

Pokročilé technologie spalování tuhých paliv

Možnosti zvyšování účinnosti parních kotlů

1

1

Může zvyšování obsahu CO₂ v ovzduší změnit životní podmínky na Zemi?

- otázka je komplexní a velmi složitá, nicméně pravděpodobně správná odpověď zní ANO

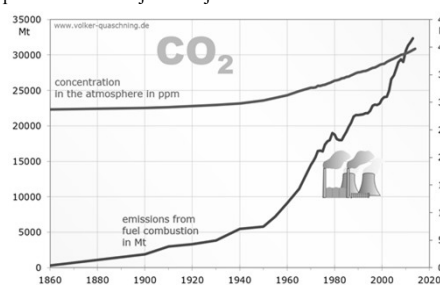
Lépe by bylo se ptát

- jak lidská činnost přispívá k produkci CO₂ resp. GHE
- jak se projeví dekarbonizační opatření plánovaná EU na celkovém snížení GHE

2

Může zvyšování obsahu CO₂ v ovzduší změnit životní podmínky na Zemi?

- je jisté, že množství CO₂ vypouštěného ze spalovacích procesů do atmosféry roste
- jednoznačně spojení s rostoucí koncentrací CO₂ v atmosféře a oteplováním klimatu je však zjednodušené



3

Může zvyšování obsahu CO₂ v ovzduší změnit životní podmínky na Zemi?

Celková bilance produkce CO₂

- oceány 54,9 %
- lesy 41,5 %
- lidská činnost 3,6 %

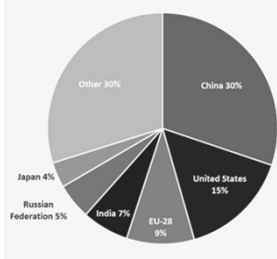
Podíl na GHE

- vodní pára 60 %
- CO₂ 20 %
- metan 7,2 %
- další plyny (freony,...) 5,6 %

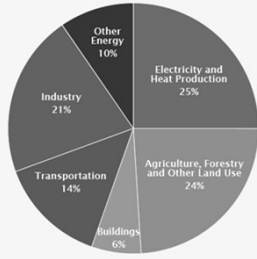
4

Může zvyšování obsahu CO₂ v ovzduší změnit životní podmínky na Zemi?

2014 Global CO₂ Emissions from Fossil Fuel Combustion and Some Industrial Processes



Global Greenhouse Gas Emissions by Economic Sector



5

Může zvyšování obsahu CO₂ v ovzduší změnit životní podmínky na Zemi?

Globální bilance

- celková emise GHE 100 %
- z toho CO₂ z lidské činnosti 16 %
- z toho Kyotský protokol pokrývá 45 % 7,2 %
- z toho emise EU představují 23,75 % 1,71 %
- z toho trh EU ETS pokrývá 50 % emisí 0,86 %
- cíl k roku 2020 je snížení o 20 % 0,17 %

Za jakou cenu?

zdroj: Pravda capital partners AG

6

V celosvětovém měřítku uhlí v energetice nekončí

Stát	počet jednotek			instalovaný výkon (MW)		
	plánováno	ve výstavbě	v provozu	plánováno	ve výstavbě	v provozu
China	212	189	2955	106176	99710	1004948
India	43	56	871	29327	36698	228964
United States	0	0	561	0	0	246187
Russia	9	2	345	4945	120	46862
Indonesia	99	44	171	19360	11840	32373
Poland	1	4	166	500	2470	30870
Japan	5	16	134	2612	9269	46682
Germany	1	1	116	920	1100	44470
Ukraine	2	0	107	660	0	22265
South Africa	7	6	106	6280	4770	41435
Kazakhstan	0	1	91	0	636	12704
South Korea	0	7	83	0	7260	37600
Czech Republic	2	1	79	180	660	8517
Turkey	50	3	75	31715	1465	19514
Vietnam	51	16	63	22262	8680	18432
Australia	4	0	58	2980	0	24382

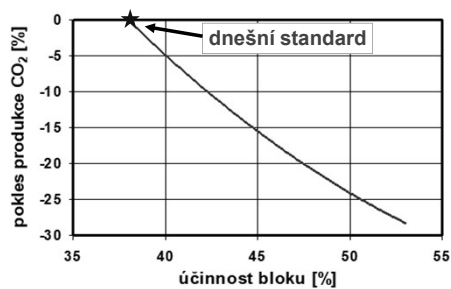
7

V celosvětovém měřítku uhlí v energetice nekončí

	Subcritical	Supercritical	Ultra-super	celkem (MW)
plánováno	22325	64863	123374	210562
ve výstavbě	9239	72395	103069	184703
v provozu	1172623	516851	304503	1993977
celkem	1204187	654109	530946	2389242
plánováno	11%	31%	59%	100%
ve výstavbě	5%	39%	56%	100%
v provozu	59%	26%	15%	100%
celkem	50%	27%	22%	100%

8

Vliv účinnosti uhlénního bloku na produkci CO₂



9

9

Účinnost bloku uhlénní parní elektrárny

$$\eta_{\text{netto}} = \eta_o \cdot \eta_k \cdot \eta_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{vs}$$

kde je η_o účinnost reálného tepelného oběhu
 η_k účinnost kotle
 η_p účinnost parovodů
 η_m mechanická účinnost turbíny
 η_g účinnost generátoru
 η_{tr} účinnost transformace
 η_{vs} respektování vlastní spotřeby

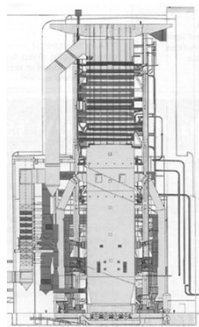
10

10

Účinnost kotle

je dána pěti ztrátami :

- ztrátou fyzickým teplem spalín (komínovou),
- ztrátou hořlavinou v TZ
- ztrátou hořlavinou ve spalínách
- ztrátou fyzickým teplem TZ
- ztrátou sdílením tepla do okolí



11

11

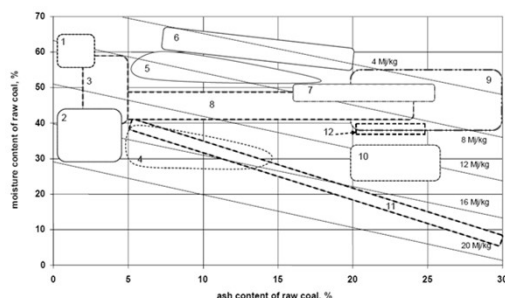
Velikost ztrát závisí :

- na konstrukčním řešení spalovacího zařízení
- na konstrukčním řešení kotle
 - na velikosti koncových výhřevných ploch
 - ohříváku vody (EKO)
 - ohříváku vzduchu (OVZ)
 - na podmínkách přestupu tepla
- na vlastnostech uhlí – obsahu vody a popela

12

12

Srovnání kvality HU



Note: their location, and calorific values (LHV, MJ/kg); country labels as follows:
1: Australia; 2: Indonesia; 3: India; 4: United States (Texas, North Dakota); 5: Germany; 6: Greece; 7: Spain; 8: Poland; 9: Czech Republic; 10: China; 11: Turkey; 12: Romania.

13

BAT = Nejlepší dostupné techniky

- „nejlepší“ = nejúčinnější z hlediska dosažení vysoké úrovně ochrany životního prostředí jako celku
- „dostupnými“ = byly vyvinuty v měřítku umožňujícím jejich zavedení v příslušném průmyslovém odvětví za ekonomicky a technicky přijatelných podmínek s ohledem na náklady a přínosy
- „technika“ = používaná technologie nebo způsob, jakým je zařízení navrženo, budováno, udržováno, provozováno a vyřazováno z činnosti

14

14

BAT = Nejlepší dostupné techniky

- BREF - referenční dokument o nejlepších dostupných technikách pro velká spalovací zařízení (LCP) = s příkonem > 50 MW
- obsahuje závazné „Závěry o BAT“
- uvedeny
 - příklady aplikací
 - dosažený efekt
 - ekonomická náročnost zavedení
 - doporučené úrovně účinností a emisí, které se k aplikaci BAT vztahují

15

15

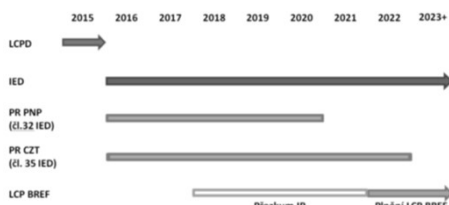
BAT = Nejlepší dostupné techniky

- První LCP BREF schválen v roce 2006
- Zahájení revize LCP BREF v roce 2011
- Draft 1 LCP BREF v červenci 2013 - 8500 připomínek
- Pre-final draft a vyhodnocení split-views v únoru 2016
- Final draft LCP BREF v červnu 2016
- Fórum pro výměnu informací projednalo LCP BREF 20. října 2016 - dle EK byl LCP BREF dostatečně probrán
- 31.7.2017 byl schválen
 - ke stažení: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/aktuality/2017/8/2017-1442_LCP-BAT-Cs.pdf
- následuje 4 letá lhůta pro uvedení integrovaných povolení stávajících zařízení do souladu s požadavky rozhodnutí komise

16

16

Časový vývoj aplikace LCP BREF



- IED – Industrial Emission Directive
- přechodný režim „přechodný národní plán“ dle čl. 32 IED - vložen do českého zákona o ochraně ovzduší §37
- přechodný režim „CZT“ dle článku 35 IED, který byl vložen do českého zákona o ochraně ovzduší v §39

17

17

Jaké jsou nově navržené emisní limity dle BAT?

- Většinou jsou přísnější než IED (Industrial Emissions Directive)
- Většinou jsou přísnější než legislativa ČR
- Většinou je nastaveno více látek než dle legislativy ČR
- Jednorázové měření může být nastaveno s vyšší četností nebo jako kontinuální (zvláště u látek s vlivem na zdraví a životní prostředí např. těžké kovy, skleníkové plyny)
- Pokud v současnosti předpokládá, že posuzované zařízení nebude pravděpodobně plnit emisní limity, lze řešit pomocí výjimek

18

18

Jaké jsou nově navržené emisní limity dle BAT?

■ příklad porovnání s platnou legislativou ČR

Příkon [MWt]	ČR vs. FD	Roční průměr		Denní průměr	
		Nová z.	Stáv. z.	Nová z.	Stáv. z.
< 100	ČR	400	-	-	-
	FD	150 - 200	150 - 360	170 - 220	170 - 400
100 - 300	ČR	200	-	-	-
	FD	80 - 150	95 - 200	135 - 200	135 - 220 (250*)
≥ 300 práškové uhlí	ČR	200	-	-	-
	FD	10 - 75	10 - 130	25 - 110	25 - 165 (205*)
≥ 300 fluidní spalování	ČR	200	-	-	-
	FD	20 - 75	20 - 180	25 - 110	50 - 220

Nová Z. = nová zařízení (IP před vydáním BREF), Stáv. Z. = stávající zařízení
* hodnoty platné pro zařízení zprovozněné do 7.1.2014

19

Úrovně energetické účinnosti spojené s BAT pro spalování černého a/nebo hnědého uhlí

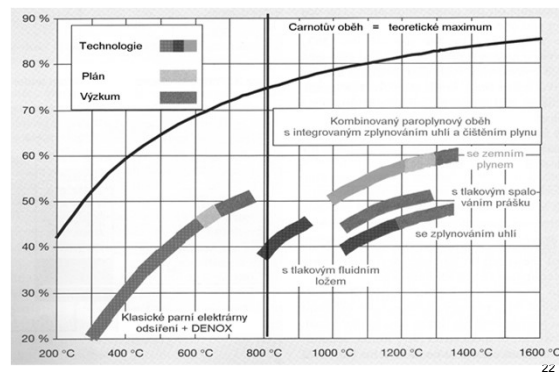
	Čistá elektrická účinnost (%)		Celkové čisté využití paliva (%) Nová nebo stávající jednotka
	Nová jednotka	Stávající jednotka	
Na černé uhlí, > 1 000 MW _{th}	45 – 46	33,5 – 44	75 – 97
Na hnědé uhlí, > 1 000 MW _{th}	42 – 44	33,5 – 42,5	75 – 97
Na černé uhlí, < 1 000 MW _{th}	36,5 – 41,5	32,5 – 41,5	75 – 97
Na hnědé uhlí, < 1 000 MW _{th}	36,5 – 40	31,5 – 39,5	75 – 97

20

Vývojové trendy, nové systémy

21

Účinnost technologií na bázi využití uhlí



22

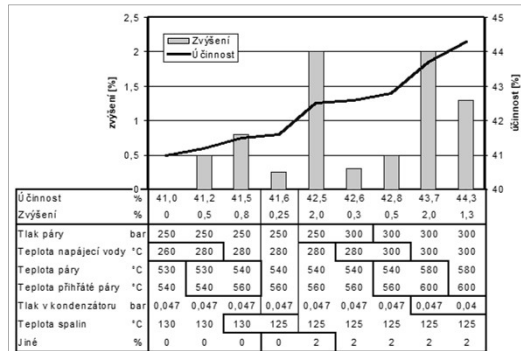
Klasické parní elektrárny

Pro zvyšování účinnosti se u tradiční osvědčené technologie parního oběhu používají všechna karnotizační opatření:

- intenzifikace parametrů
 - admisních - zvyšování tlaku a teploty
 - emisních - snižování protitlaku
- opakované přehřívání páry
- regenerační ohřev napájecí vody

23

Způsoby zlepšení účinnosti elektráren



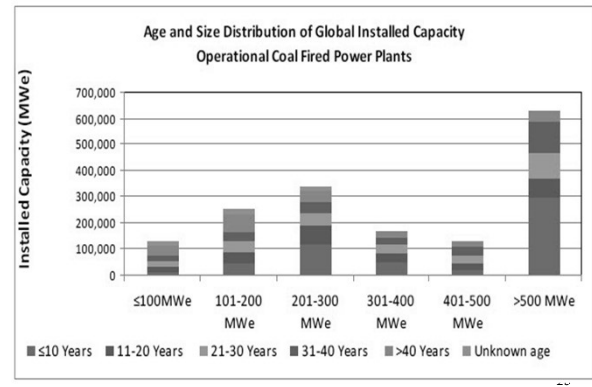
24

Parametry admisní páry

- **Standard** - starší podkritické i nadkritické bloky s průměrnou čistou účinností v Evropě $\eta_{\text{netto}}=0.38$.
- **Stávající špička** „Generace 600“ s tlakem kolem 30 MPa, dvojnásobným mezipřehřátím a teplotami ostré páry i přehřátých par až do hodnot těsně nad 600°C. V závislosti na ostatních parametrech se čistá účinnost pochopitelně mění, ale dosaženy byly hodnoty až $\eta_{\text{netto}}=0.50$ - pro zemní plyn a 0.47 - pro uhlí. (Mezní parametry této generace jsou patrně 33 MPa/610°C)
- **Aktuální vývoj** „Generace 700“ (AD700 Project – 1998 - 2016) s tlakem do 35-37.5 MPa, maximálními teplotami páry 700-720°C a čistou účinností až $\eta_{\text{netto}}=0.54$.
- **Výhled** směřovaný na období po roce 2020 „Generace 800“ s maximální teplotou páry v oblasti 800°C a čistou účinností vyšší než $\eta_{\text{netto}}=0.55$.

25

Práskové spalování uhlí



26

Práskové spalování uhlí

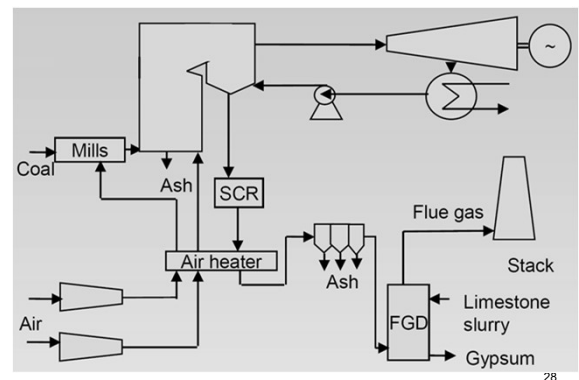
- instalovány stovky GWe, jednotky až ~ 1100 MW
- účinnost 43 – 48 % v nejlepších jednotkách
- klasické metody pro snižování emisí dobře zvládnuty

Výhled:

- bude stále nejrozšířenější uhelnou technologií
- vývoj pokročilých metod omezování emisí včetně suchých systémů
- extenzivní zlepšování účinnosti
- další zvýšení účinnosti
 - pokročilým sušením HU
 - přechodem na 35 MPa / 700 ° C páry ($\eta > 50 \%$)

27

Práskové spalování uhlí



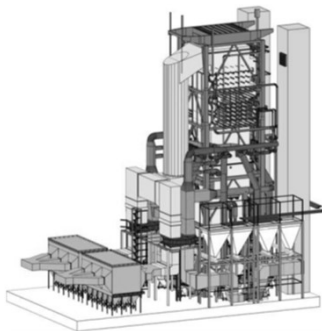
28

Nejnovější realizace na HU

BoA 2&3 Neurath

do provozu 2013
palivo HU
čistý výkon 2x1050 MW
čistá účinnost > 43 %

kotel
věžový, průtočný
parní výkon 800 kg/s
tepelný výkon 2392 MW
spotřeba uhlí 820 t/h
ostrá pára 272 bar/600°C
přihřátá pára 55 bar/605°C
hmotnost 51500 t



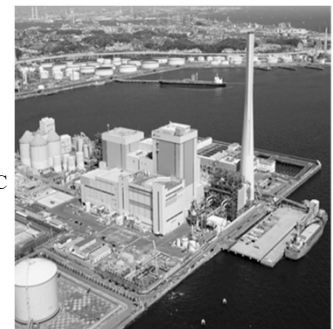
29

Nejlepší světové realizace

Isogo 2, Japan do provozu 2009

palivo ČU
čistý výkon 600 MW
čistá účinnost 45 %

kotel
věžový, průtočný
ostrá pára 250 bar/600°C
přihřátá pára 53 bar/610°C
emise
NO_x 20 mg/Nm³
SO₂ 6 mg/Nm³
TZL 1 mg/Nm³

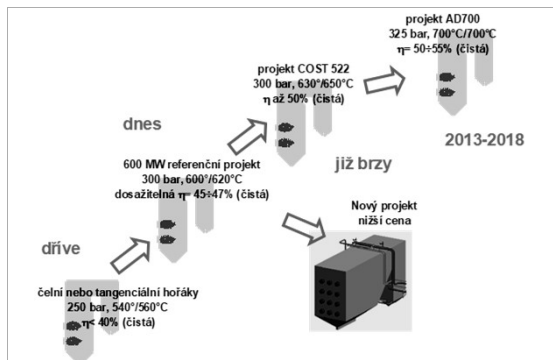


30

29

30

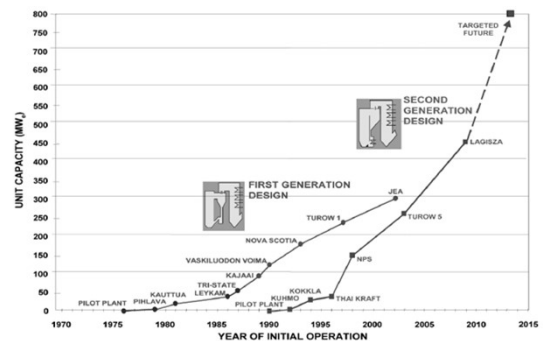
Vývojový trend v oblasti práškových kotlů



31

31

Nejlepší světové reference fluidní kotle



32

32

Spalování uhlí v cirkulující fluidní vrstvě

- instalovány stovky jednotek – výkony ve stovkách MWe
- vhodné pro uhlí nízké kvality a jiná paliva
- klasické metody pro snižování emisí dobře zvládnuty
- výhodou nízké emise NO_x a možnost aditivního odsiřování

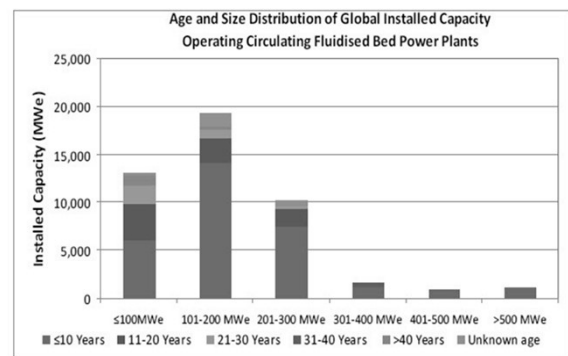
Výhled:

- bude stále důležité pro méně kvalitní uhlí, biomasu a odpady
- rostoucí počet instalací v průmyslových zdrojích
- další zvýšení účinnosti – přechod na SC parametry

33

33

Spalování uhlí v cirkulující fluidní vrstvě

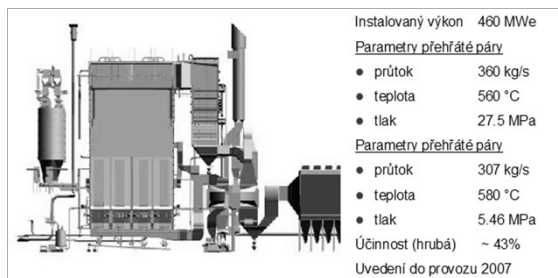


34

34

Nejlepší světové reference

Lagisza, 460 MWe



35

35

Nejlepší světové reference

Baima, 600 MWe

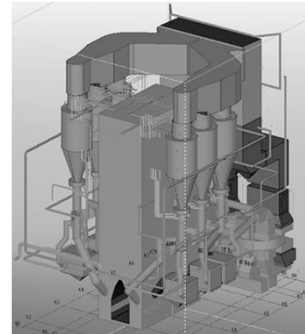


TABLE 1. Design parameters of the 600-MW, SC CFB boiler

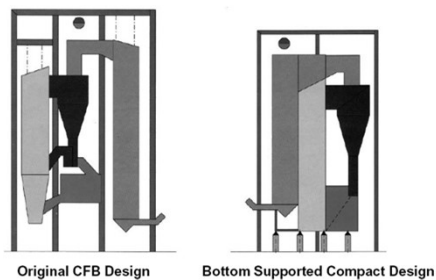
Design Parameter	Units	Value
Steam Output	tonnes/hr	1900
Main Steam Pressure	MPa	25.4
Main Steam Temperature	°C	571
Reheat Steam Flow Rate	tonnes/hr	1553
Inlet/Outlet Pressure of Reheated Steam	MPa (absolute)	4.58/4.43
Inlet/Outlet Temp. of Reheated Steam	°C	317/569
Feeding Water Temp.	°C	284
SO ₂ emission	mg/Nm ³	<380
NO _x emission	mg/Nm ³	<200

36

36

Vývojové trendy fluidních kotlů

vývoj kompaktního fluidního kotle (Lurgi)

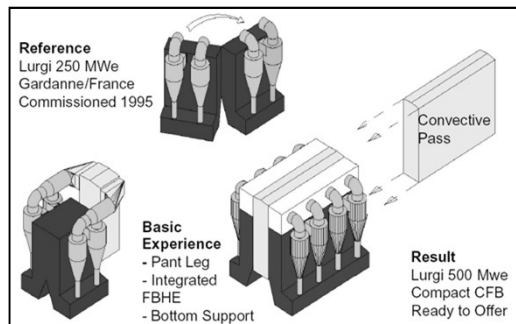


- zaujímá 70% objemu klasického řešení
- pro výkony až 500 MWe

37

Vývojové trendy fluidních kotlů

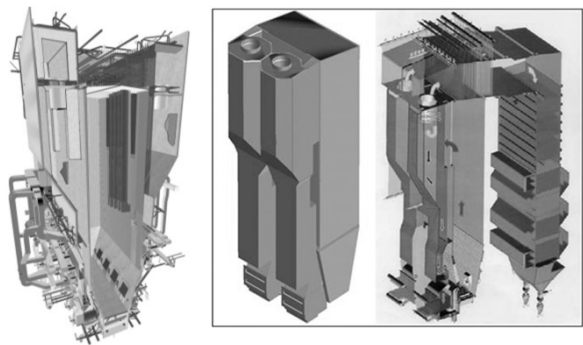
vývoj kompaktního fluidního kotle (Lurgi)



38

Vývojové trendy fluidních kotlů

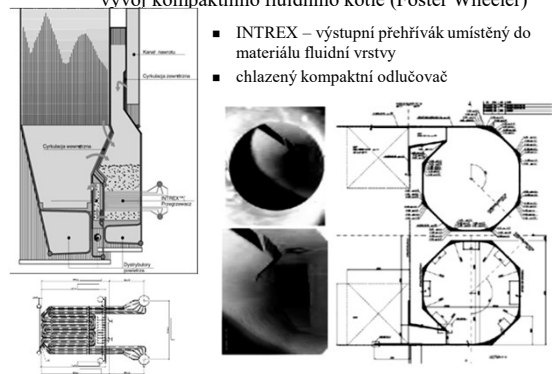
vývoj kompaktního fluidního kotle (Foster Wheeler)



39

Vývojové trendy fluidních kotlů

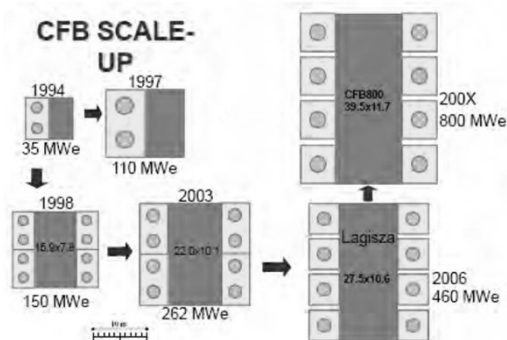
vývoj kompaktního fluidního kotle (Foster Wheeler)



40

Vývojové trendy fluidních kotlů

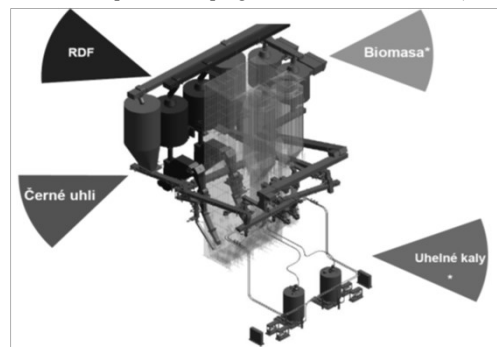
zvyšování kapacity kompaktních ohnišť



41

Vývojové trendy fluidních kotlů

zvládnutí multipalivového programu - CFB kotel Zabrze (Polsko)



42

Materiály pro superkritické parametry páry Ocel P91 (17 119)

- dnes standardní konstrukční materiál
- připouští parametry páry 27 MPa, 580/600 °C.
- feriticko martenzitická ocel na bázi 0,1C 9Cr 1Mo V Nb N,

Základní vlastnosti oceli P91 lze shrnout následovně:

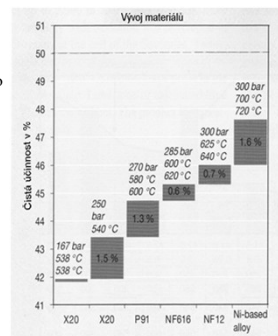
- vysoká žárupevnost a plasticita při creepu
- zvýšená korozní odolnost v prostředí vodíku, vodní páry a zplodin hoření
- vysoká tepelná vodivost
- nízká teplotní roztažnost
- dobré technologické vlastnosti vč. svařitelnosti
- nízká cena

43

Materiály pro superkritické parametry páry

Dalšího zvýšení žárupevnosti bylo dosaženo

- přidáním W:
 - japonské materiály označované jako NF616
 - evropským ekvivalentem je E911
- legováním Co, který brání zachování delta-feritu v mikrostruktuře
 - NF12 (~12%Cr, ~2.5%W a ~2.5%Co)
 - pro parametry 30 MPa, 625/640°C.
- vývoj superslitin na bázi niklu, které by umožnily docílit podstatně vyšších parametrů páry (720 °C a více než 30 MPa).



44

Nové materiály pro vysoké parametry páry

Prvek	P 91	E 911	NF616	HCM12A	TB 12M
C	0.08-0.12	0.10-0.13	0.07-0.13	0.07-0.14	0.10-0.15
Mn	0.30-0.60	0.30-0.60	0.30-0.60	≤0.70	0.40-0.60
Si	0.20-0.50	0.10-0.30	≤0.50	≤0.50	0.50 max
S	0.010 max	0.010 max	≤0.010	≤0.010	0.010 max
P	0.020 max	0.020 max	≤0.020	≤0.020	0.020 max
Cr	8.00-9.50	8.50-9.50	8.50-9.50	10.00-12.50	11.0-11.30
Mo	0.85-1.05	0.90-1.10	0.30-0.60	0.25-0.60	0.40-0.60
W	-	0.90-1.10	1.50-2.00	1.50-2.50	1.60-1.90
Ni	0.40 max	0.20-0.40	≤0.40	≤0.50	0.70-1.0
Cu	-	-	-	0.30-1.70	-
V	0.18-0.25	0.15-0.25	0.15-0.25	0.15-0.30	0.15-0.25
Nb	0.06-0.10	0.06-0.10	0.04-0.09	0.09-0.10	0.04-0.09
N	0.030-0.070	0.050-0.080	0.030-0.070	0.040-0.100	0.04-0.09
Al	0.04 max	-	≤0.040	≤0.040	0.010 max
B	-	-	0.001-0.006	≤0.005	-
Sn	-	-	-	-	0.010 max
As	-	-	-	-	0.010 max
Sb	-	-	-	-	0.005 max
Mez pevnosti v tečení pro 10 ⁻⁵ hod.	600*	94	(115)	(115)	(150*)

45

Složení materiálů na bázi Ni

Element	Ni	Cr	Co	Mo	Other
Material					
625	63,5	21,5	0	9	6
617	52	22	12	9,5	4,5
C263	51	20	20	6	3
740	50	24	20	0	6

46

E On's 50% efficient plant

- účinnost +50% s užitím niklových slitin na trubky přehříváku pro teplotu 700 °C
- místo: Wilhelmshaven
- výkon: 500MWe

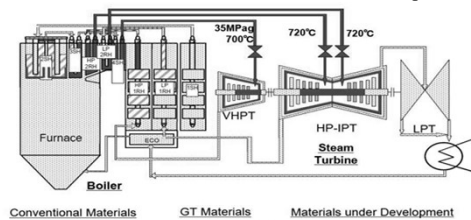
v r. 2010 projekt ukončen kvůli vysoké ceně a problémům se svařováním a tepelné úpravě po svařování



47

USC technologie v Japonsku

- METI Cool Earth zahájila USC program v roce 2008 vývojem a vyhodnocením materiálů pro komponenty kotle a turbíny
- komerční stav s účinností 48% se očekává kolem po r. 2020



48

Využití odpadního tepla spalin

Cílem je dochladiť spaliny pod teplotní úroveň, s níž běžně opouští kotel, tedy řádově pod 150°C. S tím jsou spojeny dva zásadní problémy :

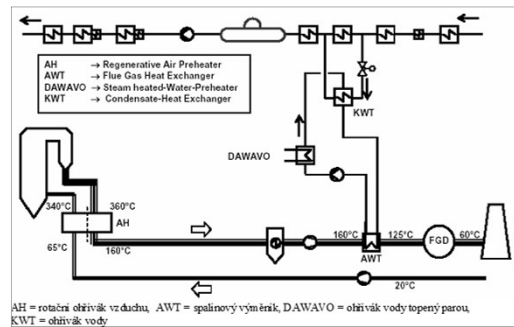
- teplota v dochlazovacím výměníku klesá pod úroveň teploty rosného bodu spalin
- při volbě vysoké teploty napájecí vody nelze již odpadní teplo spalin v rámci klasické koncepce kotle uplatnit

Nabízí se tyto možnosti

- uplatnění tepla z dochlazení spalin v rámci nízkotlakého regeneračního ohřevu napájecí vody (NTO)
- uplatnění tepla z dochlazení spalin v rámci vysokotlakého regeneračního ohřevu napájecí vody (VTO)

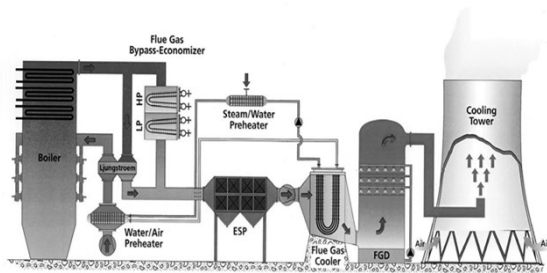
49

Systém uplatnění odpadního tepla spalin v NTO



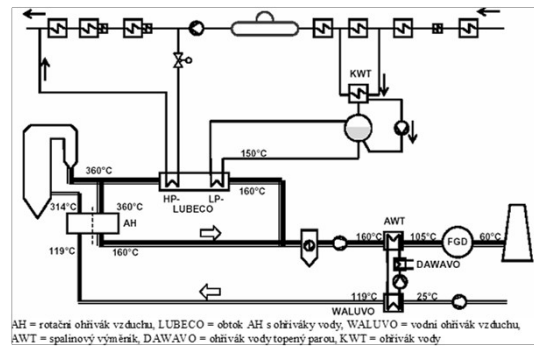
50

Uplatnění odpadního tepla spalin v NTO a VTO Systém LUBECO



51

Systém LUBECO



52

Zjištěné aplikace

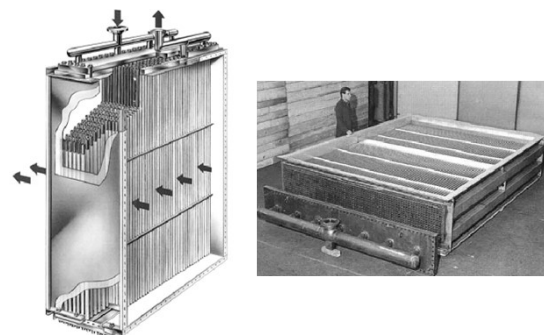
Systém uplatnění tepla z dochlazení spalin v NTO s použitím výměníků PFA byl aplikován na následujících zdrojích spalujících hnědé uhlí:

- Schwarze Pumpe, 2 x 816 MWel,
- Lippendorf, 2 x 933 MWel,
- Neurath, 2 x 640 MWel.

Systém LUBECO byl použit na hnědouhelné elektrárně Niederaussem o výkonu 1000 MWel

53

Výměník spalin / voda z PFA



54

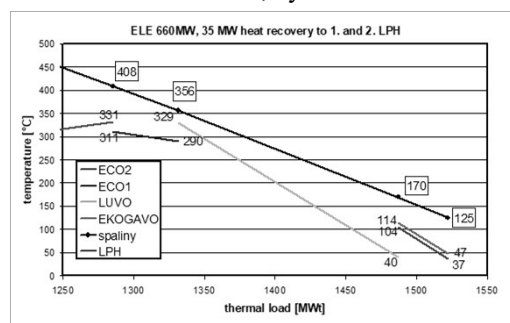
Posouzení potenciálního zvýšení účinnosti oběhu využitím odpadního tepla spalín v NT regeneraci

Posouzení bylo provedeno porovnáním několika variant:

- aplikace tohoto systému neovlivní účinnost kotle, u všech porovnávaných variant bude uvažován kotel s koncovou teplotou spalín 170°C, tedy s účinností 91,24 %
- výkon dochlazovacího výměníku s U vláskami z PFA bude navržen pro výkon
 - 35 MW – dochlazení spalín ze 170°C na 125°C
 - 50 MW – dochlazení spalín ze 170°C na 105°C
- teplo bude převáděno do NT regenerace prostřednictvím vnořeného vodního okruhu, okruh bude připojen paralelně vždy přes dva NTO :
 - přes 1.a 2. NTO – ohřev turbinového kondenzátu z 37°C na 104 °C
 - přes 2.a 3. NTO – ohřev turbinového kondenzátu z 81°C na 129 °C

55

Q-t diagram pro převod odpadního tepla spalín do 1. a 2. NTO, výkon 35 MW



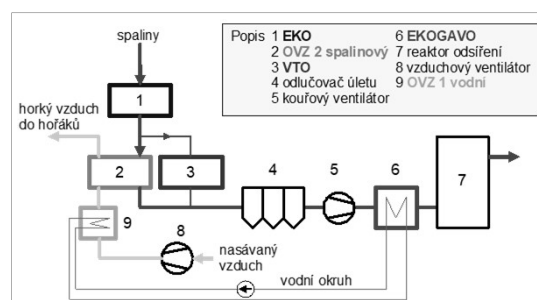
56

Změna účinnosti oběhu a velikosti výhřevných ploch

Varianta		290°C bez dochlazení	290°C 35MW 1+2NTO	290°C 50MW 1+2NTO	290°C 35MW 2+3NTO	290°C 50MW 2+3NTO
furnace	%	-8,2	-8,9	-9,2	-9,2	-9,6
SH1b	%	-12,5	-13,2	-13,5	-13,5	-13,9
SH3	%	-15,5	-16,1	-16,3	-16,3	-16,7
RH2	%	-20,8	-21,4	-21,6	-21,6	-22,0
SH2	%	-27,1	-27,8	-27,9	-27,9	-28,3
RH1	%	-40,3	-41,0	-41,1	-41,2	-41,6
ECO2	%	15,0	13,2	13,2	12,8	11,7
ECO1	%	15,0	12,8	12,9	12,4	11,0
LUVO	%	-2,4	-4,8	-4,6	-5,2	-6,7
LPH	%	-	0,0	67,2	106,5	337,0
účinnost bloku	%	45,19	45,47	45,61	45,59	45,75

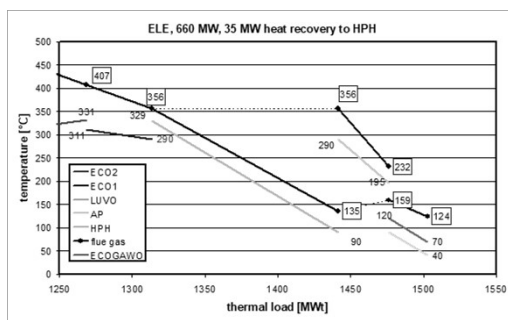
57

Využití odpadního tepla spalín do VTO - návrh



58

Q-t diagram pro převod odpadního tepla spalín do VTO, výkon 35 MW



59

Změna účinnosti oběhu a velikosti výhřevných ploch

Varianta		290°C bez dochlazení	290°C 35MW 1+2NTO	290°C 50MW 1+2NTO	290°C 35MW 2+3NTO	290°C 50MW 2+3NTO	290°C 35MW VTO
furnace	%	-8,2	-8,9	-9,2	-9,2	-9,6	-11,2
SH1b	%	-12,5	-13,2	-13,5	-13,5	-13,9	-15,8
SH3	%	-15,5	-16,1	-16,3	-16,3	-16,7	-18,6
RH2	%	-20,8	-21,4	-21,6	-21,6	-22,0	-21,9
SH2	%	-27,1	-27,8	-27,9	-27,9	-28,3	-30,2
RH1	%	-40,3	-41,0	-41,1	-41,2	-41,6	-40,9
ECO2	%	15,0	13,2	13,2	12,8	11,7	11,3
ECO1	%	15,0	12,8	12,9	12,4	11,0	10,5
LUVO	%	-2,4	-4,8	-4,6	-5,2	-6,7	13,5
LPH	%	-	0,0	67,2	106,5	337,0	7,3
účinnost bloku	%	45,19	45,47	45,61	45,59	45,75	46,10

60