

Elektrofiltry dla małych kotłów na paliwa stałe

A. Krupa

A. Jaworek, A. Sobczyk, A. Marchewicz, D. Kardaś



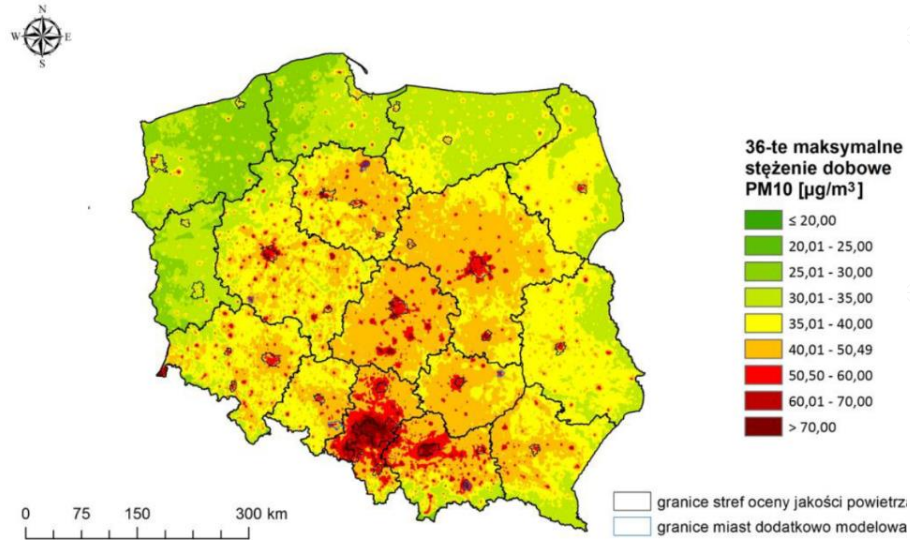
Rodzaje zanieczyszczeń powietrza

dwutlenek siarki, SO_2
dwutlenek azotu, NO_2
tlenek węgla, CO
benzen,
ozon,
pył zawieszony PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$
ołów,
arsen,
kadm,
nikiel
benzo(a)piren

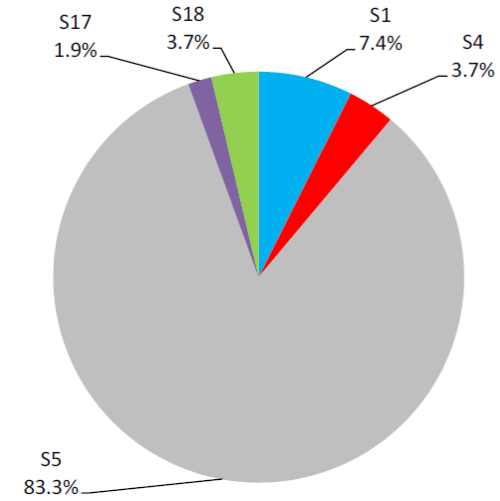


Smog w Krakowie

Mapa zanieczyszczeń PM10

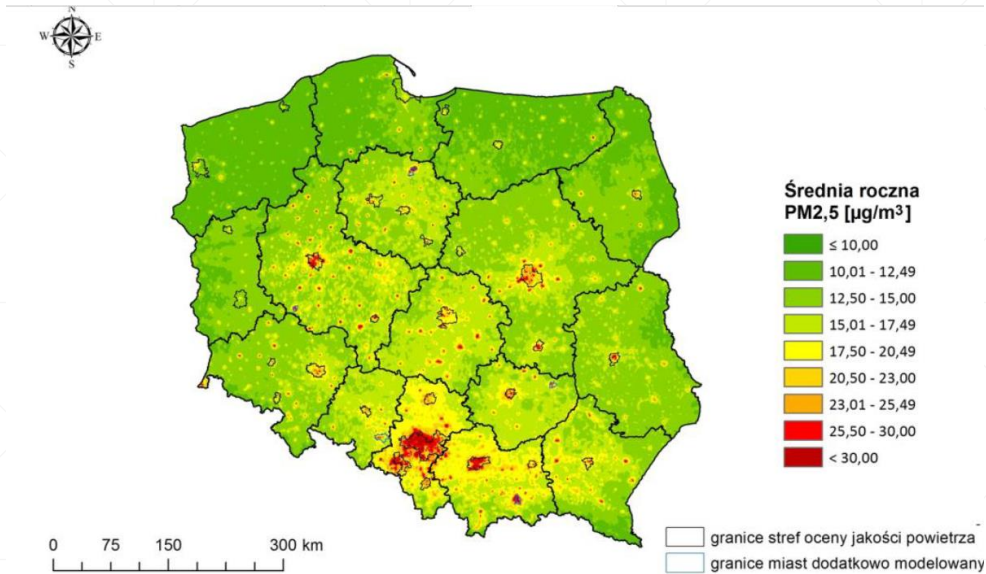


Rozkład średniorocznych stężeń pyłu zawieszonego PM10 w roku 2015

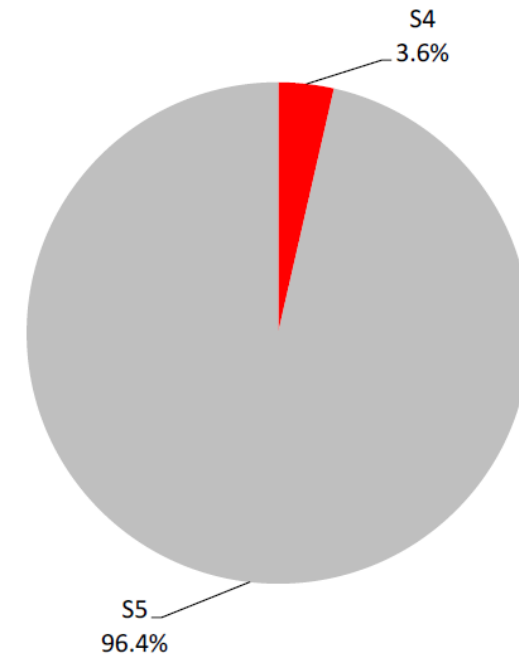


S1 - emisja z ruchu pojazdów w centrum miasta
S4 - emisja z kopalni
S5 - emisja z ogrzewania budynków
S17 - emisja zanieczyszczeń ze składowisk, hałd
S18 - emisja z pól, nieutwardzonych dróg, placów, boisk itp.

Mapa zanieczyszczeń PM2.5



Rozkład średniorocznych stężeń pyłu zawieszonego PM 2.5 w roku 2015



S4 - emisja z kopalni

S5 – emisja z ogrzewania budynków

Głównym źródłem zanieczyszczeń powietrza jest indywidualne ogrzewanie budynków

Cząstki PM2.5 (<2.5 μm)

Duża zawartość metali ciężkich (głównie: Se, Zn, As, Cd, Hg, Ni, Pb, Cr, Sr, Be, V, U) w stężeniach większych niż w cząstkach dużych (>10 μm).

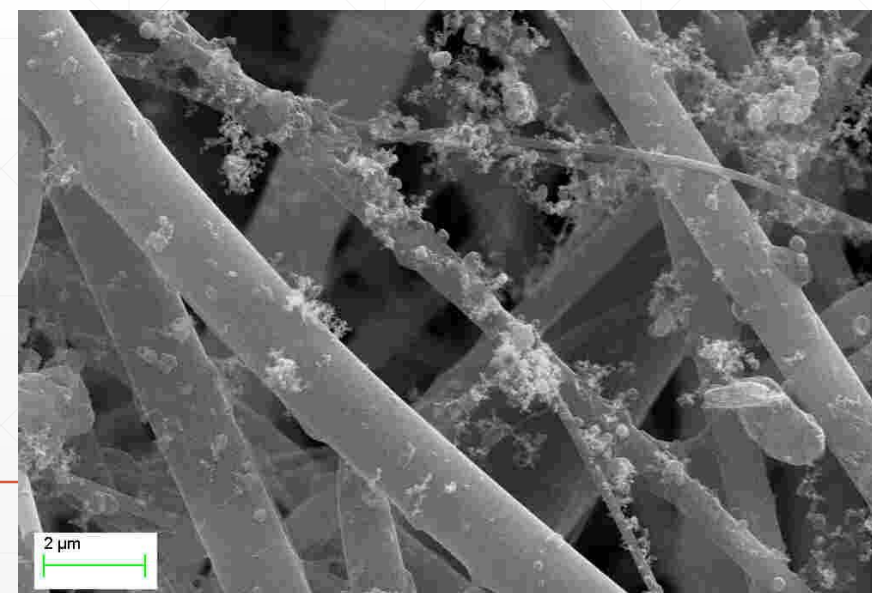
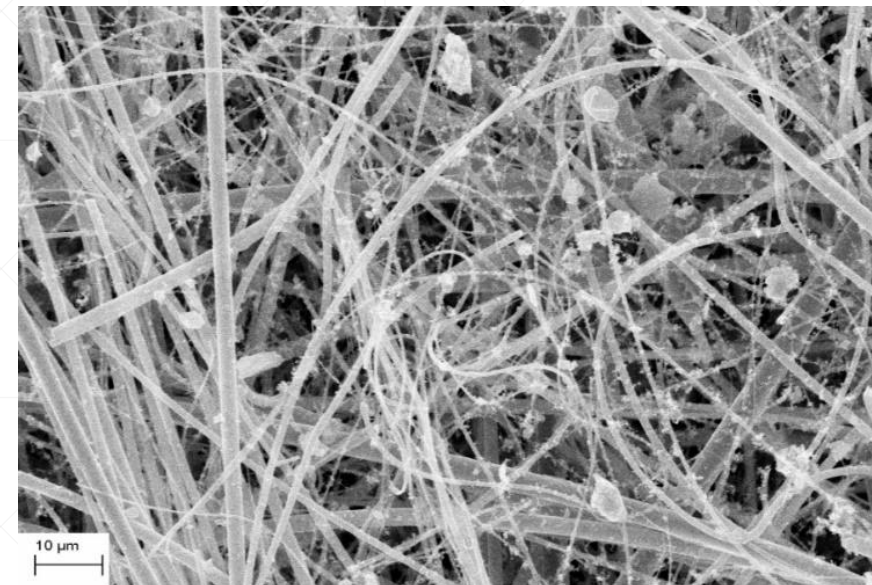
Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych o właściwościach toksycznych i kancerogennych.

Penetracja cząstek do dolnych dróg oddechowych - pęcherzyków płucnych i przenikanie do krwioobiegu.

Efekt cieplarniany

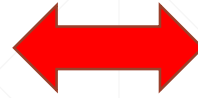
Powolne osiadanie w atmosferze, słabe usuwanie cząstek przez opady atmosferyczne i rozprzestrzenianie się na odległości transkontynentalne.

Cząstki zebrane w monitoringu powietrza



Alternatywne strategie walki ze smogiem

Dobre ale drogie paliwo do kotłów klasy 5

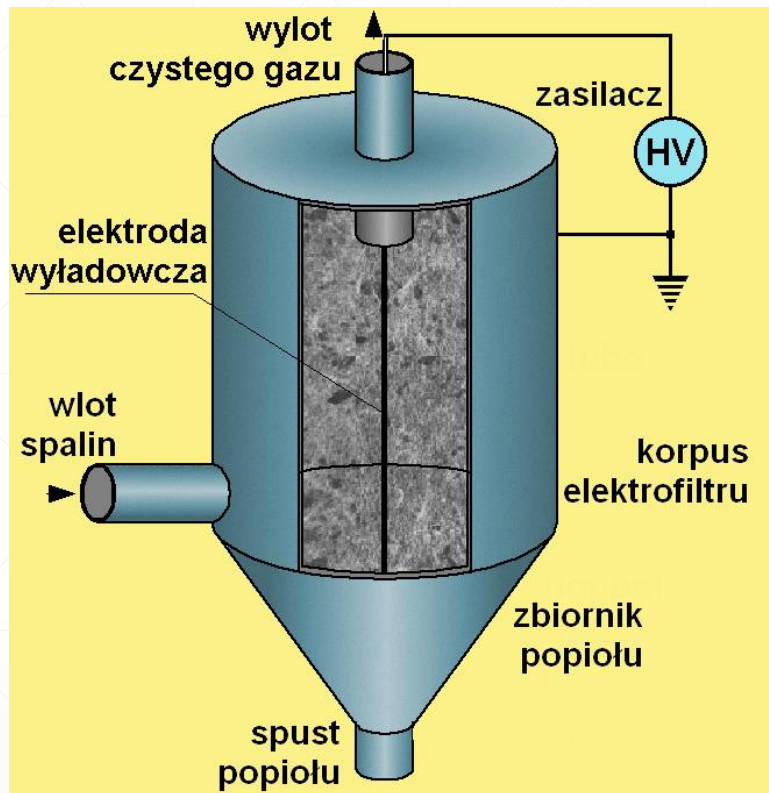


Niższej jakości i tańsze paliwo do kotłów z wysokotemperaturową komorą spalania i elektrofiltrem

Załadunek	Paliwo	Nominalna moc cieplna kW	Graniczne wartości emisji								
			CO			OGC			Pył ^b		
			mg/m ³ at 10% O ₂ ^a								
			klasa 3	klasa 4	klasa 5	klasa 3	klasa 4	klasa 5	klasa 3	klasa 4	klasa 5
ręczny	biopaliwa	0-50	5 000	1200	700	150	50	30	150	75	60
		50-150	2 500			100			150		
		150-500	1 200			100			150		
	kopalne	0-50	5 000			150			125		
		50-150	2 500			100			125		
		150-500	1 200			100			125		
automat.	biopaliwa	0-50	3 000	1000	500	100	30	20	150	60	40
		50-150	2 500			80			150		
		150-500	1 200			80			150		
	kopalne	0-50	3 000			100			125		
		50-150	2 500			80			125		
		150-500	1 200			80			125		

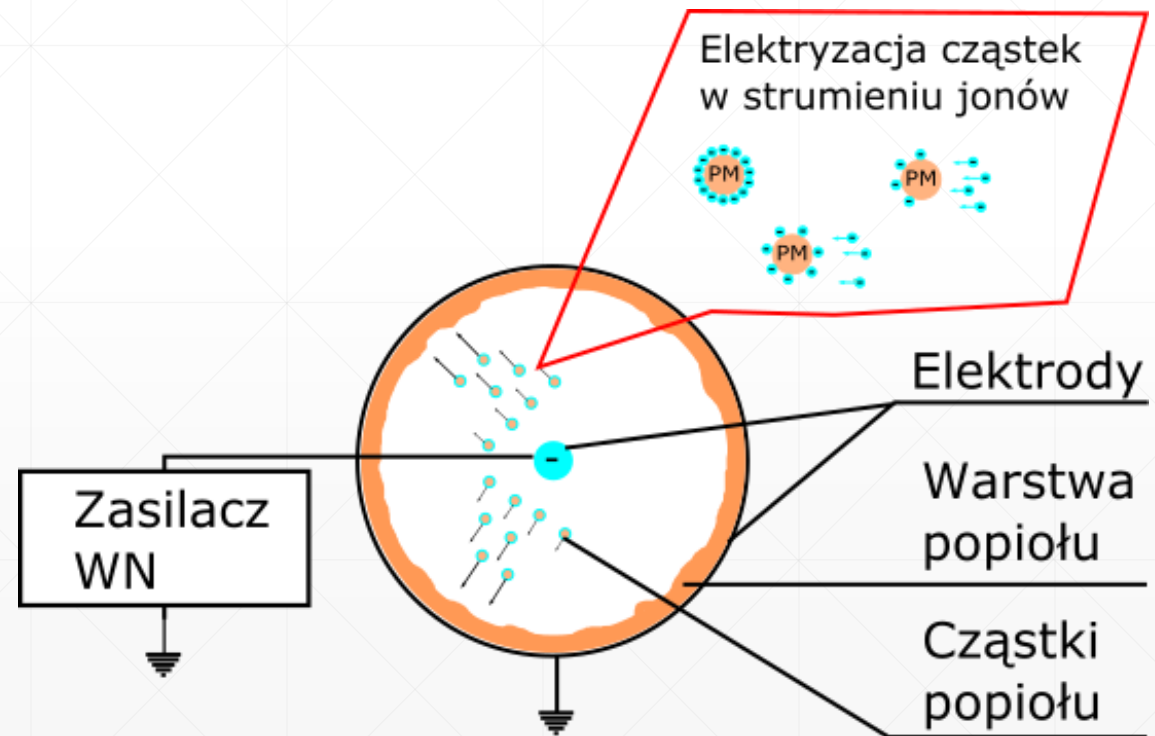
Wymagania emisyjne wg EN 303-5:2012

Zasada działania elektrofiltru



Podstawy fizyczne:

Cząstki popiołu lotnego są ładowane elektrycznie przez prąd jonowy o polaryzacji ujemnej w polu elektrycznym



Podstawy fizyczne – ładowanie cząstek

Ładowanie w strumieniu jonów:

cząstki są ładowane przez jony gazowe i elektrony w polu elektrycznym.

➤ Ładowanie polowe ($>1\mu\text{m}$)

jony gazowe osiadają na cząstce pod wpływem siły elektrycznej wytwarzanej przez zewnętrzne pole elektryczne. Siła ta równoważy Kulombowską siłę odpychania od ładunku cząstki.

Prąd jonowy dopływający do powierzchni cząstki :

$$\frac{dQ}{dt} = 3\pi n E \mu r^2 \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r + 2} \left(1 - \frac{Q}{12\pi\epsilon_0 r^2 E} \frac{\epsilon_r + 2}{\epsilon_r} \right)^2$$

Maksymalny ładunek na cząstce po $t \rightarrow \infty$ (Pautheniera) :

$$Q_s = 12\pi\epsilon_0 r_p^2 E \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r + 2}$$

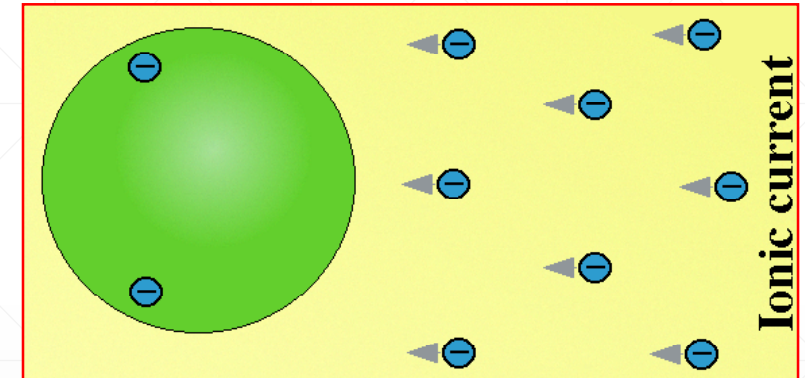
E – zmienna sterująca

➤ ładowanie dyfuzyjne ($<0.1\mu\text{m}$)

ładunek na cząstce

$$Q_p(t) = \frac{4\pi\epsilon_0 k T r_p}{q_i} \ln \left(1 + \frac{r_p \bar{v}_i n_i q_i t}{4\epsilon_0 k T} \right)$$

n_i, t – zmienne sterujące

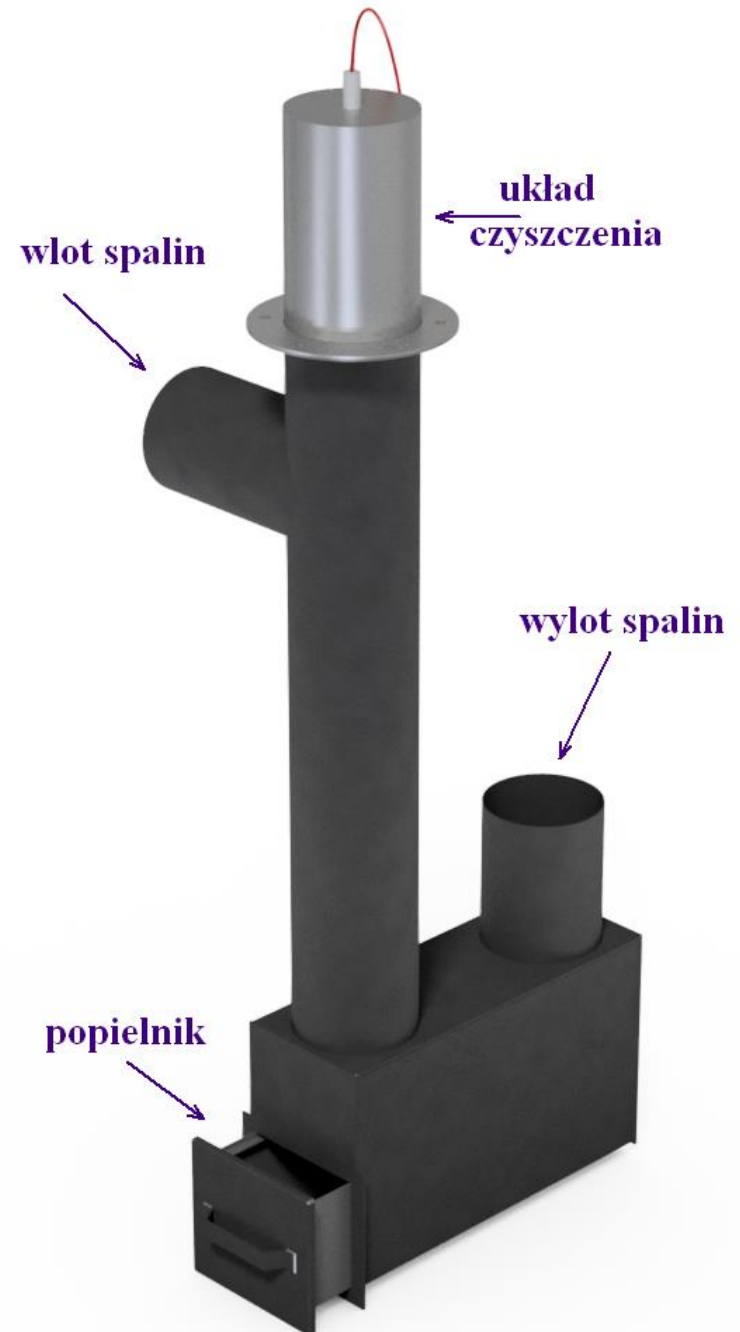


- Cząstki o promieniu $10\mu\text{m}$ ładują się do 20 000 e w polu elektrycznym 10^5 V/m .
- Cząstki o promieniu $0.1\mu\text{m}$ ładują się 2e, niezależnie od wielkości pola elektrycznego.

Elektrofiltr domowy

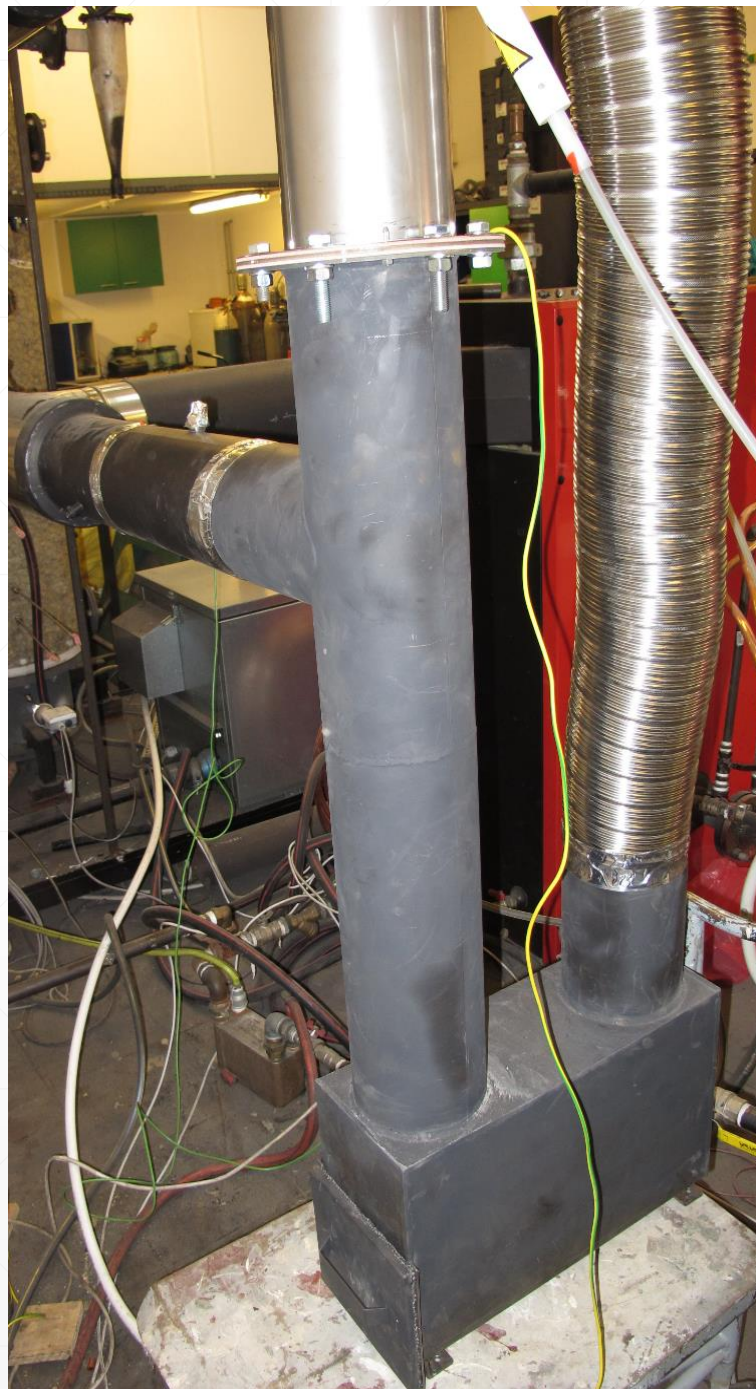
Cechy urządzenia:

- a) Montaż za czopuchem kotła
- b) Zasilanie napięciem 220V
- c) Niski pobór energii elektrycznej (moc poniżej 100W)
- d) Przygotowany do współpracy z kotłami klasy 3 z automatycznym podajnikiem paliwa
- e) Automatyczny system czyszczenia elektrod zbiorczych
- f) Usuwanie popiołu z popielnika równocześnie z załadowaniem paliwa do zbiornika podajnika kotła



Oczyszczanie spalin z małych kotłów węglowych

Widok stanowiska pomiarowego do badań elektrofiltru podłączonego do kotła 25kW opalanego węglem.



Skład węgla (Ekogroszek)

Węgiel kamienny

Wartość opałowa 23 MJ/kg

Zawartość w stanie suchym
(pomiar metodą XRF)

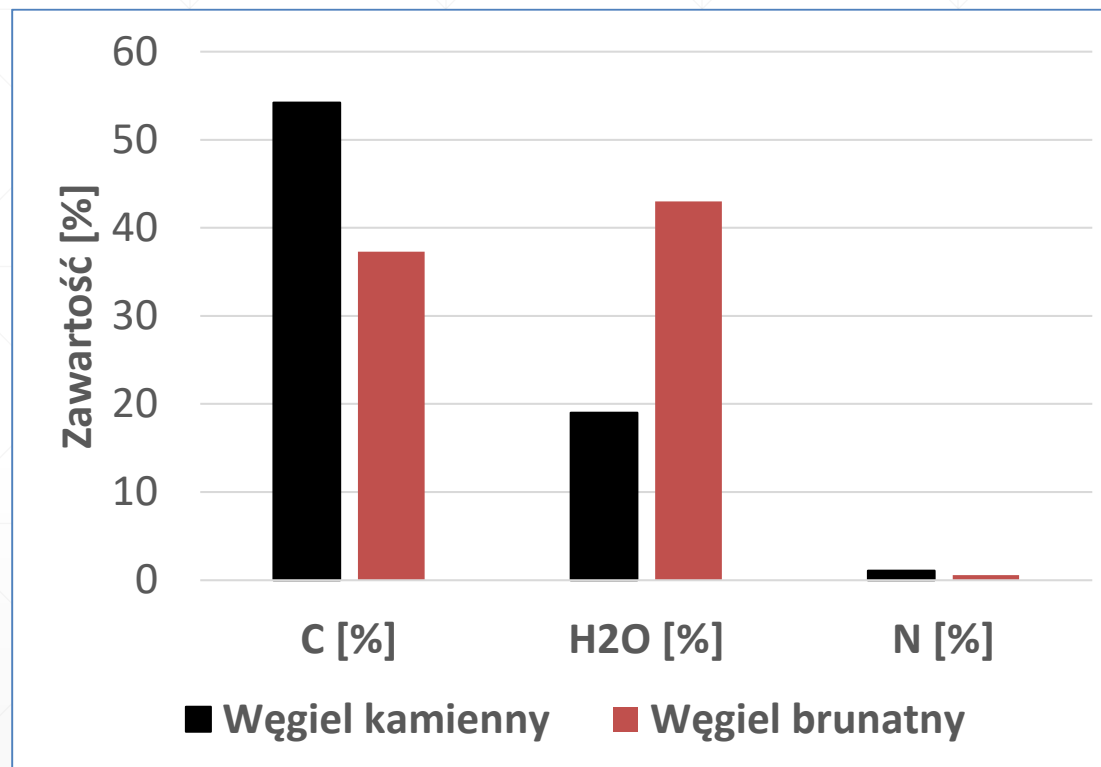
Pierwiastek	Zawartość [%]
Si	1.53
Al	1.08
Ca	0.69
S	0.50
Cl	0.43
Fe	0.31
Na	0.24
Mg	0.17
K	0.14
Ti	0.04
Mn	0.01
Sr	0.01
suma	5.15

Węgiel brunatny

Wartość opałowa 20-21 MJ/kg

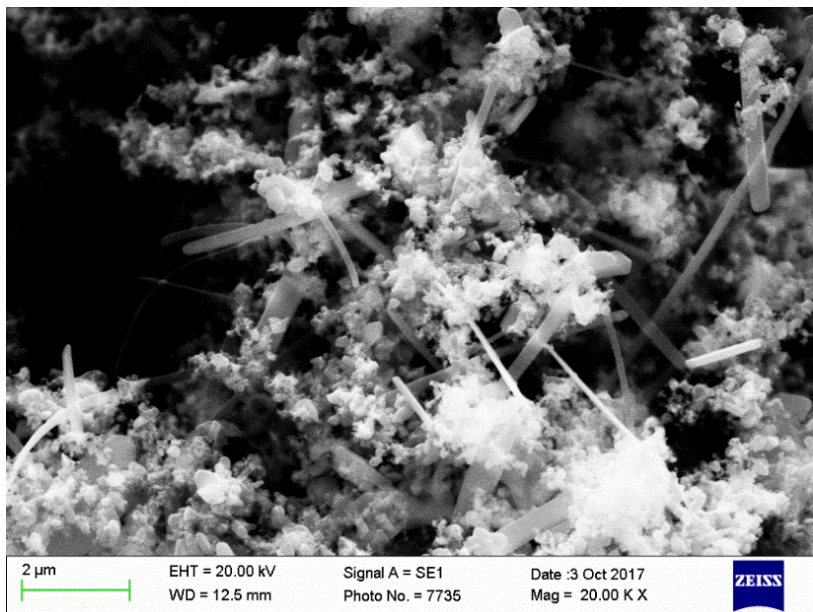
Zawartość w stanie suchym (pomiar metodą XRF)

Pierwiastek	Zawartość [%]
Al	0.71
Ca	0.62
Na	0.46
Si	0.38
Mg	0.29
S	0.27
Fe	0.22
P	0.12
Ba	0.08
Ti	0.06
K	0.05
Sr	0.02
Suma	3.28

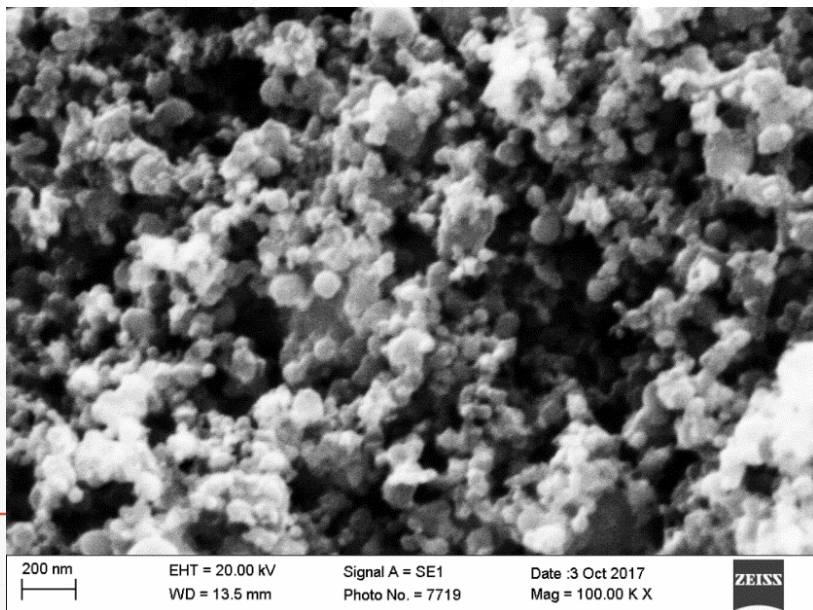
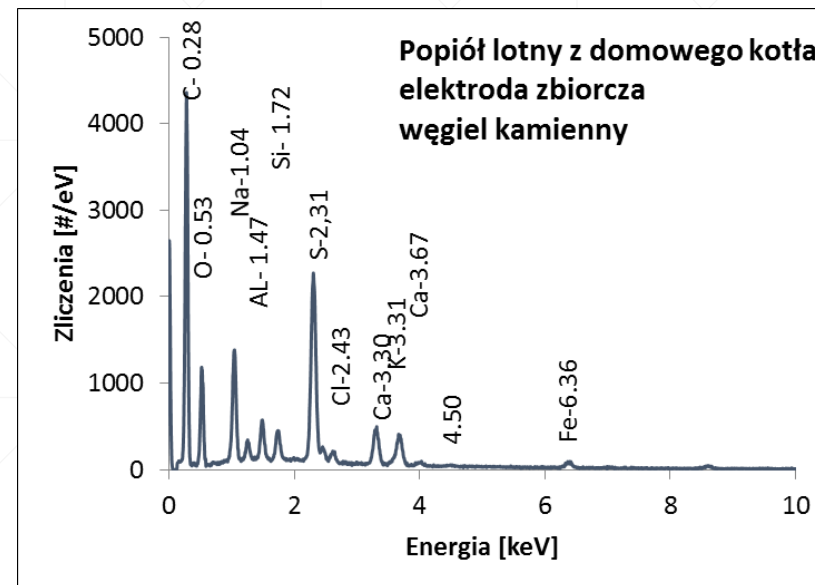


Analiza elementarna N, C (w stanie roboczym)

Cząstki popiołu lotnego z kotła domowego - węgiel kamienny



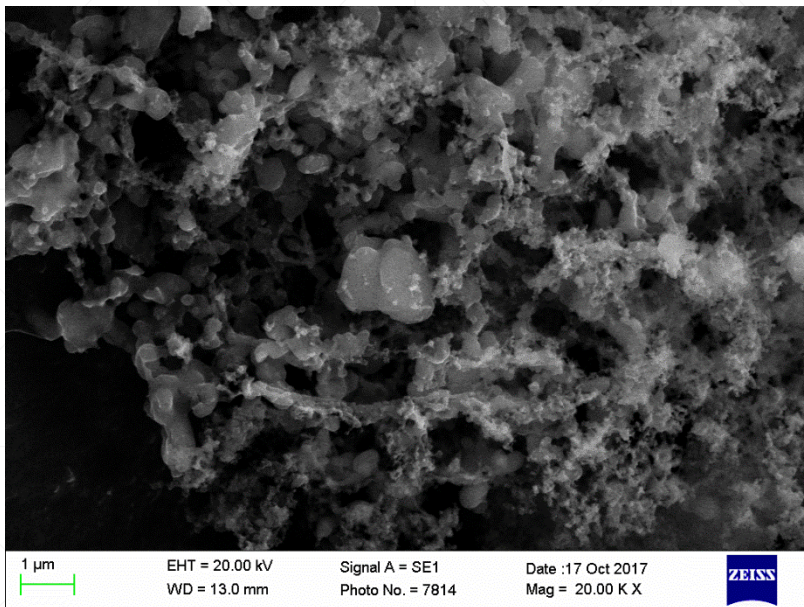
Elektroda
zbiorcza



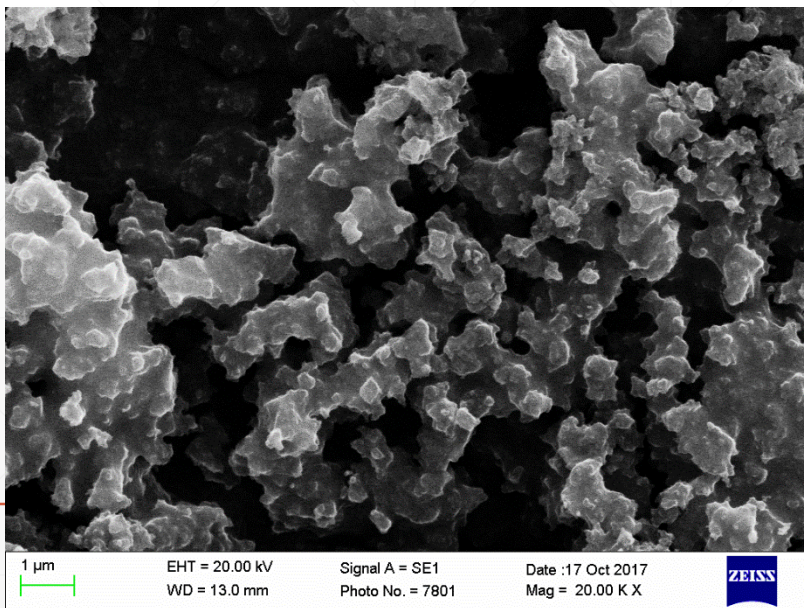
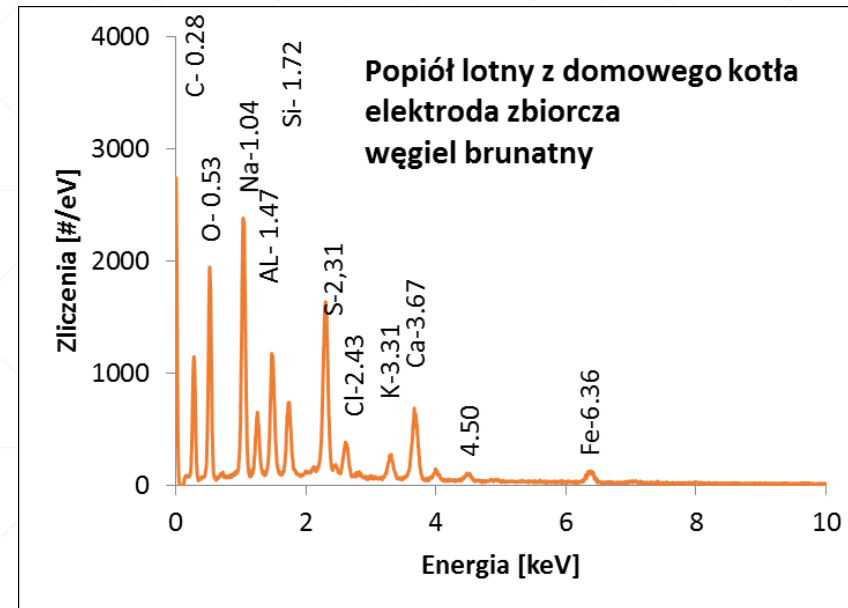
Elektroda
wyładowcza

pierwiastek	zawartość masowa [%]	błąd [%]
Węgiel	59.09	7.01
Tlen	22.09	2.97
Siarka	6.09	0.24
Sód	3.83	0.27
Potas	2.04	0.09
Wapń	2.06	0.09
Aluminium	1.19	0.08
Krzem	0.77	0.06
Magnez	0.56	0.06
Żelazo	0.89	0.06
Cynk	0.97	0.07
Chlor	0.43	0.04

Cząstki popiołu lotnego z kotła domowego - węgiel brunatny



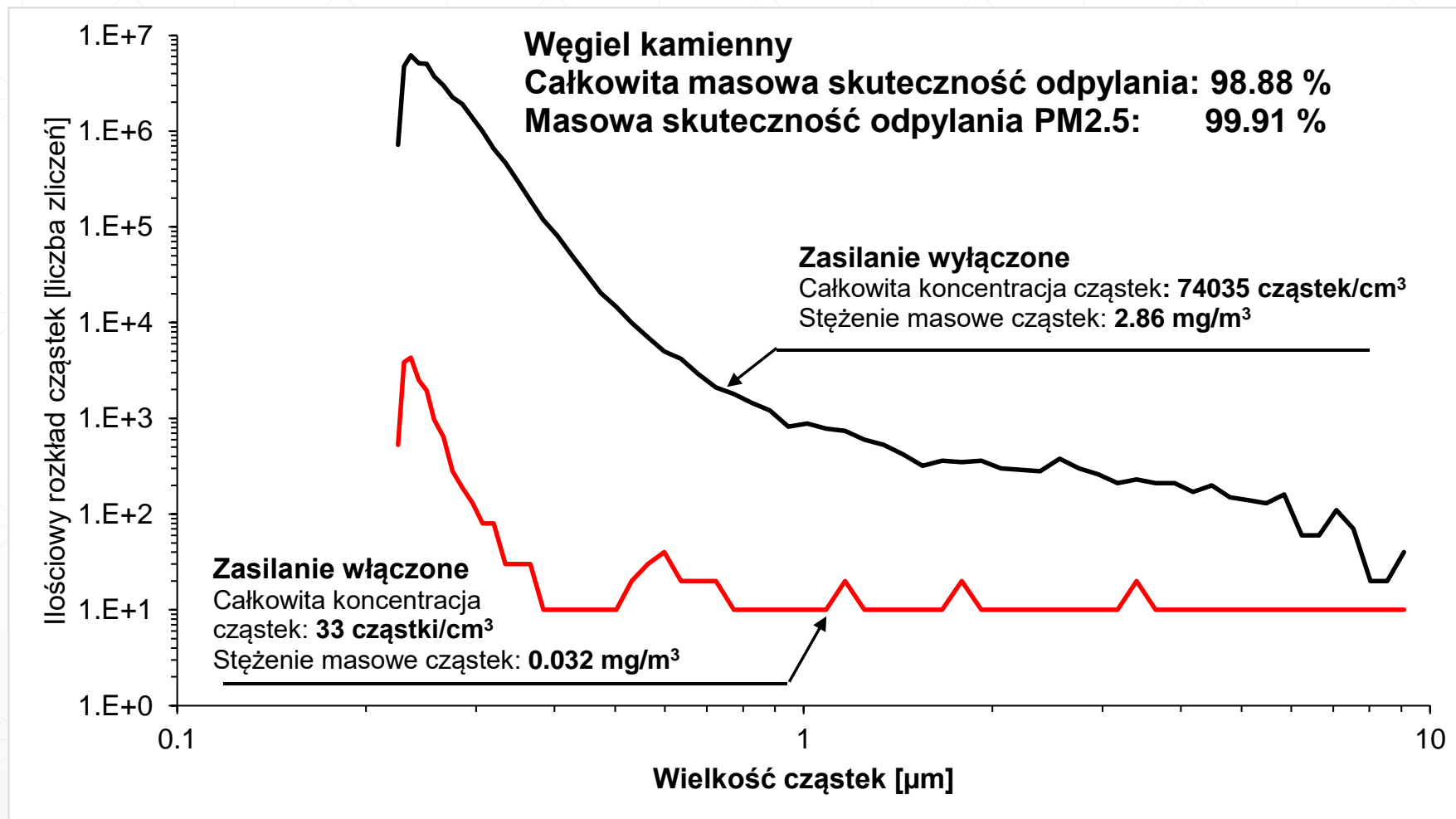
Elektroda zbiorcza



Elektroda wyładowcza

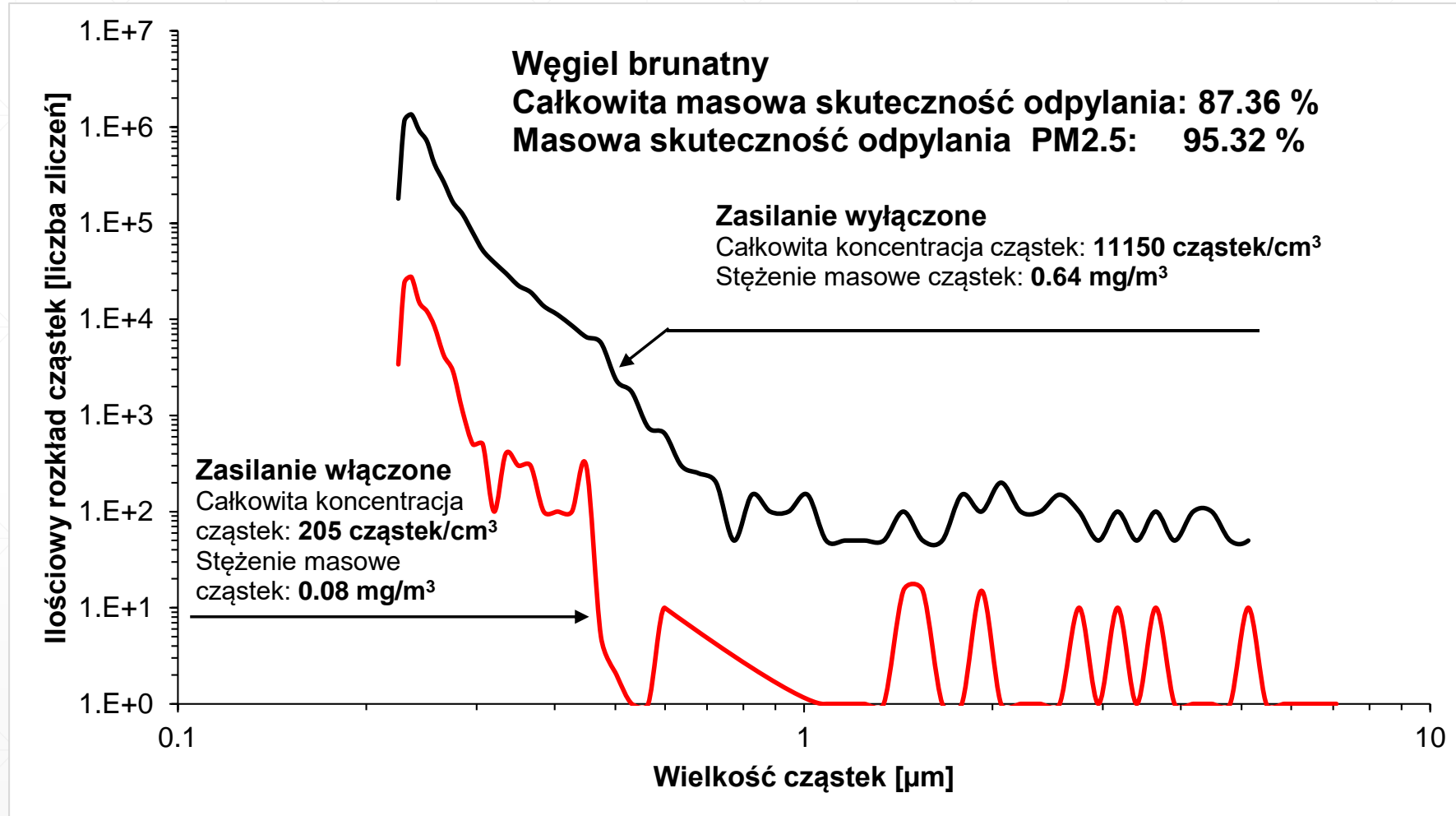
pierwiastek	zawartość masowa [%]	błąd [%]
Węgiel	29.64	4.21
Tlen	34.05	4.42
Sód	13.36	0.90
Aluminium	4.66	0.26
Siarka	4.54	0.19
Magnez	2.77	0.19
Wapń	4.07	0.15
Krzem	2.33	0.13
Żelazo	1.76	0.09
Chlor	1.09	0.07
Potas	1.16	0.07
Tytan	0.56	0.05

Skuteczność odpylania spalin z węgla kamiennego



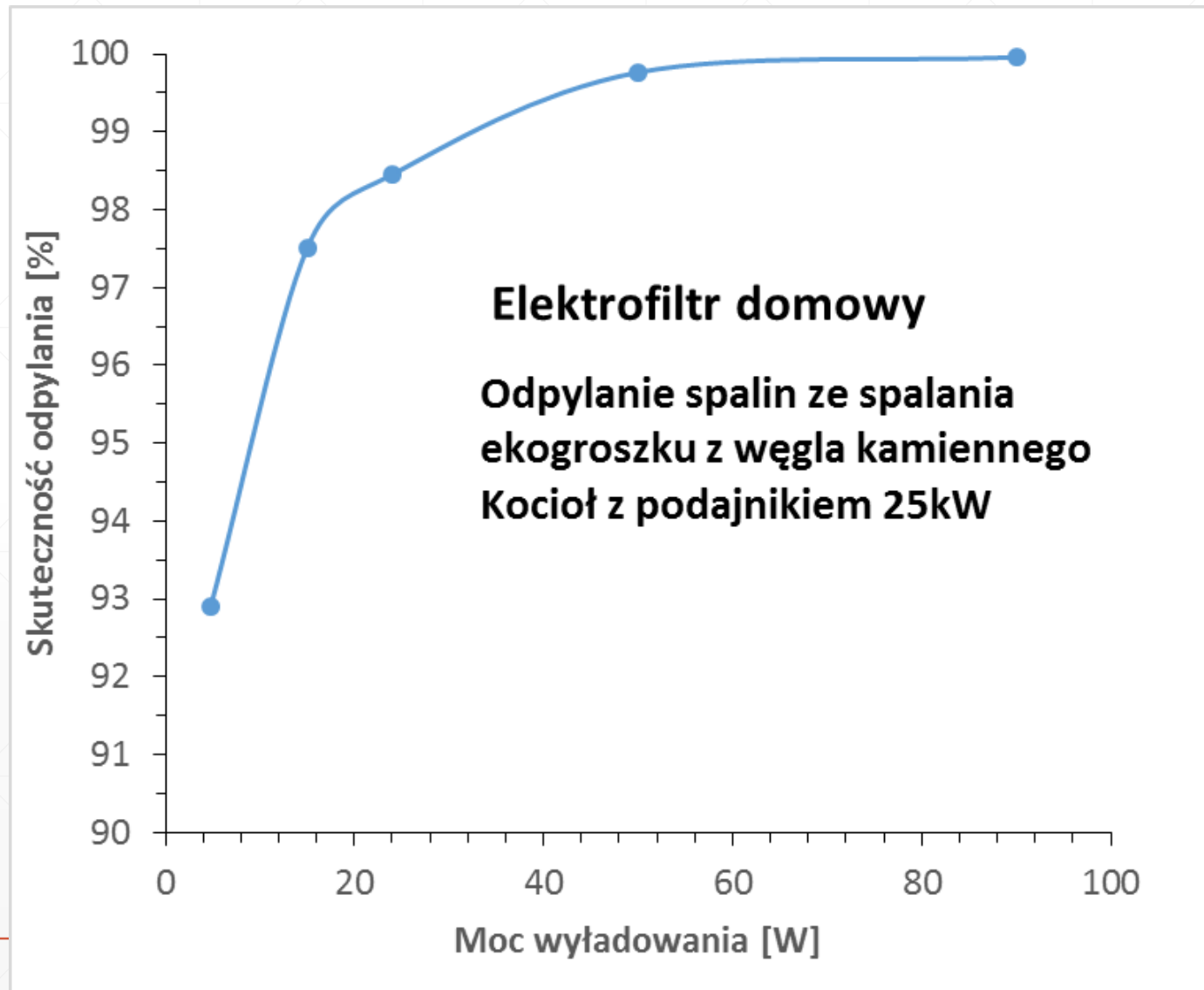
Temperatura spalin 250°C.

Skuteczność odpylania spalin z węgla brunatnego



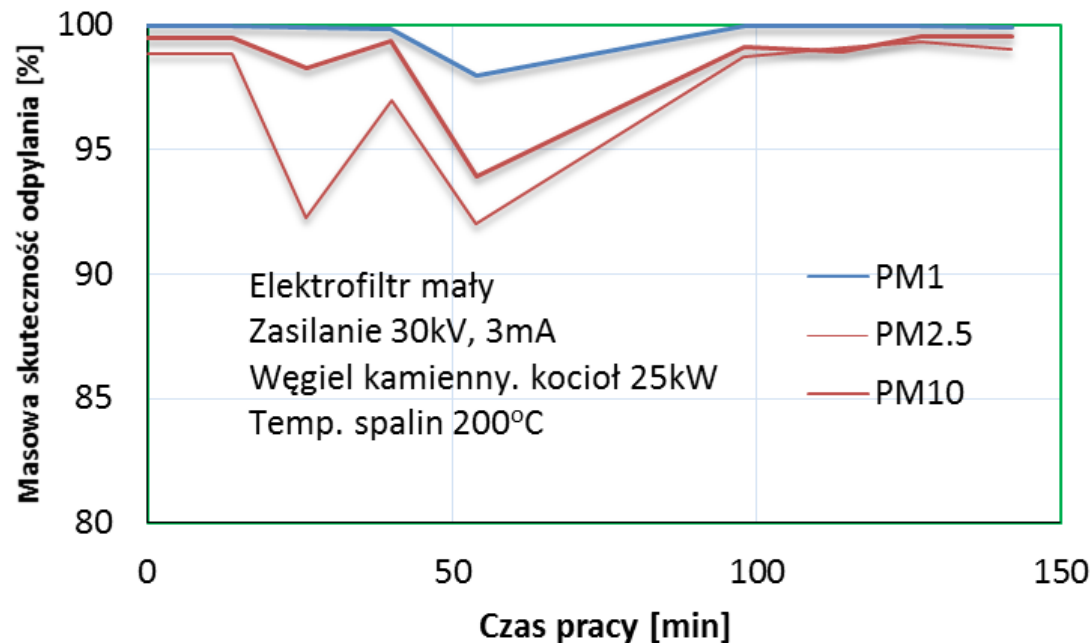
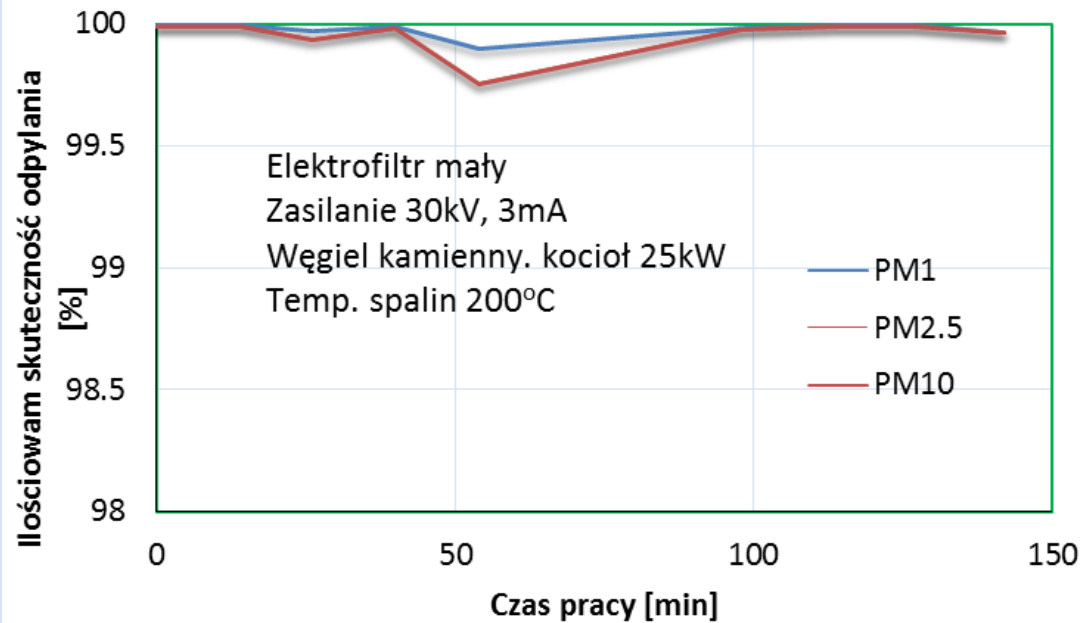
Temperatura spalin 150°C.

Skuteczność odpylania spalin



Skuteczność odpylania spalin ze spalania ekogroszku z węgla kamiennego w funkcji mocy zasilania. Kocioł z podajnikiem 25kW. Temperatura spalin 250°C.

Skuteczność odpylania spalin



Skuteczność odpylania spalin ze spalania ekogroszku z węgla kamiennego w funkcji czasu pracy bez czyszczenia elektrod zbiorczych. Kocioł z podajnikiem 25kW. Moc wyładowania 90W. Temperatura spalin 250°C.

A sunset scene over the ocean. The sun is low on the horizon, partially obscured by dark, silhouetted clouds. The sky is a mix of orange, yellow, and grey. The ocean is dark blue with some whitecaps. A small silhouette of a ship is visible on the horizon line.

Dziękuję za uwagę

Praca finansowana była w ramach projektu FBW1 IMP PAN