

Raport

Badania emisji zanieczyszczeń, w szczególności pyłu, z palenisk domowych

wykonany na podstawie umowy: Nr WOŚ.602.2.2019 z dnia 25 września 2020 r.

na zlecenie:

Urząd Miasta Otwock,
ul. Armii Krajowej 5,
05-400 Otwock

Bez pisemnej zgody Politechniki Śląskiej, sprawozdanie nie może być powielane inaczej, jak tylko w całości, wraz z załącznikami. Wyniki umieszczone w sprawozdaniu z badań odnoszą się tylko i wyłącznie do wymienionych obiektów, instalacji i urządzeń oraz warunków eksploatacyjnych i technologicznych w dniu wykonywania badań. Sprawozdanie zawiera wyniki badań akredytowanych oraz nieakredytowanych i przeliczeń.

Autor

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

Politechnika Śląska

Wydział Chemiczny

Katedra Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego

ul. Marcina Strzody 7, pok. 181, 44-100 Gliwice

+48 32 237 14 61

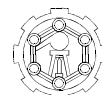
rch3@polsl.pl

NIP 631 020 07 36

ING Bank Śląski S.A. o/Gliwice 60 1050 1230 1000 0002 0211 3056



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Wydział Chemiczny
Politechniki Śląskiej

Spis treści

Podstawa formalna pracy	2
Cel i zakres pracy	3
1 Metodyka pomiarów	4
1.1 Pomiar stężenia pyłu	4
1.2 Pomiar stężenia zanieczyszczeń gazowych	4
1.3 Charakterystyka przekroju pomiarowego	5
1.4 Zestawienie obiektów badanych	7
2 Wyniki pomiarów	8
3 Określenie efektu środowiskowego	9
3.1 Redukcja emisji zanieczyszczeń wskutek substytucji paliwowej	10
3.2 Porównanie redukcji emisji	11
3.3 Podsumowanie	12

Podstawa formalna pracy

Praca zrealizowana została na podstawie umowy Nr WOŚ.602.2.2019 z dnia 25 września 2020 r. zawartej przez:

- Urząd Miasta Otwock, ul. Armii Krajowej 5, 05-400 Otwock; oraz
- Politechnikę Śląską - uczelnią publiczną w rozumieniu art. 2 ustawy z dnia 27 lipca 2005r. Prawo o szkolnictwie wyższym (j.t. Dz. U. z 2012r., poz. 572) z siedzibą: 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 2A, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Chemicznej i Projektowania Procesowego, ul. Ks. M. Strzody 7, 44-100 Gliwice

W myśl umowy Politechnika Śląska zobowiązała się do wykonania pracy „Badania emisji zanieczyszczeń, w szczególności pyłu, z palenisk domowych”. Niniejszy raport zawiera rezultaty badań w warunkach rzeczywistych zrealizowanych przy udziale podwykonawców, specjalistycznych laboratoriów pomiarów emisji, posiadających akredytację w zakresie poboru i oznaczania wybranych zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery podczas spalania paliw stałych.

Oświadczenie

Projekt naukowo-badawczy został sfinansowany ze środków Województwa Mazowieckiego

Cel i zakres pracy

Określenie efektu ekologicznego wynikającego z zastąpienia paliw konwencjonalnych, węglowych stosowanych w sektorze komunalno-bytowym przez paliwa formowane, bezdymne w porównaniu do wykorzystanie urządzeń odpylających w szczególności mikro-elektrofiltrów.

Przedmiotem badań były instalacje grzewcze domowe, paleniska na paliwa stałe. Badaniami objęto 11 obiektów – urządzeń grzewczych, w tym:

- kotły z ręcznym załadunkiem,
- miejscowe ogrzewacze pomieszczeń,
- trzon kuchenny, pieco-kuchnia,

Pomiary badanych obiektów wykonano w 2 seriach, kampaniach pomiarowych tj. w dniach 21-24.10.20 i 27-28.10.2020 r

Pomiary obejmowały wyznaczenie emisji zanieczyszczeń do powietrza, w tym:

- tlenki azotu, NO_x,
- tlenek węgla, CO,
- lotne związki organiczne, LZO
- pył ogółem, TSP, pomiar dokładny – oznaczenie 3 prób.

Dwa wybrane obiekty, wskazane przez Zamawiającego objęto dodatkowo pomiarami:

- emisji wielopierścieniowych węglowodory aromatyczne WWA w tym BaP.

Pomiary realizowano z wykorzystaniem odcinka pomiarowego specjalnej konstrukcji, gwarantującym normowy pobór prób. W tym celu wykonana została nasada kominowa z odcinkiem pomiarowym.

Badania obejmowały pomiar emisji zanieczyszczeń ze spalania różnych rodzajów paliwa w tym:

- paliwa konwencjonalnego o wartości opałowej 28 MJ/kg¹.
- paliwa formowanego, niskoemisyjnego Homefire Premium+, o wartości opałowej 29 MJ/kg

Podczas badań dawka paliwa węglowego (obu rodzajów) była identyczna.

¹ w przypadku 2 obiektów badanych podstawowym paliwem było drewno o wartości opałowej 15-17 MJ/kg, dawka paliwa została odpowiednio zwiększona

1 Metodyka pomiarów

Szczegółowa identyfikacja zastosowanych metod badawczych przedstawiona została w załącznikach 1, 2a i 2b.

1.1 Pomiar stężenia pyłu

Pomiary zapylenia gazów wykonano zgodnie z normą PN-Z-04030-7:1994 „Ochrona Czystości Powietrza. Pomiar stężeń i strumienia masy pyłu w gazach odlotowych metodą grawimetryczną. Rejestrację parametrów przeprowadzono za pomocą automatycznego pyłomierza grawimetrycznego typu P – 10 ZA z Centralną Jednostką Pomiarową „CJP 10” produkcji ZAM Kęty Sp. z o.o. Pyłomierz mierzy następujące parametry:

- temperaturę gazu,
- ciśnienie całkowite w kanale,
- temperaturę strumienia bocznego,
- ciśnienie strumienia bocznego,
- ciśnienie różnicowe strumienia bocznego,
- ciśnienie różnicowe w sondzie zerowej.

Pyłomierz na bieżąco wyznacza parametry przepływającego gazu oraz parametry gazu w strumieniu bocznym, a dzięki odczytom ciśnienia różnicowego w sondzie zerowej istnieje możliwość kontroli i regulacji izokinetycznego zasysania gazu.

Sonda zerowa wyposażona jest w moduł filtracji wewnętrznej – osadzenie cząsteczek pyłu na wcześniej zważonym filtrze następuje w takich samych warunkach jakie ma przepływający przekrojem pomiarowym gaz.

Ważenie wkładów (woreczków) filtracyjnych poprzedzono suszeniem ich w suszarce laboratoryjnej w temperaturze około 105°C przez około 2 godz., powtarzając proces do ustalenia stałej masy (zarówno z pyłem, jak i bez pyłu). Pomiary masy wkładów filtracyjnych przeprowadzono za pomocą elektronicznej wagi laboratoryjnej klasy dokładności 1 typu PA214CM/1 produkcji OHAUS Corporation z dokładnością do 0,0001 [g].

1.2 Pomiar stężenia zanieczyszczeń gazowych

Pomiary składu spalin oraz stężeń: dwutlenku siarki, tlenków azotu, tlenku węgla wykonano automatycznym analizatorem spalin HORIBA:

Rodzaj pomiaru	Metoda/Norma	
CO, SO ₂	NDIR	PN-ISO 10396:2001
NO/NO _x	chemiluminescencji CLD/z konwerterem	PN-EN 14792:2006

Zainstalowany w analizatorze konwerter przekształca NO₂ do NO i analizator mierzy sumę tlenków azotu NO_x. Przed i po pomiarach analizator sprawdzono, na stanowisku pomiarowym, za pomocą certyfikowanych gazów wzorcowych.

LZO

Metoda ciągłej detekcji płomieniowo-jonizacyjnej (FID)

Pomiary stężenia lotnych związków organicznych (LZO) wykonywane były analizatorami, działającymi w oparciu o metodę ciągłej detekcji płomieniowo-jonizacyjnej (FID). Metoda ta polega na jonizacji zawartych w związkach organicznych atomów węgla podczas spalania w palniku mieszaniny gazów odlotowych, wodoru i czystego powietrza. Kierowane do palnika gazy odlotowe są wstępnie oczyszczane z cząsteczek stałych (pyłów) na filtrze kwarcowym lub ceramicznym.

Palnik jest umieszczony pomiędzy dwoma elektrodami. Napięcie elektryczne przyłożone do elektrod powoduje ruch powstających podczas spalania jonów w wytworzonym polu elektrycznym, czyli przepływ prądu między elektrodami. Natężenie przepływającego prądu zależy od ilości powstających jonów, a tym samym od ilości atomów węgla w związkach organicznych zawartych w badanych gazach odlotowych. Pomiary wykonano analizatorem OVF-3000 firmy J.U.M. Engineering.

W skład zestawu pomiarowego wchodzi: cylinder z wodorem klasy czystości 5.0, przenośna sonda z grzaną głowicą PSP4000H i grzanym filtrem S-2K, wąż grzany PSP4M/6 z linią teflonową i regulatorem temperatury, rejestrator danych pomiarowych SIMEX, butla z certyfikowanym gazem wzorcowym oraz gazem zerowym (powietrze syntetyczne o czystości 99,998%) wraz z układem kalibracyjnym.

Pomiar stężenia WWA

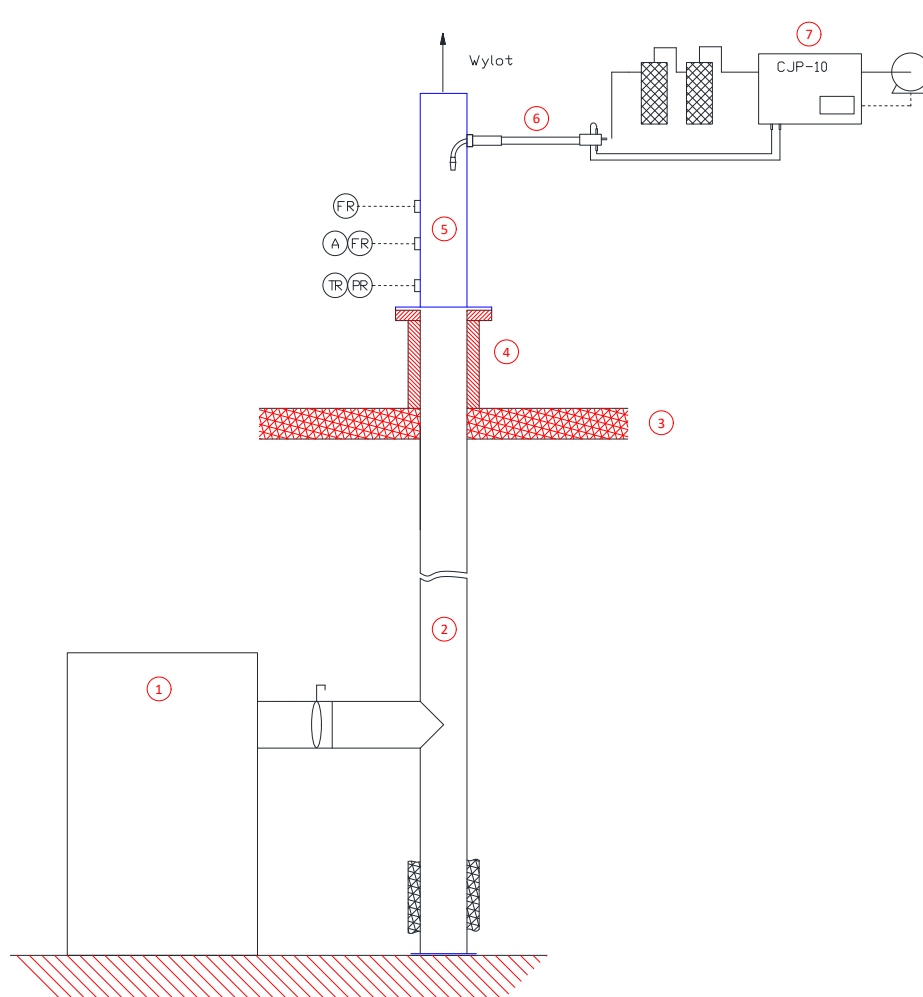
Z poszczególnych punktów przekroju pomiarowego aspirowana jest reprezentatywna próbka gazu w sposób izokinetyczny. Po przejściu przez odpowiednio dobraną końcówkę aspiracyjną, WWA w formie stałej zatrzymywane jest na materiale filtracyjnym, następnie próbka gazów odlotowych przechodzi szklanym torem, który jest chłodzony cieczą. Ochłodzenie próbki powoduje wykroplenie pary wodnej, która zbierana jest w szklanym pojemniku na skropliny. Kolejnym etapem jest przejście próbki gazu przez układ dwóch szklanych cartridge z sorbentem XAD-2. Stężenie pobranych WWA analizowane jest metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detekcją fluorescencyjną.

Pomiary wykonano manualnym pyłomierzem z gazomierzem w skład, którego wchodzi: tytanowa końcówka aspiracyjna o odpowiedniej średnicy zapewniająca izokinetyczną aspirację, tytanowy separator do filtracji wewnętrznej, sonda szklana – chłodzona, pojemnik na skropliny szklany, agregat chłodzący, termometr na wylocie ze zbiornika kondensatu, filtr typu gilza d=19mm, szklany cartridge z XAD-2, separator wilgoci, gazomierz miechowy, termometr na wlocie do gazomierza, agregat zasysający, zespół zaworów do regulacji izokinetyczności, rotametr, cyfrowy manometr ciśnienia absolutnego, przetwornik wilgotności i temperatury gazów odlotowych.

1.3 Charakterystyka przekroju pomiarowego

Pomiary przeprowadzono na kominach odprowadzających zanieczyszczenia z urządzeń grzewczych do atmosfery wyposażonych w odpowiednią ilość punktów pomiarowych będących wewnętrznie gwintowanym otworem M64x4. Zachowane zostały ogólne kryteria lokalizacji punktu pomiarowego normy PN-Z-04030-7:1994.

Schemat obiektu badanego oraz przekroju pomiarowego przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Obiekt badany oraz przekrój i przyrządy pomiarowe

Obiekt badany to urządzenie grzewcze; piec, kocioł, trzon kuchenny (poz.1. Rys.1.) podłączony do przewodu kominowego (poz.2. Rys.1.). Badania prowadzono z poziomu dachu (poz.3. Rys.1.) na wylocie z komina (poz.4. Rys.1.). W tym celu na kominie (poz.4. Rys.1.) montowany był specjalny odcinek pomiarowy – nasada kominowa (poz.5. Rys.1.). Odcinek pomiarowy umożliwiał wprowadzenie sond pomiarowych (poz.6. Rys.1.) podłączonych do specjalistycznych analizatorów (poz.7. Rys.1.) prowadzących pomiar – oznaczenie badanych wielkości; temperatury, ciśnienia, stężeń zanieczyszczeń, przepływu.

1.4 Zestawienie obiektów badanych

Badania prowadzono w 2 kampaniach obejmujących łącznie 11 testów. Badaniami objęto obiekty zestawione w tablicy 1. W ramach każdego testu badano emisje wskazanych zanieczyszczeń, dla 2 różnych paliw z tego samego paleniska.

Tab.1. Zestawienie obiektów badanych

L.p.	Adres	Rodzaj urządzenia grzewczego	Zakres pomiaru
1	Ługi 80	Kocioł zasypowy instalacji c.o.	Pył, NOx, SO ₂ , CO, LZO
2	Orla 1/1	Piecokuchnia	Pył, NOx, SO ₂ , CO, LZO
3	Orla 1/2	Piecokuchnia	Pył, NOx, SO ₂ , CO, LZO
4	Poniatowskiego 34/3	Piecokuchnia	Pył, NOx, SO ₂ , CO, LZO
5	Poniatowskiego 34/2	Piecokuchnia	Pył, NOx, SO ₂ , CO, LZO
6	Szkolna 21	Kocioł zasypowy instalacji c.o.	Pył, NOx, SO ₂ , CO, LZO, WWA
7	Podleśna 23	Kocioł zasypowy instalacji c.o.	Pył, NOx, SO ₂ , CO, LZO, WWA

2 Wyniki pomiarów

Zestawienie wyników pomiarów, badań i obliczeń emisji zanieczyszczeń podano w Załącznikach 1, 2a oraz 2b. Wyniki zestawione zostały przez wykonawców zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie rodzajów wyników pomiarów prowadzonych w związku z eksploatacją instalacji lub urządzenia i innych danych oraz terminów i sposobów ich prezentacji (Dz. U. z 2008 r. nr 215, poz. 1366) z późn. zmianami, rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 08.01.2020 (Dz. U. 2020 poz. 143).

Pomiary badanych obiektów wykonano w dniach 21-24.10.20 i 27-28.10.2020 r. Oznaczenie masy próbek pyłu wykonano w dniu: 30.10.2020 r.

Szczegółowe obliczenia poszczególnych wielkości przeprowadzono zgodnie z normami wymienionymi w punkcie 1 Sprawozdania. Przedstawione wyniki to średnia z trzech oznaczeń.

Wyniki wyrażono w odniesieniu do różnych warunków:

- Warunki pomiaru – parametry gazu dla zmierzonego ciśnienia, temperatury, wilgotności, brak indeksu.
- Warunki normalne – parametry gazu odniesione do temperatury 273K oraz ciśnienia 101,3 kPa i zmierzonej wilgotności, indeks „n”.
- Warunki umowne – parametry gazu odniesione do temperatury 273K, ciśnienia 101,3kPa i zawartości pary wodnej nie większej niż 0,005 g/kg gazów (gazy suche), indeks „u”.
- Warunki standardowe – parametry gazu odniesione do temperatury 273K, ciśnienia 101,3kPa i zawartości pary wodnej nie większej niż 0,005 g/kg gazów (gazy suche), przeliczone na 10% zawartość O₂, indeks „ref”.

3 Określenie efektu środowiskowego

Zestawienie wyników pomiarów tj. stężenia zanieczyszczeń w przeliczeniu na warunki referencyjne, przedstawiono w tablicy 2.

Tab. 2. Zestawienie wyników pomiarów

	Lp.	Urządzenie	Paliwo	Emisja				
				Pył	SO ₂	NO _x	CO	LZO
				mg/m ³ @ 10% O ₂				
Kampania pomiarowa 1	1	Kocioł zasypowy	ekogroszek	712,1	84,5	275,7	1358,7	125,5
			brykiet węglowy	266,6	141,1	213,7	2457,5	181,2
	2	Ogrzewacz, piecokuchnia	ekogroszek	257,3	545,3	498,0	1765,4	118,2
			brykiet węglowy	177,8	526,8	410,6	1887,0	144,6
	3	Ogrzewacz, piecokuchnia	węgiel kostka	803,2	564,1	578,0	3992,0	233,3
			brykiet węglowy	147,8	550,0	327,7	4040,8	230,7
	4	Ogrzewacz, piecokuchnia	drewno	631,4	25,3	82,2	4026,4	316,1
			brykiet węglowy	181,0	136,3	226,9	1853,1	176,0
	5	Ogrzewacz, piecokuchnia	drewno	461,0	64,0	136,2	3296,9	300,2
			brykiet węglowy	316,3	212,5	436,3	2438,8	217,7
Kampania pomiarowa 2	6	Ogrzewacz, piecokuchnia	ekogroszek	791,2	580,7	420,9	2649,5	132,3
			brykiet węglowy	224,7	481,7	419,0	2796,1	134,7
	7	Ogrzewacz, piecokuchnia	węgiel kostka	719,8	505,6	209,7	2649,2	142,1
			brykiet węglowy	232,4	494,6	433,0	2220,1	167,0
	8	Ogrzewacz, piecokuchnia	drewno	537,1	30,9	141,0	6701,4	566,2
			brykiet węglowy	322,8	424,0	365,5	1914,8	186,0
	9	Ogrzewacz, piecokuchnia	drewno	493,2	34,8	131,2	3314,9	294,4
			brykiet węglowy	319,6	468,1	384,0	1694,7	205,9
	10	Kocioł zasypowy	ekogroszek	4163,3	198,9	161,8	15315,0	5554,9
			brykiet węglowy	2803,6	144,3	119,4	15931,1	2409,4
	11	Kocioł zasypowy	ekogroszek	367,5	112,8	257,1	5996,0	390,3
			brykiet węglowy	278,6	685,5	235,5	7986,6	362,3

Kampania 2	Lp.	Urządzenie	Paliwo	Stężenie WWA
				mg/m ³ @ 10% O ₂
10	Kocioł zasypowy	ekogroszek		30,124
		brykiet węglowy		32,653
11	Kocioł zasypowy	ekogroszek		9,541
		brykiet węglowy		2,543

W niektórych przypadkach stężenie pyłu na wylocie z urządzenia osiąga poziom właściwy dla urządzeń grzewczych zgodnych z klasą 3 wg normy PN/EN 3035/2012 tj. 150 mg/m³ przy referencyjnym poziomie tlenu w spalinach równym 10%.

3.1 Redukcja emisji zanieczyszczeń wskutek substytucji paliwowej

Poziom redukcji emisji wynikający z substytucji paliwowej pyłu określony został na podstawie zależności

$$R = \frac{E_{pk} - E_{pne}}{E_{pk}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Gdzie:

E_{pk} – emisja zmierzona dla spalania paliwa konwencjonalnego, [kg/h]

E_{pne} – emisja zmierzona dla spalania niskoemisyjnego [kg/h]

Zestawienie wyników pomiarów oraz efekt środowiskowy osiągnięty wskutek substytucji paliwowej tj. redukcja emisji zanieczyszczeń, w szczególności pyłu, LZO oraz WWA zestawiony został w tablicy 3.

Tab.3. Redukcja emisji zanieczyszczeń

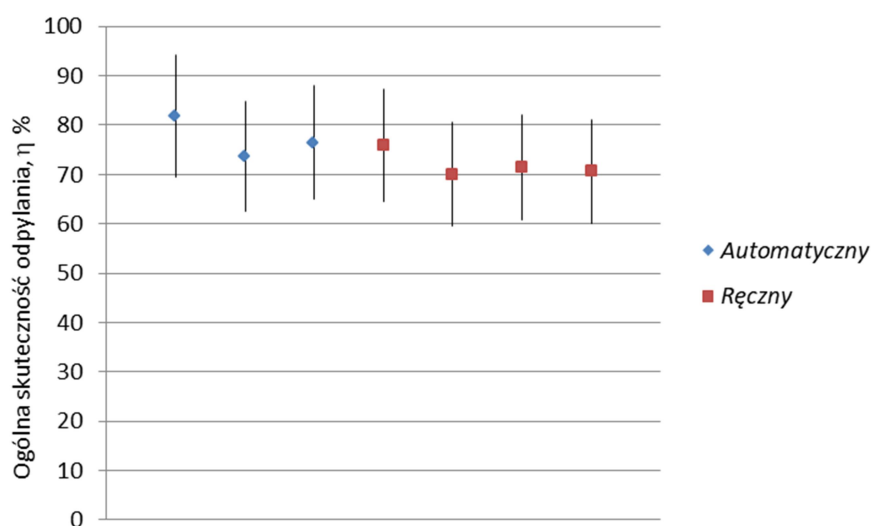
	Lp.	Urządzenie	Paliwo	Emisja					Redukcja	
				Pył	SO ₂	NO _x	CO	LZO	Pył	LZO
				kg / h					%	
Kampania pomiarowa 1	1	Kocioł zasypowy	ekogroszek	0,0510	0,0060	0,0200	0,9670	0,0090	86,3	44,4
			brykiet węglowy	0,0070	0,0040	0,0050	0,6260	0,0050		
	2	Ogrzewacz, piecokuchnia	ekogroszek	0,0080	0,0170	0,0160	0,0550	0,0040	37,5	0,0
			brykiet węglowy	0,0050	0,0150	0,0120	0,0550	0,0040		
	3	Ogrzewacz, piecokuchnia	węgiel kostka	0,0110	0,0080	0,0080	0,0530	0,0030	81,8	-33,3
			brykiet węglowy	0,0020	0,0090	0,0050	0,0660	0,0040		
	4	Ogrzewacz, piecokuchnia	drewno	0,0200	0,0010	0,0030	0,1260	0,0100	70,0	40,0
			brykiet węglowy	0,0060	0,0040	0,0070	0,0580	0,0060		
	5	Ogrzewacz, piecokuchnia	drewno	0,0090	0,0010	0,0030	0,0680	0,0060	44,4	50,0
			brykiet węglowy	0,0050	0,0030	0,0060	0,0360	0,0030		
Kampania pomiarowa 2	6	Ogrzewacz, piecokuchnia	ekogroszek	0,0160	0,0120	0,0090	0,0540	0,0030	75,0	33,3
			brykiet węglowy	0,0040	0,0090	0,0080	0,0500	0,0020		
	7	Ogrzewacz, piecokuchnia	węgiel kostka	0,0140	0,0100	0,0040	0,0530	0,0030	78,6	33,3
			brykiet węglowy	0,0030	0,0070	0,0060	0,0330	0,0020		
	8	Ogrzewacz, piecokuchnia	drewno	0,0120	0,0010	0,0030	0,1460	0,0120	50,0	66,7
			brykiet węglowy	0,0060	0,0080	0,0070	0,0370	0,0040		
	9	Ogrzewacz, piecokuchnia	drewno	0,0100	0,0010	0,0030	0,0670	0,0060	40,0	33,3
			brykiet węglowy	0,0060	0,0080	0,0070	0,0290	0,0040		
	10	Kocioł zasypowy	ekogroszek	0,0508	0,0025	0,0020	0,1900	0,0678	26,6	53,8
			brykiet węglowy	0,0373	0,0019	0,0015	0,2050	0,0313		
	11	Kocioł zasypowy	ekogroszek	0,0122	0,0037	0,0084	0,2050	0,0131	23,0	6,1
			brykiet węglowy	0,0094	0,0232	0,0079	0,2750	0,0123		

Kampania 2	Lp.	Urządzenie	Paliwo	WWA	
				Emisja	Redukcja
				kg/h	%
	10	Kocioł zasypowy	ekogroszek	0,0003790	-9,763
			brykiet węglowy	0,0004160	
	11	Kocioł zasypowy	ekogroszek	0,0003060	71,471
			brykiet węglowy	0,0000873	

3.2 Porównanie redukcji emisji

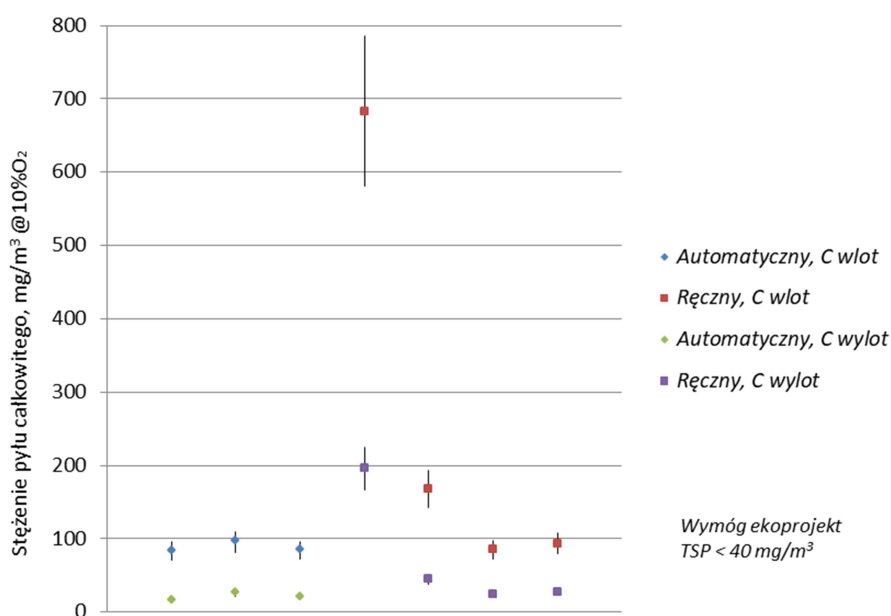
Redukcję emisji pyłu całkowitego osiąganą wskutek substytucji paliwowej odniesiono do sprawności odpylania właściwej dla mikro-elektrofiltrów.

Wyniki pomiarów emisji pyłu w warunkach rzeczywistych, z urządzeń grzewczych wyposażonych w elektrofiltr pochodzą z kampanii pomiarowej zrealizowanej niezależnie od przedmiotowej pracy. Ogólna skuteczność separacji przedstawiona została na rysunku 2.



Rys.2. Ogólna skuteczność odpylania

Zmierzone stężenia na wylocie z urządzeń grzewczych wyposażonych w elektrofiltr oraz bez zastosowania mikro-elektrofiltru przedstawione zostały na rysunku 3.



Rys.2. Zmierzone stężenia wylotowe

Średnia możliwa redukcja emisji wskutek zastosowania elektrofiltru wynosi 75%.

3.3 Podsumowanie

Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić:

1. Pozytywny efekt ekologiczny związany z substytucją paliwową osiągany jest przede wszystkim w odniesieniu do ograniczenia emisji pyłu całkowitego, LZO oraz WWA.
2. W niektórych przypadkach badanych pozaklasowych obiektów stężenie pyłu na wylocie z instalacji grzewczych, przy spalaniu paliwa niskoemisyjnego osiągało poziom zbliżony do urządzeń grzewczych zgodnych z klasą 3 wg normy PN/EN 3035/2012 tj. 150 mg/m³ przy referencyjnym poziomie tlenu w spalinach równym 10%.
3. Wyniki osiągnięta dla obiektu badanego nr 10 należy uznać za skrajnie zły przypadek użytkowania urządzenia grzewczego. Temperatura spalin oraz wysoka emisja zanieczyszczeń świadczą o niewłaściwym sposobie prowadzenia procesu spalania w przypadku obu typów paliwa.
4. Uzyskana redukcja emisji pyłu zawieszonego waha się w przedziale od 23% do 86% i silnie zależy od jakości procesu spalania.
5. Efekt środowiskowy, ekologiczny tj. średnia redukcja emisji pyłu urządzeń opalanych paliwami węglowymi wynosi 64%, mediana 76,8% (przy odrzuceniu wskazanego przypadku niewłaściwego użytkowania urządzenia).
6. W przypadku wszystkich badanych urządzeń, również tych opalanych drewnem zaobserwowano odpowiednio średnią redukcję 59% oraz medianę 60% (przy odrzuceniu wskazanego przypadku niewłaściwego użytkowania urządzenia).
7. Przy zapewnieniu poprawnej jakości procesu spalania redukcja emisji WWA osiąga wartość 71% (tylko 1 obiekt badany).
8. Porównując efekt środowiskowy wynikający z substytucji paliwowej do zastosowania elektrofiltrów można stwierdzić, że obie metody, pierwotna i wtórna oferują zbliżony poziom redukcji emisji pyłu zawieszonego. W obu porównywanych przypadkach można mówić o bezpośrednim, natychmiastowym efekcie ekologicznym. Obie metody stanowią więc narzędzie skutecznie przeciwdziałające zjawisku smogu, przez ograniczenie emisji niskiej. Stanowią efektywne, przejściowe rozwiązanie na czas transformacji sektora ogrzewnictwa komunalno-bytowego dla osiągnięcia zarówno:
 - założeń Krajowego Programu Ograniczania Zanieczyszczenia Powietrza (KPOZP) wynikających z dyrektywy pałapowej (NEC) oraz
 - neutralności klimatycznej przez zastąpienie źródeł zasilanych paliwami kopalnymi na rzecz OZE.
9. Biorąc pod uwagę obserwacje pomiarowe należy podkreślić, że równoległe z substytucją paliwową należy prowadzić działania edukacyjne związane ze sposobem użytkowania, obsługa urządzeń grzewczych.