

# *Zkušenosti s rekonstrukcemi řídicích systémů a provozem nadkritických průtlačných kotlů typu Ramzin*

Ing. Jan Valha PhD, Ing. Dragan Jeremič, Ing. Michailas Oserovskis  
Valcon International s.r.o., Nuselská 72, Praha 4

## **Abstrakt**

Příspěvek pojednává o zkušenostech z rekonstrukcí a aspektech provozu starších nadkritických průtlačných bloků v několika konfiguracích. Vzhledem k obnovenému zájmu o instalaci nadkritických bloků mohou být mnohaleté provozní zkušenosti se starší generací těchto kotlů/bloků přínosem pro budoucí provoz. Příspěvek se zaměřuje na popis, rekonstrukce a provoz kotlů ruského výrobce Podolsk v blokových konfiguracích 2+1 (2 kotle-1 turbína) a 1-1 (kotel-turbína), které jsou v provozu na elektrárnách Elektrenai (Litva), Gacko (Bosna a Hercegovina), Ugljevik (Bosna a Hercegovina) a Ekibasztus (Kazachstán), na jejichž rekonstrukcích se autoři článku podíleli. Důraz bude zaměřen na popis konstrukce kotlů, aspekty najíždění, rekonstrukce spalovacích a řídicích systémů a to zejména: instalace nových kombinovaných hořáků pro spalování plynu, mazutu a Orimulze v elektrárně Elektrenai (Litva), popis nadkritického kotle elektrárny Gacko a Ekibasztus. Provozní analýza bude ukončena seznamem kritických technologických uzlů těchto typů bloků a provozní doporučení.

## **Abstract**

Paper presents operational experiences of older onecircuit supercritical boilers. Numerous years of gained knowledge may contribute to future unit exploitation due to renewed interest in the supercritical technology. Article focuses on description, applied reconstructions and operational aspects of Podolsk boilers in 2+1 (2 boilers-1 turbine) and 1-1 (boiler-turbine) configurations of Elektrenai (Lithuania), Gacko (Bosnia and Herzegovina), Ugljevik (Bosnia and Herzegovina) and Ekibasztus (Kazakhstan) power plants. Emphasis is put on boiler construction description, start up process, combustion and control system retrofits, namely installation of new combined burners for HFO, gas and Orimulsion combustion in Elektrenai and description of the Gacko-Ekibasztus boilers. Analysis is concluded with a list of critical technological areas of these boilers and operational recommendations.

## **Úvod**

Článek popisuje starší nadkritické průtlačné kotle typu Benson-Ramzin vyráběné Podolským závodem (RF) a zkušenosti z jejich provozu na několika elektrárnách s různými typy paliva. Článek se zaměřuje rovněž na rekonstrukce kritických uzlů těchto kotlů. Zvláštní pozornost je věnována instalacím nových technologických okruhů a rekonstrukci řídicích systémů.

### **1. Elektrárna Gacko – Bosna a Hercegovina, elektrárna Ekibasztus – Kazachstán**

#### **Stručný popis elektrárenských bloků**

V obou případech se jedná o nadkritické bloky s průtlačným kotlem a kondenzační parní turbínou s nominálním elektrickým výkonem 300 MW. Oba bloky jsou identické konstrukce a byly uvedeny do provozu začátkem 80. let. Kotle jsou výrobkem Podolského závodu (bývalý Sovětský svaz), typ PP 990-255 (P-64). Kotel je tvaru T se dvěma symetrickými spalinovody. Kotel je vybaven 8 práškovými ventilačními mlýnskými okruhy s nechlazenými suškami a 12ti stěnovými hořáky, které jsou instalovány proti sobě ve třech úrovních.

Předehřev vzduchu je prováděn v ohřívacích spaliny – vzduch. Tyto sestávají ze 3 podélných sekcí. V rámci rekonstrukcí kotle byl instalován rovněž výměník spaliny-kondenzát v pokusu o snížení komínové ztráty. Detaily této úpravy jsou uvedeny níže v textu.

Základní parametry kotelný jsou uvedeny v následující tabulce udané výrobcem:

Nominální průtok ostré páry (t/h)	990
Tlak ostré páry (bar)	251
Teplota ostré páry (C)	545
Tlak přihřáté páry (bar)	34
Teplota přihřáté páry (C)	540
Počet mlýnských okruhů	8
Typ mlýnu	Práškový ventilační model S40.50
residuum 90 mikron	R90=50-60%
residuum 1000 mikron	R1000<=2 %
Teplota směsi (C)	<= 210
Přisávání mlýna (m3/s)	<= 3.3
Hmotnostní průtok paliva (t/h)	46

**Tabulka 1 Základní parametry kotle**

Turbína je typu LMZ K-300-240-1. Jedná se o kondenzační jednorotorovou parní turbínu o výkonu 300 MW při 3000 ot/min. Turbína se skládá ze 3 těles. VT díl je dvouplášťový se 12ti oběžnými koly. Ve vnitřní (levé) části VT tělesa je regulační stupeň a pět oběžných kol, zbývajících 6 stupňů je ve vnější (pravé) části. Z důvodu chlazení a snížení namáhání statoru vnitřní části tělesa se tok páry pro vnější (pravou) část obrací o 180°. Průtok ostré páry do VT dílu je regulován 7mi regulačními ventily. ST díl je dvoudílný, jednoproudý se 12ti oběžnými koly. 2/3 páry z ST dílu postupuje do NT dílu za 8. stupněm, zbytek páry po expanzi do 12 stupně je odváděn přímo do kondenzátoru.

Turbína má 8 neregulovaných odběrů, které jsou využívány v NTO, VTO a pro pohon turbonapáječky. Parametry odběrů při nominálních provozních parametrech jsou uvedeny v tabulce č. 2

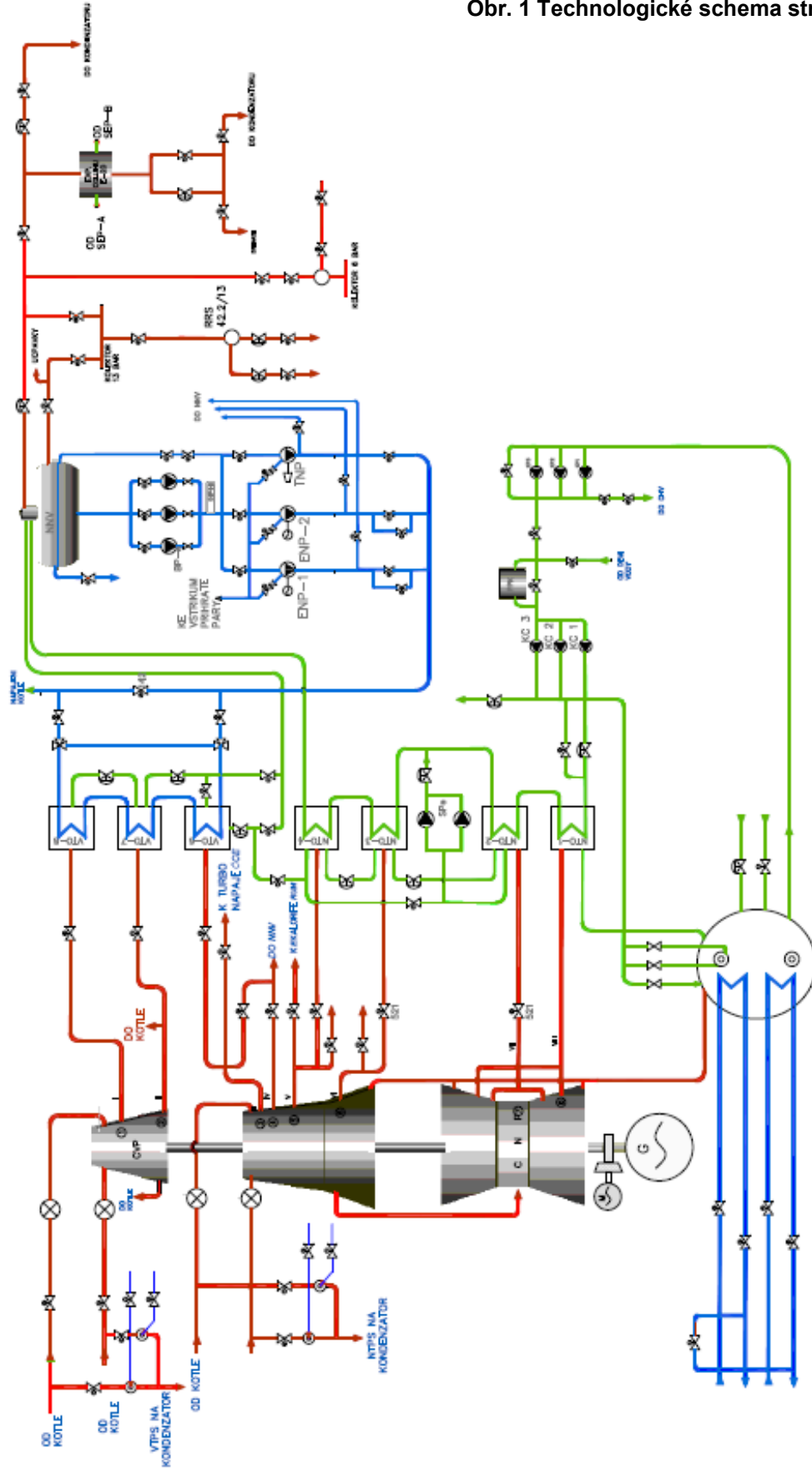
Odběr	Spotřeba páry	Parametry odběru	
		P(bar)	T (°C)
VTO-8	63,3	67,6	358
VTO -7	93,3	43,9	305
VTO -6	37	16,8	425
Turbína	107	16,8	425
Odplynění	18,3+1,3	11,1	369
NTO-4	32,8	5,4	283
NTO-3	32,2	2,5	241
NTO-2	37,1	0,96	124
NTO-1	10,9	0,18	57
Teplota napájecí vody			273

**Tabulka 2 Výpočtové odběrové parametry páry pro regeneraci a napájení při nominálním výkonu**

Zjednodušené schema stroje je ukázáno na obr. 1

V současnosti nejsou VTO provozovány z důvodu poškození trubkovic VTO 2 a zároveň z důvodu snahy snížit komínovou ztrátu.

Obr. 1 Technologické schéma strojovny



## Detailní Popis Kotle

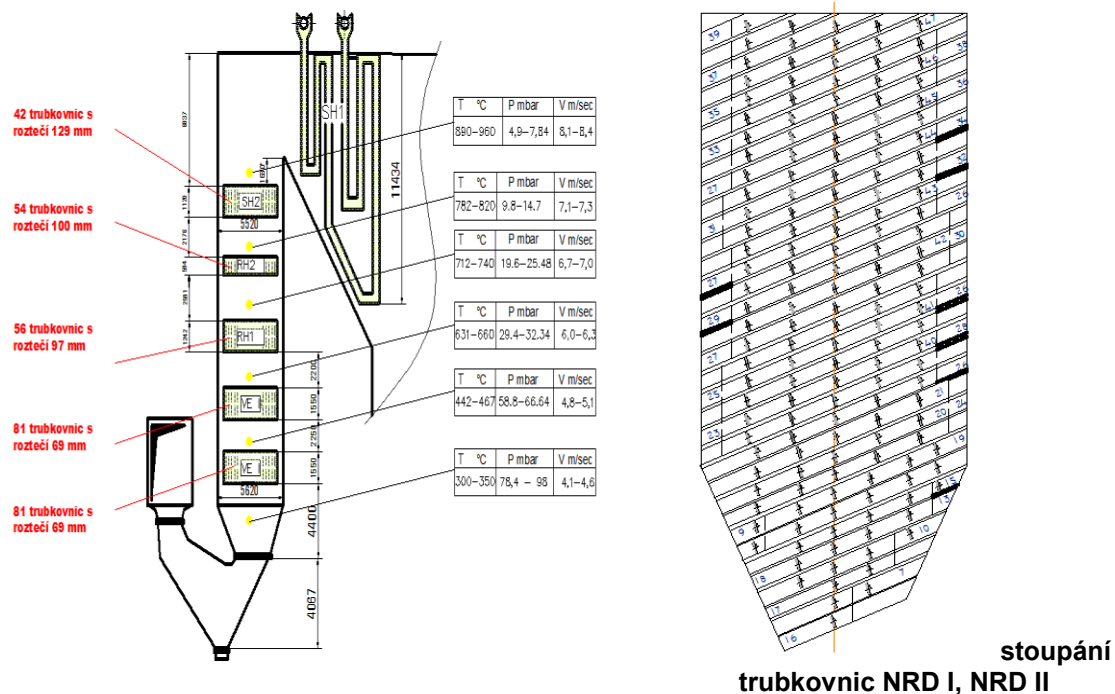
Průřez kotle je ukázán na obr. 3. Tento typ kotle byl vyráběn v RF (SSSR) ve velkých unifikovaných seriích bez respektování specifik lokálně využívaných paliv. Z tohoto důvodu na téměř každé elektrárně docházelo k provozním problémům, které se následně řešily formou dílčích rekonstrukcí. V průřezu kotle je také naznačeno umístění vodních ostřikovačů s přibližnou zónou ostříku výparníku a přechodníku na kótách 17400 a 32800, kterým bude věnována zvláštní pozornost níže. Kotel je průtlačný, nadkritický s pohyblivým koncem vypařování a dvěma najížděcími separátory, které jsou umístěny v každé z větví kotle. Holé, volně uložené trubkovnice výparníku a přechodníku v ohništi jsou na delší straně ohniště vinuty vodorovně, na bocích se spirálovitým stoupáním  $23^\circ$  naznačeném v pravé části obr. 2. Střední radiační část (SRD) je zhotovena ze 4 horizontálně umístěných dílů, které zabírají každý  $\frac{1}{4}$  objemu tahového prostoru – tj. přední, zadní a 2 boční. Každá z částí se výškově dělí na dva horizontální tahy, které jsou navzájem spojeny vertikálními propoji. Horní radiační část (VRD) je dělena podobně na 4 části, které mají v půdorysu tvar L.

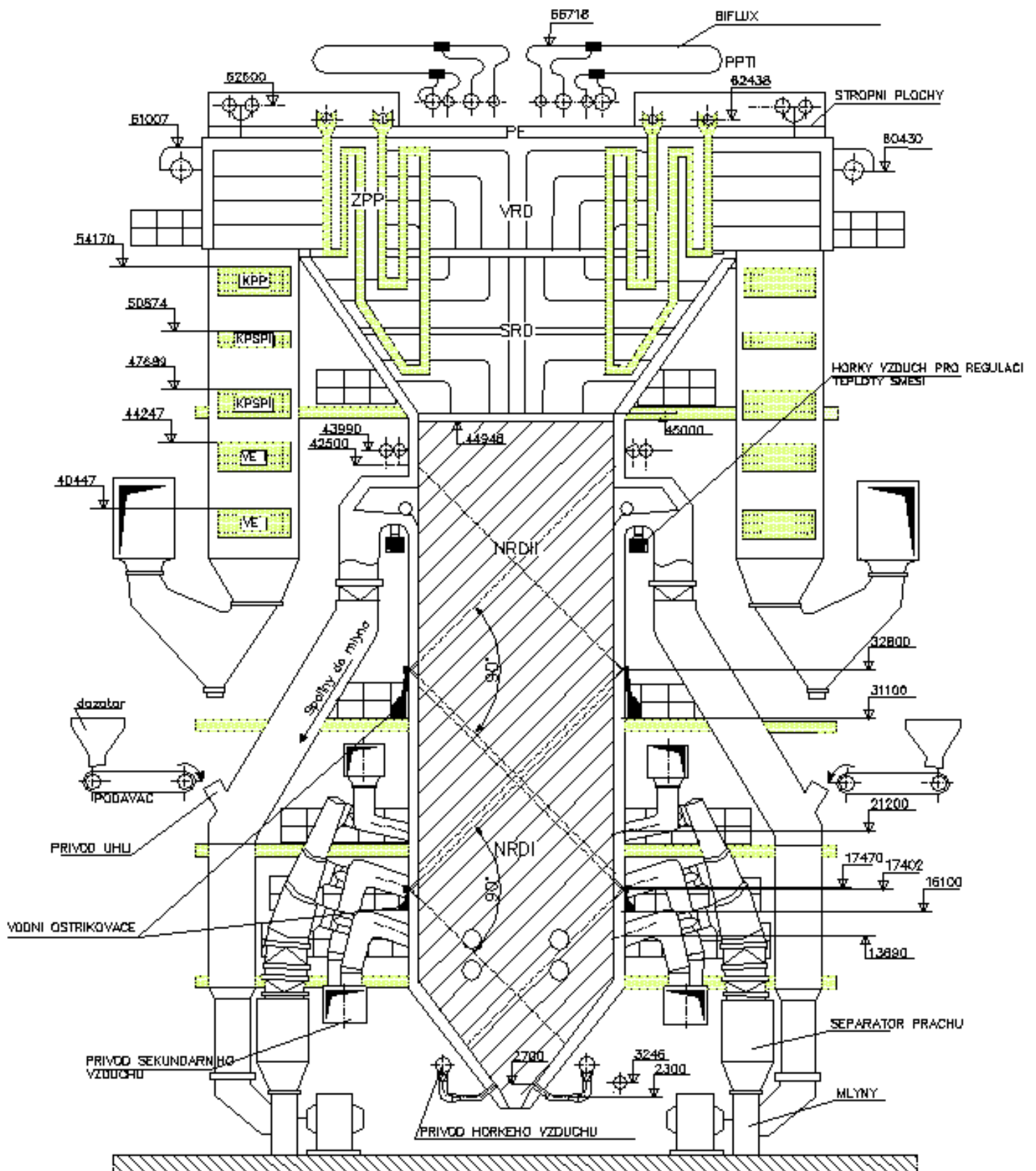
Část závěsného deskového přehříváku (SH1-ZPP) byla rekonstruována v roce 1989 a výhřevná plocha byla dvojnásobně zvětšena oproti původnímu řešení. Konvektivní část přehříváku (SH2-KPP) a přehříváky (RH1,2-KPSP I,II) jsou klasické konstrukce. Původní klasický trubkový ekonomizér byl při rekonstrukci v roce 2004 zaměněn na ekonomizér membránového typu.

Půdorys spalovací komory je obdélníkový o rozměrech 22300 x 10400 mm, trakty zadního tahu mají půdorysné rozměry 8800 x 5500 mm. Stropní přehřívák (PE) je dělen na 4 části půdorysného tvaru P, kde každá z částí pokrývá  $\frac{1}{4}$  stropní části. Stropní část dále obsahuje bifluxní tepelný výměník ostrá-přihřátá pára. Dělicí ventily jsou dva, jeden pro každou větev kotle. Dělicí ventily jsou umístěny vně ohniště na kótě 60 m. Parovodní směs ze separátorů postupuje do 20 bar expandéru odluhu, separovaná pára na výstupu ze separátoru postupuje do konvektivní části přehříváku, kondenzát do kondenzátoru.

Návrhové teplotní a rychlostní pole v jednotlivých částech topeniště je ukázáno na obr. 2

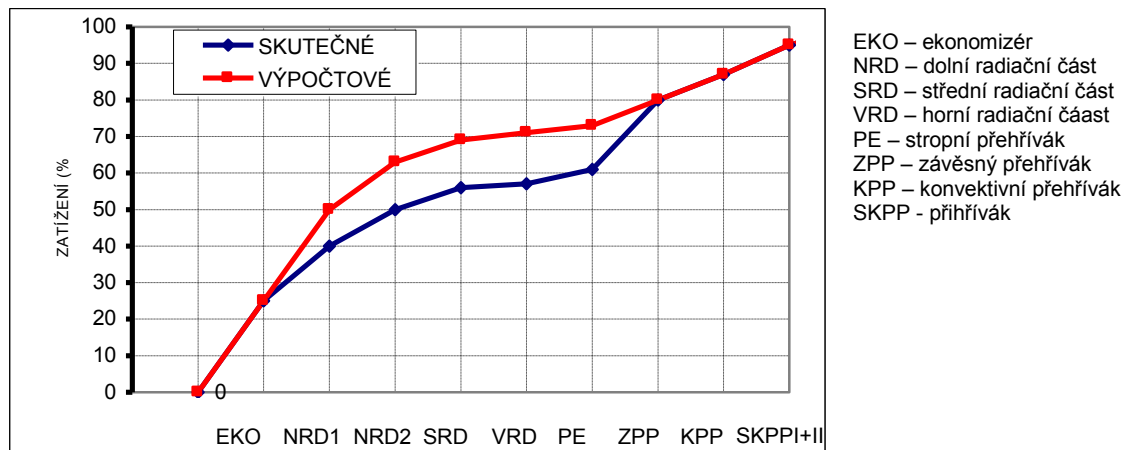
**Obr. 2 Konvektivní část kotle s provozními parametry; NRD-I, II část stoupání**





Obr. 3 Průřez kotle Gacko

Obr. 4 ukazuje skutečné tepelné zatížení jednotlivých výhřevných ploch tak jak bylo reálně odměřeno v roce 2010 během garančních měření a porovnává je s výpočtovou křivkou uvedenou ruským výrobcem.



Obr. 4 Porovnání výpočtového a skutečného zatížení výhřevných ploch kotle Gacko

#### Použité materiály pro parovodní systém

Trubkovnice celého kotle jsou konstruovány z materiálů dodávaných ruským výrobcem, který zároveň prováděl rekonstrukce topeniště.

Použité ocelové trubky jsou:

**1.** třídy **12X18H10T** dle ruského standardu GOST, což odpovídá oceli CHROM NIKLOVÁ austenitická nestabilizovaná nízkouhlíková dle **ČSN EN 10088-1 1.4306 ( X2CrNi 19-11 )** staré označení AISI 304L, **ČSN 17249, AKV 2**

##### Legování

Cr 18 - 20%, Ni 10 - 12%, C < 0,03

##### Mechanické vlastnosti

Pevnost v tahu Rm 500 - 670 MPa

Mez kluzu Rp 0,2 min. 200 MPa

**2.** Třídy **12X18H12T** dle ruského standardu GOST, což odpovídá nerezové oceli podobných vlastností jako 1.

**X10 CrNiTi 18 dle DIN, 17246 dle ČSN**

**3.** třídy **12X1MΦ** dle ruského standardu GOST, což odpovídá oceli

Legovaná, ušlechtilá, Mo-V ocel na tlakové nádoby

dle **ČSN 14MoV6-3 1.7715 dle EN 10222-2**

staré označení **ČSN 15128**

##### Legování

0.12 % C, 1.1 % Cr, 0.54 % Mn, 0.26 % Mo, 0.26 % Si, 0.17 % V,

0.019 % S, 0.015 % P

##### Mechanické vlastnosti

Pevnost v tahu Rm 460-610 MPa

Mez kluzu Rp 325 MPa

**4.** třídy **15X1M1Φ**, což je nízkolegovaná ušlechtilá ocel pro vysokoteplotní účely

**15CrMoV5-10 dle DIN, 17211 dle ČSN**

##### Legování

0.15 % C, 0.25% Si, 0.55 % Mn, max. 0.25 % Ni, max. 0.025 % S, max. 0.025 P, 1.25 % Cr, 1% Mo, 0.23 % V, max. 0.25 Cu

### **Mechanické vlastnosti**

Pevnost v tahu Rm 500 MPa

Mez kluzu Rp 320 MPa

Trubky použité v jednotlivých výhřevných plochách jsou indentifikovány níže:

#### **KPV 1 (RH1)**

Materiál: 12X1MΦ, trubky prům 42x4, rozteč 54x97 (VxH)

#### **KPV 2 (RH2)**

Materiál: 12x18H12T, trubky 42x4, rozteč 54x100 (VxH)

#### **KPP**

Materiál: 12x18H10T, trubky 32x6, rozteč 80x120 (VxH)

#### **ZPP**

Kombinace materiálů 12X1MΦ a 12X18H12T, trubky Ø32x6

**NRD-I**, materiál 12X1MΦ, Trubky Ø42x6

**NRD-II**, materiál 12X1MΦ, Trubky Ø42x7

**SRD**, materiál 12X1MΦ, Ø32x6

**VRD**, materiál 12X1MΦ, Ø32x5

**PE**, materiál 12X1MΦ, Ø32x5

**Výstupní parovod** je vyroben z 15X1M1Φ, rozměry D=273x45

### **Trakt vzduch – spaliny**

Trubkový ohřívák vzduchu (CVZ) je instalován v oddělené budově umístěné za kotelnou. Sestává ze 3 spalinových tras a v horizontálním směru rozdělen na 3 sekce. V propoji 2 a 3 sekce byl dodatečně instalován výměník spaliny – NT kondenzát (SVTO).

### **Složení použitého paliva**

Elektrárna Gacko využívá uhlí z vlastního dolu o následujících průměrných parametrech jak odebráno ze 3 různých denních vzorků.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Wr %	38.25	38.01	38.23
Ar %	12.11	13.79	12.27
Vr%	29.92	29.18	29.85
C %	19.70	18.53	19.59
H %	1.8	1.84	1.9
S %	1.37	1.47	1.38
N %	0.44	0.47	0.42
Výhřevnost MJ/kg	9.736	8.9904	9.918

### **Tabulka 3 Vlastnosti uhlí Gacko**

Koncentrace CaO a SO<sub>3</sub> byla určena pomocí spektrografu. Uhlí z dolu Gacko představuje směs vápence a spaliných komponent včetně síry. Přirozená vysoká koncentrace vápence má příznivé samoodsiřovací vlastnosti, způsobuje však intenzivní zanášení výhřevných ploch popelovápennou směsí. Tabulka 4 ukazuje průměrné složení popela analýzou z odebraných vzorků

Složka	%
SiO <sub>2</sub>	3,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,16
<b>CaO</b>	<b>68,23</b>
SO <sub>3</sub>	12,37



**Tabulka 4 Složení popela uhlí Gacko**

### **Ofukovače a ostřikovače**

Testy s úpravami rozložení spalovacího vzduchu ve stávající konfiguraci mlýnských okruhů naznačily minimální vliv na změnu tepelného zařízení výhřevných ploch, které zůstává identické tak jak je ukázáno na obr. 4. Provozní zkušenosti ukazují zejména na problémy se zanášením výhřevných ploch a creepem materiálu.

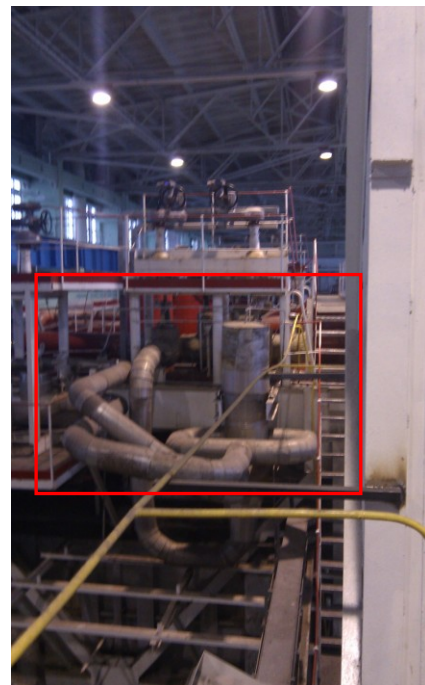
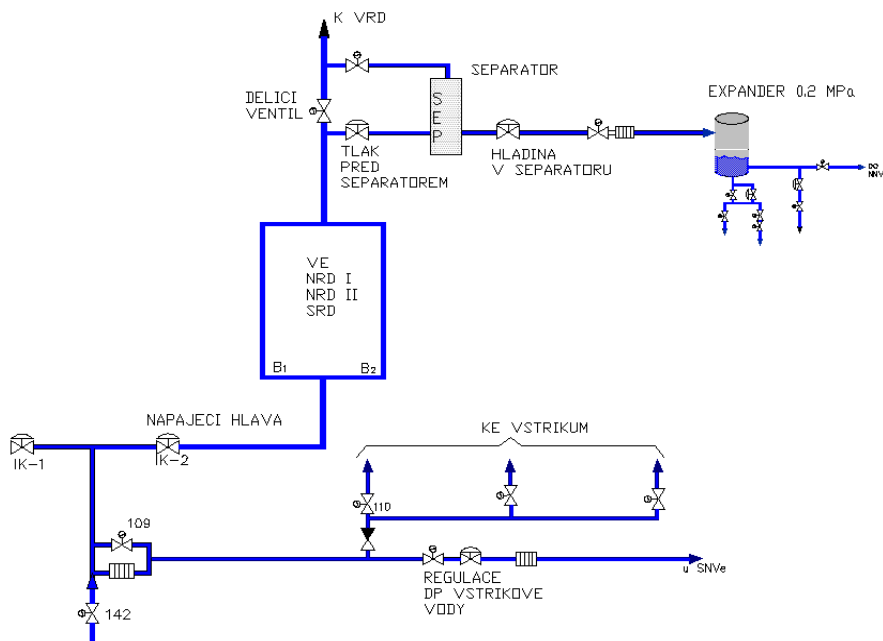
Čistění výhřevných ploch kotle je trojího typu. Šoty jsou vybaveny parními ofukovači, které mají vlastní sekvenční automat spouštěný ručně operátorem minimálně 1x za 24 hodin. Teplota spalin v tahu za ohništěm nesmí přesáhnout 950 C, což je hodnota která odpovídá teplota tečení popela a tím pádem riziku zanešení ZPP a následujících výhřevných ploch. Kromě toho začne díky konstrukci stropního přehříváku a bifluxu docházet ke značnému zvyšování teploty přihřáté páry. Zóny NRD I a NRD II jsou ostřikovány systémem tlakové vody 4 tryskami na kótě 17400 a 4 tryskami na kótě 32800. Trajektorie trysek je, resp. byla, určována nepřesným mechnickým převodem, díky čemuž dochází během ostřikování k nechtěným zásahům do prostorů okolo hořáků a k tepelnému přetěžování trubkovnic při zastavení vodního paprsku. Ostřik je inicializován ručně operátorem 3x během 24 hodin. Doba chodu ostřiku jedné trysky je 10 minut. Zkušebně byl instalován moderní tlakovodní ostřikovač na kótě 17400 konstrukce firmy Valcon, jehož detaily jsou popsány níže v části věnované popisu uskutečněných rekonstrukcí.

### **Postup najíždění a provoz**

Blok je vybaven 2 elektronapáječkami (do 70 % nominálního výkonu), které pracují v záskoku a turbonapáječkou. Během najíždění je využívána jedna z elektronapáječek v režimu plného tlaku – tj. okolo 30 MPa na výtlaku. Tento tlak je udržován i během provozu bloku po najetí. Tento přístup je bohužel využíván z důvodu špatné funkčnosti hydraulických spojek a přispívá k přetěžování parovodního systému kotle. *Ideálním řešením by byla instalace elektromotoru napáječky s frekvenčním měničem a najíždění kotle klouzavým tlakem a rekonstrukce E-H systému turbonapáječky.*

V současnosti je blok najížděn na max. tlak vody a najíždění se provádí pomocí postupného zvyšování tepelného výkonu. Nově instalovaný řídicí systém umožňuje výběr typu najetí (studený, střední, horký). Ve výsledku dochází ke zvyšování teploty ve vodním traktu výparník-přechodník a tím entalpie před najížděcím separátorem-dělicím ventilem. Technologické uspořádání je ukázáno na obr. 5. Tlak před separátorem udržuje regulační ventil. Provozní zkušenosti nejen z elektrárny Gacko ukazují, že najížděcí separátor tohoto typu kotle je rozměrově poddimenzovaný a jeho ovládání pomocí měření hladiny separované vodní části není možné. Při pokusech o ovládání (neměřitelné) hladiny docházelo k zavodnění horních částí parovodního traku, a vytváření nebezpečných vodních zámků, které vedly k přehřátí partií ve kterých neproudila, tj. nechládila pára. Pro řízení separačního účinku separátoru byl z tohoto důvodu vyvinuta nová metoda řízení, která je založena na principu on line měření entalpie před separátorem pomocí čidel tlaku a teploty a následně nastavení polohy odvodnění separátoru podle požadované křivky vlhkosti separované páry. Tato křivka byla odměřena experimentálně během zkušebního provozu bloku.





**Obr. 5 Najížděcí separator**

Další významný důsledek plynoucí z najíždění plným tlakem je fakt, že tlaková voda před napájecí hlavou je využívána pro vstřiky a to včetně najížděcích. Tj. během najíždění je na uzavírací šoupátka vyvíjen tlakový spád takřka 30 MPa. V případě podcházení těchto ventilů dochází opět k zavodnění traktu přehříváku / přihříváku vstřikovou vodou a vytvoření vodních zámků.

K přechodu na průtlačný nadkritický režim dochází otevřením dělicího ventilu při dosažení tlakového spádu méně než 1 MPa, plně otevřeném separátoru, teplotě před dělicím ventilem větší než 380 C. Vzdušný tlak se provádí regulovaným přivřením VTPS automatickou sekvencí přechodu na průtlačný režim. Při průtlačném provozu automatická regulace udržuje poměr palivo-voda tak, aby konec vypařování byl umístěn za zóny NRD I. Použití dopředných regulací umožňuje predikční nastavení tohoto poměru a jeho vazbu na regulační systém palivo-vzduch.

V rámci rekonstrukcí, které probíhají průběžně od roku 2002 byl instalován on-line kalkulátor účinnosti kotle a celého bloku založen na ASME IFC 1997 standardu pro výpočty vlastností vody a vodní páry, ČSN 070 302 a ASME PTC. **Dlouhodobá střední účinnost kotle při výkonu 250 MW byla určena na 85.8%, termická účinnost celého bloku (bez pracujících VTO) na 38.1% a měrná spotřeba tepla turbosoustrojí na 9.46 MJ/kWh**

### Provedené úpravy a rekonstrukce

#### 1989 Rekonstrukce závěsných přehříváků

V tomto roce byla provedena rekonstrukce ZPP a KPSP I a KPSP II (přihříváky). Jak bylo naznačeno dříve instalace kotle byla provedena bez respektování základních charakteristik uhlí z pánve Gacko, díky čemuž nebyly dosahovány požadované výstupní provozní parametry a byla naměřena značná komínová ztráta. Navíc původní konstrukce přehříváku, původně určená pro mazutový kotel stejného parního výkonu měla velice malé rozteče trubkovnic a docházelo k brzkému zálepu těchto prostor. KPSP byly upraveny, jejich výhřevná plocha snížena o 30%. Z tohoto důvodu byla plocha ZPP během rekonstrukce v roce 1989 takřka zdvojnásobena a biflux byl posunut za horní radiační část (GRD). V tomto roce byly rovněž instalovány systémy parního ofuku a tlakovodních ostřikovačů. Přesto, vzhledem k problémům s použitým palivem, dochází k zanášení výhřevných ploch kde dochází k nálepům. Pozn.: ofuk/ostřik byl spouštěn periodicky. Odstranění nálepu vyžaduje každoroční odstávky kotle a mechanické očištění trubkovnic

zejména v oblasti tečení popela – tj. ZPP a KPP. Obr. 6 ukazuje zanesení výhřevných ploch KPP před čištěním – po zanedbání kontroly teploty v přechodovém tahu a po mechanickém očištění během odstávky.



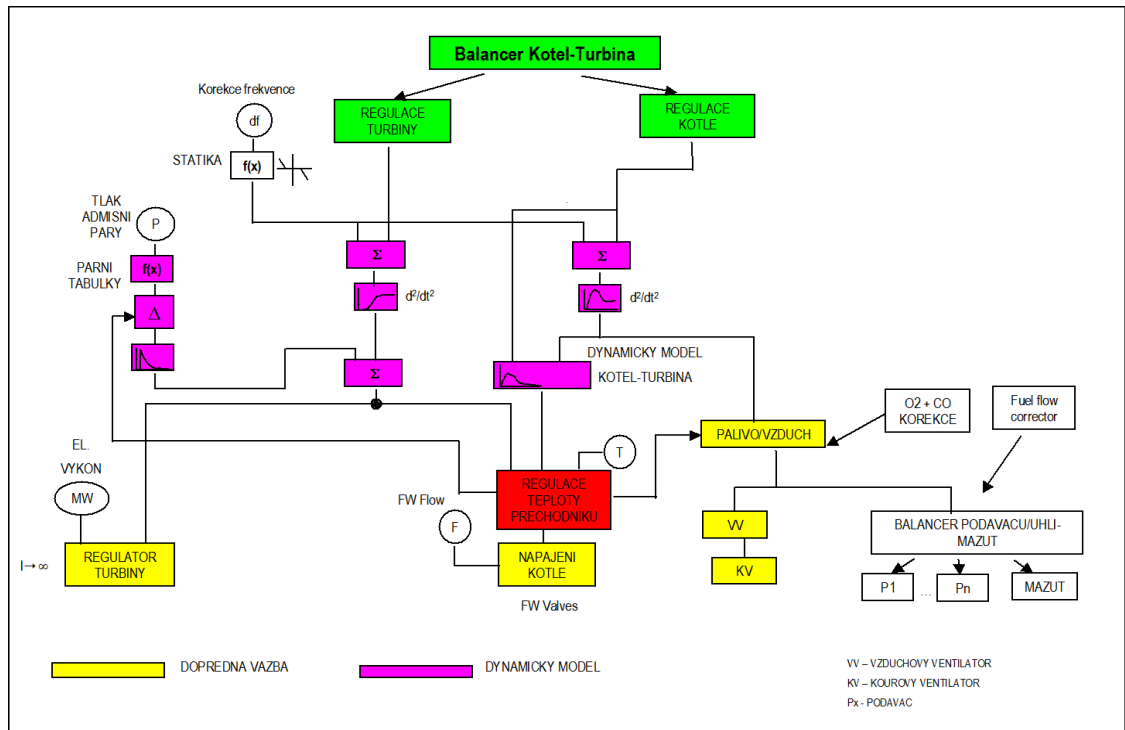
**Obr. 6 Zanesení výhřevných ploch vstupu konvektivního přehříváku (KPP)**

## **2002** Rekonstrukce polní instrumentace a řídicího systému

V tomto roce byl instalován moderní DCS řídicí systém firmy Westinghouse, vibradiagnostický systém turbíny Compass firmy Danfoss, autosynchronizátor a byla provedena celková rekonstrukce polní instrumentace. Celkový počet vstupně-výstupních signálů polní instrumentace přivedených do ŘS je: **1317 analogových vstupů** (měření tlaků, teplot, průtoků, chemických veličin, atd.) **3148 digitálních vstupů a výstupů** (spínačů procesních veličin, koncových spínačů, ovládání typových zapojení akčních členů). DCS ovládající kotelnu, strojovnu a ochrany sestává z pěti redundantních kontrolérů, které pracují v exekčních oblastech 50-250 msec.

Implementací nového řídicího systému bylo možné optimalizovat regulace vstříků, vstříkové vody a snížit ztráty škrcením na napájecích hlavách kotle. Byl implementován **inovativní způsob řízení separátorového provozu**, při němž je uplatněna dopředná vazba entalpie vody-páry před dělicím venítem. Ochrany se staly součástí řídicího systému, nově byla implementována tzv. **Entalpická ochrana** monitorující parametry páry před vstupem do turbíny (tlak-teplota-entalpie-parametry nasycení) tak, aby nedošlo ke vstupu syté páry / vody do VT/ST dílu. Tato ochrana je důležitá zejména během najíždění a při přechodu na průtočný režim.

Instalace nového řídicího systému rovněž umožnila implementaci **koordinace kotel-turbína** i když v začátku byla regulace turbíny prováděna původním hydraulickým rozvodem, který byl ovládaný značně nepřesným krokovým motorem (regulátor turbíny byl později upraven a začleněn do moderního DCS). Obr. 7 naznačuje zjednodušenou strukturu regulace kotle nově implementovaného regulačního systému.

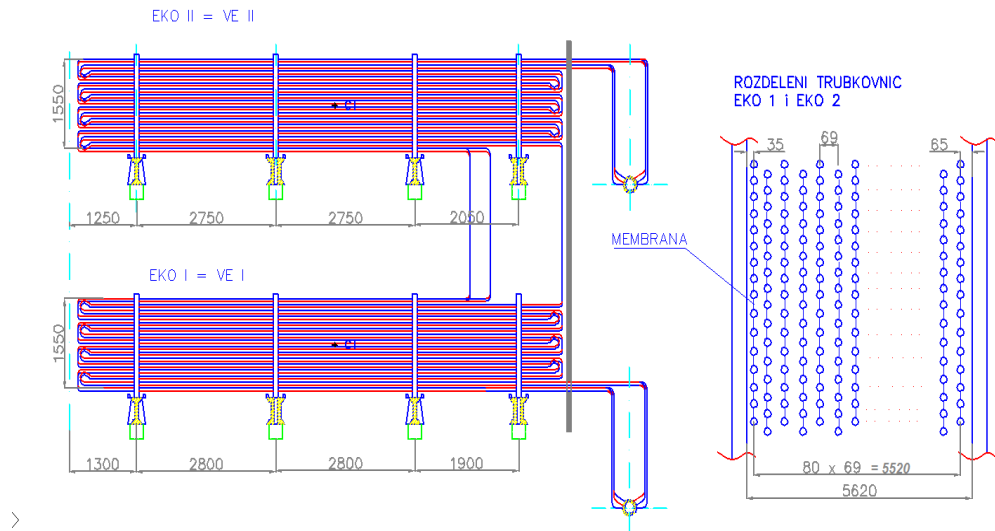
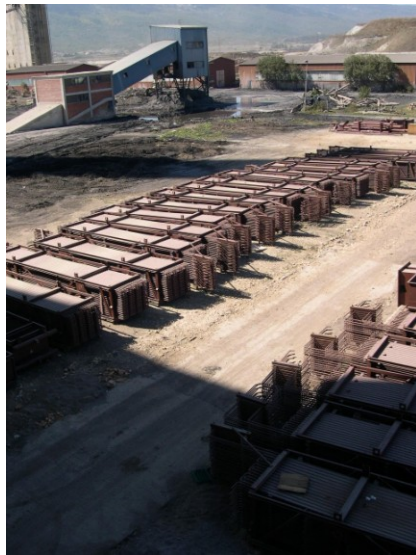


**Obr. 7 Zjednodušené schema koordinace kotel-turbina**

### 2003 Rekonstrukce parovodního systému kotle

V roce 2003 prošel kotel zásadní rekonstrukcí při které bylo vyměněny abrazi opotřebované vzduchovody, práškové hořáky a ekonomizér byl zaměněn z klasického trubkového na membránový typ. Veškeré komponenty byly dodány původním výrobcem – Podolsk RF.

Obr. 8 ukazuje fotografii jednotlivých komponent ekonomizéru a vzduchového traktu připravených k instalaci v kotelně.

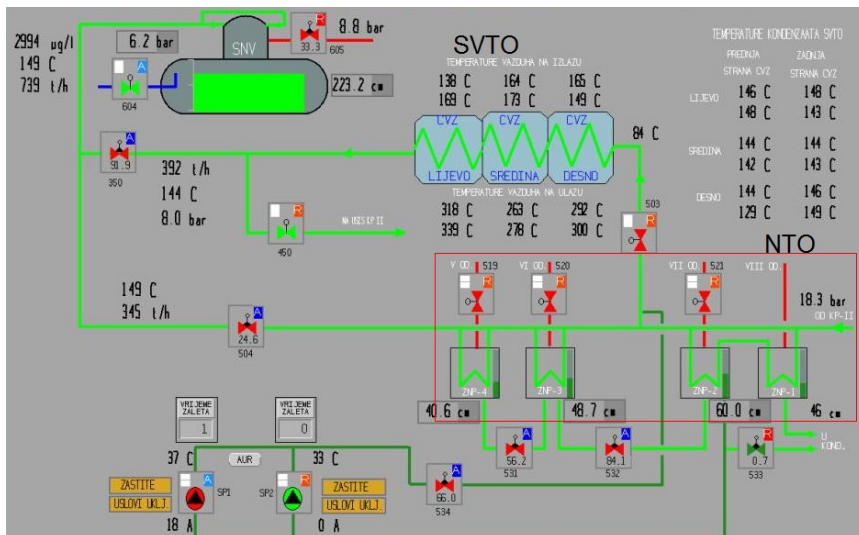


**Obr. 8 Sekce membránového ekonomizéru**

Instalací membránového ekonomizéru se tepelné zatížení EKO dostalo na výpočtové hodnoty (viz Obr. 4) a zároveň došlo ke snížení abrazivního opotřebování výhřevných ploch ekonomizéru.

### 2006 Instalace spalínového ohříváku kondenzátu (SVTO)

Ve snahách o snížení komínové ztráty byl do traktu spalín – resp. mezi 2. a 3. ohřívák vzduchu instalován výměník spaliny – NT kondenzát, který byl na straně vody zařazen za NTO 2. Instalací SVTO bylo dosaženo snížení teploty spalín z původních 200 až 210 C na současných 160-180 C.



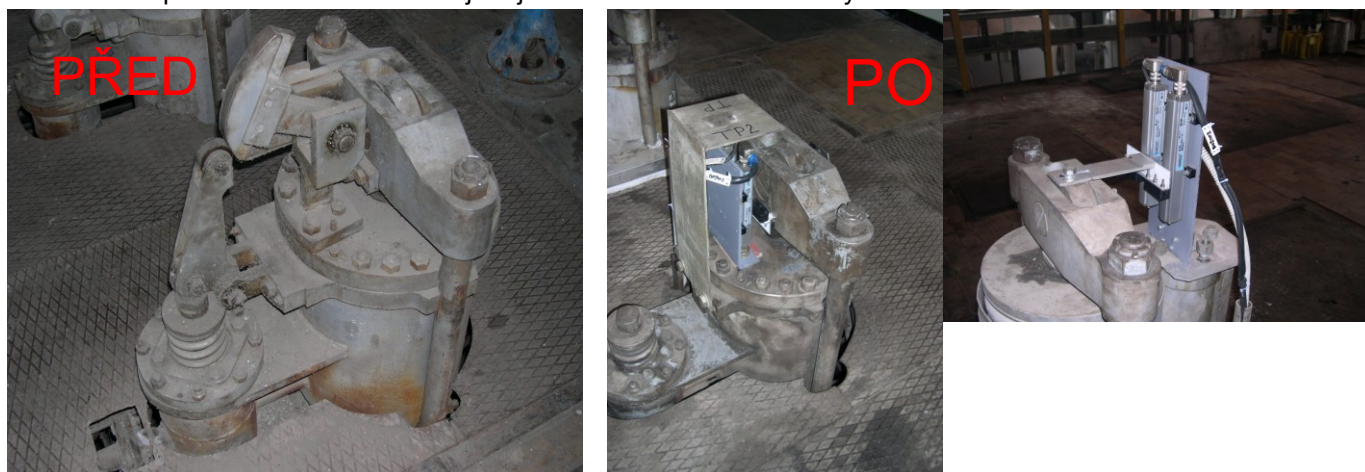
Další zvyšování zatížení SVTO na straně vody není možné z důvodu zapaření vodního traktu.

Obr. 9 ukazuje operátorskou grafiku ovládání SVTO. Struktura řízení vodních ventilů SVTO je pokročilá a využívá dopřednou vazbu z on line výpočtu tepelné bilance ohříváku SVTO.

**Obr. 9 Ovládací grafika SVTO**

### 2007 Rekonstrukce elektrohydraulického systému turbíny

V roce 2007 byla provedena náhrada stávajícího ruského elektrohydraulického systému turbíny moderním systémem, který umožňuje individuální řízení jednotlivých ventilů. Původní vačkový rozvod byl nahrazen hydraulickými rozvody pro každý z regulačních ventilů turbíny a digitálním řídicím systémem, který byl zakomponován do řídicího systému celého bloku. Touto úpravou byla dosažena možnost automatického najíždění turbíny pomocí univerzálního najížděcího diagramu, snazší kalibrace ventilů – která je díky zpětnovazebnímu řízení ventilů neměnná, možnost splnění podmínek UCTE pro řízení frekvence sítě a v neposlední řadě provoz bloku na vlastní spotřebě. Obr. 10 ukazuje zjednodušení konstrukce hydraulického servomotoru na

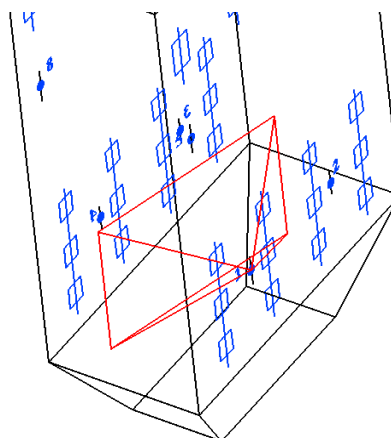
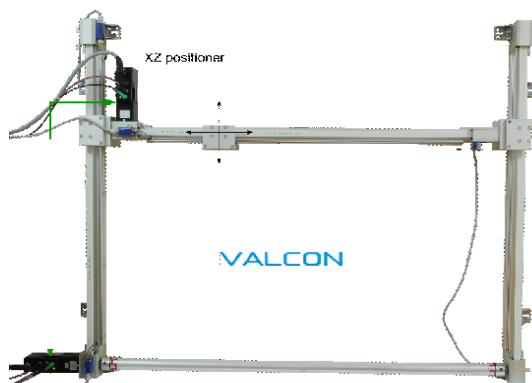


**Obr. 10 Úprava hydraulického servomotoru VT regulačních ventilů turbíny**

Instalace nového elektro hydraulického systému a implementace řídicího SW turbíny v rámci DCS celého bloku umožnila plné propojení struktur řízení kotle se strukturami řízení turbíny včetně najíždění, omezovacích funkcí a ochran.

## 2010 Experimentální instalace vodního ostřikovače ploch výparníku

Vzhledem k výše popsaným specifikám instalace Gacko a problémům se zanášením výhřevných ploch byl vyvinut experimentální tlakovodní ostřikovač, který byl zkušebně nasazen po dobu 3 měsíců místo jednoho ze stávajících ostřikovačů na kótě 17 m. Ostřikovač byl vybaven moderním řídicím systémem na bázi PLC, který byl pro snadnost obsluhy propojen i s řídicím systémem bloku. Ostřikovač využívá stávající rozvod tlakové vody a stávající trysku. Nově je instalován závěs trysky a křížový polohovací X-Y mechanismus, který je řízen řídicím systémem. Trajektorie vodního paprsku je určena pomocí geometrického modelu kotle, který je naprogramován v PLC a který je možné jednoduše měnit.



Obr. 11 X-Y pozicioner vodního ostřikovače a 3D geometrický model ostřikované plochy



Obr. 12 Experimentální tlakovodní ostřikovač v provozu

Funkční testy se ukázaly jako velmi dobré, geometrický model kotle umožňuje přesnou definici požadované trajektorie vodního paprsku a umožňuje vyhnout se otvorům hořáků na protilehlé stěně kotle, čímž dochází ke snížení teplotního namáhání trubkovnic v tomto prostoru, k jejichž poškození během ostřikování často dochází díky vysokému teplotnímu namáhání způsobenému nepřesným polohováním vodního paprsku viz obr. 13.

Obr. 13 Poškození trubkovnic v prostoru práškového hořáku způsobené původním tlakovodním ostřikem

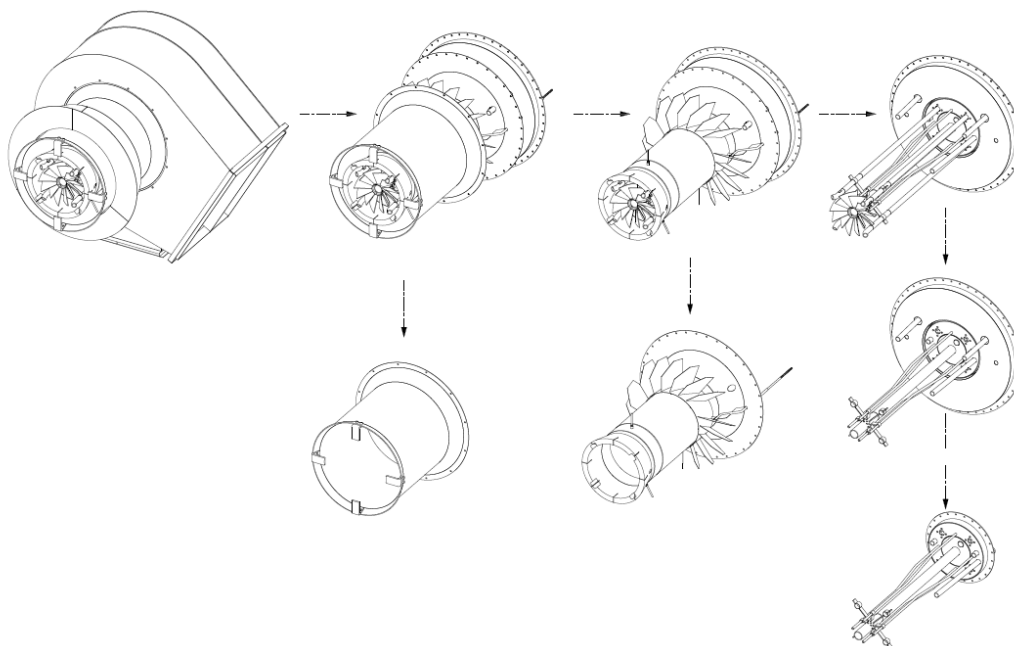


## 2. Elektrárna Elektrenai Litva

### 2.1 Stručný popis elektrárenských bloků

Elektrárna Elektrenai v Litvě sestává z 8mi bloků (blok č. 9 je kombinovaný cyklus, který je v současné době ve výstavbě). Bloky 1-4 jsou standardní podkritické bloky s bubnovým kotlem o elektrickém výkonu 150 MW. Bloky 5-8 jsou nadkritické bloky s průtočným kotlem a elektrickým výkonem 300 MW. Strojní část bloků 5-8 je identická (s výjimkou NTO 2, který je v Elektrenai směšovacího typu a nepřítomností SVTO) s elektrárnou Gacko. Kotelná sestává ze 2 nadkritických průtlačných kotlů o parním výkonu 450 t/h, které dodávají ostrou a přehřátou páru do turbíny pomocí 4 výstupních parovodních větví (2 na každý kotel), které jsou vzájemně spojeny propojí s elektricky ovládanými šoupátky. Konstrukčně se jedná o starší řešení, bloky byly uvedeny do provozu na začátku 70. let.

Použitým palivem je mazut a plyn, v roce 1999 byla provedena rekonstrukce palivových hořáků a byly instalovány kombinované hořáky ABB combustion, které umožňují spalovat obě paliva a navíc Orimulsi, která začala být do Litvy dovážena v polovině 90. let. Montážní schema konstrukce hořáku je ukázáno na Obr. 14 [1]



**Obr. 14** Kombinovaný hořák plyn-mazut-orimulse

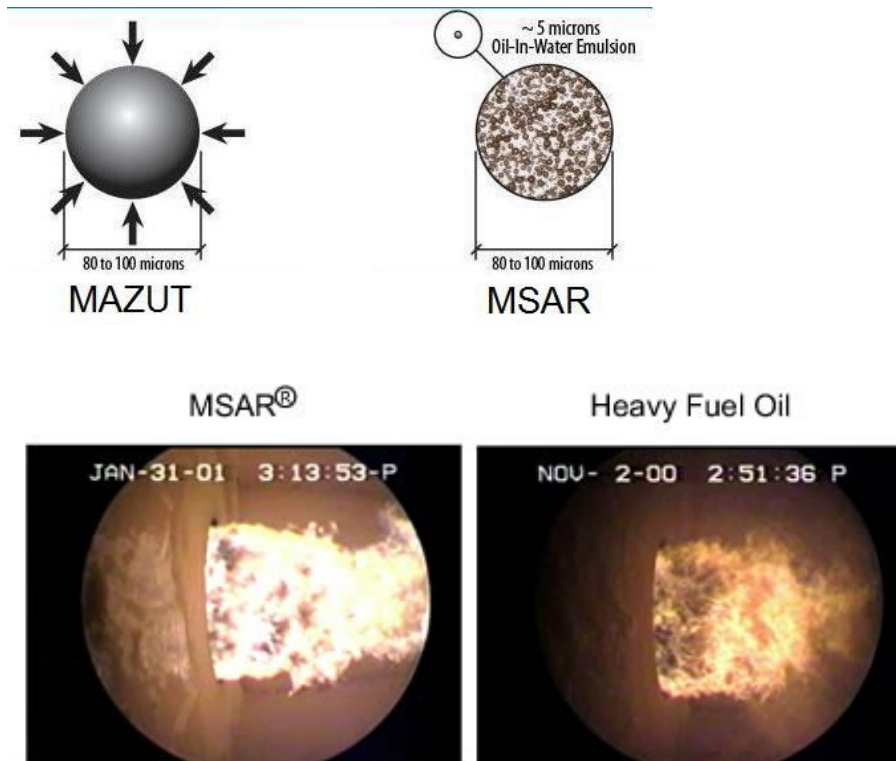
Orimulse, označovaná jako „čtvrté fosilní palivo“, je komerční název pro směs bitumen-voda, která má přibližné složení 70% bitumen, 30 % voda a 0.2% aditiv (hořčik) pro snížení povrchového napětí a viskozity, k omezení vysokoteplotní koroze kotelních ploch a k udržení soudržnosti bituminozní emulze. Orimulse je těžena z ložisek ve Venezuele v ústí řeky Orinoko a její primární účel je využití jako elektrárenské palivo. Zásoby jsou odhadovány přibližně stejné jako zásoby uhlí Jižní Afriky. Tabulka 5 uvádí vlastnosti a složení Orimulse. Orimulse je neNewtonovská kapalina a pro její skladování a transport je třeba dbát následujících opatření:

- vyvarovat se nadměrnému tření, používat čerpadla s proměnnými otáčkami, minimalizovat tlakové ztráty
- udržovat optimální teplotu směsi, v žádném případě nedopustit zamrznutí a zároveň směs nepřehřát více než 80 C.
- Zabránit smíšení s jinými palivy a látkami

C	60 (84.5)	Střední velikost částic (um)	11
H	7.5 (10.6)	Hustota (15 C), g.cm-3	1.0113
S	2.7 (3.8)	Viskozita (30 C), mPa.s	560
N	0.5 (0.7)	Zápalný bod (C)	>90
Voda	29	Bod tuhnutí (C)	3
Kyslík	0.2 (0.2)	Spalné teplo (MJ/kg)	30.2
Popel	300-500 ppm	Výhřevnost (MJ/kg)	28.1
Hořčík	<60		

**Tabulka 5 Chemické složení Orimulse na hmotnostní bázi (suchá analýza v závorkách)**

Orimulse vzhledem k vysokému obsahu síry – Elektrenai nemá odsíření, problémům se skladováním ale i se zapálením (používá se až poté, co je blok najet a hořáky jsou v provozu s plynem či mazutem) je využívána minimálně. V roce 2008 byl proveden zkušební provoz s využitím paliva MSAR, což je palivo podobných vlastností jako Orimulse, ale vyráběné uměle z běžně dostupných paliv. Rozprášením Orimulse-MSARu je dosaženo vytvoření palivových kapek o průměru cca 70 mikronů v nichž jsou obsaženy částice paliva o velikosti cca 5 mikronů viz obr. 15. [2] Tímto je v porovnání se standardním palivem – mazutem – plocha spalovaného paliva v atomizované kapce mnohem větší, což umožňuje snadnější hoření a dokonalé dohoření.



**Obr. 15 MSAR palivová částice a porovnání hoření MSAR a mazutu**

Provozní zkušenosti z použití Orimulse a MSAR v Elektrenai jsou podobné jako ty uvěřené např. v [2]. Z praktického hlediska bylo pozorováno snížení emisí CO, zvýšení emisí NOx a značné zatížení radiačních zón kotle v porovnání s mazutem/plynem a naopak snížení tepelného zatížení konvektivních částí kotle a tahů. Toto vyžadovalo snížení poměru palivo-voda z důvodu udržení bodu odpaření v oblasti NRD I – viz. Obr 7., což však mělo za následek snížení parametrů výstupní páry.

### 3. Závěr

V příspěvku jsou prezentovány starší nadkritické průtlačné kotle typu Benson – Ramzin na elektrárnách v Bosně a Hercegovině a v Litvě, provozní zkušenosti a inovované technologické celky.

Poukázáno je na fakt, že identické, sériově vyráběné kotle byly instalovány bez respektování specifik místně používaných paliv. Konvektivní část kotle el. Gacko (stejná je i konstrukce kotle elektrárny Ugljevik) byla původně navržena pro kotle spalující mazut, z čehož vyplynuly provozní nedostatky, velký odpor a malá propustnost, a nutnost konstrukčních úprav přímo na stavbě. Tyto rekonstrukce mají za následek provozuschopnost bloků na úkor maximálního dosažitelného parního výkonu. Elektrárna Ekibastus v Kazachstánu má identickou kotelnu jako elektrárna Gacko, ale i zde je palivem uhlí a navíc v porovnání s Gackem jsou parametry použitého uhlí paliva jsou také zcela odlišné (příznivější) – viz tabulka 6 a porovnání s tabulkou 3. Tento konstrukční nedostatek během let provozu jednotlivých bloků vyžadoval značné úsilí a investice do úprav spalovacího traktu.

Ar %	39.9
Vr%	29.92
C %	42
H %	2.85
S %	0.8
N %	0.8
Výhřevnost MJ/kg	15

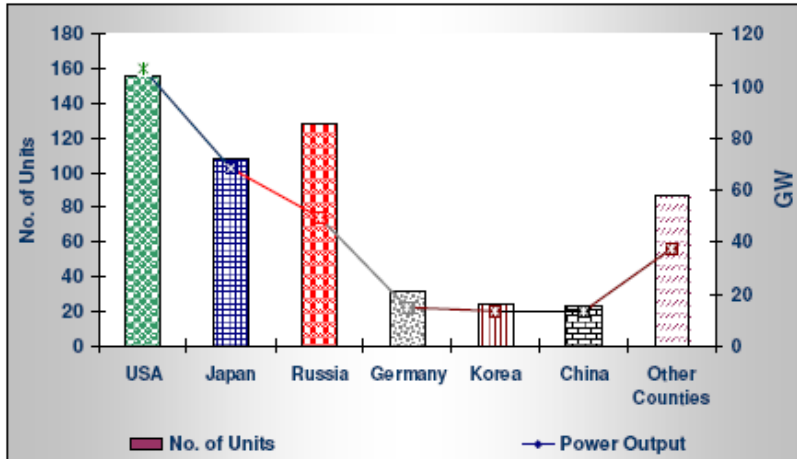
**Tabulka 6 Uhlí Ekibastus**

Do budoucna je třeba uvažovat o následujících úpravách/rekonstrukcích:

- dokončení systémů inteligentních tlakovodních ostřikovačů
- instalace fluxmetrů pro monitoring tepelného namáhání trubkovnic
- rekonstrukce a optimalizace práškových hořáků
- dokončení rekonstrukce strojovny (elektrohydraulický systém turbonapáječky, zprovoznění VTO, instalace frekvenčních měničů pro 6 kV motory)

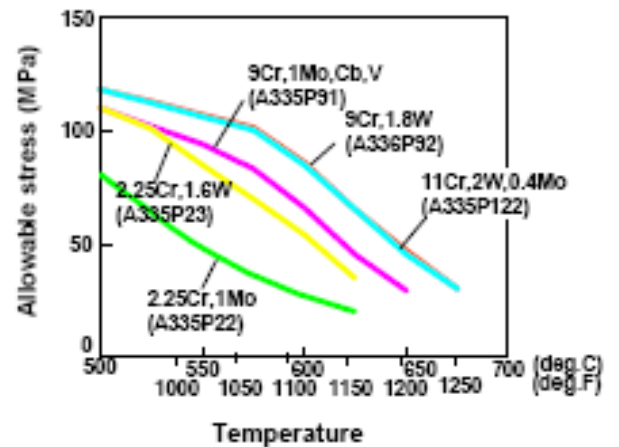
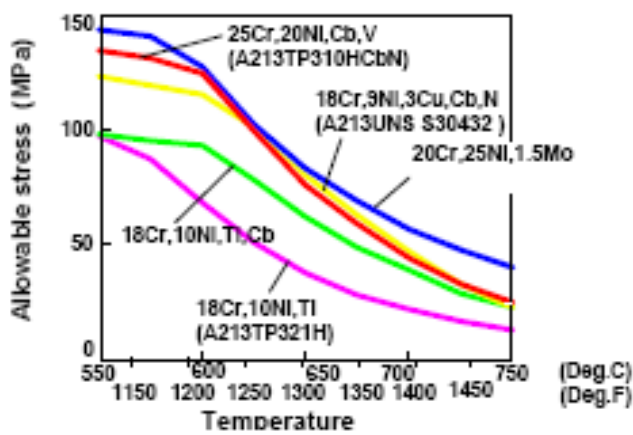
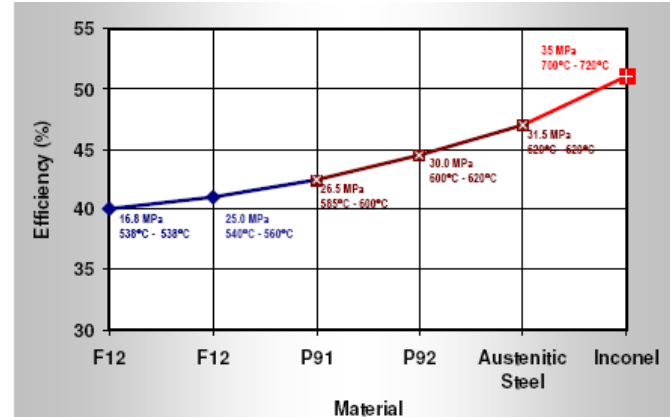
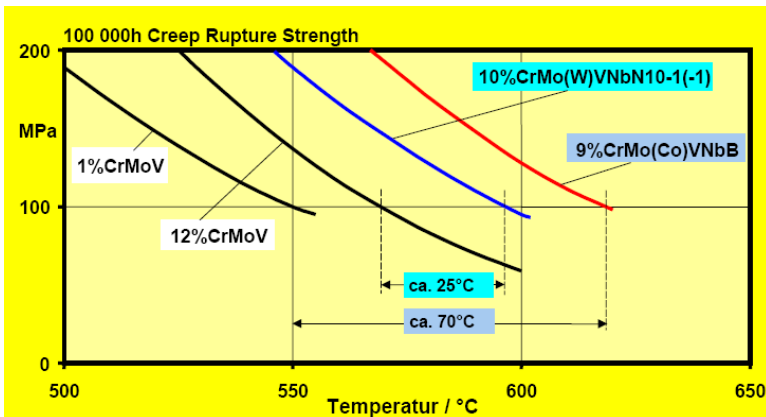
Četnosti užití tohoto typu ruských nadkritických bloků odpovídá studie [3], ve které je uveden graf instalovaných nadkritických bloků ve světě.





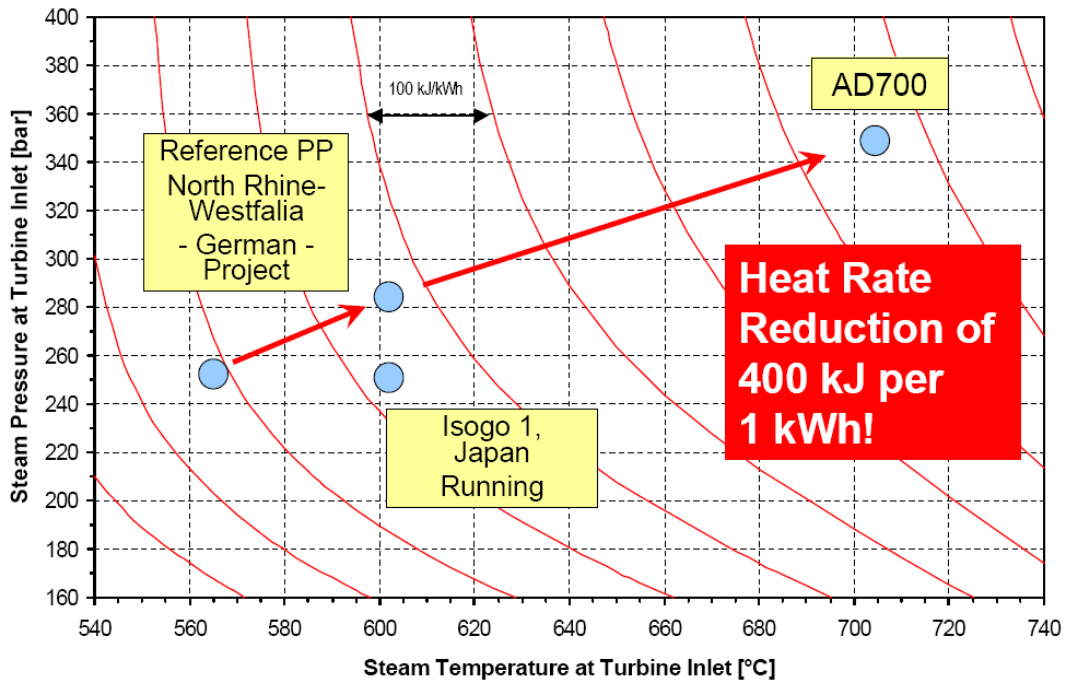
Obr. 16 Počty instalovaných nadkritických bloků a GW

V článku je provedena detailní studie použitých materiálů, která ukazuje, že odpovídaly trendům a materiálům používaným v 70. a 80. letech – viz. Obr. 17. [3] [4]



Obr. 17 Grafy parametrů používaných ocelí, teplotního a dovoleného namáhání [3] [4]

Z hlediska provozního je důležité uvést, že popisované kotle je možné provozovat i v podkritickém, klouzavém režimu. Tento režim je využíván často na elektrárně Elektrenai, na elektrárně Gacko z důvodů problémů se zasolováním přechodníku využíván není. Z provozního hlediska je důležité, aby u průtlačných kotlů tohoto typu byla pružná a kvalitní možnost ovládní napáječek – tj. u elektronapáječek instalace pohonů s frekvenčním měničem či kvalitní hydrospojkou a u turbonapáječek kvalitní elektrohydraulický ovládací systém pohonné turbíny. Nadkritické průtlačné bloky jsou znovuoživenou technologií, která v budoucnu zažije intenzivní rozvoj a instalace a tím i provozní zkušenosti, viz obr. 18.



Obr. 18 Trend ve vývoji nadkritických průtlačných bloků a použitých materiálů [5]

## Seznam použité literatury

1. Katalog Alstom Power Limited, Arrangement of Oil nad Gas Burner Isometric Views
2. Katalog Quadrise Canada Multiphase Superfine Atomized Residue Synthetic Fuel Oil (MSAR® SFO™), [www.quadrisefuels.com](http://www.quadrisefuels.com)
3. Miro S. Susta, IMTE AG, Power Consulting Engineers, *Latest Development in Supercritical Steam Technology*, PowerGen Asia 2008
4. M. Richardson, Y Kidera, Y Shimogori, *Supercritical Technology Matures*, PowerGen Europe 2004
5. Torsten-Ulf Kern, Siemens PG, Muelheim, Germany, *Material Research and Development Challenges for Low CO<sub>2</sub>, High Efficient Steam Turbines with Advanced Technology*, Leipzig March 2005