw. „ekoprojektu” oraz emisją WWA, w tym wybitnie szkodliwego benzo(a)pirenu, na poziomie nawet 1000-krotnie niższym, niż można znaleźć w źródłach literaturowych. Dodatkowo urządzenie to ogranicza wpływ jakości spalanego paliwa (w tym jego wilgotności) na emisję zanieczyszczeń. Miejscowy ogrzewacz pomieszczeń testowany w ramach pracy wpisuje się więc w trend rozwojowy urządzeń OZE minimalizujących negatywne oddziaływanie na jakość powietrza i wręcz **rekomenduje** się jego stosowanie, szczególnie w miejscach narażonych na pojawianie się tzw. epizodów smogowych.