

# Rekonstrukce kotle K22 EPR2

---

Ing. Jaroslav Chládek, ALSTOM s.r.o.  
Josef Sýkora, Ing., Jan Horňák a další spolupracovníci ALSTOM s.r.o.

---

## Anotace

V r. 2008 bylo vypsáno výběrové řízení na rekonstrukci kotle K22 o jmenovitém výkonu 660 t/h Elektrárny Prunéřov 2.

Alstom s.r.o. v uvedené soutěži uspěl a rekonstrukci provedl během běžné opravy v červenci až září 2010. Cílem rekonstrukce bylo snížit emise NOx při zlepšení účinnosti kotle (zvláště snížením obsahu kyslíku ve spalinách a obsahu spalitelných látek ve strusce a popílku). Důležitý byl rovněž požadavek snížení rizika struskování spalovací komory a ústí sušek.

Byla provedena zásadní úprava mlecích okruhů, způsob ovládání motoru mlýna, instalace nového třídiče s dvěma výstupy – jeden pro hlavní hořák (složený ze dvou sekcí) a druhý pro nově instalovanou reburningovou hubici. Jedno stávající pásmo dohořívacího vzduchu bylo doplněno o druhé. Do hlav ofuku sušek je kromě stávajícího horkého vzduchu zavedena recirkulace chladných spalin nasávaných za kouřovými ventilátory kotle.

V článku jsou uvedeny informace o způsobu řešení rekonstrukce spalovacího zařízení a informace o prvních výsledcích po uvedení kotle do provozu.

## Parametry kotle, historie EPR 2

Elektrárna Prunéřov 2 byla postavena v letech 1978 až 1981 polskými organizacemi jako úhrada za tehdejší mezistátní pohledávky.

Vlastní kotel je výrobek Rafako Raciborz, mlýny FaPa Mikołow a turbína Zamech Elblag. Dodnes se polští pracovníci účastní prováděných rekonstrukcí.

Kotel o výkonu 660 t/h je dvoutahový, podtlakový, bubnový kotel s jednostupňovým odpařováním, přirozenou cirkulací vody, přehříváky a mezipřehříváky páry, práškovým granulačním topením. Jako jediný kotel o tak vysokém výkonu v ČR je bubnový s přirozeným prouděním vody ve výparníku, ostatní kotle podobného výkonu u nás jsou průtlačné.

### Technické parametry kotle

jmenovitý výkon kotle	660 t/h = 183,33 kg/s
jmenovitý tlak přehřáté páry na výstupu z kotle	13,53 MPa
tlak mezipřehřáté páry na vstupu do kotle	2,72 MPa
tlak mezipřehřáté páry na výstupu z kotle	2,45 MPa
jmenovitá teplota přehřáté páry na výstupu z kotle	540 °C
teplota mezipřehřáté páry na vstupu do kotle	325 °C
jmenovitá teplota mezipřehřáté páry na výstupu z kotle	540 °C
teplota napájecí vody před kotlem (při provozu VTO)	245 °C
teplota napájecí vody před kotlem (bez VTO)	158 °C
minimální teplota spalin u výstupu z kotle	150 °C
množství vzduchu do kotle	$660 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{h} = 185 \text{ kg/s}$

celkový vodní objem kotle	500 m <sup>3</sup>
spotřeba garančního uhlí	220 t/h = 61,1 kg/s
účinnost kotelního zařízení	88,8 %
kotlové ztráty	11,2 %

Kotle el. Prunéřov byly při výstavbě dodány s recirkulací chladných spalin do hlav sušek. Ty byly záhy zrušeny pro jejich nefunkčnost.

V roce 1995 až 1996 byla elektrárna Prunéřov odsířena metodou mokré vápencové vypírky, zařízení dodala japonská firma Mitsubishi: Denitrifikace byla provedena naší firmou, tehdy ABB První brněnská strojírna.

Bloky EPR2 byly upraveny počátkem 90. let na teplotenský odběr jak z VT tak z NT dílu turbíny, a zásobují teplem města Klášterec nad Ohří, Chomutov a Jirkov.

S ohledem na nedodržované parametry výstupní páry polský výrobce kotle provedl koncem 90. tých let úpravy výhřevných ploch. Byly zvětšeny: konvekční přehřívák (o 25%), výstupní přehřívák (o 12%) a konvekční i výstupní přehřívák (oba dokonce až o 30%). I přes zvýšení výhřevných ploch není na kotlích dodržována jmenovitá teplota přehřáté páry při nižších výkonech bloku. Zvětšení ploch není identické na všech blocích, nejnižší je na kotli K21 a K22.

Vstříky do přehřáté páry jsou při maximálním výkonu kotle a čisté spalovací komoře na úrovni 30 t/h, při zastruskované spalovací komoře dosahují až 70 t/h. Vstříky do přehřáté páry prakticky nejsou otevřeny, jen při výkonech kotle blízkých maximálnímu.

Pro čištění stěn výparníku je kotel vybaven programovatelnými ostřikovači Bergemann, které provádí čištění soustředným vodním paprskem napříč spalovací komorou.

Obtížné je čištění ústí sušek, které se provádí manuálně pomocí dlouhých tyčí chlazených vzduchem.

#### Mlýnské okruhy

typ mlýna	MWb-55 "speciál"
počet mlýnů na bloku	8 ks
výkon mlýna	55 t/h = 15,3 kg/s
vlhkost surového uhlí	55 %
průměr rotoru mlýna	2,7 m
počet lopatek	10 ks

#### Charakteristika paliva

výhřevnost	8,5 – 11,0 MJ/kg
obsah popele v sušině	32.0 – 46.0 %
celková vlhkost	27 - 34 %
celkový obsah síry v sušině	2,6 - 3,1 %
obsah prchavé hořlaviny v hořlavé hmotě	51,1 %
schopnost k mletí VTI	1,4
teplota měknutí popele	1 060 °C
teplota tání popele	1 260 °C

Mlýny jsou štítkového výkonu 55 t/h, ale jak je uvedeno, pro vlhkost uhlí 55%. Tyto mlýny byly nejprve dodány do polské elektrárny Turow, kde jsou jiné vlastnosti paliva. Pro naše vysoce popelnatá uhlí s vlhkostí na úrovni 25% je maximální výkon mlýna MWb-55 v Prunéřově pod 40 t/h.

### Primární opatření realizovaná v r. 1995 až 1999

V roce 1992 bylo na kotli K25 EPR2 realizováno naší firmou první české řešení primárních opatření pro snížení NOx. V letech 1996 až 1999 bylo řešení primárních opatření opakováno na ostatních kotlích K22 až K25.

Z původních hodnot NOx (v závislosti na provozovaném přebytku vzduchu na úrovni 800 až 1200 mg/Nm<sup>3</sup>) byly emise sníženy na úroveň 500 mg/Nm<sup>3</sup>, garance byly dodrženy 400 mg/Nm<sup>3</sup> při jmenovitém výkonu bloku a smluvených parametrech paliva za provozu šesti mlýnů.

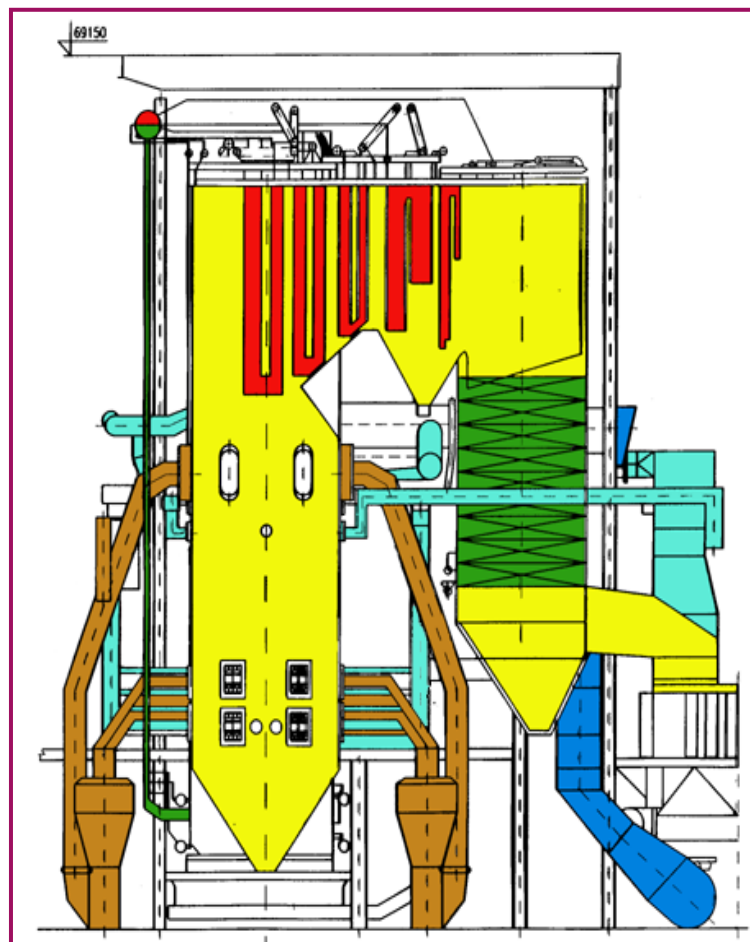
Původní hořák, provedený se třemi sekcemi, byl upraven na dvě spodní sekce, přičemž horní, třetí sekce byla demontována.

Na podlaží pod hlavami ústí sušek bylo realizováno jedno pásmo dohořivacího vzduchu, které je tvořeno 10 kusy koncentrických dýz dohořivacího vzduchu, z nichž vždy 4 dýzy jsou umístěny na přední a zadní stěně kotle a po jedné dýze na bočních stěnách kotle.

Mlýnské okruhy byly doplněny o regulační klapku v sání, čímž bylo možno redukovat množství nasávaných spalin, zvláště při sníženém výkonu kotle.

Ovládání podavačů paliva pomocí variátorů bylo nahrazeno frekvenčními měniči. Na řetězových podavačích bylo instalováno měření výšky vrstvy paliva.

Dřívější mozaikové ovládání elektrárny bylo při realizaci Denox doplněno o počítač UNIS Brno, od roku 1996 postupně byly bloky EPR2 kompletně osazeny řídicím systémem od firmy Westinghouse.



## Výsledky dosavadního provozu kotlů EPR 2

Při provozu kotle se projevuje vyšší výskyt struskových nánosů a to jak na stěnách kotle a v oblast hořáků, tak v oblasti hlav sušících šachet.

Současně dosahované emisní hodnoty nepostačují náročným emisním požadavkům na dosahované hodnoty NO<sub>x</sub> a CO, jejichž plnění od roku 2016 předepisuje nová emisní vyhláška. Rovněž je požadavek na zvýšení účinnosti kotle a tím zlepšení ekonomiky provozu kotle a rovněž redukce produkovaného CO<sub>2</sub>.

## Montáž a uvedení do provozu EPR 22 v r. 2010

Na základě úspěchu ve výběrovém řízení na rekonstrukci kotle v roce 2008, byl realizován projekt, jehož cílem bylo snížení emisí NO<sub>x</sub> na hodnoty garantované při sníženém procentu spalitelných látek v úletovém popílku a ve strusce. Vzhledem k tomu, že dosavadní provoz vykazoval zvýšenou náchylnost kotle ke struskování, bylo dalším požadavkem snížení rizika struskování stěn spalovací komory a oblastí ústí sušek. Úspěšný provoz byl podmíněn dodržáním dalších významných parametrů kotle, jak ukazuje tabulka č. 1.

Garantovaný parametr	Jednotka	Hodnota	Limit
Jmenovitý výkon	t/h	660	-
Maximální výkon kotle (210 MW při provozu s VTO)	t/h	660	-
Minimální výkon kotle (130 MW při provozu s VTO)	t/h	380	-
Minimální kontinuální výkon kotle bez stabilizace (120 MW při provozu s VTO)	t/h	350	-
Teplota spalin za kotlem (měřeno před OVZ)	°C	min 255	min 255
Teplota přehřáté páry při max. výkonu kotle	°C	540	max 540
Teplota přehřáté páry při min. výkonu kotle	°C	530	max 530
Teplota přihřáté páry při max. výkonu kotle	°C	540	max 540
Teplota přihřáté páry při min. výkonu kotle	°C	500	max 500
Nedopal ve škváře	%	14	max 18.4
Nedopal v popílku	%	0.8	max 0.98
Vlastní spotřeba el. energie	MWh	0.328	-
Emise NO <sub>x</sub> při minimálním výkonu	mg/Nm <sup>3</sup>	370	-
Emise NO <sub>x</sub> při maximálním výkonu	mg/Nm <sup>3</sup>	290	-
Emise CO	mg/Nm <sup>3</sup>	200	-

K dosažení tohoto cíle byla navržen spalovací systém s použitím primární metody pro snížení emisí NO<sub>x</sub> v rámci které je aplikována metoda reburningu.

### Popis spalovacího systému

Princip aplikované metody reburningu je v současné době již všeobecně znám. Použitá metoda je založena na mírně podstechiometrickém spalování základního paliva – uhlí, v základním hořákovém prostoru ohniště, s přebytkem vzduchu cca 0,95. Do této zóny spalování je rovněž přiváděno pouze cca 80 % paliva.

Zbylé palivo se přivádí do separátní uhelné dýzy reburningu, která se nachází nad hlavní hořákovou zónou, při značné podstechiometrii. Tím dojde v oblast této oblasti ke snížení přebytku vzduchu na hodnotu cca 0,9.

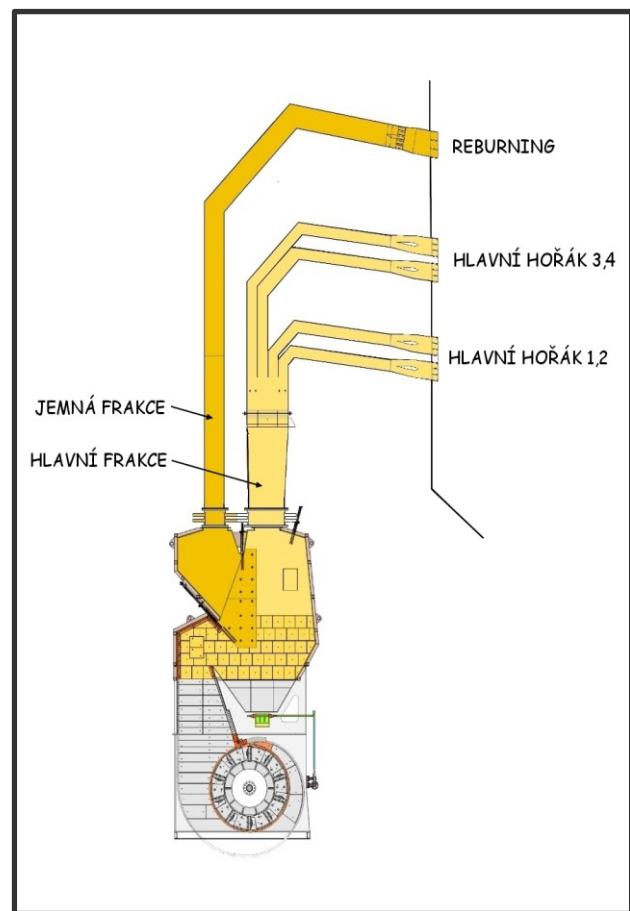
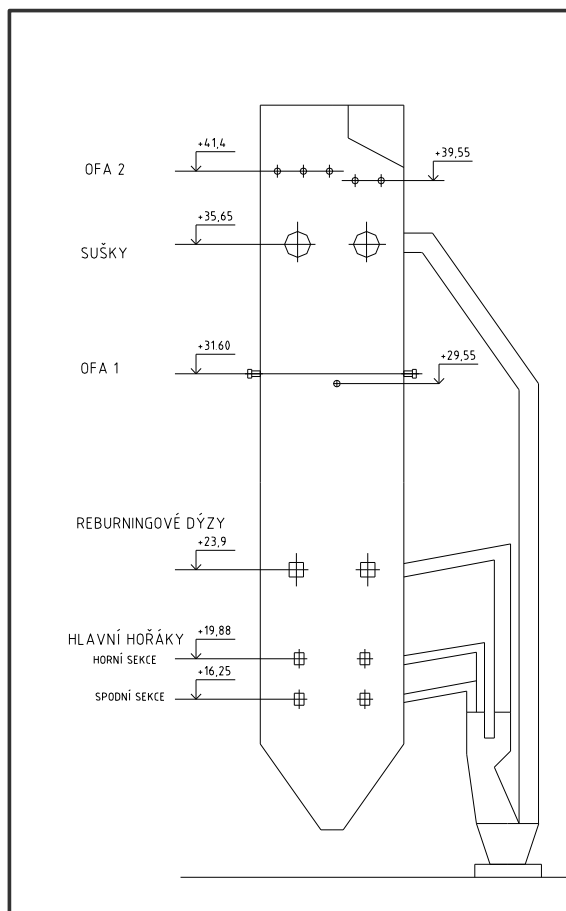
Požadované rozdělení množství uhlí a primární směsi do práškových hořáků a separátní uhelné dýzy zajišťuje nově instalovaný třídič.

Zbylý spalovací vzduch je přiváděn dále po výšce ohniště formou dohořivacího vzduchu.

Metoda s použitím reburningu má hlavní výhody v lepších směšovacích poměrech na hlavním hořáku vlivem vyššího přebytku vzduchu, což se příznivě projevuje na stabilitě hoření a prakticky eliminaci možných problémů s korozí trubek výparníku.

Rozložení spalování po výšce spalovací komory rovněž snižuje teplotní zatížení stěn výparníku a tím významně omezuje možnost tvorby struskových nálepů v oblasti hlavní zóny hoření.

Z důvodu eliminace nebo zásadního snížení struskových nálepů v hlavách ústí sušících šachet byla realizována recirkulace studených spalín. Recirkulované spaliny jsou rovněž využity jako náhradní medium pro temperaci v rámci činnosti mlýnských okruhů. Touto cestou ušetřený temperační vzduch je použit pro posílení vzduchu sekundárního z hlediska lepšího směšování na hořáku, případně ušetřen pro snížení přebytku vzduchu v rámci celkové vzduchové bilance.



### Popis základních částí spalovacího systému

Po obvodu spalovací komory je umístěno 8ks nových nízkoemisních práškových hořáků, vždy po dvou na každé stěně kotle. Hořáky jsou tangenciálně nasměrovány na pomyslnou středovou kružnici. Každý hořák sestává ze spodní a horní hořákové sekce. Každá hořáková sekce je tvořena dvěma práškovými dýzami a třemi dýzami sekundárního vzduchu, chlazenou hořákovou skříní a těsnícím rámem.

Práškový hořák je podepřen dvěma výkyvnými trubkovými vzpěrami, které rovněž řeší odklon hořáku vlivem teplotní dilatace výparníku a společně se sérií přítlačných pružin zajišťují přítlak hořáku k opěrné desce výhybu výparníku. Podpory jsou v horní části zakotveny do horní hořákové sekce, v dolní části jsou kotveny do hořákových stojanů. Hořákové stojany zajišťují rovněž boční vedení hořáku.

Konce primárních, sekundárních a oddělených uhelných dýz jsou provedeny jako odlitky spojené rozebíratelným spojem k navazující části dýz.

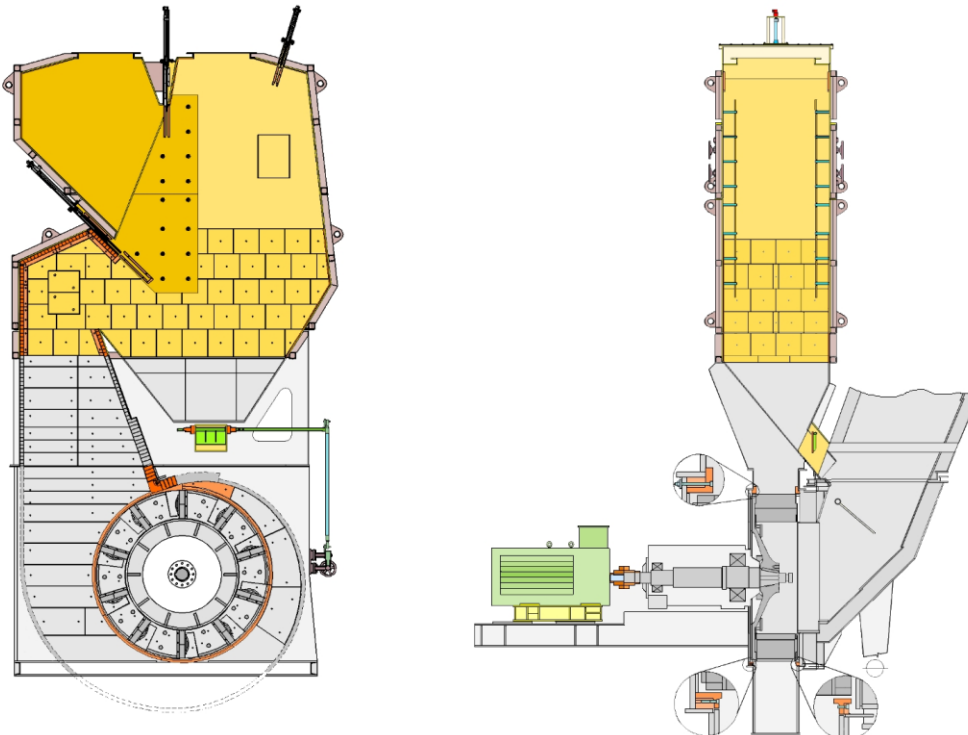
Distribuce celkového množství primární směsi a uhelného prachu je řízena činností podavače uhlí, mlýna a třídače.

Mlýny jsou osazeny novými motory s frekvenčním měničem, které umožňují podstatně lepší regulaci požadované ventilace přes mlýn a celkově zlepšují provozní charakteristiku mlýna. V souvislosti s výměnou motorů mlýna byly instalovány nové transformátory a byla vyměněna původní hydraulická spojka mlýna za novou pružinovou spojku Flexacier.

Z důvodu omezení původních vůlí mezi pancérováním mlýna a oběžným kolem mlýna byla provedena úprava límce mlecí skříně mlýna a úprava polohy rohového pancéře mlýna. Tyto úpravy měly vliv na zvýšení výkonu a účinnosti mlýna.

Následné požadované rozdělení množství primární směsi a uhelného prachu do hlavních hořáků a separátní dýzy reburningu je řešeno činností nového třídače.

Nový třídač má dva oddělené výstupy, jeden výstup ústí do práškovodu hlavního hořáku a druhý do práškovodu separátní dýzy. Třídač je opatřen třemi regulačními deskovými uzávěry, které společně s tvarem třídače zajistí požadované aerodynamické poměry v tělese třídače a tím i požadovanou distribuci primární směsi a uhelného prášku do každého ústí, společně s požadovanou jemností uhelného prášku.



Každá z 8 separátních uhelných dýz reburningu je umístěna nad příslušným práškovým hořákem a je rovněž tangenciálně nasměrována na pomyslnou středovou kružnici.

Separátní uhelná dýza je tvořena přívodním práškovodem, skříní a výklopnou koncovou částí dýzy opatřenou odlitým ústím. Ovládání naklápění je řešeno pomocí servopohonu. Skříní a vnitřní části separátní dýzy jsou chlazeny vzduchem.

Systém práškovodů se skládá ze dvou základních částí. První částí je práškovod, který je vyústěn z nového třídače a je zaústěn do obou sekcí práškového hořáku. Druhou částí je práškovod, který je vyústěn z nového třídače a je zaústěn do práškového potrubí separátní uhelné dýzy. Odklon práškovodu vlivem teplotní dilatace výparníku je řešen pomocí dvou, po

obou stranách práškovodu umístěných výkyvných vzpěr, které zároveň slouží jako podpory celého práškovodu.

Technologie si vyžádala přesné měření a regulaci množství vzduchu do každého uhelného hořáku. Měřidlo průtoku vzduchu (modifikovaná Venturiho hubice) a regulační klapka je instalována před vstupem do rozdělovací vzduchové skříně sekundárního vzduchu každého práškového hořáku.

Použitá metoda spalování si vynutila instalaci druhého pásma dohořivacího vzduchu. Na kotli jsou dnes realizována dvě pásma dohořivacího vzduchu. Stávající pásmo dohořivacího vzduchu OFA 1 s dýzami umístěnými na kótách 29,55 m a 31,6 m zůstalo zachováno, pouze byly doplněny regulační, motoricky ovládané klapky na levé a pravé straně kotle.

Nová část potrubí dohořivacího vzduchu OFA 2 je vyústěna ze stávajícího potrubí dohořivacího vzduchu na kótě +38.94 m. Potrubí dohořivacího vzduchu tvoří dvě hlavní potrubní větve po obou bočních stěnách spalovací komory kotle, které se dále dělí na dílčí potrubí k jednotlivým dýzám. Z důvodu omezeného prostoru a blízkosti nosu kotle bylo nutno umístit dvě dýzy na kótě +39.55 m a část ke třem zbývajícím dýzám na kótě +41.4 m. Umístění dýz dohořivacího vzduchu OFA 2 bylo nutno řešit s ohledem na blízkost výhřevných ploch šotového přehříváku a rovněž stěnového přehříváku.

Potrubní rozvody dohořivacích vzduchů OFA 1 a OFA 2 jsou osazeny regulačními a měřicími orgány, které pracují v automatické regulaci.

Aplikovaná recirkulace studených spalin využívá prostor umístění bývalých ventilátorů pro dva nové radiální ventilátory recirkulace spalin. Odběr spalin je vyústěn za hlavními spalinovými ventilátory. Recirkulované spaliny jsou vedeny až do prostoru kotelny jedním potrubím, ve kterém je umístěno měřidlo průtoku. Trasa je dále dělena na jednotlivá potrubí k hlavám sušek, ve kterém je umístěna motoricky ovládaná regulační klapka. Přívod spalin do hlavy sušky je tangenciální.

Z prostorových důvodů došlo k přesunu radiometrů „Monitorovacího systému stability spalování“. Mimochodem, jeho inovovaná verze RSS-3 je v těchto dnech certifikována podle SIL 3 jako hlídač plamene práškového kotle a monitor stability spalování.

## **Počáteční výsledky odladování regulace spalování EPR 22**

Veškeré činnosti v rámci celé rekonstrukce byly provedeny dle níže uvedeného časového harmonogramu, který je uveden v následující tabulce č. 2.

Předání realizační dokumentace	do 22.03. 2010
Předání pracoviště pro práce nevyžadující odstávku zařízení	do 01.04. 2010
Odstavení bloku do opravy	05.06. 2010
Předání pracoviště pro práce v odstávce	08.06.2010
Uzavření tlakového systému	do 20.09.2010
Ukončení realizace prací na díle	do 05.11.2010
1.zapálení kotle	16.11.2010
Předkomplexní zkoušky zařízení s médii a pod napětím	do 22.11.2010
Primární zkoušky bloku	23.11. – 26.11.2010
Přifázování bloku	26.11.2010
Optimalizační provoz	do 16.12.2010
Ukončení komplexní zkoušky v délce 144 hodin	do 22.12.2010
Zahájení zkušebního provozu	23.12.2010

Garanční test „A“	do 28.02.2011
Ukončení zkušebního provozu	23.03.2011
Předběžné předání a převzetí díla	do 06.04.2011
Konečné předání a převzetí díla	do 06.05.2011

Bezprostředně po uvedení kotle po rekonstrukci do provozu koncem listopadu 2010 bylo prováděno jeho seřizování s detailním proměřením mlýnských okruhů, seřizování jemnosti mletí a důkladné Prandtlování distribuce vzduchu do hořáků (i po jeho výšce) a nově zavedené recirkulaci spalin.

Od počátku ledna 2011 jsou na kotli K22 EPR2 dodržovány smluvené garantované hodnoty.

Hodnotou, která není splněna je teplota přehřáté páry při nízkém výkonu kotle. Teplota vrátne páry do přehříváku kotle je nyní nižší o cca 25°C z důvodu dosahování vyšší účinnosti turbíny. Činnosti v rámci turbíny byly prováděny firmou Alstom Polsko a zvýšená účinnost turbíny nebyla v době podpisu naší obchodní smlouvy na rekonstrukci kotle K22 známa.

Kotel K22 EPR2 má díky novým ovládním mlýnů a provedenou automatickou regulací výborné dynamické vlastnosti. Původní provedení kotle trpí vysokým sklonem mlýnů k zamílání. Při teplotách pod 155°C jsou mlýny již náchylné k zamílání, což se projevuje na nestabilitě regulace teploty páry v době vymílání mlýna. Mlýny na kotli K22 EPR2 s novými třídiči a ovládním s frekvenčními měniči a pružinovou spojkou dokážou zvládnout uhelné zatížení na úrovni až 40 t/h (t.j. asi o ¼ více než dříve), takže při jakosti paliva na úrovni výhřevnosti 11 MJ/kg je možno docílit jmenovitého výkonu kotle se šesti mlýny. Samozřejmě podmínkou je dobře provedená systematická údržba mlýna a důsledné dodržování provozních vůlí.

Provoz kotle po prezentované rekonstrukci umožnil zvýšenou hodnotu trendu změny výkonu kotle při terciální regulaci. Celý rozsah požadované změny výkonu ze 120 MW na 215 MW je nutné uskutečnit za 30 minut, tj. nyní trendem 3,2 MW/min. Původní hodnota trendu výkonu na kotli K22 byla 2,7 MW/min, rozsah změny výkonu činil 130 až 210 MW.

Článek do sborníku byl připravován před garančním měřením, které bylo plánováno na konec února 2011. Na konferenci budou předneseny aktuální výsledky.

## **Závěr**

Rekonstrukce kotle K22 EPR 21 prokázala, že vhodně použitý redukovaný rozsah úprav v rámci zvolené technologie a bez změny rozměrů spalovací komory kotle, umožňuje trvalé dosahování nízkých emisních hodnot při vysoké účinnosti kotle a při provozně akceptovatelné úrovni struskování.

Jaroslav Chládek  
ALSTOM s.r.o.,  
545102427  
jaroslav.chladek@power.alstom.com