

*Eugeniusz Orszulik\**, *Ludwik Dudek\*\**

## ZASTOSOWANIE ROZTWORÓW WSPOMAGAJĄCYCH SPALANIE WĘGLA KAMIENNEGO TYPU EKOGROSZEK W KOTŁACH RUSZTOWYCH WYPOSAŻONYCH W PALNIK RETORTOWY

### Streszczenie

Kotły wodne retortowe są urządzeniami stosowanymi do ogrzewania obiektów kubaturowych w instalacjach wodnych nisko- i średniotemperaturowych oraz do wytwarzania pary wodnej technologicznej, z automatycznym systemem pracy i sterowania w zależności od obciążenia cieplnego.

Stosowane w kotłach niektóre gatunki węgla kamiennych sortymentu ekogroszek, charakteryzujące się bardzo dobrymi właściwościami energetycznymi powodują szlakowanie oraz wczesną korozję zasobnika i mechanizmu podającego węgiel do palnika retortowego. W celu wyeliminowania tych zjawisk podjęto próbę zastosowania preparatu EKOSOL CARBO, którego producentem jest Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe ADW Sp. z o.o.

### Use of solutions aiding the combustion of hard coal of the ecopea type in stoker fired boilers with a retort burner

### Abstract

Retort water boilers are devices used for cubature object heating in low- and semi-temperature water installations and for the generation of technological steam, with an automatic work and steering system depending on heat load.

The applied in boilers some hard coal sorts of the ecopea assortment, characterised by very good energy properties, cause slagging and early corrosion of the bunker and mechanism feeding coal to the retort bunker. In order to eliminate these phenomena, an attempt was undertaken to use the EKOSOL CARBO preparation produced by the Production-Commercial Enterprise ASW Sp. z o.o. (Ltd).

### WPROWADZENIE

EKOSOL CARBO (Karta charakterystyki...) jest preparatem przeciwdziałającym zamarzaniu i przyamarzaniu węgla i kopaliny sypkich w wagonach kolejowych, na składowiskach i w skrzyniach ładunkowych samochodów ciężarowych. Produkowany jest na bazie alkoholu wielowodorotlenowego. Jest produktem biodegradowalnym o barwie beżowej, bezwonnej, ma temperaturę wrzenia powyżej 112°C i jest bardzo dobrze rozpuszczalny w wodzie, nie stanowi zagrożenia dla organizmów lądowych i wodnych. Toksyczność ogólna preparatu jest zbliżona do toksyczności większości wysoko uszlachetnionych i głęboko rafinowanych lekkich olejów naftowych powszechnie stosowanych.

Szlakowanie palnika retortowego powoduje duże utrudnienia w eksploatacji kotła. Obniża jego sprawność energetyczną, wymaga częstszych oględzin i nadzoru nad

\* Główny Instytut Górnictwa

\*\* Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe ADW Sp z o.o. (adw@adw.com.pl)

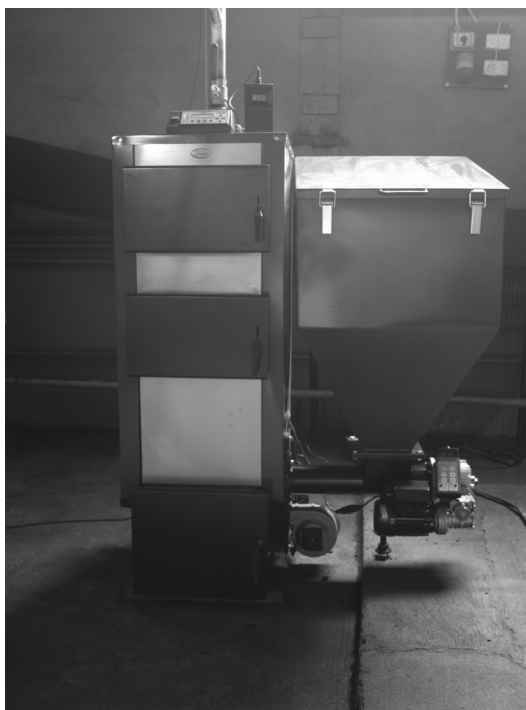
pracą kotła, utrudnia wymianę ciepła oraz sposób podawania węgla do strefy spalania palnika retortowego.

Podjęto badania nad określeniem przydatności preparatu EKOSOL CARBO we wspomaganiu procesu spalania węgla kamiennych sortymentu ekogroszek w kotłach rusztowych wyposażonych w palniki retortowe, w celu wyeliminowania zjawiska szlakowania oraz korozji zasobnika i mechanizmu podającego węgiel. Wyeliminowanie tych zjawisk powinno wpłynąć na pracę kotła i na zwiększenie jego sprawności i funkcjonalności oraz na zmniejszenie emisji pyłowo-gazowych do powietrza atmosferycznego.

Dodawanie preparatu EKOSOL CARBO do węgla kamiennego, sortymentu ekogroszek w ilości do 5% wag., polega na polewaniu nim warstw węgla ładowanego do zasobnika kotła.

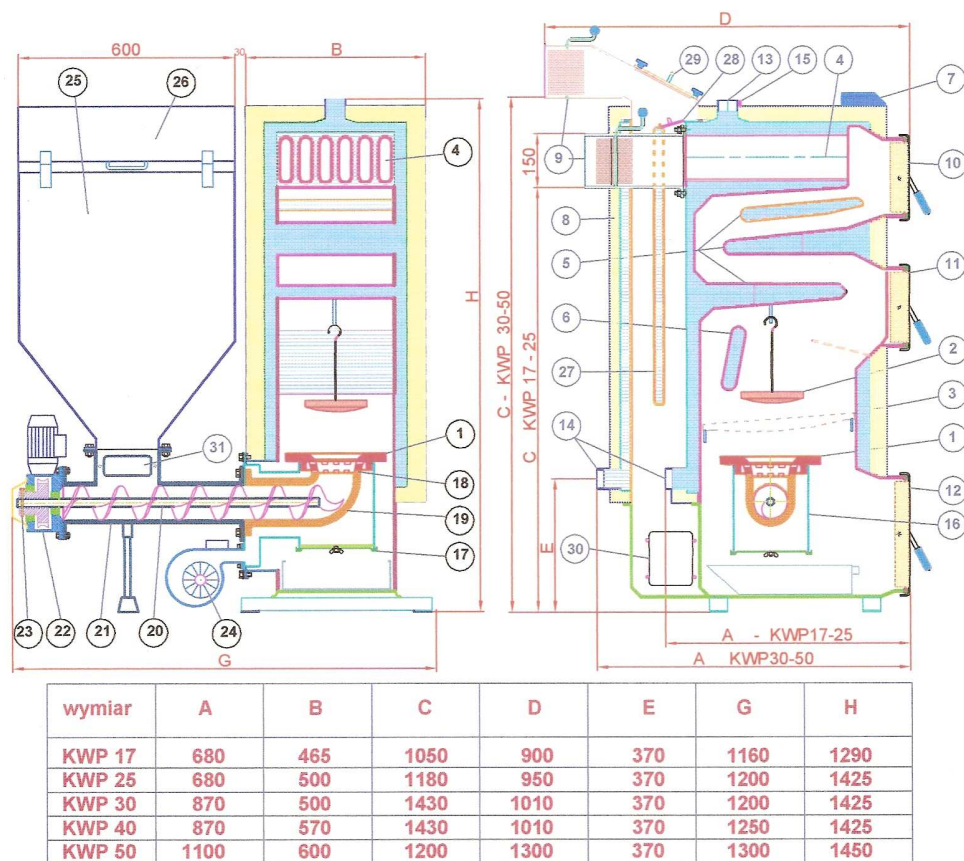
## 2. OPIS PROWADZONYCH BADAŃ

Badania cieplne i emisji substancji pyłowych i gazowych przeprowadzono z wykorzystaniem kotła wodnego wyposażonego w palnik retortowy o mocy cieplnej znamionowej 25 kW (fot. 1, rys. 1).



**Fot. 1.** Kocioł wodny z palnikiem retortowym

**Phot. 1.** Water boiler with retort burner



**Fig. 1.** Schemat kotła wodnego z palnikiem retortowym: 1 – palenisko retortowe, 2 – deflektor, 3 – ruszt awaryjny, 4 – płomieniówki górne, 5 – opłomki poziome, 6 – opłomka pionowa, 7 – sterownik kotła, 8 – izolacja kotła, 9 – czopuch z przepustnicą, 10 – drzwiczki w wyczystce, 11 – drzwiczki paleniska, 12 – drzwiczki popielnika, 13 – króciec wody gorącej, 14 – króciec wody zimnej, 15 – czujnik temperatury kotła, 16 – osłonka palnika podajnika, 17 – pokrywa odstony palnika, 18 – dysze powietrza, 19 – kolano palnika retortowego, 20 – ślimak, 21 – rura podajnika, 22 – motoreduktor, 23 – bezpiecznik przeciążeniowy, 24 – wentylator nadmuchu, 25 – zasobnik opału, 26 – kłapa zasobnika, 27 – opłomka pionowa kanału tylnego, 28 – kłapa kanału dymowego, 29 – wyczystka górna, 30 – wyczystka dolna, 31 – otwór awaryjnego spustu paliwa

**Fig. 1.** Scheme of water boiler with a retort burner: 1 – retort furnace, 2 – deflector, 3 – failure grate, 4 – upper smoke tubes, 5 – horizontal water tubes, 6 – vertical water tube, 7 – boiler control system, 8 – boiler insulation, 9 – smoke conduit with choke valve, 10 – washout hole door, 11 – furnace door, 12 – ash box door, 13 – hot water stub pipe, 14 – cold water stub pipe, 15 – boiler temperature sensor, 16 – feeder burner shield, 17 – burner exposure cover, 18 – air nozzles, 19 – retort burner knee, 20 – worm, 21 – feeder tube, 22 – moto-reducer, 23 – overload safety device, 24 – blow-in fan, 25 – fuel bunker, 26 – bunker flap, 27 – vertical water tube of back channel, 28 – smoke channel flap, 29 – upper washout hole, 30 – bottom washout hole, 31 – fuel release failure hole

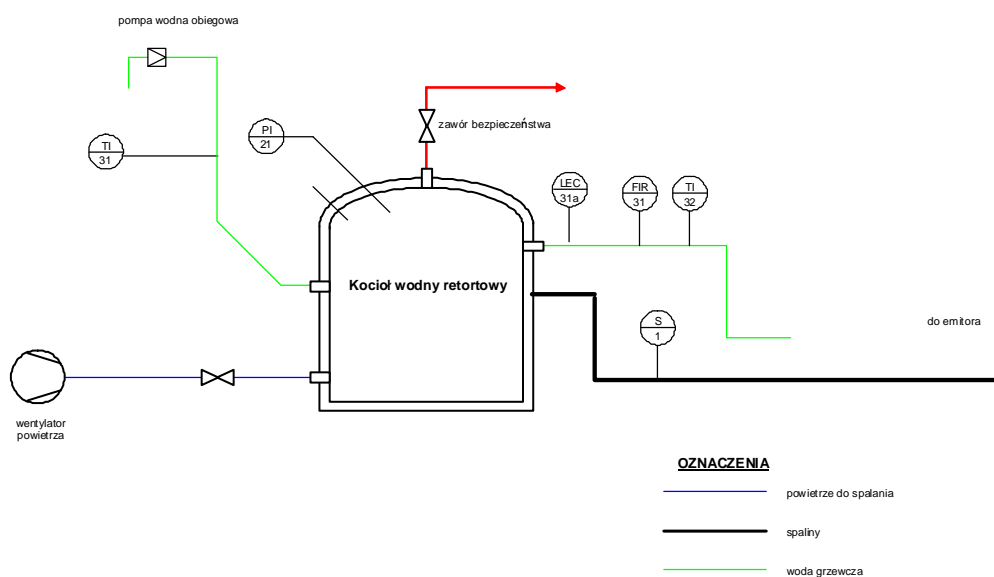
Zakres badań kotła obejmował:

- analizę składu chemicznego gazów wprowadzanych do powietrza atmosferycznego,
- oznaczenie stężeń pyłów i gazów w gazach odlotowych,
- obliczenie wielkości emisji zanieczyszczeń,
- analizę stosowanego paliwa,
- obliczenie obciążenia cieplnego,
- wyznaczenie sprawności energetycznej kotła.

Badania i pomiary przeprowadzono na stanowisku badawczym do ciągłego i okresowego pomiaru:

- temperatury wody zasilającej kocioł,
- temperatury wody powrotnej z kotła,
- ciśnienia wody w kotle,
- natężenia przepływu wody przez kocioł,
- analizy spalin, tj.  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ,
- stężenia pyłu w spalinach.

Układ kontrolno-pomiarowy był wyposażony w urządzenia niezbędne do wykonywania badań cieplnych kotła. Umożliwił on kontrolę parametrów procesu spalania paliwa: węgla kamiennego bez i z dodatkiem 5% wag. preparatu EKOSOL CARBO. Schemat układu kontrolno-pomiarowego stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 2.



**Rys. 2.** Schemat układu kontrolno-pomiarowego instalacji do badań kotłów wodnych: PI – manometr, TIR – czujnik temperatury, LEC – licznik energii cieplnej, S – króciec pomiarowy do analizy składu gazów spalinowych i określenia stężenia pyłu w spalinach

**Fig. 2.** Scheme of control-measurement system of installation for water boiler tests, PI – manometer, TIR – temperature sensor, LEC – thermal energy counter, S – stub pipe for the analysis of exhaust gas composition and determination of dust concentration in flue gas; 1 – air for combustion, 2 – flue gas, 3 – heating water

Pomiary wykonano zgodnie z obowiązującymi przepisami wykonywania pomiarów emisji substancji pyłowo-gazowych i badań cieplnych kotłów (PN-Z-04030-7; Rozporządzenie 2004, 2008; PN-ISO 10396; PN-EN 12952-15). Sprawność kotła (PN-EN 12952-15) oznaczono, uwzględniając strumień energii doprowadzonej, jako energię chemiczną zawartą w węglu kamiennym oraz z dodatkiem 5% wag. preparatu EKOSOL CARBO.

### 3. WYNIKI BADAŃ CIEPLNYCH I POMIARÓW EMISJI SUBSTANCJI DO POWIETRZA

Do badań użyto węgiel kamienny typu ekogroszek. Parametry węgla zamieszczono w tablicy 1.

Tablica 1. Właściwości węgla kamiennego użytego do badań

Właściwości	Węgiel kamienny
Wartość opałowa	28 713 kJ/kg
Zawartość siarki	0,66%
Zawartość popiołu	4,51%
Zawartość wilgoci	6,16%
Zawartość SiO <sub>2</sub>	48%
Zawartość Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23%
Zawartość MgO	3%
Zawartość CaO	12%

#### 3.1. Spalanie węgla kamiennego

W pierwszej części badań węgiel kamienny spalano w kotle bez dodatku preparatu EKOSOL CARBO. Początkowo spalanie przebiegało równomiernie na całej powierzchni palnika retortowego. Po 120 min zauważono tworzenie się szlakowania (żużlowania) skrajnych powierzchni palnika (Filipowski 2007). Na powierzchni palnika powstał twardy, trudny do usunięcia osad, który z czasem prowadzenia badań narastał, co utrudniało prawidłowe prowadzenie kotła i utrzymanie założonych parametrów energetycznych. Kocioł po 360 min od czasu rozpoczęcia badań osiągał coraz gorsze parametry. Zmniejszała się jego dyspozycyjność, niezawodność oraz sprawność energetyczna. Utrudniony był sposób mechanicznego podawania węgla do palnika. Po 360 min od czasu rozpoczęcia badań obsługa kotła była zmuszona do usunięcia zgarów szlaku z powierzchni palnika. W wyniku spalania węgla kamiennego uzyskano odpad w postaci żużla i popiołu o zawartości części palnych:

Kod odpadu	Rodzaj odpadu	Lp.	Właściwość	j.m.	odpad
10 01 01	żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów	1	zawartość części palnych	%	36

Wyniki pomiarów uzyskane w czasie spalania węgla kamiennego bez dodatku preparatu EKOSOL CARBO zamieszczono w tablicy 2.

Tablica 2. Wyniki badań kotła uzyskane w czasie spalania węgla kamiennego

Lp.	Czas min	Temperatura wody, °C		Strumień wody Mg/godz.	Ilość wytworzonej energii, kW	Ilość zużytego paliwa kg/godz.	Współczynnik nadmiaru powietrza λ	Obciążenie kotła %	Emisja substancji					
		zasilanie	powrót						O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	SO <sub>2</sub> <sup>*)</sup> mg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>*)</sup> mg/m <sup>3</sup>	CO <sup>*)</sup> mg/m <sup>3</sup>	pył <sup>*)</sup> mg/m <sup>3</sup>
1	5	37,8	10,1	0,588	18,90	2,89	1,85	75,61	8,34	12,13	724	499	304	161
2	30	38,4	10,2	0,568	18,61	2,85	1,80	74,40	6,54	13,83	763	504	292	
3	75	40,2	14,5	0,639	19,08	2,92	1,59	76,32	6,84	12,89	794	426	135	
4	90	41,0	14,0	0,603	18,90	2,89	1,60	75,60	6,12	13,01	759	398	130	
5	120	42,0	14,8	0,576	18,18	2,78	1,71	72,72	6,45	12,89	825	382	129	
		Srednio		0,595	18,89	2,87	–	74,93	6,85	12,95	773	442	198	

\*) Przy zawartości tlenu w spalinach 10% w warunkach umownych w temperaturze 273 K i ciśnieniu 101,3 kPa.

Sprawność kotła (PN-EN 12952-15) obliczono na podstawie uzyskanych wyników badań:

- strumienia energii odprowadzanej z kotła wodnego  $Q_N = 18,89$  kW,
- strumienia energii doprowadzonej do kotła  $Q_Z = 36,03$  kW;

sprawność kotła (brutto) wyniosła  $\eta = \frac{18,89}{36,03} = 52,43\%$ .

### 3.2. Spalanie węgla kamiennego z dodatkiem preparatu EKOSOL CARBO

W drugiej części badań węgiel kamienny spalano w kotle z dodatkiem preparatu. Zastosowany w badaniach ten sam typ i gatunek węgla, co w pierwszej części badań, ładowano porcjami po 10 kg do zasobnika węgla kotła (rys. 1, ozn. 25). Po załadunku każdą porcję polewano preparatem EKOSOL CARBO. Tak przygotowany węgiel spalano w kotle. Węgiel kamienny z preparatem EKOSOL CARBO w czasie badań spalał się równomiernie na całej powierzchni palnika retortowego, nie zauważono także tworzenia się szlakowania (żużlowania) skrajnych powierzchni palnika i nie wytworzył się twardego, trudnego do usunięcia osadu. Nie zauważono także trudności w sposobie prowadzenia kotła. Kocioł nawet po 360 min od czasu rozpoczęcia badań zachowywał optymalne parametry. W wyniku spalania wytworzył się odpad w postaci żużla i popiołu o zawartości części palnych:

Kod odpadu	Rodzaj odpadu	Lp.	Właściwość	J.m.	Odpad
10 01 01	żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów	1	zawartość części palnych	%	34

Wyniki pomiarów uzyskane w czasie spalania węgla kamiennego z dodatkiem 5% wag. preparatu EKOSOL CARBO zamieszczono w tablicy 3.

**Tablica 3.** Wyniki badań kotła uzyskane w czasie spalania węgla kamiennego z dodatkiem 5% wag. preparatu EKOSOL CARBO

Lp.	Czas min	Temperatura wody, °C		Strumień wody Mg/godz.	Ilość wytworzonej energii, kW	Ilość zużytego paliwa kg/godz.	Współczynnik nadmiaru powietrza $\lambda$	Obciążenie kotła %	Emisja substancji					
		zasilanie	powrót						O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	SO <sub>2</sub> <sup>*)</sup> mg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>*)</sup> mg/m <sup>3</sup>	CO <sup>*)</sup> mg/m <sup>3</sup>	pył <sup>*)</sup> mg/m <sup>3</sup>
1	5	37,6	10,1	0,579	18,79	2,87	1,85	75,16	6,50	13,84	810	433	206	158
2	30	38,4	10,2	0,568	17,95	2,74	1,80	71,80	8,25	12,20	695	485	131	
3	75	37,2	10,8	0,600	18,41	2,81	1,80	73,64	7,40	12,90	800	407	131	
4	90	36,2	10,0	0,603	18,36	2,81	1,60	73,44	8,00	11,00	799	485	125	
5	120	37,2	10,0	0,576	18,40	2,81	1,71	73,60	7,56	10,24	796	479	101	
Srednio				0,585	18,38	2,81	–	73,53	7,54	12,04	780	457	139	

\*) Przy zawartości tlenu w spalinach 10% w warunkach umownych w temperaturze 273 K i ciśnieniu 101,3 kPa.

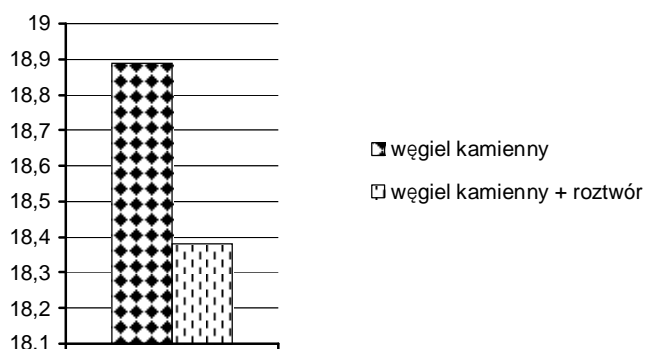
Sprawność kotła obliczono na podstawie uzyskanych wyników badań:

- strumienia energii odprowadzonej z kotła wodnego  $Q_N = 18,38$  kW,
- strumienia energii doprowadzonej do kotła  $Q_Z = 34,25$  kW;

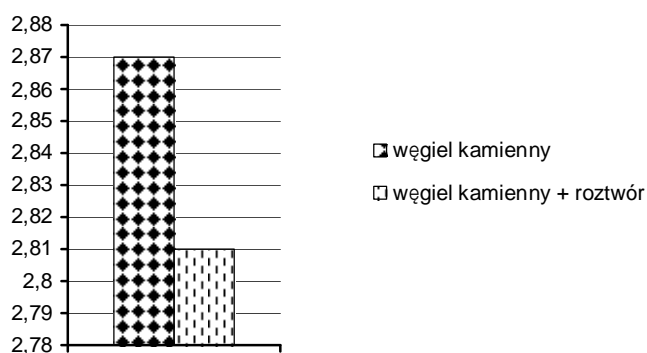
sprawność kotła (brutto) wyniosła  $\eta = \frac{18,38}{34,25} = 53,66\%$ .

Duża zawartość krzemionki w użytym do badań węglu kamiennym powodowała tworzenie się osadu na powierzchni palnika, co utrudniało uzyskanie optymalnych parametrów pracy kotła. W wyniku dodania do węgla kamiennego 5% wag. preparatu EKOSOL CARBO, przy porównywalnym obciążeniu:

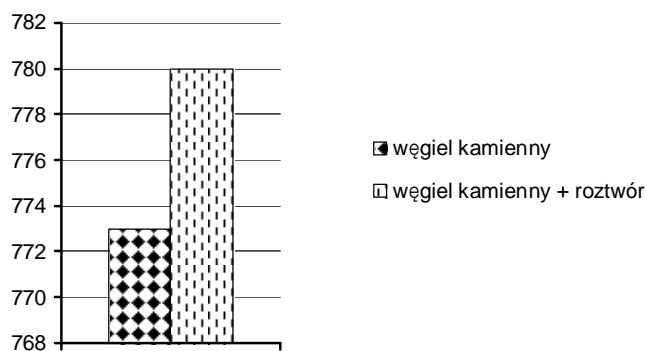
a) uzyskano zwiększenie wydajności kotła z 18,38 do 18,89 kW:



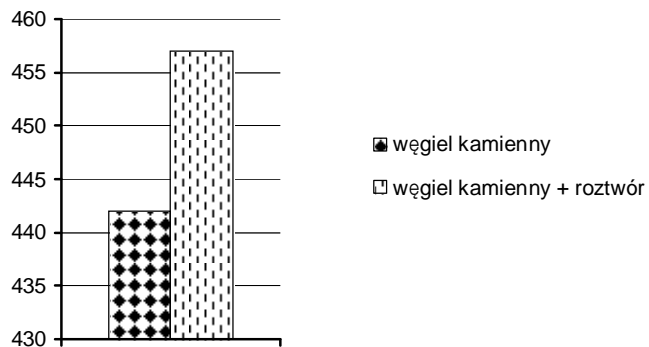
b) uzyskano zmniejszenie zużycia węgla kamiennego z 2,87 do 2,81 kg/godz.:



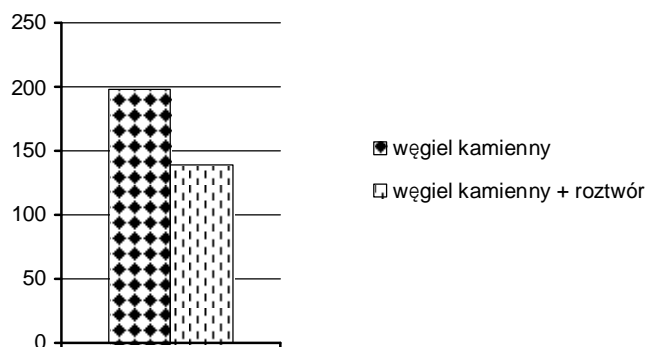
c) uzyskano porównywalną emisję do powietrza atmosferycznego ditlenku siarki z 773 do 780 mg/m<sup>3</sup>:



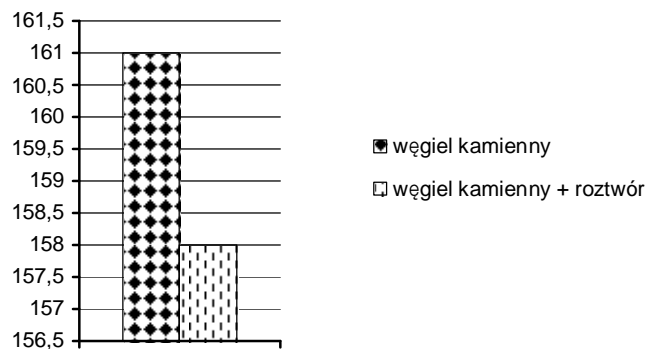
d) uzyskano porównywalną emisję do powietrza atmosferycznego ditlenku azotu z 442 do 457 mg/m<sup>3</sup>:



e) uzyskano zmniejszoną emisję do powietrza atmosferycznego tlenku węgla z 198 do 139 mg/m<sup>3</sup>:

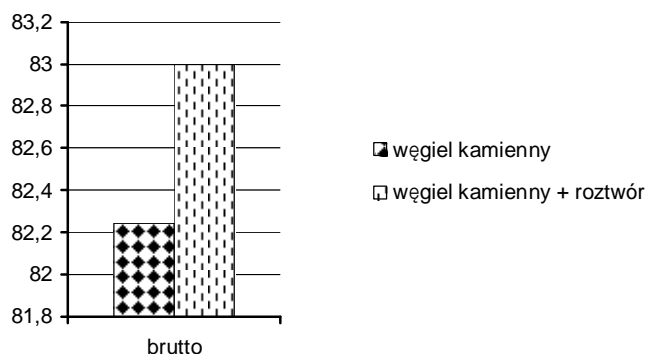


f) uzyskano zmniejszoną emisję do powietrza atmosferycznego pyłu z 161 do 158 mg/m<sup>3</sup>:





g) uzyskano poprawę sprawności energetycznej kotła (brutto) z 52,43 do 53,66%:



#### 4. WNIOSKI

Zastosowanie w kotłach rusztowych preparatu EKOSOL CARBO, którego producentem jest Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe ADW Sp. z o.o., zapobiega spiekaniu się węgla. Powoduje zmniejszenie zapylenia pomieszczenia w czasie załadunku zasobnika kotła węglem. Wpływa na zmniejszenie spiekania się węgla na powierzchni palnika retortowego kotła. Zwiększa dyspozycyjność i niezawodność kotła. Poprawia podawanie węgla kamiennego do palnika retortowego kotła. Zmniejsza zjawisko występowania rosy na ściankach zasobnika węgla, co przyczynia się do zmniejszenia korozji powierzchni metalowej konstrukcji zasobnika (obserwację prowadzono po 24 miesiącach eksploatacji).

#### Literatura

1. Filipowski K. (2007): Doświadczenia ze stosowania dodatku przeciwko szlakowaniu PEN-TOMAG 2550 celem obniżenia kosztów eksploatacji kotłów. Prace Naukowe, Monografie, Konferencje z. 19. Gliwice, Politechnika Śląska.
2. Karta charakterystyki produktu chemicznego EKOSOL CARBO.
3. PN-Z-04030-7:1994 Pomiar stężenia i strumienia masy pyłów w gazach odlotowych metodą grawimetryczną.
4. PN-ISO 10396:2001 Emisja ze źródeł stacjonarnych. Pobieranie próbek do automatycznego pomiaru stężenia składników gazowych.
5. PN-EN 12952-15 Kotły wodnorurowe i urządzenia pomocnicze. Część 15: Badania odbiorcze.
6. Rozporządzenie (2004): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23.12.2004 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji. Dz. U.04.283.2842.
7. Rozporządzenie (2008): Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 4.11.2008 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobranej wody. Dz.U.08.206.1291.

**Recenzent:** doc. dr hab. inż. Barbara Białicka