ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: ENERGETYKA z. 97 Nr kol. 1011

Zbigniew RATAJ
Franciszek GRAMATYKA

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

# SPALANIE ODPADÓW KORY DRZEWNEJ W PALENISKU CYKLONOWYM KOTŁA

Streszczenie. W pracy omówiono krótko i w sposób ogólny wykorzystania kory, w szczególności do celów energetycznych. Podano charakterystykę i opis kotła ROSENLEW z paleniskiem KEMIKLON do spalania kory drzewnej. Opierając się na wynikach badań cieplnych opisano i przedyskutowano uzyskane doświadczenia eksploatacyjne oraz osiągane parametry przez kocioł. Szczególną uwagę zwrócono na występowanie intensywnego żużlowania ścian komory paleniska. Wyjaśniono mechanizm tego zjawiska i wskazano na konieczność starannego wyboru rodzaju paleniska dla spalania kory zanieczyszczonej piaskiem.

## 1. WSTĘP

W przemyśle celulozowo-papierniczym wykorzystuje się drewno jako podstawowy surowiec do produkcji celulozy. Większe i średnie zakłady celulozowo-papiernicze przyjmują całą ilość surowca drzewnego w pełnej korze, który musi zostać poddany procesowi korowania*.

Względy gospodarcze wskazują na konieczność wykorzystania odpadów w postaci korowiny, będącej mieszaniną drewna i kory, zanieczyszczoną dodatkowo piaskiem, gruzem, drutami wiązałkowymi, nawozami sztucznymi i innymi wtrąceniami pochodzącymi z miejsca pozysku w korowalni.

Korowina powstająca jako odpad z bębnowego korowania papierówki może być wykorzystana w następujący sposób:

- do celów nawozowych,
- do celów energetycznych,
- jako surowiec wsadowy do produkcji płyt, pustaków, mas izolacyjnych itp.,

* Mniejsze zakłady produkujące ścier biały do produkcji papierów otrzymują drewno okorowane.

- jako źródło substancji organicznych, uwalnianych przez ekstrakcję, destylację i hydrolizę, a wykorzystywanych do dalszego przerobu.

Pochodząca z mokrego korowania w bębnach kora sosny, topoli i osiki, brzozy daje się łatwo przetworzyć na nawóz humusowy przez doprowadzenie do odpowiedniej kwasowości, zadanie pożywkami i zaszczepienie odpowiednimi szczepami bakterii i mikrogrzybów [3].

W odniesieniu do kory sosnowej, bukowej i innych drzew liściastych istnieje możliwość wykorzystania jej do produkcji płyt pilśniowych i wiórowych oraz jako domieszki izolacyjnej do ścian budynków.

Kora świerku posiada z kolei największą ilość garbników oraz takich związków, jak: tanina, alkaloidy, alkohole wielocząsteczkowe, kwasy organiczne itp. Oczywiście pozostałości po ekstrakcji mogą służyć do celów energetycznych.

Podstawowe znaczenie w chwili obecnej ma wykorzystanie odpadów kory do celów energetycznych, produkcji pary, gorącej wody, energii elektrycznej itp. Utylizacja taka jest tym bardziej wskazana, gdyż kora wymaga do składowania placów o dużej powierzchni, co nie zawsze jest możliwe, choćby w aspekcie ochrony środowiska.

## 2. WYKORZYSTANIE KORY DO CELÓW ENERGETYCZNYCH

Kora jest pozyskiwana jako odpad w procesie korowania drzewa. Istnieją dwie podstawowe metody korowania: metoda na "mokro" i metoda "na sucho". Ta ostatnia przeprowadzana w bębnach korujących ANDRITZ jest nowsza i ma wiele zalet [3].

Kora stanowi niezłe paliwo, mogące wydatnie poprawić bilans energetyczny każdej fabryki celulozy.

Wartość opałowa kory w znacznym stopniu zależy od charakterystyk samej kory oraz zawartości drobnych odpadów drzewnych. Przeciętne wartości opałowe kory wynoszą od 6900 kJ/kg do 9000 kJ/kg, przy wilgotności zmieniającej się od 45 % do 55 %.

Zawartość pierwiastka C w korze waha się w granicach 25 % do 35 %, a popiół stanowi niewiele ponad 1,0 %.

Zawartość wilgoci nie jest obojętna dla procesu spalania, rodzaju paleniska i układu powierzchni ogrzewalnych kotła. W palenisku opromieniowanym duża zawartość pary wodnej w spalinach może przekazać pewną ilość ciepła przez promieniowanie. Z kolei duża objętość spalin wymaga odpowiednio większych wentylatorów ciągu oraz rozbudowanego ciągu konwekcyjnego. Dzięki dużej zawartości części lotnych kora jest łatwa do spalania, nawet bez dodatkowego paliwa.

Najbardziej rozpowszechnioną metodą spalania odpadów drzewnych jest spalanie na ruszcie. Z reguły są to specjalne paleniska rusztowe [14], do których najczęściej należą ruszty pochyłe, ruszty schodkowe, ruszty posuwisto-zwrotne itp. Dobre wyniki w spalaniu uzyskuje się na ruszcie stosowanym w paleniskach narzutowych firmy Detroit Stoker [5, 6]. Niekiedy paleniska są tak budowane, że stanowią formalnie przedpalenisko. Duża wilgotność kory zmusza niejednokrotnie do spalania równolegle drugiego paliwa, by podtrzymać spalanie lub by zwiększyć wydajność [2].

Z reguły nie spotyka się spalania kory w postaci pyłu, co ma powszechne zastosowanie w przypadku torfu.

Technika spalania w warstwie fluidalnej jest stosowana przez firmę AHLSTROM [2,4] pod nazwą PYROFLOW, wykorzystującą cyrkulacyjne łoże fluidalne ze wszystkimi zaletami pieniek, tzn. niską emisją $SO_2$ i $NO_x$ [4].

Ostatnią z metod jest metoda zgazowania. Uzyskany w gazyfikatorze gaz palny zostaje spalony w kotłach, piecach do wypalania wapna itp. Większość komór wykorzystuje w procesie zgazowania technikę fluidalną [4].

W kraju kora spalana jest na ruszcie /Świecie, Kwidzyń/ oraz w kotle z paleniskiem rusztowym-cyklonowym w ZCP Włocławek. Kocioł ten i jego palenisko zostaną opisane w następnym rozdziale.

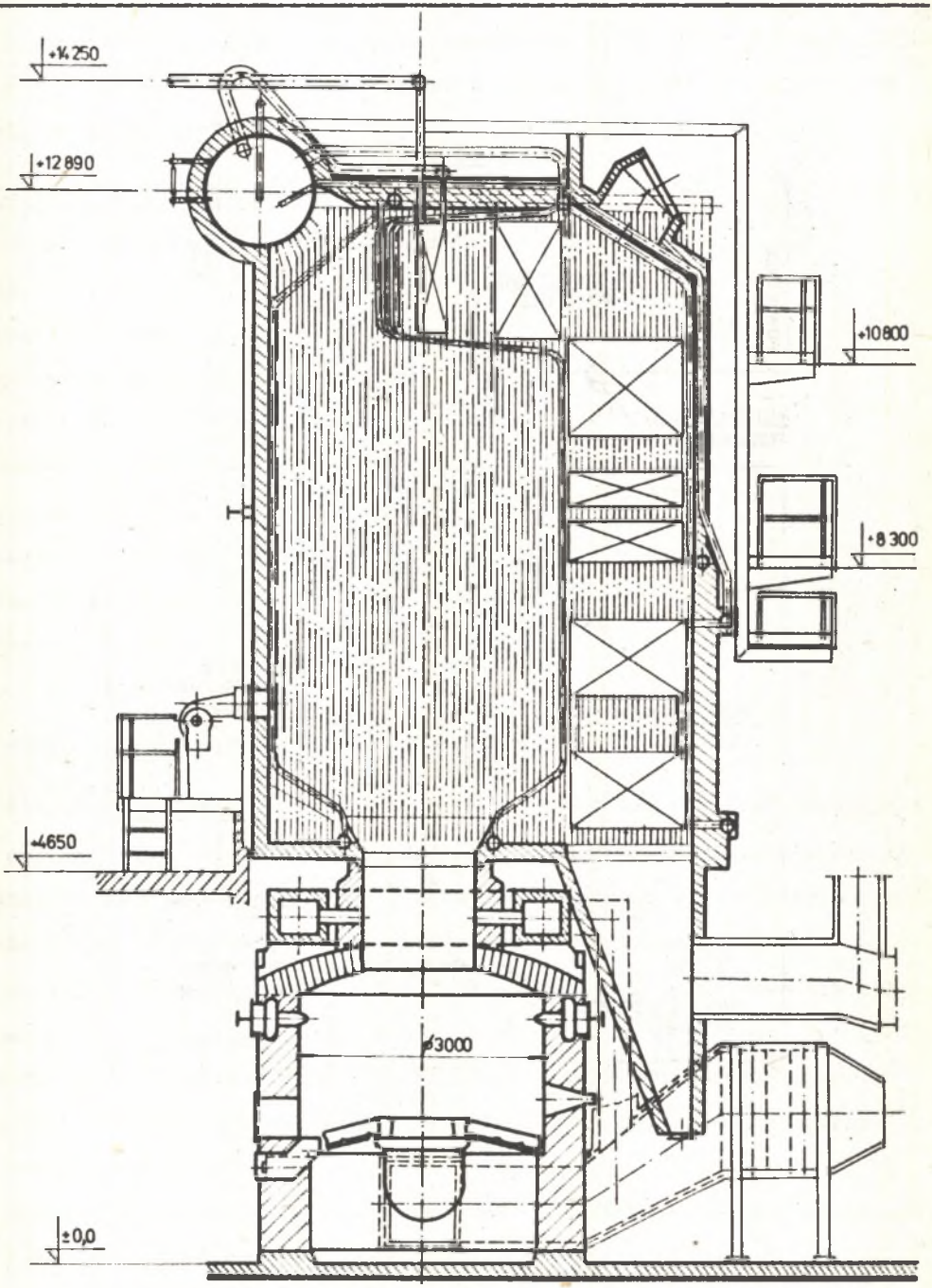
## 3. CHARAKTERYSTYKA KOTŁA I PALENISKA

Kocioł parowy firmy ROSENLEW AB /Finlandia/ został zainstalowany we Włocławku w 1979 r. Jest to kocioł opromieniowany o nowoczesnym rozwiązaniu części ciśnieniowej z naturalną cyrkulacją. Kocioł zbudowany jest w układzie dwuciągowym z walczakiem o średnicy 1360 mm umieszczonym poprzecznie [ 1 ]. Opromieniowana komora paleniskowa o wymiarach 3572/2550mm wykonana jest ze ścian rurowych membranowych. W ciągu konwekcyjnym, bezpośrednio za festonem, umieszczony jest przegrzewacz pary. W dalszej części, której boczne ściany stanowią membrany parownika, znajdują się powierzchnie flagowe konwekcyjnej części parownika. W dolnej części II ciągu zainstalowany jest dwustopniowy, stalowy podgrzewacz wody. Wysokość części ciśnieniowej kotła wynosi ok. 9,5 m /rys.1/.

Pod komorą paleniskową kotła zainstalowane jest palenisko cyklonowe KEMIKLON /Finlandia/ z cyklonem pionowym o średnicy wewnętrznej 3000 mm umożliwiające spalanie do 30 $m^3$/h. Dolne zamknięcie cyklonu stanowi ruszt stały zasilany centralnie od dołu korą drzewną podawaną podajnikiem ślimakowym o napędzie hydraulicznym.

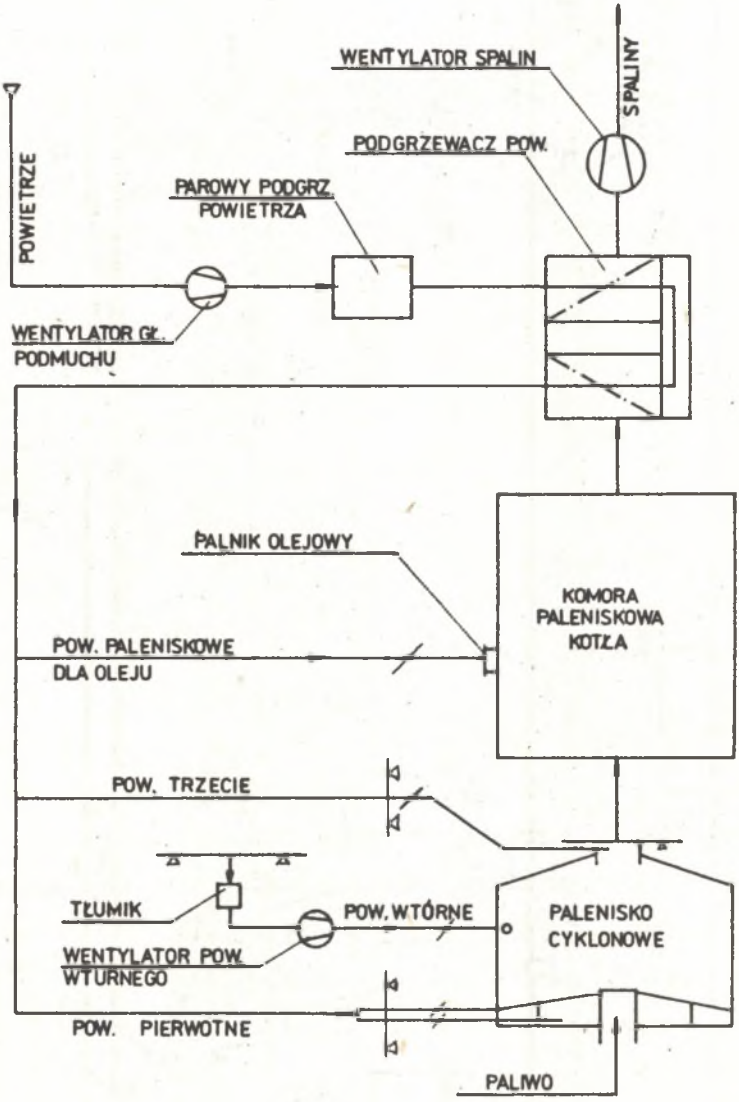
Powietrze do spalania doprowadzane jest pod ruszt; ponad ruszt oraz do gardzieli wylotowej z komory w strefę dopalania. Powietrze podgrzewane jest w parowym podgrzewaczu powietrza ustawionym za kotłem i doprowadzane do paleniska w rozdziale na powietrze pierwotne, wtórne i trzecie /rys.2./ Powietrze pierwotne doprowadzane jest bezpośrednio pod ruszt. Powietrze wtórne tłoczone oddzielnym wentylatorem wpływa do komory cyklonowej poprzez 8 dysz skierowanych stycznie do ścian komory na wysokości 1185 mm nad powierzchnią rusztu. W najwęższym przekroju cyklonu /gardzieli/ umieszczonych jest promieniowo 8 dysz powietrza trzeciego na wysokości 2385 mm nad rusztem.

Komora posiada 3 otwory do czyszczenia rusztu, 6 otworów do usuwania popiołu, 3 wzierniki oraz układ eżektorów do odbioru popiołu. Komora cyklonu posiada chłodzenie wodne.




Rys. 1. Schemat kotła parowego ROSENLEW z paleniskiem KEMIKLON

Fig. 1. Flow diagram of a steam boiler "ROSENLEW" having a "KEMIKLON" furnace




Rys. 2. Schemat rozpływu powietrza w palenisku i w kotle

Fig. 2. Diagram of air flow distribution in the furnace and the boiler

W przedniej ścianie komory paleniskowej na wysokości 6,5 m zainstalowany jest całkowicie zautomatyzowany palnik olejowy do podtrzymywania spalania przy niskim obciążeniu i zwiększaniu wydajności.

Parametry kotła i paleniska /projektowe/

| | | |
|---|---|---|
| wydajność maksymalna | 5,28 kg/s | (19 t/h) |
| ciśnienie robocze | 1,47 MPa | |
| temperatura pary | 250°C | |
| temperatura wody zasilającej | 105°C | |
| temperatura podgrzanego powietrza | 180°C | |
| temperatura spalin na wylocie | 210°C | |
| objętość komory paleniskowej | 70 $m^3$ | |
| obciążenie cieplne rusztu | 2095 $kW/m^2$ | |
| obciążenie cieplne komory | 1164 $kW/m^3$ | |
| sprawność kotła | 78,5 % | |

## 4. WYNIKI BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH KOTŁA

Dla oceny wpływu rozwiązań konstrukcyjnych paleniska i charakterystyki paliwa /kory/ na uzyskiwane parametry przez kocioł oraz jego dyspozycyjność przeprowadzono badania * obejmujące bilans cieplny kotła i badania składu chemicznego osadów popiołowych w cyklonie.

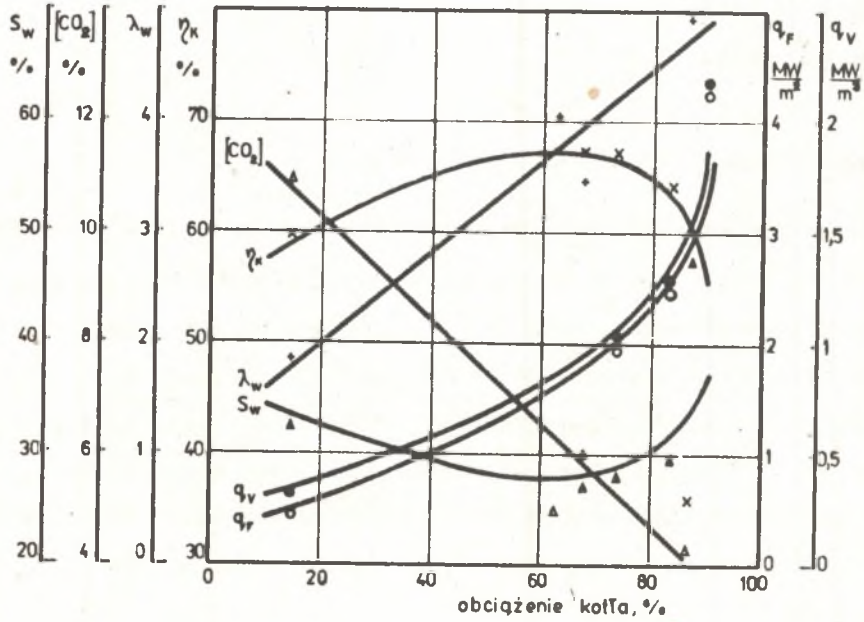
Kocioł był opalany korą jodłowo - świerkową o zmieniającym się składzie [1]. Przeciętny skład elementarny kory był następujący:
c = /0,277 - 0,227/; h = /0,034 - 0,028/; o = /0,236 - 0,193/;
n = 0; s = 0; $w_t$ = /0,45 - 0,55/; a = /1,01 - 1,25/; wartość opałowa $Q_i^r$ = 9440 - 7276 kJ/kg.

Kocioł nie uzyskał wydajności nominalnej 5,28 kg/s; najwyższa uzyskana była równa 4,58 kg/s - z uwagi na wadliwą pracę ślimaka z napędem hydraulicznym podającego korę oraz zawieszanie się samej kory w zasobniku.

* Wyniki badań zamieszczono w pracy [1]

Temperatura pary produkowanej przez kocioł /para nasycona/ zależała od ciśnienia, które ze względu na odbiory wahało się w obrębie 1,2 - 1,4 MPa.

Powietrze podgrzewane w parowym podgrzewaczu miało temperaturę rzędu 140 - 150°C. Przy wilgotności 55 % wymagana temperatura powietrza winna wynosić 180 - 250°C. Stwierdzone w czasie badań temperatury odpowiadały wilgotności kory rzędu 35 - 45 %, a więc były niższe niż zalecane. Należy zaznaczyć, że podgrzewacz parowy powietrza nie mógł podgrzać do wyższej temperatury z racji niskiej temperatury pary.




Rys.3. Zmienność podstawowych wielkości charakteryzujących pracę paleniska i kotła

Fig.3. Variability of basic values characterizing boiler furnace operation

Na/rys. 3/ przedstawiono zmienność z obciążeniem takich parametrów, jak: sprawność kotła - $\eta_k$, strata wylotowa - $S_{wyl}$, zawartość $[CO_2]$ za kotłem, współczynnik nadmiaru powietrza za kotłem $\lambda_{wyl}$ oraz wskaźniki charakteryzujące palenisko:

- obciążenie cieplne przekroju poprzecznego cyklonu

$$q_{F\ cyk} = \frac{\dot{Q}}{F}, \quad kW/m^2 \qquad /1/$$

- obciążenie cieplne objętości cyklonu

$$q_{V\ cyk} = \frac{\dot{Q}}{V}, \quad kW/m^3 \qquad /2/$$

gdzie:

$\dot{Q}$ - ilość ciepła wywiązana w cyklonie, kW,

Duża ilość doprowadzonego powietrza, na co wskazuje wysoka liczba nadmiaru powietrza oraz wysoka temperatura spalin za kotłem powodują powstanie wysokiej straty wylotowej, rzędu 26 - 60 %.

## 5. OBSERWACJA PRZEBIEGU SPALANIA W KOMORZE CYKLONOWEJ

Paliwo jest spalane na okrągłym ruszcie schodkowym. Kora doprowadzana jest pod ruszt i wydostaje się na ruszt od dołu*. Biorąc pod uwagę sposób doprowadzania paliwa - omawiane przedpalenisko nie jest typowym cyklonem. Uwzględniając jednak sposób wprowadzenia powietrza wtórnego i trzeciego oraz prędkości wypływu z dysz można uważać to palenisko jak tzw. przedpalenisko cyklonowe.

Palenisko KEMIKLON charakteryzują wskaźniki geometryczne i cieplne:

smukłość $L/D = 1,6$

przewężenie $d/D = 0,48$

temperatura teoretyczna $t_t = 1600^oC$

temperatura na wylocie $t_{wyl} = f(\lambda)$; $t_{wyl} = 1060 - 1250^oC$

obciążenie cieplne $q_F$, $q_V$ - podane w pkt. 4.

* Spalanie na ruszcie z takim zasilaniem jest powszechnie stosowane, chociaż w innych paleniskach [13].

Cząsteczki kory szybko odgazowują i są częściowo podnoszone przez powietrze pierwotne. W strefie objętej działaniem powietrza wtórnego następuje spalanie części lotnych oraz porywanie cząstek odgazowanych i ich dopalanie. Duża prędkość wypływu powietrza wtórnego oraz kierunek dysz powodują, że strumień dopalających się cząstek porusza się w strefach zbliżonych do obwodu paleniska.

Cząstki popiołu oraz ziarna kwarcu ulegają mięknięciu /topieniu/ a wysoka ich lepkość powoduje osiadanie na ścianach komory. Stwierdzono niemożliwość ich odprowadzania przez rury popiołowe - ejektory. Jest to nieprawidłowa eksploatacja, po okresie 100 - 150 godzin pracy kotła warstwa żużla osiąga grubość kilkunastu centymetrów, uniemożliwiając dalszą eksploatację.

## 6. MECHANIZM ŻUŻLOWANIA KOMORY CYKLONOWEJ

W celu wyjaśnienia tego zjawiska wykonano badania składu popiołu zawartego w korze oraz badania składu zastygłych brył żużla ze ścian komory.

W popiele stwierdzono następujący skład: $SiO_2$ = 20,39 %, CaO = 52,44 %, $Fe_2O_3$ = 7,21 %, $AL_2O_3$ = 15,8 %, MgO = 4,16 %.

Żużel ze ścian komory posiadał następujący skład: $SiO_2$=50,0 % $Al_2O_3$ = 17,0 %, $Fe_2O_3$ = 3,7 %, Ca = 29,0 %, MgO = 0,3 %.

Z porównania zawartości $SiO_2$ w żużlu i popiele wynika, że kora jest bardzo zanieczyszczona piaskiem, którego ilość dochodzi do 10 %. Producent kotła przewidział spalanie kory pozbawionej piasku.*

O skłonności do żużlowania składników mineralnych [8] decydują takie wskaźniki, jak: lepkość żużla $\eta$ = f /T/, indeks stosunkowy $I_{SiO_2}$ oraz współczynnik żużlowania $R_s$. Wielkości te zależą od składu substancji mineralnej popiołów [8].

---

* Inne warunki transportu zrębów drzewnych stosowane są w Finlandii /transport wodny/, a inne w Polsce

Zakładając, że substancje mineralne popiołów z kory i węgla są podobne w pewnych zakresach oraz opierając się na wynikach badań zjawiska żużlowania w kotłach opalanych węglem kamiennym [8] wyliczono wskaźniki charakteryzujące popiół pod względem żużlowania [1].

Wyliczone wskaźniki w sposób przekonywujący tłumaczą to, że palenisko KEMIKLON w kotle ROSENLEW w ZCP we Włocławku pracuje w warunkach silnej podatności na żużlowanie. Żużlowanie tego nie udaje się usunąć tak prostym sposobem jak zwiększeniem nadmiaru powietrza w komorze, a więc częściowym obniżeniem poziomu temperatury w palenisku [1].

Podstawową przyczyną żużlowania jest duża zawartość krzemionki w korze, która z innymi składnikami substancji mineralnej tworzy roztwór eutektyczny posiadający niską temperaturę topnienia /stapiania się/.

Nie badano innych możliwości uniknięcia żużlowania, choćby takich jak: obniżenie temperatur przez wprowadzenie częściowego odbioru ciepła, zmniejszenie obciążeń cieplnych cyklonu, stosowanie wyrównanej granulacji kory itp. z uwagi na znaczne trudności techniczne występujące przy ich realizacji.

## 7. WNIOSKI

Palenisko cyklonowe /przedpalenisko/ może nadawać się do spalania odpadów drzewnych, w tym kory drzewnej. Podobny pogląd wyrażono w pracy [7], z tym że o żużlowaniu nie wspomniano.

W przypadku spalania kory zanieczyszczonej piaskiem występuje intensywne żużlowanie ścian komory uniemożliwiające eksploatację kotła. Stwierdzono stan gotowości kotła mniejszy niż 0,65 [1].

Przy projektowaniu pleniek kotłowych z przeznaczeniem do spalania kory należy uwzględnić stan paliwa, a zwłaszcza zawartość piasku, jeżeli zamierza się organizować spalanie w małej objętości z dużymi natężeniami cieplnymi.

Bardzo dobre rezultaty w spalaniu kory i odpadów drzewnych osiąga się

stosując spalanie na ruszcie dostosowanym do paleniska narzutowego i wdmuchując korę pneumatycznie na ruszt [5,6]. W przypadku takiego paleniska istnieje możliwość dobudowania narzutników z przeznaczeniem do spalania węgla kamiennego. Umożliwia to wtedy eksploatację kotła na dwóch paliwach*.

Inny przebieg spalania na ruszcie, z mniejszymi obciążeniami cieplnymi powoduje, że zjawisko żużlowania samego rusztu bądź ścian nie występuje.

Omawiane palenisko cyklonowe jest niedostosowane do spalania kory zanieczyszczonej. W przypadku kory czystej powinno się uzyskiwać dobre rezultaty - sprawność. Dostosowanie paleniska może nastąpić wielostapowo bądź jednostapowo przez wymianę na palenisko rusztowe. O wyborze wariantu powinien decydować rachunek techniczno-ekonomiczny.

Części ciśnieniowej omawianego kotła należałoby poświęcić także uwagę, choćby w osobnym artykule z uwagi na obserwowane trudności związane z eksploatacją powierzchni flagowych.

LITERATURA

1. Rataj Z., Gramatyka F.: Ocena pracy kotła do spalania kory drzewnej ze wskazaniem kierunków ewentualnej modernizacji paleniska. ZBP "ENERGOCHEM" Gliwice, marzec 1986, nr ew. P7-2257.
2. Bengtsson L.: Biomasa może zastąpić olej opałowy. Przegląd Papierniczy, nr 10. 1985.
3. Sobieski F., Kaszewski T.: Doświadczenia w korowaniu drewna i wykorzystaniu odpadowej kory. Przegląd Papierniczy, nr 11,1985.
4. Prospekty fińskiej Firmy AHLSTROM: Recovery boilers, How to cut energy costs and at the same time solve the waste wood problem with Pyroflow gasifier. 1985.

* Nie oznacza to niestabilnej pracy kotła wyłącznie przy spalaniu tylko kory

5. Machura K.: Koncepcja zmian konstrukcyjnych związanych z przystosowaniem kotła korowego do spalania węgla w EC ZPC "Kwidzyń". Opracowanie BSiPE Energoprojekt Gliwice 1984 i CBKK Tarnowskie Góry.

6. Praca zbiorowa: Koncepcja przystosowania kotła korowego do spalania węgla w EC ZCP Kwidzyń. Opracowanie BSiPE Energoprojekt, Gliwice 1984.

7. Kruczek H., Świętochowski M., Turczyński A.: Palenisko wirowe do spalania pyłów drzewnych i trocin z przeznaczeniem dla kotłów małej wydajności. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej serie Energetyka, nr 94. Gliwice 1986.

8. Albrecht W., Pollmann S.: Neuere Beiträge zum Verschlackungsmechanismus in trockenentaschten Steinkohlenfeuerungen. VGB Kraftwerkstechnik, nr 2, 1980.

9. Raask E.: Verschlackungen in steinkohlegefeuerten Kesseln. Kraftwerkstechnik nr 4. 1973.

10. Wandrasz J., Zieliński J.: Procesy fluidalne utylizacji odpadów cz.I. Podstawy teoretyczne. Wyd. PAN, Wrocław 1984.

11. Wandrasz J., Zieliński J.: Procesy fluidalne utylizacji odpadów cz. II. Zastosowania. Wyd. PAN, Wrocław 1984.

12. Adams T.N.: Predictions of Intrinsic Ash Emissions from Wood-Waste boilers.J. of the Air Pollution Control Association. nr 2, 1980.

13. Schwieger B.: Industrial Boilers. A special Report. POWER nr 2,1978.

14. Roberson J.E.: Bark burning methods. TAPPI, 1968. T.51, nr6.

Wpłynęło do Redakcji: grudzień 1986 r.

Recenzent

Doc.dr hab.inż. Leon Troniewski

COMBUSTION OF WASTE BARK IN A CYCLONE FURNACE OF A BOILER

S u m m a r y

In this paper a briefly report on bark utilisation was made.

Great attention was paid to energetical utilisation of waste wood e.g. the bark.

The characteristics and the description of ROSENLOW's boiler and KEMIKLON's cyclone furnace had been given.

Detaily and widely were discussed the exploitational experiencies and obtained heat parameters, basing on results having been achived by heat testin of a boiler.

Particularity remarks was given to the fouling phenomenon of cyclone walls.

The mechanism of the fouling was discussed and attention was paid to the necessity of choice of combustors type having been suitable for the combustion of the bark impiuerities by the sand.

СЖИГАНИЕ ОТХОДОВ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ В ЦИКЛОННЫХ ТОПКАХ КОТЛА

Резюме

В работе говорится об использовании коры, в основном, для энергетических целей. Приводится характеристика и описание котла "Росенлев" с топкой "Кемиклён" для сжигания древесной коры.

Подробно описаны и продискутированы полученные эксплоатационные опыты, а получаемые котлом параметры, опирансь на результаты тепловых исследований.

Особое внимание обращено на появление интенсивного зашлакования на стенках камеры топки.

Объяснён механизм этого явления и указана необходимость тщательного подбора вида топки для сжигания коры, загрязнённой песком.