

# Pokročilé technologie spalování tuhých paliv

## Možnosti zvyšování účinnosti parních kotlů

1

1

Může zvyšování obsahu CO<sub>2</sub> v ovzduší změnit  
životní podmínky na Zemi?

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

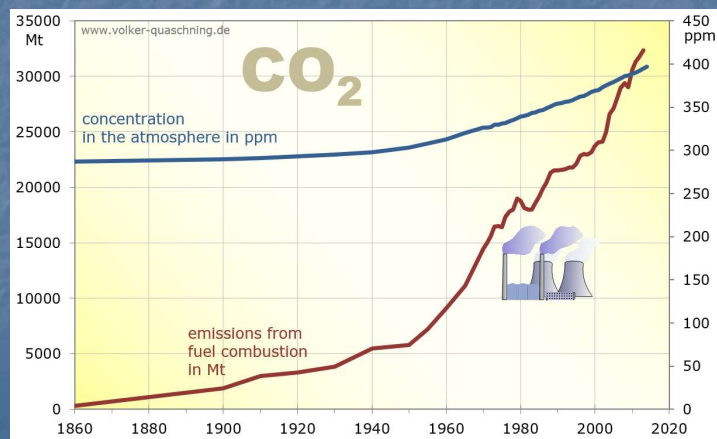
Lépe by bylo se ptát

- jak lidská činnost přispívá k produkci CO<sub>2</sub> resp. GHE
- jak se projeví dekarbonizační opatření plánovaná EU na celkovém snížení GHE

2

## Může zvyšování obsahu CO<sub>2</sub> v ovzduší změnit životní podmínky na Zemi?

- je jisté, že množství CO<sub>2</sub> vypouštěného ze spalovacích procesů do atmosféry roste
- jednoznačné spojení s rostoucí koncentrací CO<sub>2</sub> v atmosféře a oteplováním klimatu je však zjednodušené



3

## Může zvyšování obsahu CO<sub>2</sub> v ovzduší změnit životní podmínky na Zemi?

### Celková bilance produkce CO<sub>2</sub>

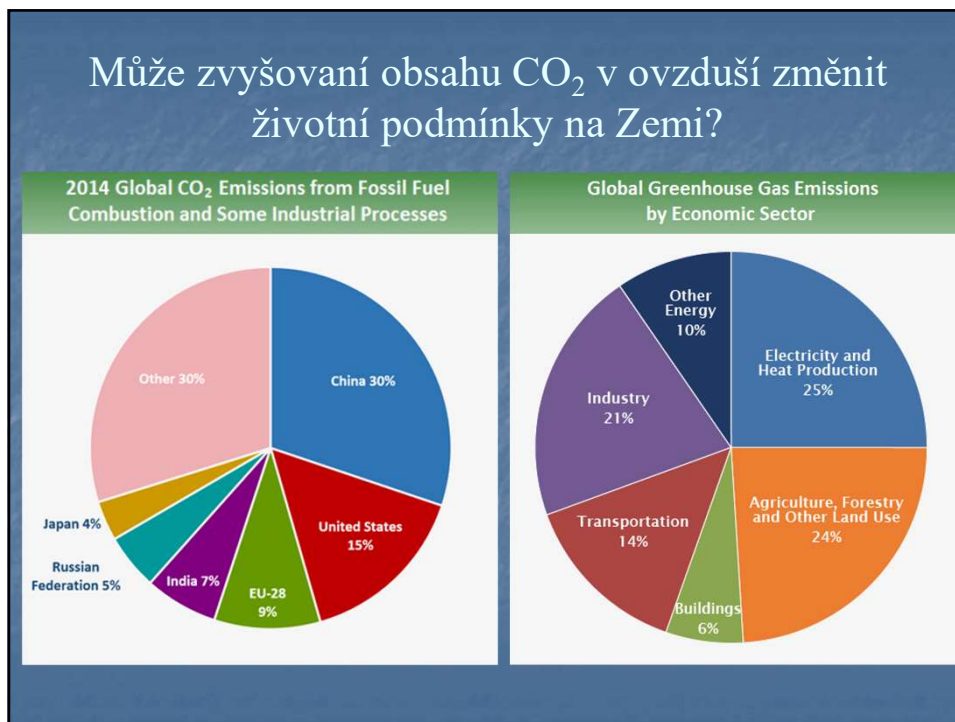
- oceány 54,9 %
- lesy 41,5 %
- lidská činnost 3,6 %

### Podíl na GHE

- vodní pára 60 %
- CO<sub>2</sub> 20 %
- metan 7,2 %
- další plyny (freony,...) 5,6 %

4

## Může zvyšování obsahu CO<sub>2</sub> v ovzduší změnit životní podmínky na Zemi?



5

## Může zvyšování obsahu CO<sub>2</sub> v ovzduší změnit životní podmínky na Zemi?

### Globální bilance

■ celková emise GHC	100 %
■ z toho CO <sub>2</sub> 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

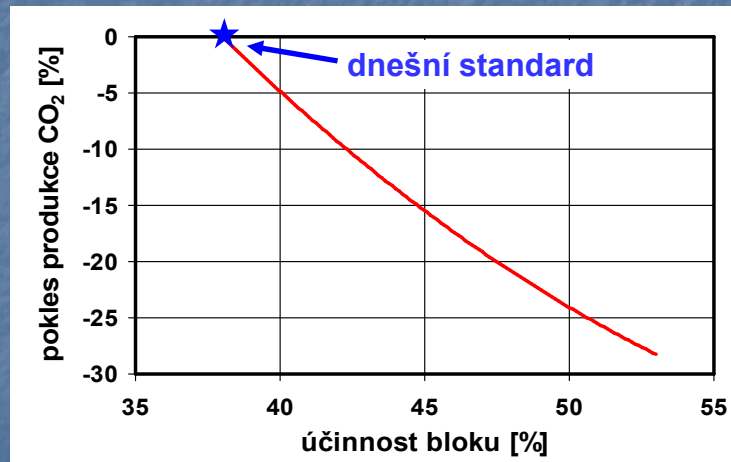
7

## 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 uhelného bloku na produkci CO<sub>2</sub>



9

9

## Účinnost bloku uhelné parní elektrárny

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

kde je

- $\eta_o$  účinnost reálného tepelného oběhu
- $\eta_k$  účinnost kotle
- $\eta_p$  účinnost parovodů
- $\eta_m$  mechanická účinnost turbíny
- $\eta_g$  účinnost generátoru
- $\eta_{tr}$  účinnost transformace
- $\eta_{vs}$  respektování vlastní spotřeby

10

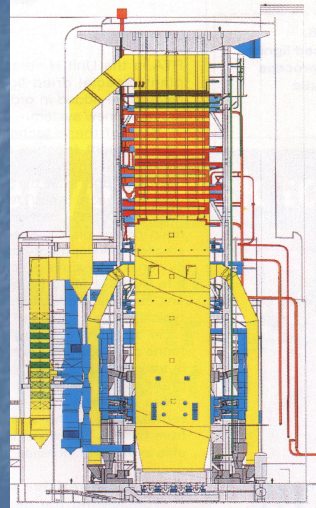
10



## Účinnost kotle

je dána pěti ztrátami :

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



11

11

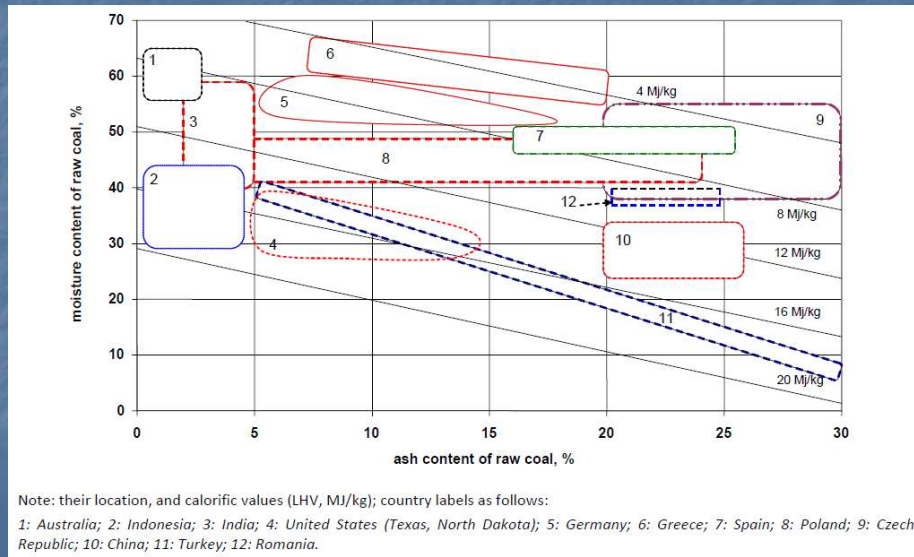
## Velikost ztrát závisí :

- 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



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

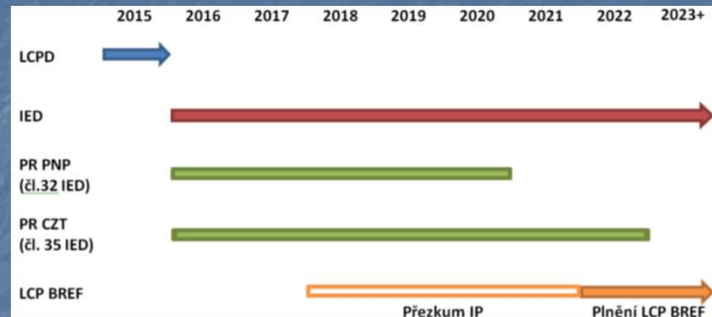
- První LCP BREF schválen v roce 2006
- Zahájení revize LCP BREF v roce 2011
- Draft 1 LCP BREF v červenci 2013 - 8500 připomínek
- Pre-final draft a vyhodnocení split-views v únoru 2016
- Final draft LCP BREF v červnu 2016
- Fórum pro výměnu informací projednalo LCP BREF 20. října 2016 - dle EK byl 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](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 předpoklad, 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 fludní 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

19

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

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

20

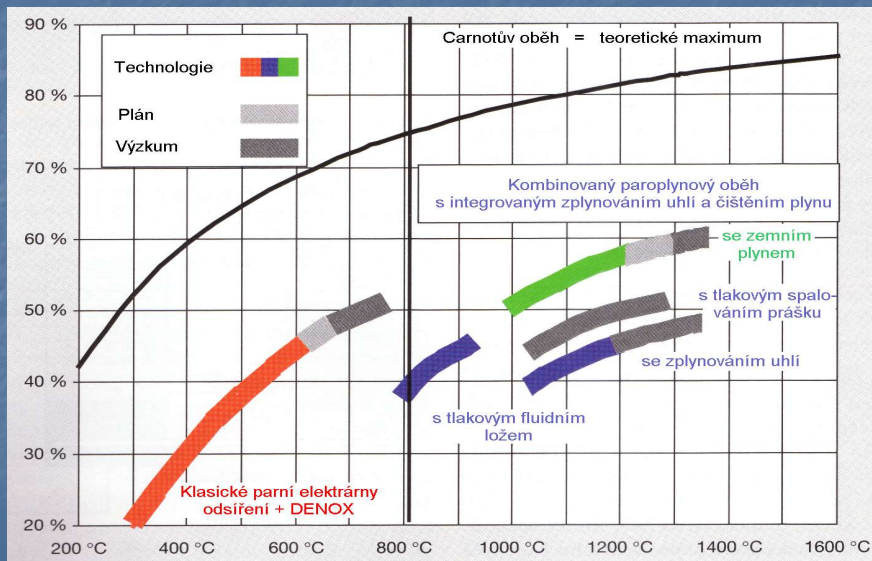
20

# Vývojové trendy, nové systémy

21

21

## Účinnost technologií na bázi využití uhlí



22

# Klasické parní elektrárny

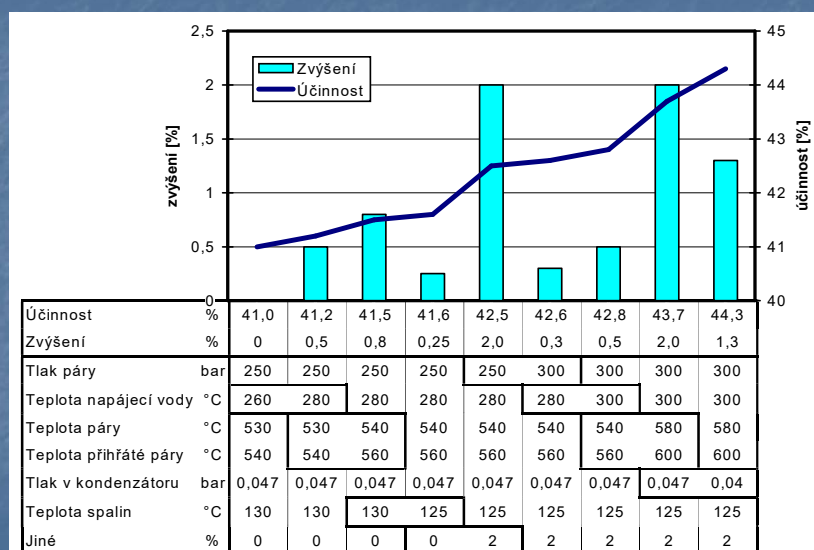
Pro zvyšování účinnosti se u tradiční osvědčené technologie parního oběhu používají všechna karnotizační opatření:

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

23

23

# Způsoby zlepšení účinnosti elektráren



24

24



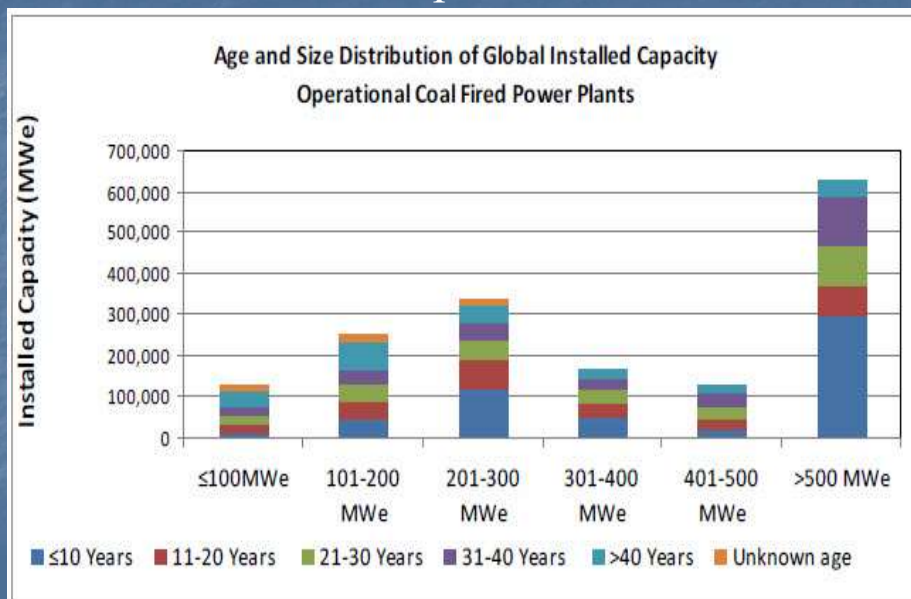
## Parametry admisní páry

- **Standard** - starší podkritické i nadkritické bloky s průměrnou čistou účinností v Evropě  $\eta_{\text{netto}}=0.38$ .
- **Stávající špička** „Generace 600“ s tlakem kolem 30MPa, 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 33MPa/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

25

## Práškové spalování uhlí



26

## Práškové spalování uhlí

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

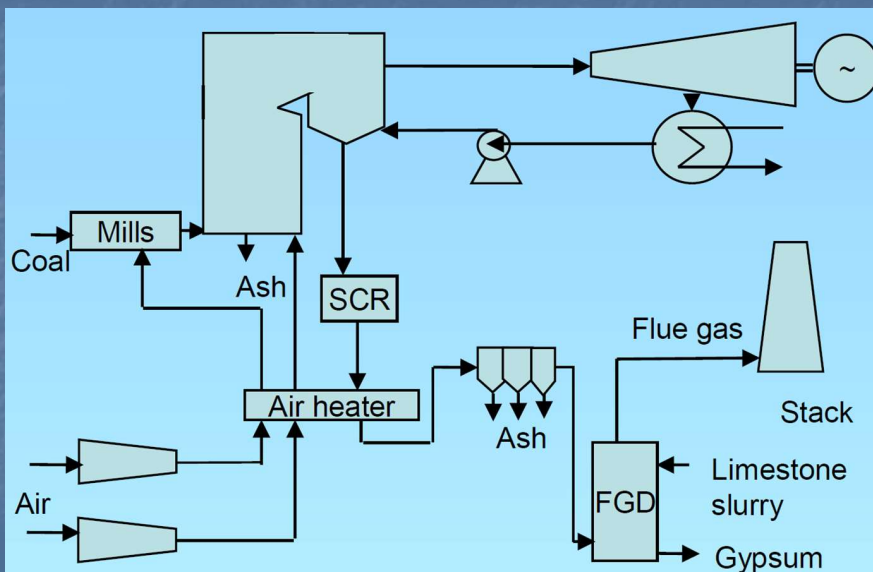
### Výhled:

- 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

27

## Práškové spalování uhlí



28

28

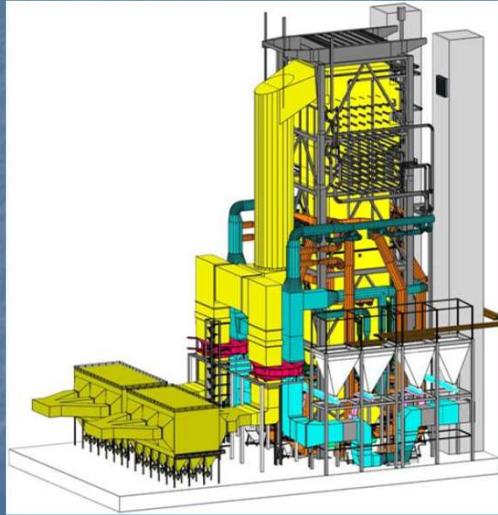
## Nejnovější realizace na HU

### 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

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

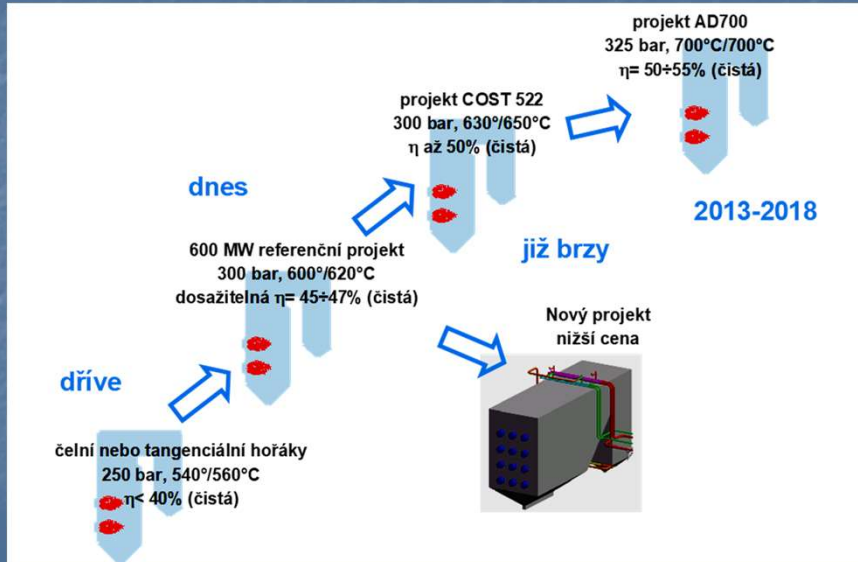
NO<sub>x</sub> 20 mg/Nm<sup>3</sup>  
SO<sub>2</sub> 6 mg/Nm<sup>3</sup>  
TZL 1 mg/Nm<sup>3</sup>



30

30

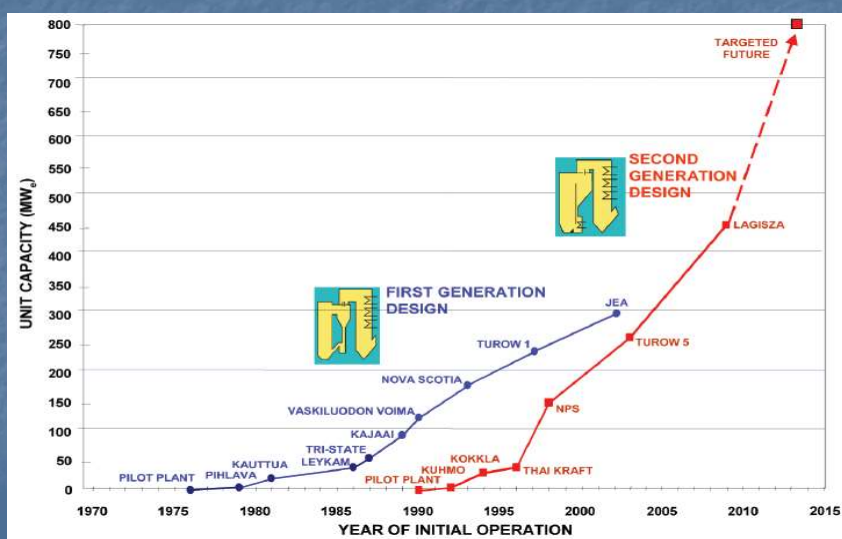
## Vývojový trend v oblasti práškových kotlů



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  $\text{NO}_x$  a možnost aditivního odsiřování

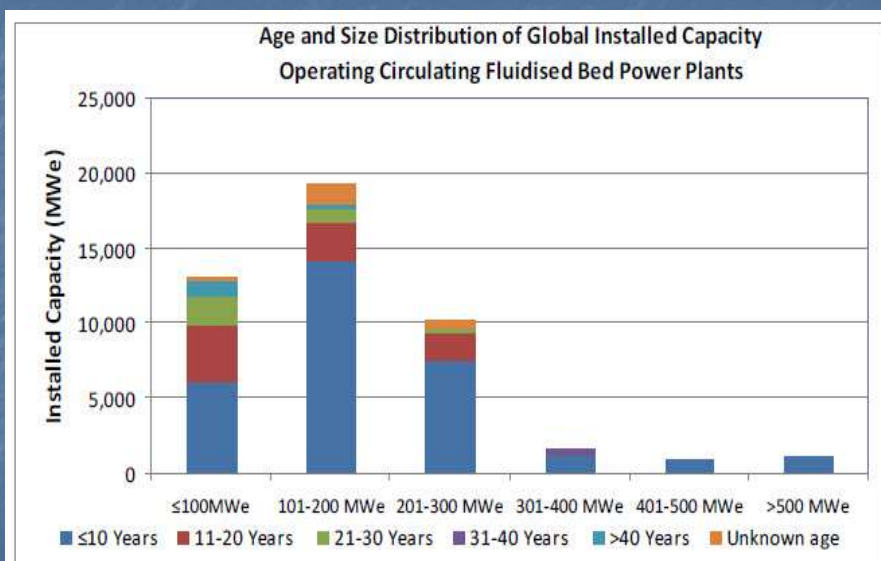
### Výhled:

- 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

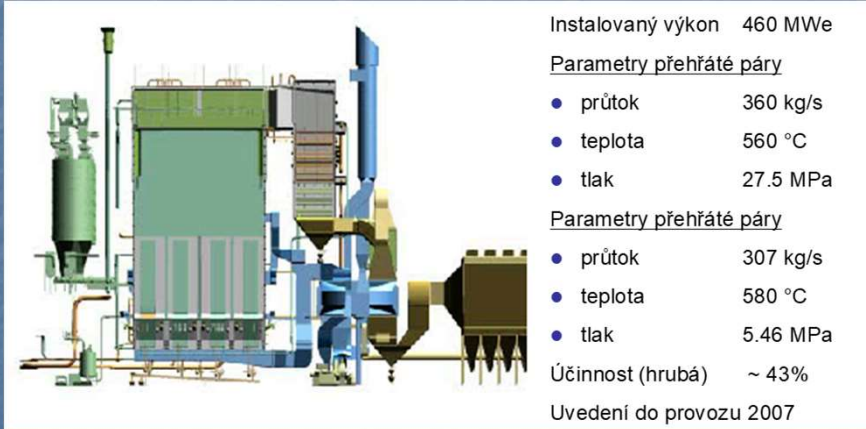


34

34

## Nejlepší světové reference

### Lagisza, 460 MWe



35

35

## Nejlepší světové reference

### Baima, 600 MWe

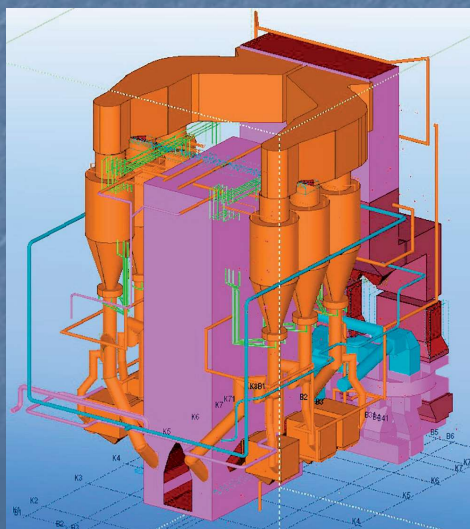


TABLE 1. Design parameters of the 600-MW<sub>e</sub> SC CFB boiler

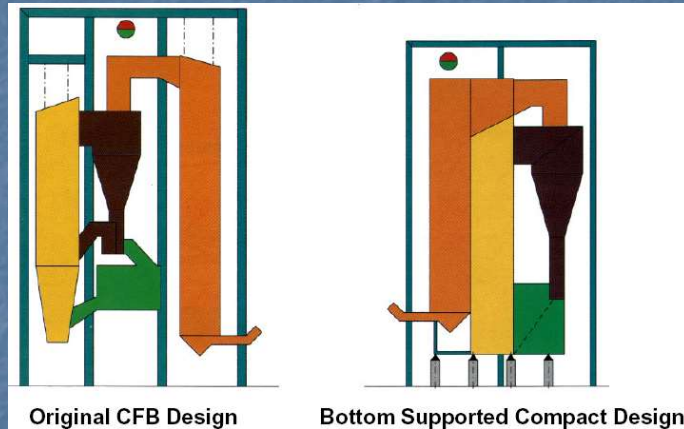
Design Parameter	Units	Value
Steam Output	tonnes/hr	1900
Main Steam Pressure	MPa	25.4
Main Steam Temperature	°C	571
Reheat Steam Flow Rate	tonnes/hr	1553
Inlet/Outlet Pressure of Reheated Steam	MPa (absolute)	4.58/4.43
Inlet/Outlet Temp. of Reheated Steam	°C	317/569
Feeding Water Temp.	°C	284
SO <sub>x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

36

36

## Vývojové trendy fluidních kotlů

### vývoj kompaktního fluidního kotle (Lurgi)



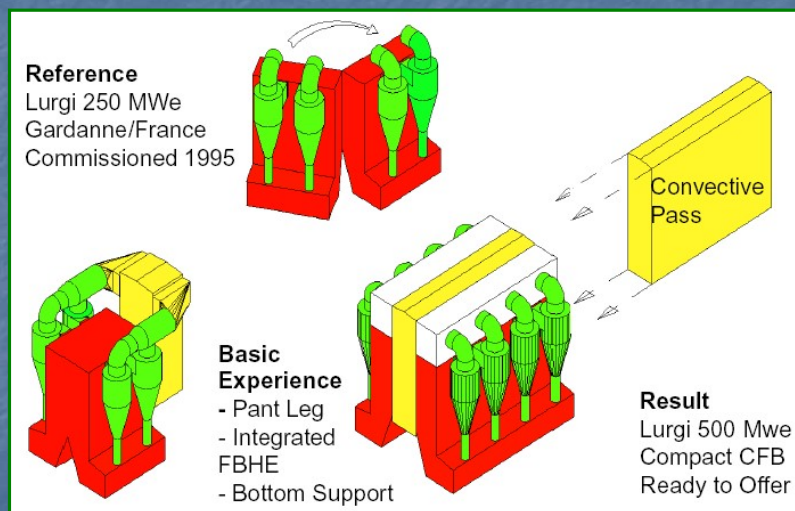
- zaujímá 70% objemu klasického řešení
- pro výkony až 500 MWe

37

37

## Vývojové trendy fluidních kotlů

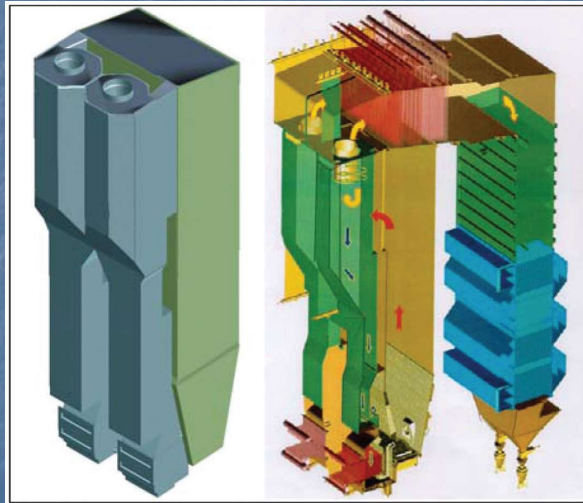
### vývoj kompaktního fluidního kotle (Lurgi)



38

38

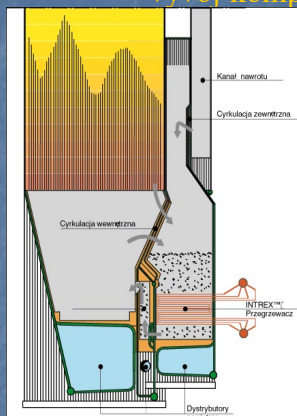
## Vývojové trendy fluidních kotlů vývoj kompaktního fluidního kotle (Foster Wheeler)



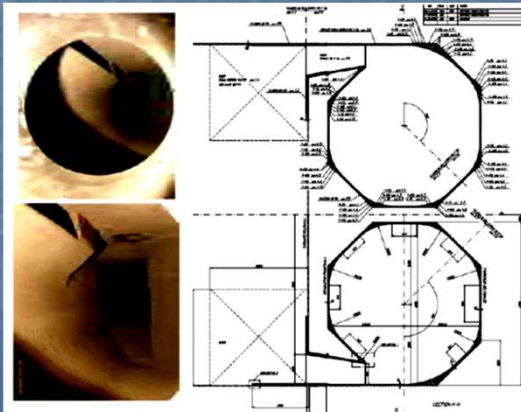
39

39

## Vývojové trendy fluidních kotlů vývoj kompaktního fluidního kotle (Foster Wheeler)



- INTREX – výstupní přehřívák umístěný do materiálu fluidní vrstvy
- chlazený kompaktní odlučovač

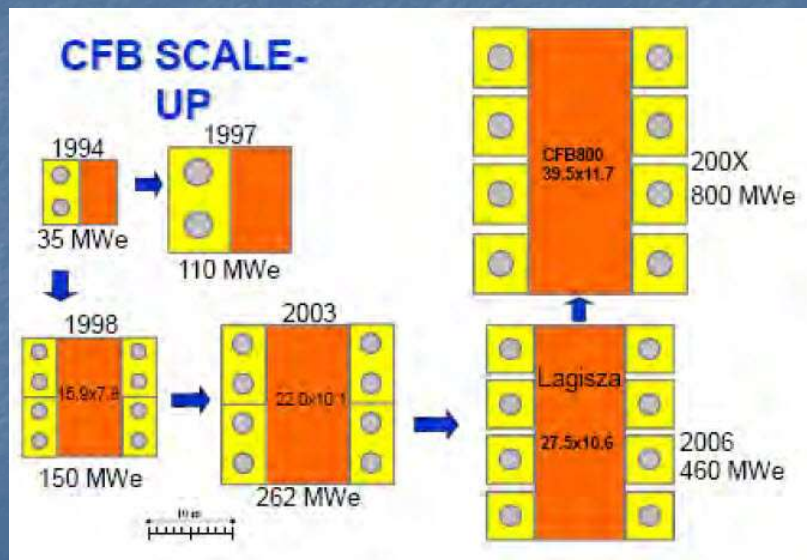


40

40



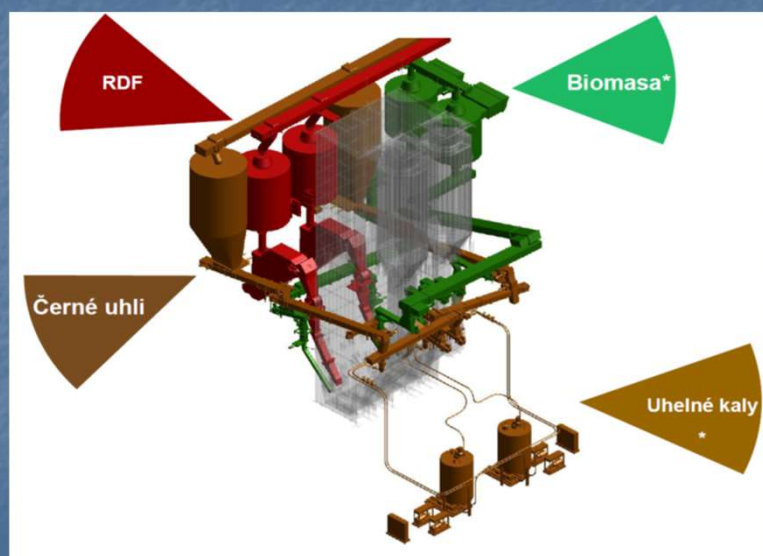
## Vývojové trendy fluidních kotlů zvyšování kapacity kompaktních ohnišť



41

## Vývojové trendy fluidních kotlů

zvládnutí multipalivového programu - CFB kotel Zabrze (Polsko)



42

42

## Materiály pro superkritické parametry páry

### Ocel P91 (17 119)

- dnes standardní konstrukční materiál
- přípouští 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

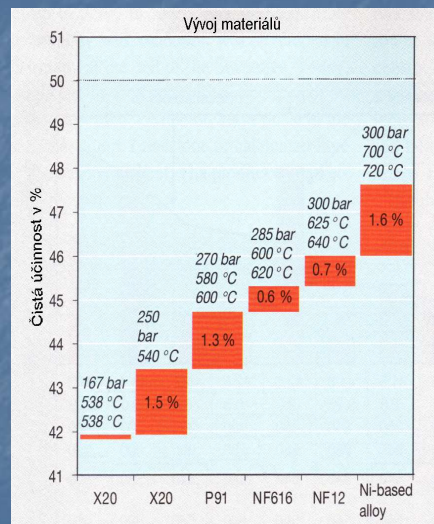
43

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

44

## Nové materiály pro vysoké parametry páry

Prvek		P 91	E911	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 max	≤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 <sup>3</sup> hod.	600°	94	(115)	(115)	(115)	(150*)

45

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

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

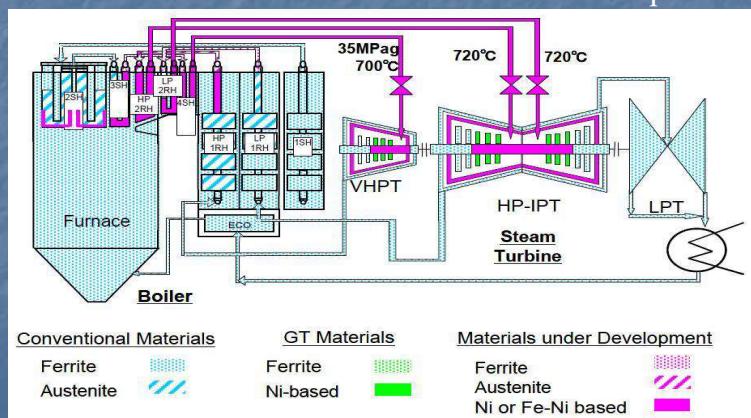


47

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

48



## Využití odpadního tepla spalin

Cílem je dochladiť spaliny pod teplotní úroveň, s níž běžně opouštějí 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

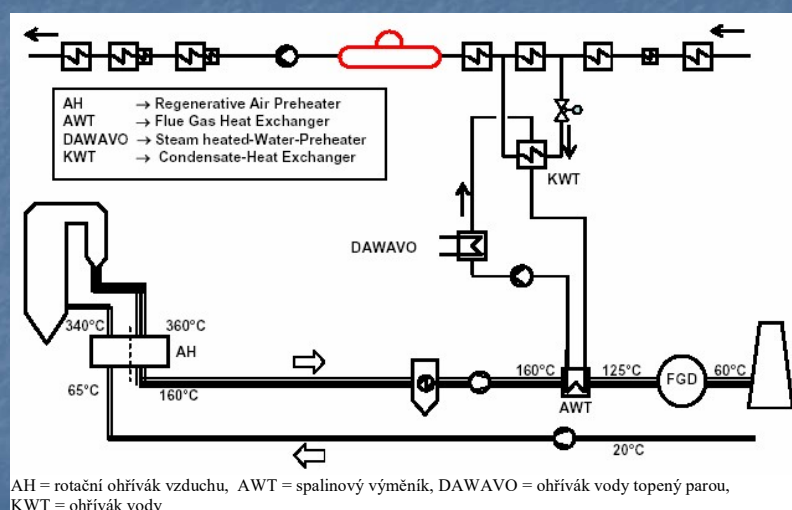
Nabízí se tyto možnosti

- 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

49

## System uplatnění odpadního tepla spalin v NTO

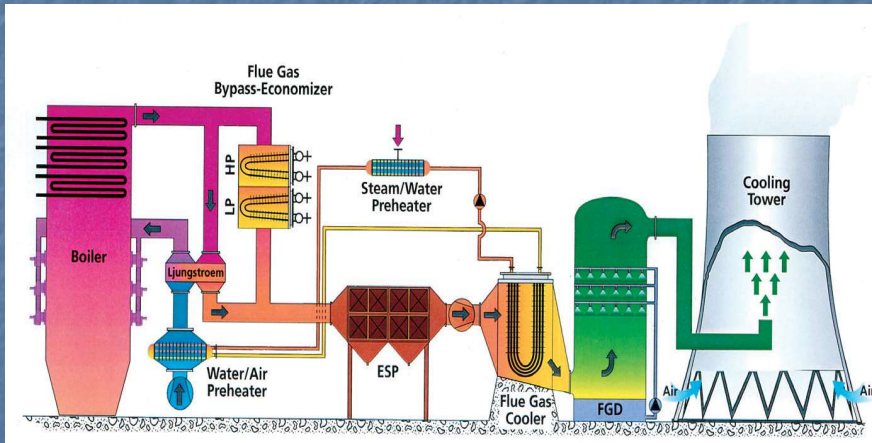


50

50

# Uplatnění odpadního tepla spalin v NTO a VTO

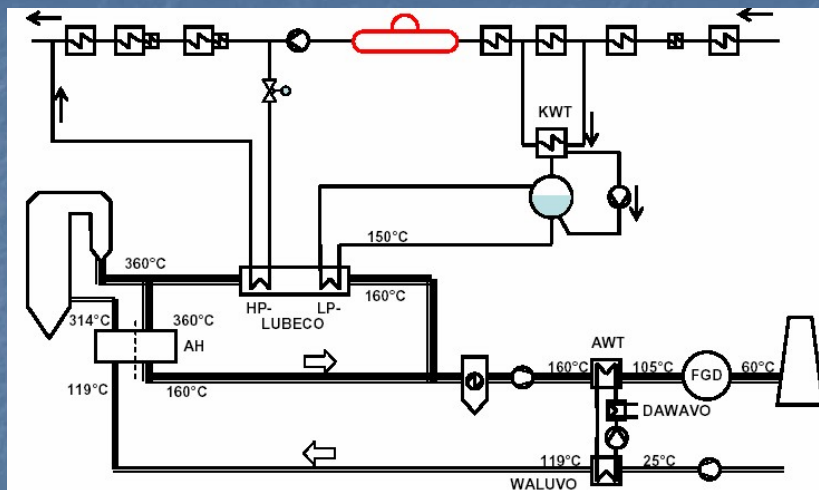
## System LUBECO



51

51

## System LUBECO



AH = rotační ohřívák vzduchu, LUBECO = obtok AH s ohříváky vody, WALUVO = vodní ohřívák vzduchu, AWT = spalinový výměník, DAWAVO = ohřívák vody topený parou, KWT = ohřívák vody

52

52

## Zjištěné aplikace

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

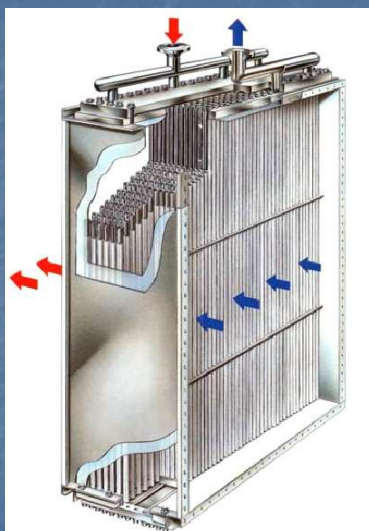
- Schwarze Pumpe, 2 x 816 MWel,
- Lippendorf, 2 x 933 MWel,
- Neurath, 2 x 640 MWel.

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

53

53

## Výměník spalin / voda z PFA



54

54

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

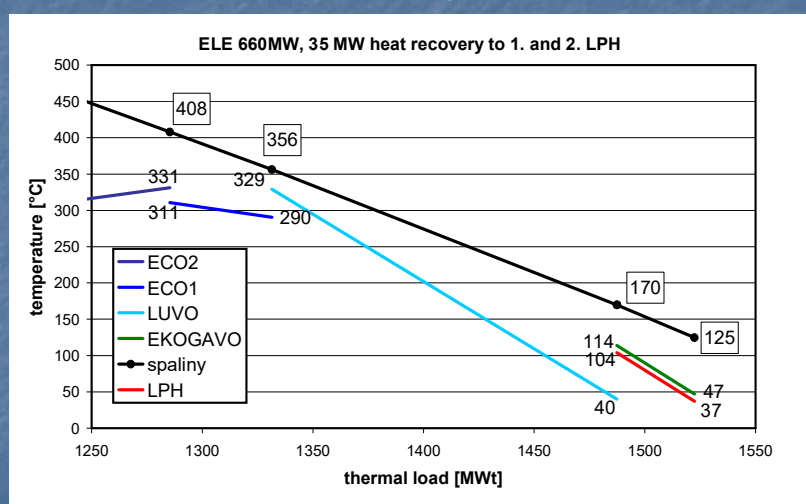
Posouzení bylo provedeno porovnáním několika variant:

- 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 vlásenkami 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

55

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



56

56



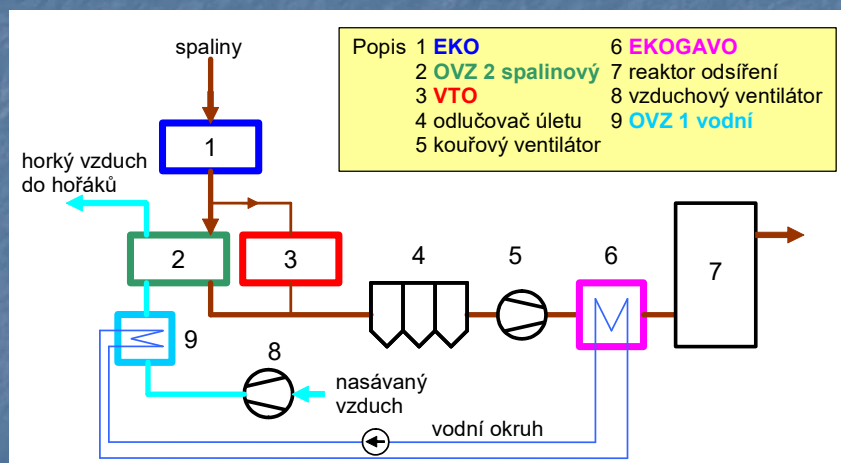
## Změna účinnosti oběhu a velikosti výchřevných ploch

Varianta			1	2	3	4
		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

57

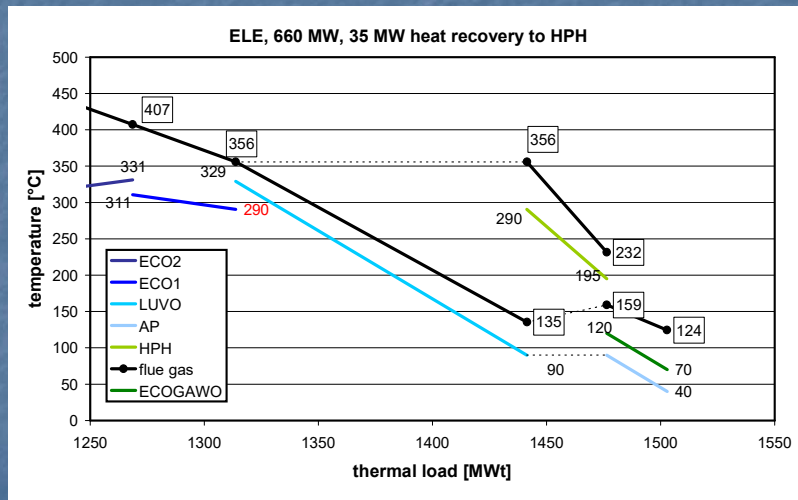
## Využití odpadního tepla spalin do VTO - návrh



58

58

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



59

59

## Změna účinnosti oběhu a velikosti výhřevných ploch

Varianta			1	2	3	4	
		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

60