ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: ENERGETYKA z. 122 Nr kol. 1262

Wojciech SZWARC, Jerzy KUTA, Krzysztof BADYDA,
Andrzej MILLER, Janusz LEWANDOWSKI
Instytut Techniki Cieplnej, Politechnika Warszawska

ZMODERNIZOWANA INSTALACJA BADAWCZA Z CIŚNIENIOWYM KOTŁEM FLUIDALNYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono opis instalacji badawczej z ciśnieniowym kotłem fluidalnym o mocy cieplnej 3 MW i ciśnieniu spalania 0,6 MPa, zlokalizowanej w Laboratorium Zakładu MiUE Instytutu Techniki Cieplnej Politechniki Warszawskiej. Omówiono rozwiązania techniczne podstawowych elementów i urządzeń instalacji. Przedstawiono założenia i zakres modernizacji układu kontrolno–pomiarowego i sterowania. Opisano przebieg badań procesu rozruchu ciśnieniowego kotła fluidalnego. Przykładowe wyniki pomiarów zarejestrowane w czasie badań przedstawiono na wykresach.

MODERNIZED PFBC TEST INSTALLATION

Summary. The paper presents the pressurized bed combustion (PFBC) test installation. The installation of maximal thermal output 3 MW and combustion pressure 0,6 MPa is located at the Institute of Heat Engineering, Warsaw University of Technology. Technical solutions of basic elements and systems are described. The brief foredesign, conception and realization of computerized measuring and control system is presented. Results of start–up process are given.

MODERNISIERTE VERSUCHSANLAGE MIT DEM DRUCKWIRBESCHICHTKESSEL

Zusammenfassung. Im Beitrag wurde Beschreibung der Versuchsinstallation mit dem Druckwirbelschichtkessel (thermische Leistung 3 MW, Druck in der Feuerung 0,6 MPa), die im Labor des Institutes fur Wärmetechnik der TU Warszawa gebaut worden ist, vorgestellt. Es wurde Entwicklung der Hauptelemente der Installation beschrieben. Konstruktionsannahmen des Meß– und Steuerungssystems sind beschrieben. Schließlich wurden die Ergebnisse der Untersuchungs des Anfahrens des Druckwirbelschichtkessels illustriert und besprochen.

1. WSTĘP

Instalacja badawcza z ciśnieniowym kotłem fluidalnym o mocy cieplnej 3 MW i ciśnieniu spalania 0,6 MPa została zaprojektowana i wybudowana w Laboratorium Zakładu MiUE ITC PW w latach 1988–90 w ramach CPBR 5.1.2.6. W 1990 roku dokonano próby poszczególnych elementów i urządzeń instalacji oraz przeprowadzono wstępny rozruch ciśnieniowego kotła fluidalnego. Uzyskane wówczas wyniki potwierdziły prawidłowe działanie wszystkich elementów instalacji, wykazując jednocześnie pewne ograniczenie możliwości układu kontrolno–pomiarowego i sterowania z punktu widzenia współczesnej techniki pomiarowej.

2. OPIS INSTALACJI BADAWCZEJ

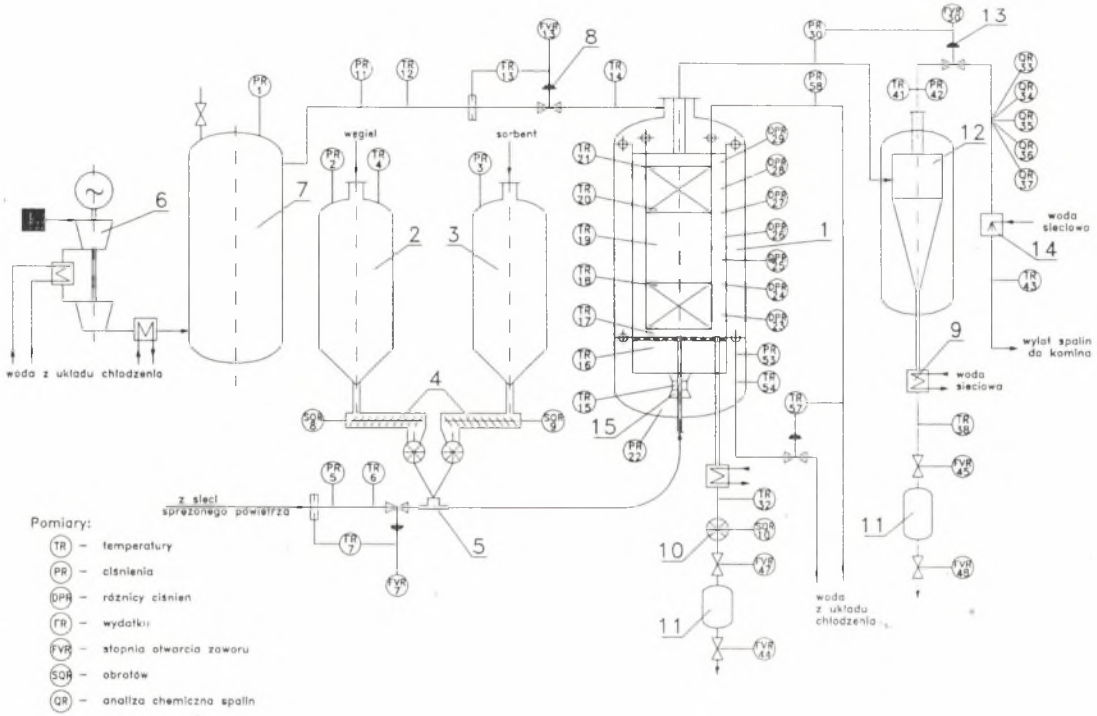
Ogólny schemat instalacji z ciśnieniowym kotłem fluidalnym z zaznaczeniem punktów pomiarowych i elementów automatycznego i zdalnego sterowania przedstawiono na rys. 1. Główny element instalacji, ciśnieniowy kocioł fluidalny, jest połączony z pięcioma podstawowymi układami: zasilania w powietrze, zasilania w paliwo i sorbent siarki, odpopielania, odpylania i odprowadzania spalin oraz chłodzenia. Ponadto ciśnieniowy kocioł fluidalny wyposażono w instalację rozpałową z automatycznym systemem kontroli płomienia i sterowania gazowego palnika rozpałowego. Agregat sprężarkowy posiada własny, automatyczny system kontroli i sterowania strumieniem masy tłoczonego powietrza.

2.1. **Ciśnieniowy kocioł fluidalny**

Ciśnieniowy kocioł fluidalny typu wodnego składa się z dwóch głównych elementów: cylindrycznego zbiornika ciśnieniowego i zamkniętego w nim kanału spalin, mieszczącego palenisko fluidalne i rurowy wymiennik ciepła.

Zbiornik ciśnieniowy o średnicy wewnętrznej 1400 mm i wysokości 4900 mm jest zamknięty dnami eliptycznymi. Przez dno górne jest przeprowadzony przewód wylotowy spalin. Powietrze główne dopływa do kotła pierścieniowym kanałem króćca wlotowego wzdłuż przewodu wylotowego spalin, zapewniając dobre chłodzenie króćca oraz ścian zbiornika na całej wysokości. Przez dolne dno zbiornika są przeprowadzone przewody: dolotowy i wylotowy wody, zasilania w paliwo i sorbent oraz odpopielania paleniska fluidalnego.

W dolnej cylindrycznej części zbiornika jest umieszczony właz montażowy o średnicy 700 mm oraz króćce przepustowe instalacji rozpałowej i układu pomiarowego. Kocioł jest posadowiony na czterech podporach przytwierdzonych do dolnego dna zbiornika.



Rys. 1. Schemat instalacji badawczej z ciśnieniowym kotłem fluidalnym: 1 – ciśnieniowy kocioł fluidalny, 2 – zasobnik węgla, 3 – zasobnik sorbentu, 4 – dozownik węgla/sorbentu, 5 – strumienica, 6 – sprężarka, 7 – zbiornik wyrównawczy, 8 – zawór regulacyjny, 9 – chłodnica popiołu, 10 – dozownik popiołu, 11 – zbiornik popiołu, 12 – odpylacz cyklonowy, 13 – zawór redukcyjny, 14 – schładzacz spalin, 15 – gazowy palnik rozpałkowy

Fig. 1. The PFBC test installation diagram: 1 – PFBC boiler, 2 – coal hopper, 3 – sorbent hopper, 4 – coal/sorbent feeder, 5 – injector, 6 – compressor, 7 – equalizing tank, 8 – control valve, 9 – ash feeder, 11 – ash storage, 12 – cyclone, 13 – pressure reducing valve, 14 – flue gas cooler, 15 – start–up gas burner

Kanał spalin, zawieszony na podporach w górnej części zbiornika, jest wykonany ze szczelnych ścian membranowych z rur o średnicy zewnętrznej 38 mm w podziałce 50 mm.

Przekrój kanału wynosi 0,55 x 0,55 = 0,3 m^2, co zapewnia prędkość fluidyzacji 2 m/s przy mocy paleniska 3 MW i ciśnieniu spalania 0,6 MPa. Górny wylot kanału spalin jest zamknięty przymocowaną do kołnierza pokrywą z wychodzącym z niej przewodem wylotowym spalin oraz podwieszonym konwekcyjnym wymiennikiem ciepła, wprowadzonym do kanału spalin. Wężownicowy, dwupęczkowy wymiennik ciepła jest zbudowany w układzie przestawnym z rur o średnicy zewnętrznej 26,9 mm w podziałce 60 mm. Dolny pęczek wymiennika, zanurzony w złożu fluidalnym, ma powierzchnię 6,5 m^2, co zapewnia możliwość utrzymania temperatury w palenisku na poziomie 800°C przy pracy kotła w zakresie mocy maksymalnej. Górny pęczek, którego zadaniem jest schłodzenie spalin na wylocie z kotła do poziomu 500°C, ma powierzchnię 6,1 m^2. Do dolnego kołnierza kanału spalin jest przytwierdzony kołpakowy rozdzielacz powietrza, obudowany blaszanym kanałem skrzyni powietrza, do której jest przytwierdzony od dołu gazowy palnik rozpałowy w kształcie cylindra z pierścieniową komorą spalania. Integralny element konstrukcyjny palnika stanowi wewnętrzny przewód zasilania kotła w paliwo i sorbent, zakończony w palenisku zwrotnym zaworem kulowym o specjalnej konstrukcji, która zapewnia równomierny rozdział paliwa w warstwie fluidalnej.

W jednym z naroży rozdzielacza powietrza przeprowadzono przewód odprowadzania materiału złoża połączony z układem odpopielania.

2.2. **Układ zasilania w powietrze**

Głównym elementem układu zasilania w powietrze jest celkowa sprężarka rotacyjna typu 2VZWZ 125/396 produkcji VEB Kombinat Halle o wydajności 0,7 m_n^3/s, przy ciśnieniu tłoczenia 0,6 MPa, wyposażona w chłodnice międzystopniową i końcową. Ze sprężarki powietrze jest kierowane do zbiornika ciśnieniowego kotła. Powietrze do zasilania systemu pneumatycznego sterowania zaworami regulacyjnymi i odcinającymi oraz pneumotransportu paliwa i sorbentu do kotła jest pobierane z sieci sprężonego powietrza Instytutu.

2.3. **Układ zasilania w paliwo i sorbent**

W instalacji badawczej zastosowano ciśnieniowy system układu zasilania kotła fluidalnego w paliwo i sorbent, w skład którego wchodzą następujące elementy:

- zasobnik węgla o objętości 5,8 m^3,
- zasobnik sorbentu o objętości 1,8 m^3,
- dwie zasuwy odcinające umieszczone na wylotach zasobników,
- dwa dozowniki ślimakowo–celkowe z falownikowym regulatorem prędkości obrotowej elektrycznych silników napędowych,

- strumienica powietrzna do transportu pneumatycznego paliwa i sorbentu z dozownika do paleniska,
- przewód doprowadzający z zaworem zwrotnym, rozprowadzającym.

2.4. **Układ odpopielania**

W układzie zastosowano dwa ciśnieniowe ciągi odpopielania paleniska fluidalnego oraz zbiornika cyklonowego odpylacza spalin, składające się z następujących elementów:
- chłodnicy popiołu,
- dozownika celkowego z falownikowym regulatorem prędkości obrotowej silnika napędowego,
- dwóch kulowych zaworów odcinających ze zdalnie sterowanymi siłownikami pneumatycznymi,
- zbiornika popiołu o objętości 0,9 m^3.

2.5. **Układ odpylania i odprowadzania spalin**

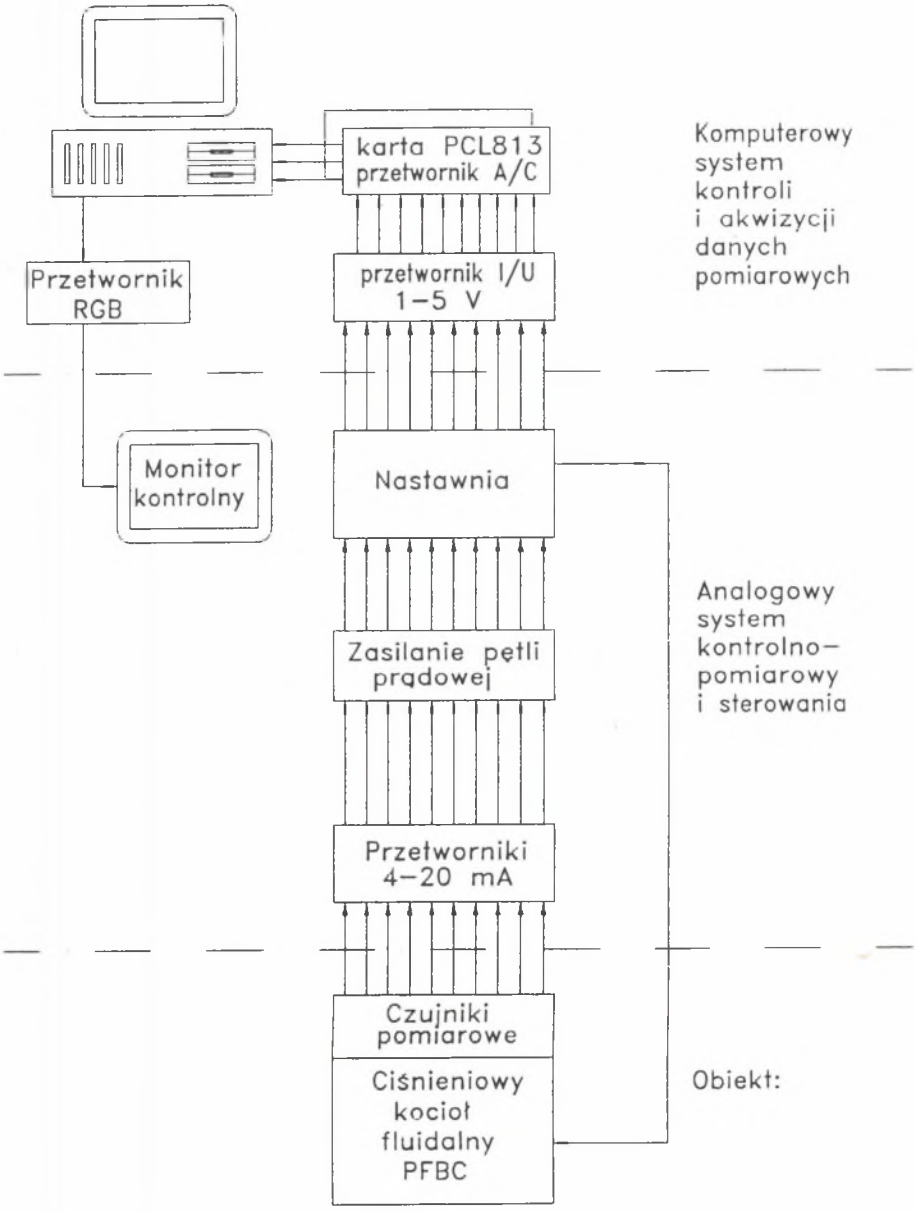
Ze względu na badawczy charakter instalacji zastosowano integralny, ciśnieniowy układ odpylania, składający się z dwóch głównych elementów: cylindrycznego zbiornika ciśnieniowego i zamkniętego w nim cyklonowego odpylacza spalin. Na przewodzie wylotowym spalin ze zbiornika zamontowano zawór redukcyjny do regulacji ciśnienia w kotle, z którego spaliny po schłodzeniu ich wtryskiem wody kierowane są do komina.

2.6. **Układ chłodzenia**

Do chłodzenia dwóch głównych elementów instalacji: ciśnieniowego kotła fluidalnego i agregatu sprężarkowego zaadaptowano istniejący w Laboratorium ITC PW układ chłodzenia z wentylatorową chłodnią kominową i zespołem pomp obiegowych o wydajności 0,015 m^3/s i ciśnieniu 0,6 MPa. Do zasilania chłodni popiołu i wtryskowego schładzania spalin wykorzystano instalację wody sieciowej.

3. ZMODERNIZOWANY UKŁAD KONTROLNO–POMIAROWY I STEROWANIA

Pierwotny układ kontrolno–pomiarowy instalacji badawczej z ciśnieniowym kotłem fluidalnym został wykonany i uruchomiony w oparciu o projekt techniczny z 1988 r. Część analogową wykonano w przemysłowym standardzie sygnałów 4 – 20 mA. Część cyfrową oparto na komputerze PC AT, współpracującym z typowymi urządzeniami peryferyjnymi (monitor, drukarka, ploter) oraz specjalną kartą portów równoległych, multiplekserem i 12–bitowym przetwornikiem A/C, połączonymi z częścią analogową. Do obsługi systemu kontrolno–pomiarowego opracowano i zainstalowano program



Rys. 2. Schemat ideowy systemu kontrolno–pomiarowego i sterowania ciśnieniowego kotła fluidalnego

Fig. 2. The PFBC measuring and control system diagram

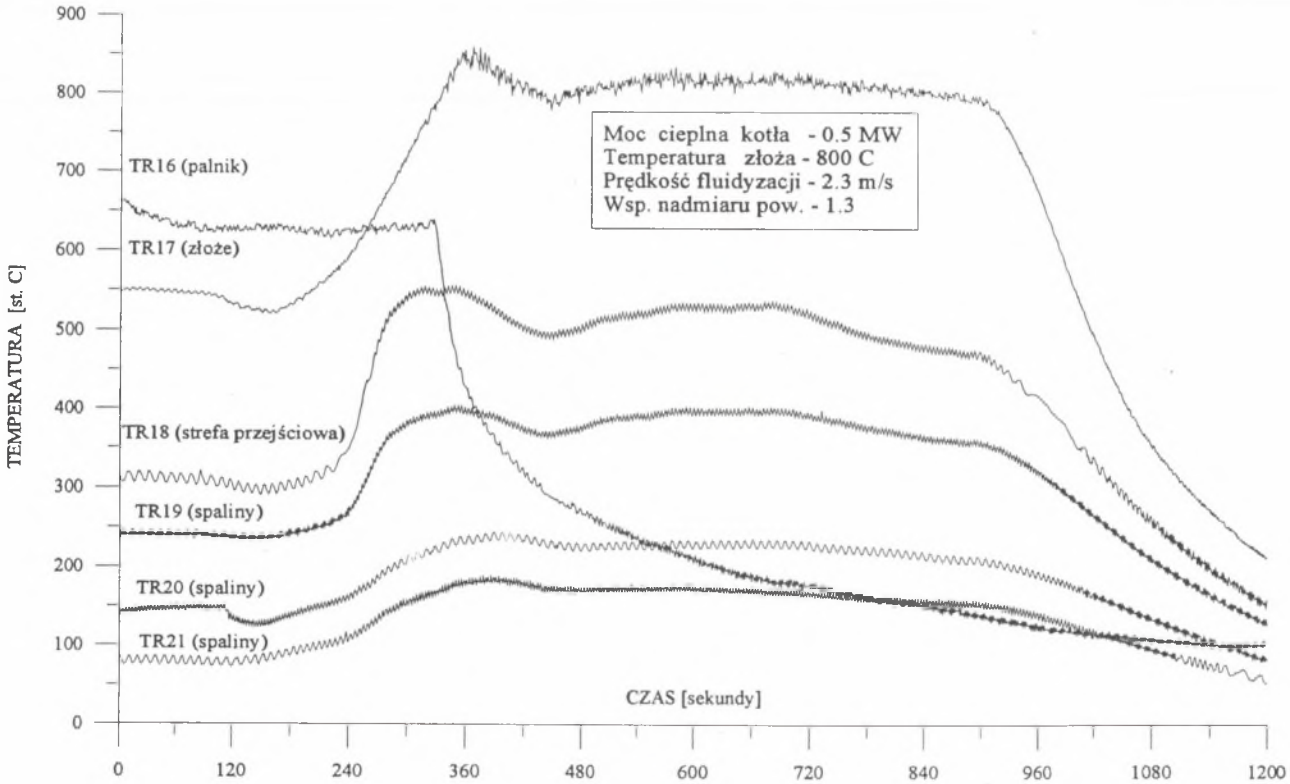
MIKROMEL, będący zbiorem modułów służących do obserwacji, przetwarzania i rejestracji danych pomiarowych.

Po reaktywacji instalacji w 1993 r. przeprowadzono modernizację układu kontrolno–pomiarowego i przystosowano go do wymagań współczesnej techniki pomiarowej. Jako jednostkę centralną zastosowano komputer PC 486DX wyposażony w dwie 32–kanałowe karty pomiarowe z optoizolacją PCL 813. Do obsługi systemu kontrolno–pomiarowego i sterowania wykorzystano profesjonalny program komputerowy Labtech Control amerykańskiej firmy Laboratory Technologies Corporation. Układ realizuje kontrolę, rejestrację i przetwarzanie wszystkich wielkości mierzonych. Usytuowanie punktów pomiarowych na obiekcie przedstawiono na rys. 1. Schemat ideowy układu kontrolno–pomiarowego i sterowania przedstawia rys. 2. Jako uzupełnienie układu zaprojektowano i wykonano poprawnie działający system kontroli płomienia i sterowania gazowego palnika rozpałowego oraz zastosowano nowe falowniki z możliwością automatycznej regulacji prędkości obrotowej silników do napędu dozowników ślimakowo–celkowych w układzie zasilania w paliwo i sorbent oraz odpopielania.

4. BADANIA ROZRUCHU CIŚNIENIOWEGO KOTŁA FLUIDALNEGO

Badania procesu rozruchu przeprowadzono w następującej kolejności:

a. Napełniono palenisko fluidalne materiałem inertnym (mieszanka popiołu i dolomitu o ziarnistości 0,5 – 8 mm) do wysokości warstwy fluidalnej w stanie usypowym 400 mm ponad poziom kołpakowego rozdzielacza powietrza.
b. Napełniono zbiorniki: paliwa wysuszonym węglem o ziarnistości 0,5–8 mm i sorbentu dolomitem o ziarnistości 0,5–3 mm.
c. Włączono układ chłodzenia kotła, agregatu sprężarkowego i chłodnic popiołu.
d. Otwarto zawory: dolotowy powietrza i wylotowy spalin, uruchomiono sprężarkę i ustalono strumień powietrza głównego do kotła na poziomie 0,15 m^3/s oraz strumień powietrza do pneumotransportu ok. 0,03 m^3/s.
e. Włączono system kontroli płomienia gazowego palnika rozpałkowego i uruchomiono palnik doprowadzając w okresie ok. 30 min temperaturę złoża fluidalnego do 550°C.
f. Po wyrównaniu temperatury w całej objętości złoża do poziomu 550°C uruchomiono dozownik paliwa z wydajnością 0,024 kg/s, zapłon węgla uwidocznił się nagłym wzrostem temperatury. Po osiągnięciu temperatury złoża fluidalnego 750°C wyłączono palnik gazowy.
g. Ustalono stan równowagi cieplnej kotła na poziomie 0,5 MW. Parametry pracy paleniska fluidalnego przy tej mocy wynosiły: temperatura złoża 800°C, współczynnik nadmiaru powietrza 1,3 (zawartość CO_2 w spalinach 14,5%), prędkość fluidyzacji 2,3 m/s.



Rys. 3. Rozkład temperatur w komorze paleniskowej ciśnieniowego kotła fluidalnego

Fig. 3. Temperature distribution in PFBC

h. Po ok. 10 min stabilnej pracy kotła wygaszono palenisko przerywając dopływ węgla i chłodząc złoże powietrzem.

Przykładowy przebieg rozkładu temperatur złoża fluidalnego i spalin w komorze paleniskowej zarejestrowany przez układ pomiarowy podczas badań przedstawiono na rys. 3.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz CHMIELNIAK

Wpłynęło do Redakcji 8.08.1994 r.

Abstract

The paper presents the pressurized fluidized bed combustion (PFBC) test installation. The installation of maximal thermal output 3 MW and combustion pressure 0,6 MPa is located at the Institute of Heat Engineering, Warsaw University of Technology. The PFBC water type boiler is integrated into the pressure vessel. The combustion air is fed by the rotary compressor. The fuel and sorbent are fed into the bed pneumatically. The height of the fluidized bed is controlled by pressurized ash removal system. Flue gases are cleaned in cyclones integrated into the separate pressure vessel. The measurement and control system is based on IBM PC 486/DX computer. Technical solutions of basic elements and systems are described. The brief foresdesign, conception and realization of computerized measuring and control system is presented. Results of start–up process are given.