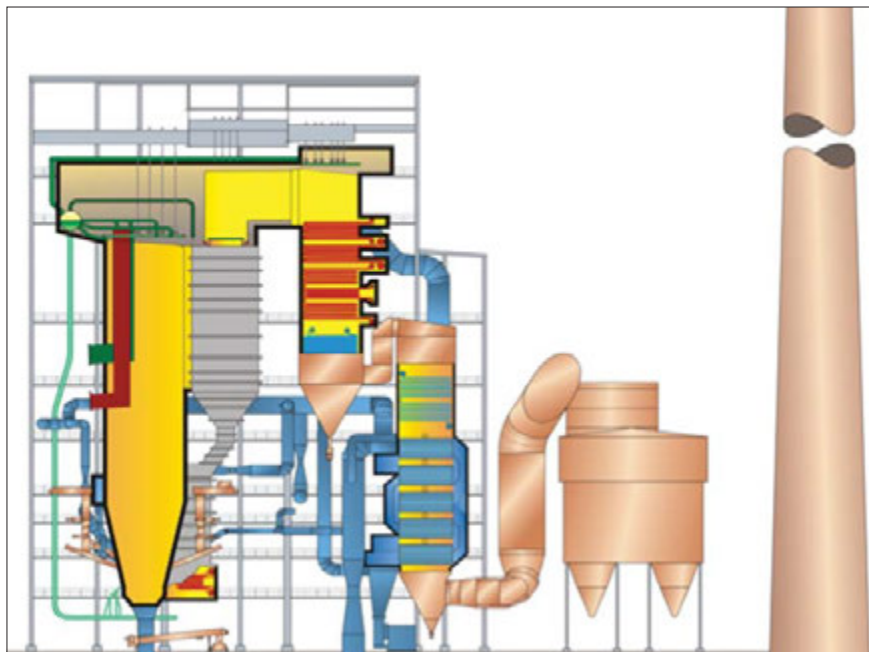


Realizace fluidního kotle v Kladně probíhala podle plánu

V roce 2010, kdy společnost Foster Wheeler podepsala kontrakt se společností German Kraftanlagen Power Plants GmbH (KAP) na dodávku 135MWe cirkulační fluidní kotelny (CFB) do elektrárny Alpiq Generation v Kladně v České republice, věděla jen málo o klimatických obtížích, které v průběhu projektu nastanou. Navzdory tomu zahájila elektrárna v Kladně komerční provoz na konci roku 2013, přesně tak jak bylo naplánováno.



Obr. 1 – Kotel CFB v Kladně



Obr. 2 – Konstrukce CFB kotle K7 Kladno

Uzavření kontraktu:	Prosinec 2010
Začátek výstavby:	Listopad 2011
Komerční provoz:	Prosinec 2013

Tab. 1 – Harmonogram projektu

Rozhodnutí použít technologii fluidního spalování - CFB

Volba technologie CFB byla ve společnosti Alpiq Generation daná od začátku. „Plánování prací na modernizaci elektrárny v Kladně začalo v roce 2006 a zkoumali jsme možnosti zlepšení účinnosti elektrárny. Obnovení starého kotle nebylo vhodné provést, proto jsme se rozhodli pořídit si nový. Technologie CFB již byla zavedená jako vhodná technologie pro společné spalování hnědého uhlí a biomasy. Když společnost Foster Wheeler prezentovala svou velice konkurenceschopnou nabídku, rozhodli jsme se změnit našeho poskytovatele technologie,“ říká manažer elektrárny Stanislav Klanduch ze společnosti Alpiq Generation.

Rozsah dodávky společnosti Foster Wheeler představoval návrh projektu 135 MW CFB kotelny, následnou výrobu, dodávku, montáž a uvedení do provozu, a to včetně zařízení pro čištění spalin. „V Kladně šlo o sedmou dodávku společnosti Foster Wheeler do České republiky a další ukázkou flexibility technologie CFB, kterou nabízíme. Kotel byl navržen pro společné spalování hnědého uhlí a biomasy. Tato technologie umožňuje účinné společné využití těchto lokálních paliv,“ dokresluje Tomas Harju-Jeanty, CEO skupiny Foster Wheeler Energia Oy Group.

Dokončení elektrárny ve větru, dešti a při povodních

Kladenský projekt byl dokončen podle plánu navzdory mnoha obtížím v místě výstavby. „Náročné klimatické podmínky dodaly projektu své zvláštní podbarvení. Na konci října roku 2012 přišla nenadálá zima se sněžením a teplotami pod nulou jeden den před tlakovou zkouškou. Výstavbu potrápil i silný déšť a povodeň na začátku června 2013, kdy byly naplánovány parní profuky. V místě přívodu vody bylo více než čtyři metry vody a dodávka vody byla přerušena. I přesto se nám podařilo dodržet harmonogram (tabulka 1) a kotel byl předán na konci roku 2013, shrnuje projektový manažer společnosti Foster Wheeler, Matti Nikkilä. Přijatý časový harmonogram pro projekt je uveden v tabulce 1.

Vyspělá konstrukce kotle CFB

Kotel v Kladně reprezentuje novou generaci kotlů a je specificky navržený pro společné spalování hnědého uhlí a biomasy se schopností přizpůsobení náhlým změnám zatížení v elektrické síti. Konstrukce CFB kotle v Kladně je založená na osvědčené technologii CFB společnosti Foster Wheeler. Společnost Foster Wheeler má zkušenosti s více než 430 referenčními jednotkami a počet a míra uplatnění této vyspělé technologie CFB rovnoměrně rostou.

Konstrukce nového CFB kotle v Kladně (obrázek 2) využívá separátory pevných částic sestavených z panelů ochlazovaných párou a integrované ke spalovací komoře, což nevyžaduje použití těžkých žáruvzdorných vyzdívek v separátoru. Jako výstupní

PROJEKTOVÉ PARAMETRY PALIVA	Hnědé uhlí	Biomasa
Síra	1,35 % d.s.	0,13 % d.s.
Dusík	0,67 % d.s.	1 % d.s.
Vlhkost	26,6 % a.r	40 % a.r
Popel	19,78 % d.s.	3,33 % d.s.
LHV	15,61 MJ/kg	9,7 MJ/kg

Tab. 2 – Parametry paliva v Kladně

přehřívák stejně jako výstupní přehřívák jsou použity tepelné výměníky typu INTREX™, které se nacházejí ve speciálních komorách na spodku ohniště vedle hlavní spalovací komory. Tepelné výměníky se nacházejí vně hlavní spalovací komory, což umožňuje jejich použití pro poslední fázi přehřátí a přehřátí. Výsledkem jsou vyšší teploty páry, protože tepelné výměníky jsou chráněné před znečišťujícím a korozivním prostředím horkých spalin v kotli. Tepelné výměníky INTREX™ také umožňují pružné změny výkonu kotle. Základní návrhové parametry kotle v Kladně jsou uvedeny v tabulkách 2 až 4.

Nový CFB kotel K7 v Kladně na spalování hnědého uhlí nahradil starý uhelný kotel, který byl spuštěn v kladenské elektrárně na konci 70. let minulého století. Nová jednotka je provozovaná společně se dvěma 135MWe CFB jednotkami, které byly spuštěny v 90. letech a nachází se v sousedství starých kotlů. To umožňuje, aby nový kotel využíval řadu stávajících systémů elektrárny, například zauhlování a úpravnu vody.

JMENOVITÉ PARAMETRY	
Výstupní teplota spalin	130 °C
Účinnost kotle	93,2 %
Emisní* záruky 40 % až 100 % BMCR ½hodinový průměr	
NO _x	<190 mg/Nm ³
SO ₂	<190 mg/Nm ³
CO	<95 mg/Nm ³
NH ₃	<10 mg/Nm ³ (instalovaný redukční kat.)
NH ₃	<20 mg/Nm ³ (bez redukčního kat.)
Částice	<20 mg/Nm ³

Tab. 3 – Jmenovitý výkon kotle v Kladně

*Emise vyjádřené v suchých spalínách při 6 % O₂

Pohled na technologická zařízení kladenské teplárny

Hlavním palivem pro nový CFB kotel v kladenské elektrárně je hnědé uhlí získávané z místního dolu (Bílina). CFB kotel navržen pro současné spalování biomasy do úrovně 10 % tepelného příkonu. Přestože je hnědé uhlí získáváno jen z jednoho zdroje, existují výrazné odchylky v kvalitě paliva, zejména pokud jde o anorganické látky, a výsledkem je obsah suchých částic od 13 do 30 %. Pokud jde o biomasu, odchylky jsou ještě výraznější a rozmezí vlhkosti je od 25 do 55 %. Schopnost CFB kotle využívat paliva s tak velkými odchylkami kvality jasně demonstrovuje jeho výtečnou palivovou flexibilitu.

CFB kotel v Kladně má nejnovější konstrukci společnosti Foster Wheeler s ohledem na separátor pevných částic sestavený s vodou nebo párou chlazených panelů. Ty jsou součástí spalovací komory

a mají tepelné výměníky INTREX™. Separátor pevných částic umí dosáhnout takového výkonu, kdy úroveň cirkulace pevných částic a stejnoměrná teplota spalování prospívají celému provoznímu rozsahu.

Od zahájení komerčního provozu v prosinci 2013 je provoz kladenské elektrárny bezporuchový. Na základě předběžných výsledků byly všechny výkonové záruky splněny s velkou rezervou, což ukazuje, že technologie CFB kotle je schopná splnit a překročit všechny požadavky kladené na moderní bloky.

Parovodní okruh

V novém kladenském CFB kotli voda vstupuje do kotle o teplotě 251 °C kde se ohřívá v trubkovém ekonomizéru. Poté voda vstupuje do parního bubnu a do výparníku. Parní buben a plochy

PARAMETRY PÁRY	
Celkový tepelný výkon:	303 MWth
Tok páry:	105/102 kg/s
Tlak páry:	133/33 bar(a)
Teplota páry:	541/541 °C
Teplota napájecí vody:	251 °C

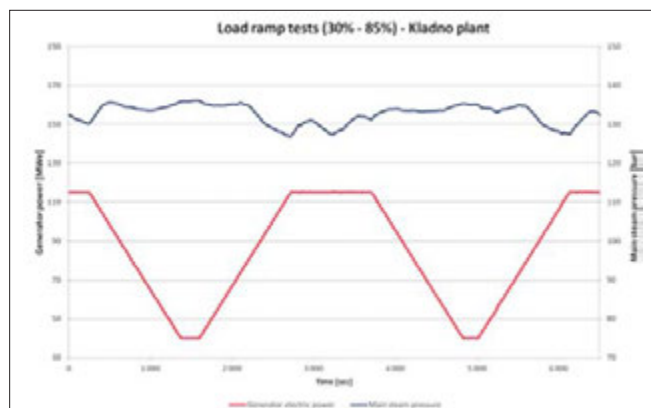
Tab. 4 – Parametry páry kotle v Kladně

výparníku se skládají z membránových vodních stěn spalovací komory, vodou chlazených stěn komor (tepelné výměníky INTREX™) a výparníkových křídlových stěn uvnitř spalovací komory.

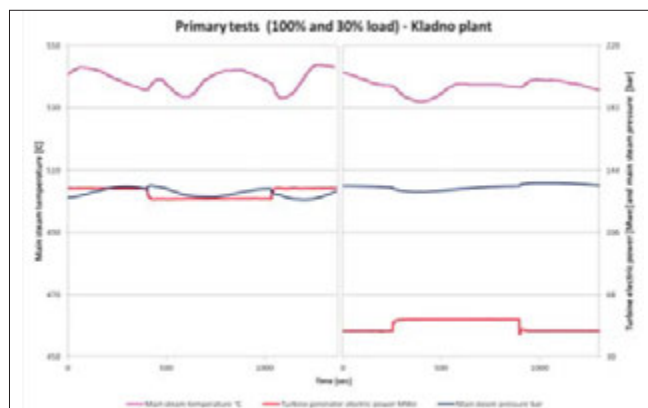
Nasyčená pára poté opouští parní buben a je přivedena nejprve na dva paralelní parou chlazené separátory pevných částic a poté na stěny přechodových kanálů a na stěny krytu konvekční klece. Dále pára vstupuje do potrubních svazků prvního konvekčního přehříváku (SH I), který se nachází v 1. zpětném tahu kotle. Pára je dále přehřívána v křídlových přehřívácích (WW SH II) umístěných na přední stěně spalovací komory. Po skončení tohoto procesu nastává další fáze přehřívání v konvekční části kotle v přehříváku SH III, který je umístěn jako první tepelná plocha v 1. zpětném tahu kotle. Nakonec čtvrtá přehřívací fáze využívá tepla vzniklého v soustavě trubek přehříváku INTREX™ integrované do vratného kanálu separátoru pevných částic ve spodní části spalovací komory. V novém kladenském CFB kotli jsou použity tři vstříky pro regulaci teploty páry při průchodu kotlem.

Ostrá pára je vedena z výstupního přehříváku do VT -sekce parní turbíny a zpět do kotle za účelem přehřátí. První dvě fáze přehřátí probíhají v konvekčním průchodu kotle v konvekčních přehřívácích. Konečná fáze přehřívání pak probíhá v potrubních svazcích přehříváku INTREX™.

Kladenský kotel používá pro regulaci teploty přehřáté páry obtok přehříváku RH I. Při velkém zatížení obchází část přehřáté páry sekci RH I, což snižuje přenos tepla a teplotu vstupní páry do přehříváku RH II. Použitím této patentované metody regulace teploty přehřáté páry se vyhneme regulaci pomocí vstříků na straně přehřívání a tím poklesu účinnosti bloku. V současnosti je více než 20 CFB kotlů, které používají tuto metodu regulace, včetně CFB kotle v elektrárně Łagisza (první postavená



Obr. 3 – Změny zatížení kladenského CFB bloku od minima do maxima



Obr. 4 – Zkoušky primární podpory sítě z CFB bloku při plném a minimálním zatížení

jednotka OTU-CFB) a CFB kotle v elektrárně Polaniec (největší CFB na světě pro spalování výhradně biomasy). Vzhledem k požadavku, že teplota plně přehřáté páry má být v rozmezí zatížení od 60 do 100 % MCR, regulace obtoku RH I je ve vysokém zatížení kladenského kotle CFB podporováno vstřikováním vody. Pro ostrou páru začíná rozsah plného přehřátí na 50 %-MCR.

Pomocná zařízení

Kladenský CFB kotel musí při poskytování podpůrných služeb pro elektrickou síť splňovat přísné limity z hlediska životního prostředí. To bylo vzato v úvahu, když společnost Foster Wheeler navrhovala pomocná zařízení pro CFB kotel v Kladně.

Systém spalovacího vzduchu pro kladenský CFB kotel zahrnuje primární a sekundární vzduchový systém a samostatný vzduchový systém pro fluidizaci tepelných výměníků INTREX[™] a těsnících zařízení. Jako primární a sekundární vzduchové ventilátory byly použity radiální ventilátory s regulací otáček a nastavitelnými rozváděcími lopatkami. Kombinace regulace otáček a nastavení vstupních rozváděcích lopatek znamená, že vzduchový systém je schopen rychlé odezvy na přechodové provozní podmínky se zachováním ekonomiky provozu.

Pro řízení plyných emisí využívá kladenský CFB kotel nízkou a stejnoměrnou teplotu spalování a fázové spalování. To jsou dvě z dobře známých výhod technologie CFB kotle. Kromě toho je kladenský CFB kotel vybavený dávkovacím systémem čpavku (SNCR) se selektivním katalyzátorem čpavkového skluzy instalovaného ve 2. zpětném tahu kotle pro snížení emisí NO_x a dávkovacím systémem vápence pro snížení emisí SO₂.

Dávkovací systém čpavku kladenského CFB kotle zahrnuje 60m³ nádrž čpavkové vody, dávkovací čerpadla a vstupní trysky, které jsou namontované na stěnách spalovací komory a na separátorech pevných částic. Díky využití více úrovní dávkování čpavku do spalovací komory a do separátoru je možné čpavek dávkovat do optimální teplotní oblasti za účelem dosažení redukce NO_x. Je zamezeno také nadměrným odchylkám NO_x v průběhu přechodových stavů. To je důležitá funkce, protože nový kladenský CFB kotel musí poskytovat podpůrné služby v rámci elektrické přenosové soustavy a zároveň dodržovat ½ hodinové emisní průměry pod limity s ohledem na životní prostředí.

Dávkovací systém vápence zahrnuje 800m³ silo vápence a potrubní trasy do spalovací komory. Stejněměrná distribuce vápence do spalovací komory, příznivé podmínky pro DeSO_x ve spalínovém traktu kotle a dlouhá doba setrvání částic vápence napomáhají k tomu, že je zaručena vysoká redukce SO₂ ve spalovací komoře a s přiměřeným nízkým poměrem vápníku a síry.

Tkaninový filtr slouží k řízení emisí částic a zajišťuje udržení emisí pod hodnotou 20 mg/Nm³. Oddělený popílek je dopravován do sila popílku pomocí pneumatického dopravníkového systému.

Systém dopravy paliva do nového kladenského CFB kotle se skládá z oddělených dopravních tras pro hnědé uhlí a biomasu. Oba systémy používají dva koncové plnicí šneky, které umožňují,

aby hnědé uhlí i biomasa byly dávkovány do stejných míst na přední stěně spalovací komory. Hnědé uhlí je transportováno ze skládky paliva do denních sil kotle pomocí pásového dopravníku. Dopravní systém hnědého uhlí uvnitř kotelně zahrnuje drtiče v horní části denních sil, dvě denní sila, podavače pod silu a řetězové dopravníky pro distribuci hnědého uhlí podél dlouhých stěn spalovací komory. V místě spodní části ohniště je celkem šest plnicích bodů, tři na zadní stěně ohniště a tři na přední stěně. Kromě toho systém umožňuje používat obě plnicí linky z jednoho sila s využitím příčných řetězových dopravníků. Palivo v podobě pevné biomasy je dopravováno ze skládky paliva do jednoho sila pomocí pásového dopravníku. Ze sila je biomasa vyhovávána pomocí rotačního vykladače na dně sila na řetězový dopravník. Druhý řetězový dopravník distribuuje biomasu podél přední stěny spalovací komory.

PRVNÍ PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI

Studené spouštění, chemické čištění a parní profuky

Studené spouštění nového kladenského CFB kotle začalo na začátku roku 2013 v době, kdy ještě probíhaly menší stavební práce, a mechanické dokončení kotle proběhlo 15. dubna 2013. Chemické čištění bloku bylo dokončeno 7. května, poté následovalo vytvoření vrstvy magnetitu a vysoušení vyzdívek. Parní profuky byly akceptovány 6. června, 5 dní před harmonogramem, a to i navzdory zpožděním způsobeným nepříznivým počasím a povodněmi v místě zdroje vody pro topárnu. Po obnovení dodávky vody se CFB kotel v polovině června dostal do stavu připravenosti na by-pasový provoz, tedy stále v rámci původního harmonogramu projektu.

Komplexní vyzkoušení a optimalizace kotle

Prvním krokem v období optimalizace bylo vypracování optimalizovaných provozních podmínek pro kotel. To bylo důležité pro dosažení požadovaného provozu kotle v celém rozsahu zatížení, minimalizace spotřeby čpavku a vápence a maximalizace účinnosti kotle a bloku. Toho bylo dosaženo na základě zjištění, jak snížit ztráty a optimalizovat vlastní spotřebu a regulaci teploty přehřátí. Díky nízké a stejnoměrné teplotě spalování v celém rozsahu výkonu je rovněž zvýšena účinnost kotle, přičemž nekontrolované emise NO_x zůstávají nízké, nízký přebytek vzduchu je možné použít bez vlivu na výkon DeSO_x a je eliminováno riziko nedopálů v popelu. Nízká teplota spalování dále snižuje náklady na údržbu díky nízké rychlosti spalin a nízkým teplotním změnám ve spalínovém traktu kotle.

Poté, co byl nastaven proces spalování v kladenském CFB kotli, byla zahájena optimalizace dynamického výkonu kotle. Nový kladenský závod je moderní elektrárna, která má za úkol podpořit elektrickou síť z hlediska frekvence a zároveň dosahovat nízkých emisních limitů a vysoké účinnosti. Tyto požadavky definují cíl pro provoz kotle v přechodových a ustálených provozních podmínkách. Kromě dříve uvedených požadavků je kladenský CFB kotel K7 navržen na produkci maximálně 105 MW tepla do místní topné sítě.

Účelem dynamické optimalizace CFB kotle bylo nejprve splnit požadavky na výkon pro primární a sekundární podporu elektrické sítě, což znamená rychlost změny zatížení bloku o 4 MWe/min v celém rozmezí zatížení. Nový kladenský blok je vybaven možností regulace množství kondenzátu pro regeneraci během výkonových změn bloku za účelem podpory při poskytování podpůrných služeb elektrické soustavy (PpS). Za druhé si dynamická optimalizace klade za cíl splnit požadavky nastavené pro řízení kotle, kam spadá například řízení teploty a tlaku admisní páry a řízení teploty přehřátí. Nejdůležitějším cílem dynamické optimalizace je však dodržení emisních limitů v přechodových podmínkách. Dynamická optimalizace zahrnovala zkoušky omezovacích regulací kotle, provozu na vlastní spotřebu atd. Připravenost na certifikaci (PpS) byla prokázána během předběžných testů na začátku listopadu. Poté byl dynamický výkon nového CFB kotle finálně předveden v rámci certifikace PpS na konci listopadu.

Následující obrázky (3 až 5) ukazují zkoušky CFB kotle K7 v Kladně za účelem primární a sekundární podpory elektrické sítě. První obrázek ilustruje schopnost sekundární podpory elektrické sítě při současně výrobě páry pro dálkové vytápění. Rychlost výkonové změny při testu byla 4 MWe/min. Na druhém obrázku je ukázána schopnost primární podpory s maximálním a minimálním výkonem generátoru. Tyto zkoušky byly součástí certifikačních zkoušek PpS dokončených koncem listopadu v roce 2013.

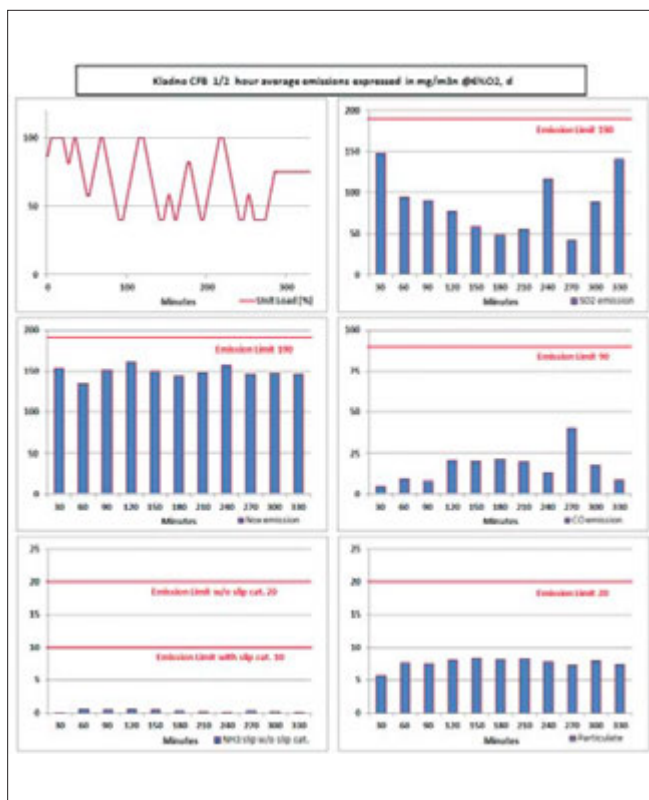
Emise v průběhu zkoušky sekundární podpory z kladenského CFB bloku jsou ukázány na následujícím obrázku 5.

Certifikace podpůrných služeb přenosové soustavy (PpS)

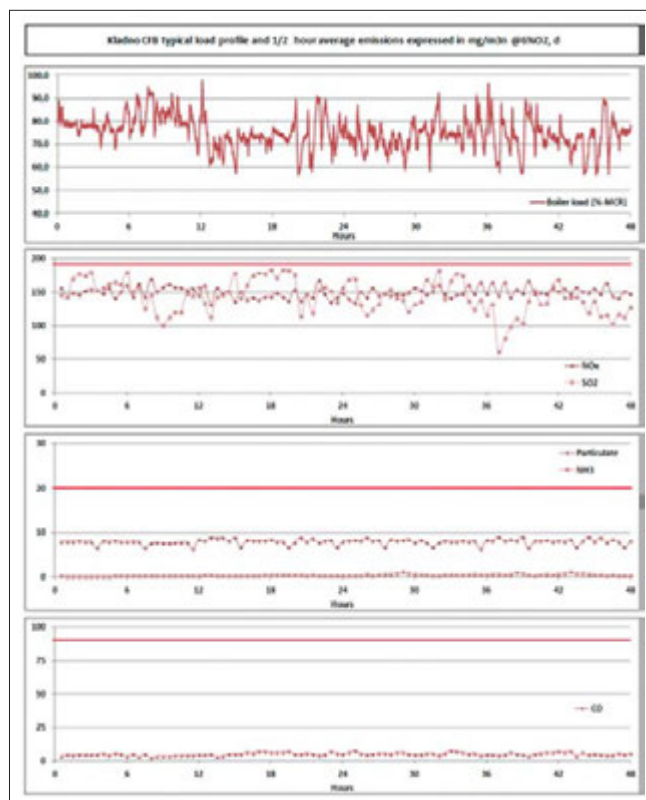
Certifikační zkoušky pro CFB kotel K7 v Kladně byly provedeny v době od 25. do 27. listopadu 2013. Součástí byly zkoušky schopností kotle v rámci primární a sekundární podpory elektrické sítě, zkoušky provozu samotného kotle a zkoušky vlivu výroby tepla. Síťové certifikáty pro CFB kotel byly vydány na konci listopadu 2013.

Spoluspalování biomasy

Optimalizace CFB kotle v průběhu podzimu 2013 byla provedena výhradně s použitím hnědého uhlí z důvodu omezené dostupnosti biomasy v té době. Tím pádem bylo společné spalování biomasy v kladenském CFB kotli poprvé vyzkoušeno na začátku listopadu 2013 a další obsáhlejší zkoušky byly provedeny na začátku roku 2014. V rámci těchto zkoušek byla společně s hnědým uhlím spalována biomasa s maximálním podílem 10 % tepelného příkonu. Provoz kladenského CFB kotle v průběhu zkoušek prokázal, že je při spalování biomasy vysoce účinný v celém rozsahu zatížení. Proces byl stabilní a při spoluspalování biomasy a hnědého uhlí byly dodrženy požadavky pro tlakovou regulaci kotle. V porovnání se spalováním samotného hnědého uhlí byla spotřeba čpavku a vody a vápence při společném spalování



Obr. 5 – ½ hodinové průměrné emise kladenské CFB jednotky v průběhu programu zkoušek sekundární podpory elektrické sítě



Obr. 6 – Typický profil zatížení kladenského kotle K7 a ½ hodinové průměrné emise

biomasy mírně nižší. Od začátku se stalo spalování biomasy trvalou součástí palety paliv v kladenské elektrárně a znovu se prokázala výtečná palivová flexibilita technologie CFB kotle.

Garanční měření, předání a komerční provoz

V prosinci 2013 bylo provedeno garanční měření CFB kotle v Kladně. Součástí byly zkoušky nejdůležitějších zaručovaných hodnot výkonu kotle (tepelná účinnost, vlastní spotřeba, spotřeba čpavkové vody a vápence a emise). Výkon kotle CFB byl otestován při jmenovitém (100%) a minimálním (40%) výkonu kotle. Na základě předběžných výsledků byly všechny výkonové záruky splněny s velkou rezervou, což ukazuje, že technologie CFB kotle je schopná splnit a překročit všechny požadavky kladené na moderní bloky.

Poté, co nový CFB kotel prokázal svůj výkon v rámci výkonových zkoušek v ustáleném provozním stavu a v síťových certifikačních testech, byl

předán zákazníkovi a uveden do konečného komerčního provozu na konci roku 2013.

Od začátku komerčního provozu se kladenský CFB kotel trvale účastnil podpory elektrické sítě při současné výrobě tepla do místní topné sítě. Typický provoz CFB kotle a jeho plynné emise za 48 hodin jsou ukázány na obrázku 6.

Závěr

- Cirkulační fluidní kotle (CFB) jsou ideální pro účinnou výrobu energie. Technologie kotle znamená, že CFB kotle jsou schopné současně spalovat řadu různých pevných paliv z biomasy společně s hnědým uhlím ve velkých elektrárnách.
- Kladenský CFB kotel reprezentuje novou generaci flexibilní výroby energie. Kotel je navržený pro společné spalování hnědého uhlí a biomasy s možností přizpůsobení náhlým změnám zatížení v elektrické síti a pro splnění náročných požadavků na emisní limity.

- Od spuštění komerčního provozu v prosinci 2013 jsou první provozní zkušenosti s CFB kotlem v kladenské elektrárně výtečné. Na základě předběžných výsledků byly všechny výkonové záruky splněny s velkou rezervou, což ukazuje, že kladenská CFB jednotka je výtečná. Kotel je schopný splnit a překročit všechny požadavky kladené na moderní elektrárnu.
- Technologie CFB je ideální volbou pro splnění požadavků na evropském trhu služeb z hlediska palivové flexibility v současnosti i v budoucnosti. Jde o osvědčenou technologii využívající širokou řadu paliv v podobě uhlí, lignitů a pevné biomasy ve velkých elektrárnách.

(text: Kalle Nuortimo & Riku Parkkonen
/Foster Wheeler Energia Oy,
obr: Foster Wheeler Energia Oy)

Implementation of a fluidised-bed boiler in Kladno as planned

In 2010, when Foster Wheeler signed a contract with German Kraftanlagen Power Plants GmbH (KAP) for the delivery of an 135 MWe circulating fluidised-bed boiler room (CFB) to the Alpiq Generation power plant in Kladno, Czech Republic, it knew little about the weather problems that would arise during the project. Despite this, the power plant in Kladno began to operate commercially at the end of 2013, precisely according to plan.

Строительство флюидного котла в Кладно проходило по плану

В 2010 году, когда фирма Foster Wheeler подписала контракт с фирмой German Kraftanlagen Power Plants GmbH (KAP) на строительство 135 MWe циркуляционной флюидной котельной (CFB) для электростанции Alpiq Generation в Кладно в Чешской Республике, фирма мало знала о проблемах, связанных с климатическими условиями, которые настанут в процессе реализации проекта. Не смотря на это, электростанция в Кладно начала свою работу в конце 2013 года, так, как это было запланировано.



*Kraftanlagen Power Plants GmbH (KAP)
Kladno, Czech Republic
135 MWe, CFB Boiler*

Technically Advanced Solutions.

The power plant decisions we take today will shape the cost-effectiveness and environmental footprint of energy generation for decades to come. By developing energy solutions that use resources efficiently and intelligently, we can contribute to a better environment for everyone.

Products and services:

Circulating fluidized bed and bubbling bed boilers • Pulverized coal boilers • Gasifiers • Heat recovery boilers • Boiler modernizations • Service • Plant operation • Circulating fluid bed scrubbers • Fabric filters



www.fwc.com