

Pokročilé technologie spalování tuhých paliv

Možnosti zvyšování účinnosti

1

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

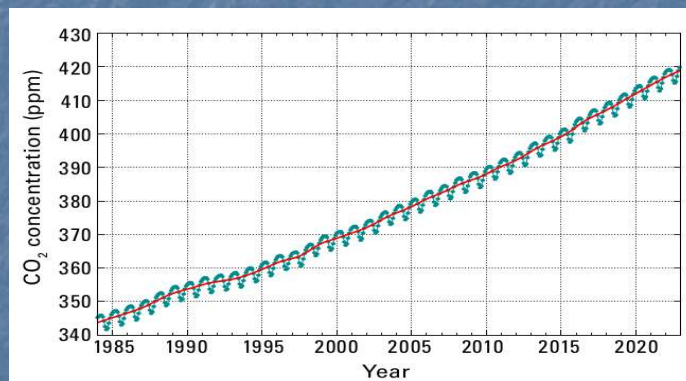
- otázka je komplexní a velmi složitá, nicméně pravděpodobně správná odpověď zní ANO

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

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

- je jisté, že množství CO₂ vypouštěného ze spalovacích procesů do atmosféry roste



- jednoznačné spojení s rostoucí koncentrací CO₂ v atmosféře a oteplováním klimatu je však zjednodušené

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

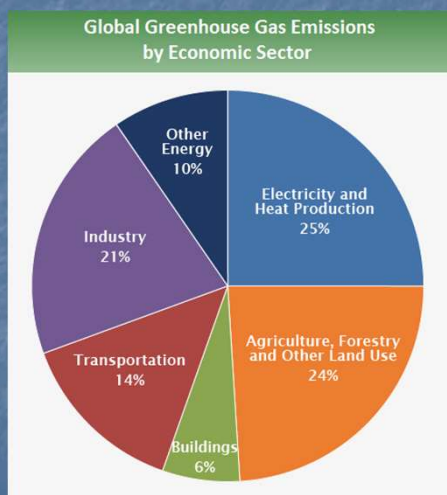
Celková bilance produkce CO₂

- 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 %

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

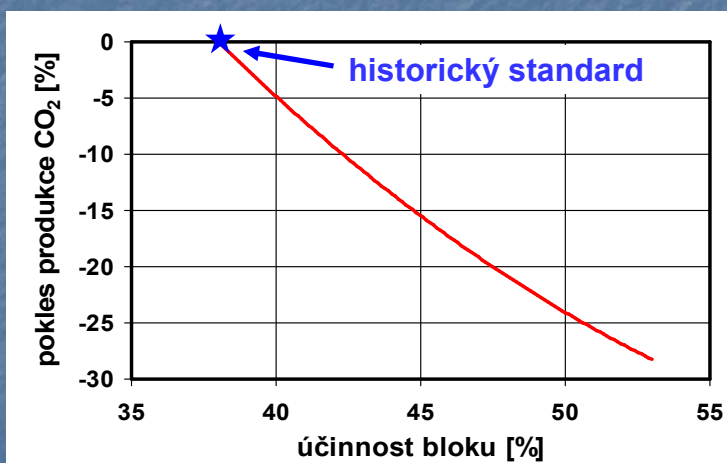


**Vývojové trendy,
nové systémy**

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%

Vliv účinnosti uhelného bloku na produkci CO₂



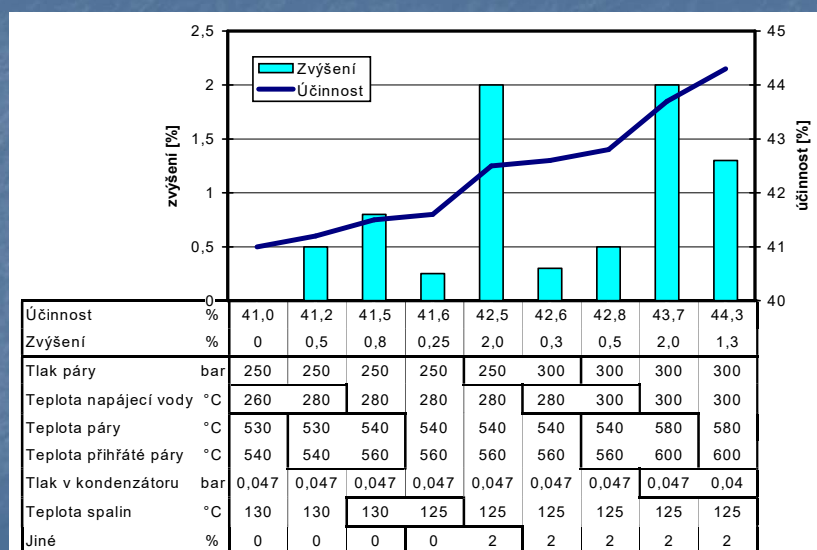
Klasické parní elektrárny

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

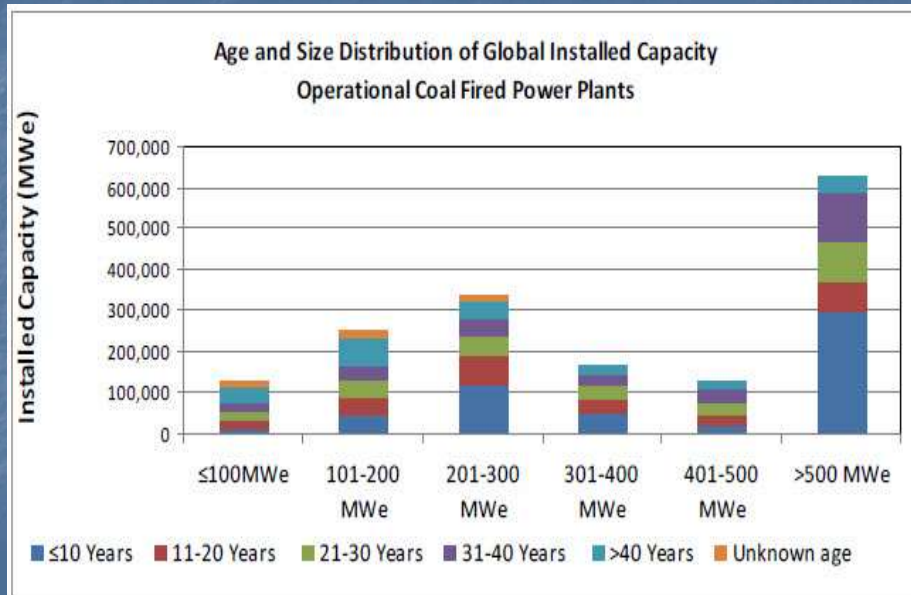
9

Způsoby zlepšení účinnosti elektráren



10

Práškové spalování uhlí



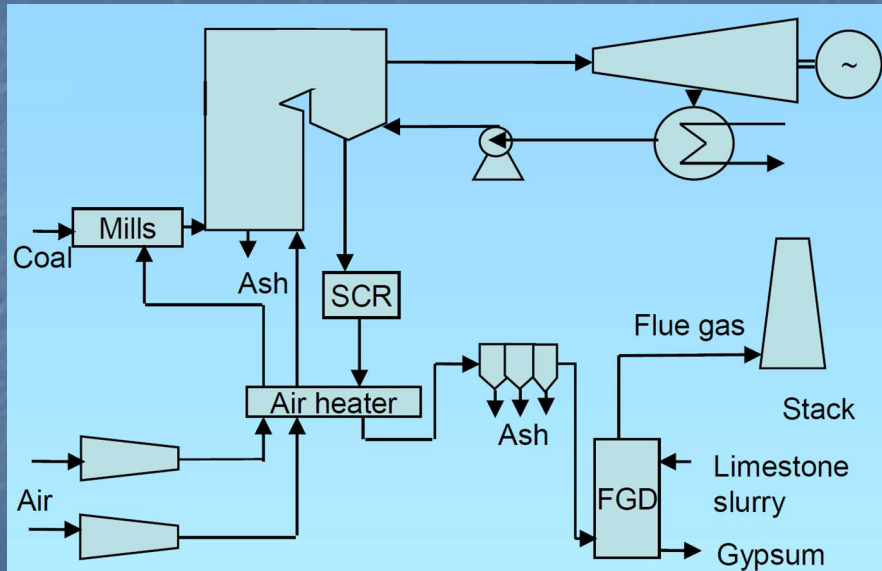
Práškové spalování uhlí

- 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 ($\eta > 50\%$)

Práškové spalování uhlí



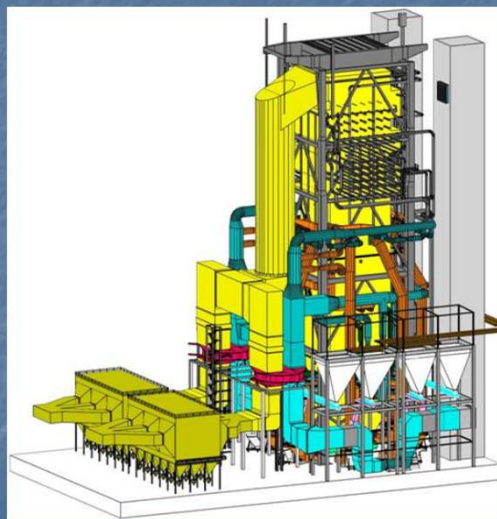
Nejnovější realizace na HU

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
 přehřátá pára 55 bar/605°C
 hmotnost 51500 t



14

Nejlepší světové realizace

Pingshan 2, Čína

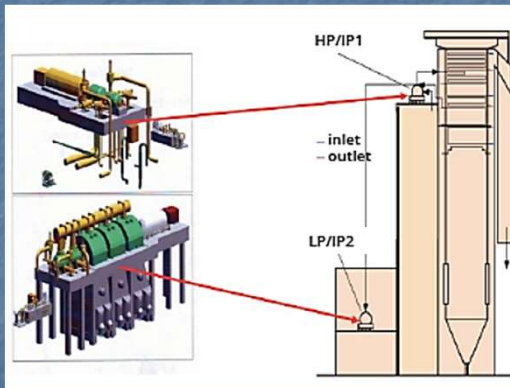
národní demonstrační projekt
do provozu 2022



palivo ČU
čistý výkon 1350 MW
čistá účinnost 49,8 %

kotel

věžový, průtočný
ostrá pára 325 bar/610°C
1. přehřívání 96,5 bar/630°C
2. přehřívání 22,9 bar/623°C



15

USC technologie v Číně

parametry Pingshan II a budoucí technologie

Fuel Specifications	Design Condition		Annual Average Load Rate at 80%	
	Elevated T-G unit with 600 °C (1112 °F) Main Steam Temp.	Future Elevated T-G unit with 700 °C (1292 °F) Main Steam Temp.	Elevated T-G unit with 600 °C (1112 °F) Main Steam Temp.	Future Elevated T-G unit with 700 °C (1292 °F) Main Steam Temp.
Annual Average Coal Consumption Rate	246.7 g/kWh (0.54 lb/kWh)	231.8 g/kWh (0.51 lb/kWh)	251.7 g/kWh (0.55 lb/kWh)	236.2 g/kWh (0.52 lb/kWh)
Annual Average Net Efficiency, LHV	49.8%	53.0%	48.8%	52.0%
Heat Rate	6,897 kJ/kWh (6,537 Btu/kWh)	6,621 kJ/kWh (6,275 Btu/kWh)	7,377 kJ/kWh (6,992 Btu/kWh)	6,923 kJ/kWh (6,562 Btu/kWh)
Annual Average CO ₂ Emissions (Gross)	622.7 g/kWh (1.37 lb/kWh)	588.2 g/kWh (1.30 lb/kWh)	635.4 g/kWh (1.40 lb/kWh)	599.5 g/kWh (1.32 lb/kWh)
Annual Average CO ₂ Emissions (Net)	666.0 g/kWh (1.47 lb/kWh)	625.7 g/kWh (1.38 lb/kWh)	679.6 g/kWh (1.50 lb/kWh)	637.8 g/kWh (1.41 lb/kWh)

16

Využití odpadního tepla spalín

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

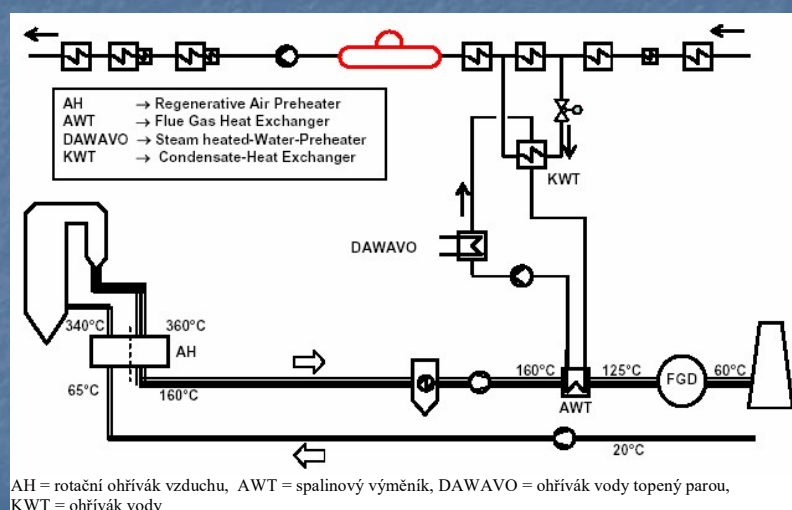
- teplota v dochlazovacím výměníku klesá pod úroveň teploty rosného bodu spalín
- při volbě vysoké teploty napájecí vody nelze již odpadní teplo spalín v rámci klasické koncepce kotle uplatnit

Nabízí se tyto možnosti

- uplatnění tepla z dochlazení spalín v rámci nízkotlakého či vysokotlakého regeneračního ohřevu napájecí vody (NTO)
- uplatnění tepla z dochlazení spalín pro předehřev vratné vody ze systému CZT

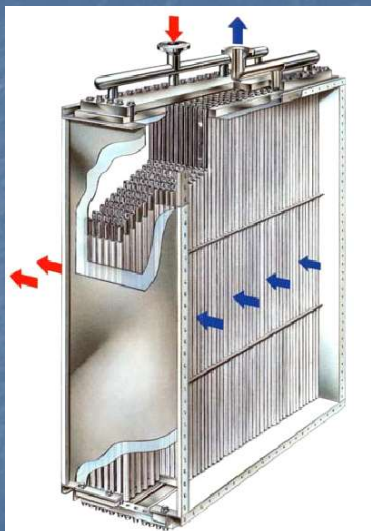
17

System uplatnění odpadního tepla spalín v NTO



18

Výměník spaliny / voda z PFA



19

Zjištěné aplikace

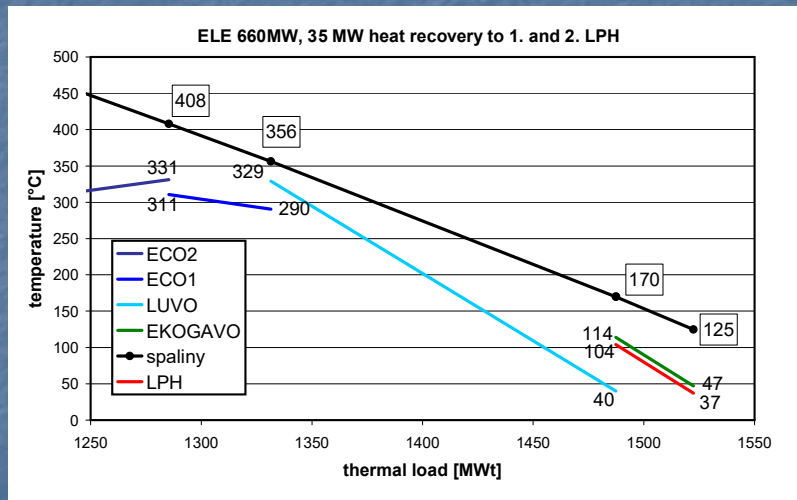
System uplatnění tepla z dochlazení spalin v NTO s použitím výměníků PFA byl aplikován na následujících zdrojích spalujících hnědé uhlí:

- Schwarze Pumpe, 2 x 816 MWel,
- Lippendorf, 2 x 933 MWel,
- Neurath, 2 x 640 MWel
- Ledvice, 1 x 660 MWe

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
LPH	%	-	0,0	67,2	106,5	337,0
účinnost bloku	%	45,19	45,47	45,61	45,59	45,75

20

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



21

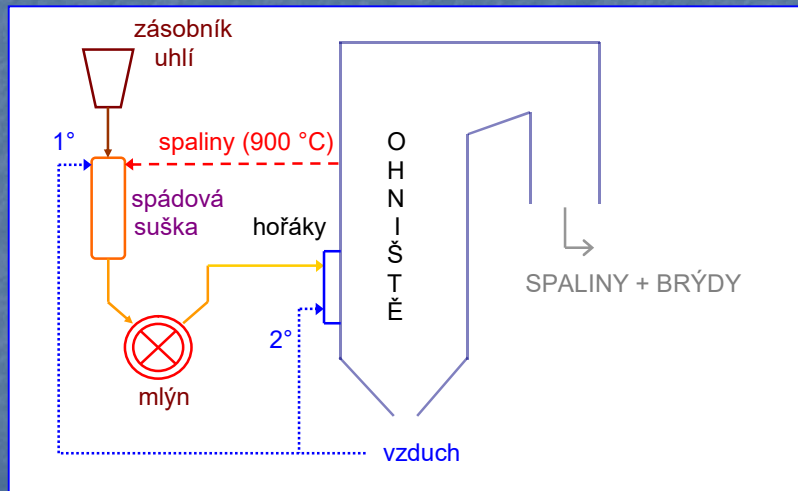
Perspektivní metody sušení pevných paliv

PROČ sušení pevných paliv ?

- zvýšení výhřevnosti
- snazší vzněcování
- spalování při vyšší teplotě
- menší objem spalín
- menší kotel, filtr spalín a ventilátor
- nižší vlastní spotřeba

22

Klasická metoda sušení horkými spalinami Uzavřený mlecí okruh



23

Energetická náročnost sušení je značná

Většina dodané energie se **ztrácí**

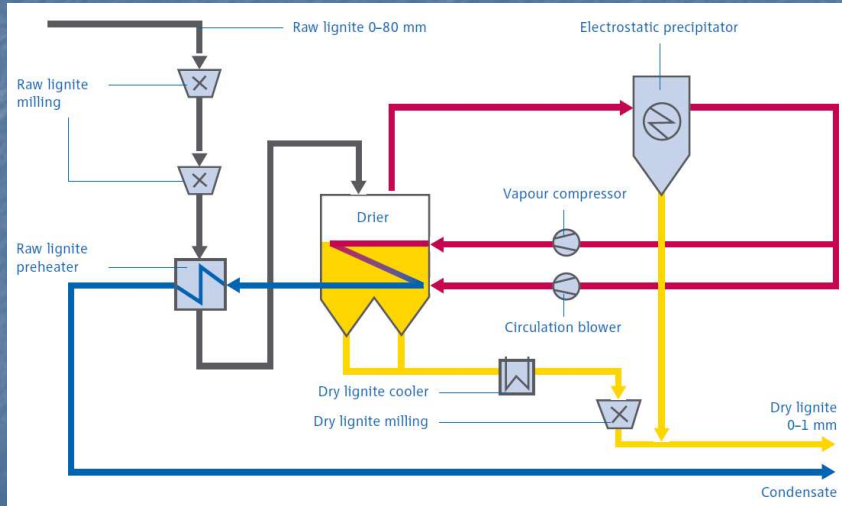
Příklad

při obsahu vlhkosti v uhlí $W^r = 0,3$
ztráta činí přibližně $6 \div 8 \%$ tepla v palivu

Pokud se podaří pro odstranění vody z paliva
použít odpadní teplo, zvýší se využitelný
energetický obsah paliva

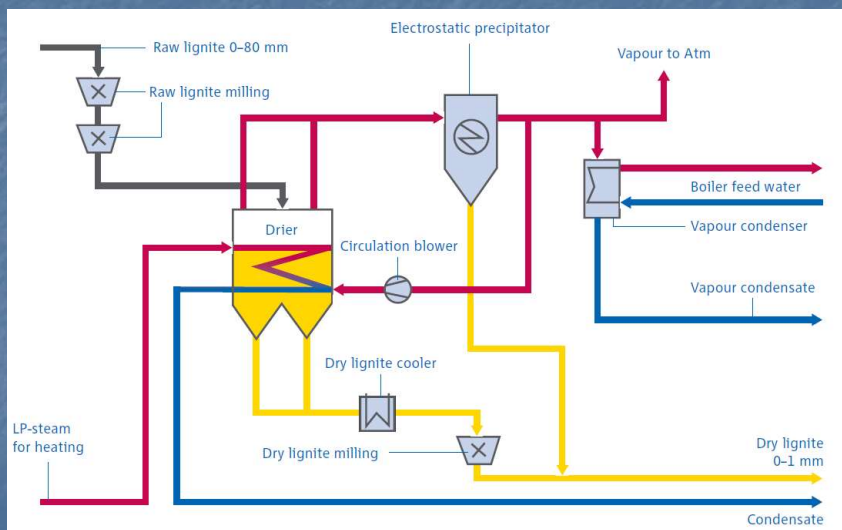
24

Fluidní sušení odpadním teplem (WTA) s kompresí páry



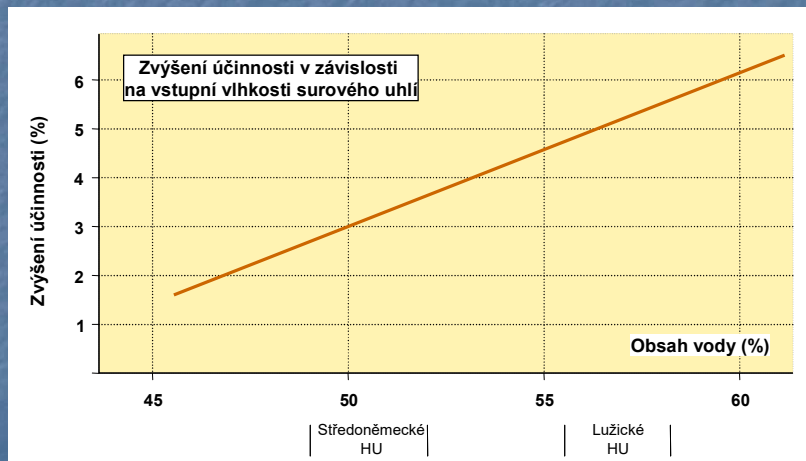
25

Fluidní sušení odpadním teplem (WTA) s kondenzací páry



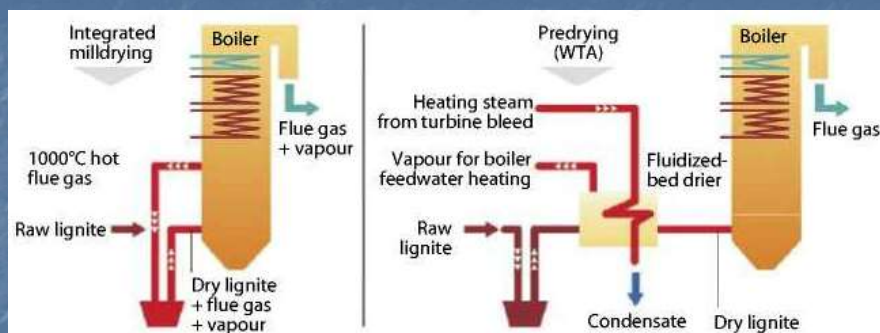
26

Parní fluidní suška na hnědé uhlí zvýšení účinnosti dle RWE



27

Porovnání klasického sušení s WTA



- **sušení horkými spalinami**
 - vede k velké exergetické ztrátě => zhoršení účinnosti
 - pára se dostává do kotle => zvětšuje objem spalin
- **sušení parou WTA**
 - využívá se nízkopotenciální teplo
 - pára jde mimo kotle k energetickému využití => menší kotol

28

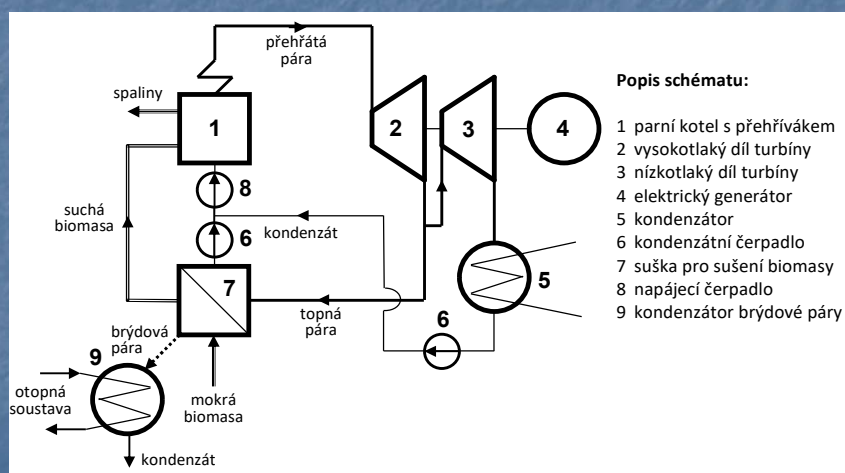
Výhody principu WTA

- menší a levnější kotel
- vyšší účinnost kotle
- zvýšení účinnosti výroby elektřiny
- jednodušší parní turbína – menší NT díl
- významné snížení spotřeby chladicí vody
- ekologický přínos

29

Aplikace kontaktního sušení u biomasové teplárny

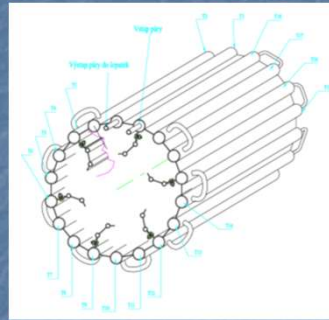
- je použita kontaktní sušička otápená nízkotlakou odběrovou parou



30

Aplikace kontaktního sušení u biomasové teplárny

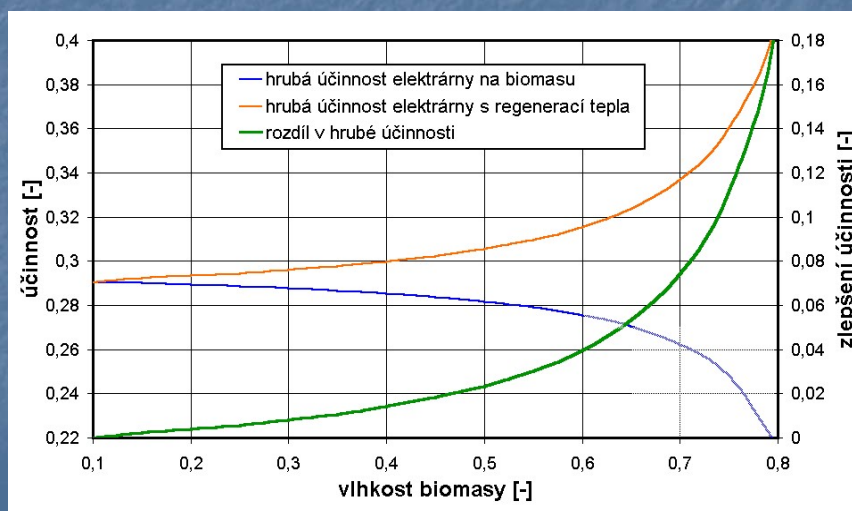
- je použita kontaktní suška otápaná nízkotlakou odběrovou parou



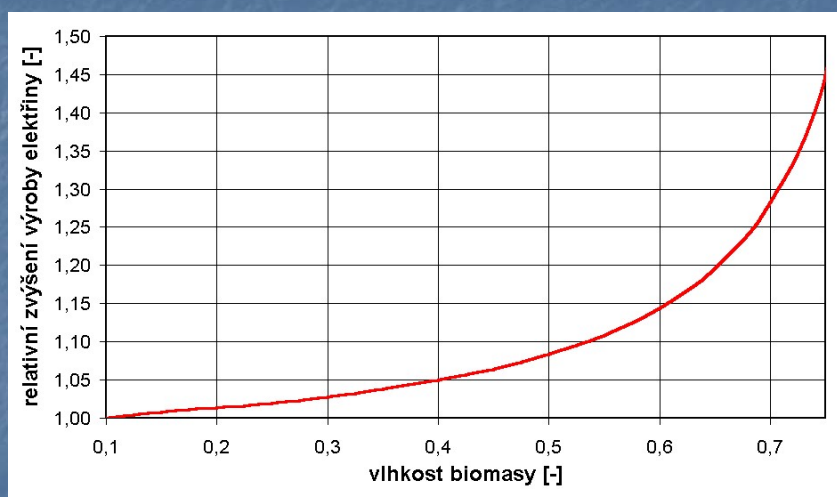
31

Potenciální zlepšení účinnosti

- bez využití tepla brýdové páry ze sušky



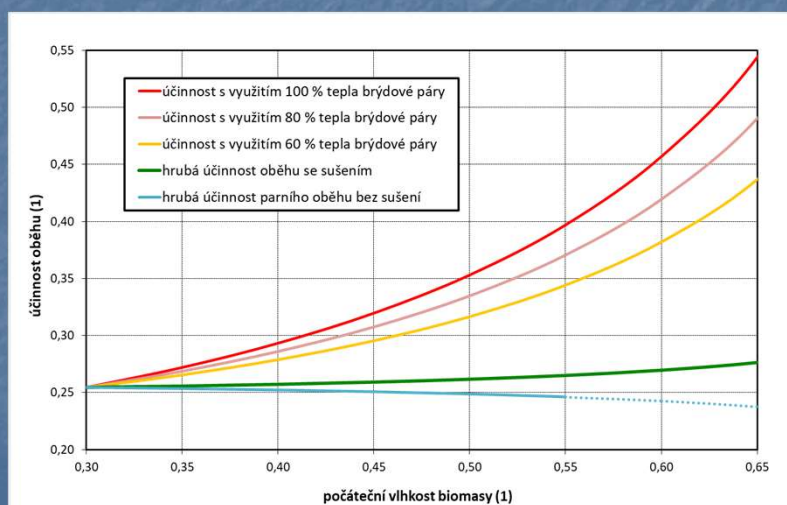
Relativní zvýšení výroby elektřiny z biomasy



33

Potenciální zlepšení účinnosti

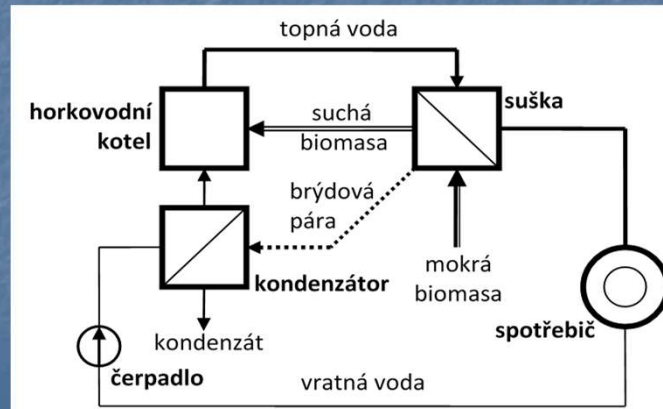
- s využitím tepla brýdové páry ze sušky



34

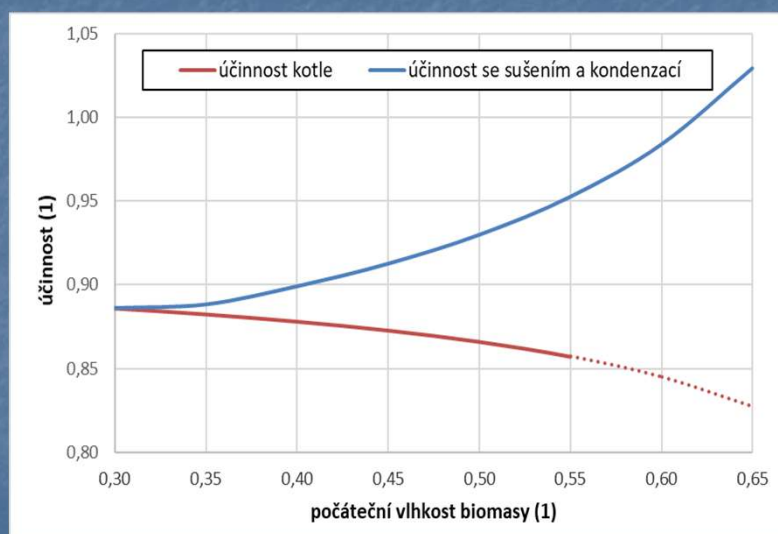
Aplikace kontaktního sušení u biomasové výtopny

- topná voda se v kotli o 30 až 40 °C nad požadovanou teplotu
- biomasa se suší v kontaktní sušce otápené topnou vodou
- brýdová pára se vede do kondenzátoru pro přehřev vratné vody



35

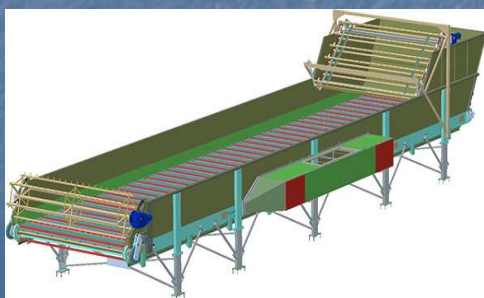
Potenciální zlepšení účinnosti



36

Sušení dřevní štěpky

- sušení biomasy v Plzeňské teplárenské
- kapacita 14 t mokré štěpky za hodinu.
- délka 20,0 m
- šířka 4,0 m
- výška 2,5 m
- výška vrstvy sušeného paliva 1,5 m
- doba zdržení štěpky 8 hodin
- snížení obsahu vody z 50 na 20 %



Spalování uhlí v cirkulující fluidní vrstvě

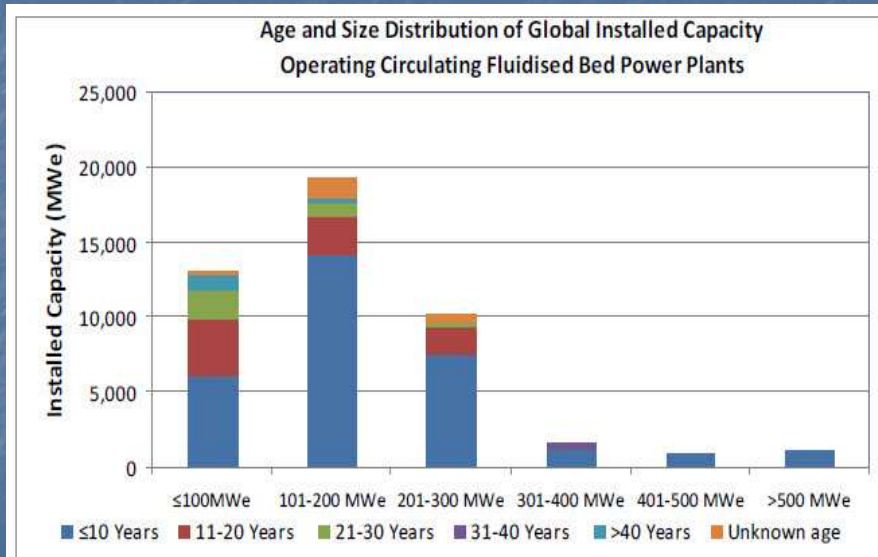
- instalovány stovky jednotek – výkony ve stovkách MWe
- vhodné pro uhlí nízké kvality a jiná paliva
- klasické metody pro snižování emisí dobře zvládnuty
- výhodou nízké emise NO_x a možnost aditivního odsiřování

Výhled:

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

38

Spalování uhlí v cirkulující fluidní vrstvě



39

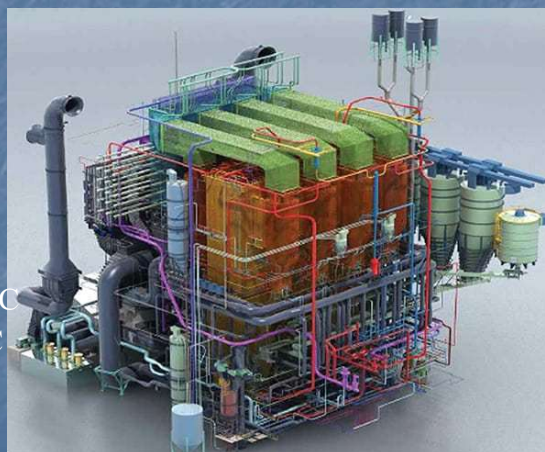
Nejlepší světové reference

Samcheok, Jižní Korea 1000 MWe

do provozu 2017
 palivo lignit
 čistý výkon 2x1000 MW
 čistá účinnost 42,4 %

kotel

FW koncept, průtočný
 parní výkon 436 kg/s
 ostrá pára 257 bar/603°C
 přehřátá pára 54 bar/603°C
 nap. voda 297 °C



40

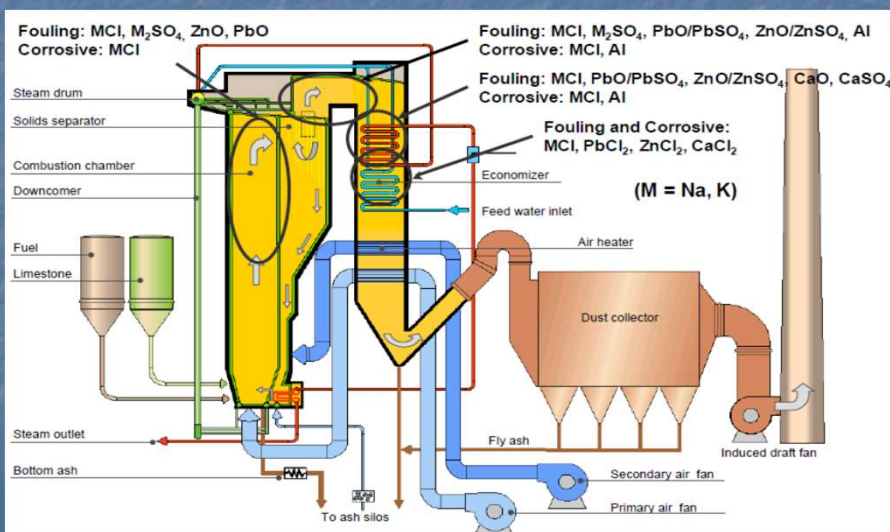
Vývojové trendy fluidních kotlů modifikované koncepce pro spalování biomasy a TAP

- problémy souvisejí s přítomností **chloru a alkalických příměsí** v palivu
- chlor je vázán
 - v TAP v plastech (PVC) a anorganických alkalických chloridech (NaCl , KCl , CaCl_2)
 - v agrární biomase (slámě) zejména ve formě KCl původem z umělých hnojiv
- chloridy alkalických kovů se během spalování odpaří, pak kondenzují v oblasti teplot 650 až 800 °C na povrchu přehříváků – tím vznikají rychle rostoucí nánosy
- chlor v kotli způsobuje vysokoteplotní chlorovou korozi
 - v oblasti spalovací komory – do procesu se zapojují roztavené soli alkalických chloridů a síranů - vznikají reakcemi mezi plynnými produkty spalování SO_2 a SO_3 s oxidy Na_2O a K_2O
 - v oblasti přehříváků – pod povrchem alkalických nánosů vzniká cyklický korozní mechanismus s FeCl
- při spalování paliv se zvýšeným podílem Cl je třeba aplikovat opatření pro snížení rizika chlorové koroze a zanášení kotle
- spalování dřevní štěpky, která chlor neobsahuje, nevyžaduje specifické úpravy spalovacího zařízení a tlakového celku fluidního kotle

41

Vývojové trendy fluidních kotlů modifikované koncepce pro spalování biomasy a TAP

Výskyt usazenin a korozně agresivních látek v kotli při spalování biomasy a odpadu



Vývojové trendy fluidních kotlů

modifikované koncepce pro spalování biomasy a TAP

Opatření, která by mohla působení negativní působení Cl na kotel omezit, lze rozdělit do tří kategorií:

- konstrukční
 - výběr vhodného materiálu, který by méně trpěl korozním napadením
 - opatření materiálu antikorozi povrchovou ochranou – keramika, cladding
- projekční – jedná se o umístění přehříváků do oblastí s nižší teplotou spalin
 - za spalovací komoru zařadit alespoň jeden volný tah pro dochlazení spalin pod 700 °C
 - výstupní přehřívák umístit do materiálu fluidního lože,
- provozní – použitím různých aditiv převážně na bázi síranů nebo fosforečnanů, které dokáží nežádoucí látky vázat

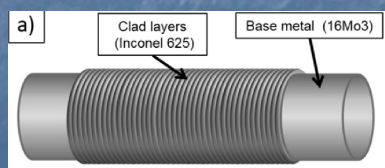
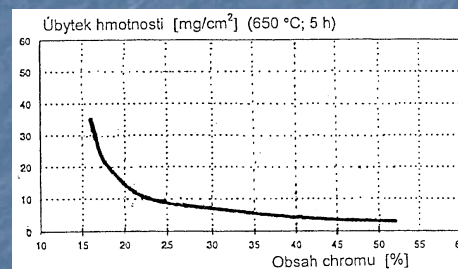
43

Vývojové trendy fluidních kotlů

modifikované koncepce pro spalování biomasy a TAP

Použití vhodné oceli

- běžně užívané oceli třídy 12 a 15 nemají dostatečnou odolnost proti chlorové korozi
- korozní odolnost lze zvýšit legováním chromem nad 15 % = užití austenitů
- ve vysoce exponovaných místech lze provést povrchový návar (cladding) materiálem Inconel 625 na bázi 58 % Ni a 23 % Cr



44

Vývojové trendy fluidních kotlů

modifikované koncepce pro spalování biomasy a TAP

Komplexní projekční řešení - kotel elektrárny Soderenergi, Igelsta - Švédsko

- parní výkon 330 t/h
- teplota páry 540 °C
- tlak páry 90 bar
- palivo štěpka 75 %, TAP 25 % $Cl^d = 0,12 \%$, $N^d = 0,6 \%$, $S^r = 0,05 \%$,
- elektrický výkon 85 MW_{el}
- tepelný výkon 240 MW

Aby nedošlo k zanášení a korozi, kotel má:

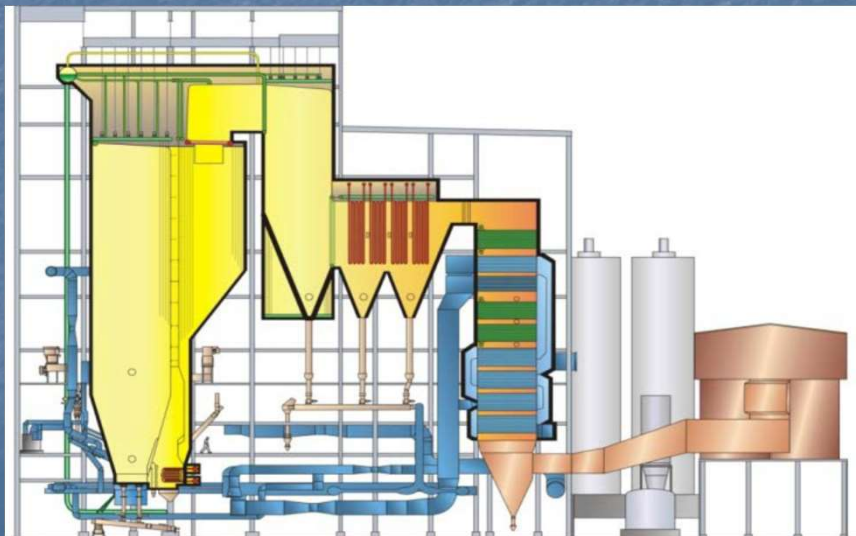
- koncový přehřívač umístěný v recirkulovaném fluidizačním materiálu
- prázdný tah pro prodloužení doby zdržení spalin, aby se ochladily a vyčistily před vstupem do konvektivních přehřívačů
- vodní ostřikovače na bocích prázdného tahu pro čištění jeho stěn a pružinová kladiva pro oklepávání usazenin z konvektivních přehřívačů
- dávkování sírových granulí pro zvýšení teploty tavení popílků
- závěsné austenitické přehřívačky, které lze snadno vyměnit střechou

45

Vývojové trendy fluidních kotlů

modifikované koncepce pro spalování biomasy a TAP

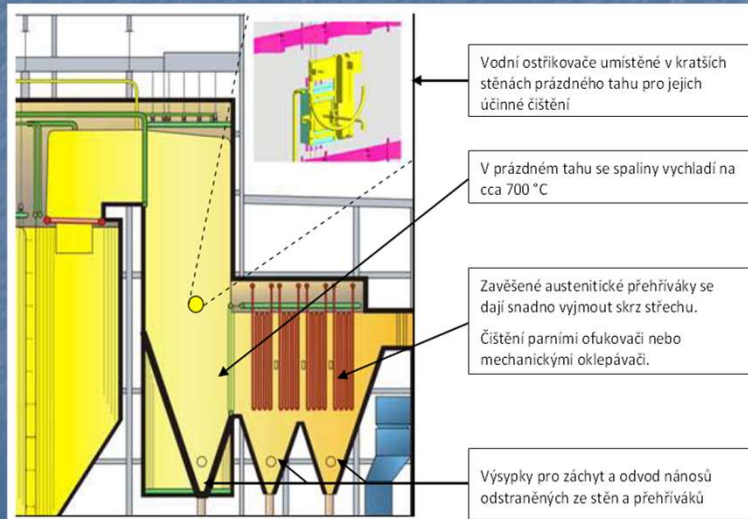
kotel elektrárny Soderenergi, Igelsta



Vývojové trendy fluidních kotlů

modifikované koncepce pro spalování biomasy a TAP

opatření aplikovaná pro omezení zanášení a koroze výhřevných ploch

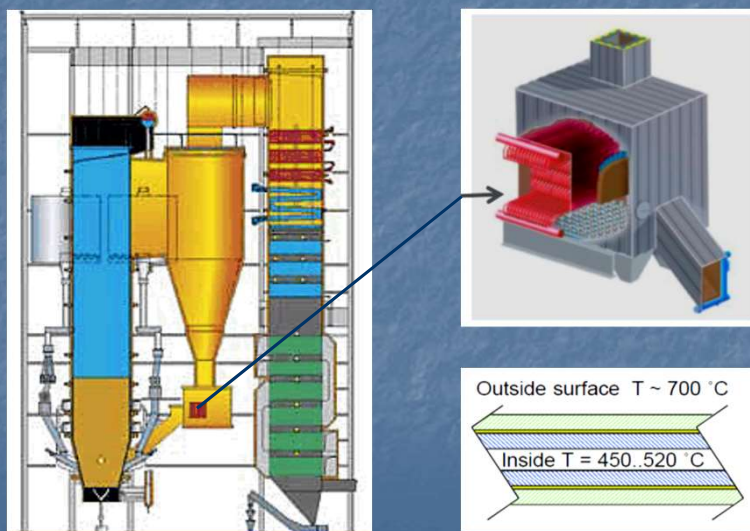


47

Vývojové trendy fluidních kotlů

modifikované koncepce pro spalování biomasy a TAP

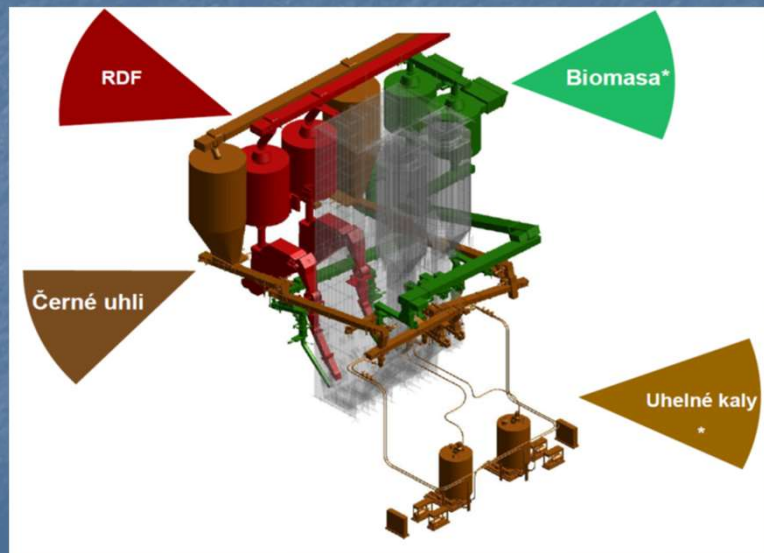
výstupní přehřívák umístěný do recirkulovaného materiálu fluidního lože



48

Vývojové trendy fluidních kotlů

zvládnutí multipalivového programu - CFB kotel Zabrze (Polsko)



49