

## NOVÝ GRANULAČNÍ PARNÍ KOTEL 285t/hod

**Autor:** Ing. René Karásek, Ph.D., Provyko s.r.o.

**Anotace:** Příspěvek pojednává o návrhu nového tepelného zdroje, uvádění do provozu a dosavadních zkušenostech s jeho provozováním. Účelem výstavby nového parního kotle bylo zabezpečení výroby páry pro technologické účely. Parní výkon vyrobený novým zdrojem umožní odstavení již nevyhovujících stávajících dvou kotlů. Výstavbou nového zdroje bude dosaženo plnění emisních limitů dle směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích. Společnost Provyko s.r.o. byla zhotovitelem dokumentace kotle, dodavatelem vybraných zařízení kotle a rovněž se podílela na uvádění zařízení do provozu.

**Klíčová slova:** energetika, Provyko, nový tepelný zdroj, parní kotel, granulační kotel

### 1. Úvod

Generálním zhotovitelem projektu byla firma ENERGYCO, s.r.o. Společnost Provyko s.r.o (dále jen Provyko) byla vybrána pro zhotovení projektové a konstrukční dokumentace nového kotle a rovněž byla dodavatelem vybraných technologických částí kotle.

### 2. Rozsah projektu

#### 2.1 Úvod

Projekt modernizace teplárny je členěn do dvou etap, přičemž u první etapy, jejíž součástí je kotel K7, nabytí platnosti kolaudační souhlas v 2/2017. Druhá etapa byla zahájena v 10/2016 demontážními pracemi stávajícího kotle K6, který bude nahrazen novým kotlem. Článek je zaměřen na první etapu výstavby. Dispoziční řešení první části projektu je znázorněno v 3D modelu na obr. č. 1.



Obr. č. 1 Model 1. etapy projektu

## 2.2 Rozsah provozních souborů

Technologické zařízení je rozděleno do provozních souborů (PS) uvedených níže (členění nezahrnuje stavební objekty).

Firma Provyko byla zhotovitelem engineeringu PS zvýrazněných zeleně. Dodávky fy Provyko zahrnovaly zejména **mlýnici, práškové hořáky, práškovody, plynové hořáky s příslušenstvím, vysokotlaký ohřívák vody (VTO), parní ohříváky vzduchu (POV)**, systém pro potlačení výbuchu, systém pro monitorování spalování a jiné.

### PS 01 – Kotelna

**DPS 01.1 Kotel**

**DPS 01.2 Denitrifikace spalin**

**DPS 01.3 Odškvárování** (suchý vynašeč škváry)

**DPS 01.4 Mlýnice**

**DPS 01.5** Rozvod plynu a plynové hořáky - část **Plynové hořáky**

DPS 01.6 Škvárové hospodářství (pneudoprava a silo škváry)

**DPS 01.7** Pomocné zařízení kotelny - část **Zdvíhací zařízení**

**DPS 01.8** Tepelná úprava vody - část **VTO**

DPS 01.9 Ocelové konstrukce

### PS 02 – Zauhlování

### PS 03 – Odprášení a odsíření spalin

### PS 04 – Neobsazené

### PS 05 – Spojovací potrubí

### PS 06 – Rozvody VVN a VN

### PS 07 – Silnoproud

### PS 08 – ASŘTP a MaR

### PS 09 – AMS

## 3. Technické požadavky na zařízení

### 3.1 Definice hlavního paliva

Kotel je navržen pro spalování černého energetického uhlí se stabilizací zemním nebo koksárenským plynem (dále jen ZP nebo KP). Jak je vidět z následující tabulky, je uvažováno se spalováním paliva v širokém rozsahu výhřevnosti i prchavých látek.

Tab. č. 1 Definice hlavního paliva

Parametr	Jednotka	Garanční palivo*	Provozní palivo**	
Výhřevnost	$Q_i^r$	MJ/kg	23–30	min. 21–max. 33
Obsah popelovin	$A^r$	%	max. 22	max. 25
Obsah prchavých látek	$V^{daf}$	%	15–42	min. 8
Obsah síry	$S^r$	%	max. 2,5	max. 3
Obsah dusíku	$N^{daf}$	%	max. 2,4	max. 2,6
Obsah celkové vody	$W^r$	%	max. 10	

\*Garanční palivo – černé uhlí, jehož parametry jsou stanovené v rozmezí hodnot tak, aby kotel splnil všechny požadované garantované parametry.

\*\*Provozní palivo – černé uhlí, jehož parametry jsou v rozmezí hodnot uvedených výše a je mimo rozsah garančního paliva. Kotel musí plnit koncentrace znečišťujících látek a kvalitu vedlejších produktů.

### 3.2 Hlavní garantované parametry při spalování garančního paliva

Požadované parametry jsou uvedeny v tab. č. 2. Teplota napájecí vody dosahuje 160 °C při provozu bez VTO a 200 °C při provozu s VTO. Jak je vidět z tab. č. 2, z důvodů dalšího využití odpadních produktů jsou požadované garantované hodnoty nedopalu velmi nízké. Rovněž koncentrace znečišťujících látek jsou pod hodnotami požadovanými legislativními předpisy – viz tab. č. 3.

Tab. č. 2 Hlavní garantované parametry

Garantovaný parametr	Hodnota	Jednotka
<i>Parametry produkované páry při jmenovitém výkonu</i>		
teplota	540	°C
tlak	9,41	MPa
<i>při napájecí vodě 160°C</i>		
jmenovitý parní výkon	260	t/hod
maximální parní výkon	285	t/hod
minimální parní výkon	104	t/hod
<i>při napájecí vodě 200°C</i>		
jmenovitý parní výkon	285	t/hod
maximální parní výkon	310	t/hod
minimální parní výkon	114	t/hod
<i>Rychlost změny výkonu v celém regulačním rozsahu</i>	15	t/hod/min
<i>Účinnost kotle při jmenovitém výkonu</i>	91	%
<i>Kvalita vedlejších produktů</i>		
energosađrovec:		
vlhkost	≤ 12,5	% hmot.
pH	5–8	
popílek:		
obsah nedopalu	< 5	%
škvára:		
obsah nedopalu	< 3	%
<i>Počet mlýnů v provozu pro dosažení jmenovitého výkonu kotle</i>	2	–

Tab. č. 3 Požadované provozní emisní koncentrační hodnoty

Znečišťující látka	<i>Koncentrace znečišťujících látek [mg/Nm<sup>3</sup>]</i>		
	černé uhlí	zemní plyn	koksárenský plyn
TZL	7	5	5
SO <sub>2</sub>	120	35	400
NO <sub>x</sub>	120	100	100
CO	225	100	100

## 4. Návrh technického řešení nového zdroje

### 4.1 Stručný popis technologie 1. etapy projektu

Předmětem díla je projektová dokumentace ve všech stupních, dodávka a montáž kompletní technologické a stavební části v rozsahu a členění dle kap. 2.2.

Nový granulační kotel je navržen pro spalování černého uhlí s dodržением všech environmentálních a technologických požadavků. Pro najíždění a stabilizaci je kotel vybaven čtyřmi plynovými hořáky. Kotel disponuje suchým vynašečem škváry. V rozsahu projektu je taktéž nová VT sběrna páry (cca 600m) s napojením na stávající TG a propojovací potrubí všech médií s připojením na stávající provoz s respektováním zadaných připojovacích míst. Součástí dodávky jsou i zařízení pro dávkování chemikálií, provozní i najížděcí expandéry, napájecí a kondenzační nádrž. Projekt zahrnuje také dodávku nového zauhlování, včetně úpravy paliva a nové mlýnice.

Navržený kotel má plnit s rezervou platné požadavky na ochranu ovzduší. Pro denitrifikaci spalin je navržen systém SCR, který je nejúčinnější z hlediska dodržení hodnot NOx na úrovni 120 mg/Nm<sup>3</sup> a zároveň tento systém zvyšuje možnost využití popílku i pro nižší obsah čpavkových solí v něm obsažených. Jako reagentu je použito močoviny odebírané ze stávajícího hospodářství močoviny.

Na odprášení spalin je použit tkaninový hadicový filtr. Zachycený popílek je pneumaticky dopravován do nového sila popílku.

Pro odsíření spalin za kotlem je navržena mokrá metoda odsíření s použitím vápence v souladu s technickým zadáním objednatele. Vykládku vápence je možné realizovat navrženou cestou z automobilových cisteren, příp. železničními cisternami. Produkt odsíření (energósádovec) je dále míchán s popínkem, vápnem a vodou za vzniku stabilizátu.

Napájení vlastní spotřeby kotle elektrickou energií je realizováno ze stávající VVN rozvodny. Z technologických rozvaděčů je zabezpečeno napájení jednotlivých technologických částí kotle a jeho zákotlí. Řídící automat kotle tvoří programovatelný automat typu Siemens S7-400H.

Měření emisních koncentrací je řešeno prostřednictvím nového stacionárního automatického monitorovacího systému.

Bezpečnostní signalizace zvuková a světelná je řešena s přenosem signálu do centrálního dispečinku HZS závodu.

## 4.2 Popis technologie navržené a dodané firmou Provyko

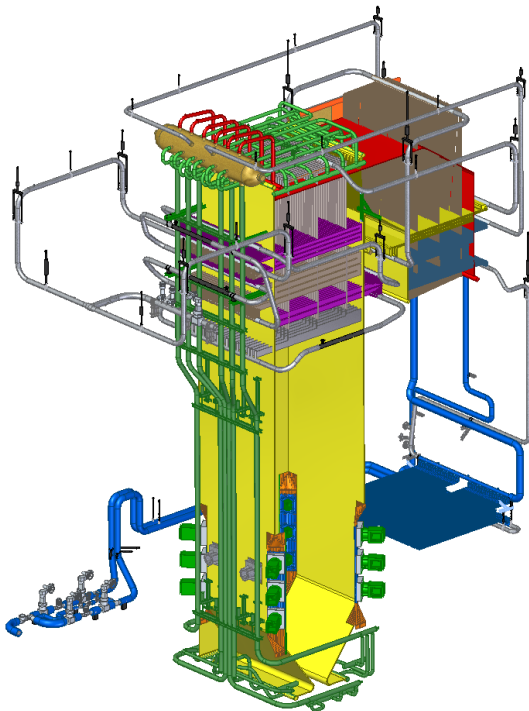
Pro návrh kotle byly zpracovány tepelné, pevnostní, aero- a hydrodynamické výpočty. Optimální návrh dispozičního řešení, spalovacího systému, distribuce vzduchu a konstrukční zpracování dokumentace byly realizovány pomocí 3D softwaru Solid Edge. Pro modelování proudění a optimální design práškového hořáku a práškovodů bylo využito softwaru ANSYS Fluent.

### 4.2.1 DPS 01.1 Kotel

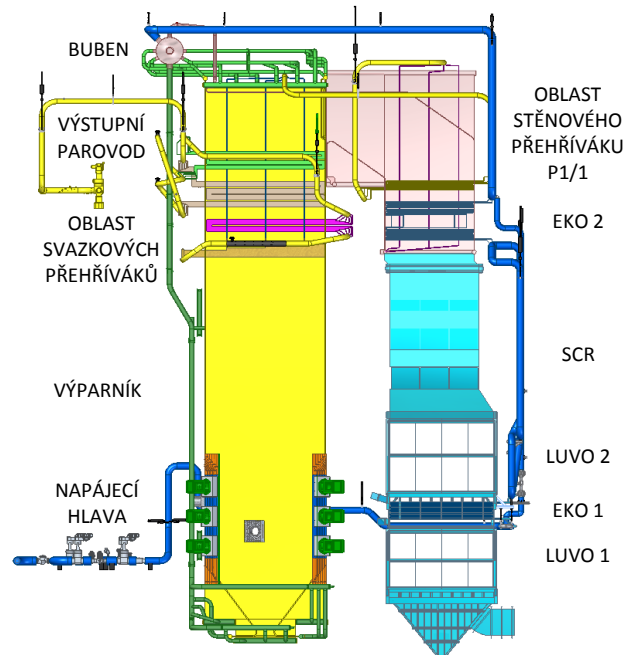
Granulační kotel umožňuje spalování širokého spektra černého energetického uhlí se stabilizací zemním a koksárenským plynem.

Sálavá spalovací komora je zcela vychlazená těsnými membránovými stěnami výparníku – viz obr. č. 2. Nad spalovací komoru v horní části prvního tahu kotle jsou zavěšeny trubkové svazky výhřevných ploch přehříváku páry. Za sálavým deskovým přehřívákem následují konvekční svazky přehříváku 2 a 3. Dále proudí spaliny přes výparníkovou mříž do druhého tahu kotle, kde jsou zavěšeny trubkové svazky prvního dílu přehříváku a výstupního svazku ohříváku vody. Strop a stěny druhého tahu kotle jsou tvořeny membránovými stěnami, které jsou součástí prvního dílu přehříváku. Druhý tah kotle dále pokračuje plechovým spalinovým kanálem, ve kterém je umístěn

katalyzátor SCR, dále výstupní blok trubkového ohříváku vzduchu, vstupní svazek ohříváku vody a vstupní blok trubkového ohříváku vzduchu – viz obr. č. 3.



Obr. č. 2 Tlakový celek kotle



Obr. č. 3 Uspořádání teplosměnných ploch kotle

Regulace teploty přehřáté páry je provedena vstřikem napájecí vody mezi prvním a druhým dílem přehříváku a druhým a třetím svazkem přehříváku.

První tah a horní část druhého tahu kotle jsou zavěšeny v nosné konstrukci. Trubkový ohřívák vzduchu (OVT) a vstupní svazek ohříváku vody jsou uloženy na nosících v plechovém spalínovém kanálu.

Vzduch vstupující do kotle je v případě potřeby ohříván před vstupem do OVT parním ohřívákem. Po průchodu přes OVT je zaveden k práškovým a plynovým hořákům, k terciálnímu a OFA dýzám, do mlýnských ventilátorů a ventilátorů SCR.

Dohoření nespálených tuhých částic a CO je zajištěno pásmem terciálního a dohořivacího vzduchu, které jsou umístěny v potřebné vzdálenosti nad práškovými hořáky.

Struska z granulačního ohniště kotle je zachycována na pohyblivém pásu vynašeče strusky a poté je přes primární drtič a kladívkový mlýn dopravována pneumaticky do sila škváry.

Kotel je vybaven dvěma radiálními sekundárními vzduchovými ventilátory. Za látkovými filtry jsou instalované dva radiální spalínové ventilátory. Každý ventilátor je dimenzován na 60% parního výkonu kotle a regulace množství vzduchu je řízena frekvenčním měničem.

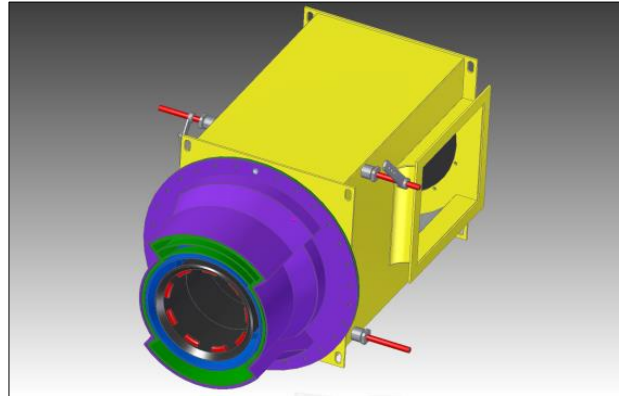
- Parní ohříváky vzduchu

POV jsou instalované ve vzduchových kanálech za příslušnými vzduchovými ventilátory. Vzduch je ohříván parou vstupující do POV o parametrech 0,57 MPa / 230 °C. Teplota vzduchu za POV je regulovaná v závislosti na parním výkonu kotle a spalovaném uhlí. Regulací průtoku páry parními

ohříváky vzduchu se dosáhne vhodný poměr na teplosměnných plochách POV s ohledem na zabránění případné kondenzace spalin.

- **Práškové hořáky**

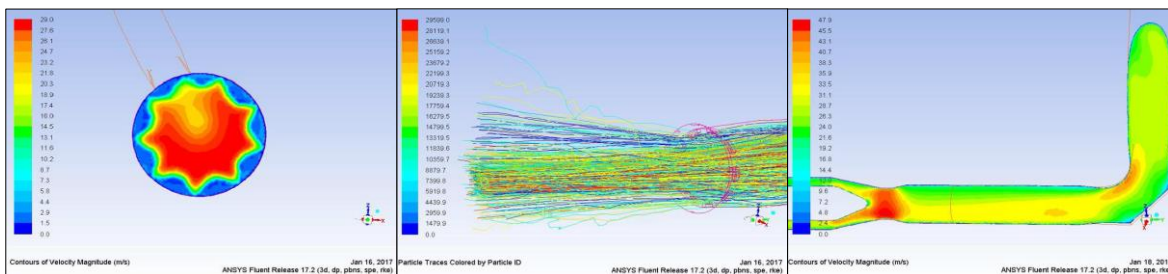
Práškové hořáky (obr. č. 4) jsou umístěny v rozích spalovací komory nad plošinou +8 m. V každém rohu jsou umístěny tři práškové hořáky nad sebou. Jeden mlýn zásobuje primární směsí vždy jeden práškový hořák v každém rohu spalovací komory kotle ve stejné výškové úrovni. Tím se zajistí ideální rozložení plamene ve spalovací komoře při všech výkonech kotle. Pro eliminaci přisávaného falešného vzduchu do spalovací komory jsou práškové hořáky pevně uchyceny na výparník spalovací komory. Dilatace výparníku a hořáků je vykompenzována na straně primární směsi v práškovodech a na straně spalovacího vzduchu v potrubí sekundárního vzduchu.



Obr. č. 4 Práškový hořák

- **Práškovody**

Z dynamického třídiče každého mlýna vychází dva práškovody pro přívod primární směsi na přední, resp. zadní stěnu kotle. Zde se pak každý práškovod dále dělí do dvou větví k jednotlivým práškovým hořákům. Potrubí jsou ocelová, na místech předpokládaného zvýšeného otěru zesílená. Kolena jsou řešena jako obloukové potrubí vyložené čedičovou vložkou. Za výstupem primární směsi z mlýna je na potrubí instalován deskový uzávěr.



Obr. č. 5 Modelování práškového hořáku a práškovodu

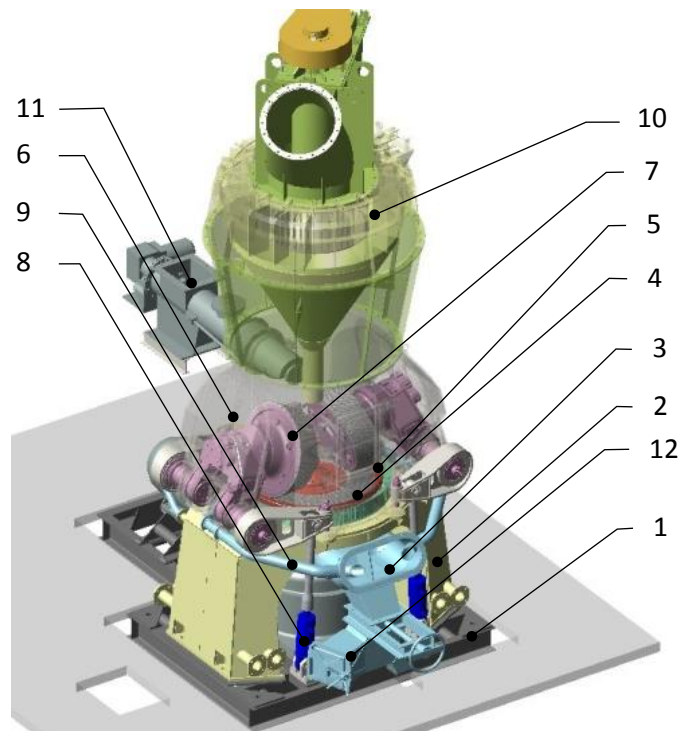
#### 4.2.2 DPS 01.4 Mlýnice

Mlýnice má tři mlecí okruhy s kladkovými mlýny s přímým foukáním prášku do ohniště – viz obr. č. 6. Surové uhlí je uloženo v zásobníku, odkud padá do dopravníku uhlí, kterým je dopravováno do svodky, šnekového dopravníku a poté do mlýna. V mlýně uhlí dopadá na mlecí mísu, odkud je odstředivou silou nesen pod mlecí běhouny, kde je rozemíláno. Rozemletý prášek je strháván proudem horkého vzduchu vzhůru mlecí komorou do regulovatelného dynamického třídiče, který vrací hrubší frakci zpět k přemletí na mlecí mísu. Z třídiče odchází vytříděný produkt požadované jemnosti dvěma výstupy do práškových hořáků. Pohon mlýna je realizován elektromotorem přes převodovou skříň. Mazání převodové skříně je oběhové a mazací stanice je uložena samostatně mimo mlýn. K utěsnění nosiče mlecí mísy, přítlačného zařízení a třídiče je přiváděn těsnící vzduch z těsnících ventilátorů.

Regulace teploty za třídičem je provedena studeným vzduchem, odebíraným z výtlačku vzduchového ventilátoru kotle, zavedeným do potrubí horkého vzduchu vstupujícího do mlýnského ventilátoru. Regulace množství paliva se provádí měničem frekvence, kterým se plynule mění otáčky dopravníku. Mlýnský okruh je zabezpečený systémem proti výbuchu.

Kladkový mlýn sestává z těchto hlavních konstrukčních skupin:

1. Základ s pohonem
2. Spodní díl
3. Vzduchový kanál
4. Mlecí mísa
5. Lopatkový věnec
6. Mlecí komora
7. Mlecí běhoun
8. Okruh hydropneumatického přitlaku a pružení mlecích běhounů
9. Rozvod těsnícího vzduchu
10. Třídič mlýna s pohonem
11. Vstupní šnekový podavač
12. Výsypka na nedomel



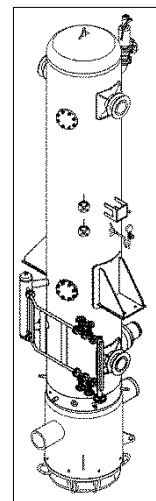
Obr. č. 6 Kladkový mlýn

#### 4.2.3 DPS 01.5 Rozvod plynu a plynové hořáky - část Plynové hořáky

Kotel je vybaven čtyřmi plynovými najížděcími a stabilizačními hořáky. Jmenovitý výkon jednoho hořáku je 16 MW (platí pro ZP i KP). Vlastní hořáky v samostatných vzduchových skříních jsou umístěny dva na čelní stěně kotle na úrovni +12,6 m a po jednom na bočních stěnách na úrovni +10,6 m. Dva hořáky umožňují spalování zemního a koksárenského plynu a dva jsou navrženy pouze na zemní plyn. Dvoupalivový hořák neumožňuje spalování obou paliv současně. Čidla hlídačů plamene i plynoelektrický zapalovač jsou chlazeny vzduchem z dvojice nových chladicích ventilátorů. Součástí dodávky je i zabezpečovací automatika hořáků (BMS).

#### 4.2.4 DPS 01.8 Tepelná úprava vody – část Vysokotlaký ohřívák vody

Vysokotlaký ohřívák vody pára-voda je vertikální, vlásenkový, s integrovaným srážecem páry a integrovaným chladičem kondenzátu. Ohřívacím médiem je pára 1,76 MPa / 320 °C, která je v prostoru pláště vně trubek a ohřívacím médiem je napájecí voda proudící přes trubky se jmenovitým tlakem 12,5 MPa. VTO slouží pro dohřev napájecí vody na 200 °C.



Obr. č. 7 VTO

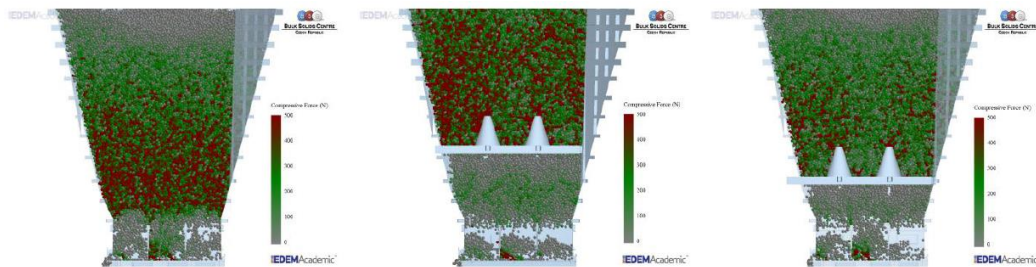
## 5. Harmonogram výstavby (hlavní milníky)

<b>09/2013</b>	<b>Podpis SoD</b>
11/2014	Předání a převzetí staveniště
12/2014	Odkop zeminy, hutnění základové škváry, podkladní beton
01/2015	Zahájení montáže OK a technologie kotle a kotelny
<b>01/2016</b>	<b>Tlaková zkouška kotle</b>
05/2016	Chemické čištění a pasivace kotle, sušení vyzdívek kotle
06/2016	Profuk kotle, první pára provozních parametrů na turbínu
10/2016	Komplexní vyzkoušení
<b>11/2016</b>	<b>Garanční měření na 1. garanční palivo</b>

## 6. Uvedení kotle do provozu, garanční měření

Po ukončení montážních prací kotle bylo odsouhlaseno zahájení uvádění kotle do provozu, resp. zahájení individuálních a poté předkomplexních zkoušek kotle. Chemické čištění a pasivace kotle proběhly dle odsouhlaseného harmonogramu v 05/2016. Poté bylo přistoupeno k vysoušení vyzdívek kotle. Kotel byl postupně vysušován v 1. fázi napájecí vodou o teplotě 160°C, ve 2. fázi plynovými hořáky podle vysoušecí křivky.

Při zahájení spalování pevného paliva a následném profukování přehříváků a parovodů se vyskytnul první závažný problém s významným kolísáním množství paliva vstupujícího do kotle. I když v zásobnících uhlí (ZSU) již byly instalovány mečové trysky a vzduchová děla, po zpracování studie toku materiálu bylo přistoupeno k výrobě a instalaci pasivních prvků do ZSU (RPS Ostrava a.s.) – viz obr. č. 8, a rovněž byly instalovány vzduchové pulzní trysky do ZSU a svodky pod tyto zásobníky.



Obr. č. 8 Srovnání variant simulací – kompresní síly na částice (vlevo původní, vpravo nové řešení) [3]

Tato opatření přispěla k rovnoměrnému toku paliva ze ZSU do kotle a tím k eliminaci kolísání parního výkonu kotle. Následné komplexní vyzkoušení v délce 72 hod prokázalo spolehlivost a funkčnost zařízení v automatickém režimu.

Fáze seřizování vzduchového a spalovacího režimu byla časově náročná zejména z důvodů časté změny spalovaného paliva.

### Garanční měření

Z důvodů prokázání schopnosti spalovat různé typy černého uhlí při dodržení smluvních parametrů bude nutné realizovat více garančních měření. V 11/2016 proběhlo garanční měření na 1. garanční palivo (Bogdanka – viz tab. č. 4). Výsledky měření potvrdily, že všechny prokazované garantované hodnoty byly dodrženy v souladu se SoD [1], [2].



**Tab. č. 4 Rozbor paliva - surové uhlí Bogdanka [1]**

Použité metody:		SOP č. P 01 (ČSN 44 1377)	SOP č. P 06 (ASTM D 7582)	SOP č. P 06 (ASTM D 7582)	SOP č. P 05 (ČSN ISO 1928)	SOP č. P 05 (ČSN ISO 1928)	SOP č. P 03 (ČSN ISO 562)
Číslo vzorku:	Označení vzorku	$W_i$ (%) Voda veškerá původní	$A^r$ (%) Popel původní	$A^d$ (%) Popel bezvodý	$Q_s^{daf}$ (MJ/kg) Spalné teplo v hořlavíně	$Q_i^r$ (MJ/kg) Výhřevnost původní	$V^{daf}$ (%) Prchavá hořlavina
16/6144	surové uhlí zk.1	10,80	15,96	17,89	33,78	23,62	39,1
16/6145	surové uhlí zk.2	11,20	15,07	16,97	33,72	23,72	39,8
Nejistota měření (±)		2% rel.	1% rel.	1% rel.	0,5% rel.	3,5% rel.	1% rel.

Použité metody:		SOP č. P 07 (ČSN ISO 19579)	SOP č. P 07 (ČSN ISO 19579)	SOP č. P 12 (ČSN ISO 29541)	SOP č. P 12 (ČSN ISO 29541)	SOP č. P 12 (ČSN ISO 29541)	SOP č. P 12 (ČSN ISO 29541)
Číslo vzorku:	Označení vzorku	$S^r$ (%) Síra původní	$S^{daf}$ (%) Síra v hořlavíně	$C^r$ (%) Uhlík původní	$C^{daf}$ (%) Uhlík v hořlavíně	$H^r$ (%) Vodík původní	$H^{daf}$ (%) Vodík v hořlavíně
16/6144	surové uhlí zk.1	1,02	1,39	59,536	81,286	3,921	5,353
16/6145	surové uhlí zk.2	0,94	1,27	59,460	80,646	3,961	5,372
Nejistota měření (±)		3% rel.	3% rel.	0,5% rel.	0,5% rel.	2% rel.	2% rel.

Použité metody:		SOP č. P 12 (ČSN ISO 29541)	SOP č. P 12 (ČSN ISO 29541)	Hodnota je dopočtena	Hodnota je dopočtena
Číslo vzorku:	Označení vzorku	$N^r$ (%) Dusík původní	$N^{daf}$ (%) Dusík v hořlavíně	$O_d^r$ (%) Kyslík původní	$O_d^{daf}$ (%) Kyslík v hořlavíně
16/6144	surové uhlí zk.1	1,374	1,876	8,412	11,485
16/6145	surové uhlí zk.2	1,426	1,934	8,883	12,048
Nejistota měření (±)		3% rel.	3% rel.	-	-

## 7. Závěr

Dosavadní výsledky provozních parametrů a garanční měření prokázaly, že v návrhu nového parního kotle nebyly shledány žádné zásadní problémy a díky dodržení požadované kvality práce při výrobě a montáži bylo dílo realizováno s dodržením smluvního termínu. Na kotli byly doposud spalovány různé druhy uhlí (s vysokými i nízkými hodnotami  $V^{daf}$ ,  $Q_i^r$ , s vysokým obsahem  $S^r$  a  $W^r$ ) a pro všechny druhy uhlí byly plněny požadavky na parametry kotle i emisní hodnoty.

### Literatura:

- [1] Zpráva z garančního měření kotle.
- [2] Protokol o zkoušce č.: 292/2016, Měření koncentrace amoniaku ( $NH_3$ ).
- [3] RPS Ostrava a.s. Technická zpráva - vizualizace toku, návrh pasivního prvku.