



Studia Podyplomowe

EFEKTYWNE UŻYTKOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

w ramach projektu

**Śląsko-Małopolskie Centrum Kompetencji
Zarządzania Energią**

**Sterowanie wytwarzaniem energii cieplnej
w piecach na biomasę**

dr hab. inż. Mariusz Filipowicz

Sterowanie wytwarzaniem energii cieplnej w piecach na biomasę

Piece i kotły na biomasę

Procesy spalania

Rozwiązania techniczne sterowania

Przykłady badań na Wydziale

Energetyki i Paliw AGH

Potencjał energetyczny biomasy

Alkohol etylowy



21,6 PJ

Estry kwasów tłuszczowych



24 PJ

Drewno



68 PJ

Możliwe jest uzyskanie następujących ilości energii z różnych źródeł:

Biogaz



37,5 PJ

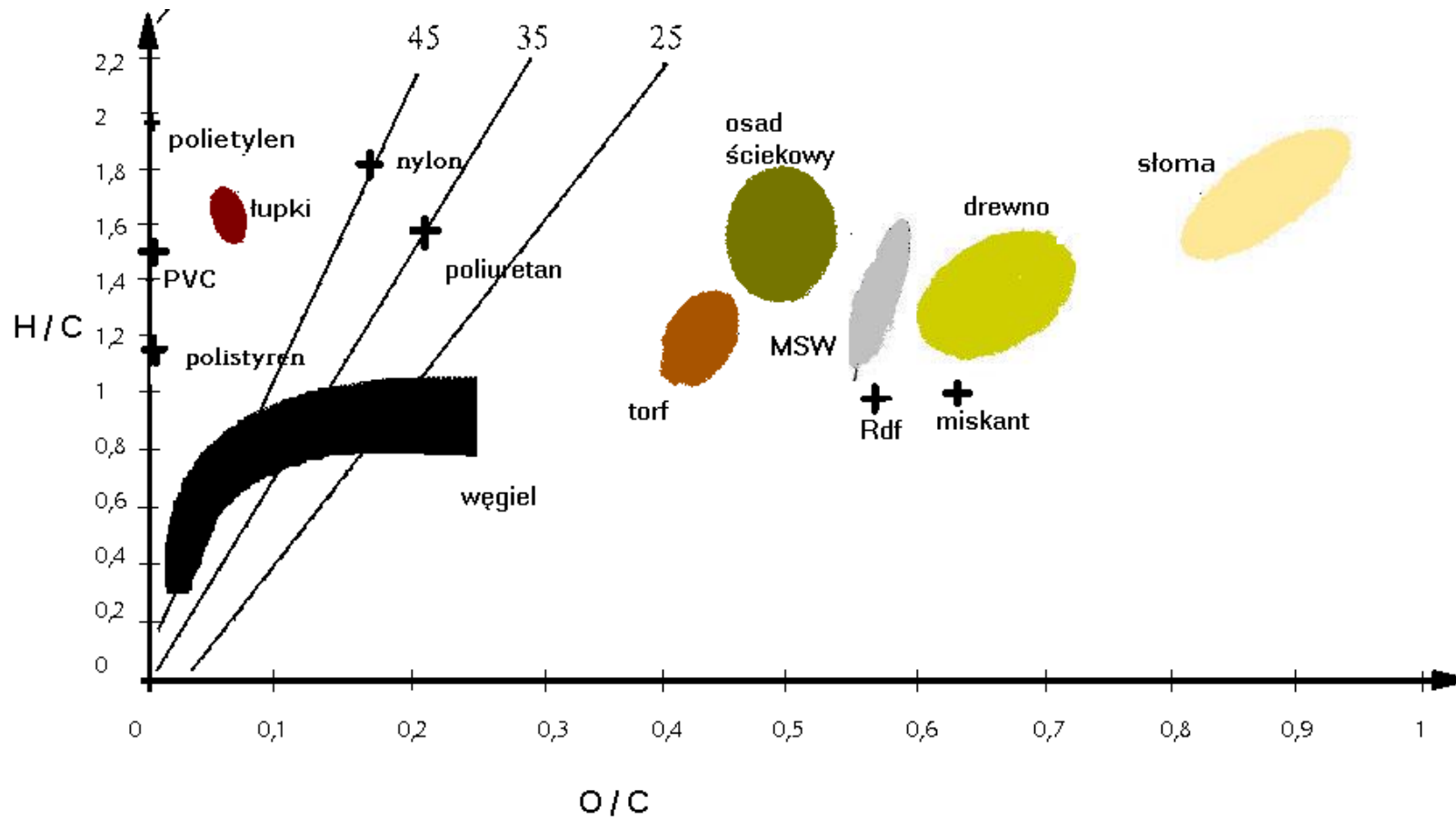
Słoma



131,1 PJ

Ogółem na cele energetyczne: 282 PJ

Charakterystyka biomasy jako paliwa





Pellet

Nieprzetworzone drewno:

a) drewno kawałkowe, b) zrębki drzewne, c) wióry d) trociny, e) kora

Właściwości biomasy				
Rodzaj biomasy	Wilgotność %	Wartość energetyczna MJ/kg	Gęstość kg/m ³	Zawartość popiołu % s.m.
Zrębki	20 - 60	6 - 16	150 - 400	0,6 - 1,5
Pelety	7 - 12	16,5 - 17,5	650 - 700	0,4 - 1
Słoma żółta	10 - 20	14,3	90 - 165	4
Słoma szara	10 - 20	15,2	90 - 165	3
Drewno kawałkowe	20 - 30	11 - 22	380 - 640	0,6 - 1,5
Kora	55 - 65	18,5 - 20	250 - 350	1 - 3



Słoma

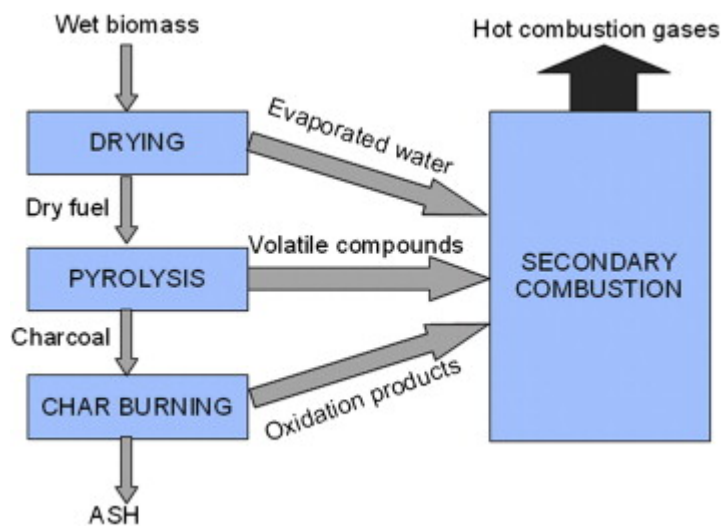
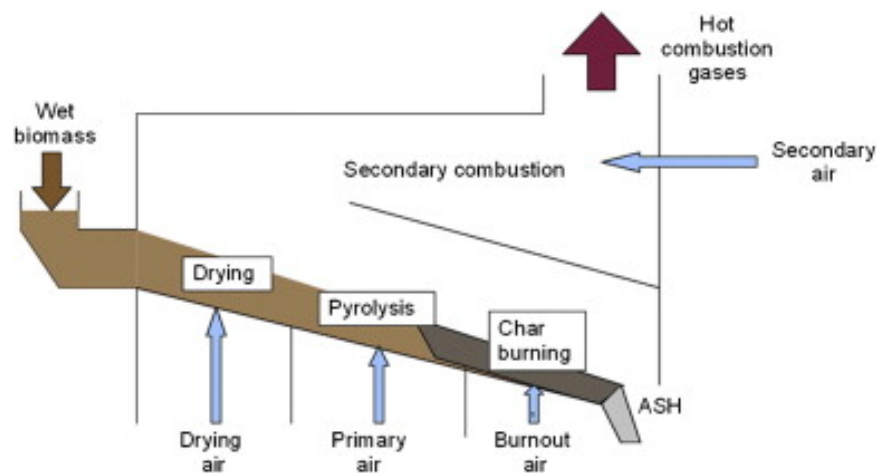
żółta



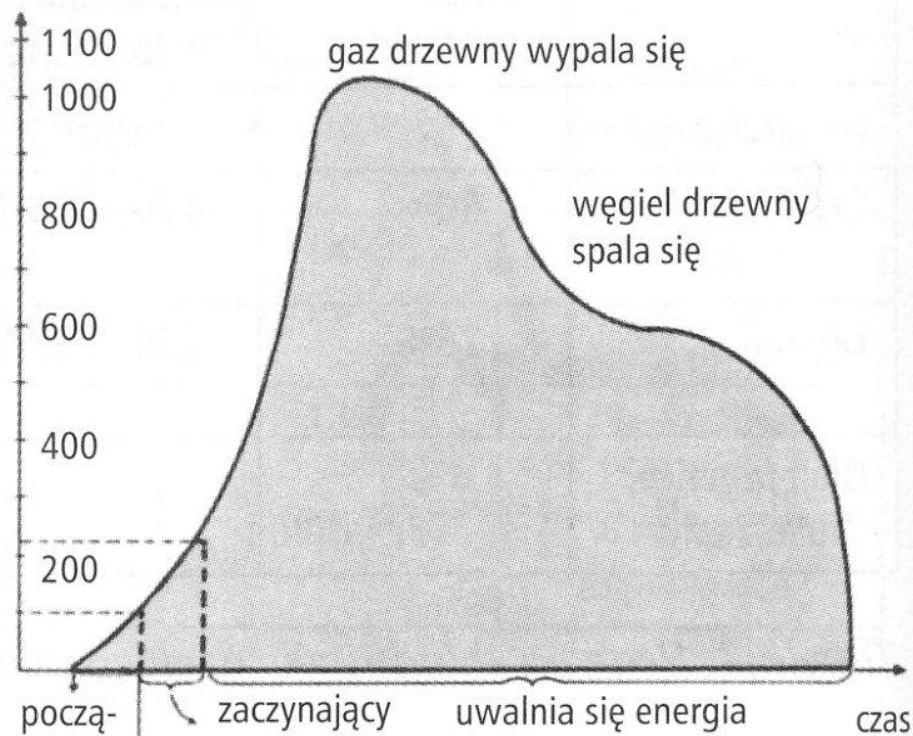
i

szara

Specyfika spalania biomasy



temperatura w °C

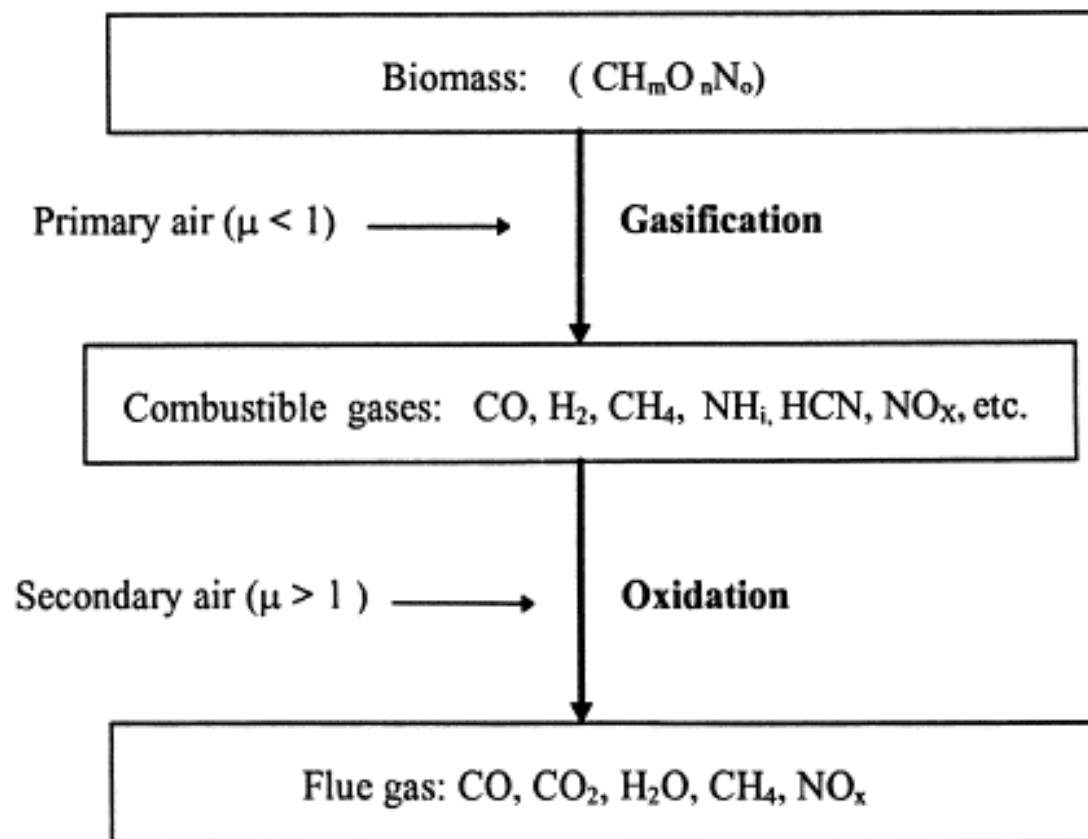


początek ogrzewania

zaczynający się rozkład suszenie (przy 100 °C)

uwalnia się energia cieplna (od ok. 240 °C)

Pierwotny i wtórny strumień powietrza



Wymagane są dwa strumienie powietrza – często podawane w odrębny sposób. Sterowanie obydwoma strumieniami

Rozwiązania konstrukcyjne spalania biomasy

- Kominki (kominki z płaszczem wodnym)
- Piece i tzw. pieco-kominki
- Kotły grzewcze

Piece, piecokominki

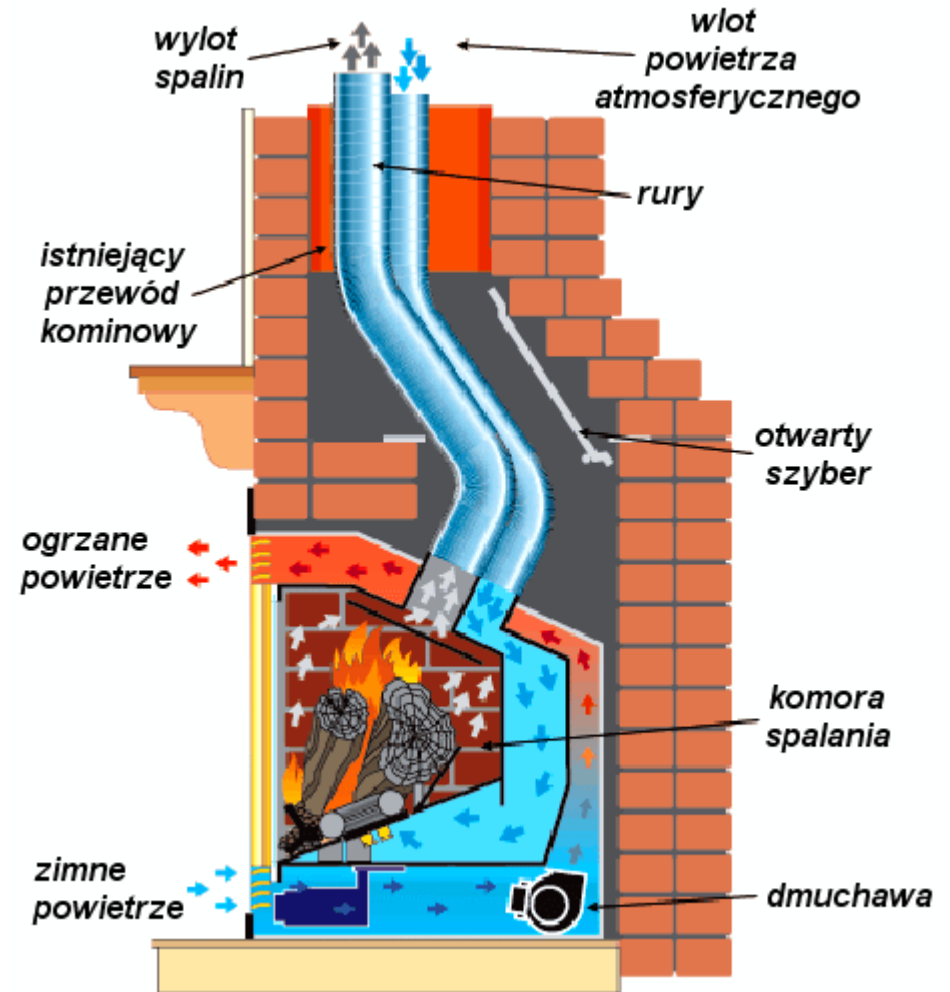
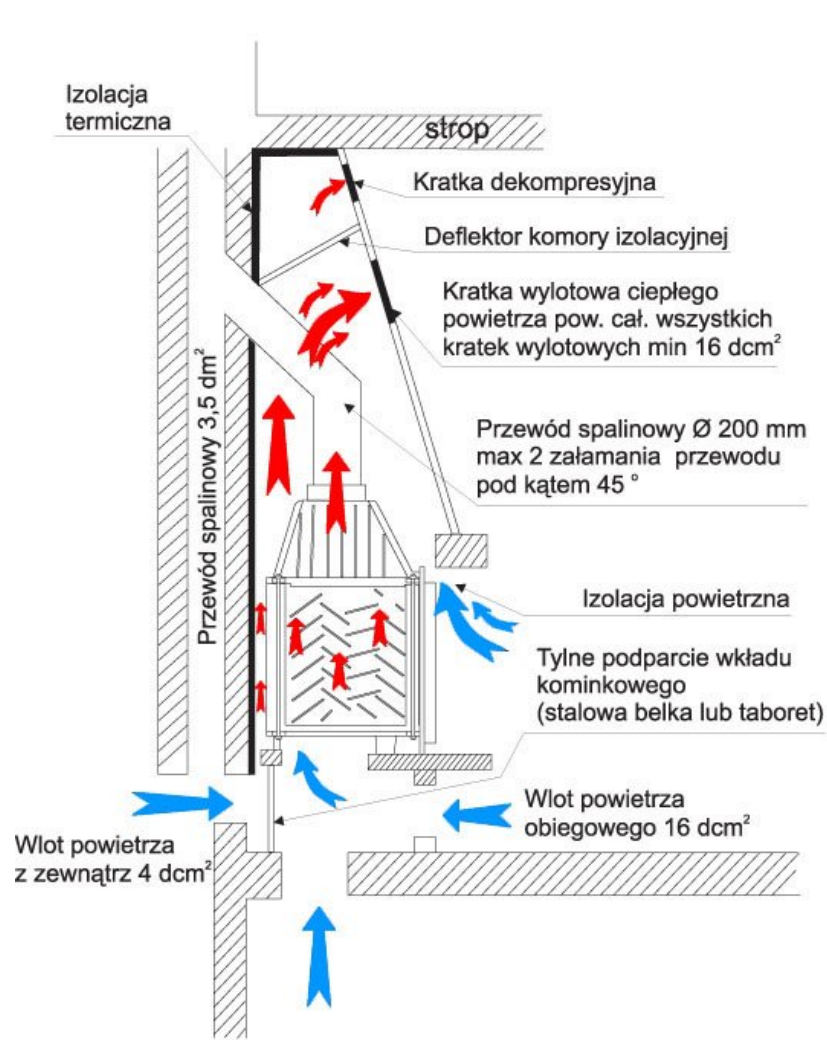


<http://forum.muratordom.pl/showthread.php?126971-Kuchnia-kaflowa-z-p%C5%82aszczem-wodnym>



Materiały firmy
Cebud:
www.cebud.eu

Budowa i zasada działania kominka



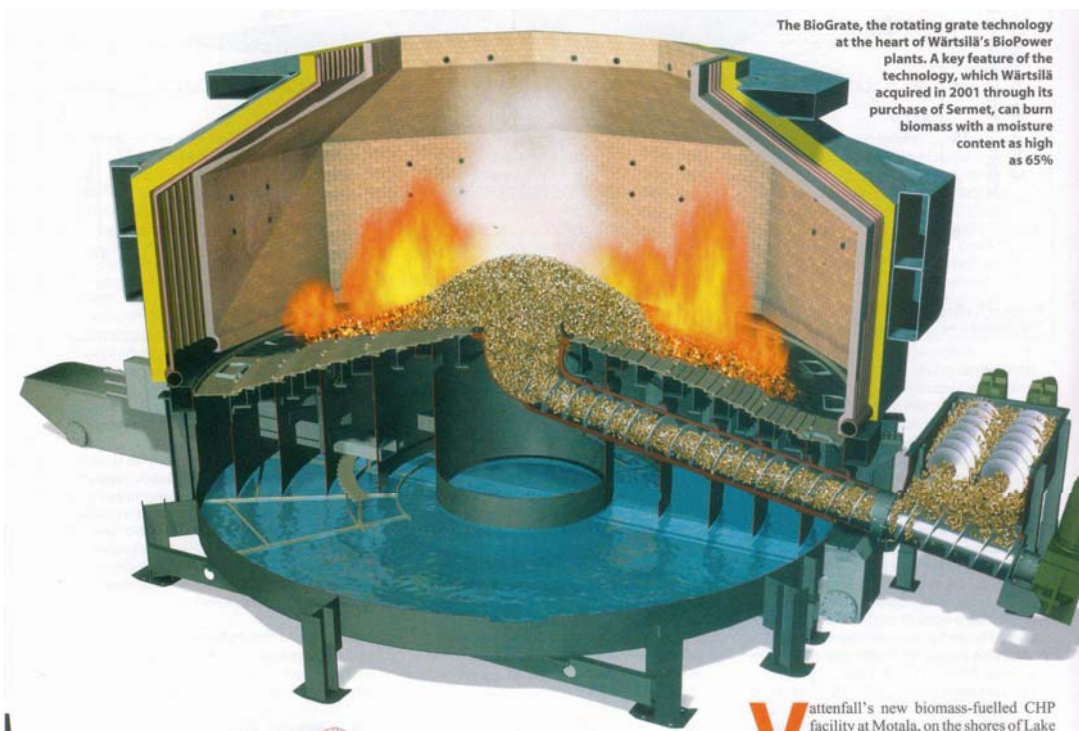
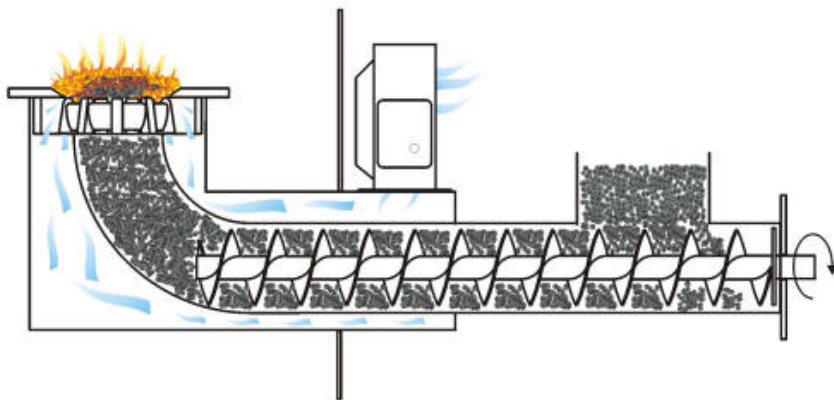
Podział kotłów na biomasę

- konstrukcje z **załadunkiem ręcznym**, tzw. kotły wsadowe,
- jak i **zautomatyzowane** kotły z podajnikiem. Te ostatnie konstrukcje z uwagi na rodzaj palnika i sposób podawania paliwa dzieli się dalej na:
 - kotły retortowe
 - kotły z palnikiem szufladowym
 - kotły z palnikiem wrzutowym
 - kotły z palnikiem tubowym (rurowym)

Rozwiązania konstrukcyjne spalania biomasy

- Kotły do spalania biomasy można ogólnie podzielić na konstrukcje z załadunkiem ręcznym, tzw. kotły wsadowe, jak i zautomatyzowane kotły z podajnikiem. Te ostatnie konstrukcje z uwagi na rodzaj palnika i sposób podawania paliwa dzieli się dalej na:
 - - kotły retortowe
 - - kotły z palnikiem szufladowym
 - - kotły z palnikiem wrzutowym
 - - kotły z palnikiem tubowym (rurowym)

Kocioł z palnikiem retortowym



Kocioł z palnikiem retortowym – Paliwo doprowadzane jest do palnika od spodu przenośnikiem ślimakowym zasilanym elektrycznie w ilości niezbędnej dla zapewnienia wymaganej temperatury na wyjściu z kotła.

- Przenośnik w sposób ciągły wypycha paliwo do żaroodpornego tygła, gdzie spala się intensywnym płomieniem.

- Powietrze niezbędne do spalania podawane jest wentylatorem nadmuchowym wielootworowo do tygła.

- Spalanie zachodzi zawsze tylko na powierzchni kopca w niewielkiej ilości paliwa i w wysokiej temperaturze, dzięki czemu dopalane są wszystkie składniki palne w paliwie, a spaliny opuszczające kocioł są niemal wolne od zanieczyszczeń.

- Popiół powstały podczas spalania usuwany jest na bieżąco do popielnika, a na jego miejsce podawana jest świeża biomasa.

- Palniki retortowe mogą mieć różne kształty paleniska, od okrągłych w formie czaszy, ściętego stożka, poprzez owalne do prostokątnych.

- Zapłon może się odbywać ręcznie lub automatycznie gorącym powietrzem.

- Regulacja wydajności kotła zachodzi poprzez zmianę prędkości obrotowej ślimaka i wentylatora

Przykładowe rozwiązanie kotła do użytku domowego

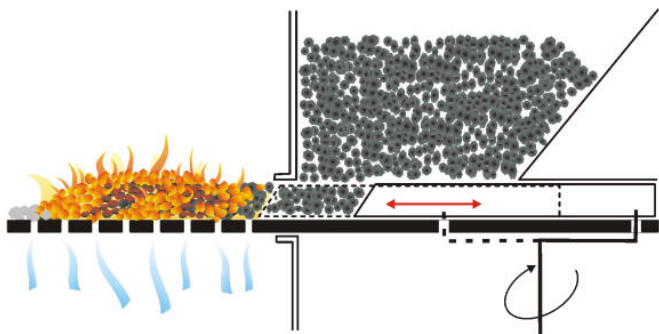
KOCIOŁ KGS M, EKOENERGIA



- 1) Wyczystka górna
- 2) Panel wodny
- 3) Czopuch
- 4) Zbiornik
- 5) Deflektor
- 6) Drzwiczki paleniska
- 7) Wentylator
- 8) Motoreduktor
- 9) Retorta
- 10) Wyczystka przednia
- 11) Regulowane stopy

Moc [kW]	Wymiary [mm]				Spraw. cieplna [%]
	A szer.	G głęb.	H wys.	L szer. całk.	
20	950	650	1000	1700	85,5
25	950	650	1050	1700	85,5
35	950	650	1150	1700	85,5

Kocioł z palnikiem szufladowym

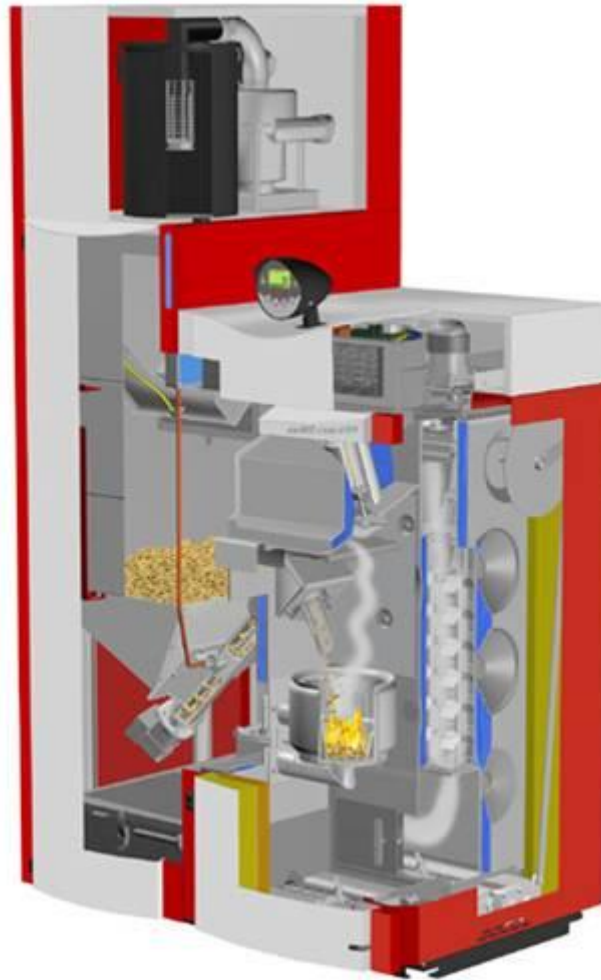


Kocioł z palnikiem szufladowym – podawanie paliwa odbywa się specjalny **tłokiem**, który przepycha paliwo z zasobnika na ruszt paleniska. Każdy ruch tłoka powoduje jednocześnie odżużlanie paleniska i usuwanie powstałego popiołu do popielnika. Palniki szufladowe zwane też tłokowymi lub posuwowymi, dostępne są w wersjach z płaszczem wodnym i bez. Pierwsze rozwiązanie optymalizuje proces spalania, zmniejszając niebezpieczeństwo spiekania popiołu



Przykład – kocioł firmy Stalmark,
Moc 25 KW, sprawność 89.3%

Kocioł z palnikiem wrzutowym



Palniki wrzutowe – w odróżnieniu do palników retortowych paliwo podawane jest tutaj w pierwszej kolejności ukośnym podajnikiem ślimakowym do środkowej części kotła, skąd rynną zsypową zrzucające jest do specjalnego żaroodpornego tygla od góry, w małych porcjach co kilkanaście do kilkudziesięciu sekund i niemal natychmiast spalane. Palniki z systemem wrzutowym mają z reguły obrotowe ruszty z napędem elektrycznym, zapewniające automatyczne odpopielanie paleniska

Kocioł z palnikiem tubowym



Palniki tubowe – stosowane są do spalania wysokiej jakości pelletu o małej średnicy (poniżej 10mm), ale także ziarna zbóż, wysuszonych trocin i wiórów drzewnych. Pod względem budowy i zasady działania w niewielkim tylko stopniu różnią się od palników na olej opałowy. Paliwo podawane jest małymi porcjami systemem pneumatycznym, elastyczną rurą zasypową i po automatycznym zapłonie spala się w komorze spalania w sposób natychmiastowy, długim intensywnym płomieniem.

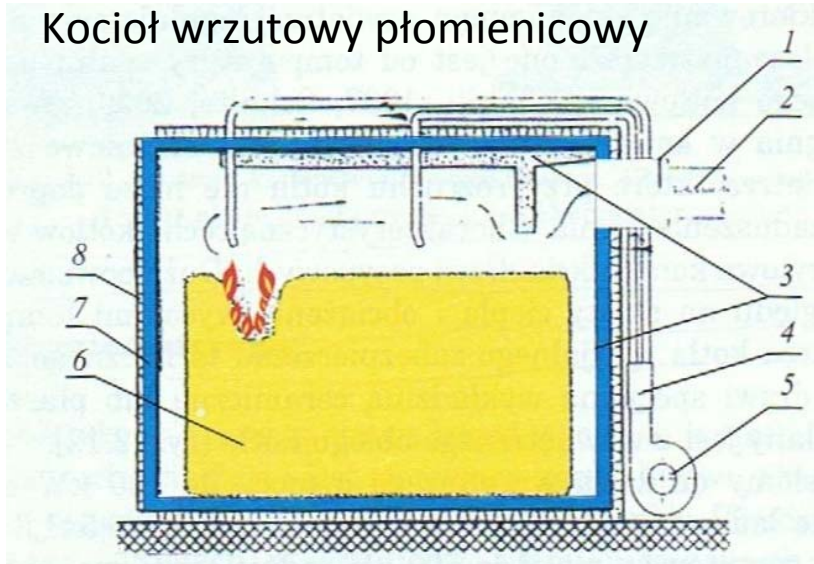
Palniki tubowe produkowane są w szerokim zakresie mocy od małych o mocy poniżej 30kW dla gospodarstw domowych po konstrukcje średniej mocy 30-150 kW, aż do rozwiązań przemysłowych o mocach 300-700kW

Regulacja wydajności odbywa się zmianą prędkości obrotowej wentylatora nadmuchowego i intensywnością podawania paliwa.



Kotły na słomę

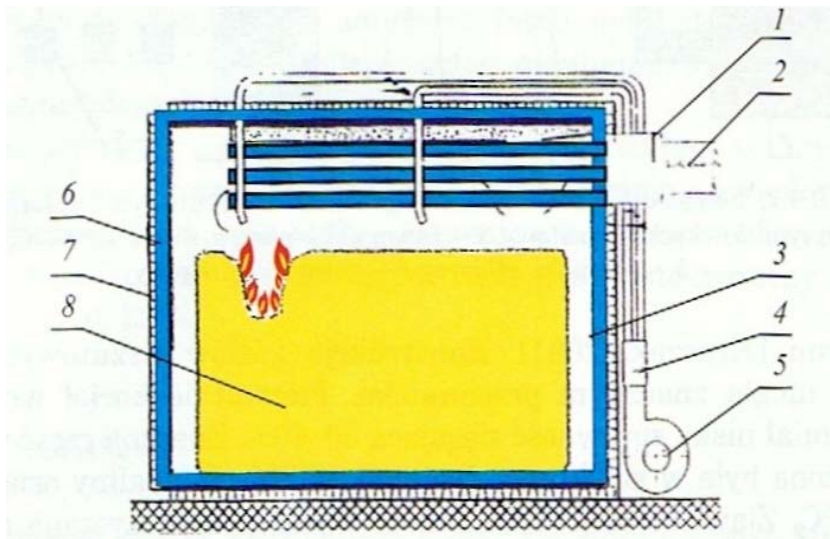
Kocioł wrzutowy płomienicowy



- 1- czujnik temperatury
- 2-kolektor dymny
- 3- wkład ceramiczny
- 4- rozdzielacz nawiewu powietrza
- 5- wentylator
- 6- komora spalania
- 7- płaszcz wodny
- 8- izolacja kotła

- Pierwsze kotły wrzutowe, kotły płomienicowe, miały niską sprawność, bo 50-60 %. Przyczyną tego była utrata znacznej części energii w kolektorze dymnym, spaliny osiągały tam temperaturę aż 400°C.

Kocioł wrzutowy płomienicowo-płomieniówkowy



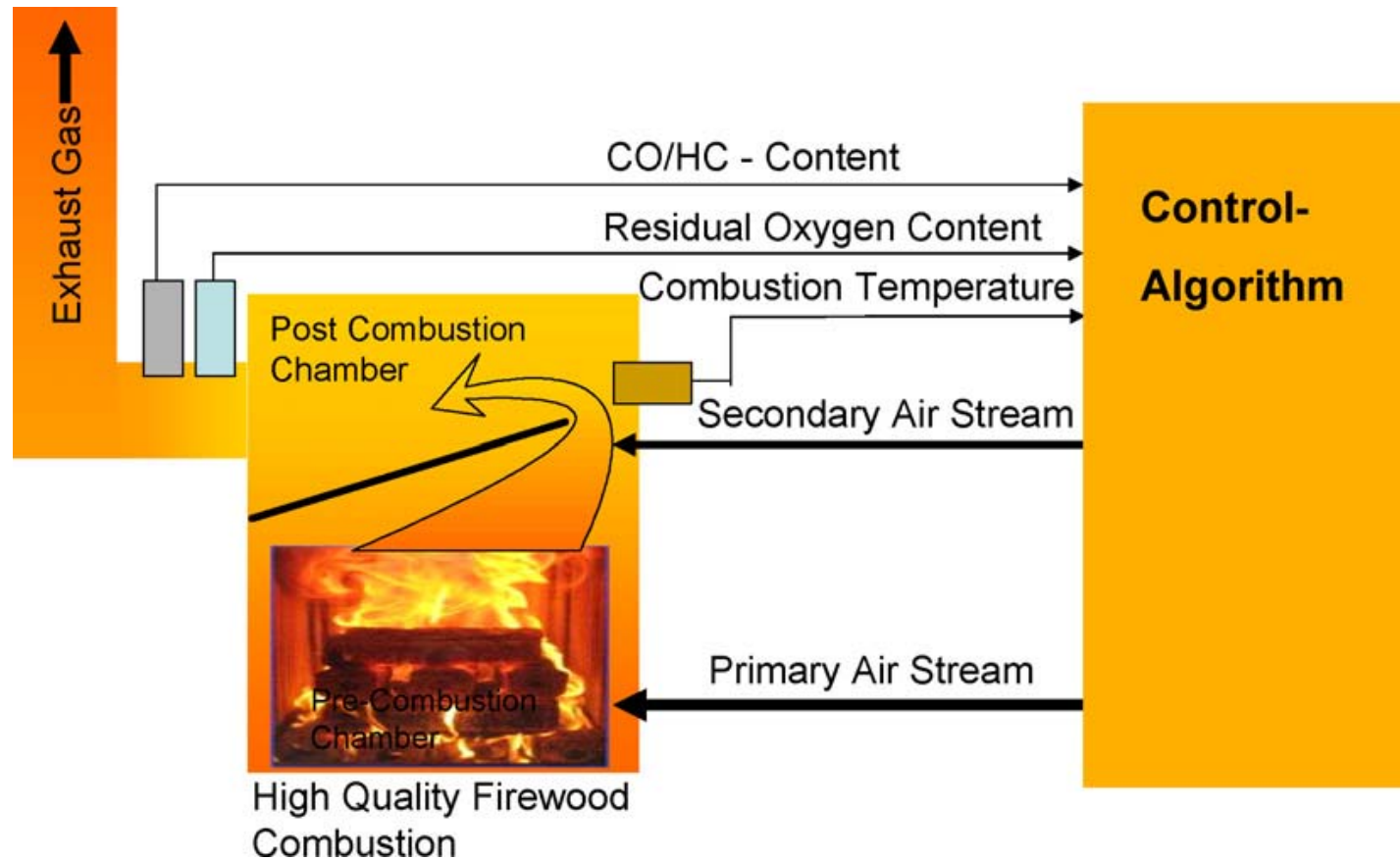
- 1- czujnik temperatury
- 2-kolektor dymny
- 3- ceramika
- 4- rozdzielacz nawiewu powietrza
- 5- wentylator
- 6- płaszcz wodny
- 7- izolacja kotła
- 8- komora spalania-płomienica

- Kluczem do zwiększenia sprawności było wbudowanie systemu płomieniówek, dzięki czemu zwiększyła się droga przepływu spalin w kotle, a co za tym idzie dochodziło do lepszego dopalania części lotnych spalin. Wprowadzono także system pojedynczego lub podwójnego zawrotu spalin

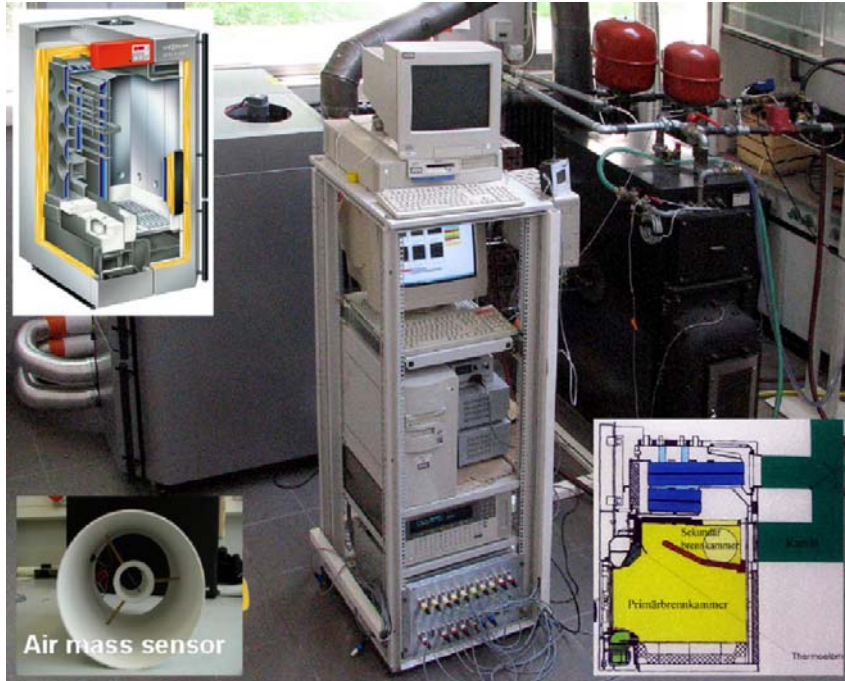
Sterowanie spalaniem biomasy

- Czujniki pomiarowe temperatury: spalin, w przewodzie kominowym, w komorze spalania
- Czujniki stężenia gazów: O_2 , CO, ...
- Sterowanie nawiewem powietrza pierwotnego i wtórnego

Schemat układu pozyskiwania informacji i sterowania



Przykład sterowania kominka (badanie laboratoryjne)

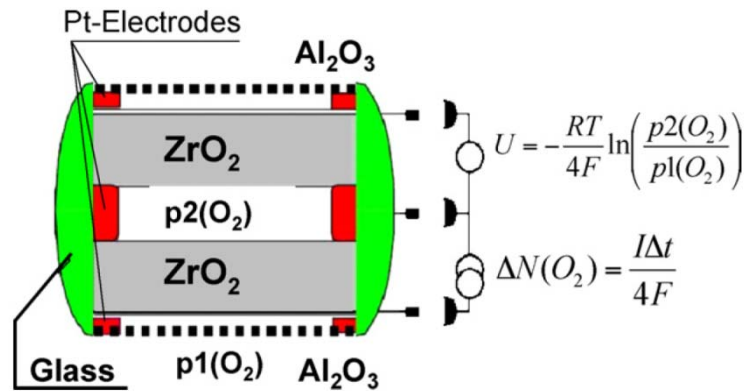


- Kontrola tlenu:
Współczynnik λ : 1.4-2.5
- Kontrola CO i węglowodorów
- Kontrola temperatury spalania
- Sterowanie:
Dwie przysłony dla powietrza pierwotnego i wtórnego

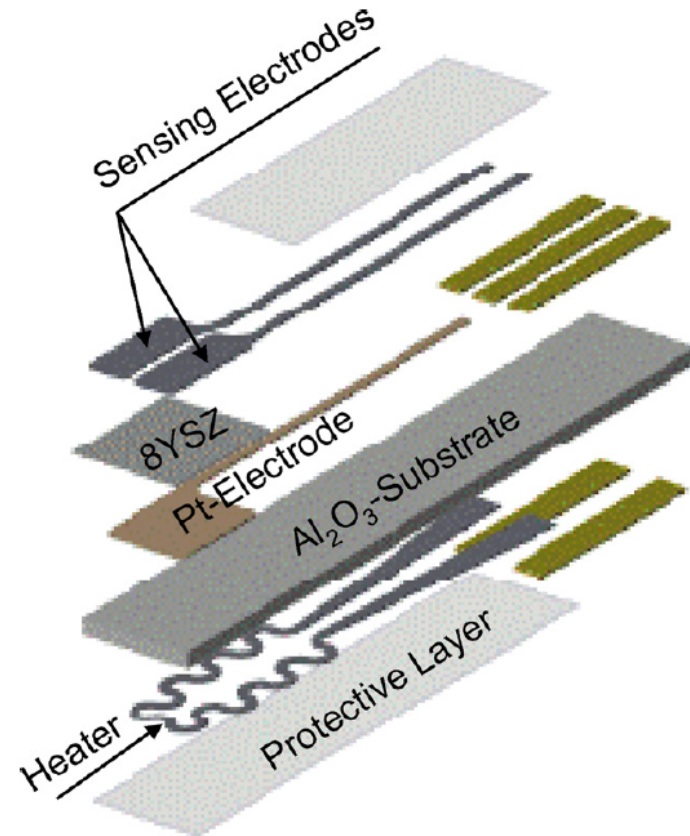
Algorytm spalania:

- powietrze pierwotne sterowane temperaturą w komorze spalania i zawartością tlenu w spalinach
- powietrze wtórne jest sterowane temperaturą w komorze spalania i zawartością CO/HC

Źródła sygnałów

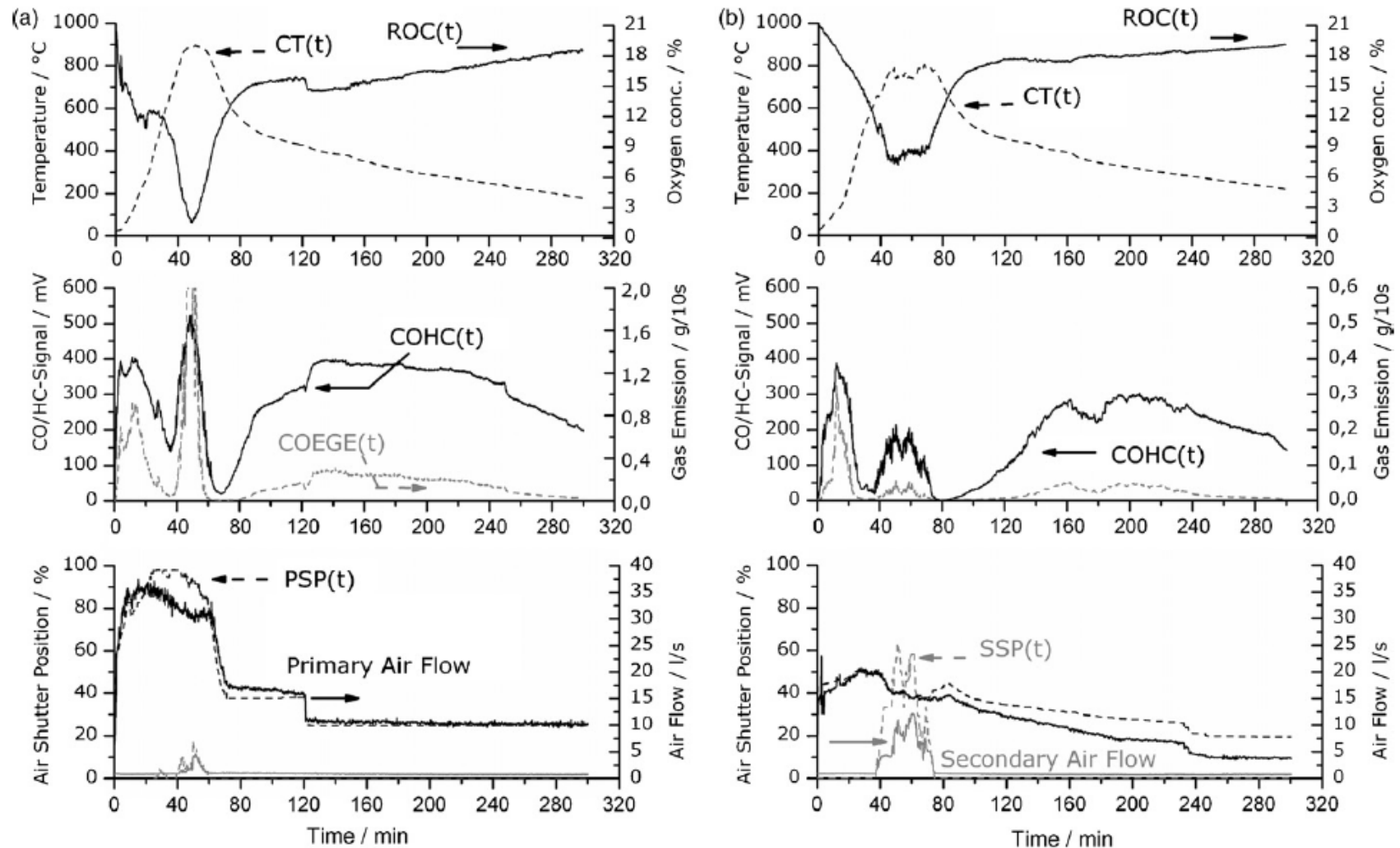


Schemat wysokotemperaturowego elektrochemicznego sensora tlenu w gazach wylotowych



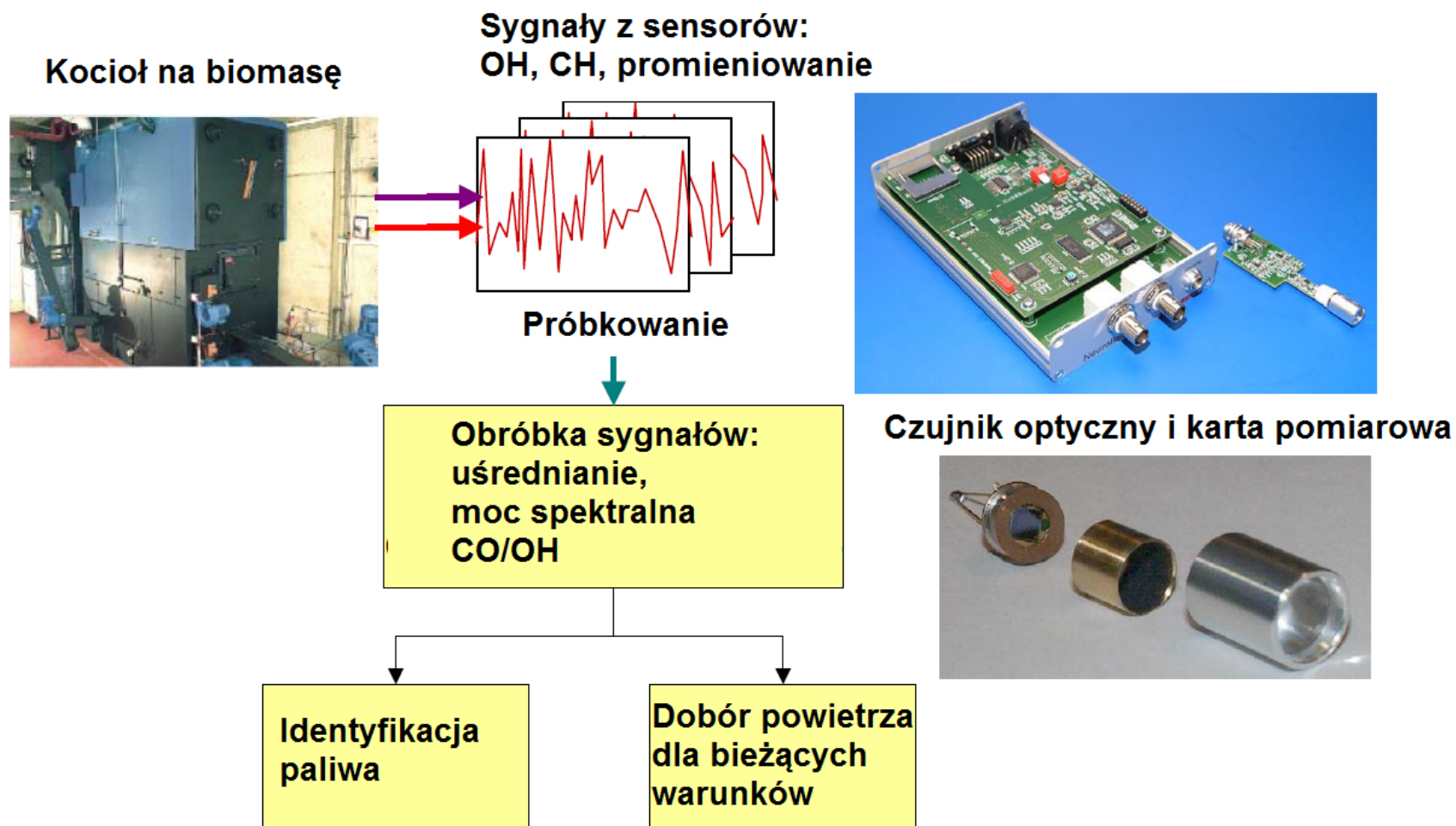
Struktura czujnika Carbosens (1000 CO/HC) wykonanego technologią drukowania.

Przykład działania algorytmu sterowania

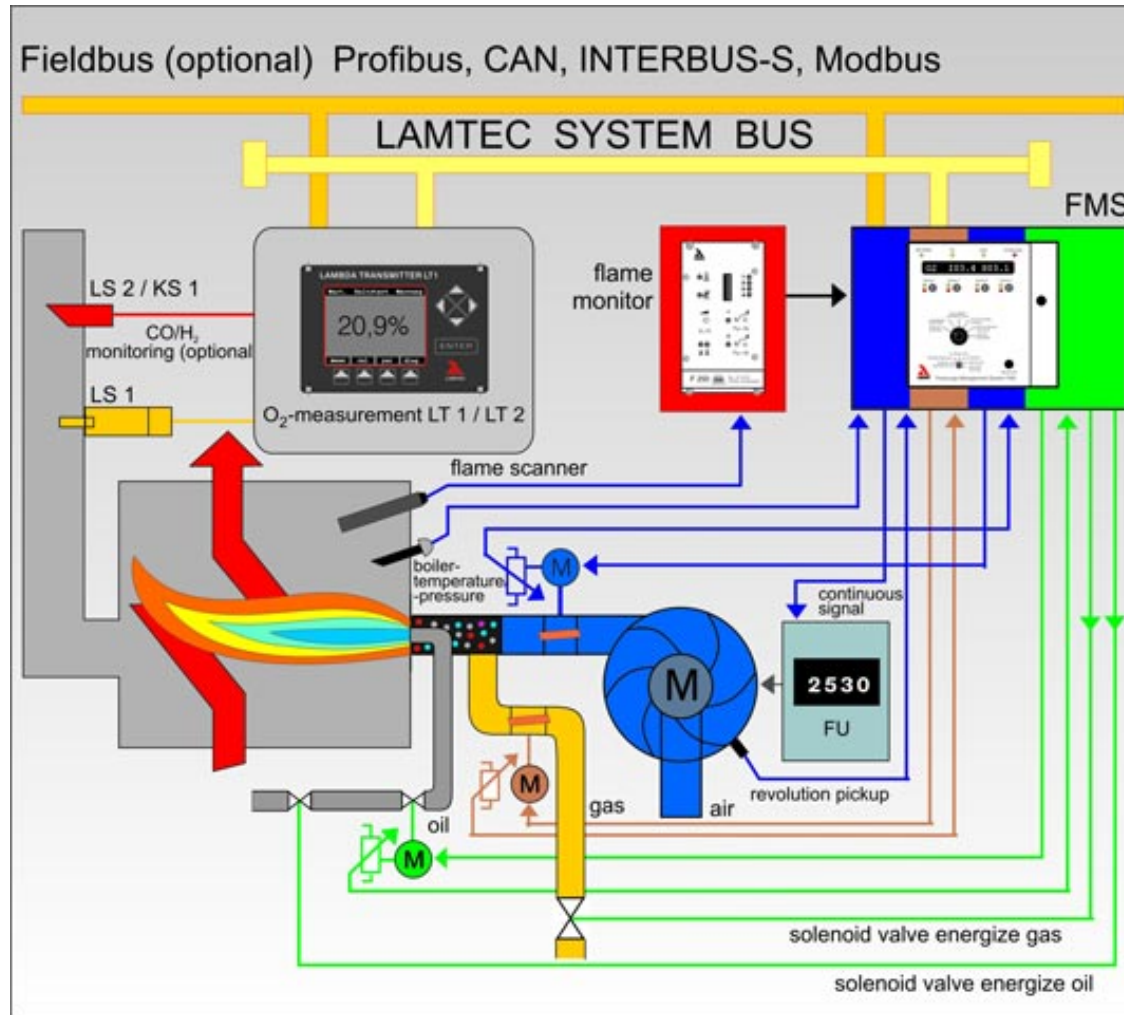


Widać jak jest ustawiana przysłona (air shutter) dla powietrza pierwotnego (PSP) i wtórnego (SSP) w zależności od sygnałów sterujących: CT – temperatura w komorze spalania, ROC – zawartość tlenu w spalinach, COHC – zawartość CO i HC, COEGE – równoważna zawartość CO (iloczyn zawartości CO i sumy strumieni powietrza)

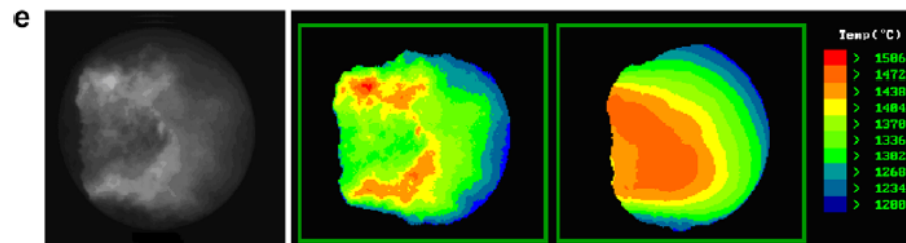
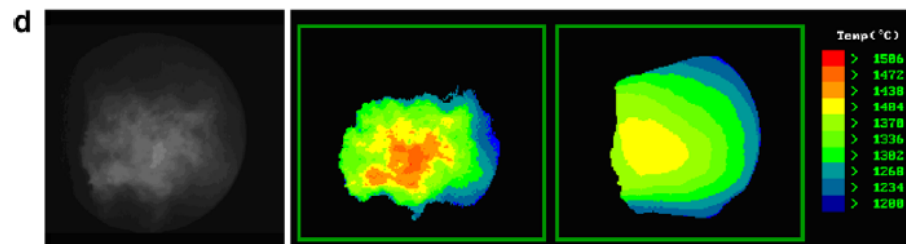
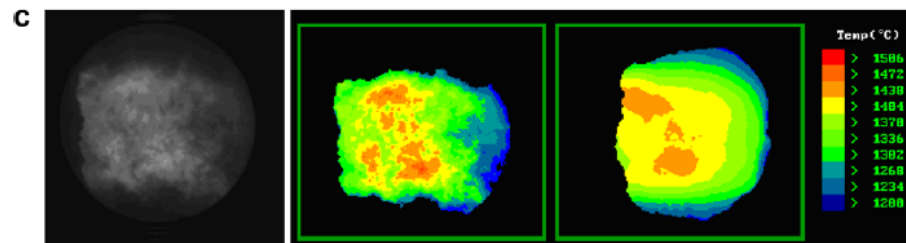
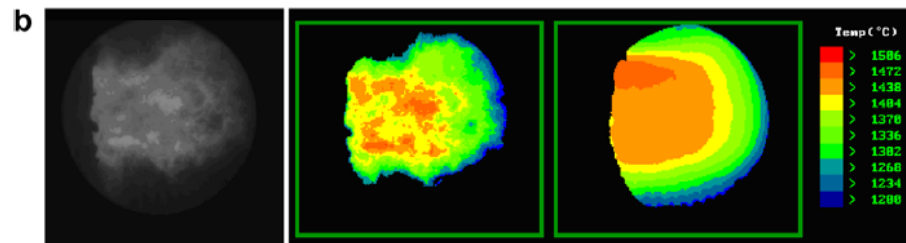
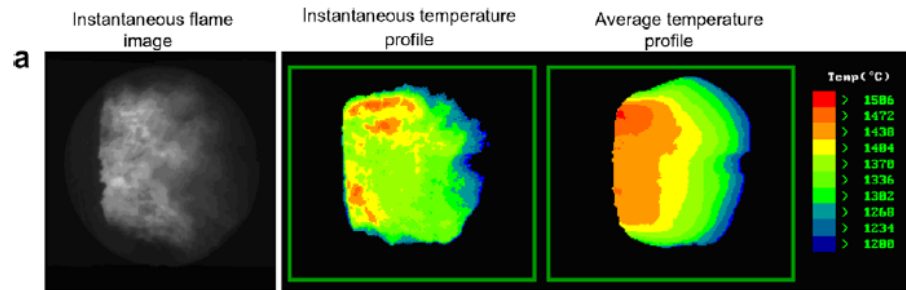
Wykorzystanie czujników płonienia



Detekcja płomienia



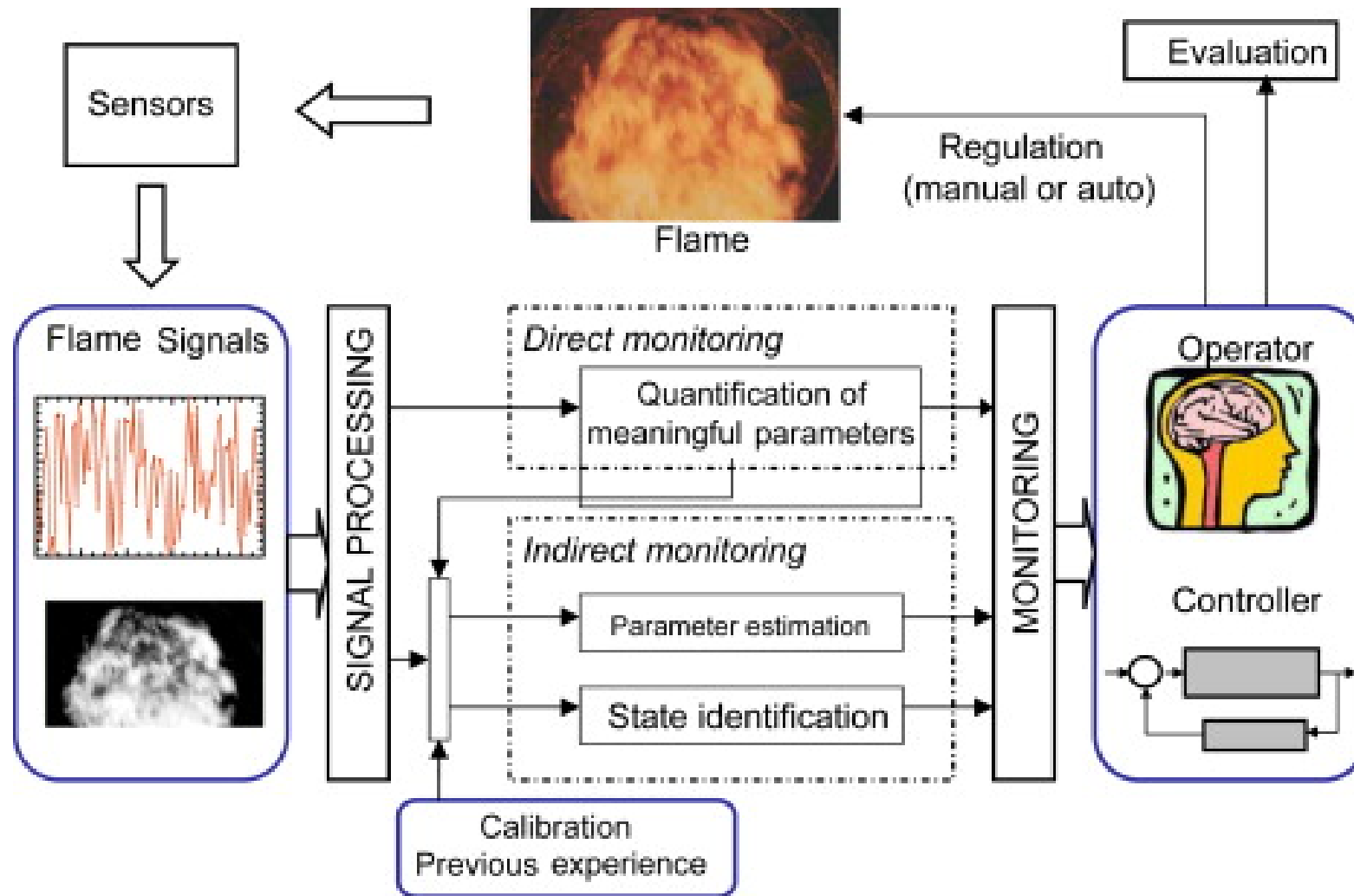
Wygląd skanera płomienia (podczerwień, ultrafiolet i jonizacja płomienia)



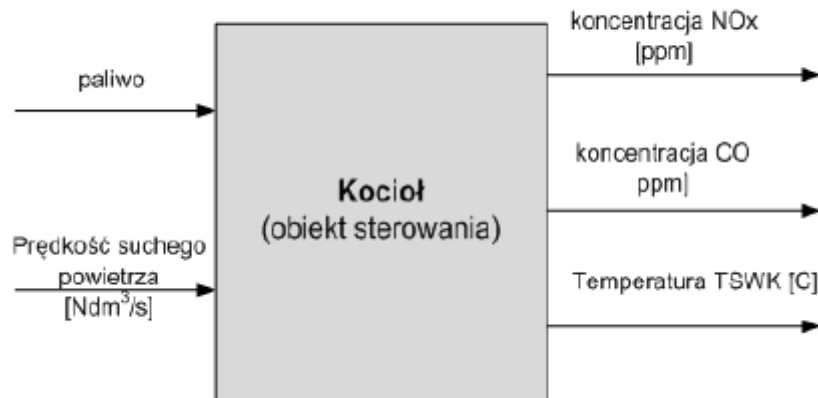
Przykład detekcji płomienia i analizy obrazu

- a) węgiel
- b) węgiel + 5% biomasy
- c) węgiel + 10% biomasy
- d) węgiel + 20% biomasy

Przetwarzanie informacji w systemie sterowania



Przykład – algorytm predykcyjny



Regulator dostosowuje swoje działanie z wyprzedzeniem, zanim nastąpią zmiany wielkości wyjściowych układu.

Automatyka kotłowa - podsumowanie

- Pogodowe sterowanie pracą kotła – regulator wyznacza temperaturę medium dla kotła na podstawie zaprogramowanej krzywej grzania, dostosowując ją do aktualnych warunków na zewnątrz. Dzięki temu praca kotła jest bardziej ekonomiczna niż w przypadku pracy ze stałą temperaturą zadaną.
- Sterowanie procesem spalania – algorytm pracy regulatora pozwala na w pełni automatyczną pracę kotła. Regulator kontroluje proces rozpalania, spalanie paliwa oraz przeprowadza proces wygaszania, jeśli nie ma w danym momencie zapotrzebowania na ciepło.
- Sterowanie obiegiem CO - regulator steruje pracą pompy CO, zabezpieczając kocioł przed zbyt niską temperaturą, co wydatnie zwiększa żywotność kotła.
- Sterowanie ładowaniem zasobnika CWU - temperaturą zasobnika ciepłej wody jest stale mierzona i jeśli zajdzie taka potrzeba, regulator automatycznie uruchomi funkcje ładowania CWU. Dzięki tej funkcji regulator automatycznie utrzymuje temperaturę zasobnika na odpowiednim poziomie.
- Sterowanie obiegiem z zaworem mieszającym – regulator steruje pracą obiegu z zaworem mieszającym, pozwala to utrzymywać temperaturę w obiegu grzewczym na dużo niższym poziomie niż w kotle. Jest to funkcja niezbędna do sterowania układami ogrzewania podłogowego.

Automatyka kotłowa cd...

- Okresowe obniżenie temperatury ogrzewania CO i grzania zasobnika CWU. Dzięki temu cały układ grzewczy może być znacznie oszczędniejszy.
- Współpraca z termostatem pokojowym - funkcja ta ma największe znaczenie w okresach przejściowych (wiosna, jesień), kiedy istnieje ryzyko przegrzania pomieszczeń. Termostat pokojowy podłączony do regulatora pozwala na wyłączenie pompy CO i obniżenie temperatury zadanej kotła.
- Ochrona powrotu – sterowanie pompą bypassu – funkcja ta ma za zadanie ochronić kocioł przed zbyt niską temperaturą wody powracającej z obiegu grzewczego.

Automatyka kotłowa cd...

- Współpraca z buforem – funkcja powoduje, że kocioł pracuje dłuższymi cyklami, jednocześnie wydłuża się czas postoju kotła, zmniejsza się ilość cykli rozpalania / wygaszania. Współpraca z buforem radykalnie poprawia się sprawność całego układu, pozwala zaoszczędzić paliwo oraz przyczynia się do zwiększenia trwałości kotła.
- Automatyczny powrót do pracy po zaniku zasilania – po powrocie napięcia regulator bada stan kotła i podejmuje decyzję o rozpoczęciu pracy, przejściu do wygaszenia lub wykonuje procedurę rozpalenia w kotle.
- Zabezpieczenie przed przegrzaniem kotła - przekroczenie temperatury maksymalnej lub uszkodzenie czujnika, powoduje kontrolowane zatrzymanie procesu palenia i uruchomienie pomp CO i CWU.

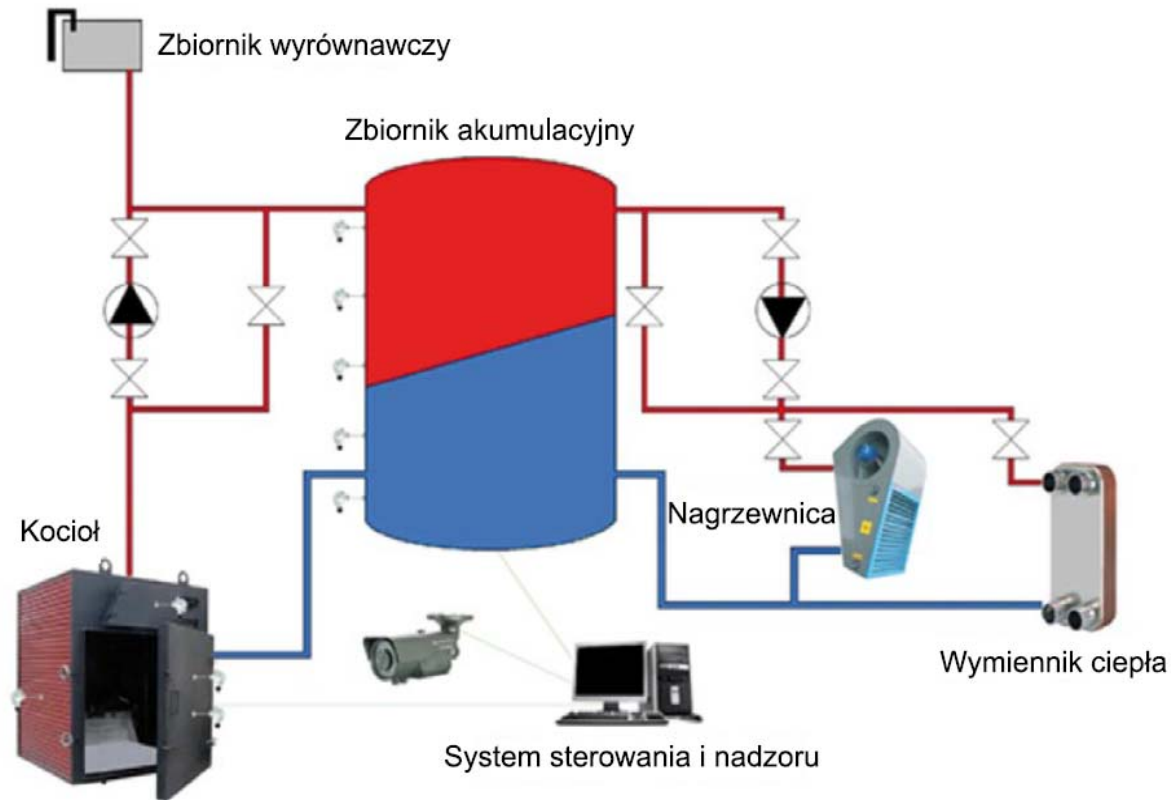
Inne elementy automatyki

- Automatyczny ruszt obrotowy oraz odbiór popiołu co pozwala na regularne i kontrolowane czyszczenie paleniska a zarazem udrażnianiu dopływu powietrza do spalin.
- Za rozpalenie kotła oraz uniemożliwienie mu wygaśnięcia odpowiada zapalarka która jest sterowana czujnikiem temperatury spalin
- Zapalarka pracuje tylko w momencie rozpalania oraz przy przejściu z trybu czuwania do trybu pracy automatycznej co zwiększa jej żywotność.

Przykład badań na WEiP AGH

- Badania kotła na biomasę o mocy 180 kW
 - sterowanie nawiewem powietrza za pomocą falowników
- Badania piecokominka
 - sterowanie otwarciem przepustnicy

Schemat instalacji



-Kocioł RM40 Metalerg, 180 kW, 1.5 m³ płaszcz wodny

- Zbiornik akumulacyjny, 4m³

-dwie pompy 32Pot120A/B LFP LESZNO

-Wymiennik ciepła 180 kW

- nagrzewnica Juwent UGW/D-10-IV, 30 kW

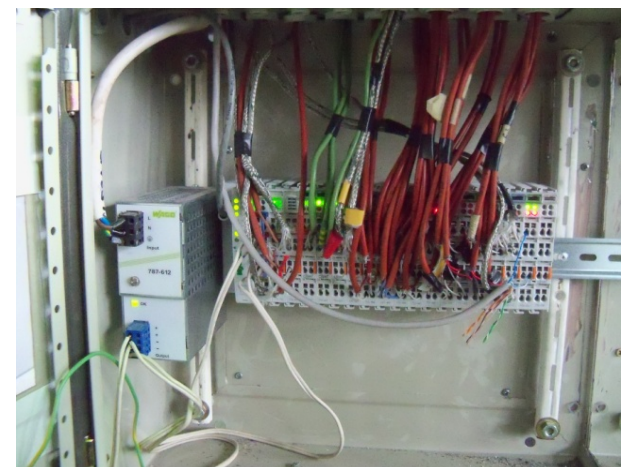
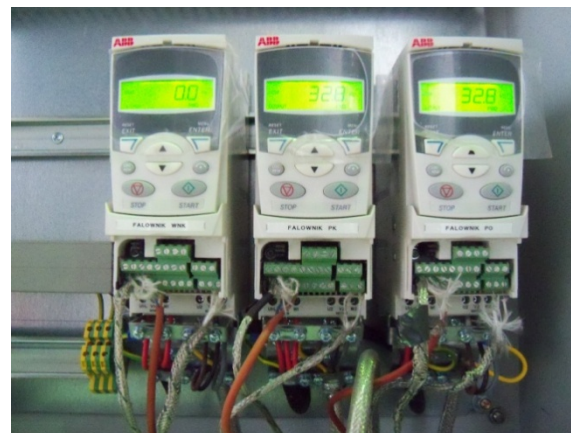
-Falowniki ACS310 ABB

-Czujniki temperatury i przepływu

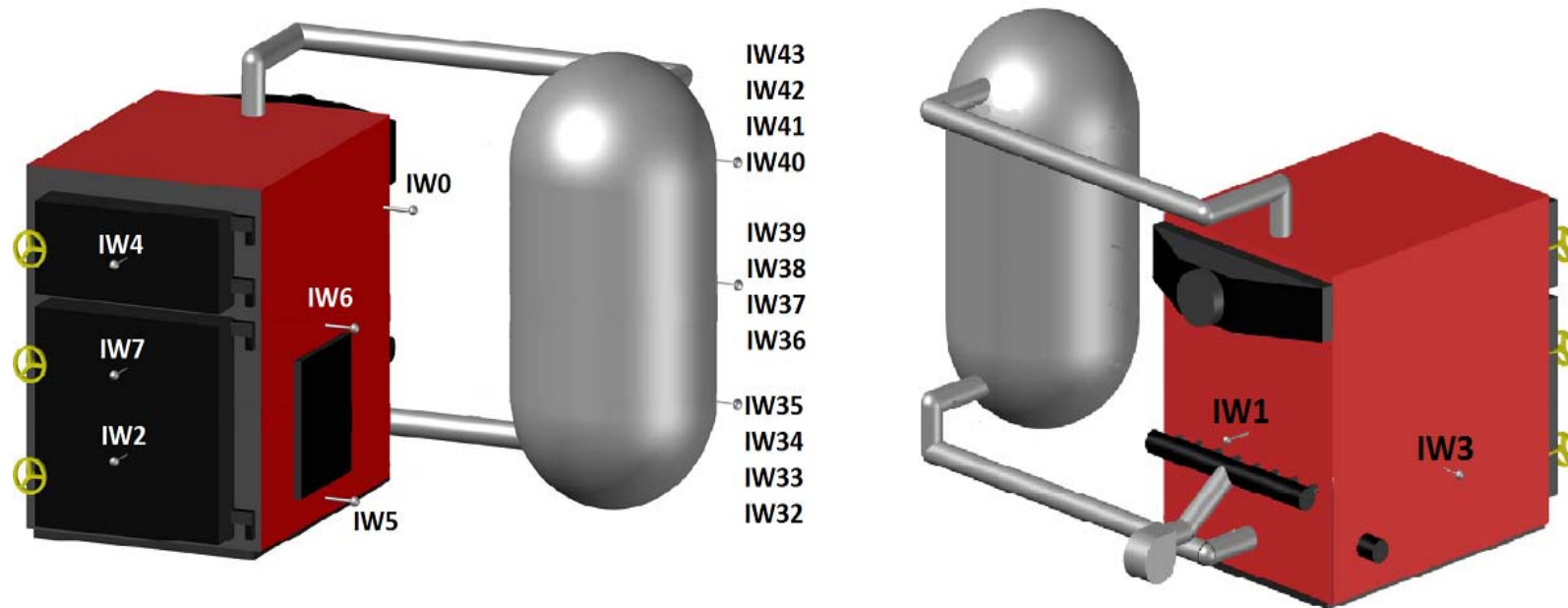
-Analizator spalin O₂, CO₂, CO, SO₂, NO_x

- system, WAGO PLC 750/841

Elementy instalacji biomasowej na Wydziale Energetyki i Paliw



Wizualizacja i oznaczenie elementów pomiarowych temperatury



IW0-IW7 czujniki temperatury w komorze spalania

Oprogramowanie systemu pomiarowo-sterującego

WAGO
INDUSTRY CONNECTION

Web-based Management

WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG
Hansstr. 2
D-32423 Minden
www.wago.com

Navigation

- Information
- Ethernet
- TCP/IP
- Port
- SNMP
- SNMP V3
- Watchdog
- Clock
- Security
- PLC
- Features
- IO config
- WebVisu

Coupler details

Order number	750-841/000-000
Mac address	0030DE03E0AE
Firmware revision	02.15.04 (17)

Network details

IP address	10.10.11.171
Subnet mask	255.255.255.0
Gateway	10.10.11.1
Hostname	
Domainname	

Module status

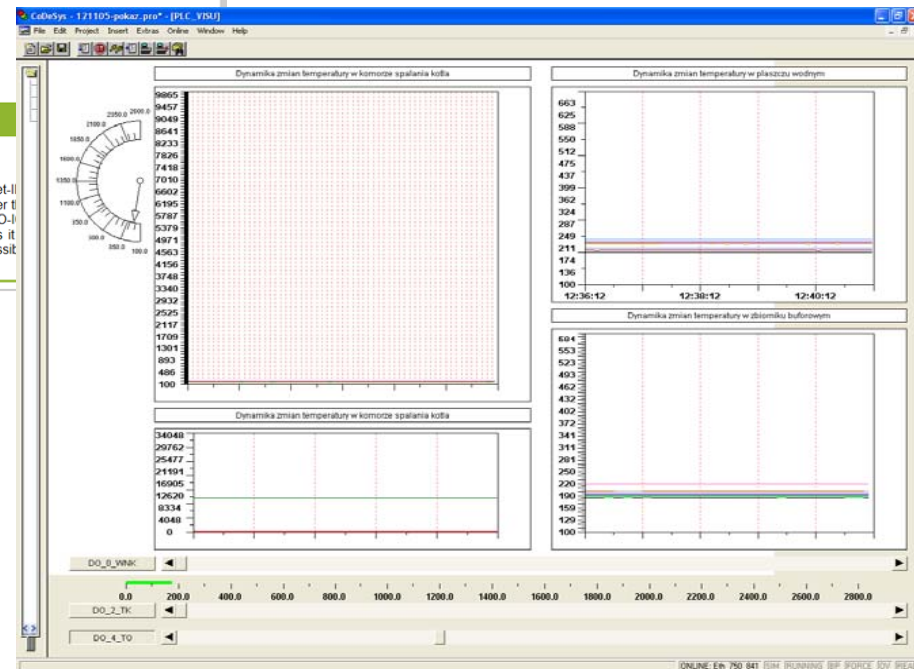
State Modbus Watchdog	Disabled
Error code:	0
Error argument:	0
Error description:	Coupler running, OK

Important information

The 750-841 has a new Target-ID.

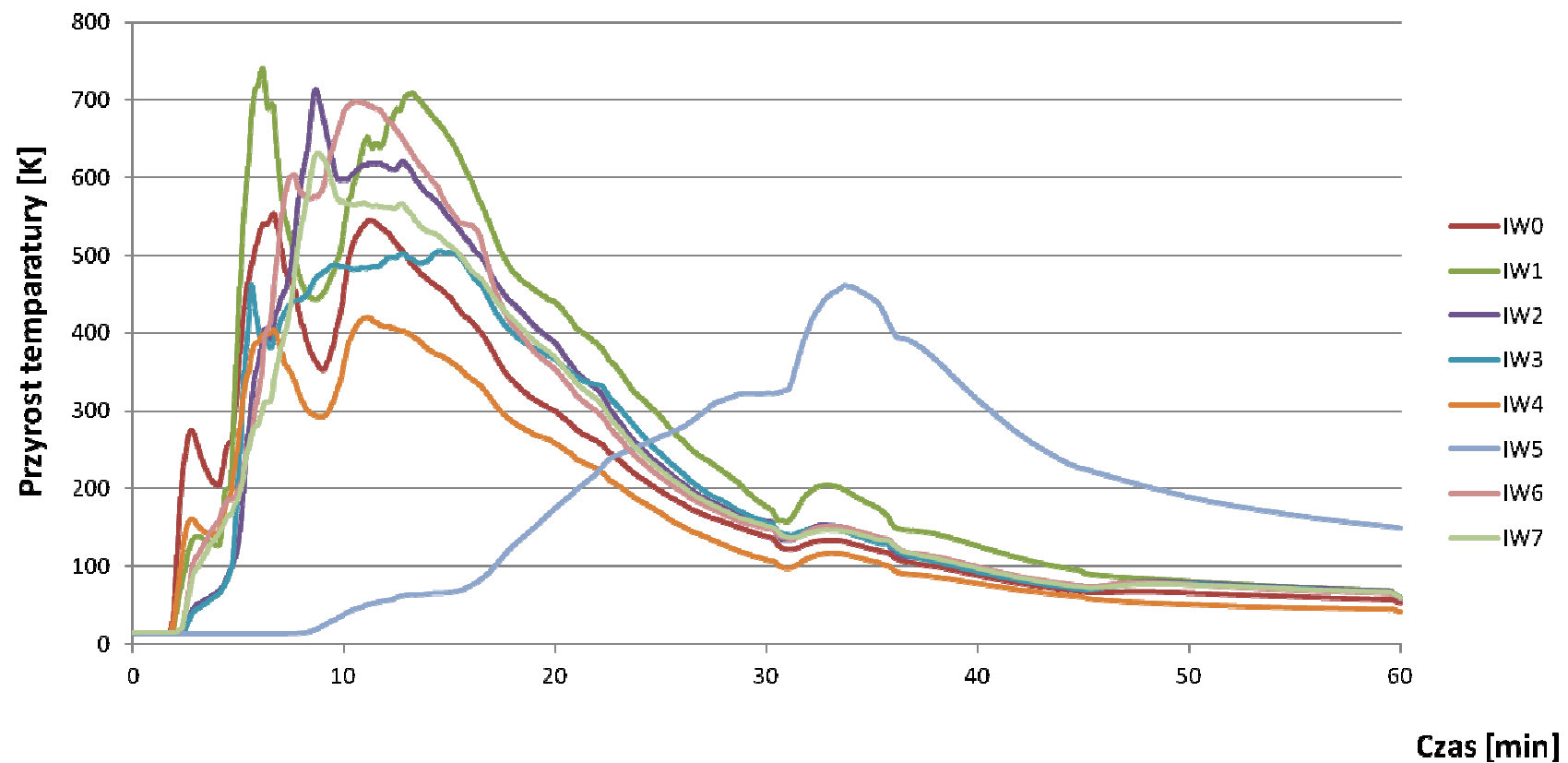
With firmware 13 of the 750-841 it was necessary to create a new CoDeSys-Target-ID. In existing projects it is possible to change the target in the folder Resources under the item Targetsettings. The new target will be part of the version 2.3.8.5 of WAGO-PRO CAA. It is also available via the WAGO support. For compatibility reasons it is possible to change the target ID in the 750-841 to versions before 12. This is possible on the page PLC in the web-based management.

Oprogramowanie napisane w środowisku CoDeSys

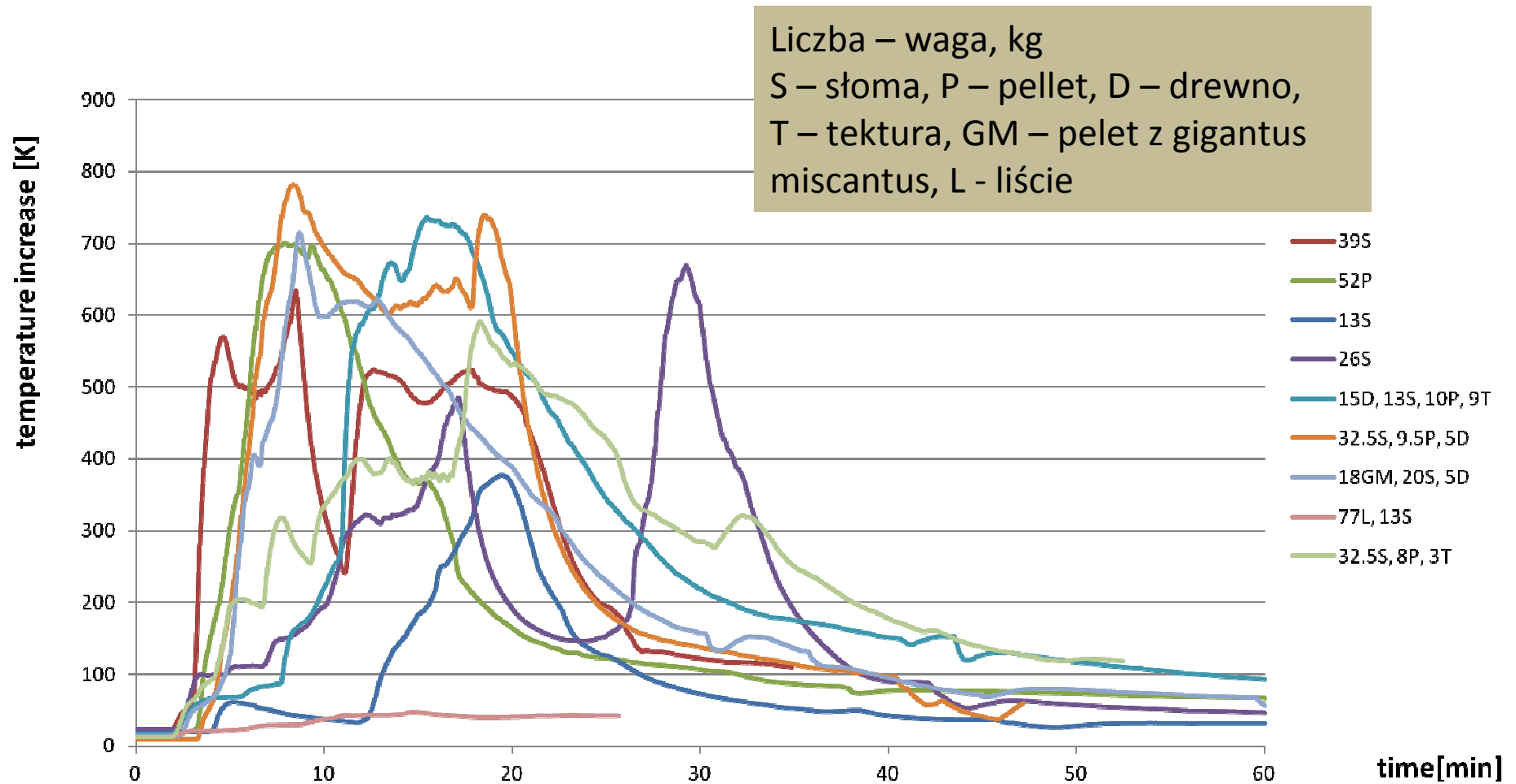


Przykładowy pomiar – przebieg temperatur w komorze spalania

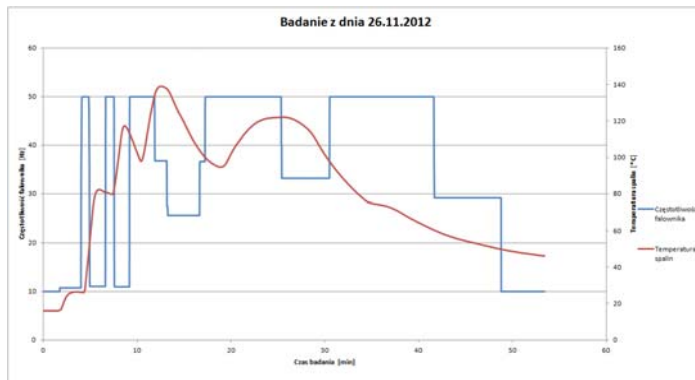
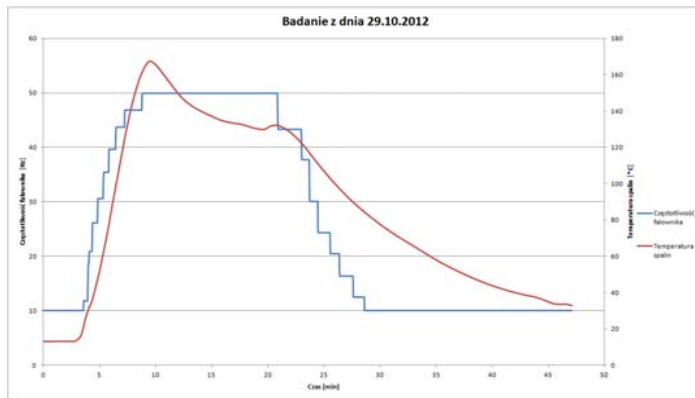
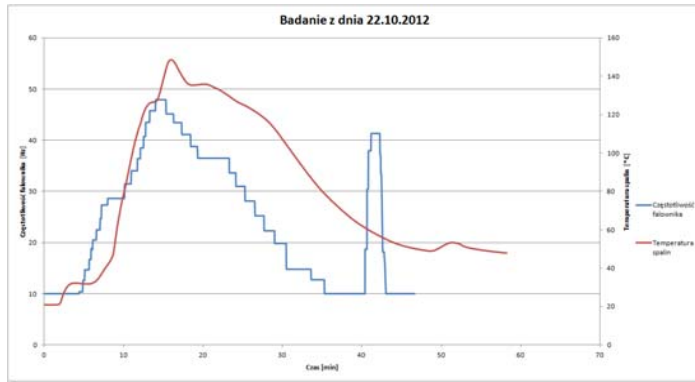
12.11.12 (18kg pelletu gigantus miskantus, 20kg słomy, 5kg drewna)



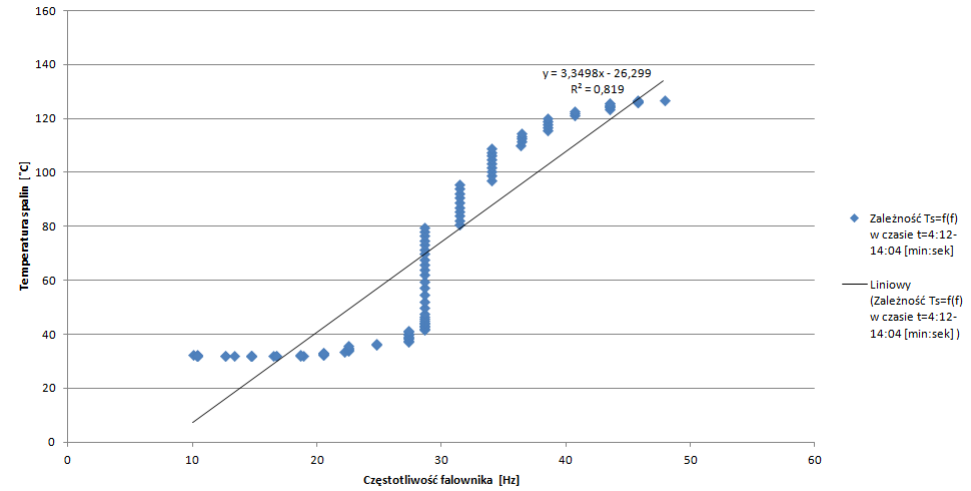
Czujnik temperatury u dołu drzwi wsadowych IW2



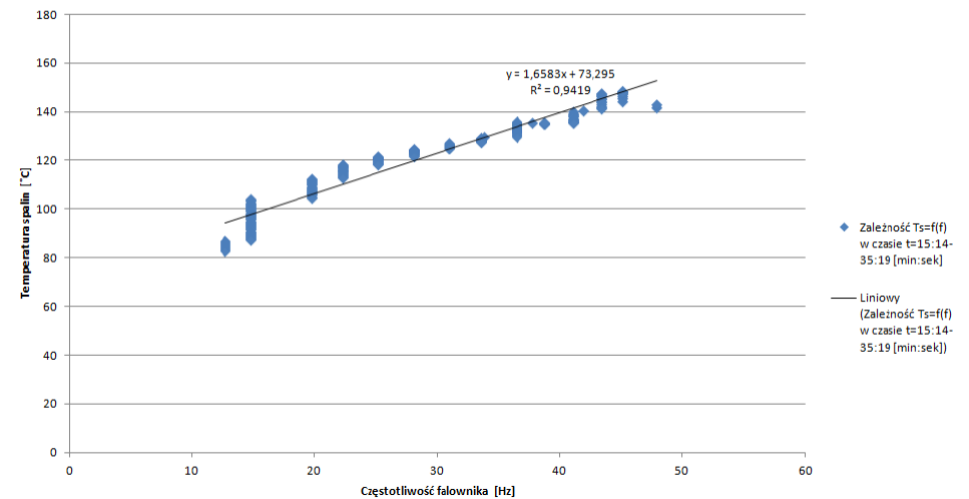
Sterowanie falownikowe powietrzem



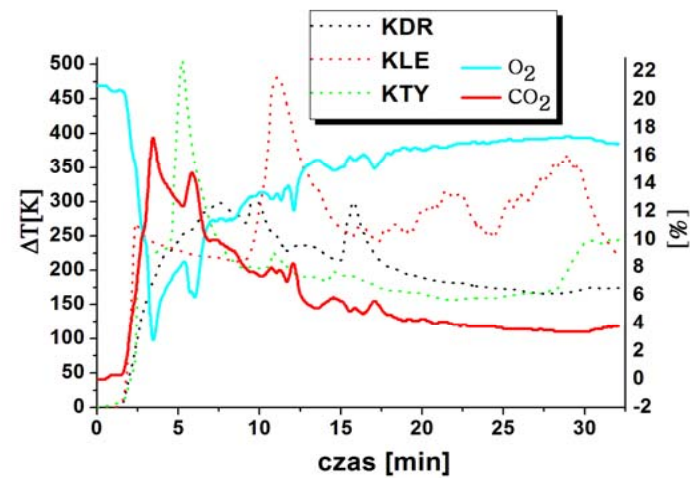
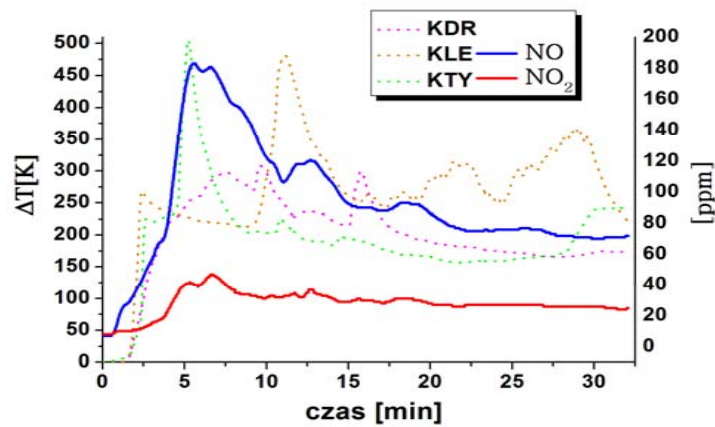
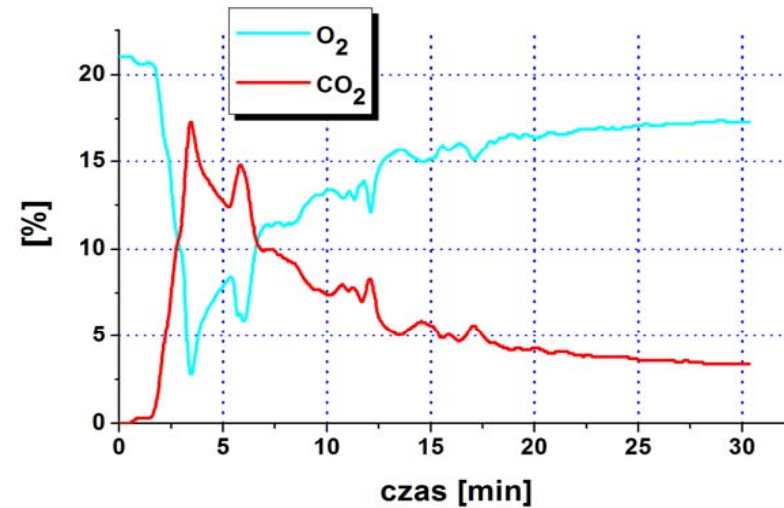
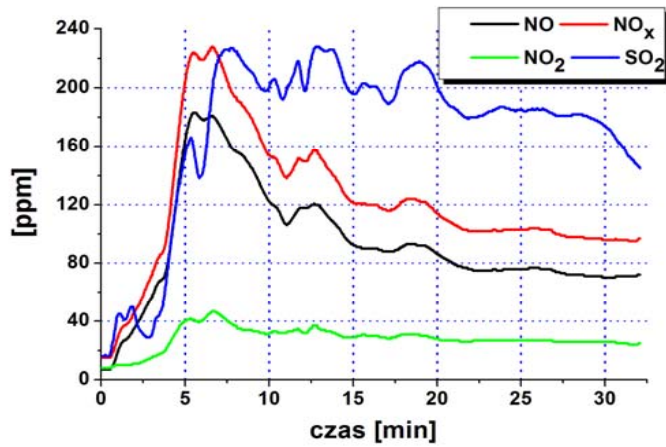
Zależność $T_s=f(f)$ w czasie $t=4:12-14:04$ [min:sek]



Zależność $T_s=f(f)$ w czasie $t=15:14-35:19$ [min:sek]



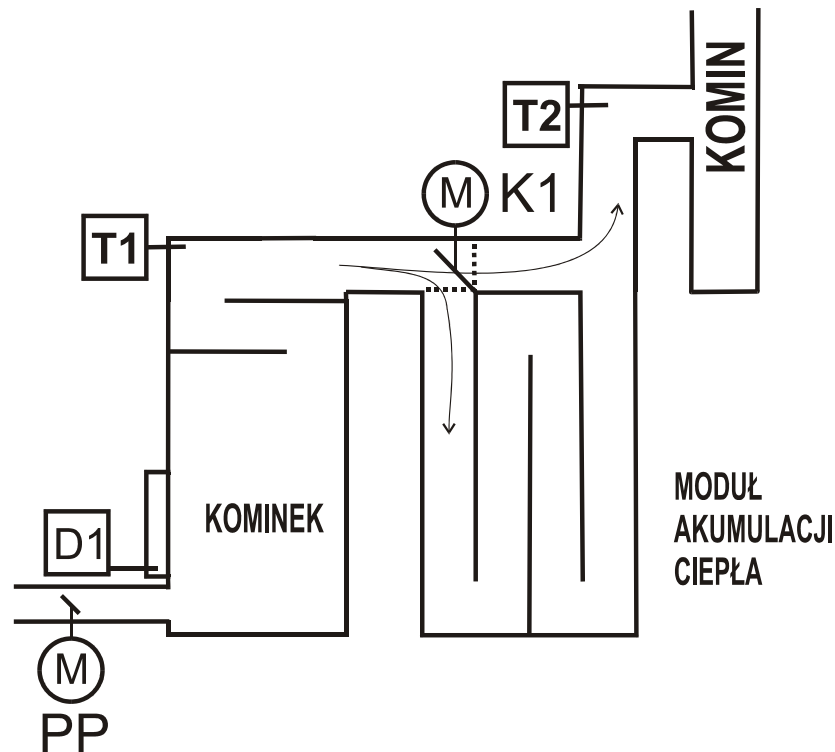
Analiza składu spalin



The fuel consisted paper - 5 kg and straw -36 kg, the fan efficiency was set on: 50%.

KDR – gate, bottom, KPR – back wall, KTY – second chamber, KLE – medium left wall

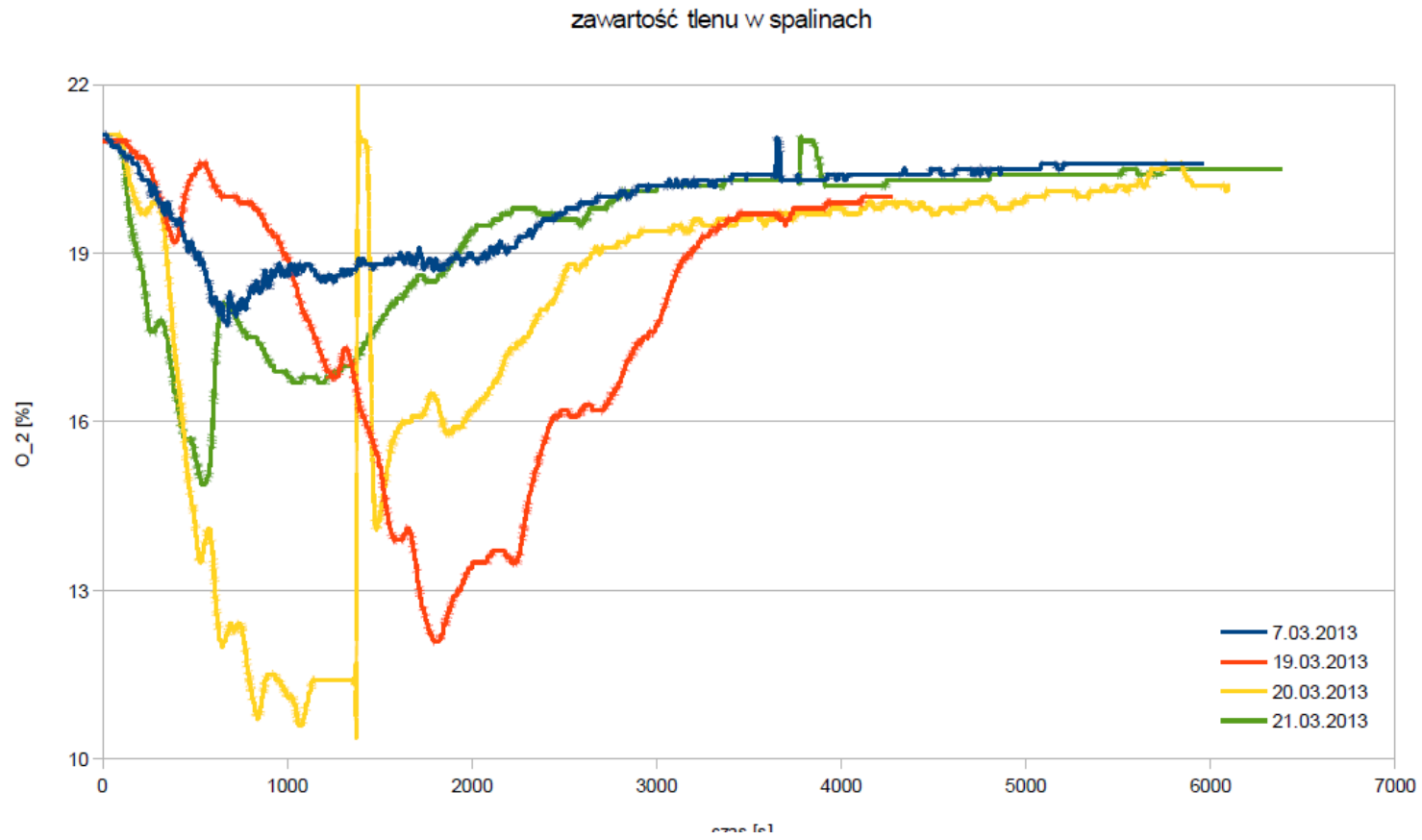
Sterowanie piecokominkiem



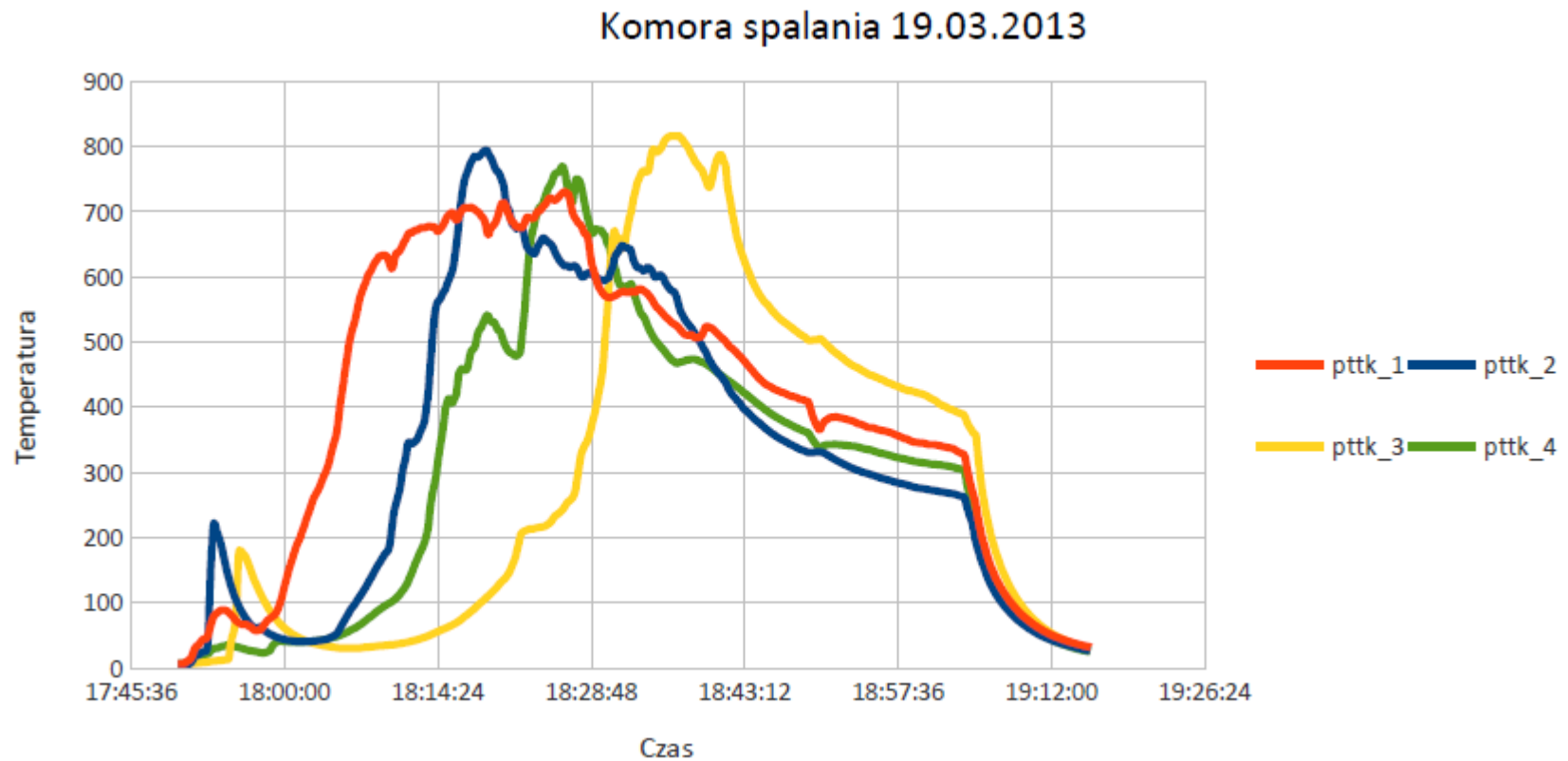
T1	Czujnik temperatury spalania
T2	Czujnik temperatury na wyjściu modułu akumulacji MAC
D1	Czujnik otwarcia drzwiczek paleniska
PP	Sterowana przepustnica powietrza
K1	Napęd klapy ciągu kominowego

Fstop	Faza spoczynkowa. Regulator oczekuje na otwarciu drzwiczek i przygotowanie paliwa do kolejnego palenia. W stanie STOP przepustnica jest zamknięta.
F0	Stan przejściowy po włączeniu zasilania przy drzwiczkach zamkniętych. Przepustnica jest otwarta. W zależności od temperatury paleniska regulator decyduje czy przejść do fazy spoczynkowej Fstop czy kontynuować proces spalania F1 .
F0	Stan po otwarciu drzwiczek paleniska. Przepustnica jest otwarta.
F1	Faza startu. Po załadowaniu paliwa i jego zapaleniu zamykamy drzwiczki paleniska. Jest to sygnał dla regulatora, że rozpoczęto cykl spalania. Przepustnica jest w pełni otwarta.
F2	Faza rozpalania. Po osiągnięciu temperatury granicznej następuje przejście do F3
F3,4,5	Fazy wzrostu temperatury. Przepustnica jest ustawiana zależnie od temp. zgodnie z teoretyczną krzywą spalania.
F6	Faza spalania. Oczekiwanie na osiągnięciu maksymalnej temperatury spalania.
F7	Faza obniżania temperatury. Przepustnica jest stopniowo przymykana.
F8	Faza żaru. Sygnalizacja konieczności uzupełnienia paliwa.
F9	Faza usuwania gazów spalinowych. Następuje otwarcie przepustnicy a następnie jej zamknięcie i przejście do fazy spoczynkowej.

Przykładowe analizy składu spalin



Temperature



Strata masy podczas spalania

