

Jan KRZTOŃ, Ludwik MADEJA  
AHLSTROM FAKOP LTD., Sosnowiec

## NOWE ROZWIĄZANIE TECHNICZNE CYRKULACYJNYCH KOTŁÓW FLUIDALNYCH TYPU COMPACT

**Streszczenie.** Referat przedstawia tło, rozwój i plany realizacji kotłów Pyroflow Compact, drugiej generacji kotłów z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym opracowanym przez Ahlstrom. Referat opisuje koncepcję nowego rozwiązania, prace badawcze i testowe, które były wykonane w laboratorium Ahlstroma. Prezentowane są wyniki pomiarów na pierwszej jednostce. Podano plany działań handlowych dla następnych jednostek. Zaprezentowano informacje dotyczące wymiennika ciepła CHEX. W konkluzji przedstawiono wizję stanu w sztuce kotłowej na najbliższą przyszłość.

### PYROFLOW COMPACT NEW CONCEPT OF DESIGN A SECOND GENERATION CFB BOILER

**Summary.** The paper discusses the background, development, configuration and commercialization plans of the Pyroflow Compact, a second generation circulating fluidized bed boiler by Ahlstrom. The paper describes the concept of new solution, the research and test works which has been done in Ahlstrom Laboratory. The results of measurements on the first unit in Kuhmo are presented. The commercialization plans for the next units are given. Some informations concerning with CHEX Heat Exchanger are presented. In conclusion discusses the vision of the state of the art boiler for the near future.

### NEUE TECHNISCHE AUSFÜHRUNG DER KESSEL MIT WIRBELSCHICHTFEUERUNG MIT ZIRKULATIONSSETT TYP COMPACT

**Zusammenfassung.** Der Bericht präsentiert Hintergrund, Fortentwicklung und Verwirklichungspläne für Ahlstrom's bearbeitende Pyroflow Compact-Kessel, zweiter Generation der Kessel mit Wirbelschichtfeuerung. Der Bericht beschreibt ein Entwurf der neuen Entscheidung, Forschungs- und Testarbeiten, welche bei

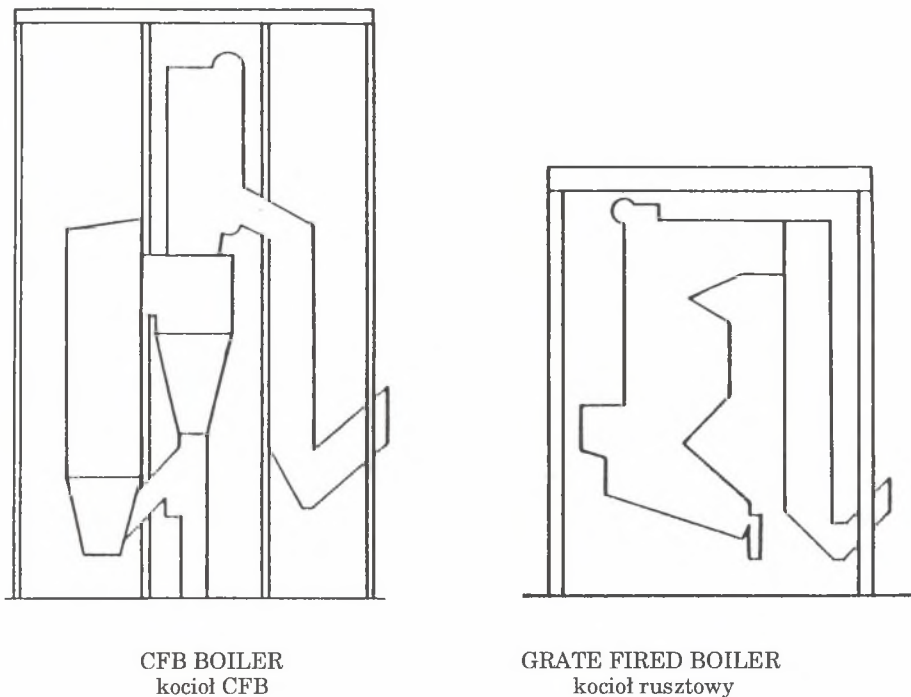
Ahlstrom's Labor sind durchgeführt worden. Die Messergebnisse sind bei erster Ausführung präsentiert. Für nächste Ausführung präsentiert. Für nächste Exempläre sind die Operations- und Handelspläne angegeben worden. Es sind Auskünfte betr. Wärmetauscher CHEX Vorgelegt worden. Im Schlusssatz es ist Zukunftsbild für Kesselkunst vorgestellt worden.

## WPROWADZENIE

Referat przedstawia tło, rozwój, konstrukcję i plany realizacji kotła Pyroflow Compact, drugiej generacji kotłów z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym opracowanym przez Ahlstrom. Produkt ten jest we wczesnym etapie wdrożenia komercyjnego i pierwszy kocioł tego typu uruchomiony został w końcu 1992 r. Ten obiekt zlokalizowany jest w mieście Kuhmo (Finlandia) i wytwarza moc  $5 \text{ MW}_e$  ( $18 \text{ MW}_t$ ), a paliwem jest biomasa. Drugie zastosowanie to jednostka ciepłownicza tego typu o mocy  $97 \text{ MW}_t$  znajdująca się w fazie realizacji projektu. Szersze przyszłościowe zastosowania są w fazie rozwoju, a dane obiektów podane są w załączonych tabelach. Kocioł Pyroflow Compact jest modyfikacją dobrze znanego rozwiązania AHLSTROM PYROFLOW wytwornic pary z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym, który zapewnia określone korzyści projektowe i redukuje zapotrzebowanie przestrzeni na kocioł.

## AKCEPTACJA TECHNOLOGII CFB PRZEZ UŻYTKOWNIKÓW KOTŁÓW

Pierwszy kocioł z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym (CFB) był wprowadzony w późnych latach 70. Technologia ta została rozwinięta dla spalania niskojakościowych paliw, które nie mogły być spalane w ogóle lub bez podtrzymującego paliwa w istniejących konwencjonalnych technologiach. Spełnienie emisji nie miało decydującej roli jako siła napędowa rozwoju tej nowej technologii. Zdolność do spalania różnych paliw i dobre stabilne spalanie paliw niskojakościowych było pierwszoplanową korzyścią. Nowi użytkownicy tych kotłów uważali je za „brzydkie kaczątko”. Komora paleniskowa i drugi ciąg wyglądał zupełnie normalnie, jednakże między nimi było coś niezwykłego, wysokotemperaturowy cyklon. Ten cyklon, który był wielkością równy jak pozostałe dwa komponenty, nie brał udziału w wytworzeniu pary. Ta nowość była rozpatrywana jako element niezgrabny i kosztowny w porównaniu do tradycyjnych kotłów (rys. 1). Przyzwyczajeni do kotłów ludzie myśleli, że przed tą nową technologią nie ma przyszłości. Pozytywna opinia z przemysłu papierniczego sprawiła, że kotłownie grzewcze z tymi kotłami rozwinęły się w Finlandii i Szwecji. Rosnąca ilość zamówień była wystarczająca do zmiany spojrzenia na nową technologię. Te wczesne sukcesy komercyjne były powodem rozwoju produktu.



Rys. 1. Kocioł CFB z początku lat 80 i kocioł rusztowy tej samej wydajności

Fig. 1. A CFB from early 80'S and a grate fired boiler of equal capacity

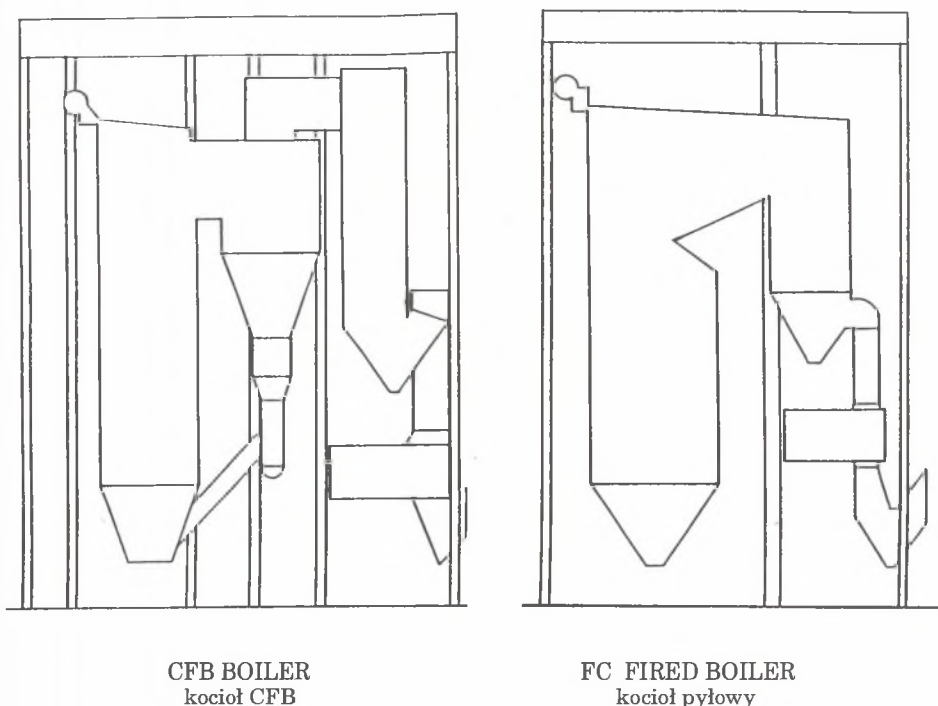
## DOJRZAŁOŚĆ TECHNOLOGII

Próby spalania węgla w jednostkach wcześniej opalanych biomasą miały realny wpływ na ekspansję rynkową kotłów CFB. Doskonale wskaźniki w zakresie emisji przy dodawaniu dolomitu i zdolność do przyjęcia szerokiego zakresu węgla w tej samej jednostce było sprawdzone. To otworzyło rynek dla kotłów opalanych węglem w USA, Centralnej Europie i Dalekim Wschodzie dla producentów kotłów CFB. Dzięki korzyściom w zakresie emisji i elastyczności w użytkowaniu paliw kotły te były sprzedawane w rosnących ilościach. Duży gorący cyklon, zlokalizowany między komorą paleniskową a ciągiem konwekcyjnym, dawał wyraźne korzyści pomimo dodatkowych kosztów. Te cyklony były typowo projektowane z wewnętrzną wykładziną odporną na erozję, z izolacją, zamknięte w stalowej zewnętrznej obudowie. Płaszcz cyklonu i wymurówka stanowiły znaczącą część w kosztach produkcji. Wymagana

dotatkowa przestrzeń wpływała na cenę konstrukcji nośnej kotłowni. Ponadto był dodatkowy 25% ciężar do montażu.

Tradycyjna, niechłodzona konstrukcja cyklonu stawia wyzwanie dla projektantów i producentów kotłów. Wydłużenia termiczne blach płaszcza cyklonu, wyłożonych warstwą obmurowania, różnią się od wydłużeń pozostałych elementów kotła. Ten fakt powoduje, że wymagane jest specjalne rozważenie problemów systemu podparcia i zastosowania kompensatorów mieszekowych pracujących w bardzo niekorzystnych warunkach. Grube, niechłodzone obmurowanie, pracujące w temperaturze 900°C, wystawione na działanie strumienia piasku nie jest proste do rozwiązania. Ahlstrom i inni producenci kotłów CFB zapłacili za lekcję doświadczeń przy spalaniu specjalnych paliw i stosowaniu dużych cyklonów. Dopuszczalny gradient temperatur obmurowania w niechłodzonym cyklonie limituje szybkość rozruchu.

Projektanci kotłów CFB udoskonalili w latach 80 konstrukcję i zapotrzebowanie przestrzeni na kocioł relatywnie zmniejszyło się (rysunek 2). Liczne



Rys. 2. Nowoczesny kocioł CFB i kocioł pyłowy tej samej wydajności

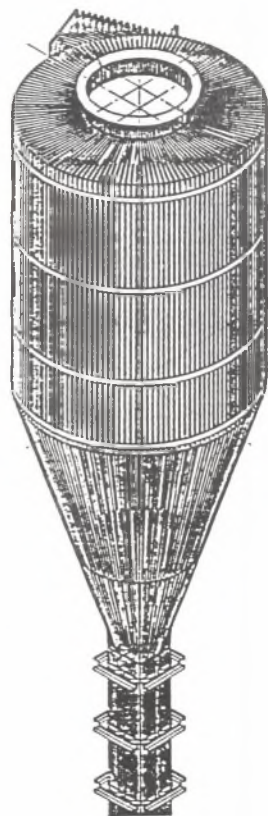
Fig. 2. A modern CFB and a PC-fired boiler of equal capacity

kotły CFB zostały sprzedane i zademonstrowano zalety tej technologii. Chociaż zapotrzebowanie przestrzeni było zmniejszone, bieżące rozwiązania projektowe były podobne do wcześniejszych jednostek i zawierały w sobie duże wysokotemperaturowe cyklony między komorą paleniskową a drugim ciągiem. Dla projektantów stało się ewidentne, że znalezienie drogi do wyeliminowania tradycyjnego wysokotemperaturowego cyklonu powinno prowadzić do udoskonalenia tej technologii.

Oczywiście, wszyscy wytwórcy kotłów CFB oraz liczni specjaliści w tej dziedzinie na uniwersytetach i w centrach badawczych zmagali się z zadaniem udoskonalenia tej technologii. Rozwiązania zmierzające do zastąpienia wysokotemperaturowych cyklonów mogą być podzielone na trzy główne kategorie: separatory wewnątrz komory paleniskowej; tradycyjne wysokotemperaturowe cyklony, wykonane jako ściany membranowe chłodzone wodą/parą; różnego rodzaju komory separujące cząstki i układy udarowo-labiryntowe, zaprojektowane dla separacji cząstek bez użycia sił odśrodkowych. Każde z tych rozwiązań mają zastosowania komercyjne lub co najmniej wykonane były instalacje demonstracyjne, lecz żadne z nich nie okazały się konkurencyjne w stosunku do tradycyjnego rozwiązania CFB.

### ROZWÓJ SEPARATORÓW CZĄSTEK STAŁYCH W AHLSTROM

Naturalnie pierwsza idea wykonania cyklonu bardziej użytecznego to wybudowanie go z zastosowaniem określonego rodzaju powierzchni ogrzewalnych służących do wytworzenia pary. Jednak jego wewnętrzna powierzchnia musi być pokryta twardą wymurówką dla ochrony przed erozją. Geometria tradycyjnego cyklonu w sposób nieunikniony powoduje drogie wykonanie, ręczne procesy spawania (rys. 3). To rozwiązanie było oceniane kilkakrotnie podczas pracy kotłów CFB. Nie wynikało z tych rozważań jasne stanowisko co do zastosowania. Były złożone propozycje ofertowe oparte na tej koncepcji, jednak jeszcze żaden kocioł nie został sprzedany.

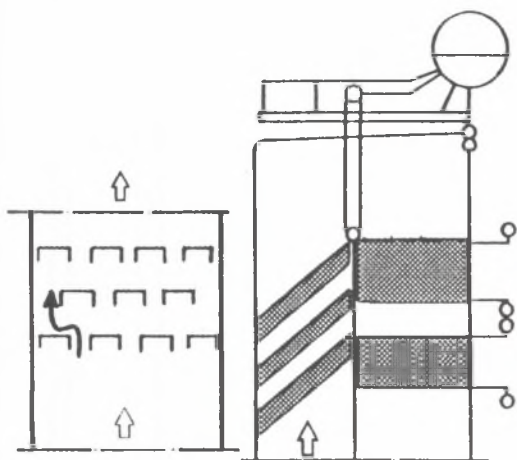


Rys. 3. Cyklon chłodzony wodą

Fig. 3. Water cooled cyclone

Separator usytuowany wewnątrz komory paleniskowej jest znakomitym rozwiązaniem, rozpatrując to z punktu widzenia zapotrzebowania przestrzeni. Konstrukcja jednakże jest bardzo skomplikowana. Te warianty były testowane w obiektach demonstracyjnych w połowie lat 80 przez Ahlstroma. Konstrukcja okazała się rozwiązaniem nie zadowalającym i nie zakończyła się sukcesem.

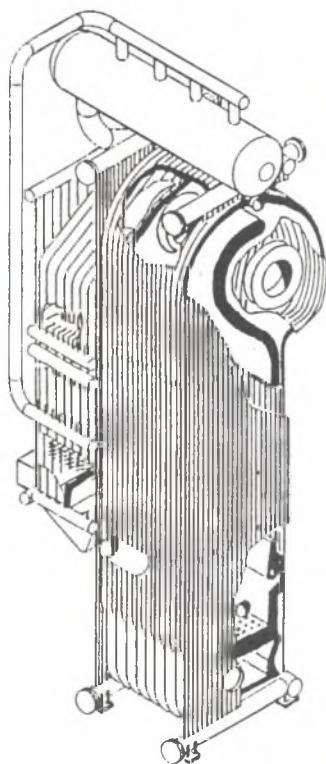
Cząstki stałe mogą być separowane ze strumienia gazu również w komorach osadczych, gdzie zasadą jest spadek szybkości, w momencie kiedy cząstki stałe opadają w dół. Istnieją liczne idee dla separatorów labiryntowych opartych na nagłej zmianie kierunku strumienia gazu i w rezultacie uderzeniu cząstek w wychwytyjące belki, co powoduje wytrącenie cząstek (rys. 4). Te nie odśrodkowe separatory nie były praktycznie rozważane lub nie były dostatecznie efektywne dla technologii CFB.



Rys. 4. Zasada separatora labiryntowego

Fig. 4. Principle of labyrinth separator

Najbardziej obiecującym rozwiązaniem, które było rozważone to tzw. cyklon poziomy (rys. 5), gdzie odśrodkowy separator jest częściowo zintegrowany z górną częścią komory paleniskowej. Ta konstrukcja stwarza duże trudności w rozwiązaniu konstrukcyjnym i uniemożliwia realizację w dużej skali. Ahlstrom badał i testował to rozwiązanie od 1984 r., a pierwsze zastosowanie stworzyło drogę do nowej idei – Pyroflow Compact.

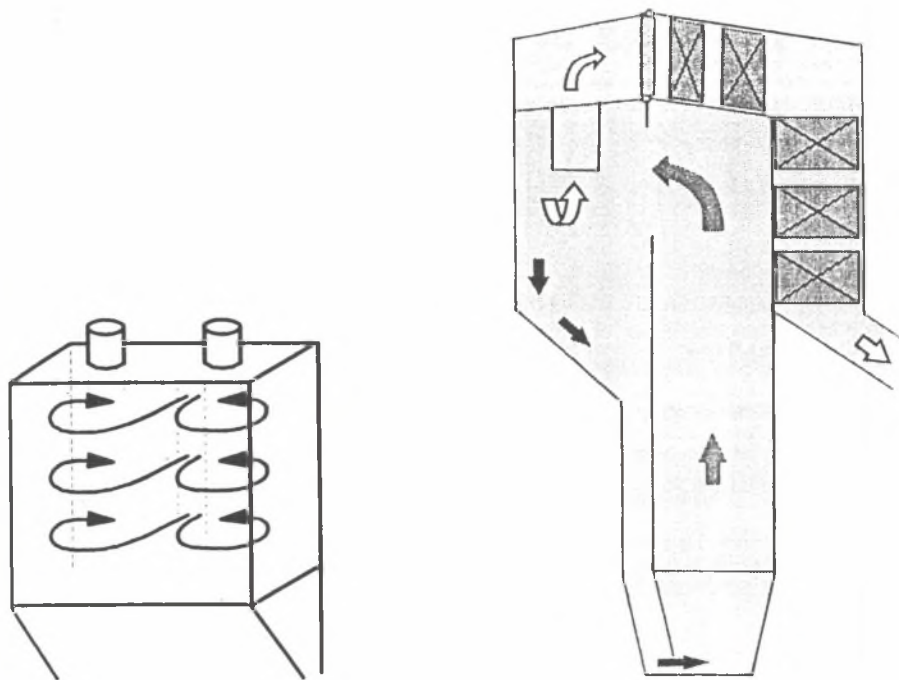


Rys. 5. Cyklon poziomy

Fig. 5. Horizontal cyclone

## PYROFLOW COMPACT

W koncepcji kotła Pyroflow Compact tradycyjny cyklon jest zastąpiony przez nowy rodzaj odśrodkowego separatora (rys. 6). Zamiast normalnej konfiguracji cyklonu separator składa się z płaskich ścian, które pozwalają na użycie normalnego membranowego panelu chłodzonego wodą, wykonanego na automatycznej maszynie do spawania. To powoduje, że kwadratowa komora separacyjna ma liczne podobieństwa do tradycyjnego cyklonu. Ta separacyjna komora jest wyposażona w zawirowywacz i posiada zbiorczy lej u dołu, który zbiera cząstki i zwraca do dolnej części komory paleniskowej. Ściany separatora mogą posiadać system naturalnej cyrkulacji włączony w system ścian komory paleniskowej. W rezultacie kwadratowy separator może być



Rys. 6. Koncepcja kotła Pyroflow Compact ze zintegrowanymi, kwadratowymi separatorami cząstek

Fig. 6. Pyroflow Compact concept with integrated square solids separators

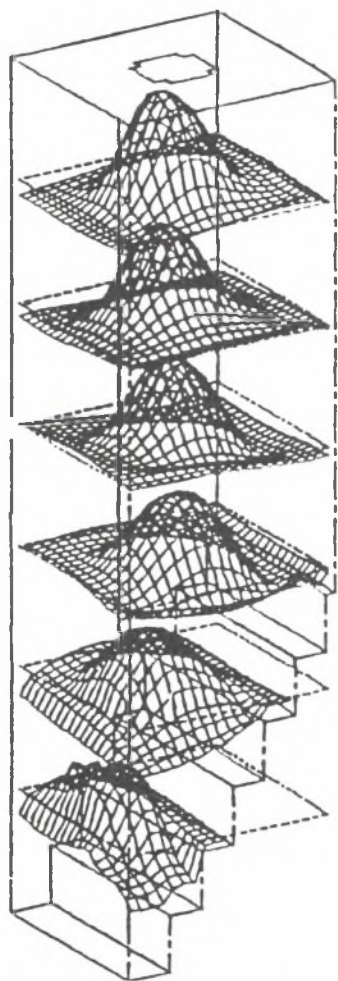
połączone ze ścianami komory paleniskowej bez kompensatorów. Kombinacja kształtu separatora cząstek i możliwość zlokalizowania go bezpośrednio w komorze powoduje znaczne oszczędności w przestrzeni potrzebnej do zabudowania kotła.

Ze względu na wysoką ilość cząstek przepływającą przez separator w dalszym ciągu konieczne jest pokrycie ścian, chłodzonych wodą, cienką warstwą obmurówki dla ochrony przed erozją. To pozwala na odzyskanie części ciepła zgromadzonego w komorze zbiorczej, nie utrudnia rozruchu i nie obniża szybkości chłodzenia. Całkowity ciężar jest znacznie zredukowany. Połączenie kompensatorowe między komorą paleniskową a separatorem staje się niepotrzebne. Strata promieniowania separatora jest znacznie zredukowana. Niektórzy mogą powiedzieć, że to wszystko może być osiągnięte przez wykonanie okrągłego cyklonu chłodzonego wodą. To jest prawda, ale musimy uwzględnić koszty produkcji i montażu. Płaskie ściany są prostsze do wykonania i zainstalowania. Ogólna kompozycja kotła staje się prostsza i zwarta (Compact). Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne są niższe. Wielu użytkowników podkreślało, że stworzyliśmy CFB, który wygląda jak „prawdziwy kocioł”.

## OD IDEII DO REALIZACJI

Ta wyglądająca kontrowersyjnie idea kwadratowego cyklonu była rozpracowana w końcu 1989 r.

Najpierw opracowano projekt konstrukcyjny bazując na szkicach z rozwiązań koncepcyjnych i wykonano model do badań na zimno. Celem tych badań było określenie zdolności separacyjnej oraz charakterystyki erozyjnej nowej koncepcji. W 1990 r., były przebadane liczne rozwiązania geometryczne na małym zimnym modelu w Ośrodku Badawczym Ahlstrom Pyropower w Karhula w Finlandii. Z danych pomiaro-



Rys. 7. Profil szybkości w separatorze określony przez modelowanie komputerowe

Fig. 7. Separator velocity profile by computer simulation



wych uzyskanych podczas badań na zimno było możliwe określenie hydrodynamiki ruchowej komory, separatora oraz systemu nawrotu (recycling system). Ta koncepcja była również symulowana przy użyciu modelu komputerowego, co pozwoliło na wybór profilów przepływu (rys. 7).

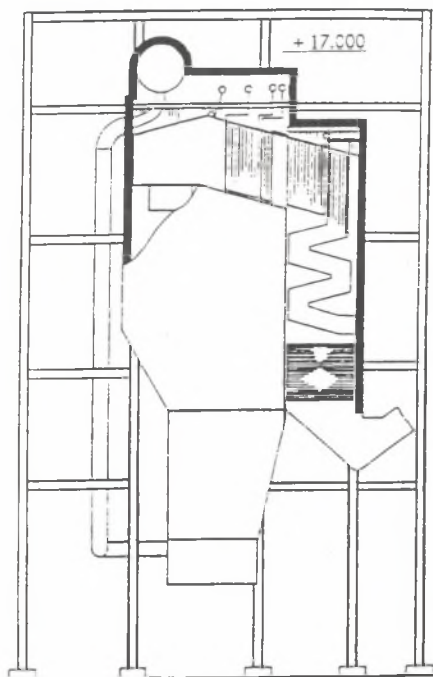
Inna seria badań modelowych była wykonana przy użyciu techniki warstwy lakieru dla określenia mapy krytycznych obszarów erozji i dla porównania rezultatów podobnych badań wykonanych na normalnym okrągłym cyklonie. W przeciwieństwie do oczekiwań charakterystyka erozyjna była nawet korzystniejsza niż na porównywalnych obiektach.

W tym samym czasie, kiedy wykonywane były badania laboratoryjne na modelu zimnym, projektanci w Ahlstrom Boilers Varkaus opracowywali konstrukcję kotła opartą na nowej koncepcji.

Rezultaty wyglądały obiecująco zarówno w zakresie projektu, jak i badań laboratoryjnych. Przygotowanie do badań na gorąco ułatwiło użycie istniejących dwu jednostek pilotowych. Badania te uruchomiono w końcu 1990 r. Po zainstalowaniu nowego kwadratowego separatora w pilotowych obiektach, na początku stycznia 1991 r. były przeprowadzone badania zarówno na węglu, jak i biomasie. Próby testowe spalania potwierdziły rezultaty uzyskane z badań na modelu zimnym. Warunkom spalania i charakterystyce wiązania siarki poświęcono specjalną uwagę. Tak opracowany projekt został nazwany „PYROFLOW COMPACT” i badania pilotowych jednostek umożliwiły zaoferowanie tego rozwiązania „na sprzedaż”. Jeszcze tej wiosny została sprzedana pierwsza jednostka.

#### REALIZACJA PROGRAMU KOMERCYJNEGO

Na przełomie roku 1990 Ahlstrom opracował ofertę na wybudowanie małego obiektu energetycznego dla Kompanii Ciepłowniczej dla ogrzewania miasta Kuhmo we wschodniej części Centralnej Finlandii. Wydajność tej ciepłowni wynosiła 5 MW<sub>e</sub>/18



Rys. 8. Kocioł Pyroflow Compact 18 MW<sub>t</sub>, 6,3 Kg/s, 81 bar, 490°C

Fig. 8. 18 MW<sub>t</sub> Pyroflow Compact 6,3 Kg/s, 81 bar, 490°C

MW<sub>t</sub>, a paliwem była biomasa. Jedną z wersji oferowanych przez Ahlstroma było rozwiązanie bazujące na CFB z zastosowaniem poziomego cyklonu. Po pomyślnych testach spalania przy zastosowaniu koncepcji Pyroflow Compact z zabudowanym kwadratowym cyklonem rozwiązanie to zostało zaoferowane użytkownikowi.

Kontrakt na dostawę kotła został podpisany na wiosnę 1991 r. i obejmował dostawę tej nowej jednostki. Kuhmon Lapo Oy jest pierwszym użytkownikiem systemu CFB drugiej generacji. Kocioł Pyroflow Compact pokazany jest na (rys. 8). Obiekt został skompletowany i oddany do ruchu, a przekazanie użytkownikowi zostało dokonane w końcu 1992 r.

## REZULTATY RUCHOWE KOTŁA W KUHMO

Uruchomienie kotła z nowym kwadratowym cyklonem przebiegło pomyślnie. Jeden z głównych problemów został rozwiązany, sprawność separacji była zgodna z rezultatami uzyskanymi w kotle z cyklonem cylindrycznym. Wykonany był obszerny program pomiarowy jako część programu badawczego. Poziomy emisji były nadzwyczaj niskie. Sprawność spalania leżała w granicach 99,8 do 100%. Dyspozycyjność obiektu podczas pierwszego miesiąca była powyżej 90%. Pomiary wykazały, że obiekt dobrze spełnił wymagania gwarancyjne, a wyniki ruchowe były prawidłowe w całym zakresie obciążeń. Tablica 1 prezentuje rezultaty ruchowe zebrane podczas testów na początku tego roku.

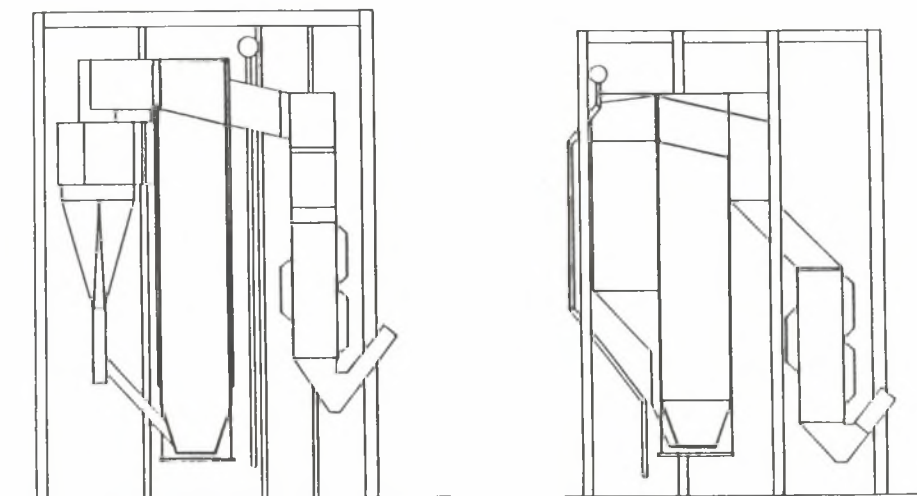
Podczas ruchu kotłownia produkowała ok. 80–90% potrzebnego ciepła na ogrzewanie miasta Kuhmo oraz trzecią część poprzedniego zużycia energii elektrycznej. Obiekt był opalany podstawowo odpadami drewna, takimi jak pył drzewny i kora z pobliskiego tartaku. Dodatkowe paliwo zawierające zrebki drewniane były również dostępne na lokalnym obszarze.

Szczegółowy program badań i testów został rozpoczęty na początku roku dla wsparcia znacznie szerszego programu badań kotłów Pyroflow Compact dla jednostek kotłowych większych mocy.

Drugi kontrakt na Pyroflow Compact został zawarty w marcu na jednostkę o mocy 97 MW<sub>t</sub> dla elektrociepłowni przemysłowej w Kokkola w Finlandii. Szybki rozwój wielkości powinien pozwolić na zaprojektowanie jednostki 150 MW<sub>e</sub> jako system Pyroflow Compact, co zaplanowano na 1994 r. Wstępna konfiguracja jednostki 70 MW<sub>e</sub> tego typu w porównaniu z taką samą wielkością kotła Pyroflow pokazana jest na rys. 9.

Rozszerzony program będzie się koncentrował na konstrukcji umożliwiającej rozwiązanie wszystkich problemów procesu technologicznego, które jeszcze nie zostały rozwiązane, np. kontrola i regulacja temperatury spalania. Naturalnie program testowy w Kuhmo ułatwia dalszy rozwój szczegółów separatora cząstek na podstawie badań. Największym jednakże wyzwaniem

będzie zastosowanie tej koncepcji w konstrukcji dużych kotłów. Rozpoczęto prace projektowe dla rozwoju tej technologii dla dużych jednostek kotłowych.



70 MW<sub>e</sub> kocioł Pyroflow  
70 MW<sub>e</sub> Pyroflow

70 MW<sub>e</sub> kocioł Pyroflow Compact  
70 MW<sub>e</sub> Pyroflow Compact

Rys. 9. Kocioł dla jednostki 70 MW<sub>e</sub> jako Pyroflow i Pyroflow Compact

Fig. 9. Boiler for a 70 MW<sub>e</sub> unit as Pyroflow and Pyroflow Compact

Tablica 1

Wyniki pomiarów kotła COMPACT EC Kuhmo

	mg/MJ
NO <sub>x</sub>	56
N <sub>2</sub> O	3
CO	26
SO <sub>2</sub>	5
Węglowodory	0
Cząstki stałe	7

cd. tablicy 1

	Gwarantowana	Rzeczywista
Sprawność kotła, (%)	87,5	89,2
Przepływ pary, (kg/s)	6,3	6,3
Temperatura pary, (°C)	490	490
NO <sub>x</sub> , (mg/MJ)	150	56
Cząstki stałe, (mg/MJ)	66	7

Parametr	Obciążenie %		
	51	80	97
Temperatura pracy, (°C)	480	480	480
Temperatura złoża, (°C)	855	862	864
Temperatura na wlocie do cyklonu, (°C)	834	880	864
Różnica ciśnień w złożu, (mbar)	42	45	45
Zawartość O <sub>2</sub> w spalinach, %	2,75	2,51	3,01

## NASTĘPNA JEDNOSTKA DLA KOKKOLA

IVO International OY złożyło zamówienie w marcu 1993 r. na dostawę jednostki 97 MW<sub>t</sub> Pyroflow Compact. Jednostka będzie ok. 5 razy większa od wydajności kotła dla Kuhmo i będzie spalać torf jako podstawowe paliwo. Para świeża o ciśnieniu 60 bar i temperaturze 510°C będzie produkowana na potrzeby ciepłownictwa. Kocioł (rys. 10) dla elektrociepłowni przemysłowej we wschodniej części miasta Kokkola w Finlandii będzie uruchomiony w grudniu 1994 r.

Przeprowadzona następnie akcja ofertowa dała wynik w postaci 3 kontraktów w następnych 15 miesiącach. Podstawowe dane techniczne podane są w skrócie w załączonych tabelach 2 – 5. Wielkość i ilość proponowanych kotłów będzie rozwijała się stopniowo, zgodnie ze zdobywanym zaufaniem i pełnym zrozumieniem wszystkich zalet i możliwości nowej oferty projektowej. Będą proponowane jednostki do 300 MW<sub>t</sub>, a w perspektywie kotły aż do wielkości 500–600 MW<sub>e</sub>. Wzrost jednostek typu Compact przebiega dwa razy szybciej w porównaniu ze wzrostem oryginalnych kotłów Pyroflow. Oczekujemy, że pod koniec 1994 r. będzie możliwe oferowanie jednostek tego samego rzędu jak największy kocioł CFB (165 MW<sub>e</sub>), który jest w ruchu.

Liczne patenty, zastosowane w technologii Compact, zastrzeżone są w ponad 20 krajach. Kolejną nowością w pracach inżynierskich to Compact Heat Exchanger – wymiennik ciepła Compact. Jest to wymiennik usytuowany na nawrocie cząstek z separatora Compact. To jest komplementarny wynalazek do Compact, który staje się oczywistym i naturalnym elementem kotła po

alternatywnych rozwiązaniach problemów nawrotu cząstek stałych. Kanał nawrotny wzdłuż boku kotła stwarza odpowiednią przestrzeń w optymalnym środowisku. Wymiennik CHEX jest wymiennikiem, który pracuje w stałym złożu fluidalnym (bubbling bed) z bardzo małą szybkością fluidyzacji. Dodatkowymi korzyściami z zastosowania CHEX to:

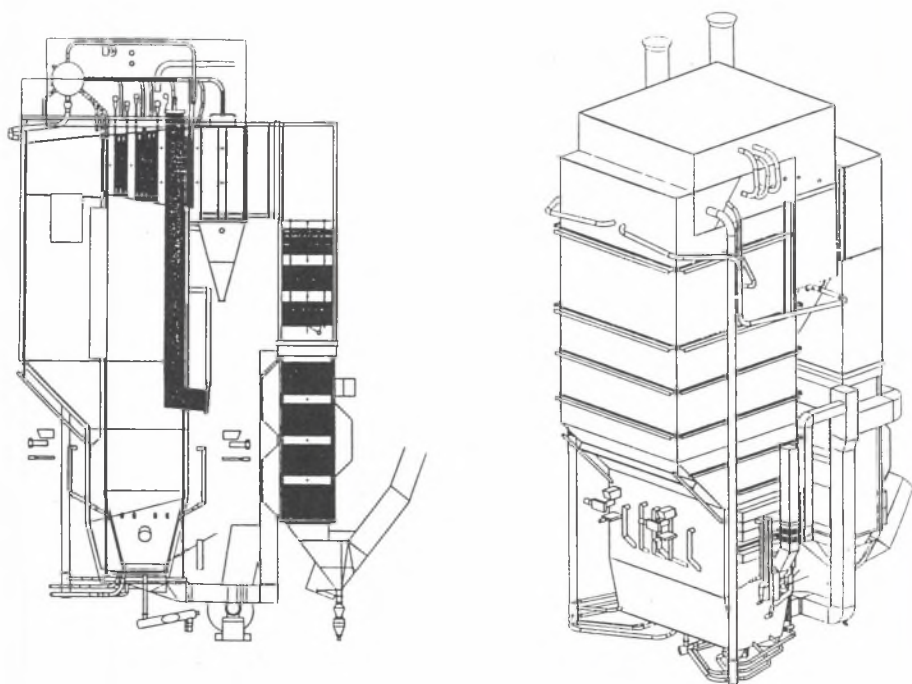
- poprawa elastyczności w zakresie rozmieszczenia powierzchni ogrzewalnych,
- fluidalny wymiennik ciepła jest 5 razy bardziej efektywny niż wymiennik w kanale spalin,
- wymiennik stanowi element umożliwiający regulację temperatury w komorze paleniskowej dla optymalizacji emisji,
- wymiennik może być sposobem dla regulacji temperatury pary świeżej i wtórnie przegrzanej,
- wymiennik stanowi obiecujące rozwiązanie do opanowania problemów korozji wysokotemperaturowej, która uszkadza węzownice w kanałach spalin przy spalaniu paliw z zawartością chlorków. Ostatnie stopnie przegrzewaczy pary świeżej/wtórnej mogą być rozwiązane jako powierzchnie wymiennika CHEX w środowisku wolnym od chlorków, podczas gdy spaliny z chlorkami przepływają w sekcjach w strefie niskich temperatur metalu.

Tabela 2

Elektrociepłownia 4,8 MW<sub>e</sub> (12,9 MW<sub>t</sub>) dla KUHMO, Finlandia

ELEKTROCIEPŁOWNIA KUHMO, FINLANDIA		
Moc elektryczna max	4,8 MW <sub>e</sub>	
Moc cieplna	12,9 MW <sub>t</sub>	
AHLSTROM PYROFLOW COMPACT CFB-BOILER		
Dane projektowe		
Wydajność cieplna	18 MW	
Przepływ pary	6,3 kg/s	
Ciśnienie pary	81 bar	
Temperatura pary	490°C	
PALIWA	TORF	ODPADY DREWNA
Siarka %	0,2	0
Popiół %	5,6	2
Wilgoć %	55	55
Wartość opałowa MJ/kg	7,7	7,3
GWARANTOWANE EMISJE		
NO <sub>x</sub> mg/MJ	150	
Pył mg/MJ	66	
HARMONOGRAM WDROZENIA		
Kontrakt	maj 1991 r.	
Początek montażu	maj 1992 r.	
Uruchomienie	grudzień 1992 r.	

Wymiennik został wynaleziony i przebadany w Laboratorium w Karhula w 1992 r. Liczne detale i rozwiązania funkcjonalne były weryfikowane i optymalizowane wiosną tego roku. Wymiennik został zastosowany przy retroficcie kotła opalanego węglem – wszystko zachowuje się tak jak oczekiwano na podstawie testów laboratoryjnych. W tym roku spodziewamy się pierwszego kontraktu z pełnymi gwarancjami.



Rys. 10. Jednostka 97 MW<sub>t</sub> dla ciepłowni

Fig. 10. 97 MW<sub>t</sub> Cogeneration Unit

Tabela 3

Elektrociepłownia 35 MW<sub>e</sub> (65 MW<sub>t</sub>) dla KOKKOLA, Finlandia

ELEKTROCIEPŁOWNIA KOKKOLA, FINLANDIA		
Moc elektryczna max	35 MW <sub>e</sub>	
Moc cieplna max	65 MW <sub>t</sub>	
AHLSTROM PYROFLOW COMPACT CFB-BOILER		
Dane projektowe		
Wydajność cieplna	97 MW	
Przepływ pary	50 kg/s	
Ciśnienie pary	60 bar	
Temperatura pary	510°C	
PALIWA	TORF	WĘGIEL
Siarka %	0,10	0,73
Popiół %	3,9	12,3
Wilgoć %	50,0	9,0
Wartość opałowa MJ/kg	8,8	25,7
GWARANTOWANE EMISJE	TORF	WĘGIEL
NO <sub>x</sub> mg/MJ	140	140
SO <sub>x</sub> mg/MJ	140	140
HARMONOGRAM WDROŻENIA		
Kontrakt	marzec 1993 r.	
Początek montażu	październik 1993 r.	
Uruchomienie	listopad 1994 r.	

## PODSUMOWANIE

Ahlstrom opracował drugą generację kotłów CFB, Pyroflow Compact, w których stosowane są kwadratowe „cyklony” jako separatory cząstek.

Zaletami w stosunku do konwencjonalnych kotłów CFB są:

- prostsza, lżejsza i wymagająca mniej przestrzeni do zabudowy konstrukcja,
- mniejszy czas rozruchu, spowodowany zredukowaniem mas w systemie kotłowym (tradycyjny cyklon),
- eliminacja połączeń kompensacyjnych pomiędzy komorą paleniskową i separatorem cząstek stałych,
- zredukowanie napraw obmurowania.

Pierwsza jednostka oparta na tej technologii w Kuhmo w Finlandii jest w ruchu od początku 1993 r. Druga jednostka (97 MW<sub>t</sub>) będzie uruchomiona w listopadzie 1994 r. Prowadzone prace rozwojowe z nową konstrukcją stwarzają podstawę do szybkiego zwiększenia skali jednostek.

### Konkluzja podstawowa dla kotłów jutra

Nasza wizja stanu w sztuce kotłowej na najbliższą przyszłość definitywnie leży w kotłach z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym. Kotły te zapewniają niską emisję i dużą elastyczność przy stosowaniu różnych paliw. Dla zmniejszenia kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych kotły będą wyposażone w separatory Compact i będą posiadać wymienniki ciepła CHEX.

Tabela 4

**Elektrociepłownia 4,3 MW<sub>e</sub> (11,4 MW<sub>t</sub>) dla LOMMA, Szwecja**

ELEKTROCIEPŁOWNIA LOMMA, SZWECJA		
Moc elektryczna max	4,3 MW <sub>e</sub>	
Moc cieplna max	11,4 MW <sub>t</sub>	
AHLSTROM PYROFLOW COMPACT CFB-BOILER		
Dane projektowe		
Wydajność cieplna	16,2 MW	
Przepływ pary	5,6 kg/s	
Ciśnienie pary	61 bar	
Temperatura pary	510°C	
PALIWA	ODPADY PAPIERU	ODPADY DREWNA
Siarka %	0,02	0
Popiół %	10	2
Wilgoć %	10	30
Wartość opałowa MJ/kg	19,0	12,6
GWARANTOWANE EMISJE	ODPADY PAPIERU	ODPADY DREWNA
NO <sub>x</sub> mg/MJ	50	80
SO <sub>2</sub> mg/MJ	50	50
CO mg/MJ	90	90
N <sub>2</sub> O mg/MJ	35	35
HARMONOGRAM WDROŻENIA		
Kontrakt	czerwiec 1994 r.	
Początek montażu	listopad 1994 r.	
Uruchomienie	luty 1996 r.	



**Tabela 5**

**Elektrociepłownia 33 MW<sub>e</sub> (60 MW<sub>t</sub>) dla ROVANIEMI, Finlandia**

ELEKTROCIEPŁOWNIA ROVANIEMI, FINLANDIA			
Moc elektryczna max		33 MW <sub>e</sub>	
Moc cieplna max		60 MW <sub>t</sub>	
AHLSTROM PYROFLOW COMPACT CFB-BOILER			
Wydajność cieplna		95,8 MW	
Przepływ pary		38 kg/s	
Ciśnienie pary		115 bar	
Temperatura pary		535°C	
PALIWA	FREZOWANY TORF	DARNINA TORFU	WĘGIEL
Siarka %	0,3	0,3	0,9
Azot %	2,0	2,0	2,0
Popiół %	10,0	7,0	13,0
Wilgoć %	53,0	40,0	10,0
Wartość opałowa MJ/kg	20,8	20,8	28,3
GWARANTOWANE EMISJE	FREZOWANY TORF	DARNINA TORFU	WĘGIEL
NO <sub>x</sub> mg/MJ	100	100	100
SO <sub>x</sub> mg/MJ	266	250	750
Dawka dolomitu mg/MJ	140	140	140
Cząstki (suche) mg/m <sup>3</sup>	50	50	50
CO mg/MJ	100	100	100
HARMONOGRAM WDROŻENIA			
Kontrakt		styczeń 1994 r.	
Początek montażu		sierpień 1994 r.	
Uruchomienie		listopad 1995 r.	

## LITERATURA

- [1] Timo Kauranen – Compact Design – Second Generation Ahlstrom Boilers Power System presented at the Boiler Days Varkaus, Finland. June 11–12, 1992.
- [2] Timo Hyppanen – Pyroflow Compact a Second Generation CFB Boiler presented at Power-Gen Europe '93 Paris, France. May 25–27, 1993.
- [3] Timo Kauranen – Pyroflow Compact Update presented at the Ahlstrom Technical Seminar Cologne, Germany. May 16, 1994.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik CWYNAR

Wpłynęło do Redakcji 10.08.1994 r.

## Abstract

This paper discusses the background, development, configuration and commercialisation plans of the PYROFLOW COMPACT a second generation circulating fluidized bed boiler by Ahlstrom.

The maturing technology and acceptance of the CFB Technology by boiler customers were presented.

The paper describes the laboratory tests of the different kinds of the particles separators.

The development of the new concept was tested in Ahlstrom Pyropower's Karhula, Finland, Research Center to determine the separation performance and the emission characteristics.

The Pyroflow Compact concept was described emphasizing the square separators made with water cooled wall.

The first commercial unit for a Kuhmo district heating purpose's capacity 5 MWe/18 MWt turned over at the end of 1992. Enclosed tables give the operating results of the measurement tests at the Kuhmo unit.

Realization of the commercial plans for the next units was presented and the technical datas was given in the enclosed tables.

The new-born of the engineering works the Compact Heat Exchanger-CHEX was presented with additional benefits of this solution in the boiler construction.

Summary, the paper presents the vision of the state of the art boiler – the ultimate boiler of tomorrow.