Rekonstrukce kotlů K1 a K2 s využitím prvků fluidní techniky v Teplárně Strakonice

Společnost TENZA, a.s., je generálním dodavatelem stavby nazvané „Rekonstrukce kotlů K1 a K2 s využitím prvků fluidní techniky“ v Teplárně Strakonice, a.s. Jedná se o významnou zakázku, která provozovateli umožní spalovat hnědé uhlí a biomasu v poměru 60/40 tepelného výkonu kotle a dále snížit emise SO_2 přímo v kotli o 65 %. To umožňuje nová technologie fluidního spalování, jež kombinuje výhody stacionární (bublající) a cirkulační fluidní vrstvy. Co všechno nová fluidní technologie nabízí a jaký byl rozsah a průběh výstavby prvního ze dvou kotlů, je prezentováno v následujícím článku.

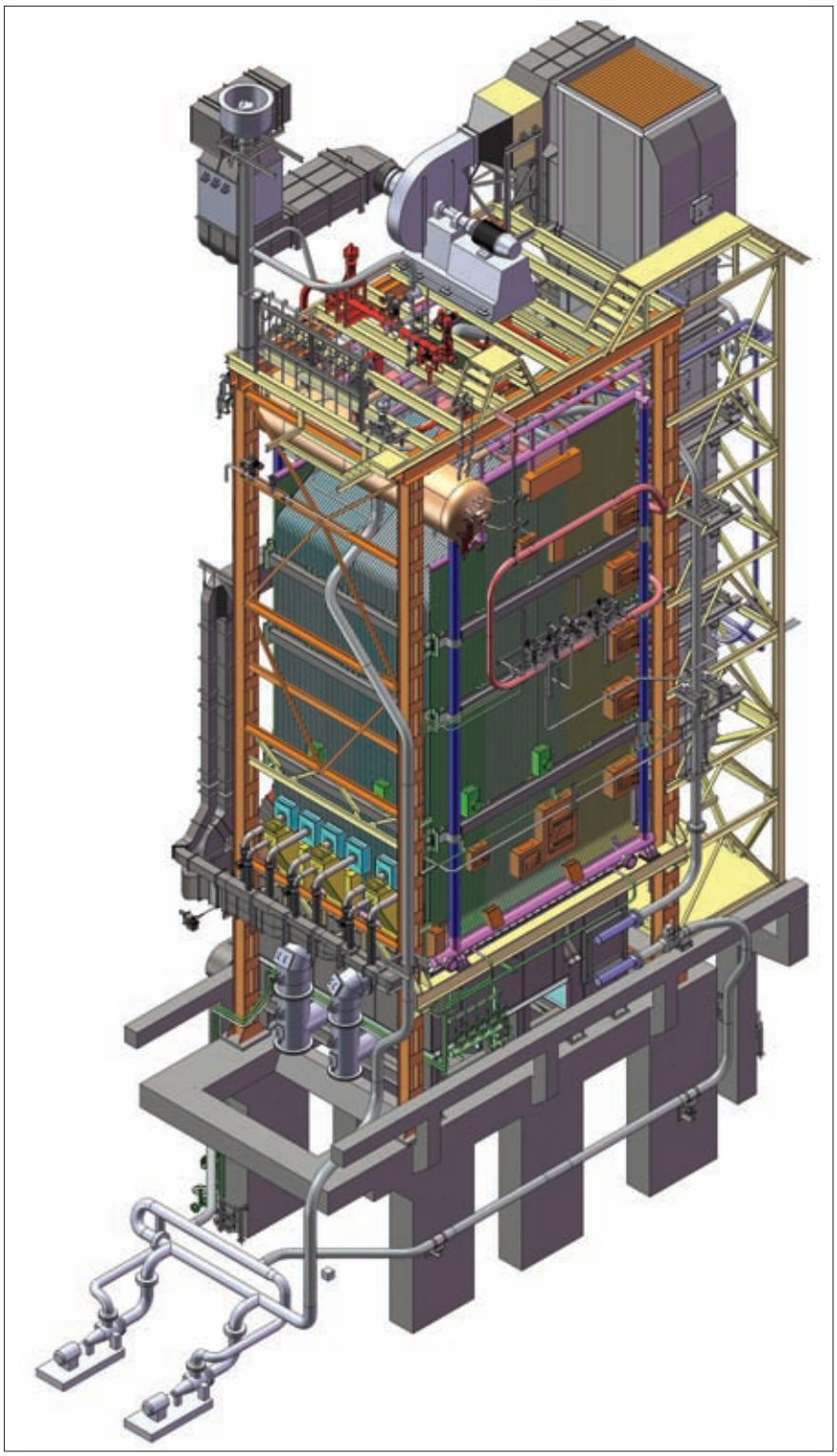
Důvody provozovatele k rekonstrukci kotlů K1 a K2

Teplárna Strakonice je výrobcem a dodavatelem tepla v regionu města Strakonice a také výrobcem elektřiny. Ve svém areálu provozuje uhelné kotle K1, K2, K3 o součtovém jmenovitém parním výkonu 147 t/h a záložní mazutové kotle K4 a K5 se součtovým parním výkonem 160 t/h. Celkový instalovaný parní výkon teplárny je tedy 307 t/h (214 MWt). Elektrický výkon teplárny je 30 MWe a zajišťuje ho jedna protitlaká a jedna kondenzační odběrová turbína.

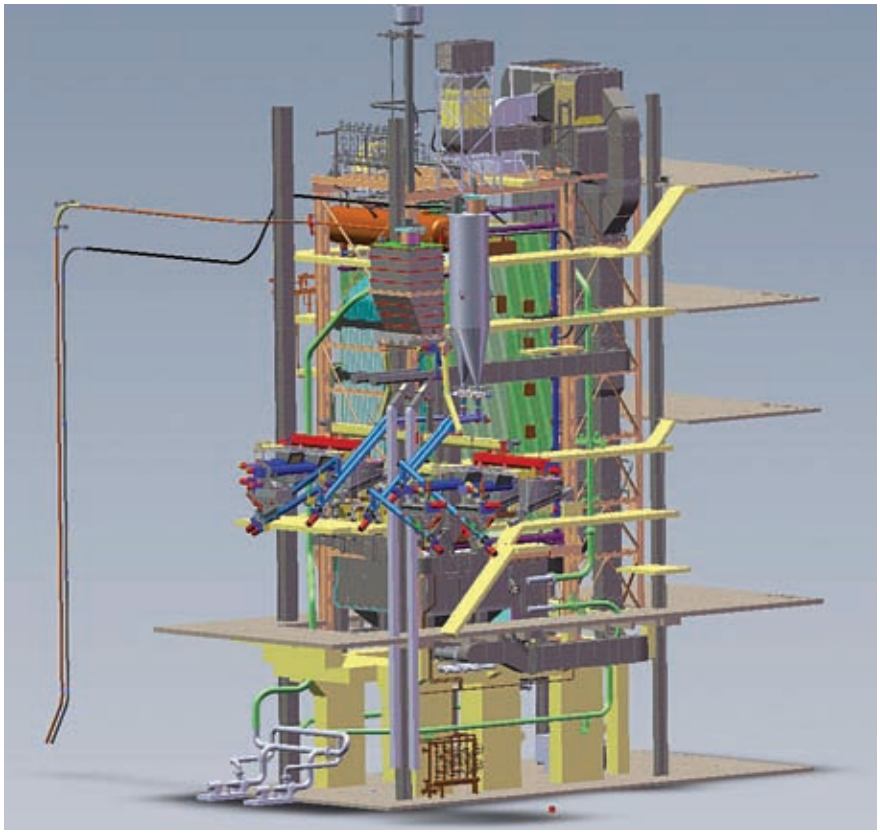
Uhelné kotle K1 a K2 byly uvedeny do provozu již v roce 1954. Jedná se o strmotrubné roštové kotle s přídavným práškovým spalováním a s přirozenou cirkulací. V průběhu provozování byly sice částečně rekonstruovány, ale hlavní tlakové části již překonaly hranici projektované životnosti. Vzhledem k jejich stáří byla značně snížená i jejich účinnost a spolehlivost. Navíc roštové kotle vyžadovaly tříděné palivo, jehož dostupnost je v budoucích letech značně nejistá. Proto se Teplárna Strakonice rozhodla přistoupit k nejrozsáhlejší investiční akci ve své historii a kotle K1 a K2 kompletně zrekonstruovat.

Cílem bylo vybrat takovou technologii, která umožní spalovat palivo v širším rozsahu parametrů a navíc poskytne možnost spoluspalování biomasy s podílem až 40 % tepelného výkonu kotle.

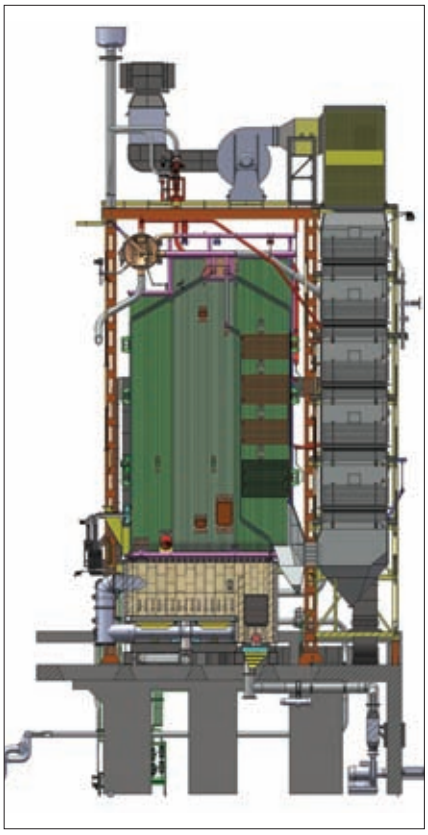
Generálním dodavatelem stavby byla společnost TENZA, a.s.



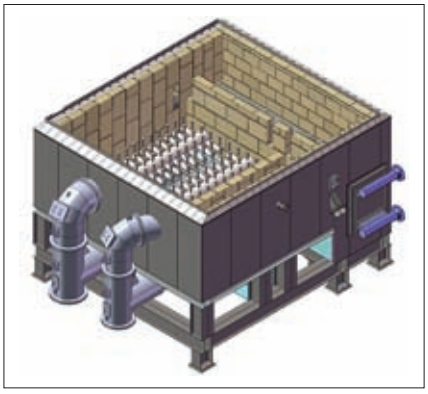
3D pohled na kotel



Kotel s prvky dopravy paliva



Řez kotlem



Izometrický pohled na fluidní topeniště

Dalším neméně důležitým požadavkem bylo snížení emisí znečišťujících látek, zejména NO_x, SO_2 a částečně i tuhých znečišťujících látek (TZL), které zajistí plnění zpřísněných emisních limitů v souladu s platnou legislativou.

Uvedeným požadavkům nejvíce vyhovovala technologie fluidního spalování, pro kterou se Teplárna Strakonice rozhodla a v polovině roku 2009 vyhlásila veřejné výběrové řízení s názvem „Rekonstrukce kotlů K1 a K2 s využitím prvků fluidní techniky“.

Výběrové řízení

Nové kotle s fluidním spalováním měly mít obdobný jmenovitý výkon jako stávající kotle K1 a K2, tzn. každý se jmenovitým výkonem 36 t/h. Základní požadavky na oba kotle byly následující:

- spalování 100 % hnědého uhlí,
- spalování 60 % hnědého uhlí + 40 % biomasy tepelného výkonu kotle,
- možnost dávkování vápence do kotle pro snížení emisí SO_2,
- minimální účinnost kotle 89 %.

Při návrhu řešení bylo navíc nutné zohlednit značné prostorové omezení dané velikostí původní technologie. Pro splnění těchto požadavků se společnost TENZA spojila s německou firmou ERK Eckrohrkessel GmbH spolupracující s firmou Alera GmbH. Firma ERK zpracovala základní návrh tlakového celku a firma Alera navrhla fluidní topeniště. Vznikl tak třítahový strmotrubný kotel s přirozenou cirkulací s chlazeným fluidním topeništěm.

S tímto technickým řešením TENZA ve výběrovém řízení uspěla a po podpisu smlouvy s provozovatelem 10. srpna 2010 se stala generálním dodavatelem stavby.

Rozsah výstavby

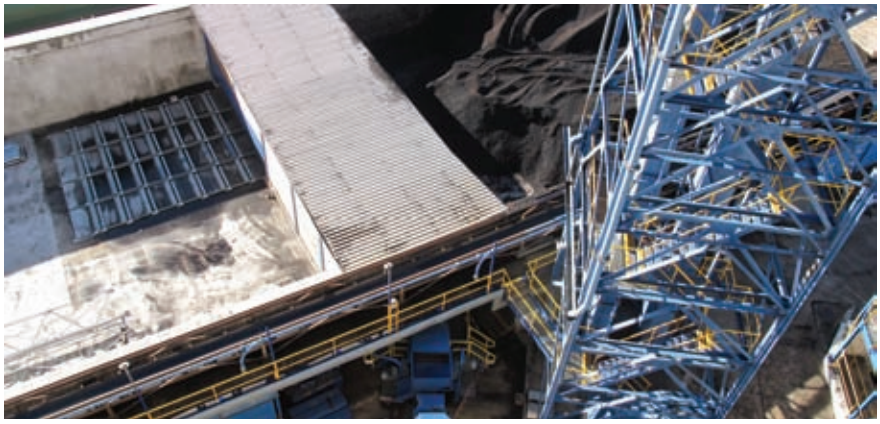
Celá výstavba investičního celku ve Strakonicích v hodnotě 475 milionů korun se netýká jen kotlů K1 a K2, tj. z tlakové části kotle a fluidního topeniště, ale také z kompletního vnějšího palivového hospodářství biomasy, vnitřního palivového hospodářství uhlí a biomasy, vnitřního vápencového hospodářství, hospodářství inertního materiálu, popelového hospodářství a elektrostatického odlučovače. V další části tohoto článku budou představeny jednotlivé technologické celky stavby.

Kotel

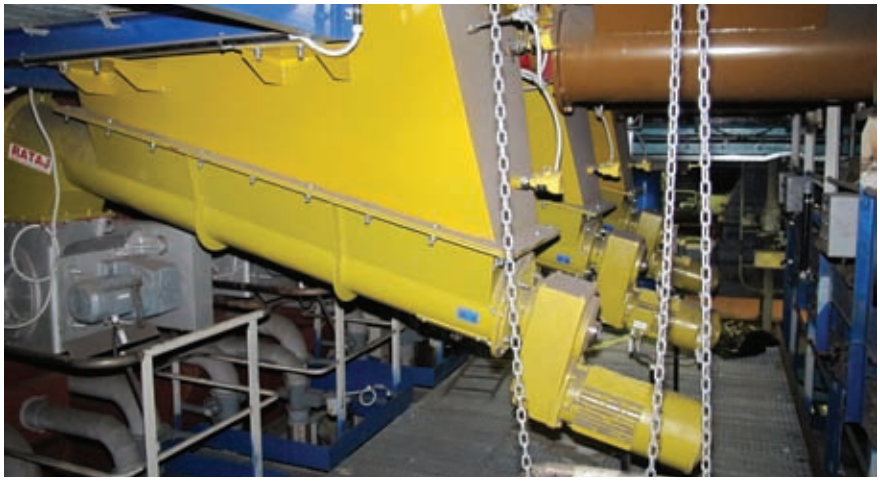
Jedná se o strmotrubný třítahový kotel s přirozenou cirkulací a jedním kotlovým tělesem. Tlakový celek je projektován podle návrhu dodavatele licence ERK Eckrohrkessel GmbH. Kotel je tvořen membránovými stěnami, které kromě základní funkce slouží zároveň jako nosná konstrukce. Kotel je navržen se spodním uložením, kdy celý tlakový systém dilatuje volně do stran a směrem nahoru při uvažování jednoho pevného bodu v místě uložení. Princip a správný chod přirozené cirkulace v tlakovém systému je předmětem know-how dodavatele licence kotle. Kotel je samonosný a nevyžaduje dodatečnou podpůrnou konstrukci. Spalovací komora je zvenku opatřena bandáží jako běžný kotel. V druhém tahu kotle jsou umístěny tři svazky přehříváku páry a svazek výparníku, ve třetím tahu je umístěn pětidílný ohřívák vody a dvoudílný ohřívák vzduchu. Do tlakového celku jsou zapojeny dva chladiče fluidní vrstvy ve funkci výparníku, které jsou ponořeny v tzv. dohořívacím fluidním loži. Chladiče odebírají přibližně třetinu výkonu tepla z kotle. Do chladičů je zavedena sytá kapalina z kotlového tělesa, která se v nich ohřeje o část tepla z fluidní vrstvy a vrací se zpět do kotlového tělesa. Aby nedocházelo při velkém přestupu tepla do trubek ponořených do fluidní vrstvy k separaci vody/páry, je nutné udržovat v trubkách chladiče vysoký průtok. Pro zajištění takového průtoku jsou do tohoto okruhu zapojena cirkulační čerpadla (zejména ve fázi najíždění).

Základní parametry kotle:

- Jmenovitý výkon 36 t/h - (27,4 MWt)
- Maximální výkon 40 t/h - (30,5 MWt)
- Minimální výkon 18 t/h - (13,7 MWt)
- Výstupní teplota páry - 465°C
- Výstupní tlak páry (abs.) - 6,3 MPa
- Teplota napájecí vody - 140°C
- Minimální účinnost kotle - 91 %

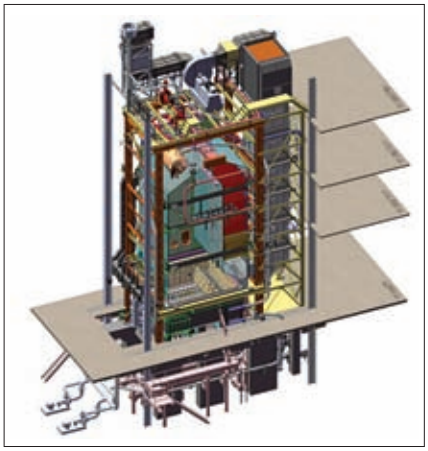


Sklad uhlí, vlevo místo pro skladování biomasy



Zásobníky směsi

Práce na zapojení cirkulačních čerpadel



Celkový pohled na technologii

- Způsob spalování - fluidní spalování (stacionární fluidní vrstva)
- Režimy spalování 100 % hnědé uhlí
- 60 % hnědé uhlí + 40 % biomasa tepelného výkonu kotle
- Účinnost odsíření kotle – 65 % pomocí dávkování vápence $CaCO_3$ do fluidní vrstvy

Kotel má tři vstupy paliva. Popel je kontinuálně odváděn dvěma přepady, které jsou umístěny na bočních stranách kotle v úrovni asi 300 mm nad tryskami hlavního fluidního lože. Pro zamezení zanášení teplosměnných ploch je druhý tah kotle opatřen parními ofukovači, do kterých je v případě potřeby ofukování zavedena ostrá pára odbočkou z výstupního parovodu. Regulace výstupní teploty páry je provedena vstřikem napájecí vody mezi přehříváky. Pro start kotle slouží hořák o výkonu 15 MWt na extra lehký topný olej (ELTO), který nahřeje inertní materiál ve fluidním loži na zápalnou teplotu a teprve poté se do kotle začne dávkovat palivo. Spalovací komora je přibližně do poloviny své výšky opatřena vyzdívkou z žárobetonu.

Fluidní topeniště

Použitý systém fluidního spalování podle návrhu dodavatele licence Alera GmbH je chráněn německým patentem. Kombinuje výhody stacionárního (bublajícího) fluidního lože a cirkulačního fluidního lože. Vyznačuje se následujícími vlastnostmi:

- malá tlaková ztráta ve fluidní vrstvě,
- vodorovné promíchání paliva ve vrstvě,
- velký přestup tepla do trubek ponořených do dohořívací vrstvy jako tepelný výměník,
- malá eroze ponořeného svazku díky nízkým fluidizačním rychlostem,
- konstantní podmínky při nízkých výkonových stavech,
- recirkulace popela pro lepší účinnost spalování.

Unikátnost řešení topeniště spočívá v tom, že je tvořeno dvěma fluidními loži – hlavním ložem hlubokým 300 mm, ve kterém probíhá spalování, a dohořívacím ložem o hloubce 1 500 mm, v němž jsou ponořeny chladiče odebírající teplo z fluidní vrstvy. Hladiny obou fluidních vrstev jsou na stejné úrovni, vzájemně odděleny přepadem.

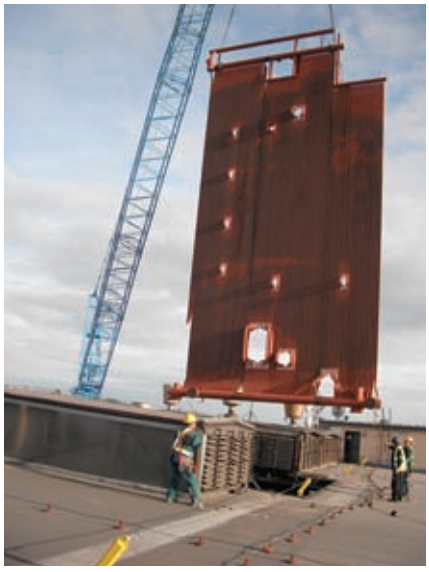
Hlavní lože je rozděleno na dvě části v poměru 2:1. Větší část hlavního lože obsahuje dvě sekce trysek a menší část jednu. Obě části hlavního lože jsou od sebe také odděleny vyzdívkou. Toto rozdělení slouží pro jednotlivé výkonové režimy kotle. V případě plného výkonu kotle jsou v provozu obě části hlavního lože a při snižování výkonu pod 50 % se menší část vypne a v provozu zůstane jen větší část. Celé fluidní topeniště je opatřeno vyzdívkou tvořenou žárobetonem s vysokou odolností proti abrazi.

Vzhledem k tomu, že topeniště má dvě fluidní vrstvy s rozdílnými výškami a tedy s rozdílnými tlakovými ztrátami, je nutné do každé fluidní vrstvy zavést vzduch s odlišnými parametry. K zajištění potřebného vzduchu pro hlavní lože slouží hlavní vzduchový ventilátor umístěný v horní části kotle. Vzduch z tohoto ventilátoru o přetlaku 8,3 kPa prochází přes ohřívák vzduchu. Do jednotlivých sekcí hlavního lože je zaveden ohřátý na teplotu 101 °C. Využívá se zároveň jako sekundární vzduch vstupující do kotle přibližně metr nad vstupy paliva. Vzduch pro dohořívací lože dodává pomocný ventilátor umístěný pod kotlem. Tento vzduch neprochází žádným ohřívákem a do dohořívacího lože vstupuje studený s přetlakem 24,5 kPa.

Výměnu popela v prostoru chladičů zajišťuje princip recirkulace, kdy je odebírán popel z hlubšího dohořívacího lože a dopravován do přední části hlavního lože. Recirkulace popela je provedena pomocí dvou recirkulačních potrubí. Popel do potrubí vstupuje ze spodní části dohořívacího lože a do hlavního lože se vrací nad úrovní hladiny fluidní vrstvy.

Recirkulace popela funguje na principu rozdílu hustoty mezi fluidní vrstvou v dohořívacím loži a směsí vzduchu a popela ve vertikální části recirkulačního potrubí, do něhož je ve spodní části umístěna vzduchová tryska pro účely ředění směsi vzduchu a popela. Tryska nemá funkci ejektoru, pouze upravuje hustotu směsi ve vertikální části

Elektrostatický odlučovač



Montáž membránové stěny

potrubí. Horizontální část potrubí je po celé délce opatřena fluidizačními elementy, které udržují popel v pohybu.

Množství recirkulovaného popela se pohybuje v jednotlivých výkonových režimech v rozsahu od 0 do 160 t/h. Potrubí je proto vyrobeno ze žárupevného materiálu s vnitřní keramickou výstelkou odolnou proti opotřebení. Fluidizační vzduch pro horizontální část potrubí i ředící vzduch pro vertikální část potrubí je odebírán z pomocného ventilátoru.

Fluidizující pevné částice jsou tedy kontinuálně recirkulovány přepadem z hlavního lože do dohořívacího lože s chladičem a odtud se recirkulačním potrubím vrací zpět do přední části hlavního lože. Tímto souvislým přesunem je posíleno vodorovné promíchání paliva a inertního materiálu lože. Recirkulací popela se také zajišťuje lepší účinnost spalování a vyšší účinnost odsíření. Teplota hlavního fluidního lože je udržována na 850 °C, což je ideální teplota pro proces odsíření.

Doprava surovin do kotle

Do kotle jsou dávkovány palivovými cestami celkem čtyři suroviny – hnědé uhlí, biomasa, vápenec a inertní materiál.

Cesta uhlí

Základním palivem pro fluidní kotle je mostecké hnědé uhlí, které se do teplárny dodává v granulometrii 0 až 40 mm. Stávajícími palivovými cestami se dopraví do zásobníku (každý kotel má svůj vlastní). Součástí akce je také rekonstrukce uhelných zásobníků kotlů K1 a K2, na nichž byla na mnoha místech naměřena snížená tloušťka stěny. Jejich rekonstrukce spočívá v nahrazení starých stěn novými a následným vyložením plechem z nerezového materiálu pro zvýšení odolnosti zásobníku proti korozi i otěru. Ocelová konstrukce zásobníku je ponechána stávající. Ze zásobníku je uhlí dopraveno šnekovými dopravníky do drtiče, ve kterém je upravena jeho zrnitost na 0 až 10 mm a z drtiče pokračuje do míchacího šnekového dopravníku.

Cesta biomasy

Biomasa je přídavným palivem do fluidních kotlů a je dávkována až do 40 % tepelného výkonu kotle, což činí přibližně polovinu hmotnostního poměru uhlí a biomasy. Provozovatel spaloval biomasu již v původních roštových kotlích K1 a K2, ale jen do 10 % v poměru s uhlím. Navržené řešení projektu si vynutilo kompletní vybudování vnějšího hospodářství biomasy, pro nějž byla využita polovina stávající uhelné skládky.

Biomasa (v tomto případě dřevní štěpka) je dodávána na skládku o přibližné granulometrii 0-70 mm a kolovým nakladačem dopravena na posuvné podlahy, z nichž se soustavou dopravníků vybavených magnetickou separací dostane do třídiče. V přední části třídiče se odseparuje frakce 0 až 40 mm, která propadne na šikmý dopravník, frakce 40 až 70 mm propadne v zadní části třídiče do drtiče, kde se upraví na 0 až 40 mm a spojí s již odseparovanou frakcí 0 až 40 mm. Biomasa se zrnitostí větší než 70 mm se na třídiči odstraní a vyvede se skluzem do kontejneru.

Šikmý dopravník vybavený váhou dopravuje požadované množství biomasy s upravenou zrnitostí 0 až 40 mm do zásobníku biomasy umístěného v kotelně mezi zásobníky uhlí. Zásobník je společný pro oba kotle K1 a K2 a biomasa z něj je vyvedena do míchacího šnekového dopravníku.

Cesta vápence

Provozovatel používá k odstranění SO_2 ze spalin stávající odsiřovací technologii s fluidním reaktorem umístěnou za elektrostatickými odlučovači. Odsiřovací proces je zajištěn pomocí vápenného hydrátu $Ca(OH)_2$ přiváděného do reaktoru. Nové kotle K1 a K2 umožní snížení emisí SO_2 o 65 % dávkováním vápence $CaCO_3$ do fluidní vrstvy. Pro realizaci vnějšího vápencového hospodářství se provozovatel rozhodne po srovnání ekonomiky provozu technologie stávajícího odsíření vápenným hydrátem s technologií odsíření v kotli pomocí vápence. Současný projekt zahrnuje pouze vnitřní vápencové hospodářství umístěné v kotelně, které se skládá ze společného zásobníku vápence pro oba kotle K1 a K2 a dopravních cest do míchacího šnekového dopravníku. Zásobník je plněn pneudopravou přímo z autocisterny.

Cesta inertního materiálu

Jako inertní materiál je použit popel z fluidního lože. Slouží k zaplnění hlavního i dohořívacího fluidního lože před startem kotle. Může být využit i k doplňování fluidní vrstvy ve výjimečných případech, kdy nebude vytvořeno dostatečné množství inertního materiálu (popele) během provozu. Popel je skladován ve společném zásobníku obou kotlů K1 a K2 umístěném přímo v kotelně. Při provozu minimálně jednoho z kotlů je postupně doplňován odbočkou ze společné pneudopravy vychlazeného popela z kotlů K1 a K2. V případě odstavení obou kotlů může být zásobník plněn přímo pneudopravou z autocisterny. Do kotle je inertní materiál dopravován palivovými cestami.

Cesta promíchaných surovin do kotle

Jedním z požadavků pro spalovací proces je, aby se vše do kotle dávkovalo v promíchaném stavu. Všechny suroviny (uhlí, biomasa, vápenec a inertní materiál) jsou proto zavedeny do míchacího šnekového dopravníku a poté dávkovány do tří zásobníků. Z nich je už promíchaná směs zavedena třemi skluzy do kotle. Každý zásobník zajišťuje dávkování směsi surovin do jedné sekce hlavního lože. Prostor zásobníku směsi je od spalovací komory oddělen turniketem.

Odvod a chlazení popela

Popel z fluidního lože je trojího druhu:

- hrubý – z výsypek hlavního a dohořívacího lože,
- jemný – z přepadových otvorů,
- popílek z mezitahu kotle – z výsypek mezi druhým a třetím tahem kotle.

Jemný popel odchází z kotle kontinuálně dvěma přepadovými otvory, jejichž polohou je nastavena výška fluidní vrstvy. Tohoto popela je nejvíce. Další kontinuální odvod probíhá z výsypek mezi druhým a třetím tahem kotle. Množství hrubého popela z výsypek hlavního a dohořívacího lože závisí přímo úměrně na obsahu nefluidizovatelných částí v palivu (spečence, kameny atp.).

Veškerý popel je odváděn pomocí vodou chlazených šnekových dopravníků, v nichž je chlazen z teploty 850 °C na 80 °C. Takto ochlazený je

Zvedání kotlového tělesa

Termíny výstavby:	
Výběrové řízení	06/2009 až 04/2010
Podpis smlouvy	08/2010
Předání staveniště	03/2011
Demontáž kotle K2	03 až 06/2011
Vnější hospodářství biomasy	06/2011 až 06/2012
Výroba a montáž kotle K2	08/2011 až 12/2012
Uvedení do provozu, zkoušky K2	01 až 04/2013
Převzetí K2, hospodářství biomasy	06/2013
Demontáž kotle K1	05 až 07/2013
Montáž kotle K1	07/2013 až 01/2014
Uvedení do provozu, zkoušky K1	03 až 06/2014
Zkušební provoz díla	06 až 08/2014

následně zaveden do drtiče a pak společnou pneudopravou do stávajícího venkovního sila.

Emisní limity

Provozovatel se zavázal, že rekonstrukcí kotlů K1 a K2 dojde ke snížení emisí znečišťujících látek, zejména NO_X, SO_2 a částečně TZL. Díky tomuto závazku poskytl Státní fond životního prostředí provozovateli dotaci ve výši 30 % z celkové ceny zakázky. Emisní hodnoty jsou následující (výstup z kotle):

- CO max. 250 mg/Nm^3 (suché, 6 % O_2)
- NO_X max. 200 mg/Nm^3 (suché, 6 % O_2)
- SO_2 snížení o min. 65 % (za kotlem je stávající odsíření – metoda s fluidním reaktorem, která upravuje výstupní koncentraci do komína)
- TZL max. 100 mg/Nm^3 (suché, 6 % O_2) za elektrostatickým odlučovačem (dále je stávající odsíření včetně látkového filtru, který upravuje výstupní koncentraci do komína)
- TOC max. 50 mg/Nm^3 (vlhké spaliny, platí pouze při spalování uhlí s biomasou)

Dodržení emisí oxidu uhelnatého CO bude dosaženo vhodným nastavením poměrů jednotlivých provozních vzduchů přiváděných do kotle a také teploty ve spalovací komoře, která bude mírně vyšší než ve fluidní vrstvě.

Emise oxidů dusíku NO_X běžně fluidní kotle splňují bez sekundárních opatření. S ohledem na danou dobu optimalizace spalování je kotel připraven pro možnost dodatečného snížení oxidů dusíku pomocí selektivní nekatalytické metody (SNCR) dávkováním močoviny do spalovací komory.

Pomocí dávkování vápence $CaCO_3$ spolu s palivem do fluidní vrstvy je zajištěno snížení oxidu siřičitého SO_2 o 65 % přímo ve spalovacím procesu. Tuhé znečišťující látky (TZL) jsou ze spalin odstraněny v novém elektrostatickém odlučovači.

Výstavba fluidních kotlů K1 a K2

Z uvedených termínů je zřejmé, že výstavba začínala kotlem K2, který je umístěn v kotelně mezi stávajícími kotli K1 a K3. Prostorové možnosti v kotelně Teplárny Strakonice velmi omezené a nová technologie je složitější a prostorově náročnější, proto bylo využito pro činnosti projekční, koordinační a výpočetní sofistikovaných 3D aplikací.

Demontáž starého kotle K2 se prováděla standardním způsobem od částí kotle umístěných nahoře pod stropem kotelny až po pohyblivý rošt, který byl částečně využit pro transfer demontovaného materiálu z kotle.

Montáž nového kotle K2 probíhala otevřenou střechou pomocí jeřábu o nosnosti 500 tun, jenž přemísťoval jednotlivé části do vzdálenosti 50 metrů k místu vyložení. Pro lepší manipulaci s rozměrnými kusy byl využit pomocný jeřáb. Nejtěžší zvedanou částí byl patnáctitunový ohřívák vzduchu.

V současné době je dokončena montáž technologie kotle K2 a realizační tým společnosti Tenza zahájil přípravu na uvedení kotle do provozu. Kotel K1 bude obdobný jako kotel K2, avšak v zrcadlovém provedení. Projekční práce na kotli K1 jsou před dokončením a jsou maximálně využity poznatky z výstavby prvního kotle.

Ing. Tomáš Miklík,
TENZA, a.s.

Reconstruction of K1 and K2 boilers using elements of fluidized bed technology in Teplárna Strakonice

TENZA, a.s. is the general contractor for a project called "Reconstruction of K1 and K2 Boilers Using Elements of Fluidized Bed Technology" in Teplárna Strakonice, a.s. It is a major contract that will allow the operator to burn brown coal and biomass in a ratio of 60/40 of the boiler's heat output and to reduce SO_2 emissions directly in the boiler by 65%. This is possible thanks to the new technology of fluidized bed combustion, which combines the advantages of stationary (bubbling) and circulating fluid layers. The following article describes what the new fluid technology offers and what was the scope and progress of construction of the first boiler.

Реконструкция котлов К1 и К2 с использованием элементов флюидной техники на теплостанции Страконице

Компания "ТЕНЗА"является генеральным подрядчиом строительства, названного "Реконструкция котлов К1 и К2 с использованием элементов флюидной техники на теплостанции Страконице. Речь идёт о значительном заказе, который впоследствии даст возможность сжигать бурый уголь и биомассу в соотношении 60/40 % тепловой мощности котла и снизить эмиссию SO2 непосредственно в котле на 65%. Это стало возможно благодаря использованию новой технологии флюидного сжигания, которая комбинирует преимущества стационарных (кипящих) и циркуляционных флюидных слоёв. О том, что может предложить сегодня новая флюидная технология и каков был объём строительства первого котла, рассказывается в этой статье.