# SYSTEMY ENERGETYKI ODNAWIALNEJ B.21

# BIOMASA, KOTLY, KOTŁOWNIE

Prowadzący:
dr inż. Marcin Michalski

# EGZAMIN

**GRUPA B.21 - 30.03.2017,**
godzina 20:00, zagadnienia
Kolektory Słoneczne
i Fotowoltaika

**GRUPA B.22 - 28.03.2017,**
godzina 20:00, zagadnienia
Fotowoltaika, Energetyka
Geotermalna i Pompy Ciepła,
Biomasa.

Przed rozpoczęciem testu, zrobimy krótkie podsumowanie i przypomnienie najważniejszych wiadomości!

# Przyczyny wzrostu zainteresowania odnawialnymi źródłami energii (OZE)

- wyczerpywanie nieodnawialnych (tzw. konwencjonalnych) surowców energetycznych,
- wzrost kosztów ich pozyskiwania,
- zanieczyszczenie atmosfery tlenkami azotu, siarki i węgla (nazywanych „gazami szklarniowymi”),
- powstawanie nadmiernych ilości odpadów,
- nadprodukcja żywności, poszukiwanie alternatywy dla tradycyjnych roślin uprawnych, konieczność zagospodarowania gruntów odłogowanych

# BIOMASA

AKADEMIA VIESSMANN

**Forma gromadzenia energii słonecznej jako produktu procesu fotosyntezy, w wyniku którego rośliny produkują materię organiczną (węglowodany) z $CO_2$ i wody, w obecności promieniowania słonecznego.**

**W syntetyzowanych węglowodanach z jednego mola $CO_2$ akumulowane jest 470 kJ energii słonecznej.**

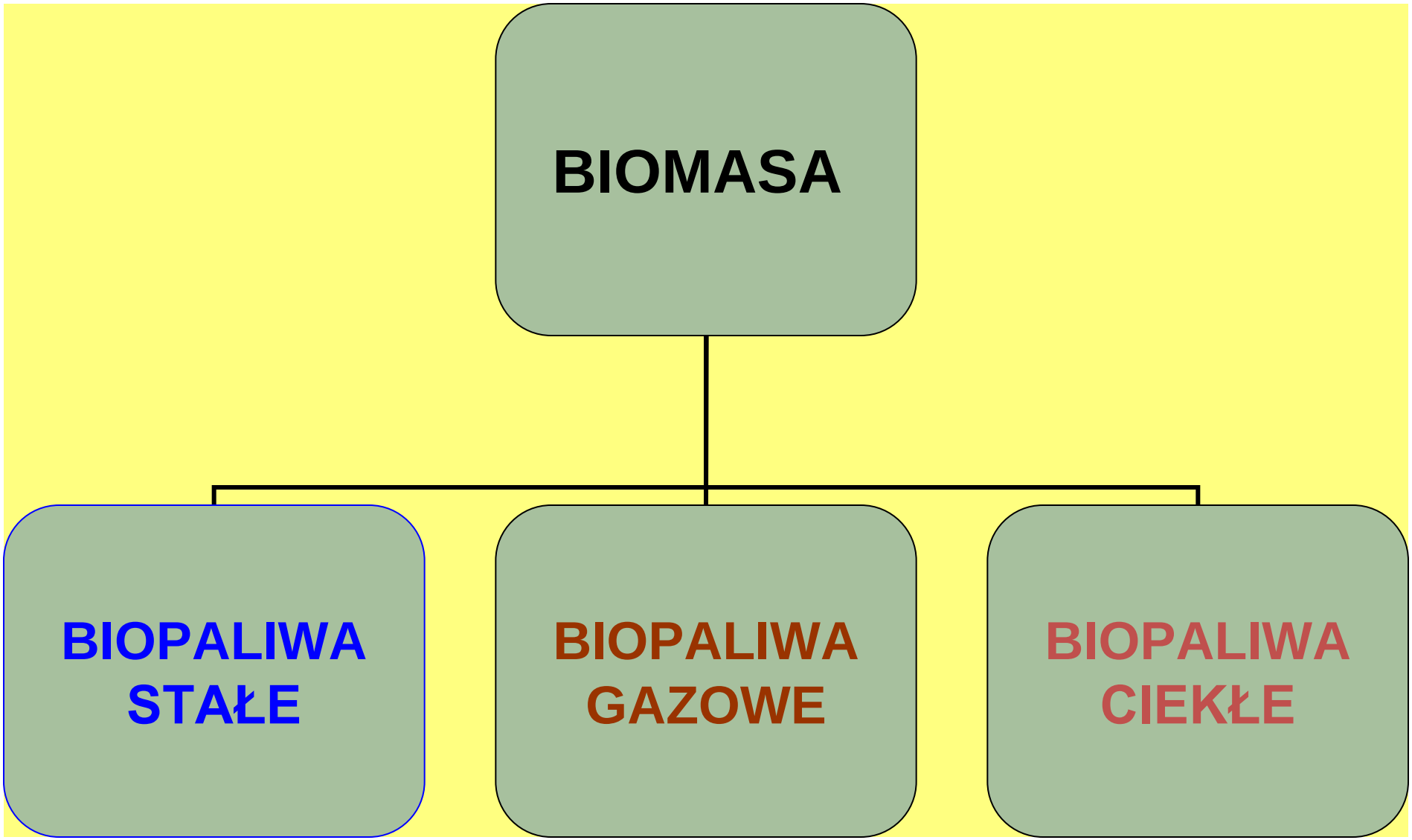
**W wyniku przetwarzania energii chemicznej zawartej w biomasie na ciepło, jako produkt uboczny powstaje ponownie $CO_2$, który poprzez proces fotosyntezy krąży w przyrodzie w obiegu zamkniętym.**

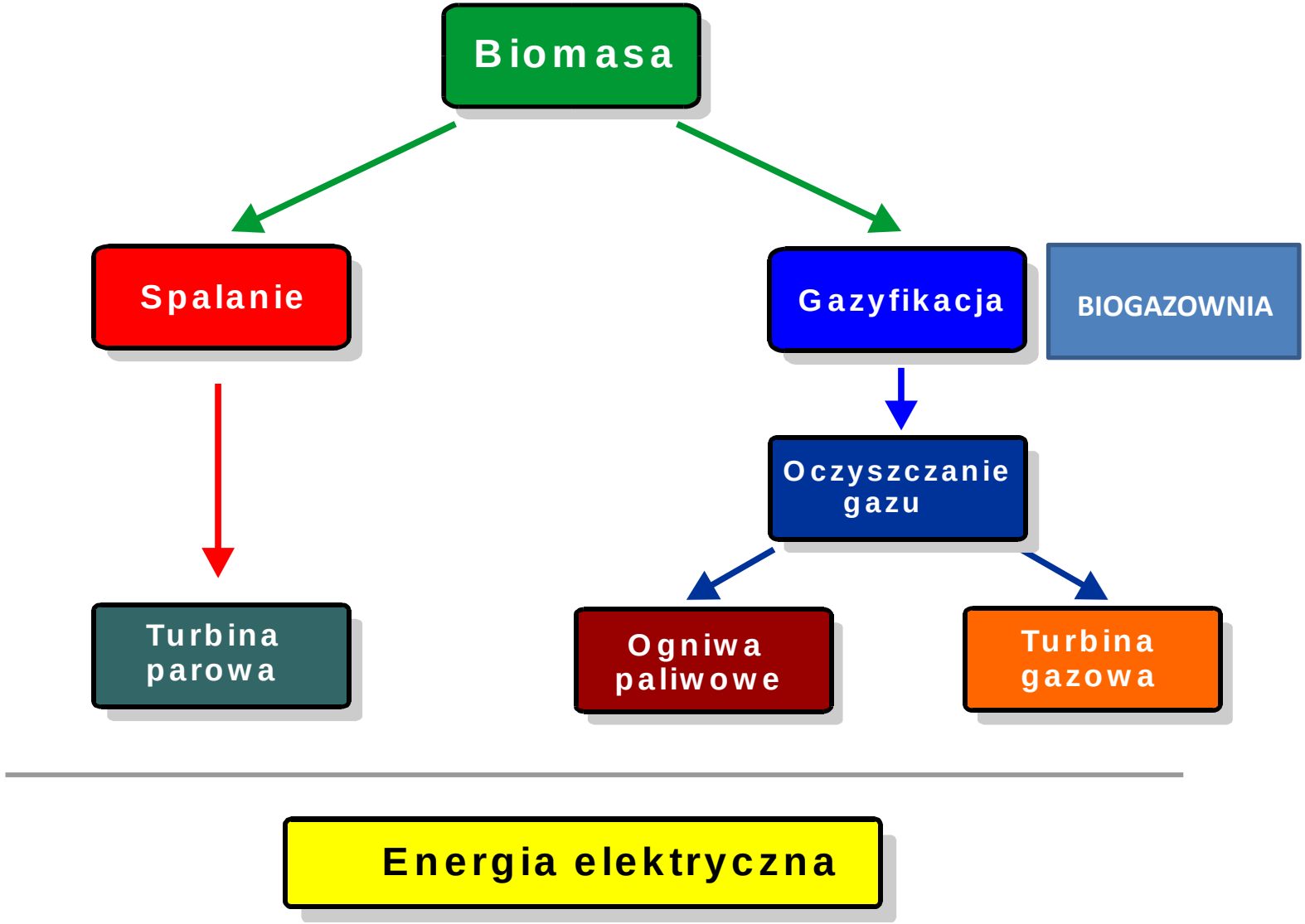
# DEFINICJA BIOMASY

**Substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także z przemysłu przetwarzającego ich produkty oraz inne części odpadów, które ulegają biodegradacji.**

(*Dz.U. nr 104, poz. 971 z 30.05.2003 r.*)

# Schemat energetycznego wykorzystania biomasy




Biomasa
Spalanie
Gazyfikacja
BIOGAZOWNIA
Oczyszczanie gazu
Turbina parowa
Ogniwa paliwowe
Turbina gazowa
Energia elektryczna

**Biomasa Video:**

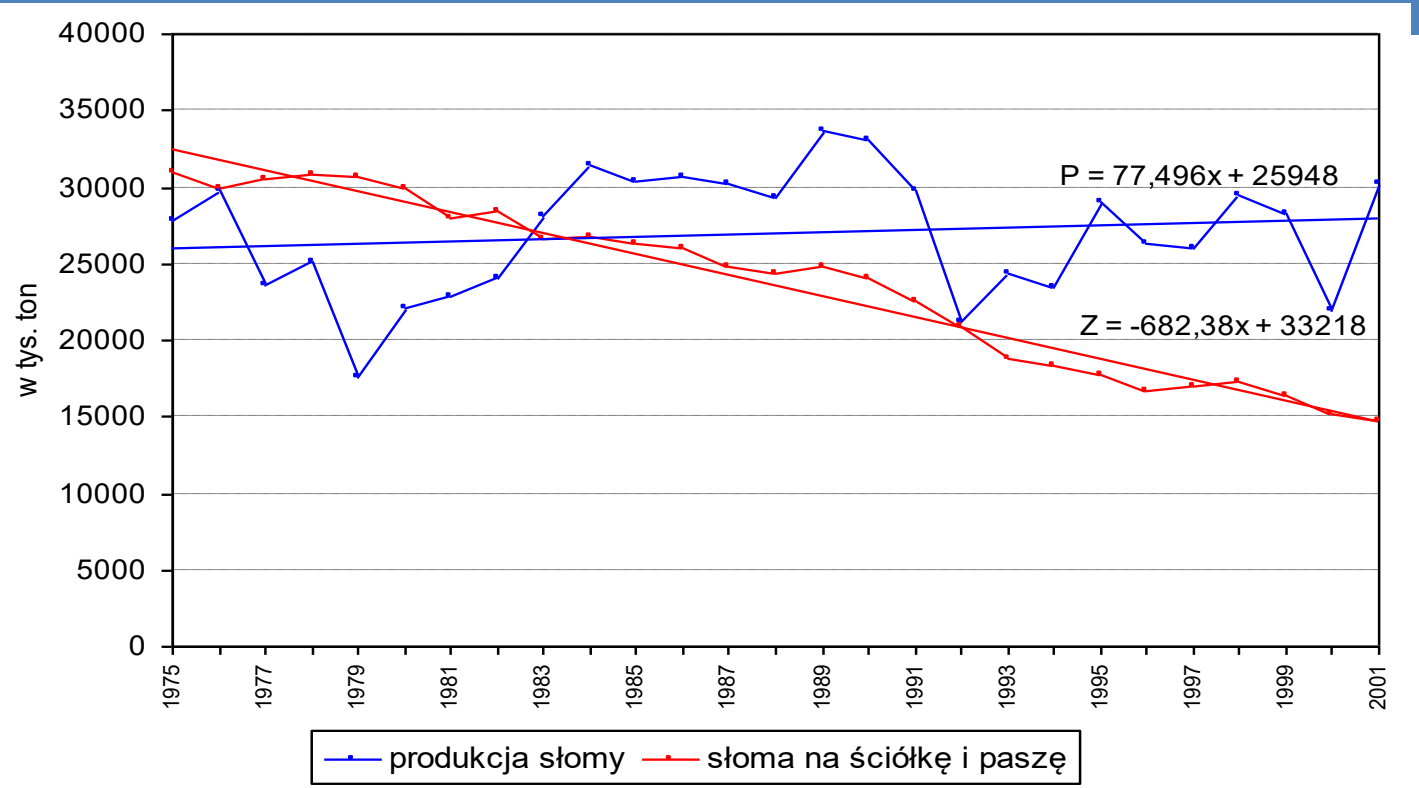
https://www.youtube.com/watch?v=E9aJdRbKijk

## Bilans drewna odpadowego w Polsce

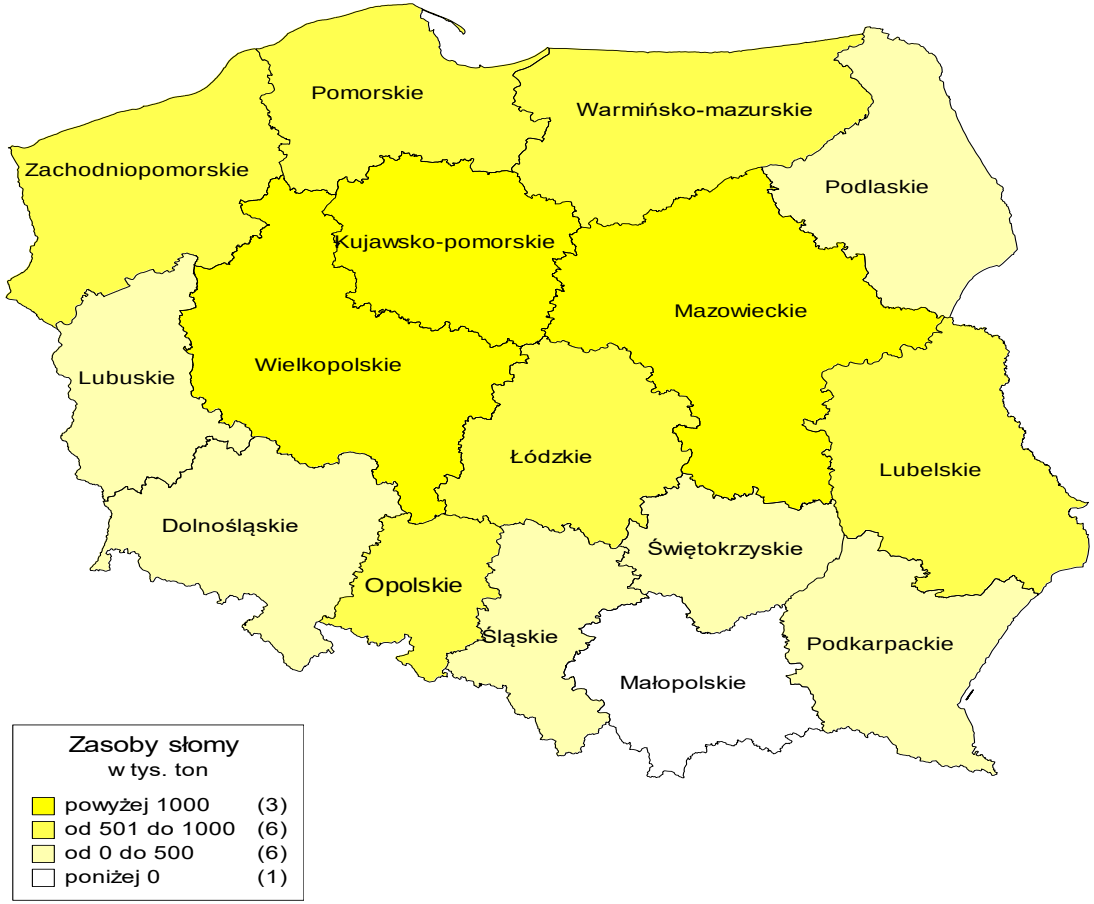
| Typ | Ilość zasobów, $m^3/a$ | Energia, PJ/a |
|---|---|---|
| Odpady leśne | $3.8 \times 10^6$ | 22 |
| Odpady z przemysłu drzewnego | $9.0 \times 10^6$ | 52 |
| Miejskie odpady drewniane | $5.5 \times 10^6$ | 32 |
| razem | $18.3 \times 10^6$ | 106 |

# BILANS SŁOMY W POLSCE - (w tyś. m3 )

| LATA | PRODUKCJA SŁOMY | Wykorzystanie słomy do celów gospodarczych | Słoma do produkcji energii |
|---|---|---|---|
| 2000 | 21962.0 | 15210.7 | 6751.3 |
| 2001 | 30186.0 | 14687.4 | 15498.6 |



# BILANS SŁOMY W POLSCE - (w tyś. m3 )



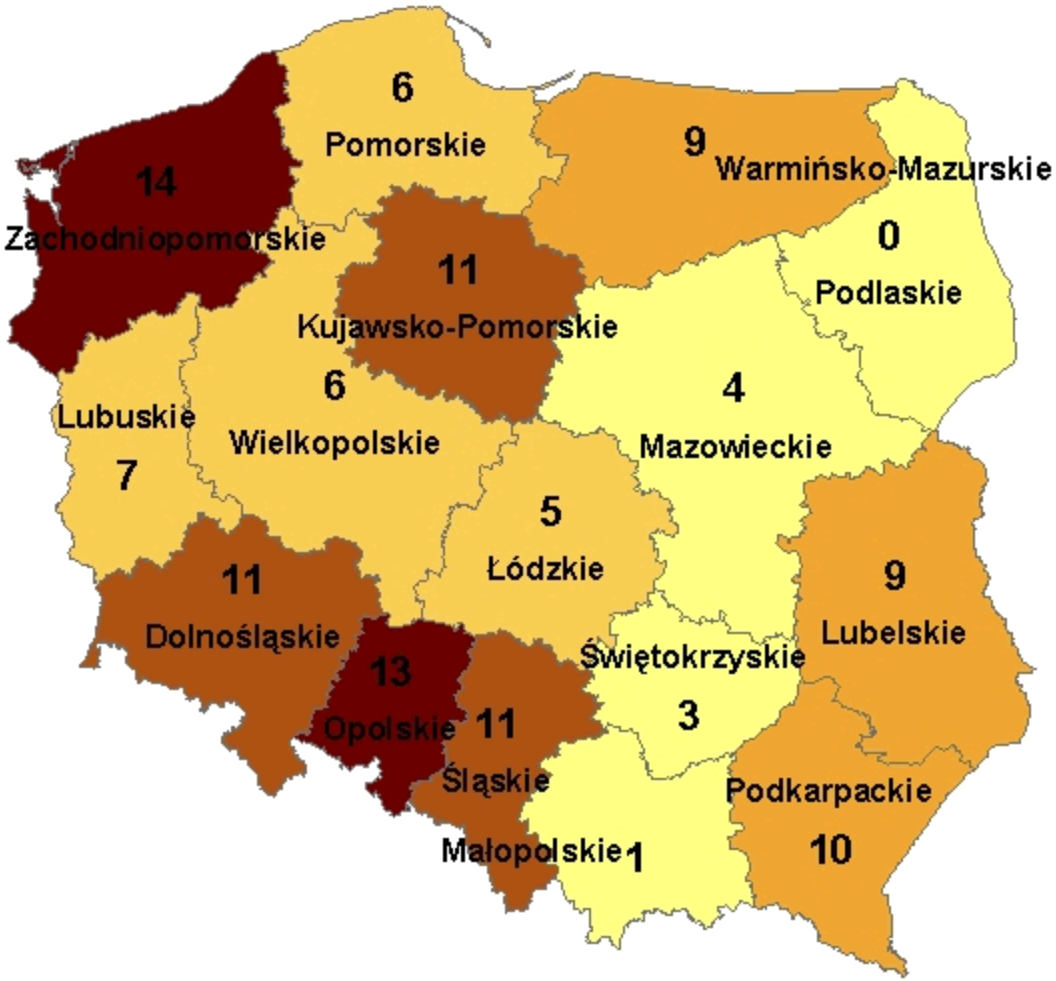
# Biomasa jako paliwo energetyczne-wykorzystanie

| Wykorzystanie biomasy jako paliwa w Polsce | obecnie | W latach 2020-2030 |
|---|---|---|
| Biomasa, PJ/a | 101.8 | 810 |
| *Drewno, Tg/a* (sucha masa) | 50 | 70 |
| Biomasa z rolnictwa, Tg/a (sucha masa) | 250 | 250 |
| Biomasa z przemysłu I ,miast, Tg/a (sucha masa) | 90 | 10 |
| Plantacje e nergetyczne, Tg/a (sucha masa) | 5 | 75-150 |

Teoretyczny i techniczny potencjał energetyczny drewna i słomy w Polsce [2]

| Rodzaj | Całkowita ilość [mln Mg] | Ilości możliwe do wykorzystania [mln Mg] | Potencjał techniczny [PJ] |
|---|---|---|---|
| Gospodarka leśna | 17,55 | 5,61 | 101,0 |
| Sadownictwo | 10,0 | 3,2 | 57,6 |
| Słoma zbóż | 21,5 | 8,9 | 147,0 |
| Słoma rzepakowa | 2,4 | 1,4 | 23,0 |
| Siano | 18,1 | 1,5 | 25,0 |
| Całkowity potencjał energetyczny odpadów drzewnych i rolniczych | | 20,61 | 353,6 |

# Wierzba energetyczna – wstępny ranking województw wg EC BREC




Analiza wielokryterialna metodą Capelanda oparta na 12 kryteriach, m.in.:

redukcji plonów upraw referencyjnych w okresach suchych,

średniej rocznej temperaturze,

udziale gleb średnich klas bonitacyjnych w areale uprawowym,

liczbie dużych farm,

udziale upraw zbożowych na danym obszarze,

wielkości produkcji ciepła sieciowego i jego ceny.

# Charakterystyka biomasy

Własności fizyko-chemiczne biopaliw zależą w dużym stopniu od ich składu chemicznego masy palnej i substancji mineralnej, zawartości części lotnych, popiołu i jego składu. Wielkości te decydują o doborze sposobu spalania pozwalającego na minimalną emisję i uniknięcie zagrożeń eksploatacyjnych (zanieczyszczenie powierzchni, szlakowanie, korozja wysokotemperaturowa).

Zawartość popiołu w energetycznie przydatnej słomie jest podobnego rzędu jak dla węgla kamiennego. Natomiast dla roślin energetycznych mieści się w zakresie 2-6%. Jedynie dla **odpadów drzewnych zawartość popiołu jest bardzo niska i wynosi poniżej 1%.**

**Kaloryczność biomasy**, **w przeliczeniu na masę suchą, jest rzędu 15-20 MJ/kg (niestety często biomasa ma ponad 50% wilgoci, węgiel kamienny ok. 10%).**

**Zawartość azotu i siarki w biomasie jest niska, ale duża jest zawartość chloru**, szczególnie w przypadku słomy, co stwarza duże ryzyko występowania korozji.

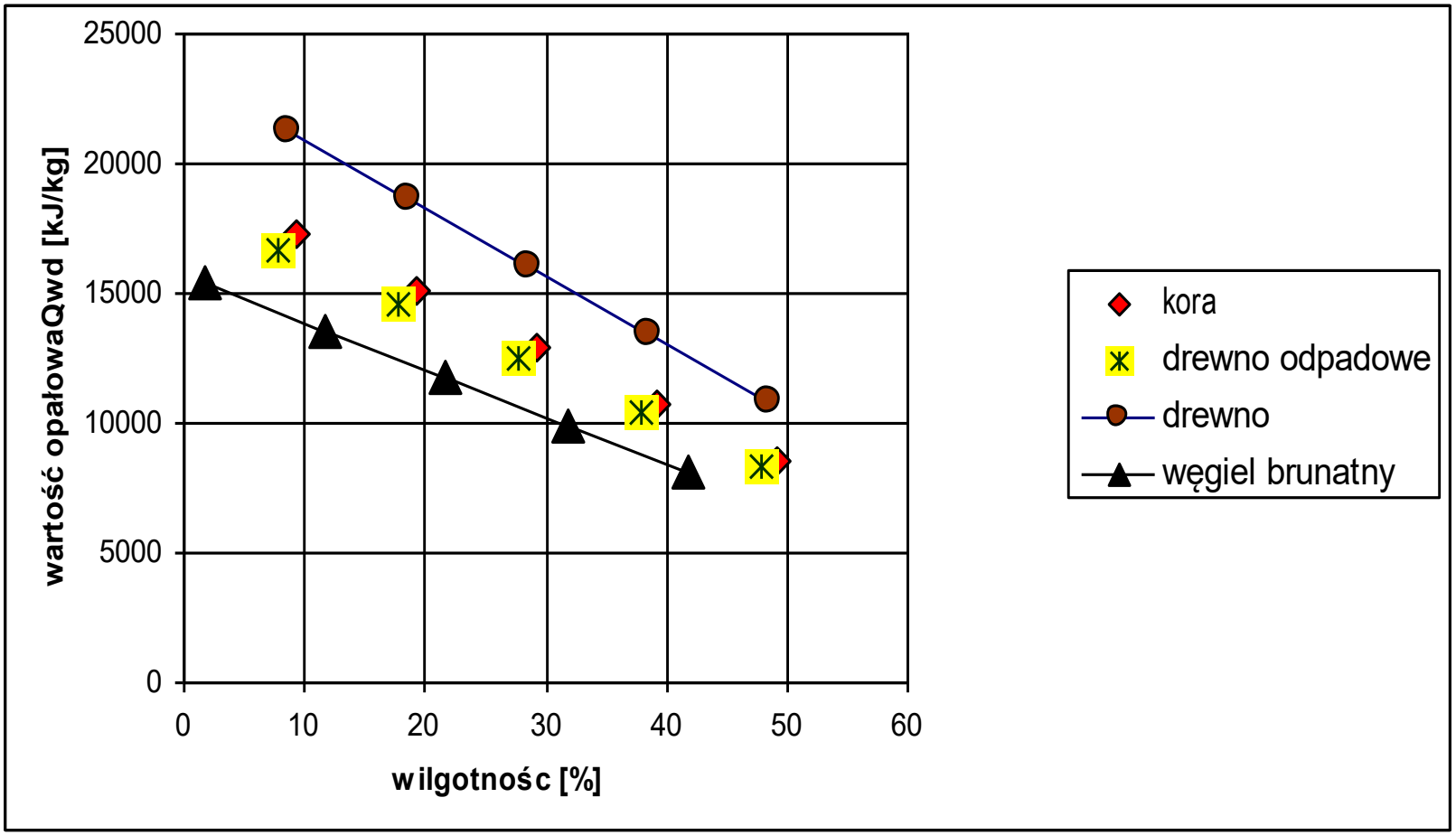
**Biomasa, w porównaniu z węglem, charakteryzuje się dużą zawartością części lotnych (ok. 70%).**

**Mała gęstość biomasy stanowi problem transportowy i magazynowy – 250 -360 kg/m3**

# Porównanie gęstości paliw

| Rodzaje paliwa | Gęstość, $kg/m^3$ |
|---|---|
| Węgiel brunatny | 920–965 |
| Węgiel kamienny | 1200–1350 |
| Drewno | 250–900 |
| Sloma | 50–250 |

# Zmiana wartości odpadowej biomasy



# Rodzaje biomasy

Pelety

Zrębki z wierzby

Słoma, kotłownia we Fromborku, moc 6,8 MW

Brykiety z miskanta cukrowego

https://www.youtube.com/watch?v=HwQyZ5DgKkw

# Wartość opałowa różnych gatunków drewna

| Rodzaj drewna | Gęstość | Wartość opałowa MJ/kg | |
|---|---|---|---|
| | kg/dm$^3$ | wilgotność 0% | wilgotność 15% |
| Brzoza | - | 20.111 | 16.730 |
| Buk | 0,70 | 20.100 | 16.710 |
| Dąb | 0,77 | 17.760 | 14.720 |
| Jesion | 0,71 | 18.420 | 15.280 |
| Lipa | - | 18.730 | 15.540 |
| Olcha | 0,52 | 17.970 | 14.900 |
| Topola | 0,45 | 17.920 | 14.850 |
| Sosna | 0,46 | 18.577 | 15.417 |
| Świerk | 0,38 | 19.163 | 15.915 |
| Wierzba | - | 19.360 | - |
| średnio | | 18.419 | 15.612 |

# Drewno surowcem energetycznym

## Zrębki

Rozdrobnione drewno

o długości 0,5 – 5 cm,

otrzymywane z: pnia,

gałęzi, pozostałości po wyrębach, odpadów tartacznych, plantacji szybko rosnących drzew (np. wierzby).

Wartość opałowa w zależności od wilgotności waha się od 6 do 16 MJ/kg (dla wilgotności odpowiednio 60 i 20%).

Gęstość nasypowa - 300 kg/$m^3$

## Brykiety

Paliwo w postaci

walcowatych brył o rozmiarach:

- długość 10-15 (30) cm,
- średnica 5-10 (12) cm.

Przeciętna wartość

opałowa 15-17 MJ/kg,

przy wilgotności 5-10%.

Gęstość nasypowa – 600 kg/$m^3$

# Pelety
# ekologiczny granulat paliwowy

- **Charakterystyka**

➢ **średnica 6-10 mm**

➢ **długość 5-30 mm**

➢ **wilgotność < 12%**

➢ **gęstość 1,0-1,4 t/m³**

➢ **popiół < 1,5%**

➢ **wartość grzewcza:**

**ca. 4.900 kcal/kg**

**(18,5 MJ/kg)**

**(5,0-5,5 kWh/kg)**

- **Skład chemiczny**

➢ **węgiel 53,6%**

➢ **woda 6,2%**

➢ **azot 0,1%**

➢ **związki S < 0,1%**

➢ **związki Cl < 0,1%**

➢ **tlen 40,1%**

# Pelety – korzyści z granulacji

- redukcja objętości (o 10-30x); mniejsze koszty składowania, magazynowania, transportu
- wzrost wartości energetycznej (powyżej 70% kaloryczności najlepszych gatunków węgla)
- podniesienie temperatury zapłonu (odporność granulatu na samozapłon)
- odporność granulatu na asymilację wilgoci
- automatyzacja kotłowni (jak gazowe lub olejowe)
- koszty eksploatacji 2x niższe niż kotłowni olejowych lub gazowych
- korzyści ekologiczne (zmniejszenie emisji S i $CO_2$)

# Pelety w liczbach
## (źródło: Wach 2006)

- 2 kg peletów zastępują 1 l oleju opałowego,
- 1,5 tony peletów zastępuje 1 t węgla,
- 1 $m^3$ drewna litego = 2,5 $m^3$ zrębków = 0,5 t peletów,
- Po spaleniu 1 t peletów pozostaje 10-20 g popiołu,
- Do ogrzania domu jednorodzinnego potrzeba ok. 5 t peletów rocznie

# Wartość opałowa słomy [GJ/m$^3$]

- słoma luźna: 0,25 - 0,58
- słoma pocięta: 0,47 - 0,68
- słoma sprasowana: 1,04 – 1,91
- brykiety ze słomy: 3,56 – 5,33
- zrębki drewna: 3,85 – 5,43
- szczapy drewna: 3,09 – 7,74
- brykiety z drewna: 9,11 – 12,38
- ziarno owsa: 6,92 – 10,38
- węgiel kamienny (orzech): 17,50 – 20,63

Źródło: Gradziuk 2006.

# Porównanie właściwości biomasy z węglem kamiennym
## (źródło: Serup i in. 2001, Kotowski 2003)

| Składnik | Słoma zbożowa | Zrębki drzewne | Pelety | Węgiel kamienny |
|---|---|---|---|---|
| Wilgotność % | 10-15 | 35-45 | < 8 | 12 |
| Popiół % s.m. | 4,8 | 1 | < 0,5 | 12 |
| Węgiel % s.m. | 47,4 | 50 | 53,6 | 59 |
| Tlen % s.m. | 40 | 43 | 40,1 | 7,3 |
| Chlor % s.m. | 0,4 | 0,02 | < 0,1 | 0,08 |
| Azot % s.m. | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 1 |
| Siarka % s.m. | 0.12 | 0,05 | < 0,1 | 0,8 |
| Wartość opałowa MJ/kg s.m. | 17,9 | 19,4 | 19,6 | 25 |

# Składowisko kory i drewna

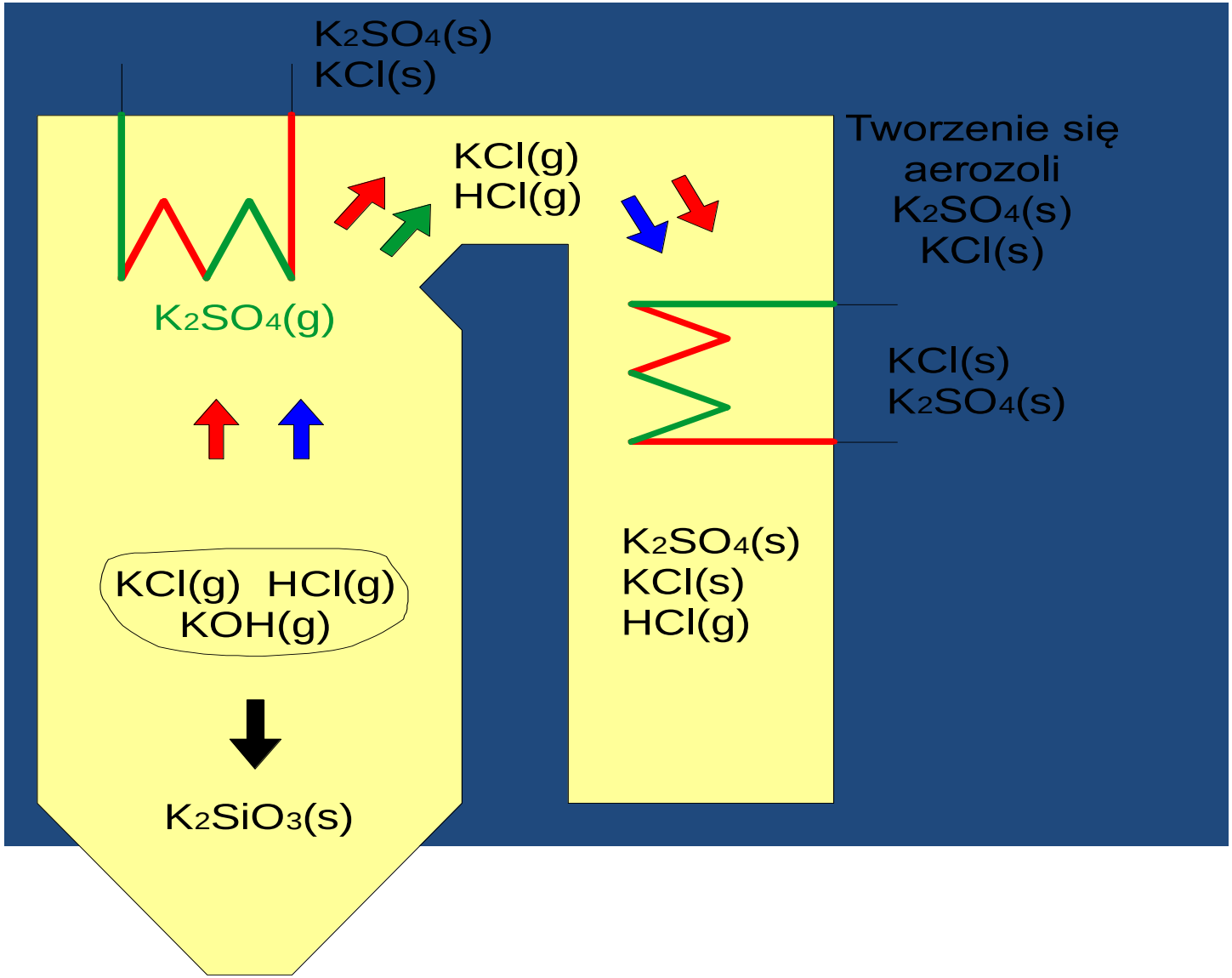
## Problemy związane z produkcja energii z biomasy

- niska gęstość i wilgotność stwarzają problemy ekonomiczne z transportem i magazynowaniem
- rozdrobnienie biomasy i doprowadzenie jej do kotłów lub gazogeneratorów
- zagrożenie zanieczyszczaniem się powierzchni i korozją wysokotemperaturową

# Zachowanie się substancji mineralnej

- Zasadniczy wpływ na zachowanie się substancji mineralnej przy spalaniu biomasy ma obecność metali alkalicznych sód, potas Ca oraz chloru i siarki.
- Sód i potas w wysokich temperaturach spalania, które występują w kotłach pyłowych odparowują, a w wyższych partiach kotła, wchodząc w reakcję z innymi składnikami spalin (proces ten nieco inaczej przebiega w złożu fluidalnym) tworzą związki niskotopliwe, które osadzają się na powierzchniach przegrzewaczy.
- Typ osadu, ich kształt i grubość zależy od stosunku siarki/chlor (S/Cl) w paliwie.
- Zaobserwowano trzy rodzaje osadów:
  - Submikronowe zeszklone, niejednorodne osady w kształcie półsfer, rozmieszczone na rurach. Głównym składnikiem tych osadów jest K2SO4, a w małej ilości występują Si, Ca, Mg. W przypadku spalania odpadów drzewnych spotyka się Na2SO4.
  - Zeszklone jednorodne osady rozmieszczone równolegle wzdłuż rur, które obserwuje się w szczególności przy spalaniu biomasy o małej zawartości siarki.
  - Osady niejednorodne w postaci sferycznej o stosunkowo dużych rozmiarach zawierające zazwyczaj cząstki kilkumikronowe. Te osady powstają w wyniku inertnego osadzania się cząstek.
- Dla trzeciego typu osadu niejasny jest obecnie mechanizm wiązania się z metalicznym podłożem, gdzie takim „składnikiem” wiążącym osad z metalem jest K2SO4, który otacza popiół lotny.

# Zachowanie się potasu i chloru w kotle



# Osady korozja

**Without ChlorOut; chloride content 25%, growth rate 21g/m²/h**

*Fuel 50% logging residues/ 50% demolition waste. 12 hours exposure with a ring temperature of 500°C.*

**With ChlorOut; chloride content <0,2% growth rate 6g/m²/h**

*Deposit probe rings from a BFB boiler in Nyköping with and without ChlorOut respectively. As can be seen from the photograph the amount of deposit growth is reduced from 21 to 6 g/m2/h with ChlorOut.*

## Wykorzystanie biomasy w różnych systemach energetycznych

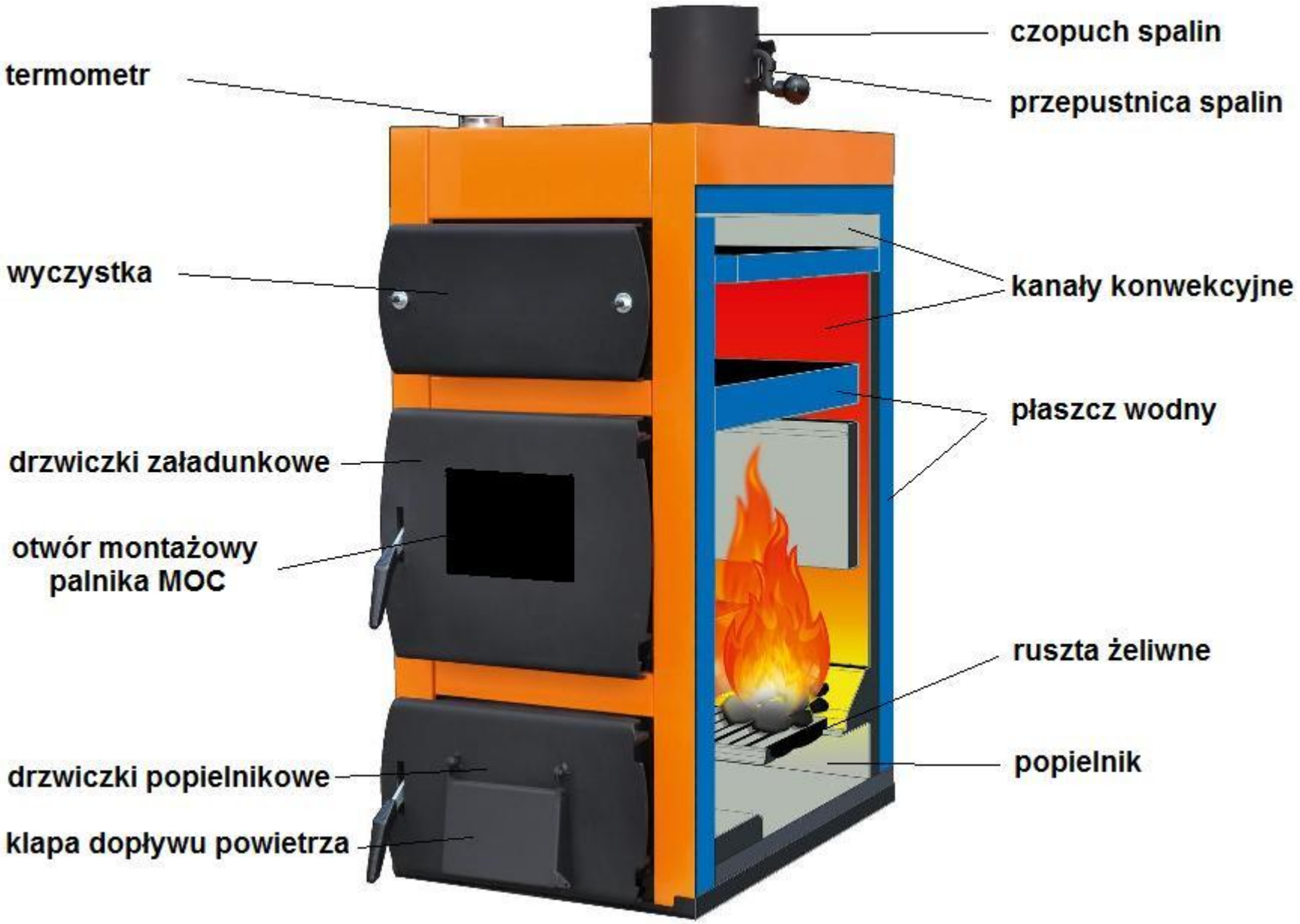
- Domowe Systemy Grzewcze (< 15 $kW_{th}$)

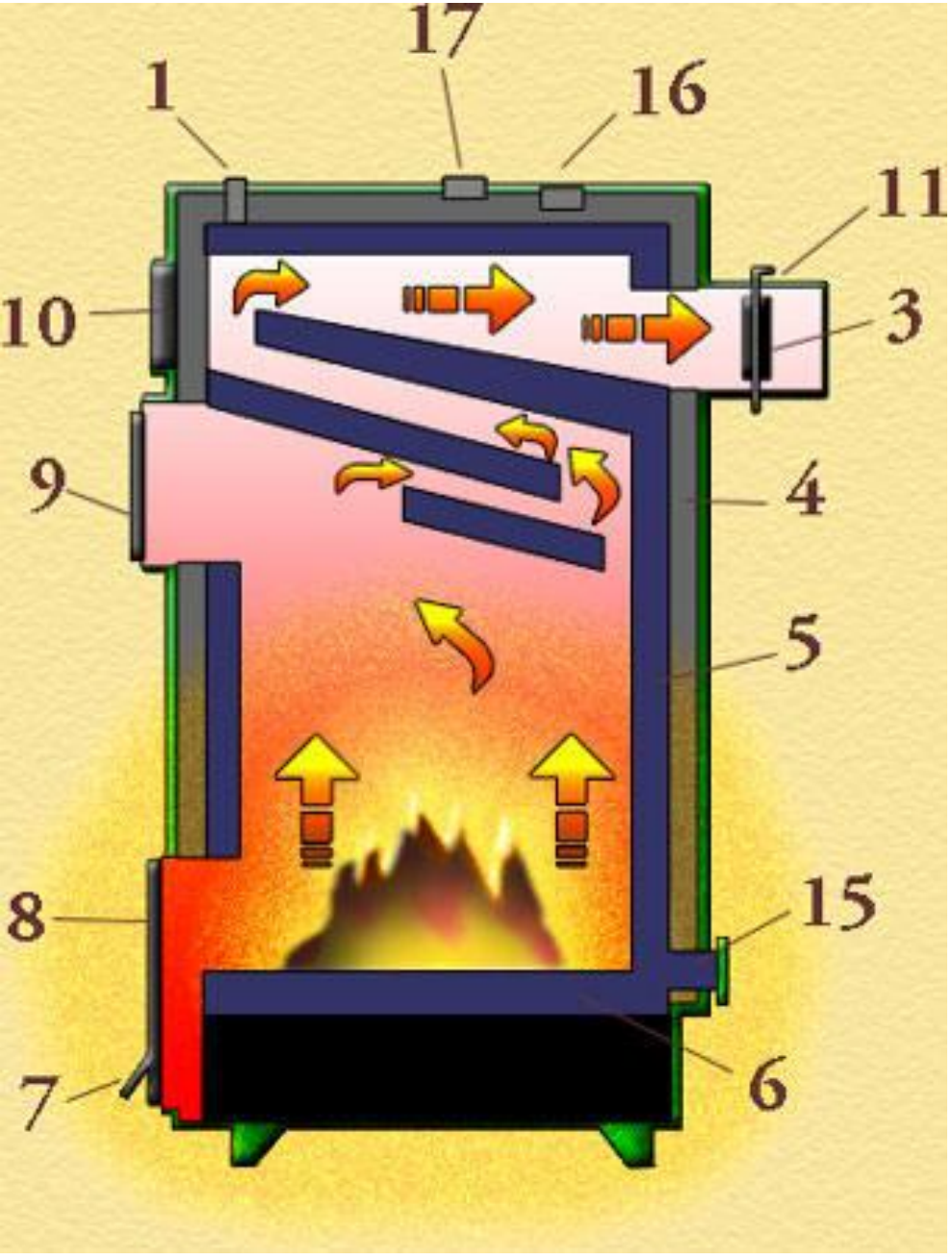
- Małe Systemy Grzewcze (15 - 150 $kW_{th}$ )

- Średnie systemy grzewcze(150 $kW_{th}$ - 5 $MW_{th}$)
  **=> produkcja energii w rozproszonych układach energetycznych**
- Duże Elektrownie (5 - 3000 $MW_{th}$)
  **=> produkcja energii**
  **=> wskazane spalanie i współspalanie biomasy**

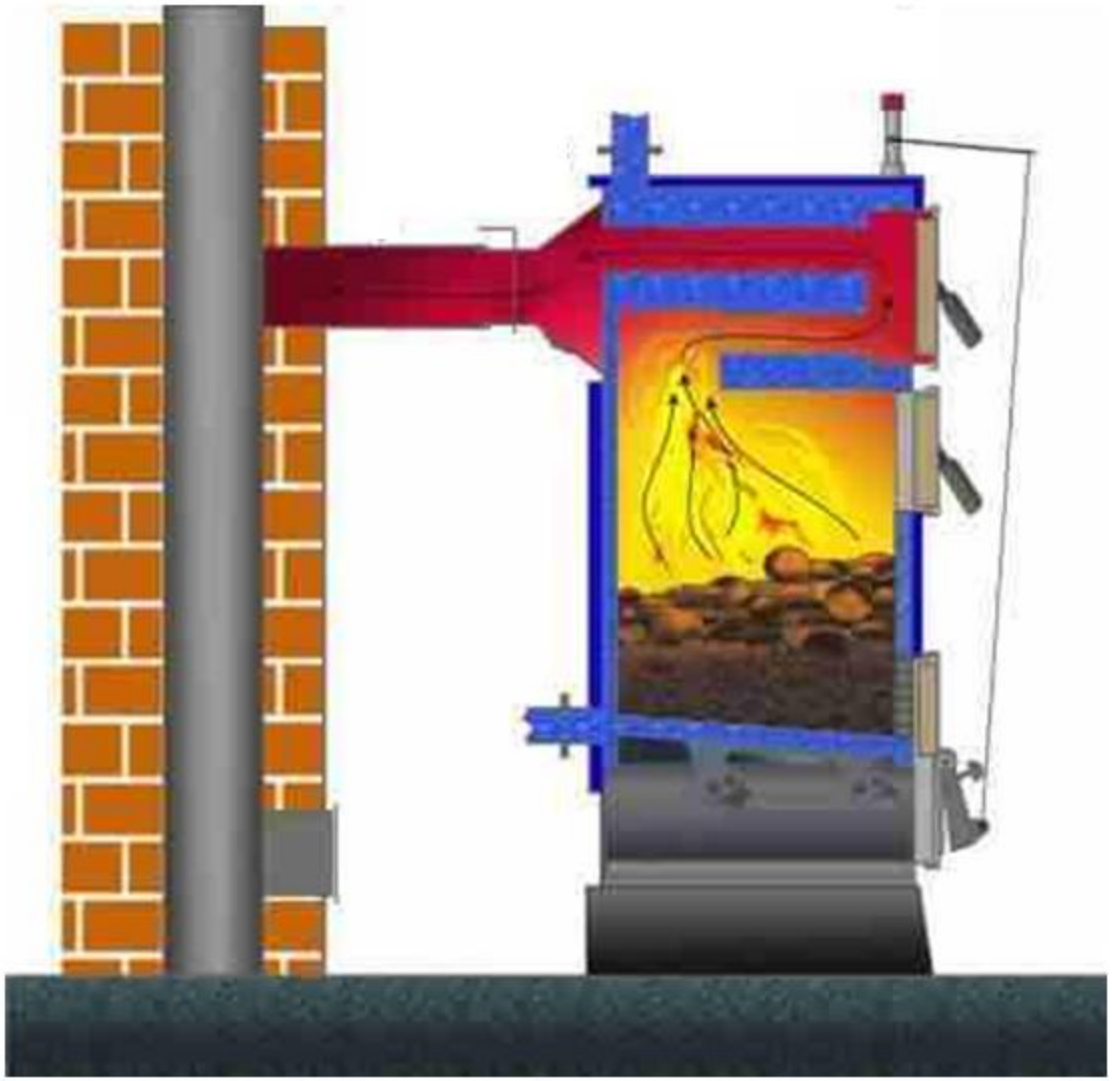
# Współczesne kotły węglowe dla ogrzewnictwa indywidualnego

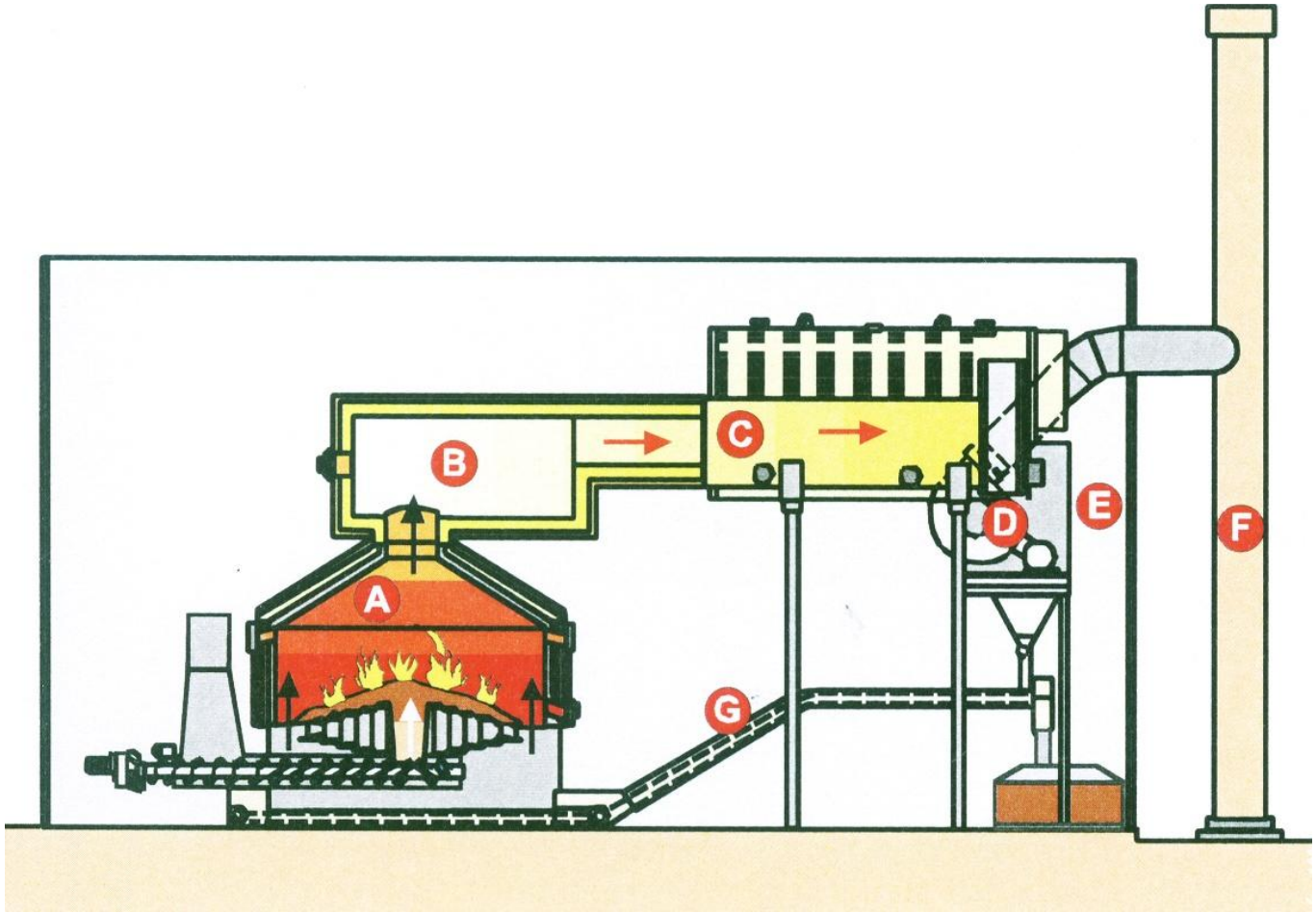
Kocioł węglowy z rusztem wodnym KELLER KWS 25 kW


czopuch spalin
termometr
przepustnica spalin
wyczystka
kanały konwekcyjne
płaszcz wodny
drzwiczki załadunkowe
otwór montażowy
palnika MOC
ruszta żeliwne
popielnik
drzwiczki popielnikowe
klapa dopływu powietrza




1. miejsce na regulator temperatury
2. termometr
3. przepustnica regulacji ciągu
4. izolacja cieplna
5. korpus kotła - płaszcz wodny
6. ruszt wodny
7. przepustnica powietrza pierwotnego
8. drzwiczki paleniskowo-popielnikowe
9. drzwiczki zasypowe
10. płyta wyczystki kanałów konwekcyjnych
11. czopuch kominowy
12. rączka dźwigni urządzenia do usuwania popiołu
13. przepustnica powietrza wtórnego
14. płaszcz osłonowy
15. króciec powrotny
16. króciec zasilający
17. zawór bezpieczeństwa






Kocioł z rusztem obrotowym A – pierwsza komora spalania z rusztem obrotowym, B – komora dopalania, C – płomienica kotła, D – wentylator spalin, E – filtr spalin, F – komin, G – układ transportu żużla i popiołu

# Kocioł wodny dla instalacji c.o.

- W kotle wodnym dla instalacji centralnego ogrzewania wyróżnia się trzy podstawowe układy:

1. **układ spalania** – zespół urządzeń zamieniających energię chemiczną zawartą w paliwie na ciepło;
2. **układ wymiany ciepła** – zespół urządzeń umożliwiających przekazanie uzyskanego ciepła czynnikowi pośredniemu (wodzie), transportującemu ciepło do ogrzewanych obiektów;
3. **układ sterowania** – zespół urządzeń umożliwiających racjonalne prowadzenie ruchu kotła.

- Podstawą podziału kotłów na charakterystyczne grupy stanowią rozwiązania konstrukcyjno-technologiczne układów spalania.

# Układy spalania w kotłach węglowych małej mocy

- oparte są na technice spalania w warstwie nieruchomej.
- Spalanie w warstwie nieruchomej, zwane także spalaniem **w złożu stałym**, określa się jako organizację procesu spalania charakteryzującą się tym, że ziarna paliwa pozostają względem siebie nieruchome lub przemieszczają się z niewielkimi prędkościami (wynikającymi na przykład z osuwania się złoża w miarę jego wypalania), natomiast powietrze dopływa do strefy spalania poprzez przestrzenie pomiędzy cząstkami paliwa.

# Kotły z układem spalania w warstwie nieruchomej można podzielić na:

- **kotły rusztowe komorowe** – paliwo spala się na ruszcie stałym, w dużej komorze spalania mieszczącej porcję paliwa wystarczającą na okres pracy kotła od kilku do kilkunastu godzin, z cyklicznym uzupełnianiem paliwa w komorze spalania (ręcznie lub mechanicznie),
- **kotły z palnikiem automatycznym** – paliwo spala się w sposób ciągły w małym palniku, zasilanym niewielkimi porcjami paliwa podawanymi automatycznie, z częstotliwością od kilku do kilkudziesięciu sekund, z zasobnika mieszczącego porcję paliwa wystarczającą nawet na kilka dni pracy kotła.

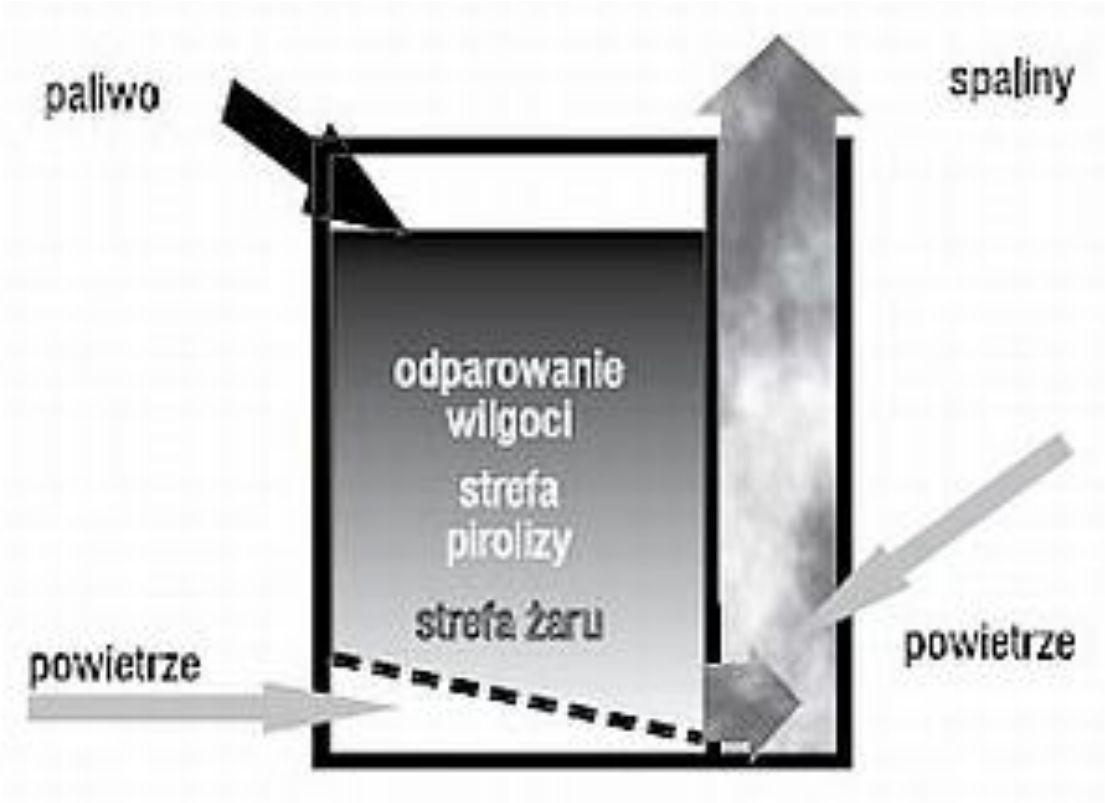
- Procesy spalania paliw stałych, w szczególności w warstwie nieruchomej, są dużo bardziej złożone od spalania paliw gazowych czy ciekłych. Komplikuje je różnorodność zjawisk fizykochemicznych zachodzących w fazie gazowej i stałej oraz na granicy faz, przy stosunkowo dużej rozpiętości uziarnienia paliwa.

- Procesy termicznego rozkładu substancji organicznej paliwa zachodzące z gwałtownym wydzielaniem par i gazów palnych (w ilości 30÷40% całkowitej masy paliwa w przypadku węgla kamiennego),
- reakcje redukcji – utleniania zachodzące na powierzchni ciała stałego (pierwiastka C), zjawiska związane z przepływem ciepła od gazu do ciała stałego i wewnątrz ciała stałego, a także wiele innych, przebiegają równocześnie w różnych strefach paleniska, w stosunkowo szerokich zakresach temperaturowych, przy czym charakterystyczne strefy paleniska (spalania, zgazowania i pirolizy) zachodzą na siebie, tworząc zróżnicowane dynamiczne układy w zależności od praktycznej organizacji procesu spalania.

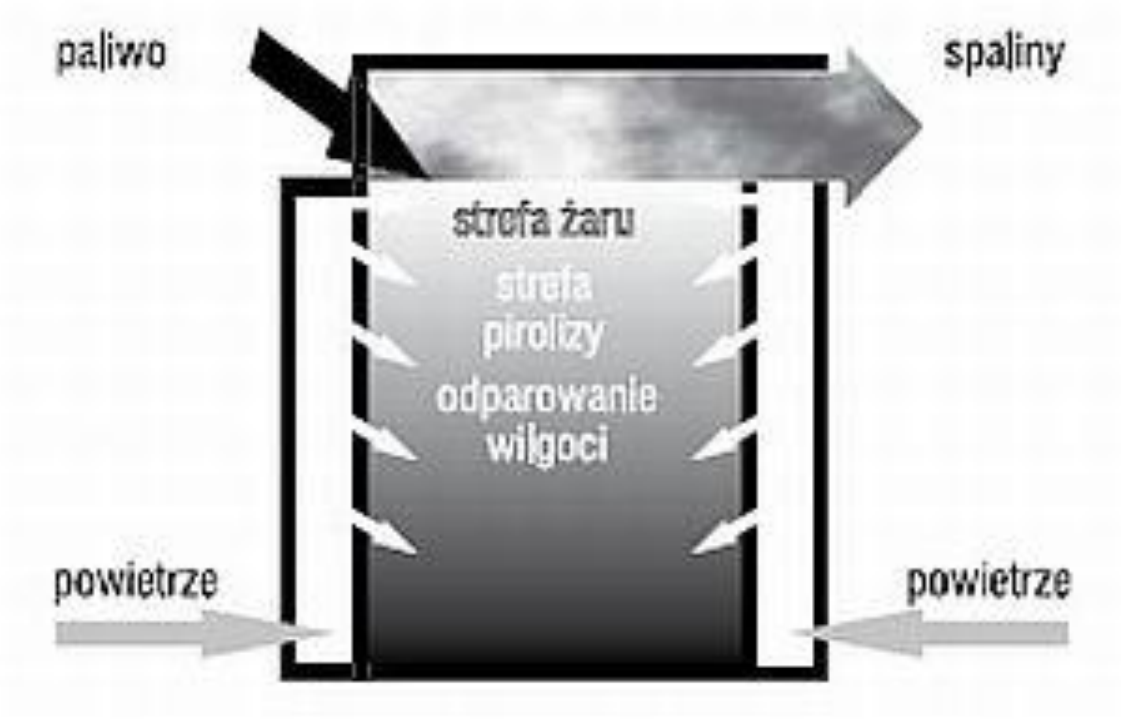
# Podziału kotłów zasilanych paliwem stałym

- Rodzaj przyjętej organizacji procesu spalania uznaje się za kryterium podziału kotłów zasilanych paliwem stałym na:
- **kotły ze spalaniem przeciwprądowym** – paliwo dostarczane jest z przeciwnej strony złoża w stosunku do dopływu powietrza,
- **kotły ze spalaniem współprądowym** – paliwo dostarczane jest z tej samej strony złoża co powietrze.

*Rys. 1. Schemat poglądowy kotła ze spalaniem przeciwprądowym (rys. J. Zawistowski)*




*Rys. 2. Schemat poglądowy kotła ze spalaniem współprądowym w dolnej części złoża*




*Rys. 3. Schemat poglądowy kotła ze spalaniem współprądowym w górnej części złoża*

- Konwencjonalne **komorowe kotły rusztowe** z okresowym podawaniem paliwa (zasilane paliwem grubokawałkowym o uziarnieniu powyżej 30 mm – z początku koksem, potem stopniowo coraz częściej węglem sortyment „orzech”), które jeszcze pod koniec XX w. dominowały w **małych instalacjach centralnego ogrzewania** w Polsce, są typowym przykładem techniki spalania przeciwprądowego.

- **W palenisku przeciwprądowym powietrze podawane jest przeciwnie do kierunku podawania paliwa (rys. 1.)**, od strony gorącej w kierunku st $+ O_2 = 2CO + Q$; $2CO + O_2 = 2CO_2 + Q$) przechodzą w kierunku zimniejszej części wsadu paliwa, podnosząc stopniowo temperaturę kolejnych warstw wsadu.

- Spaliny przechodzą kolejno przez **strefę zgazowania** (gdzie zachodzi endotermiczna reakcja redukcji: $CO_2 + C = 2CO - Q$),
- **strefę pirolizy** (gdzie zachodzą endotermiczne reakcje rozkładu termicznego organicznej substancji paliwa na związki węglowodorowe, zwane potocznie „substancjami smołowymi”, z równoczesnym spalaniem powstałych węglowodorów) oraz
- **strefę suszenia paliwa** (endotermiczne zjawisko parowania wody), co wiąże się ze stopniowym obniżeniem temperatury spalin.

- **Dla całkowitego spalenia unoszonych ze spalinami składników palnych** (tlenek węgla ze strefy zgazowania i związki węglowodorowe ze strefy pirolizy), oprócz potrzebnej ilości tlenu, niezbędne są: temperatura środowiska przekraczająca temperaturę zapłonu składnika palnego oraz odpowiednio długi czas kontaktu z tlenem.

- W warunkach **paleniska przeciwprądowego**, w wyniku stopniowego obniżania się temperatury spalin dochodzi w pewnym momencie do przerwania procesu spalania, zanim składniki palne ulegną całkowitemu spaleniu.
- Stężenia składników palnych w spalinach wylotowych są bardzo wysokie, co skutkuje niską sprawnością spalania oraz wysoką emisją szkodliwych zanieczyszczeń (związków węglowodorowych i tlenku węgla), szczególnie w okresach cyklicznego uzupełniania złoża zimnym paliwem.
- Kotły tego typu absolutnie nie powinny być stosowane do spalania paliw o wysokiej zawartości części lotnych, jak np. węgiel energetyczny.

- Obecnie, w świetle aktualnego stanu techniki w branży produkcji kotłów małej mocy, nie mają one racji bytu ze względu na niskie sprawności spalania i wysokie wskaźniki emisji szkodliwych zanieczyszczeń, w tym szczególnie związków rakotwórczych, chociaż znajdują jeszcze nabywców ze względu na niskie ceny.
- Ich miejsce zajmują komorowe kotły rusztowe z okresowym podawaniem paliwa (zasilane węglem grubokawałkowym o uziarnieniu powyżej 30 mm), w których stosuje się **technikę spalania współprądowego w dolnej części złoża (rys. 2.).**

- W paleniskach współprądowych powietrze podawane jest zgodnie z kierunkiem ruchu paliwa (rys. 2. i 3.), od strony zimnej w kierunku strony gorącej wsadu paliwa.
- Węglowodorowe produkty rozkładu termicznego paliwa ze strefy pirolizy muszą przejść przez strefę żaru, gdzie w warunkach najwyższej temperatury mają bardzo dobre warunki spalania.
- Para wodna ze strefy odparowania wilgoci również przechodzi przez strefę żaru, gdzie bierze udział w procesach zgazowania paliwa, wspomagając jego spalanie ($C + H_2O = CO + H_2 - Q$, a następnie $2CO + O_2 = 2CO_2 + Q$ oraz $2H_2 + O_2 = 2H_2O + Q$).

- Stężenia związków węglowodorowych i tlenku węgla w spalinach wylotowych są wielokrotnie niższe niż z palenisk przeciwprądowych, znacząco wyższe są również uzyskiwane sprawności spalania.
- Efektywność energetyczną i ekologiczną tych kotłów zwiększa się dodatkowo poprzez zastosowanie kontrolowanego podawania powietrza pierwotnego do komory spalania oraz powietrza wtórnego do spalin opuszczających strefę żaru (tam gdzie mają one najwyższą temperaturę).

- Specyficzną konstrukcję stanowią **kotły miałowe komorowe**, w których stosuje się **technikę spalania współprądowego w górnej części złoża (rys. 3.).**
- Duża komora spalania napełniana jest miałem węglowym, zaś powietrze doprowadzane jest do górnej warstwy paliwa poprzez system dysz, zapewniających odpowiedni dopływ powietrza w miarę obniżania się poziomu paliwa w komorze spalania.
- Spaliny odprowadzane są ze strefy żaru, zgodnie z zasadą spalania współprądowego.

- Wydajność cieplna kotła jest zmienna w czasie.
- Proces spalania prowadzi się do czasu wypalenia całej ilości paliwa, po czym kocioł wychładza się, aby umożliwić wygarnięcie powstałego popiołu.
- Następnie ponownie napełnia się komorę spalania i rozpala od góry, powtarzając cyklicznie ten sam proces.

- Zmienna w czasie wydajność cieplna kotła oraz okresowy przestój w wytwarzaniu ciepła wymagają stosowania w kotłowniach układów co najmniej 2-kotłowych z przesuniętym w czasie cyklem załadunku komory spalania lub instalowania odpowiednio dużych zbiorników akumulacyjnych.

- **Technikę spalania współprądowego stosuje się również w kotłach z palnikiem automatycznym (rys. 4.).**
- Zasilanie niewielkimi porcjami paliwa, podawanymi z częstotliwością od kilku do kilkudziesięciu sekund, sprzyja maksymalnemu wykorzystaniu zalet spalania współprądowego oraz możliwości nowoczesnych układów automatycznej regulacji. Od kilku lat obserwuje się dynamiczny wzrost produkcji i sprzedaży tych kotłów.

*Rys. 4. Schemat poglądowy palnika automatycznego*

- Poważną zaletę dla licznego grona użytkowników stanowi możliwość nawet kilkudniowej, praktycznie bezobsługowej, eksploatacji kotła dzięki automatycznemu zasilaniu z dużego zasobnika paliwa.

- **Kotły z automatycznymi palnikami węglowymi** pojawiły się w krajowym ogrzewnictwie w połowie lat 90. i bazowały w początkowym okresie na zagranicznych rozwiązaniach konstrukcyjnych (kotły z palnikiem retortowym zasilane węglem sortyment „groszek”).
- Od kilku lat na rynku obecne są również kotły z automatycznym palnikiem rusztowym zasilane węglem sortyment „miał” (z podajnikiem tłokowym lub ślimakowym).

- Ogromny sukces rynkowy tych kotłów, szczególnie **kotłów retortowych**, skutkuje obecnie tak wysokim wzrostem zużycia kwalifikowanego węgla sortyment „groszek”, że krajowy rynek paliw odnotowuje już wyraźny jego brak.
- W 2008 r. pojawiły się na rynku palniki retortowe drugiej generacji, które umożliwiają efektywne spalanie węgli spiekających i, tym samym, poważne rozszerzenie bazy kwalifikowanych węgli dla „małej energetyki”.

- **W tabeli 1. przedstawiono wyniki badań energetyczno-emisyjnych wybranych najlepszych kotłów węglowych** z omówionych powyżej typowych grup konstrukcyjnych (wyniki pochodzą z archiwum Laboratorium Spalania Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu).

| Typ kotła | Sprawność cieplna [%] | Wskaźniki emisji[1] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CO [mg/m³] | $NO_x$[2] [mg/m³] | pył [mg/m³] | TOC [mg/m³] | 16 WWA [mg/m³] | B(a)P [mg/m³] |
| kocioł rusztowy komorowy ze spalaniem przeciwprądowym; paliwo: węgiel energetyczny, sortyment „orzech" | 70 | 5500 | 220 | 190 | 170 | 15 | 150 |
| kocioł rusztowy komorowy ze spalaniem przeciwprądowym; paliwo: węgiel antracytowy lub koks, sortyment „orzech" | 80 | 2200 | 210 | 20 | 40 | 0,1 | 5 |
| kocioł rusztowy komorowy ze spalaniem współprądowym w dolnej części złoża; paliwo: węgiel energetyczny, sortyment „orzech" | 80 | 1000 | 260 | 30 | 60 | 0,3 | 15 |
| kocioł komorowy ze spalaniem współprądowym w górnej części złoża; paliwo: węgiel energetyczny, sortyment „miał" | 80 | 1200 | 200 | 65 | 80 | 0,3 | 15 |
| kocioł z automatycznym palnikiem retortowym; paliwo: węgiel energetyczny, sortyment „groszek" | 89 | 140 | 340 | 20 | 30 | 0,1 | 0,5 |
| kocioł z automatycznym palnikiem rusztowym; paliwo: węgiel energetyczny, sortyment „miał" | 87 | 210 | 280 | 80 | 30 | 0,1 | 5 |

[1] dopuszczalne ilości zanieczyszczeń w suchych gazach odlotowych w warunkach normalnych, przy zawartości tlenu 10%
[2] tlenki azotu w przeliczeniu na $NO_2$
TOC – całkowite zanieczyszczenia organiczne
WWA – wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, 16 WWA wg EPA
B(a)P – benzo(a)piren

*Tabela 1. Wyniki badań energetyczno-emisyjnych wybranych kotłów węglowych*

- Rozwój technologiczny węglowych kotłowni małej mocy w Polsce spowalniany jest brakiem uregulowań prawnych normujących graniczne poziomy sprawności cieplnej i wskaźników emisji zanieczyszczeń.
- Aktualnie obowiązujące w Polsce standardy emisyjne w zakresie wprowadzania gazów lub pyłów do powietrza, ustalone rozporządzeniem w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, dotyczą źródeł o nominalnej mocy cieplnej nie mniejszej niż 1,0 MW.

# Norma Europejska PN-EN 12809

- W obszarze kotłów małej mocy jedynym aktem obligatoryjnym jest norma europejska PN-EN 12809, która ma status normy zharmonizowanej z dyrektywami Unii Europejskiej (w myśl dyrektywy budowlanej kocioł o mocy do 50 kW traktowany jest jako wyrób budowlany).
- Norma PN-EN 12809 określa **klasy kotłów węglowych w oparciu o graniczne poziomy emisji tlenku węgla (CO), co przedstawiono w tabeli 2.** Określa ona również minimalne sprawności cieplne kotłów w zależności od ich mocy nominalnej na poziomie od 70% dla mocy 5 kW do 74% dla mocy 50 kW.

| Klasa | Sprawność cieplna | Graniczna emisja CO | |
|---|---|---|---|
| | [%] | przy 13% $O_2$ [%] | przeliczona na 10% $O_2$ [mg/m³] |
| 1 | 70÷74 | ≥ 0,3 | ≥ 5156 |
| 2 | 70÷74 | > 0,3 ≤ 0,8 | > 5156 ≤ 13750 |
| 3 | 70÷74 | > 0,8 ≤ 1,0 | > 13750 ≤ 17188 |

*Tabela 2. Graniczne wartości sprawności kotłów oraz emisji ze spalania węgla wg PN-EN 12809*

# Norma europejska PN-EN 303-5

- Norma europejska PN-EN 303-5 nie jest aktem obligatoryjnym (nie ma statusu normy zharmonizowanej).
- **W tabeli 3. przedstawiono graniczne wartości emisji zanieczyszczeń, a w tabeli 4. graniczne wartości sprawności cieplnej określone w normie PN-EN 303-5.**

| Nominalna moc cieplna [kW] | Graniczne wartości emisji [mg/m³] przy 10% $O_2$ [1] | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO | | | OGC [2] | | | pył | | |
| | klasa | | | klasa | | | klasa | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| załadunek ręczny | | | | | | | | | |
| do 50 | 25 000 | 8000 | 5000 | 2000 | 300 | 150 | 180 | 150 | 125 |
| > 50 do 150 | 12 500 | 5000 | 2500 | 1500 | 200 | 100 | 180 | 150 | 125 |
| >150 do 300 | 12 500 | 2000 | 1200 | 1500 | 200 | 100 | 180 | 150 | 125 |
| załadunek automatyczny | | | | | | | | | |
| do 50 | 15 000 | 5000 | 3000 | 1750 | 200 | 100 | 180 | 150 | 125 |
| > 50 do 150 | 12 500 | 4500 | 2500 | 1250 | 150 | 80 | 180 | 150 | 125 |
| >150 do 300 | 12 500 | 2000 | 1200 | 1250 | 150 | 80 | 180 | 150 | 125 |

[1] odniesiona do spalin suchych, 0°C, 1013 mbar

[2] udział niespalonych substancji organicznych w postaci gazowej wykazany jako węgiel organiczny związany (w spalinach suchych)

*Tabela 3. Graniczne wartości emisji ze spalania węgla wg PN-EN 303-5*

| Moc kotła [kW] | Sprawność cieplna [%] | | |
|---|---|---|---|
| | klasa 1 | klasa 2 | klasa 3 |
| 10 | 53 | 63 | 73 |
| 50 | 57 | 67 | 77 |
| 100 | 59 | 69 | 79 |
| 300 | 82 | 72 | 62 |

*Tabela 4. Graniczne wartości sprawności kotłów wg PN-EN 303-5*

# Skład paliw

| Rodzaj paliwa | Węgiel C [%] | Wodór H [%] | Tlen O [%] | Siarka+azot S + N [%] | Wartość opałowa [MJ/kg] | Części lotne $V^{daf}$ [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Biomasa | <50 | 6 | 43 | 0,3 | 14 - 19 | 70 - 80 |
| Torf | 56 - 62 | 5 - 6 | 32 - 38 | 0,5 | 21 - 24 | 62 - 70 |
| Węgiel brunatny | 58 - 78 | 4,5- 7,5 | 10 - 35 | 0,8 - 4 | 24 - 31 | 45 - 65 |
| Węgiel kamienny i antracyt | 75 - 96 | 1 - 6 | 1 - 18 | 0,8 - 2 | 32 - 35 | 1 - 45 |
| Ropa naftowa | ~89 | 8,4 | 2 | 0,6 | ~47 | - |
| Gaz ziemny | ~86 | 6,5 | 0,1 | 0,1 | ~48 | - |

Tabela 2

**Wyniki analiz biomasy jako paliwa uzyskane w laboratorium *Energopomiaru* w latach 1997 – 2005[1)]**

| Rodzaj paliwa | Wilgoć całkowita[2)] | Popiół[3)] | Wartość opałowa[2)] | Wartość opałowa[3)] | Siarka[2)] | Azot[2)] | Chlor[2)] | Fluor[2)] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | % | kJ/kg | kJ/kg | % | % | % | % |
| Brykiet drzewny | 7,6<br>3,8–14,1 | 3,7<br>0,3–28,7 | 16 755<br>15 212–19 742 | 18 428<br>16 962–20 357 | 0,08<br>0,01–0,21 | 0,12<br>0,08–0,19 | 0,091 | b.d. |
| Brykiet ze słomy | 9,7 | 5,2 | 15 231 | 17 131 | 0,14 | b.d. | b.d. | b.d. |
| Pelety | 7,7<br>3,6–12,0 | 1,8<br>1,2–3,2 | 16 880<br>16 512–17 281 | 18 670<br>17 830–19 579 | 0,10<br>0,02–0,23 | 0,12<br>0,11–1,13 | b.d. | b.d. |
| Trociny | 39,1–47,3 | 1,3 | 5 267 | 19 346 | 0,05–0,20 | b.d. | b.d. | b.d. |
| Kora drzewna | 38,4–48,1 | 3,9–14,7 | 7 947–11 796 | 17 588–20 674 | 0,06–0,07 | 0,28–0,33 | 0,02 | b.d. |
| Pył drzewny | 3,8–6,4 | 2,4–17,1 | 15 212–19 148 | 15 161–20 109 | 0,12–0,21 | b.d. | b.d. | 0,001–0,003 |
| Zrębki | 42,4 | 0,5 | 8 957 | 18 496 | 0,03 | 0,06 | b.d. | b.d. |
| Mączka mięsno-kostna | 2,7<br>1,6–4,3 | 26,8<br>23,8–31,5 | 17 485<br>16 529–19 049 | 18 039<br>17 340–19 388 | 0,48<br>0,39–0,57 | b.d. | b.d. | b.d. |
| Mieszanina biomasy z węglem brunatnym | 53,2–55,0 | 8,6–15,3 | 7 575–8 929 | 19 758–21 861 | 0,45–0,75 | 0,30–0,41 | 0,003 | 0,001 |
| Węgiel brunatny (przykładowy) | 53,1 | 17,3 | 9 155 | 22 276 | 0,78 | 0,24 | 0,007 | 0,002 |
| Osady ściekowe | 77,6<br>64,5–83,0 | 41,0<br>31,5–46,5 | 894<br>285–2 245 | 12 951<br>10 768–16 629 | 0,28<br>0,16–0,46 | b.d. | 0,024<br>0,017–0,036 | b.d. |

1) do czerwca; 2) w stanie roboczym; 3) w stanie suchym; b.d. – brak danych

# OBLICZENIA DLA KOTŁÓW

**WSTEPNE OBLICZENIA PALIWA**

$A := 3$ % - zawartosc części mineralnych w paliwiew stanie roboczym

$W := 15$ % - zawartosc wilgoci w paliwie w stanie roboczym

$C := 42$ $C = 42$ % - zawartosc wegla w paliwie w stanie roboczym

$H := 4.7$ $H = 4.7$ % - zawartosc wodoru w paliwie w stanie roboczym

$N := 0.4$ $N = 0.4$ % - zawartosc azotu w paliwie w stanie roboczym

$S := 0.1$ $S = 0.1$ % - zawartosc siarki paliwie w stanie roboczym

$O := 100 - W - A - C - H - N - S$

$O = 34.8$ % - zawartosc tlenu w paliwie w stanie roboczym

## 1.2 Formuła Mendelejewa - Wartosc opalowa

$$Q_w := 4.19\cdot[(81\cdot C + 246\cdot H) - 26\cdot(O - S) - 6\cdot W]\ \frac{kJ}{kg} \qquad Q_w = 14942\ \frac{kJ}{kg}$$

## 1.3 Obliczenia teoretycznego zapotrzebowania powietrza :

$$V_{pt} := [0.0889\cdot(C + 0.375\cdot S) + 0.265\cdot H - 0.0333\cdot O]\ \frac{m^3}{kg} \qquad V_{pt} = 3.824\ \frac{m^3}{kg}$$

## 1.4 Teoretyczna objętość spalin poszczególnych składników paliwa wynosi :

$\lambda$ - wspolczynnik nadmiaru powietrza

zalozenie nadmiaru powietrza

$\lambda_{KP} := 1.4 \quad \lambda_{WYL} := 1.4 \qquad \lambda := 1.4$

komora paleniskowa
wylotowy

Rzeczywiste zapotrzebowanie powietrza

$$V_{pt2lab} := V_{pt}\cdot\lambda = 5.353\ \frac{m^3}{kg}$$

- objętość azotu w spalinach

$$V_{N2}(\lambda) := 0.79 \cdot \lambda \cdot V_{pt} + 0.008 \cdot N \qquad V_{N2}(\lambda) = 4.232 \quad \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{N2paliwo} := 0.008 \cdot N \qquad V_{N2paliwo} = 3.2 \times 10^{-3} \quad \frac{m^3}{kg}$$

- objętość pary wodnej w spalinach

$$V_{H2O}(\lambda) := 0.112 \cdot H + 0.0124 \cdot W + 0.0161 \cdot \lambda \cdot V_{pt} \qquad V_{H2O}(\lambda) = 0.799 \quad \frac{m^3}{kg}$$

- objętość wolnego tlenu z nadmiaru powietrza

$$V_{O2}(\lambda) := 0.21 \cdot (\lambda - 1) \cdot V_{pt} \qquad V_{O2}(\lambda) = 0.321 \quad \frac{m^3}{kg}$$

- objętość suchych gazów trójatomowych w spalinach

$$V_{RO2} := 0.01866 \cdot (C + 0.375 \cdot S) \qquad V_{RO2} = 0.78 \quad \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{CO2} := 0.01866 \cdot C \qquad V_{CO2} = 0.784$$

$$V_{SO2} := 0.01866 \cdot 0.375 \cdot S \qquad V_{SO2} = 6.998 \times 10^{-4} \quad \frac{m^3}{kg}$$

- objętość spalin suchych

$$V_{sps}(\lambda) := V_{N2}(\lambda) + V_{RO2} + V_{O2}(\lambda) \qquad V_{sps}(\lambda) = 5.34 \quad \frac{m^3}{kg}$$

- objętość spalin mokrych

$$V_{spm}(\lambda) := V_{sps}(\lambda) + V_{H2O}(\lambda) \qquad V_{spm}(\lambda) = 6.14 \quad \frac{m^3}{kg}$$

- masa spalin przypadająca na jeden kg paliwa

$$G(\lambda) := 1 - \frac{A}{100} + 1.306 \cdot \lambda \cdot V_{pt} \qquad G(\lambda) = 7.961 \qquad \frac{kg(spalin)}{kg(paliwa)}$$

- udział pary wodnej i gazów trójatomowych w spalinach

$$r_{H2O}(\lambda) := \frac{V_{H2O}(\lambda)}{V_{spm}(\lambda)} \qquad r_{H2O}(\lambda) = 0.13$$

$$r_{RO2}(\lambda) := \frac{V_{RO2}}{V_{spm}(\lambda)} \qquad r_{RO2}(\lambda) = 0.128$$

## 2.1.Straty w kotle

### -strata promieniowania :

Przyjeto srednia strate promieniowania dla kotlow malej mocy

$S_p := 3.8$ %

Szara słoma

---

### -strata kominowa :

$t_{pz} := 20$ C — tamperatura powietrza zimnego

$t_{sp} := 130$ C — Temperatura spalin

$I_{sp}(\lambda, t) := I_{sp}(\lambda_{KP}, t_{sp})$

$I_{sp}(\lambda_{WYL}, t_{sp}) = 1107 \ \frac{kJ}{kg}$

$I_{pow}(t_{pz}) := CpAir(t_{pz}) \cdot t_{pz} \cdot V_{pt}$

$I_{pow}(t_{pz}) = 101 \ \frac{kJ}{kg}$

$$S_k := \frac{\left(I_{sp}(\lambda_{WYL}, t_{sp}) - I_{pow}(t_{pz})\right) \cdot 100}{Q_w}$$

$S_k = 6.73$ %

### - strata niecałkowitego spalania

$S_{nc} := 7$

- Strata w popiele (części stałe)

### - strata niezupełnego spalania

$S_{nz} := 0.8$

- Strata w spalinach(niedopalenie gazów palnych)

## 2.2.Sprawność kotła brutto

$$\eta_k := 100 - (S_k + S_{nc} + S_{nz} + S_p)$$

$\eta_k = 81.7$ %

## 3.1 Obliczeniowe zużycie paliwa

$Q_u := 100 \quad kW$ moc cieplna kotla Moc dla projektu

---

teoretyczne zuzycie paliwa

$$B := \frac{Q_u}{\eta_k \cdot Q_w} \qquad B = 0.000082 \quad \frac{kg}{s}$$

$$B_c := B \cdot 3600 = 0.295 \quad \frac{kg}{h}$$

$$Bt := \frac{B}{3.6} \qquad Bt = 0.000023 \quad \frac{t}{h}$$

rzeczywiste zuzycie paliwa

$$B_o := B \cdot \left(1 + \frac{S_{ncc}}{100}\right) \qquad B_o = 0.00009 \quad \frac{kg}{s}$$

$$B_{oh} := B_o \cdot 3600 = 0.318 \quad \frac{kg}{h}$$

$$B_{ot} := \frac{B_o}{3.6} \qquad B_{ot} = 0.000025 \quad \frac{t}{h}$$

Rzeczywiste zapotrzebowanie powietrza Względem zużycia paliwa B.oh

$$V_{pt2lab} := V_{pt} \cdot \lambda = 5.353$$

- objętość azotu w spalinach

$$V_{N2}(\lambda) := 0.79 \cdot \lambda \cdot V_{pt} + 0.008 \cdot N$$

$$V_{N2rz} := V_{N2}(\lambda) \cdot B_{oh} = 1.346 \quad \frac{m^3}{h}$$

Gęstość poszczególnych związków

$$\rho_{SO2} := 2.85816$$

$$\rho_{CO2} := 1.98 \qquad \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{NO2} := 2.05253$$

$$V_{N2rzpaliwo} := V_{N2paliwo} \cdot B_{oh} = 1.018 \times 10^{-3} \quad \frac{m^3}{h}$$

Emisja NOX

$$EV_{N2} := \rho_{NO2} \cdot V_{N2rzpaliwo} = 2.089 \times 10^{-3} \quad \frac{kg}{h}$$

- objętość pary wodnej w spalinach względem zużycia paliwa

$$V_{H2Orz} := V_{H2O}(\lambda) \cdot B_{oh} = 0.254 \quad \frac{m^3}{h}$$

- objętość wolnego tlenu z nadmiaru powietrza

$$V_{O2rz} := V_{O2}(\lambda) \cdot B_{oh} = 0.102 \quad \frac{m^3}{h}$$

- objętość suchych gazów trójatomowych w spalinach

$$V_{RO2rz} := V_{RO2} \cdot B_{oh} = 0.249 \quad \frac{m^3}{h}$$

$$V_{CO2rz} := V_{CO2} \cdot B_{oh} = 0.249 \quad \frac{m^3}{h}$$

Emisja

$$EV_{CO2} := \rho_{CO2} \cdot V_{CO2rz} = 0.494 \quad \frac{kg}{h}$$

$$V_{SO2rz} := V_{SO2} \cdot B_{oh} = 2.2254 \times 10^{-4} \quad \frac{m^3}{h}$$

Emisja SO2

$$EV_{SO2} := \rho_{SO2} \cdot V_{SO2rz} = 6.361 \times 10^{-4} \quad \frac{kg}{h}$$

- objętość spalin suchych

$$V_{spsrz} := V_{sps}(\lambda) \cdot B_{oh} = 1.698 \quad \frac{m^3}{h}$$

- objetość spalin mokrych

$$V_{spmrz} := V_{spm}(\lambda) \cdot B_{oh} = 1.952 \quad \frac{m^3}{h}$$

ILOŚĆ

$$Il_{CO2} := \frac{V_{CO2rz} \cdot \rho_{CO2}}{V_{spsrz}} = 0.291 \quad \frac{kg}{m^3}$$

$$Il_{NO2} := \frac{V_{N2rzpaliwo} \cdot \rho_{NO2}}{V_{spsrz}} = 1.23 \times 10^{-3} \quad \frac{kg}{m^3}$$

$$Il_{SO2} := \frac{V_{SO2rz} \cdot \rho_{SO2}}{V_{spsrz}} = 3.747 \times 10^{-4} \quad \frac{kg}{m^3}$$

Zawartość tlenu w spalinach

$$O_2 := \frac{V_{O2rz} \cdot 100}{V_{spsrz}} = 6.017$$

Spółczynnik zawartości tlenu w spalinach

$$W_{sO2} := \frac{21 - 6}{21 - O_2} = 1.001 \quad \text{ok}$$

Masa molowa poszczególnych substancji:

$$M_{CO2} := 12 + 32 = 44$$

$$M_{NO2} := 14 + 32 = 46$$

$$M_{SO2} := 32 + 32 = 64$$

Przeliczenie na stężenia na ppm

$$St_{CO2ppm} := \frac{Il_{CO2} \cdot 1000000 \cdot 22.4}{M_{CO2}} \cdot W_{sO2} = 148166 \qquad ppm$$

$$St_{NO2ppm} := \frac{Il_{NO2} \cdot 1000000 \cdot 22.4}{M_{NO2}} \cdot W_{sO2} = 600 \qquad ppm$$

$$St_{SO2ppm} := \frac{Il_{SO2} \cdot 1000000 \cdot 22.4}{M_{SO2}} \cdot W_{sO2} = 131 \qquad ppm$$

Obliczone stężenia są wartościami maksymalnymi! Nie uwzględniające żadnego typu redukcji zanieczyszczeń.

## 3.2 Wspólczynnik zachowania ciepla

$$\phi := 1 - \frac{S_p}{\eta_k + S_p}$$ $\phi = 0.96$

## 4.1 Obliczenia konstrukcyjne komory paleniskowej

## 4.2 Objętość KP

$q_r := 115 \ \frac{kW}{m^2}$ obciazenie rusztu dla słomy szarej

---

$$R_f := B_o \cdot \frac{Q_w \cdot 100}{q_r}$$ $R_f = 1.148 \quad m^2$

$$V_{kom} := \frac{B_o \cdot Q_w \cdot 100}{q_r}$$ $V_{kom} = 1.148 \quad m^3$

## 4.3 Wysokość KP

$$H_{kom} := \frac{V_{kom}}{R_f}$$ $H_{kom} = 1 \quad m$

## 4.4 Wymiary ścian KP

$$a := \sqrt{R_f}$$ $a = 1.07 \quad m$

## 4.5 Całkowita powierzchnia ścian KP

Powierzchnia jednej bocznej sciany kotla:

$F_{sc} := a \cdot H_{kom}$ $\qquad F_{sc} = 1.07 \quad m^2$

Powierzchnia okna wylotowego z komory paleniskowej:

$F_{okno} := \left(\frac{1}{2} a\right)^2$ $\qquad F_{okno} = 0.29 \quad m^2$

Powierzchnia sufitu kotla

$F_{wyl} := a^2 - F_{okno}$ $\qquad F_{wyl} = 0.86 \quad m^2$

Powierzchnia calkowita

$F_c := 4 \cdot F_{sc} + F_{wyl}$ $\qquad F_c = 5.15 \quad m^2$

# Obliczenia wymiennikow ciepla

$t_{sp} := 900$ C

$t_{w2} := 90$ C

$t_{w1} := 10$ C

$t_{wy1} := 130$ C

$Q := 100$ kW

$W_{sp} := 15 \quad \frac{m}{s}$ prędkość teoretyczna spalin od 10 do 15 m/s

$g := 0.005$ m

$d_w := 0.1$ m

$k := 40 \quad \frac{W}{m^2}$

Średnica zewnętrzna

$d_z := d_w + 2 \cdot g = 0.11$ m

Logarytmiczna różnica temperatur

$$\Delta T_{log} := \frac{(t_{sp} - t_{w2}) - (t_{wyl} - t_{w1})}{\ln\left[\frac{(t_{sp} - t_{w2})}{t_{wyl} - t_{w1}}\right]} = 361.343 \quad K$$

Powierzchnia całkowita wymiannika

$$X := \frac{1000 \cdot Q}{\Delta T_{log} \cdot k} = 6.919 \quad m^2$$

Długość całkowita wymiennikka

$$L := \frac{X}{3.14 \cdot d_z} = 20.031 \quad m$$

Ilość rur wymiennika przy maksymalnej możliwej długości 1 rury 2 m

$$a_r := 2 \quad m$$

$$n := \frac{L}{a_r} = 10.02 \quad sztuk$$

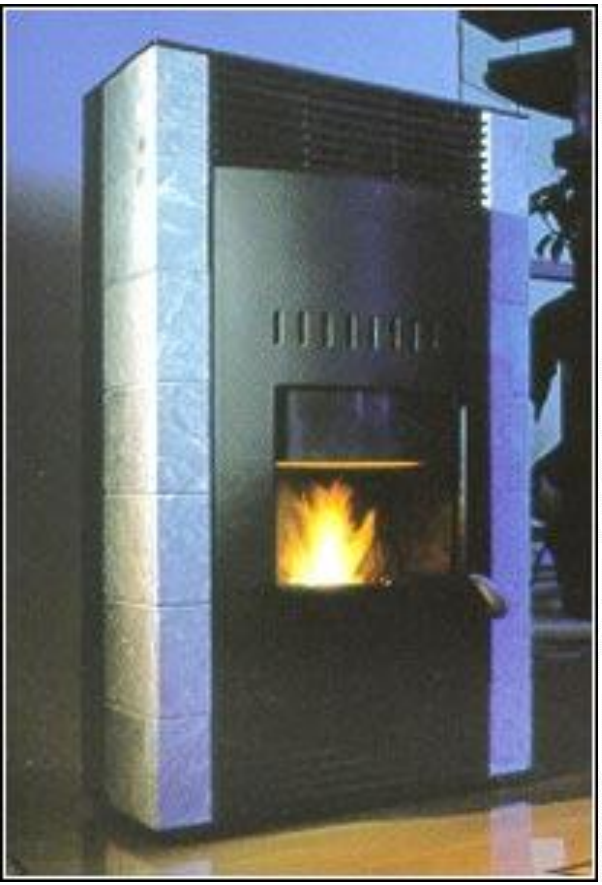
# KOTŁY NA BIOMASĘ VIESSMANN

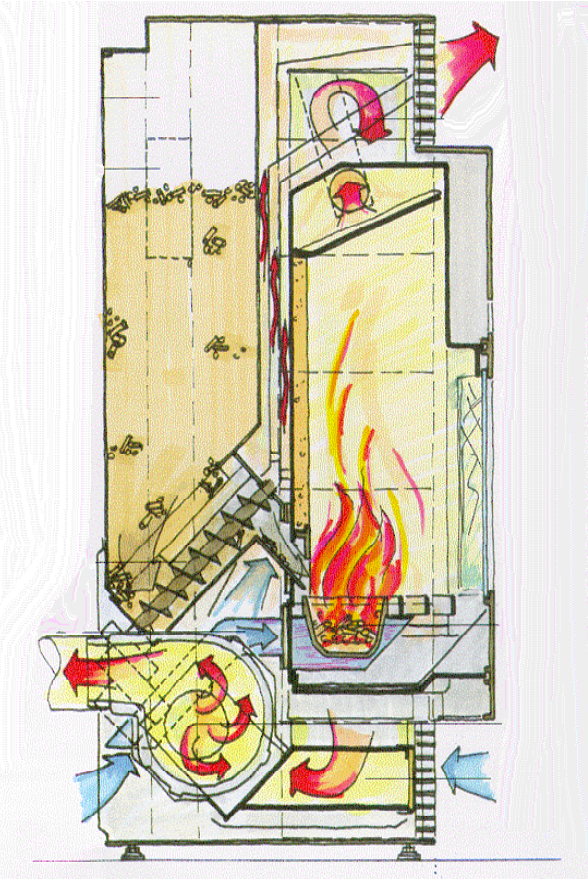
FILMY:
https://www.youtube.com/watch?v=TxD3QXNB7ws
https://www.youtube.com/watch?v=6NyU-uTk1og

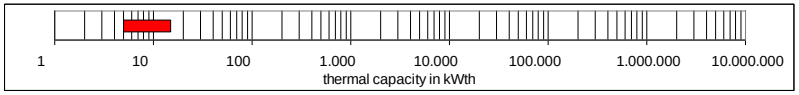
https://www.youtube.com/watch?v=NYZdie3bzzM

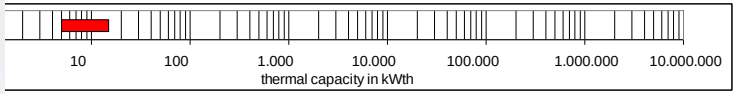
# Domowe piece grzewcze

Mały kocioł opalany peletami

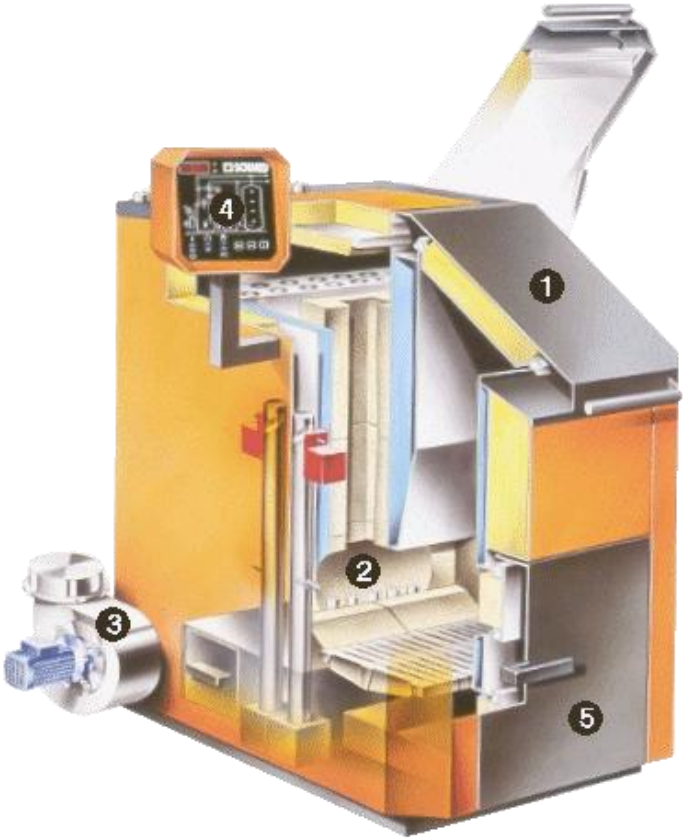


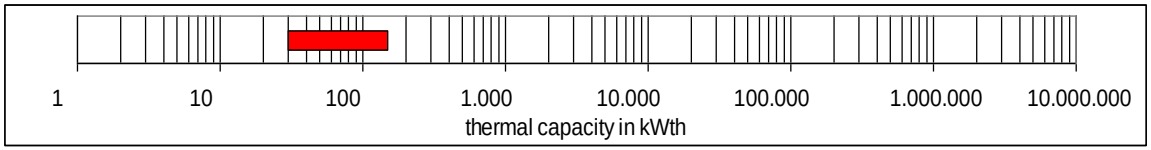




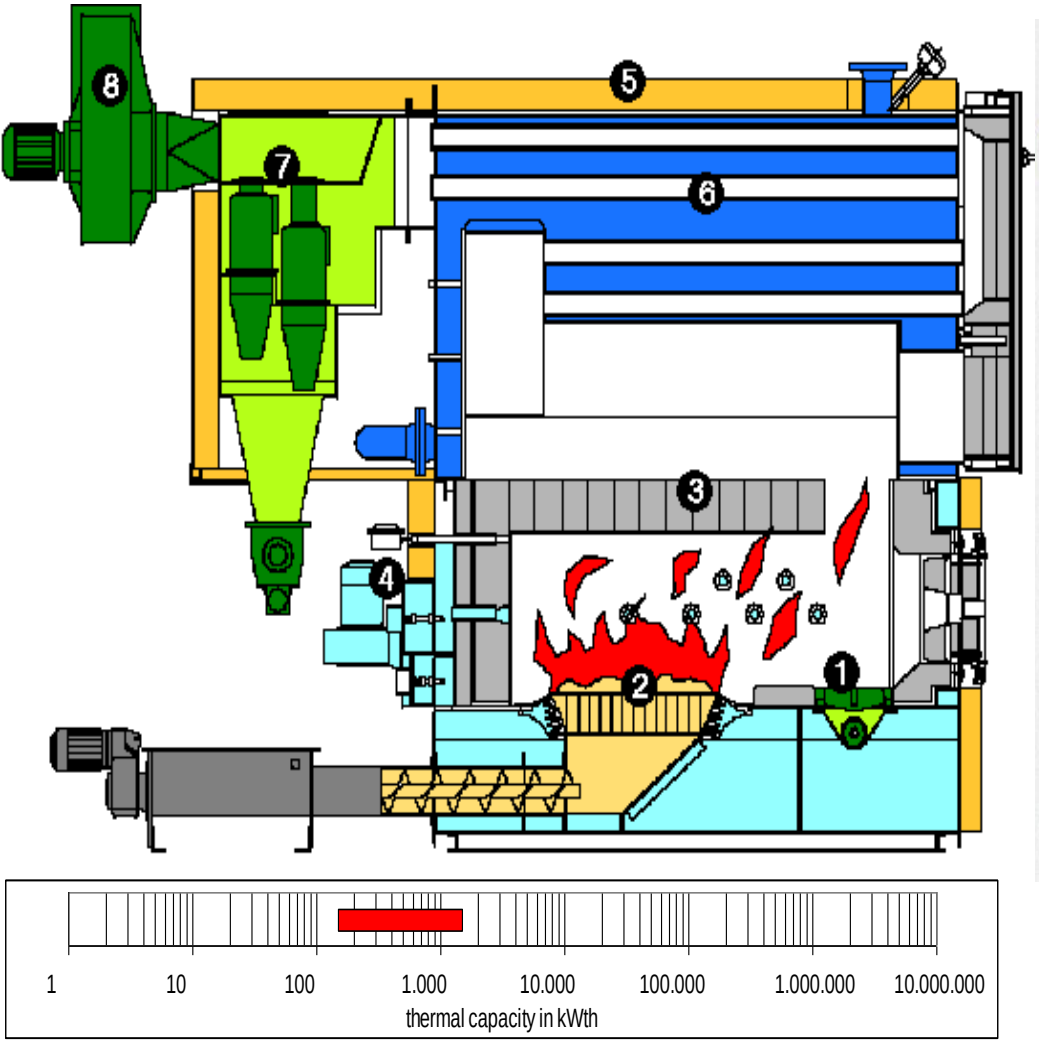


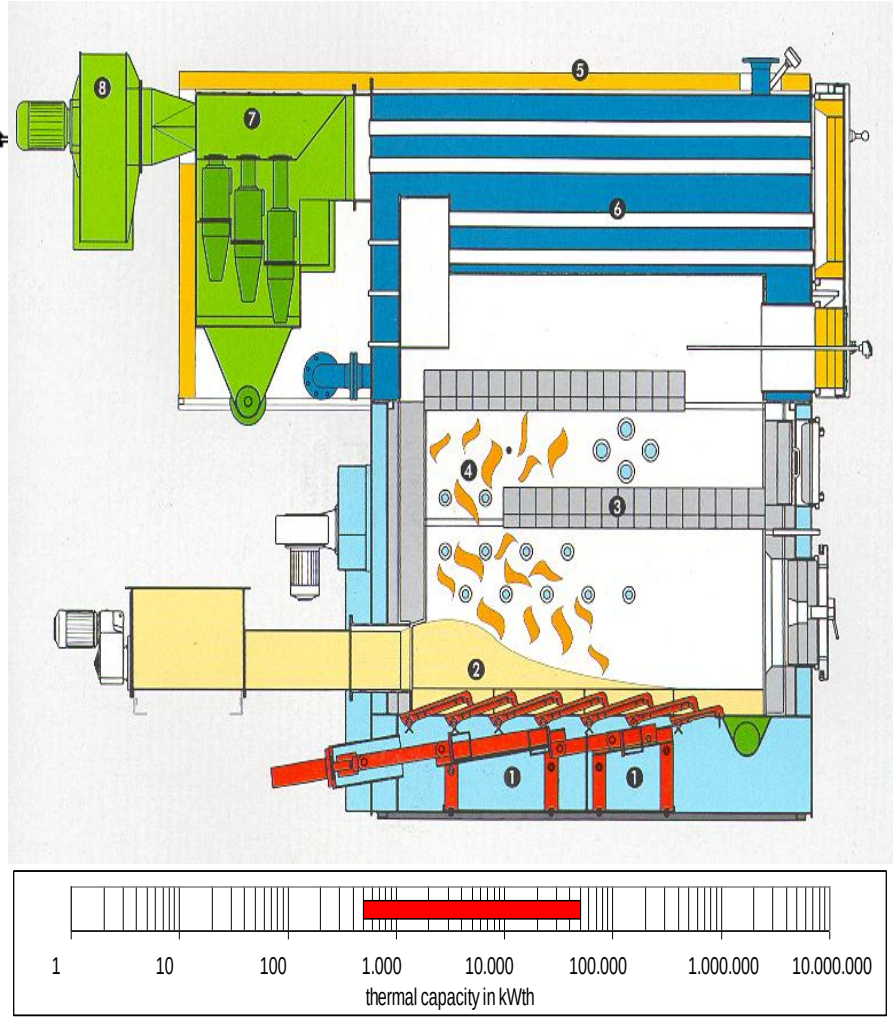
# Małe Systemy Grzewcze 15 - 150 kWth

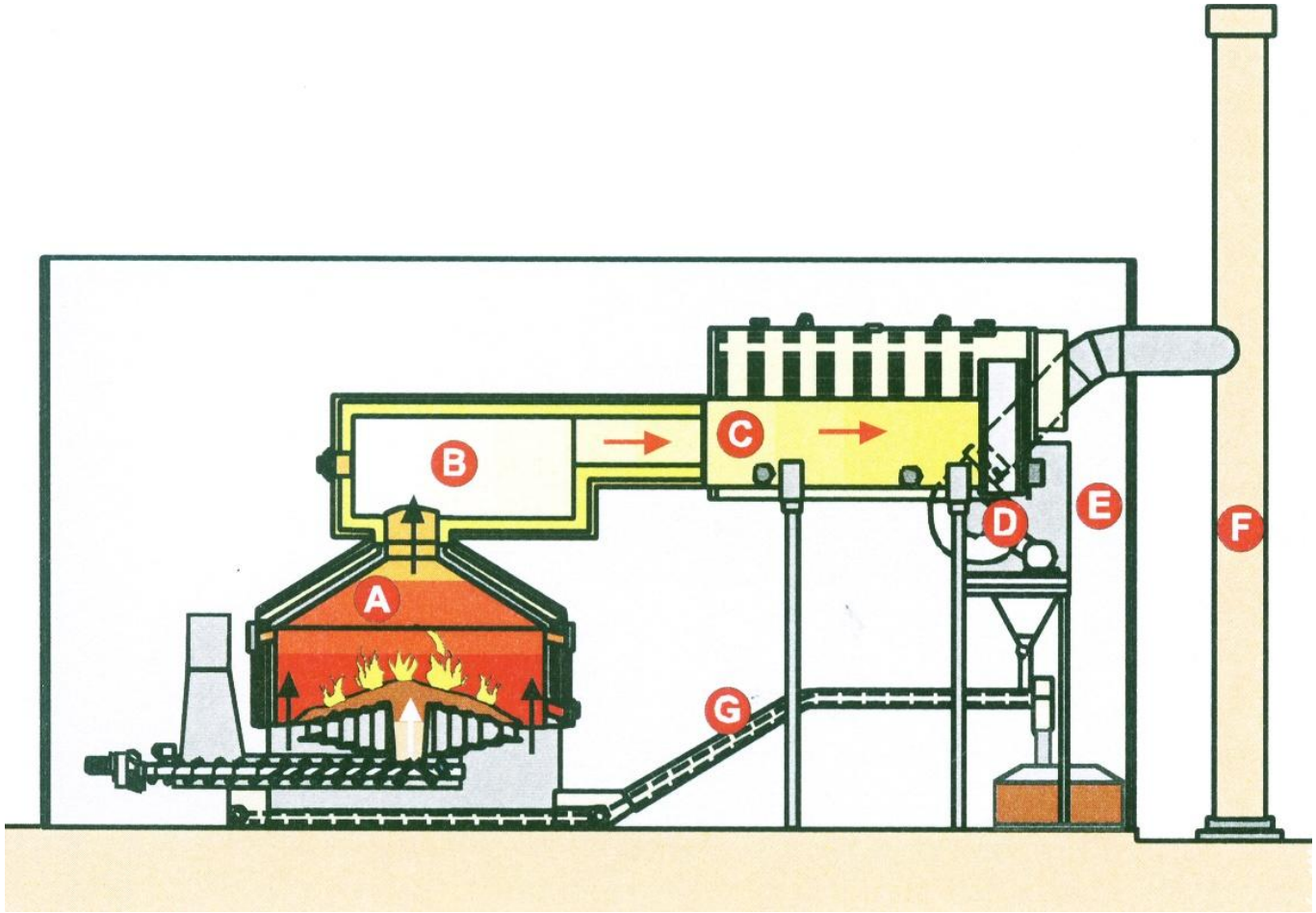




# Średnie Systemy grzewcze



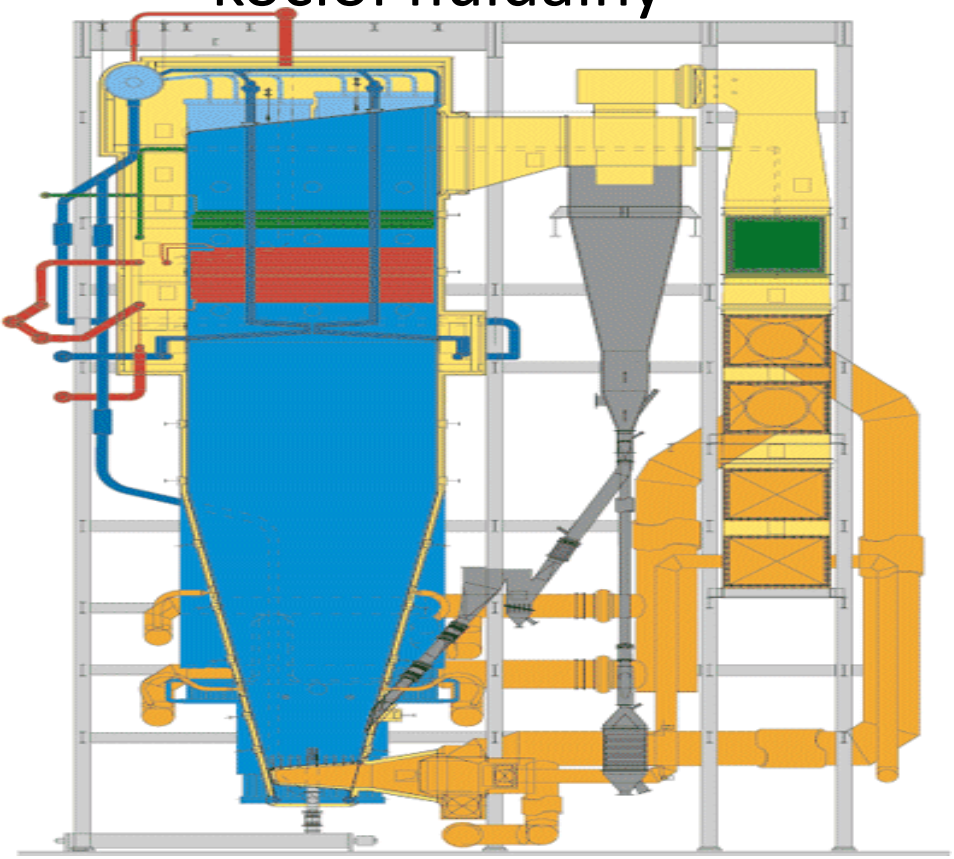





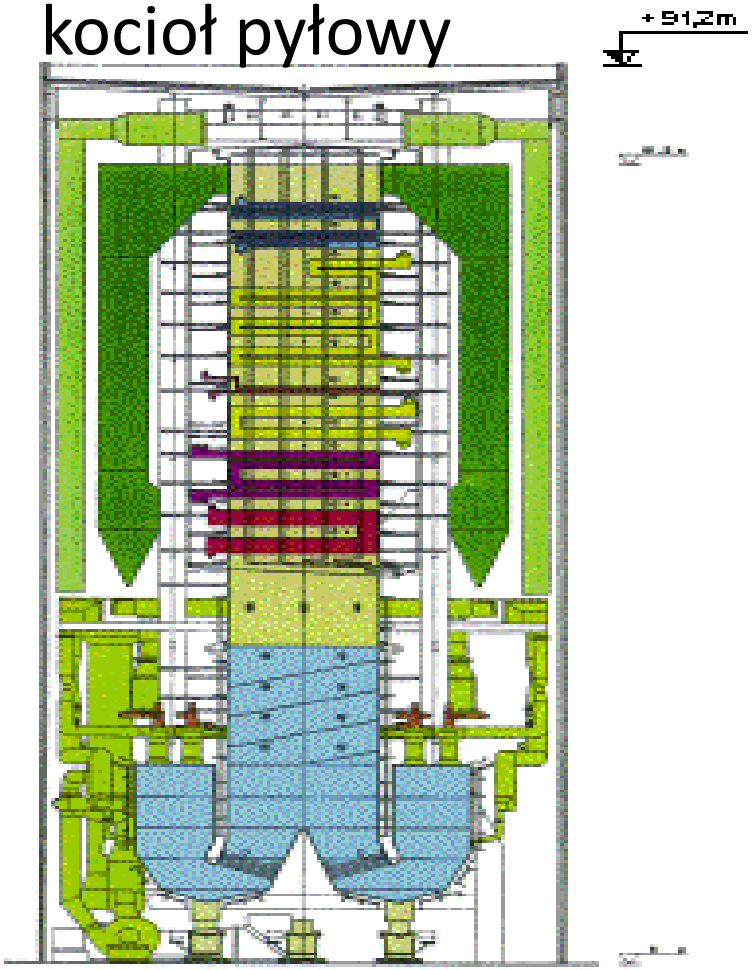

Kocioł z rusztem obrotowym A – pierwsza komora spalania z rusztem obrotowym, B – komora dopalania, C – płomienica kotła, D – wentylator spalin, E – filtr spalin, F – komin, G – układ transportu żużla i popiołu

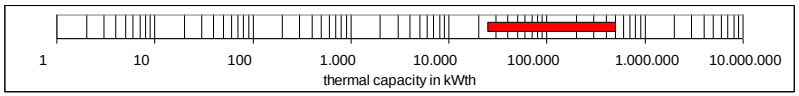
# Kotły energetyczne opalane mieszanką paliw

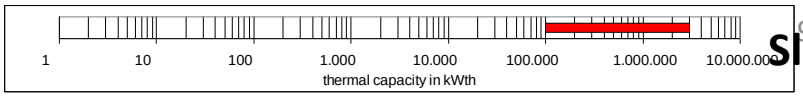
kocioł fluidalny



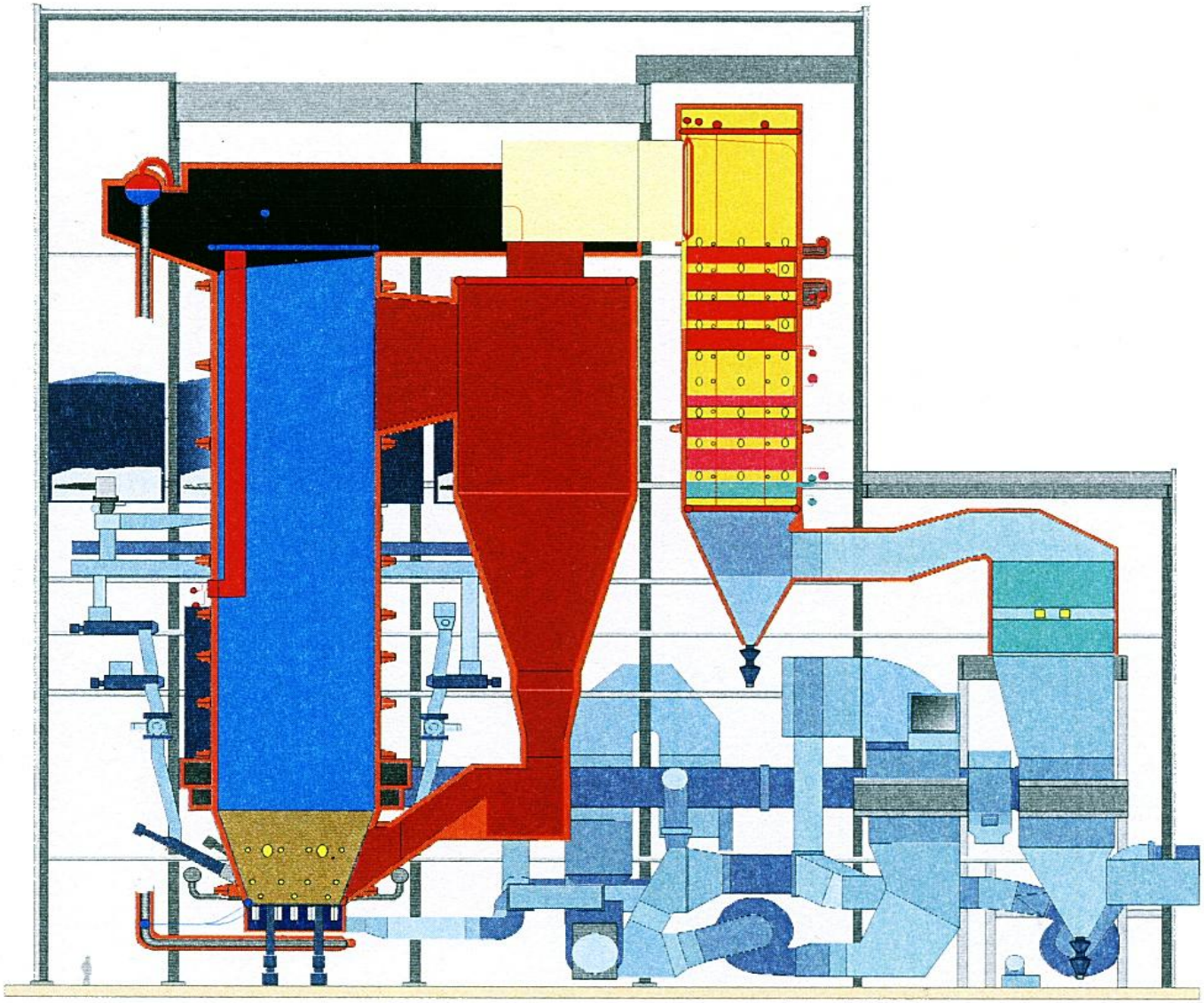
kocioł pyłowy



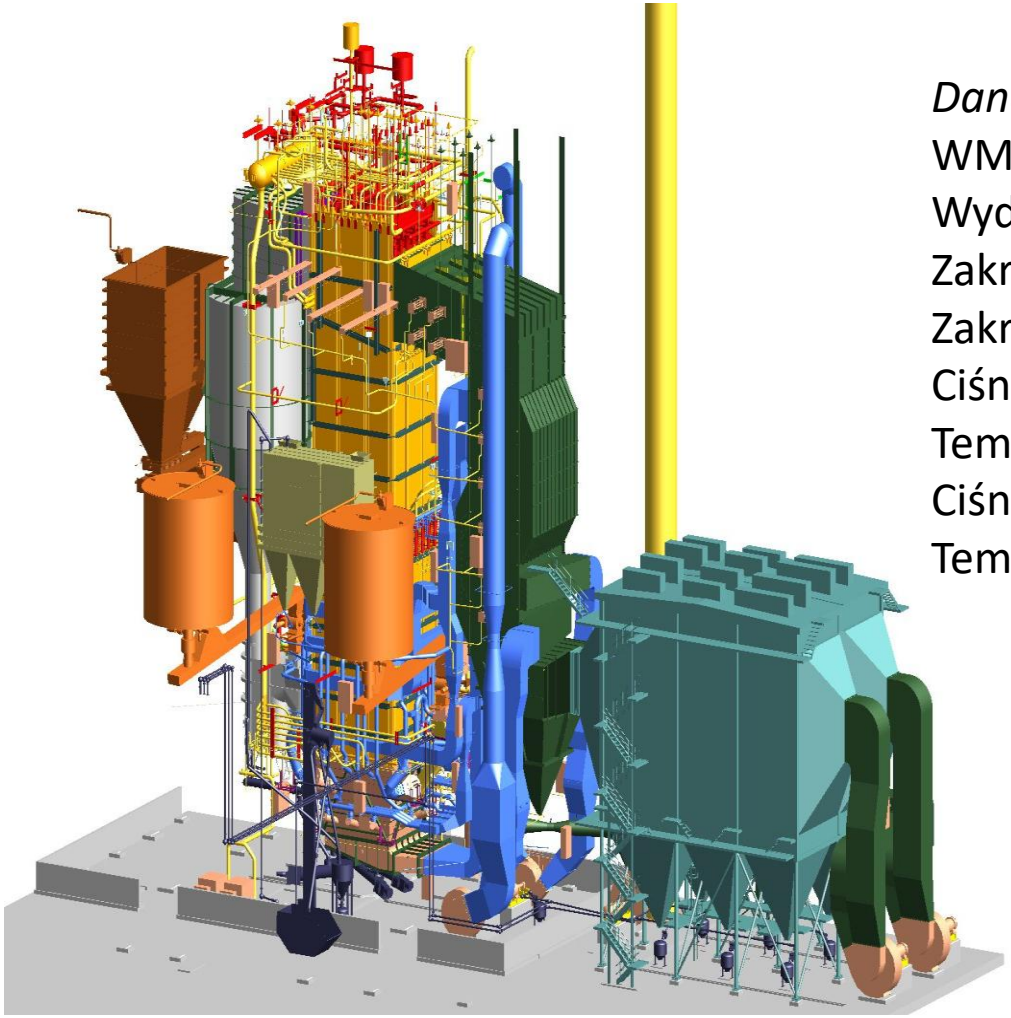



# Kocioł fluidalny ze złożem cyrkulacyjnym. 550 MWt, 194/179 kg/s, 16.5/3.7 MPa, 545/545°C



# Kocioł w Świeciu



*Dane projektowe kotła:*

WMT przy spalaniu 100% węgla 234 t/h

Wydajność przy spalaniu 100% biomasy 180 t/h

Zakres obciążeń (spalanie węgla) 50 ÷ 100 %

Zakres obciążeń (spalanie biomasy) 38 ÷ 77 %

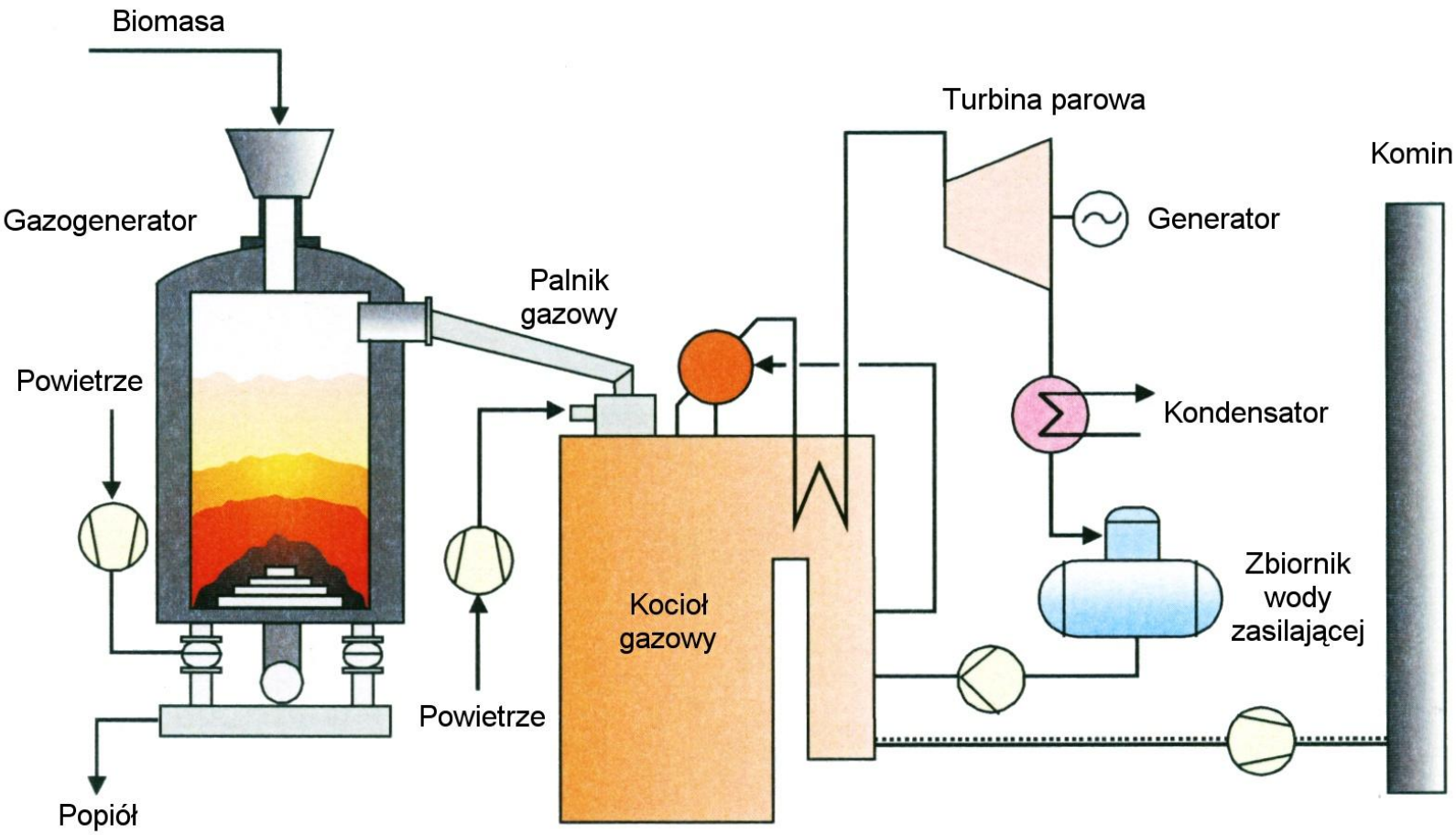
Ciśnienie pary świeżej 9,6 MPa

Temperatura pary świeżej510 ± 5°C

Ciśnienie projektowe (walczak)11,7 MPa

Temperatura wody zasilającej (gr. dostaw) 200 ± 5°C

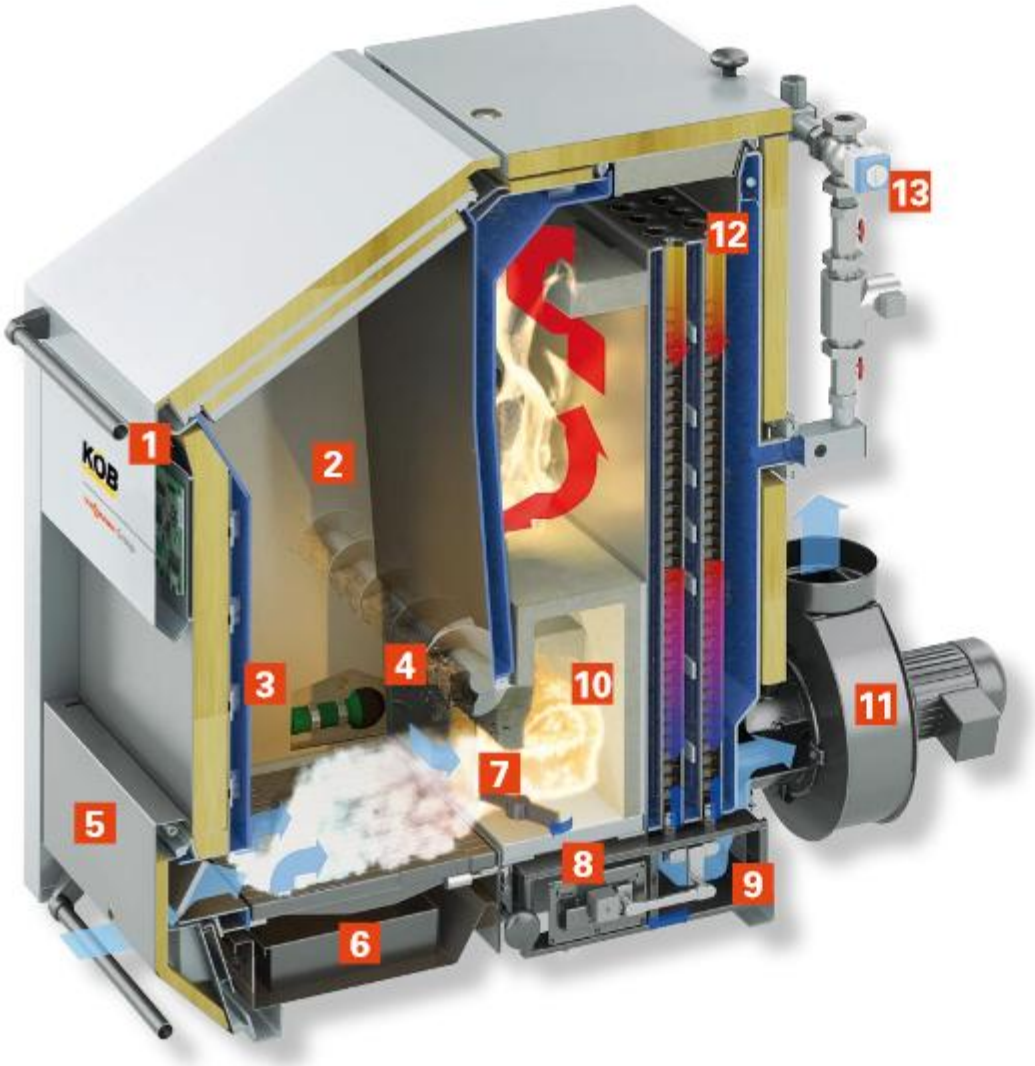
# Pośrednie instalacje produkcji energii z biomasy



VIESSMANN:
http://www.viessmann.pl/pl/dom-jednorodzinny/Ogrzewanie/kotly-na-drewno.html

**Kocioł Pyromat DYN został skonstruowany specjalnie w celu spalania szczap i zrębków drewna przy załadunku ręcznym, jak również dodatkowo do spalania granulatu (pelety), brykietów drewna - poprzez automatyczny podajnik.**

Kocioł Pyromat DYN został przystosowany do spalania różnych form drewna opałowego. Będąc wyposażonym w automatyczny podajnik, może być rozpalany całkowicie automatycznie. Stanowi to doskonałą możliwość dostarczania małej ilości ciepła - szczególnie w okresie letnim w trybie podgrzewania ciepłej wody użytkowej.




**Pyromat DYN**

1. Regulator Ecotronic
2. Przednia komora spalania z ładowaniem od góry
3. Automatyczna dmuchawa zapalająca
4. Ślimak podający paliwo i ruszt odgazowujący z doprowadzeniem powietrza pierwotnego
5. Drzwi komory paleniskowej z klapą powietrza pierwotnego
6. Duży popielnik z wykorzystaniem ciepła resztkowego
7. Komora spalania z betonu żaroodpornego
8. Automatyczne odpopielanie komory spalania
9. Napęd automatycznego odpopielania i oczyszczania powierzchni wymiany ciepła
10. Komora dopalania (doprowadzenie powietrza wtórnego drzwi komory paleniskowej)
11. Dmuchawa spalin o regulowanej wydajności, z sondą lambda i czujnikiem temperatury
12. Rurowe powierzchnie wymiany ciepła z automatycznym oczyszczaniem
13. Grupa armatury kotła w zakresie dostawy (podnoszenie temperatury powrotu) z pompą obiegową kotła, zaworem regulacyjnym kotła, i czujnikiem temperatury zasilania i powrotu

KÖB
VIESSMANN Group

## Przegląd zalet

- Kocioł na drewno, z ręcznym ładowaniem szczap drewna i kawałków drewna odpadowego, a także do automatycznego zasilania peletem, zrębkami, brykietami drzewnymi i rozdrobnionym drewnem odpadowym.
- Zespół kotła (podnoszenie temperatury powrotu) zmontowany na gotowo
- Okablowanie na gotowo
- Wypróbowana w praktyce cicha i długowieczna dmuchawa spalin
- Regulowane bezstopniowo klapy powietrza dla optymalizacji rozpalania i dopalania
- Dokładne ładowanie warstwowe pojemnościowego podgrzewacza c.w.u. przez zastosowanie zaworu regulacyjnego ładowania – brak zakłócania uwarstwienia w zasobniku przez wodę z powrotu (opcja)
- Automatyczne rozpalanie dmuchawą gorącego powietrza (przy zasilaniu automatycznym)
- Automatyczne czyszczenie powierzchni wymiany ciepła sprężynami spiralnymi
- Automatyczne odpopielanie do zbiornika popiołu 20 litrów (opcja)

## Dane techniczne

- Zakres znamionowych mocy cieplnych: 35 do 100 kW
- Sprawność do 92%
- Dopuszczalna temperatura zasilania do 100°C
- Dopuszczalne ciśnienie robocze 3 bar

**Pyromat DYN – kocioł na drewno z automatycznym podajnikiem paliwa**

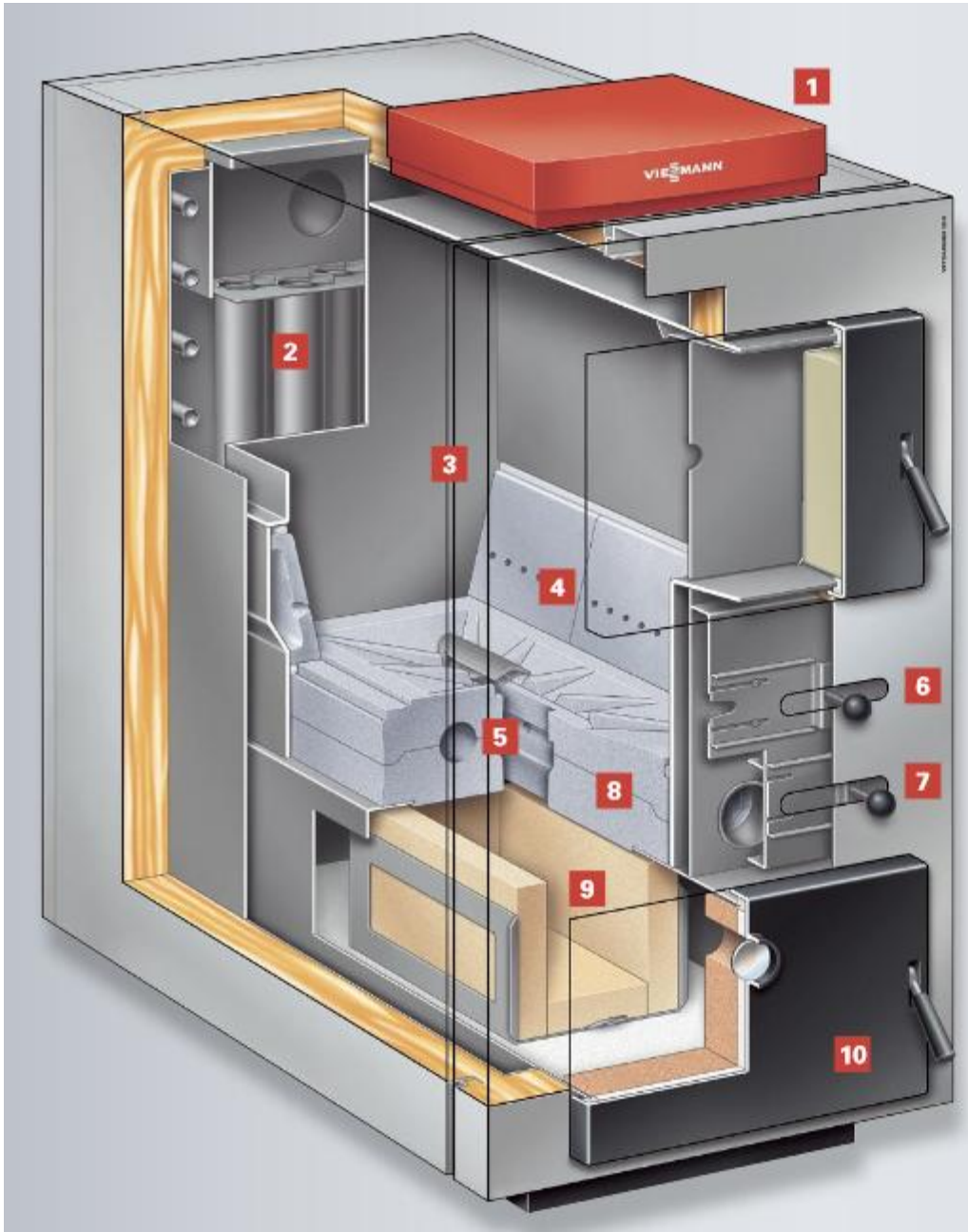
| **Typ** | | 45 | 65 | 85 |
|---|---|---|---|---|
| **Znamionowa moc cieplna** opalanie drewnem kawałkowym | kW | 49 | 75 | 100 |
| **Znamionowa moc cieplna** opalanie zrębkami | kW | 35 | 52 | 70 |
| **Komora załadowcza** | | | | |
| szerokość | mm | 550 | 550 | 550 |
| pojemność | litry | 185 | 255 | 255 |
| **Wymiary** | | | | |
| długość | mm | 958 | 1 163 | 1 313 |
| szerokość | mm | 1 764 | 1 764 | 1 764 |
| wysokość | mm | 1 430 | 1 490 | 1 490 |
| **Ciężar** | kg | 810 | 985 | 1 115 |
| **Przyłącze spalin** | ∅ mm | 200 | 200 | 200 |

**Najbardziej efektywne wykorzystanie energii z drewna – zgazowanie**

Vitoligno 100-S jest szczególnie atrakcyjnym cenowo kotłem zgazowującym drewno o znamionowej mocy cieplnej od 25 do 80 kW. W komorze zasypowej drewno po usunięcia tlenu tylko żarzy się. Powstający gaz drzewny zasysany jest przez dmuchawę spalin do komory spalania i tam po wymieszaniu z doprowadzonym powietrzem wtórnym ulega czystemu spaleniu w wysokiej temperaturze. Technika zgazowania umożliwia uzyskanie wysokich współczynników sprawności przy niskich wartościach emisji. Duże, przewodzące wodę dodatkowe powierzchnie ogrzewalne w połączeniu z dmuchawą spalin utrzymują niskie temperatury gazów spalinowych i zapewniają najwyższe w grupie kotłów na drewno wykorzystanie energii paliwa.

**Komfort użytkowania - standard firmy Viessmann**

Duża pojemność zasypowa kotła Vitoligno 100-S gwarantuje długi czas spalania i tym samym długie przerwy między uzupełnianiem paliwa. Duże drzwiczki komory zasypowej pozwalają na komfortowy załadunek drewna od przodu. Drewno stanowi doskonałą alternatywę dla tradycyjnych paliw stałych pochodzących od węgla, zarówno pod względem komfortu obługi, jak i koszów ekploatacji. Dodatkowym atutem jest czystość spalania i dzięki temu poszanowanie środowiska naturalnego.




**Vitoligno 100-S**

1. Regulator Vitotronic
2. Płaszczowo-rurowy wymiennik ciepła
3. Duża komora załadowcza na drewno w polanach o długości do 50 cm
4. Bloki boczne z wylotem powietrza pierwotnego
5. Wylot powietrza wtórnego w komorze spalania
6. Zasuwa powietrza pierwotnego
7. Zasuwa powietrza wtórnego
8. Komora spalania wykonana z węglika krzemu
9. Szamotowy kanał dopalania
10. Otwór wyczystkowy do usuwania popiołu

## Przegląd zalet

- Kocioł zgazowujący drewno w polanach o znamionowej mocy cieplnej 25 do 80 kW
- Sprawność > 85%
- Duża komora załadowcza na drewno w polanach o długości do 50 cm
- Łatwa obsługa dzięki manualnie nastawianym zasuwom powietrza pierwotnego i wtórnego
- Wytrzymała dysza zgazowywacza z węglika krzemu
- Kanał dopalania z szamotu (nawrót spalin do wymiennika ciepła)
- Płaszczowo–rurowy stojący wymiennik ciepła
- Wysokiej jakości dmuchawa wyciągowa
- Prosty układ hydrauliczny dzięki dużej pojemności wodnej kotła
- Elektroniczny regulator Vitotronic 100 (typ FC1) z wyświetlaczem trybów pracy
- Wysokie bezpieczeństwo eksploatacji – wentylator wyciągowy wytwarza w kotle podciśnienie i dzięki temu spaliny nie mają możliwości przedostania się do pomieszczenia kotłowni
- Kocioł wyposażony jest w wężownicę schładzającą jako zabezpieczenie termiczne – dla ochrony kotła przed zbyt wysoką temperaturą

## Vitoligno 100-S – kocioł na drewno w polanach

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Znamionowa moc cieplna** | | kW | 25 | 30 | 40 | 60 | 80 |
| **Wymiary** (całkowite) | dług. | mm | 1 289 | 1 289 | 1 366 | 1 389 | 1 389 |
| | szer. | mm | 618 | 678 | 678 | 751 | 841 |
| | wys. | mm | 1 190 | 1 390 | 1 490 | 1 885 | 1 885 |
| **Ciężar** (korpus kotła z izolacją cieplną i dmuchawą wyciągową) | | kg | 461 | 551 | 629 | 822 | 864 |
| **Pojemność wodna kotła** | | litry | 100 | 120 | 150 | 270 | 300 |
| **Pojemność komory załadowczej na paliwo** | | litry | 100 | 160 | 190 | 290 | 350 |

# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Prowadzący:
dr inż. Marcin Michalski