



**INSTYTUT
TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

Institute of Technology and Life Sciences - National Research Institute

Falenty, 3 Hrabaska Avenue, 05-090 Raszyn, Poland

Department of Renewable Energy, 67 Biskupinska Street, 60-463 Poznan, Poland

XXVIII MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NAUKOWA
pod Patronatem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi
(on-line) „Problemy Zrównoważonego Rolnictwa, Ochrona
Obszarów Wiejskich, Zasobów Wodnych i Środowiska”
Falenty, 21-22 września 2022 r.

**TECHNICZNO-TECHNOLOGICZNE ASPEKTY CIEPŁOWNICTWA
W ENERGETYCE ZAWODOWEJ
PRZY SPALANIU PALIW ODNAWIALNYCH**

TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF HEATING
IN PROFESSIONAL ENERGY
WHEN COMBUSTING RENEWABLE FUELS

**dr inż. Barbara Dybek
dr inż. Grzegorz Wałowski**

*Praca wykonana w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju realizowanego w programie BIOSTRATEG,
umowa nr BIOSTRATEG1/269056/5/NCBR/2015.*

1. WPROWADZENIE

1. INTRODUCTION

2. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH PALIW OPAŁOWYCH

2. CHARACTERISTICS OF SELECTED HEATING FUELS

3. CIEPŁOWNICTWO – KOTŁY OPALANE BIOMASĄ

3. HEATING PLANTS - BOILERS FIRED WITH BIOMASS

- **Spalanie biomasy rozdrobnionej;**

- Combustion of fragmented biomass

- **Spalanie słomy**

- Combustion of straw

4. PODSUMOWANIE

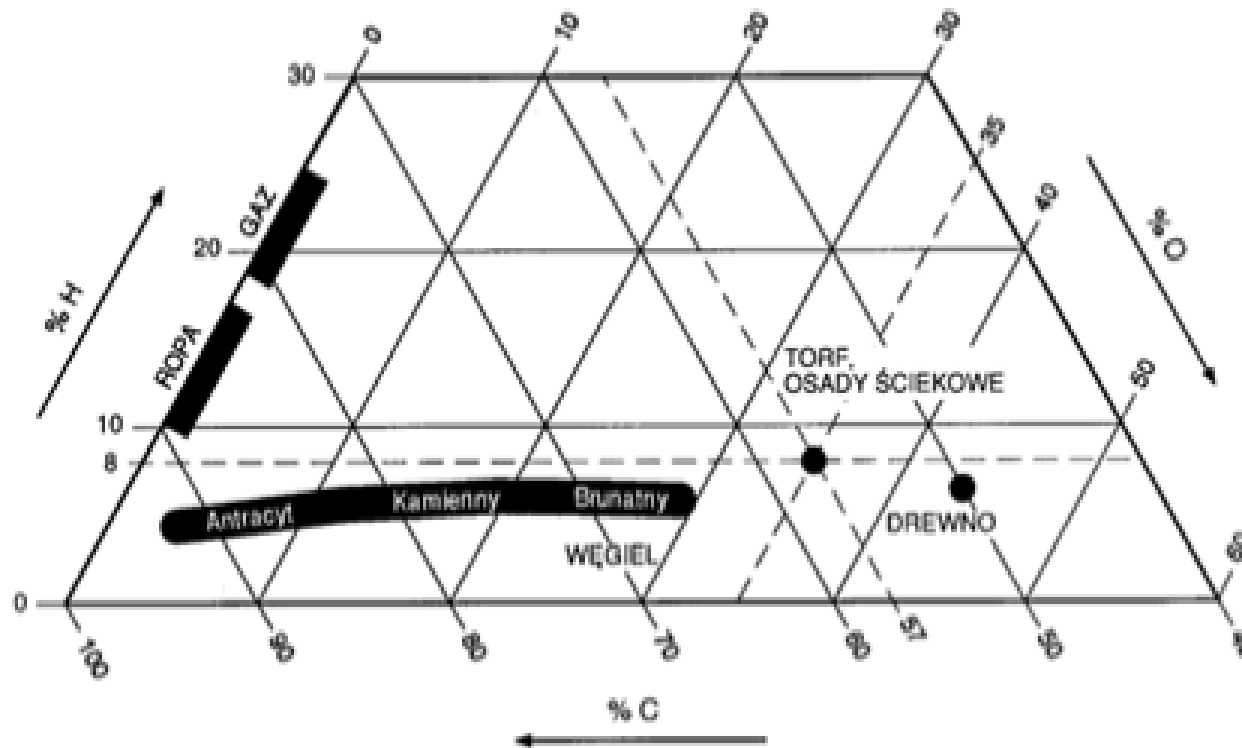
4. SUMMARY

Literatura

Literature

Biomasa powstaje w wyniku procesu fotosyntezy w przeszłości ulegała procesom odtlenienia, produkując węgiel kamienny lub brunatny o składzie sumarycznym $(CH_2)_n$ lub gaz ziemny $(CH_4)_n$ – Rys. 1.

Biomass is formed as a result of photosynthesis, in the past it underwent deoxidation processes, producing hard coal or lignite with the total composition $(CH_2)_n$ or natural gas $(CH_4)_n$ - Fig. 1.



Rys. 1. Zawartość atomów C, O i H w paliwach kopalnych oraz w biomacie: osadach ściekowych i drewnie [KOWALIK 2002]. Fig. 1. The content of C, O and H atoms in fossil fuels and in biomass: sewage sludge and wood [KOWALIK 2002].

Na praktyczne możliwości zastosowania paliw odnawialnych decydujący wpływ mają ceny surowców oraz poniesione nakłady inwestycyjne produkcji mocy. W tabeli 1 zestawiono porównanie kosztów spalania słomy i węgla (wyliczenia Krajowej Agencji Poszanowania Energii - KAPE).

The practical possibilities of using renewable fuels are decisively influenced by the prices of raw materials and the capital expenditure incurred for power production. Table 1 compares the costs of burning straw and coal (calculations by the Polish National Energy Conservation Agency - KAPE).

Tabela 1. Zestawienie kosztów spalania słomy i węgla - wyliczenia KAPE [opracowanie wg CIRE 2022] . Table 1. Summary of straw and coal combustion costs - KAPE calculations [prepared according to CIRE 2022].

Moc urządzenia	Zużycie paliwa		Koszt	
	słoma	węgiel	słoma	węgiel
kW	kg/h		PLN/kg	
70	19,4	14,6	0,06	0,162
100	27,6	20,8		
200	55,4	41,6		
300	83,0	62,4		
400	110,7	83,2		
500	138,3	104,0		
600	166,1	124,8		
700	193,7	145,6		
800	221,4	166,4		
900	249,1	187,2		
1000	276,7	208,0		
2000	528,9	416,0		
5000	1322,2	1040,0		

Najtańszym nośnikiem energii według tabeli 2 jest słoma (przy założeniu 1t słomy równej 150 PLN). W tabeli 2 porównano koszty wykorzystania paliw opałowych do ogrzania budynku przy założeniach [CIRE 2022]: - obciążenia cieplnego 70 kW, - obciążenia godzinowego 2 968 h/rok, - zapotrzebowania na energię 207 786 kWh/rok.

According to Table 2, the cheapest energy carrier is straw (assuming 1t of straw equal to PLN 150). Table 2 compares the costs of using heating fuels to heat the building under the assumptions [CIRE 2022]: - heat load 70 kW, - hourly load 2 968 h / year, - energy demand 207 786 kWh / year.

Tabela 2. Porównanie paliw opałowych [CIRE 2022]. Table 2. Comparison of heating fuels [CIRE 2022].

Rodzaj paliwa		Słoma	Węgiel kamienny	Zrębki	Pellet	Gaz ziemny	Olej opałowy
Jednostka		PLN/kg				PLN/m ³	PLN/l
Wartość		0,15	0,75	0,40	0,675	3,56	3,84
Cecha	Jednostka						
Koszty jednostkowe paliw	PLN/m ³	7,50	525,00	60,00	607,50	3,56	3.840,00
Roczne koszty paliwa	PLN/rok	8.506,52	15.577,72	34.922,02	37.302,01	67.369,60	78.882,67
Koszty paliwa	PLN/MWh	32,80	61,50	117,60	143,60	291,80	322,70
	PLN/GJ	9,10	17,10	32,70	39,90	81,10	89,60
Zapotrzebowanie paliwa	m ³ /rok	11.434,00	26.673,00	404,00	84,00	24.302,00	24,00
	kg/rok	56.710,00	20.770,00	87.305,00	55.262,00	18.924,00	20.542,00
Sprawność kotła	%	80,00	82,00	70,00	80,00	90,00	85,00
Końcowe zapotrzebowanie energii	kWh/rok	207.786,00	207.786,00	207.786,00	207.786,00	207.786,00	207.786,00
Wilgotność paliw	% wag.	20,00	23,00	30,00	8,00	0,00	0,00
Wartość opałowa	MJ/kg	16,50	30,00	12,30	17,00	44,00	42,70
	kWh/kg	4,58	12,20	3,40	4,70	12,20	11,90
	MJ/m ³	825,00	34,30	2.644,00	11.079,00	34,30	36.078,00
	kWh/m ³	229,00	9,50	735,00	3.077,00	9,50	10.022,00

Przemysłowe kotły wodne oraz kotły parowe opalane biomasa rozdrobnioną stanowią obecnie najtańsze źródło ciepła w Polsce.

Wśród stosowanych w Polsce typów kotłów energetycznych większej mocy są kotły fluidalne, kotły pyłowe oraz kotły rusztowe.

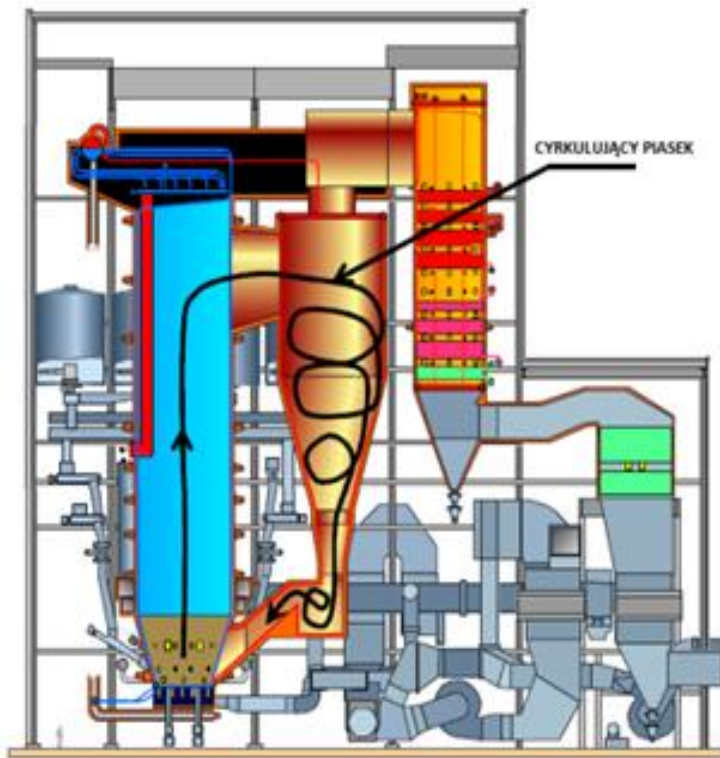
Industrial water boilers and steam boilers fired with fragmented biomass are currently the cheapest heat source in Poland. Among the types of higher-capacity power boilers used in Poland are fluidized bed boilers, pulverized coal boilers and grate boilers.

Najważniejsze rodzaje kotłów fluidalnych [SZUFA 2022]:

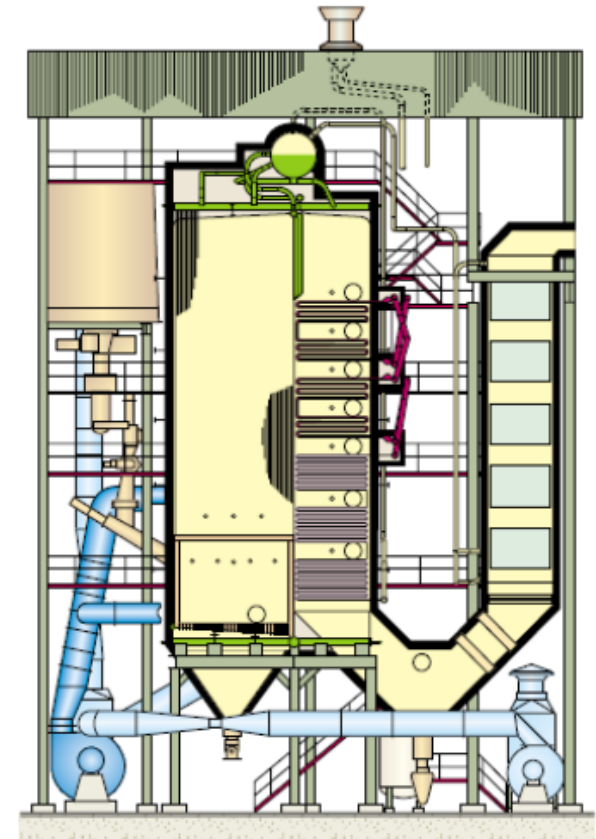
- **Kotły z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym CFB (z ang. Circulating Fluidised Bed) – Rys 2;**
- **Kotły ze stacjonarnym (pęcherzykowym) złożem BFB (z ang. Bubbling Fluidised Bed) – Rys 3.**

The most important types of fluidized bed boilers [SZUFA 2022]:

- CFB (Circulating Fluidized Bed) boilers - Fig. 2;
- Boilers with stationary (bubble) bed BFB (Bubbling Fluidized Bed) - Fig. 3.

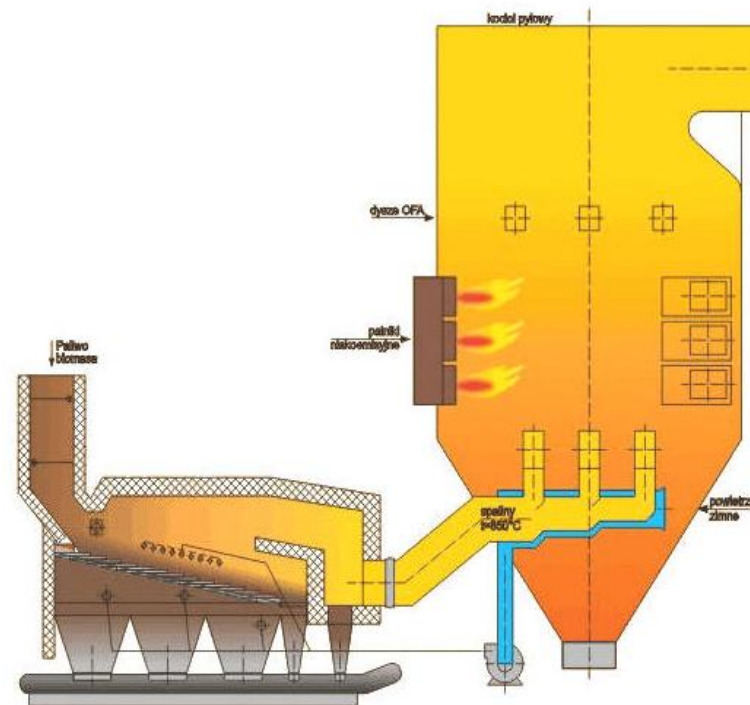


Rys. 2. Kocioł z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym zasilany biomasa, źródło: katalog produktów firmy Metzo [INSTSANI 2022]. Fig. 2. Biomass-fired circulating fluidized bed boiler, source: Metzo product catalog [INSTSANI 2022].



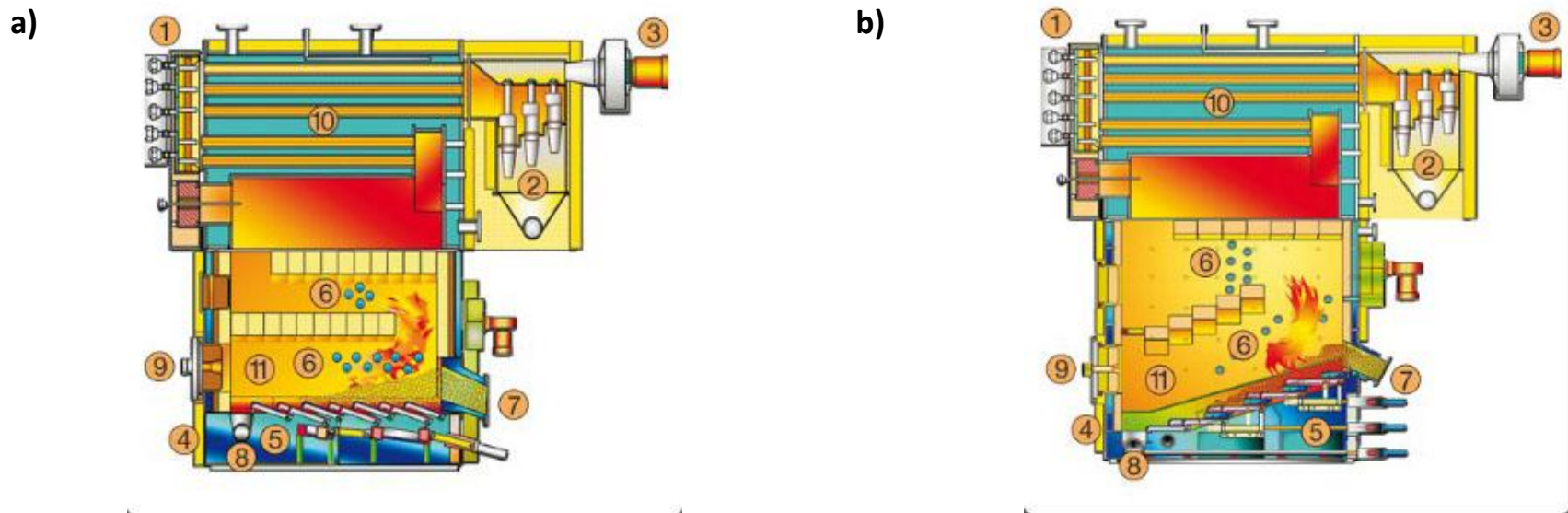
Rys. 3. Kocioł z bąbelkowym złożem fluidalnym zasilany biomasa, źródło: VTT Finlandi [INSTSANI 2022]. Fig. 3. Biomass fired bubble fluidized bed boiler, source: VTT Finlandi [INSTSANI 2022].

Kotły pyłowe: najpopularniejsze typy kotłów wykorzystywane w polskiej energetyce zawodowej co potwierdza ich największy udział w zainstalowanej w naszym kraju mocy elektrycznej. Posiadają one oddzielny układ podawania paliwa stosowany do doprowadzania biomasy i odpadów – Rys. 4. Dust boilers: the most popular types of boilers used in the Polish professional power industry, which is confirmed by their highest share in the electric power installed in our country. They have a separate fuel supply system used to supply biomass and waste - Fig. 4.



Rys. 4. Model kotła pyłowego z przedpaleniskiem do spalania biomasy [INSTSANI 2022]. Fig. 4. Model of a pulverized coal boiler with a pre-furnace for biomass combustion [INSTSANI 2022].

Kotły rusztowe (Rys. 5) wyposażone są w ruszt schodkowy lub palnik typu retortowego. W pierwszym przypadku komora wykonana jest z żaroodpornego betonu o odporności termicznej do 1550 °C. Grate boilers (Fig. 5) are equipped with a stepped grate or a retort-type burner. In the first case, the chamber is made of heat-resistant concrete with a thermal resistance of up to 1,550 ° C.



Rys 5. Model kotła rusztowego [FRIBEX 2022], oznaczenia: 1- automatyczne czyszczenie wymiennika ciepła, 2 - automatyczne usuwania pyłu z gazu spalinowego, 3 - wentylator spalin, 4 - izolacja, 5 - powietrze pierwotne i ruchomy ruszt z żeliwa stopowego, 6 - powietrze wtórne i podwójne promienniki, 7 - doprowadzenie paliwa, 8 - automatyczne usuwanie popiołu kontener 80/240/800, 9 - drzwiczki frontowe, 10 - wymiennik ciepła, 11 - komora paleniskowa;

a) HPKI - R 150-5000 kW z ruchomym rusztem płaskim chłodzonym powietrzem:

b) HPKI -W 300-1600 kW z rusztem schodkowym chłodzonym wodą.

Fig. 5. Model of the grate boiler [FRIBEX 2022]: a) HPKI - R 150-5000 kW with a movable flat grate cooled with air,

b) HPKI -W 300-1600 kW with water-cooled stepped grate.

Istnieją trzy podstawowe technologie spalania słomy [MIROWSKI I IN. 2018]:

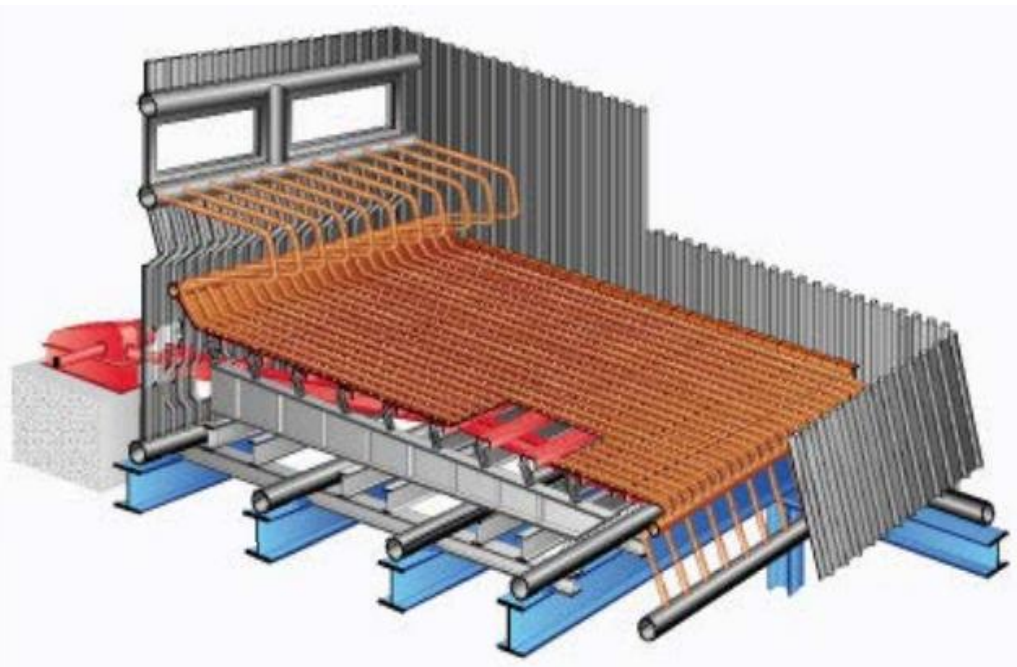
- okresowo-cykliczne spalanie ładunków słomy w tzw. kotłach wsadowych o mocy dochodzącej do 1 MW, □
- spalanie słomy ciętej na odcinki o długości (5–10) cm w kotłach automatycznych o działaniu ciągłym, których moc wynosi od 1 do kilkunastu MW, □
- spalanie słomy w tzw. systemie cygarowym w kotłach o działaniu ciągłym, których moc osiąga od 1 do kilkunastu MW.

There are three basic straw combustion technologies [MIROWSKI & IN. 2018]:

- periodic and cyclical burning of straw loads in the so-called batch boilers with a capacity of up to 1 MW,
- burning straw cut into sections (5-10) cm long in automatic boilers with continuous operation, the power of which is from 1 to several MW,
- burning straw in the so-called cigar system in continuous operation boilers with a capacity of 1 to several MW.

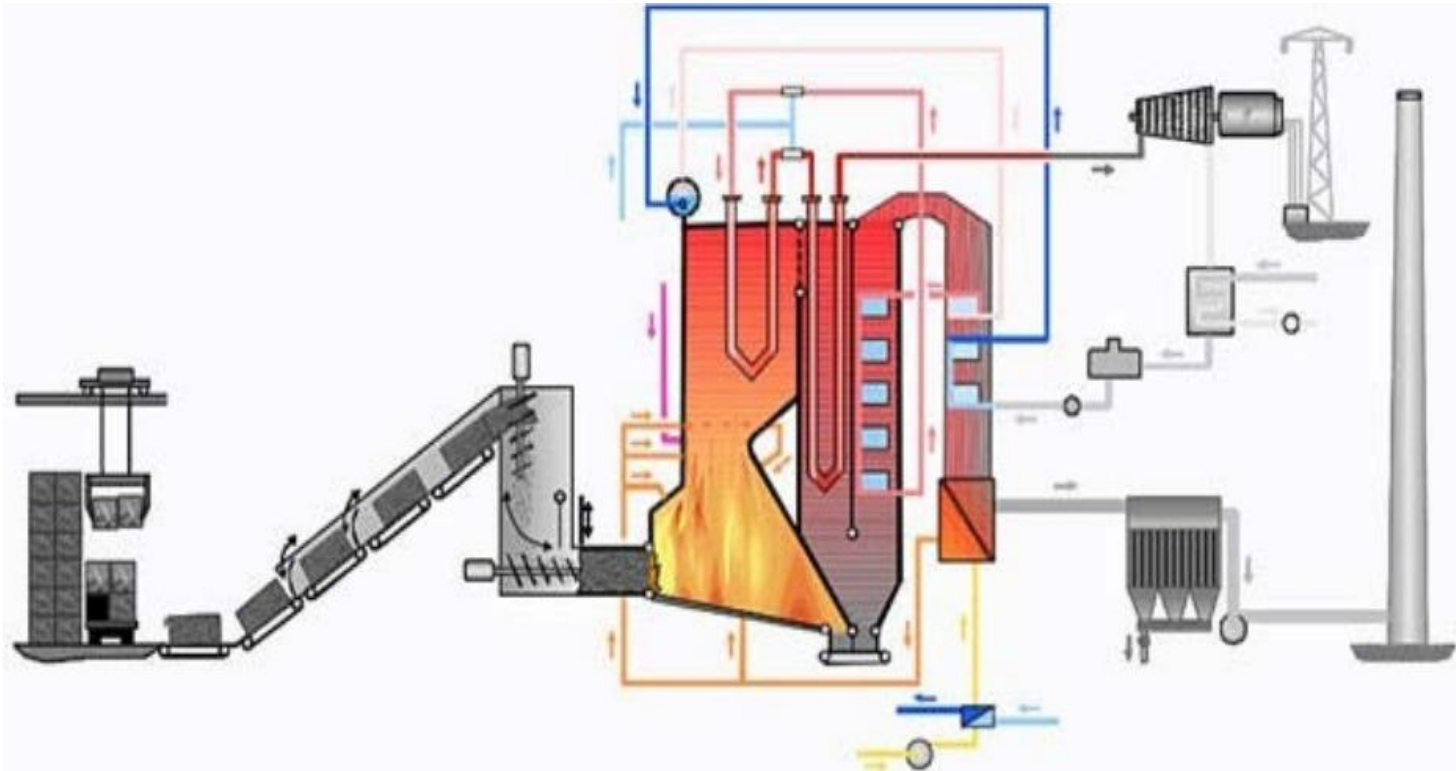
Elektrociepłownie pracujące z wykorzystaniem kotłów na słomę wyróżniają się z pośród innych elektrociepłowni tym, iż wykorzystują do spalania unikalne ruszty wibracyjne, które są chłodzone wodą (Rys. 6) - posiadają jednym z najbardziej niezawodnych systemów spalania na świecie.

CHP plants operating with the use of straw boilers stand out among other CHP plants in that they use unique vibrating grates for combustion, which are cooled with water (Fig. 6) - they have one of the most reliable combustion systems in the world.



Rys. 6. Wibracyjny kocioł rusztowy chłodzony wodą, na którym odbywa się proces spalania biomasy, źródło: katalog produktów DP CleanTech INSTSANI 2022]. Fig. 6. Vibrating grate boiler cooled with water, on which the biomass combustion process takes place, source: DP CleanTech product catalog [INSTSANI 2022].

Kocioł parowy na słomę (Rys. 7) działa na wysokie parametry pary przy wysokim przepływie produkowanej pary generuje energię elektryczną przy sprawności 20% i 70% dla ciepłownictwa. The straw-fired steam boiler (Fig. 7) operates on high steam parameters, with a high flow of steam produced, it generates electricity with an efficiency of 20% and 70% for heating.



Rys. 7. Schemat wysokociśnieniowego, wysokotemperaturowego kotła na słomę firmy DP CleanTech, źródło: katalog produktów firmy DP CleanTech [INSTSANI 2022]. Fig. 7. Diagram of DP CleanTech high-pressure, high-temperature straw boiler, source: DP CleanTech product catalog [INSTSANI 2022].

W pracy zestawiono koszty spalania paliw odnawialnych i węgla uzyskując w ten sposób charakterystyki dla nośników energii stosowanych podczas spalania. Wyniki analizy wskazały, że wśród stosowanych w Polsce typów kotłów energetycznych najwyższymi parametrami pracy i najlepszą sprawnością (dochodzącą do ponad 80%) charakteryzują się kotły fluidalne.

Praca wykonana w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju realizowanego w programie BIOSTRATEG, umowa nr BIOSTRATEG1/269056/5/NCBR/2015.

The work presents the costs of combustion of renewable fuels and coal, thus obtaining characteristics for energy carriers used during combustion. The results of the analysis showed that among the types of power boilers used in Poland, fluidized bed boilers have the highest operating parameters and the best efficiency (up to over 80%).

Work done as part of a project financed by the National Center for Research and Development implemented under the BIOSTRATEG program, contract no. BIOSTRATEG1 / 269056/5 / NCBR / 2015.

- KOWALIK 2002. Wykorzystanie biomasy jako surowca energetycznego. Fundacja na Rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii. Energetyczne wykorzystanie biomasy. Szkolenie na działających przykładach zastosowań energii odnawialnych w Polsce i w Danii. W ramach Programu TEMPUS Unii Europejskiej pt.: "Zrównoważony rozwój energetyczny", 16-28 czerwca 2002.
- CIRE 2022. https://www.cire.pl/pliki/2/ciepl_biom.pdf [dostęp 24.08.2022]..
- SZUFA SZ. 2022. Biomasa i jej wykorzystanie w energetyce. https://www.proakademia.eu/gfx/baza_wiedzy/164/szufa6.pdf [dostęp 24.08.2022].
- INSTSANI 2022. <https://instsani.pl/technik-urzadzen-i-systemow-energetyki-odnawialnej/vademecum-energetyki-odnawialnej/biomasa/spalanie-i-inne-metody-termicznego-przetwarzania-biomasy/kotly-na-biomase/kotly-przemyslowe-do-spalania-biomasy/> [dostęp 26.08.2022].
- FRIBEX 2022. <http://www.fribex.com.pl/kotlyruszt2.htm> [dostęp 26.08.2022].
- MIROWSKI T., MOKRZYCKI E., FILIPOWICZ M., SORNEK K. 2018. Charakterystyka wybranych technologii produkcji energii z biomasy w energetyce rozproszonej. Zeszyty Naukowe, Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, nr 105, s. 63–74, DOI: 10.24425/124387

XXVIII MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NAUKOWA
pod Patronatem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi
(on-line) „Problemy Zrównoważonego Rolnictwa, Ochrona
Obszarów Wiejskich, Zasobów Wodnych i Środowiska”
Falenty, 21-22 września 2022 r.

b.dybek@itp.edu.pl
g.walowski@itp.edu.pl



Praca wykonana w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju realizowanego w programie BIOSTRATEG, umowa nr BIOSTRATEG1/269056/5/NCBR/2015.

Dziękuję za uwagę!

Thank you for your attention!