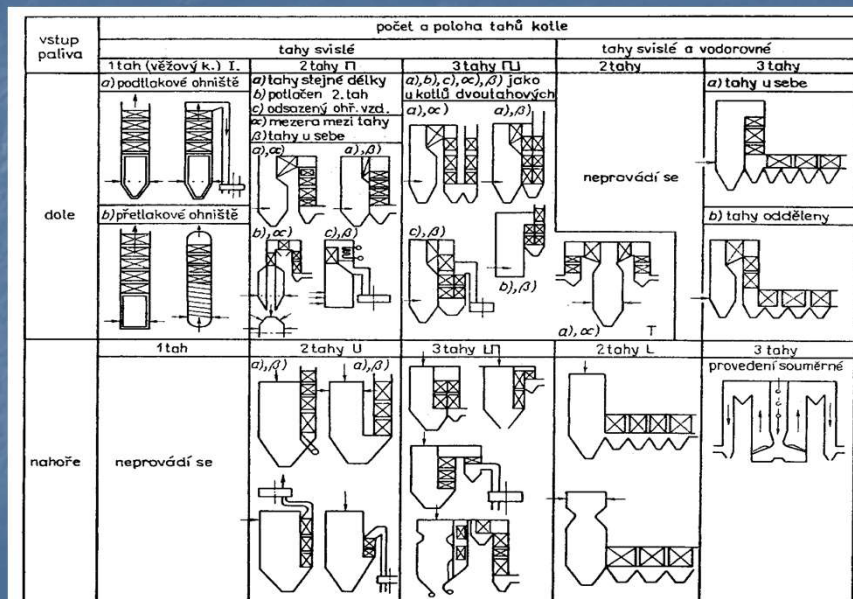


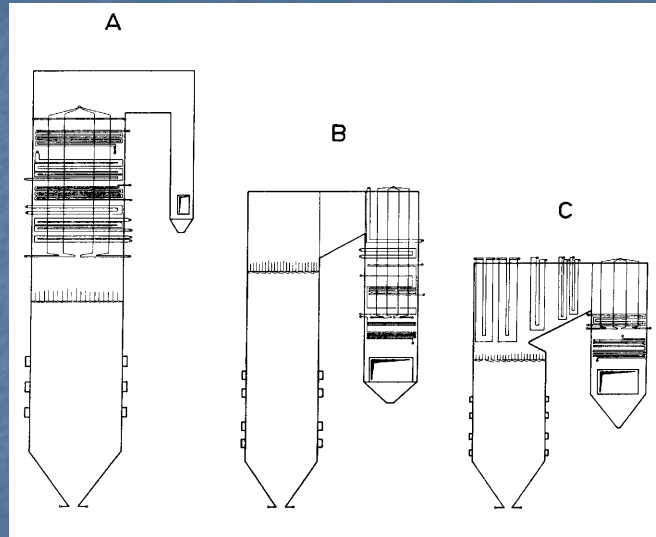
Návrh celkového uspořádání kotle

- Volí se
 - způsob spalování a typ spalovacího zařízení,
 - tvar ohniště evt. rozmístění a počet hořáků
 - prostorové uspořádání dodatkových ploch a průtahů.
- Současně je nutno navrhnout
 - dispozici palivového hospodářství
 - uspořádání všech vzduchových, spalinových, palivových i parních potrubí.
- Hlavními kritérii pro posouzení vhodnosti volby celkového uspořádání kotle jsou :
 - minimální investiční náklady kotle, nosné konstrukce i budovy kotelny,
 - minimální provozní náklady
 - maximální provozní spolehlivost a provozní pružnost kotle
- Základní koncepce kotlů lze dělit do čtyř hlavních skupin :
 - pro spalování jakostních tuhých paliv
 - koncepce vhodné pro spalování méněhodnotných tuhých paliv
 - koncepce pro spalování alternativních paliv (např. odpadů) a biopaliv
 - pro spalování kapalných nebo plyných paliv pro velké výkony
 - pro spalování kapalných nebo plyných paliv pro malé výkony

Jednotlivé koncepční typy kotlů



Varianty granulačního kotle pro spalování uhlí



A – věžový kotel, B – dvoutahový Π kotel,
C – dvoutahový Π kotel s přehřívákem v přechodovém tahu

Vlastní návrh kotle

Tepelné schéma a řazení výhřevných ploch

- Výhřevné plochy kotle tvoří
 - ohřívák vzduchu,
 - ohřívák vody,
 - výparník evt. s přechodníkem,
 - přehřívák
 - přihřívák (mezipřehřívák).
- Jednotlivé plochy mohou být
 - jednodílné
 - vícedílné

Ohřívák vzduchu

- Je vždy řazen jako poslední plocha v kotli
- Z konstrukčního hlediska může být řešen jako
 - rekuperační – trubkový
 - regenerační – rotační Ljungstroem
- Jako dvoudílný je nutno jej řešit při
 - požadovaném velkém ohřátí vzduchu,
 - nízké teplotě spalin do komína,
 - malém poměru tepelných kapacit proudu vzduchu a spalin.
- Mezi oba díly ohříváku vzduchu se pak řadí ohřívák vody.
- Při použití Ljungstroemova ohříváku vzduchu je snaha vystačit s jednodílným provedením.
 - Pokud nelze dosáhnout dostatečného ohřátí vzduchu v jednom dílu, jsou oba díly ohříváku vzduchu řešeny na jednom hřídeli a ohřívák vody je řazen k vysokoteplotovému dílu ohříváku vzduchu paralelně.

Ohřívák vody

- Ohřívák vody (EKO) se řadí jako další plocha před ohřívák vzduchu (výjimečně v kombinaci s ním)
- Míra ohřevu vody v EKO závisí především na pracovním tlaku.
 - Při nízkém a středním tlaku je nutno odpařit část vody v koncové odpařovací části ekonomizéru
 - Na výstupu z neodpařovacího dílu EKA musí být při všech provozních stavech entalpie vody

$$i_{EKO1} \leq i' - (125 \div 170) \text{ [kJ/kg]}$$

- kde i' [kJ/kg] je entalpie vody na mezi sytosti.
- Při vysokém tlaku se vystačí s neodpařovacím ekonomizérem.
 - U průtočného kotle musí být na vstupu do varnic voda
 - platí výše uvedená podmínka pro výstupní entalpii vody z EKA
 - první díl výparníku se někdy též označuje jako sálavý ekonomizér, tvoří stěny výsyvky resp. spodní části ohniště.

Výparník

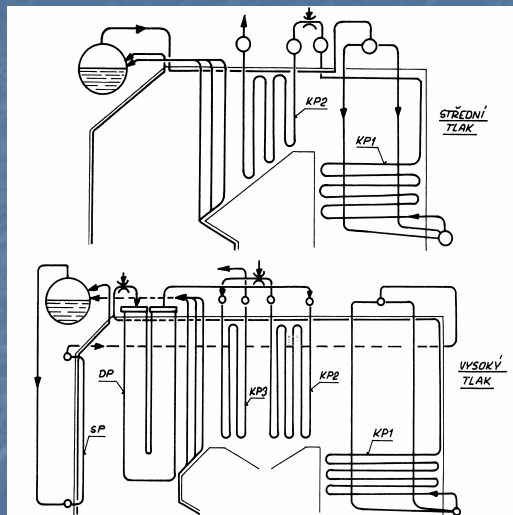
- U všech kotlů je umístěn v ohništi, jelikož tak lze nejnázne zajistit dostatečné chlazení výhřevné plochy při velkých tepelných tocích.
- U průtočných kotlů končí výparník tzv. přechodníkem, kde se dokončuje odpařování a usazuje zbytek solí, není-li voda zcela demineralizovaná.
- V tom případě se umísťuje přechodník v oblasti menších tepelných toků a vstupní suchost parovodní směsi se volí $x = 0,75 \div 0,85$.
- Entalpie výstupní páry z přechodníku bývá

$$i_p = i'' + (85 \div 170) \text{ kJ/kg}$$

kde i'' [kJ/kg] je entalpie páry na mezi sytosti.

Přehřívák

- Přehřívák tvoří 2 až 5 sériově řazených dílů.
- O jejich skutečném počtu rozhoduje
 - tlak páry,
 - teplota přehřátí,
 - nároky na dynamické vlastnosti
 - roční využití kotle.
- Rozdíl v počtu a řazení přehříváků pro středotlaký a vysokotlaký kotel je vidět na obrázku:
 - KP – konvekční přehřívák,
 - DP – deskový přehřívák,
 - SP – sálavý přehřívák



Přehřívák

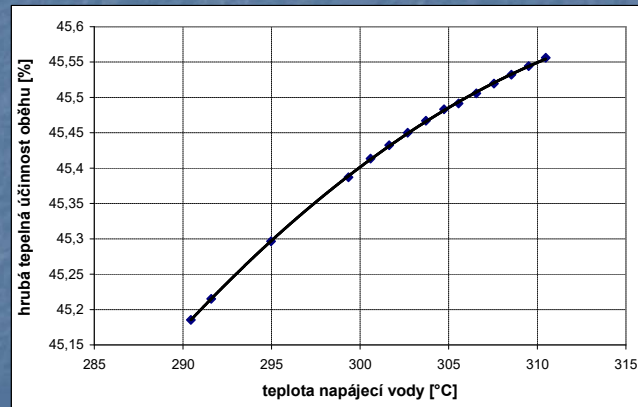
- Pro špičkové kotle a nízkou teplotu přehřátí se užívá menší počet dílů.
- První přehřívák
 - u dvoutahových kotlů chladí strop evt. stěny vrchní části ohniště či převáděcího kanálu a obrátové komory.
 - u věžových kotlů jsou jako první zapojeny chlazené závěsy konvekčních svazků.
- Druhý díl přehříváku se řadí před ohřívák vody.
 - ohřev páry v něm se volí o $200 \div 300$ kJ/kg,
 - výstupní teplota bývá cca 370 až 400°C .
- Jako třetí díl následuje deskový přehřívák s ohřevem páry na 460 až 515°C , s předřazeným vstříkem.
- Přehřátí na 530 až 540°C se dokončuje ve výstupním konvekčním přehříváku s Δi_p menším než $125 \div 200$ kJ/kg.
- Výstupní přehřívák
 - bývá zapojen jako souproutý
 - musí být před přímým sáláním z ohniště chráněn předřazenou mříží, svazkem nebo jinou plochou.

Vliv parametrů páry na koncepci kotle

- Kotle se dělí podle tlaku na
 - nízkotlaké - velkoprostorové kotle s provozním tlakem do $2,5$ MPa
 - středotlaké - do tlaku $6,4$ MPa
 - vysokotlaké - nad $6,4$ MPa
 - podkritické - do $22,5$ MPa
 - nadkritické.
- U vysokotlakých kotlů je nezbytné zvýšení teploty napájecí vody regenerací tepla
 - z nízkotlakých odběrů turbíny
 - vysokotlakých odběrů turbíny

Vliv teploty napájecí vody na účinnost bloku

Výsledek analýzy vlivu teploty napájecí vody na účinnost reálného tepelného oběhu parní elektrárny



Závěr : teplota napájecí vody by měla být co nejvyšší

Posouzení vlivu rostoucí teploty napájecí vody na konstrukci kotle

S rostoucí teplotou napájecí vody

- klesají teplotní spády na koncových teplosměnných plochách
- zvětšuje se jejich potřebná výhřevná plocha



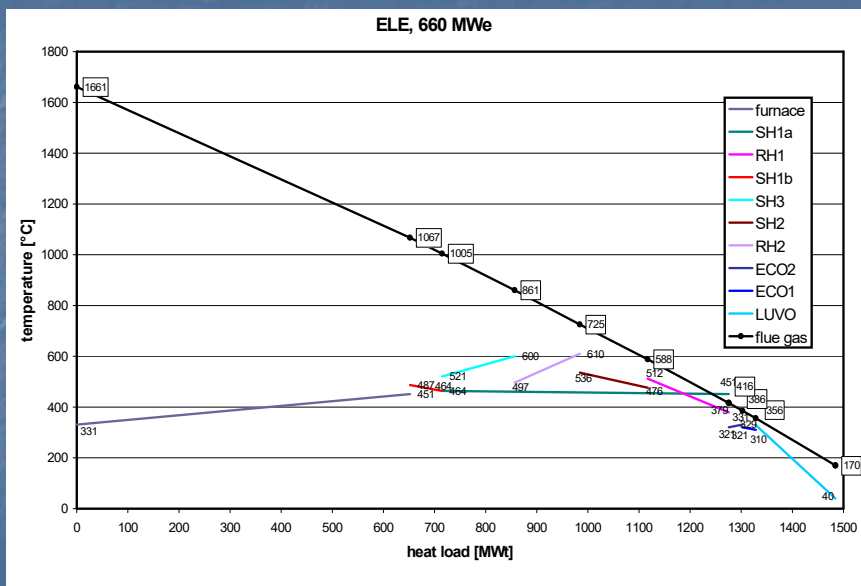
kotel vyjde větší

Posouzení vlivu teploty napájecí vody na velikost výhřevných ploch kotle pro blok ELE 660 MWe

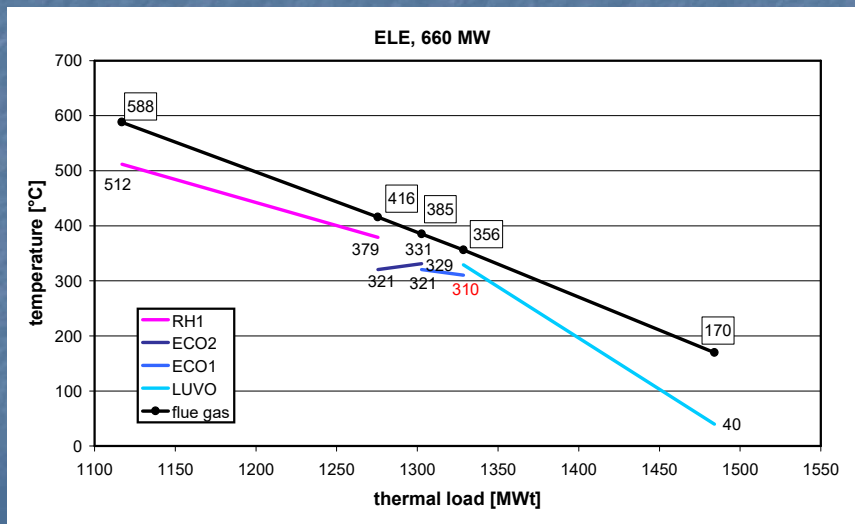
Předpoklady posouzení :

- Rozdělení výkonu bylo převzato z navrženého řešení kotle společností ALSTOM = **porovnávací varianta**
- Teploty páry před a za jednotlivými plochami se při změně teploty napájecí vody nezmění
- Se změnou teploty napájecí vody nedojde ke změně teploty vody na výstupu z ohříváku vody (ECO), tato teplota bude 331°C pro všechny řešené varianty.
- Teplota předehřevu vzduchu zůstane stejná na úrovni 329°C.

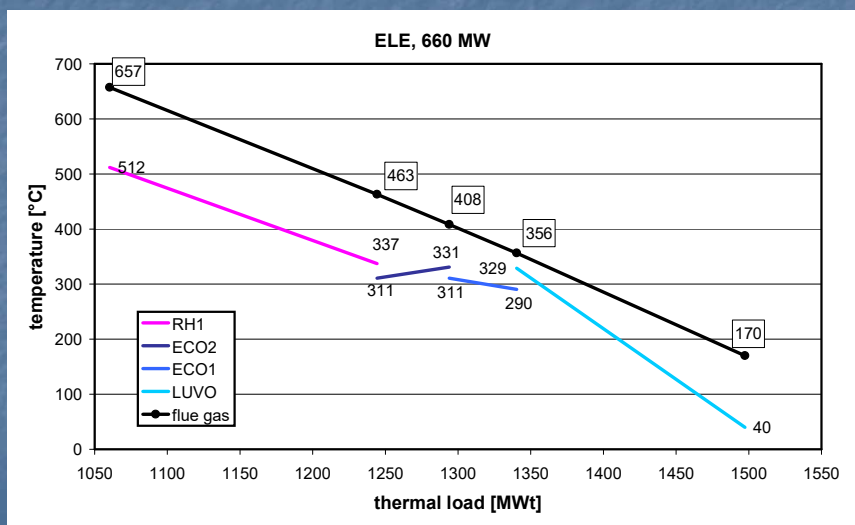
Q-t diagram kotle NZ ELE 660 MWe



Koncová část Q-t diagramu kotle pro teplotu napájecí vody 310°C



Koncová část Q-t diagramu kotle pro teplotu napájecí vody 290°C



Návrhové parametry oběhu v závislosti na změně teploty napájecí vody

		ALSTOM	Změna teploty napájecí vody				
teplota napájecí vody	°C	309,3	290,4	295,0	300,6	305,6	310,5
tlak napájecí vody	MPa	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
teplota páry	°C	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0
tlak páry	MPa	28,1	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
průtok páry	t/h	1860,1	1728,5	1746,8	1770,3	1795,1	1819,7
vstřík	t/h	111,6	103,7	104,8	106,2	107,7	109,2
průtok vratné páry	t/h	1539,7	1445,8	1471,4	1505,3	1532,3	1561,2
teplota vratné páry	°C	353,4	337,2	346,9	358,2	368,9	379,0
tlak vratné páry	MPa	5,9	5,2	5,6	6,1	6,6	7,1
teplota přehřáté páry	°C	610,0	610,0	610,0	610,0	610,0	610,0
tlak přehřáté páry	MPa	5,7	5,0	5,4	5,9	6,4	6,9
vstřík do přehřáté páry	t/h	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
celkový tepelný výkon kotle	MW	1365,7	1332,3	1329,3	1325,9	1323,2	1320,5
teplota nasávaného vzduchu	°C	40	40	40	40	40	40
teplota předehřevu vzduchu	°C	329	329	329	329	329	329
teplota spalin za kotlem	°C	170	170	170	170	170	170
přebytek vzduchu za kotlem		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
přebytek řízeného vzduchu		1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
spotřeba uhlí	t/h	468,6	457,1	456,1	454,9	454,0	453,1
účinnost kotle	%	91,24	91,24	91,24	91,24	91,24	91,24
účinnost oběhu	%		45,19	45,30	45,41	45,49	45,56

Porovnání změny velikosti výhřevných ploch

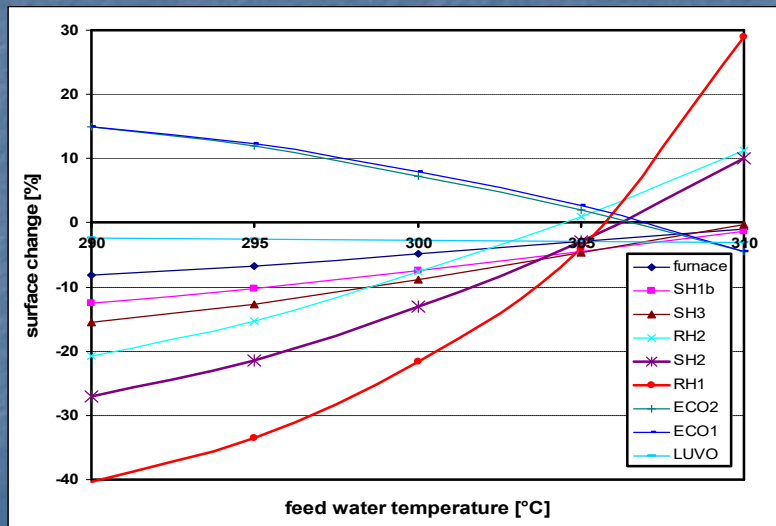
$$Q = k \cdot S \cdot \Delta t_{\log} \quad [MW]$$

Předpoklad : poměry přestupu tepla na výhřevných plochách se nebudou měnit → $k \approx konst.$

$$\frac{Q_2 \cdot \Delta t_{\log 1}}{Q_1 \cdot \Delta t_{\log 2}} = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \cdot 100\% = \Delta S_2 \quad [\%]$$

Index 1 označuje porovnávací návrh společnosti ALSTOM

Relativní změna velikosti ploch pro $t_k=170\text{ °C}$



Absolutní změna velikosti ploch pro $t_k=170\text{ °C}$

		ALSTOM	290	295	300	305	310
SH1b	m ²	1210	-151,25	-124,63	-90,75	-54,45	-16,94
SH3	m ²	5904	-915,12	-749,808	-525,456	-277,488	-17,712
RH2	m ²	8647	-1798,58	-1331,64	-657,172	77,823	968,464
SH2	m ²	12964	-3513,24	-2787,26	-1698,28	-375,956	1309,364
RH1	m ²	48782	-19659,1	-16390,8	-10585,7	-1951,28	14146,78
ECO2	m ²	9882	1482,3	1175,958	711,504	197,64	-444,69
ECO1	m ²	9882	1482,3	1215,486	780,678	266,814	-434,808

Doporučené teploty napájecí vody a páry

Rozdělení výrobního tepla podle tlaku

tlak páry P_{pp} [MPa]	Parametry		Celkové předané teplo $i_{pp} - i_{mv}$ [kJ/kg]	Části tepla na		
	teplota páry t_{pp} [°C]	teplota nap. vody t_{mv} [°C]		ohřátí k bodu varu $\frac{i' - i_{mv}}{i_{pp} - i_{mv}}$ [%]	odpařování $\frac{r}{i_{pp} - i_{mv}}$ [%]	přehřátí $\frac{i_{pp} - i''}{i_{pp} - i_{mv}}$ [%]
1,3	350	105	2708	14,9	72	13,1
3,8	445	145	2708	18,8	62	19,2
9,4	540	225	2511	19,2	49,9	30,9
13,6	570	230	2519	25,5	38,1	36,4
17,5	570	250	2390	26,2	34,3	39,5
25,4	570	260	2261			

S rostoucím tlakem páry

- zmenšuje se výparné teplo vody a tím potřebná velikost výparníku
- obvykle se zvětšuje i teplota přehřáté páry – dominantními výhřevnými plochami v kotli jsou přehříváky

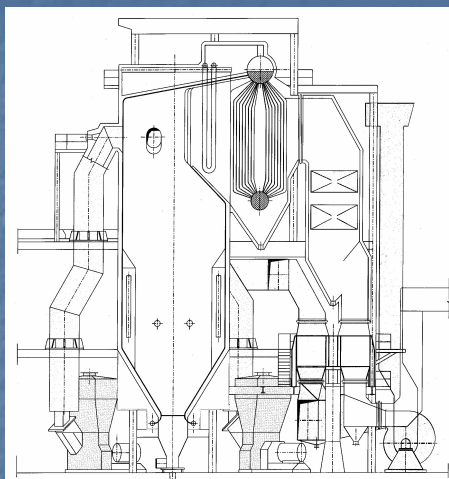
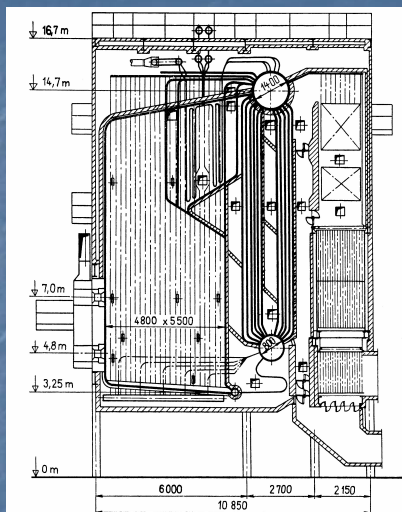
Vliv tlaku na tepelné schéma kotle

Střední tlak

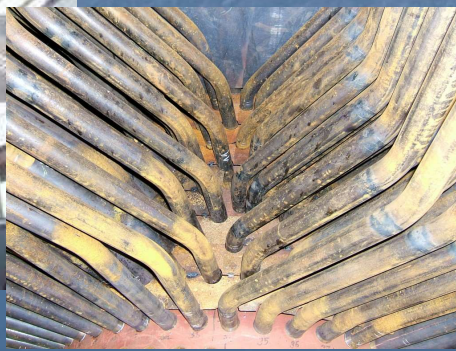
- Středotlaké kotle se uplatňují
 - v průmyslových energetických zdrojích
 - v menších teplárnách.
- Řeší se většinou jako bubnové s přirozenou cirkulací.
- Převážná část tepla se využívá pro odpaření vody, proto musí být patřičně dimenzován výparník.
- Výparník obvykle nestačí umístit na stěny spalovací komory, musí být doplněn o konvekční část.
- Do druhého spalinového tahu se umísťuje
 - kotlový svazek ze svislých trubek
 - deskový výparník s přímými nebo meandrovitě ohnutými trubkami
- Bilanci výparníku může zlepšit použití ekonomizéru s částečným odparem vody.

Střední tlak

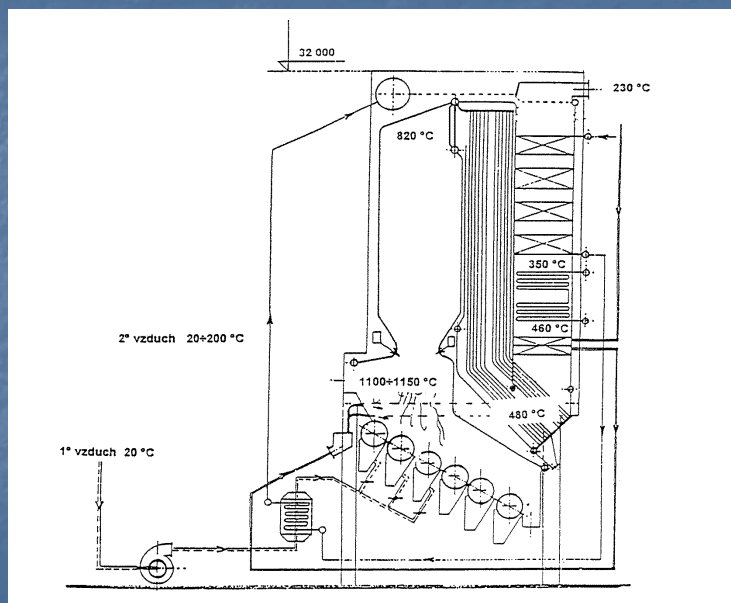
- Obecně se v ohništi odevzdá 45 až 60 % z celkového přivedeného tepla podle druhu spalovaného paliva.
- V závislosti na tlaku je pro odpaření vody potřeba 60 až 70 % z celkového výrobního tepla páry.
- Zbytek tepla na odpařování se získává mimo ohniště
 - v kotlovém svazku – má svislé nebo strmě skloněné trubky, pro přestup tepla nepříznivé podélné obtékání spalinami
 - v odpařovacím ekonomizéru - až do suchosti páry na výstupu $x = 0,15$ až o 20 % výhodnější řešení
- Stěny spalovací komory pokrývá výparník.
- Za ohništěm následuje
 - mříž,
 - kotlový svazek,
 - přehřívák,
 - ekonomizér
 - ohřívák vzduchu.



Kotlový svazek



Deskový výparník ve 2. tahu



Vysoký tlak

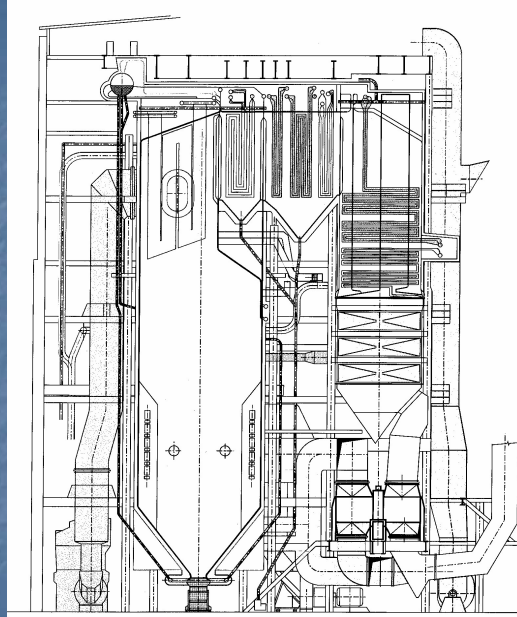
- Využívají se v elektrárnách a největších teplárnách
- Zajišťují dodávku páry pro pohon parní turbíny
- Dle provozních požadavků mohou být konstruovány jako
 - bubnové s nucenou cirkulací
 - průtlačné.
- Výparné teplo se snižuje na hodnotu menší než 50% celkového výrobního tepla
- Pro výrobu syté páry postačuje výparník umístěný na stěny ohniště,
 - voda v EKU se neohřívá na bod varu
 - v ohništi se umísťuje sálavý koncový díl ekonomizéru evt. k výstupu polosálavý přehřívák.
- Odpadá kotlový svazek, stačí použití mříže
- Přírůstek entalpie v ekonomizéru se vypočte jako zbytek tepla ze vztahu

$$\Delta i_{EKO} = (i_{pp} - i_{nv}) - (\Delta i_o + \Delta i_{mr} + \Delta i_p) \quad [\text{kJ/kg}]$$

- kde Δi_o , Δi_{mr} , Δi_p [kJ/kg] je přírůstek entalpie v ohništi, mříži a přehříváku

Velmi vysoký tlak

- Kotle s velmi vysokým tlakem páry se navrhují pro kondenzační elektrárny
- Řeší se převážně jako
 - průtlačné
 - výjimečně mohou být i bubnové.
- Použití vyšších tlaků do 14 ÷ 18 MPa je spojeno se zavedením přehřívání (mezipřehřívání) páry.
- Přírůstek entalpie páry v přehříváku představuje asi polovinu přírůstku entalpie ostré páry.
 - je vhodné přehřívák dělit na dva díly
 - výstupní svazek přehříváku se zpravidla umísťuje za výstupním dílem přehříváku, a to v oblasti teplot spalin 800 až 900 °C v závislosti na použitém schématu najíždění bloku
 - vstupní díl přehříváku se umísťuje před nebo za první konvekční přehřívák.



Průtlačné kotle s podkritickým tlakem

- U průtlačného kotle se kontroluje entalpie pracovní látky ve třech místech a sice :
 - vody za ekonomizérem
 - páry za přechodníkem
 - páry za přehřívákem
- Na vstupu do sálavého ekonomizéru umístěného ve výsypce ohniště musí být za všech provozních stavů voda z důvodu rovnoměrného rozdělení pracovní látky do jednotlivých varnic výparníku,
- Maximální entalpie vody na výstupu z konvekčního ekonomizéru (na vstupu do výparníku) musí být

$$i_{EKO2} = i_{1vyp} \leq i' - (170 \div 210) \text{ [kJ/kg]}$$

Průtlačné kotle s podkritickým tlakem

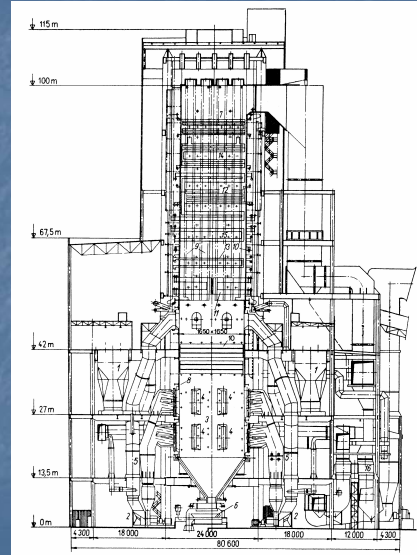
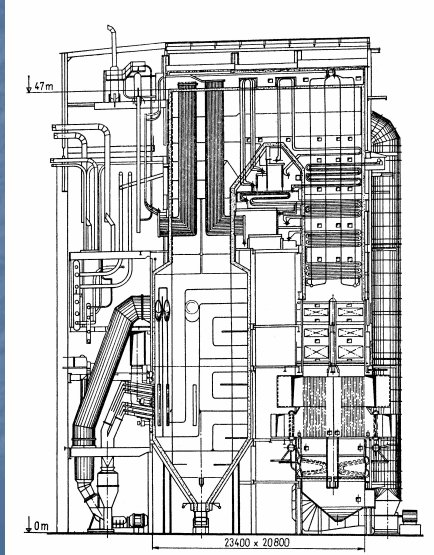
- Poslední část výparníku průtlačného kotle, kde končí odpaření vody a začíná přehřívání, se označuje jako přechodník a nechává se buď
 - ve spalovací komoře jako nepřerušené pokračování výparníku nebo
 - umísťuje do oblasti nižších teplot (do konvekčního tahu). suchost páry na výstupu z výparníku v rozmezí $x = 0,75$ až $0,85$.
- Výstupní entalpie z přechodníku i_{2p} [kJ/kg] se volí tak, aby na výstupu z přechodníku byla vždy mírně přehřátá pára za účelem zabránění usazování solí v následující přehřívákové ploše

$$i_{2p} = i'' + (85 \div 170) \text{ [kJ/kg]}$$

Průtlačné kotle s podkritickým tlakem

- Přehřívák se dělí na několik dílů (4 až 5).
- Přírůstek entalpie páry v jednotlivých stupních se volí v rozsahu $\Delta i_p = 125 \div 330$ kJ/kg
 - čím blíže k syté páře, tím větší přírůstek lze v daném rozsahu volit
 - menší hodnota se volí pro výstupní díl přehříváku z důvodu lepší regulace teploty páry.
- Ve většině případů se používá následující posloupnost řazení jednotlivých dílů přehříváku :
 - sálavý (nástěnný, stropní),
 - první konvekční (ležatý),
 - polosálavý (deskový, také nazývaný šotový),
 - výstupní konvekční (visutý).
- Výstupní díl přehříváku se často navrhuje jako souprůdý, aby se snížilo extrémní teplotní namáhání a prodloužila životnost daná materiálovými vlastnostmi trubek.

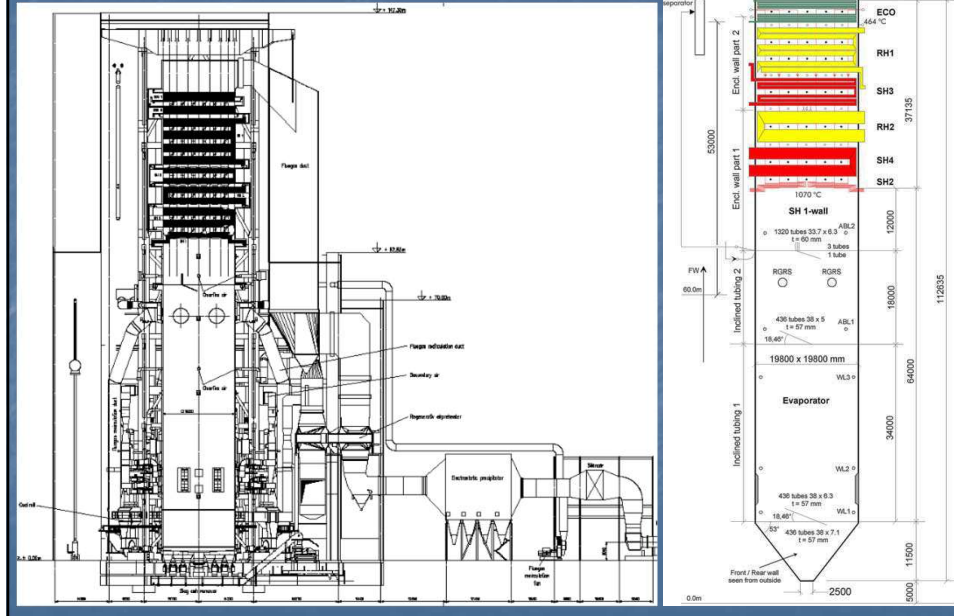
Průtlačné kotle s podkritickým tlakem



Průtlačné kotle s nadkritickým tlakem

- Zachová se klasické členění i umístění ploch v kotli (včetně tzv. výparníku) jako u vysokotlakých kotlů podkritických
- Důvody jsou dva:
 - místo fázové změny se s výkonem kotle mění (průtlačné kotle nemají pevný konec odpaření)
 - při regulaci výkonu bloku s klouzavým tlakem může při sníženém výkonu dojít k poklesu tlaku páry do podkritické oblasti.
- Proto může být pro návrh nadkritického kotle určující jeho provozní režim při minimálním výkonu.

Kotel NZ ELE 660 MWe



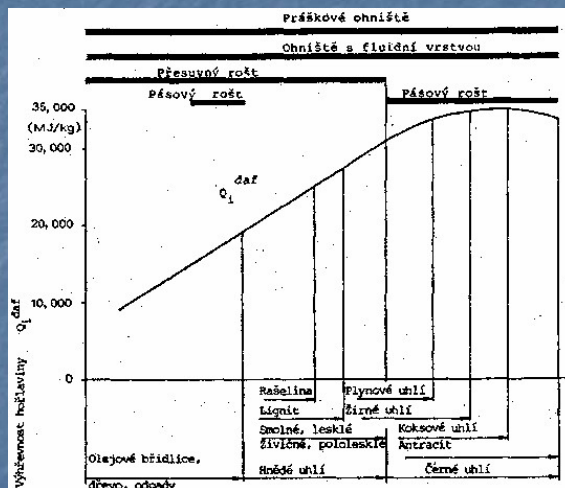
Vliv parametrů paliva na návrh kotle

Vliv na řešení palivového hospodářství

- Zvolený druh paliva předurčuje i koncepci vnitřního palivového hospodářství zdroje.
 - při spalování plynu poměrně jednoznačná (redukční či pojistné a uzavírací armatury).
 - při spalování kapalných paliv se volí způsob ohřívání a regulace teploty paliva za účelem snížení viskozity pro atomizaci v hořáku, pokud je třeba (u mазutu až 140 °C).
- Při spalování tuhých paliv závisí koncepce palivového hospodářství na způsobu jeho spalování. Palivové hospodářství musí zabezpečovat nejen přísun paliva do kotle, ale i vhodný způsob jeho přípravy pro spalování.
 - Při spalování na roštu stačí přípravu paliva provádět tříděním, výjimečně pedsoušením,
 - U fluidního způsobu spalování je zapotřebí dodržet požadovanou granulometrii paliva. K tomu obvykle postačí zařadit homogenizační drtič.
 - Při spalování paliva ve formě prášku je nutné palivo před spalováním rozemlít a usušit – zvolit vhodný typ mlecího okruhu (přímé foukání nebo pomocný zásobník) a způsob a stupeň sušení paliva.

Vliv výhřevnosti

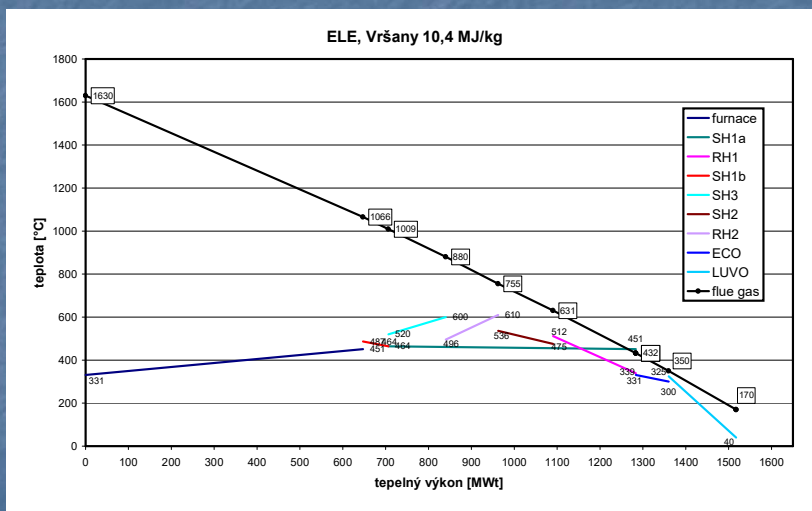
- Výhřevnost je jedním ze základních palivových jakostních znaků
- Často se používá pro hodnocení vlivu paliva na určitý technologický proces.
- Rozhoduje
 - o způsobu spalování
 - o volbě typu ohniště.



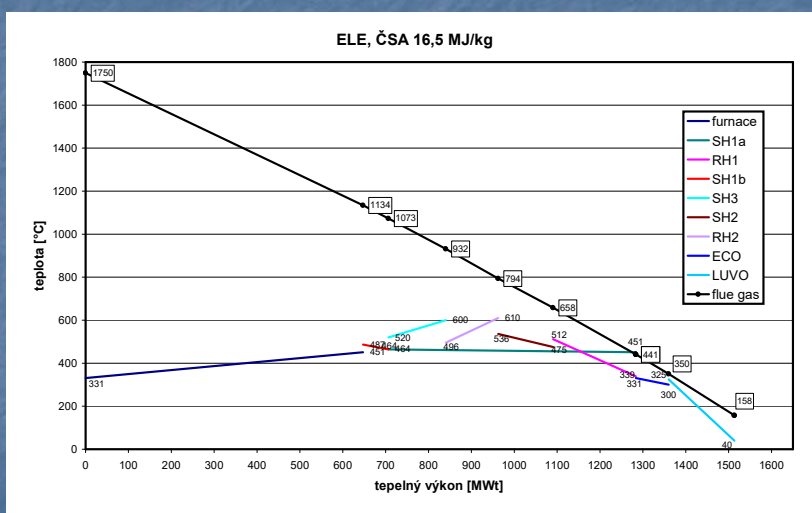
Vliv výhřevnosti

- Výhřevnost paliva má bezprostřední vliv na dimenzování mlýnice, skladování a dopravy paliva,
- Výhřevnost paliva souvisí s obsahem popela a vody v palivu (tedy s obsahem balastu).
- Výhřevnost paliva ovlivňuje provedení tzv. partií za kotlem – EOP a spalínového ventilátoru.
- S výhřevností paliva souvisí i koncepce kotle z hlediska počtu a uspořádání tahů kotle.
- S výhřevností paliva souvisí i návrh tvaru a velikosti ohniště.
 - s klesající výhřevností paliva se snižuje doporučené objemové zatížení ohniště [kW/m^3], což vede ke zvětšení měrného obestavěného prostoru [m^3/kW].
 - snižuje se i měrné průřezové zatížení ohniště [kW/m^2] a zvětšuje se tak potřebný průřez ohniště a tedy i zastavěná plocha.
- Výhřevnost určuje teplotní poměry v SK (teplotu nechlazeného plamene). S jejím poklesem souvisí zmenšení teplotních spádů v kotli.
- U nadkritických bloků s vysokou teplotou napájecí vody pak může být výhřevnost paliva limitující pro stupeň dochlazení spalin a tedy pro dosažitelnou účinnost.

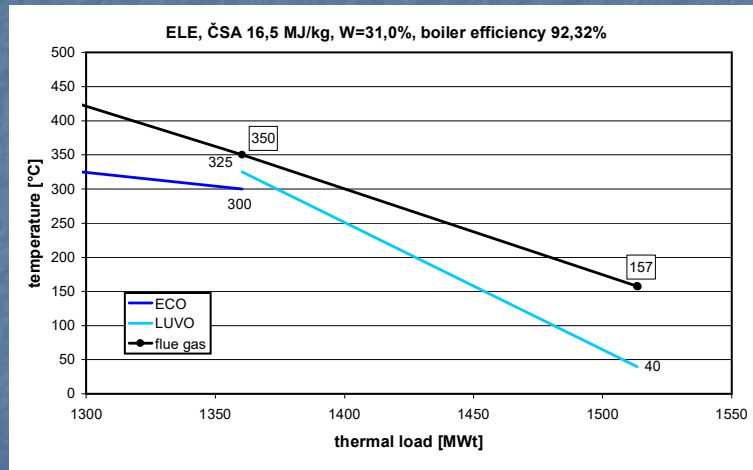
Vliv výhřevnosti na koncovou teplotu spalin



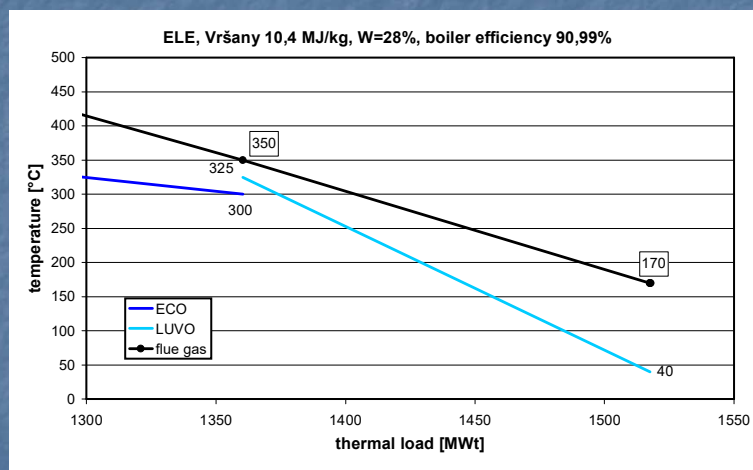
Vliv výhřevnosti na koncovou teplotu spalin



Vliv výhřevnosti na koncovou teplotu spalin

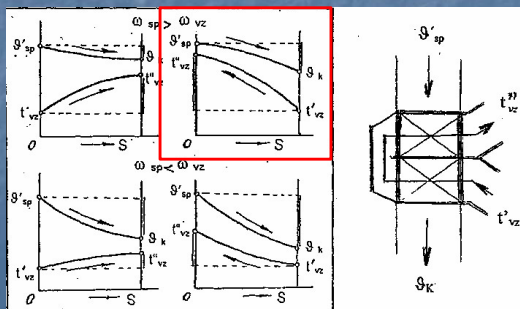


Vliv výhřevnosti na koncovou teplotu spalin

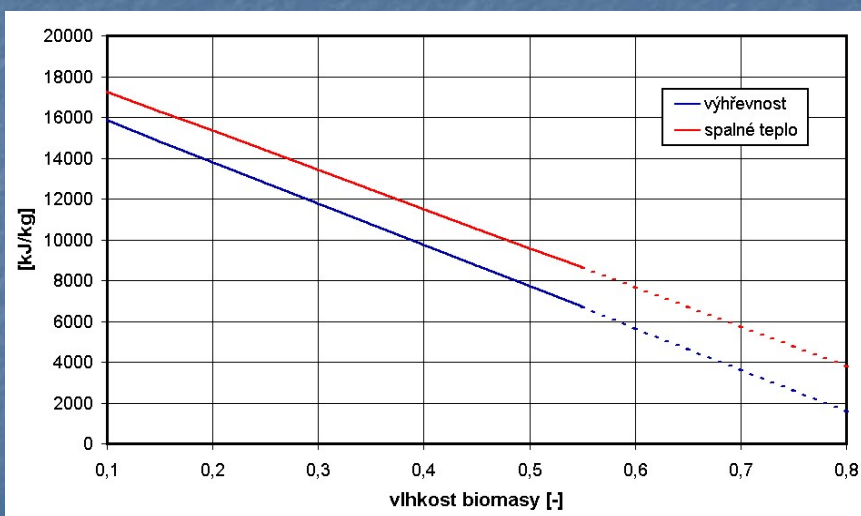


Obsah vody v palivu

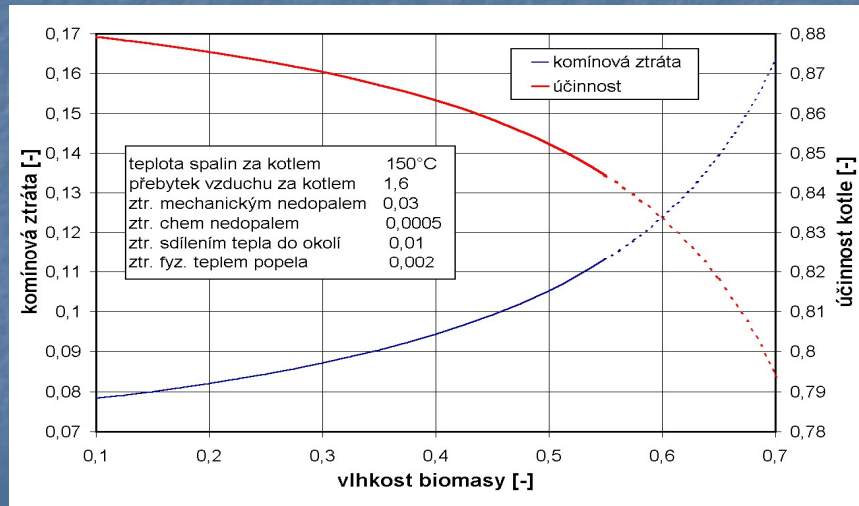
- Vyšší obsah vody v palivu má následující důsledky (kromě uhlí se týká především biomasy):
 - snižuje výhřevnost paliva
 - zhoršuje účinnost kotle, protože se zvětšuje komínová ztráta kotle v důsledku většího množství spalin.
 - větší průtok spalin – musí se zvětšit průřez konvekčního tahu a spalinových kanálů, zvětší se tedy kotel a naroste příkon kouřového ventilátoru.
 - způsobuje lepivost paliva a váznutí v dopravních trasách a zásobnících
 - vyšší velikost tzv. vodního ekvivalentu spalin (jinak též tepelné kapacity spalin) ω_{sp} – při použití jednostupňového ohříváku vzduchu se dá dosáhnout menšího ohřátí vzduchu.



Vliv obsahu vody na výhřevnost biomasy



Vliv obsahu vody na komínovou ztrátu a účinnost kotle pro biomasu



Zohlednění obsahu vody v palivu na koncovou teplotu spalin

dochlazení spalin v kotli je voleno podle teploty rosného bodu spalin a rizika tzv. **nizkotepelní koroze** v důsledku podkročení **teploty rosného bodu spalin**

Palivo	Teplota spalin na výstupu z kotle podle druhu ohniště a paliva [°C]			
	Práškové ohniště	Fluidní ohniště CFBC	Roštové ohniště *1	
			do 3,3 kg/s	nad 3,3 kg/s
Černé nebo hnědé uhlí s obsahem vody W^r do 30%	130 – 140	130 – 135	170 – 180	150 – 160
Hnědé uhlí s obsahem vody W^r nad 30%	150 – 160	130 – 140	190 – 200	170 – 180

* 1 Dnes se především u kotlů větších výkonů používají nižší hodnoty teploty spalin za kotlem, např. 140 – 150°C. Při napájení kotle odplyněnou vodou 105°C se v případě potřeby provede předehřev napájecí vody v parním bubnu kotle.

Poměrný obsah vody v palivu v původním stavu $w^r = \frac{W^r}{Q_i}$	Teplota spalin na výstupu z kotle podle obsahu vody v palivu a teploty napájecí vody [°C]*2		
	150	215 – 245	250 – 265
< 0,7 (suché uhlí)	110 – 120	120 – 130	130 – 140
= 0,7 – 4,8 (mokrý uhlí)	120 – 130	140 – 150	150 – 160
> 4,8 (velmi mokré uhlí)	130 – 140	160 – 170	170 – 180

* 2 Hodnoty platí pro přímé foukání nebo uzavřený mlecí okruh. Při otevřeném mlecím okruhu se poměrný obsah vody w^r počítá z obsahu vody W ve vysušeném prášku.

Teplota rosného bodu spalin

Palivo	Redukovaný obsah síry S_r [kg/MJ]	Rosný bod t_r [°C]
Mazut	0,065	120
Antracitické uhlí	0,086	107
Chudé T-uhlí	0,090	125
Rašelina	0,067	64

- přibližně lze teplotu rosného bodu spalin určit podle vztahu

$$t_r = t_k + \frac{\beta \cdot \sqrt[3]{S_r}}{1,2266 X_u \cdot A_r} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde t_k [°C] je teplota sytosti vodní páry při parciálním tlaku vodní páry ve spalinách,

X_u [-] je poměrný obsah popela v úletu

β [-] se volí = 195 pro $\alpha = 1,20$ a = 208 pro $\alpha = 1,4$ až 1,5

S_r [% kg/MJ] je měrná síratost

- obsah vody v palivu a přítomnost síry (SO_2 a SO_3) TRB zvyšuje
- přítomnost úletu TRB snižuje, neboť tvoří kondenzační jádra

Nízkoteplotní koroze OVZ

- riziko nízkoteplotní koroze ohrožuje zejména ohřívač vzduchu – pro jeho úplné vyloučení by teplota stěny studeného konce OVZ musela být vyšší než je TRB spalin
- teplota stěny OVZ se určí ze vztahu

$$t_{st} = \frac{\alpha_S \cdot t_S + \alpha_V \cdot t_V}{\alpha_S + \alpha_V} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

- opatření pro omezení účinku nízkoteplotní koroze OVZ :
 - pokrývání povrchu výhřevných ploch ohřívačů vzduchu kyselinovzdornými emaily - smalt
 - předehřev vzduchu
 - recirkulací horkého vzduchu
 - cizím zdrojem (obvykle odběrovou parou z turbíny)
- na teplotu 60 až 90 °C u trubkových ohřívačů
na 45 až 70 °C u regenerativních ohřívačů typu Ljungstroem.

Zohlednění obsahu vody v palivu na volbu teploty ohřevu vzduchu

s rostoucím obsahem vody v palivu je třeba volit vyšší teplotu předehřevu spalovacího vzduchu

Typ ohniště	Druh paliva	Teplota vzduchu [°C]
Granulační ohniště při uzavřeném mlecím okruhu a sušení vzduchem	Černé uhlí a uhlí s malým obsahem prchavé hořlaviny	300 – 350
	Hnědé uhlí, rašelina	350 – 400
	Břidlice	250 – 300
Výtavná ohniště při uzavřeném mlecím okruhu a sušení vzduchem	Černé uhlí a uhlí s malým obsahem prchavé hořlaviny	350 – 400
	Hnědé uhlí	300 – 320
Granulační ohniště při uzavřeném mlecím okruhu při sušení spalinami nebo směsí spalin a vzduchu	Hnědé uhlí a lignity	300 – 350*
Výtavná ohniště při uzavřeném mlecím okruhu při sušení spalinami nebo směsí spalin a vzduchu	Hnědé uhlí	350 – 400*
Granulační ohniště při otevřeném mlecím okruhu při sušení spalinami	Všechna paliva	méně než 350
Výtavná ohniště při otevřeném mlecím okruhu při sušení spalinami	Všechna paliva	350 – 400*
Roštové ohniště s pásovým roštem	Hnědé uhlí	200 – 250**
	Černé uhlí	150 – 200**
Olejová a plynová ohniště	Těžký topný olej, zemní plyn, vysokopecní plyn	250 – 300
Fluidní ohniště s cirkulující fluidní vrstvou	Všechna paliva	(cca 120 – 200)***

Zohlednění obsahu vody v palivu na volbu teploty ohřevu vzduchu

- U fluidních ohnišť nelze teplotu ohřátí vzduchu volit jen v závislosti na palivu.
- Musí se současně přihlížet k tepelné bilanci ohniště a především k požadované reálně dosažitelné hodnotě teploty spalin za kotlem.
- Při zvolené vysoké teplotě ohřevu spalovacího vzduchu
 - ohřívák vzduchu bude větší,
 - ohřívák vody vyjde menší.
 - musí se zvětšit i potřebný chladicí výkon teplosměnných ploch v ohništi
 - do spalovací komory se musí umístit šotové teplosměnné plochy zapojené buď jako výparník, nebo přehřívák. Tyto plochy jsou dražší a navíc pracují v extrémnějších podmínkách.
- V případě zvoleného nízkého ohřátí spalovacího vzduchu bude ohřívák vzduchu menší, ale zvětší se ohřívák vody - aby se dosáhlo stejné vychlazení spalin za kotlem. Ohřívák vody pak pracuje v oblasti nevhodných teplot (malý teplotní spád) a jeho plocha je velká.

Obsah popela

- Popel je tuhý zbytek po spálení paliva, který může mít formu
 - škváry nebo strusky zachycený ve spalovací komoře
 - jemného úletu unášeného celým spalínovým traktem kotle
- Jedná se o termicky transformovanou popelovinu – minerální složku původního paliva

Z hlediska spalování jsou důležité tyto vlastnosti

- obsah v palivu
- složení popeloviny
- termoplastické vlastnosti

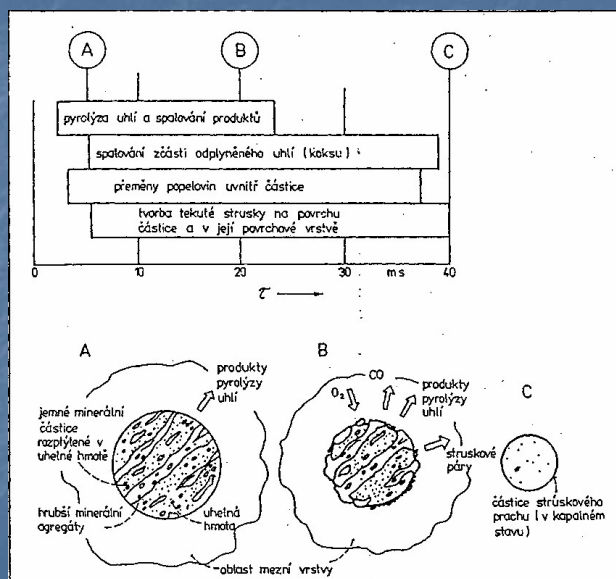
Množstvím popela v palivu a jeho složení a vlastnosti má vliv na

- činnost kotle
- koncepci zařízení pro skladování a dopravu paliva (tzv. vnitřní zauhlování) a dimenzování mlýnice u práškových kotlů
- návrh systému odvodu strusky (popela) ze spalovací komory.

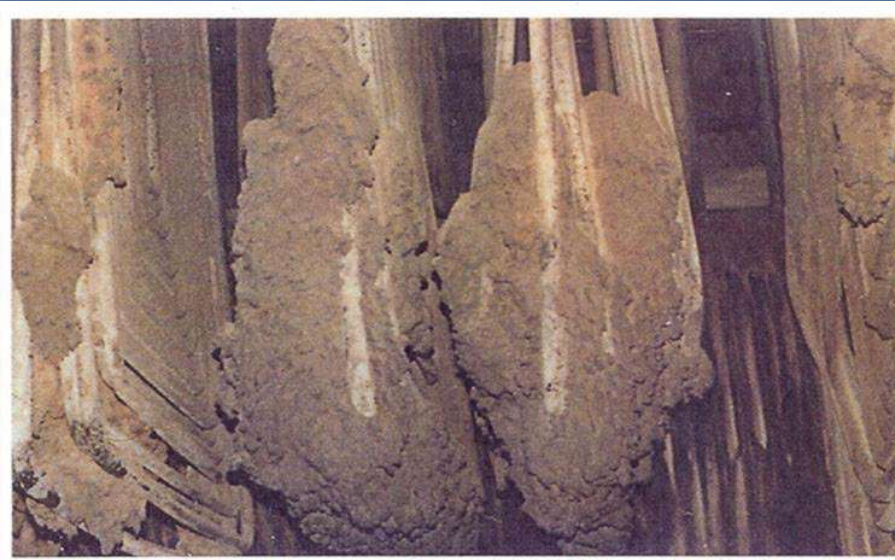
Negativní vliv na kotel je dán zejména

- tzv. struskováním - tvorbou slepených nánosů natavených částic popela
- tvorbou sypkých popílkových nánosů a abrazí v trubkových svazcích konvekčních výhřevných ploch

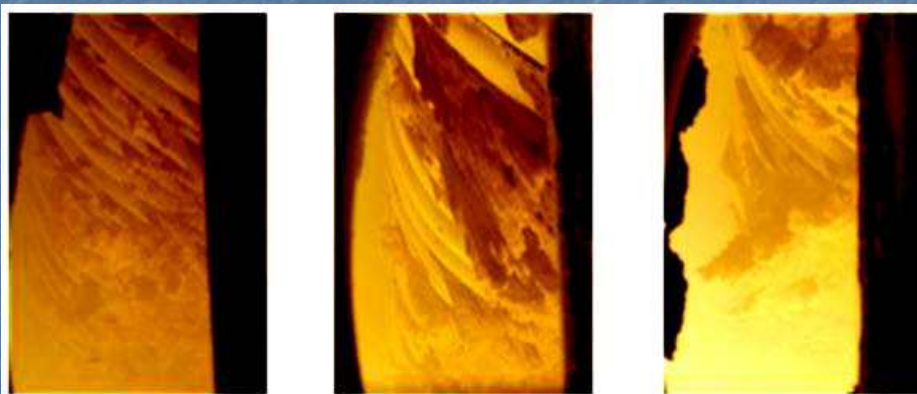
Model vzniku struskové částice



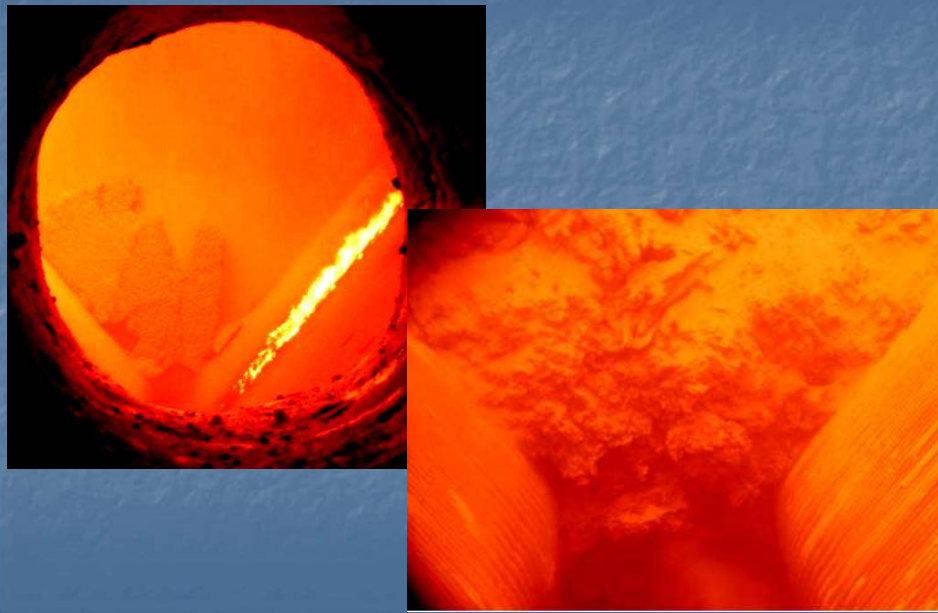
Struskový nános na deskovém přehříváku



Postupný růst nánosu na nosu ohniště



Zával ve výsypce granulačního ohniště



Zatruskovaný práškový hořák



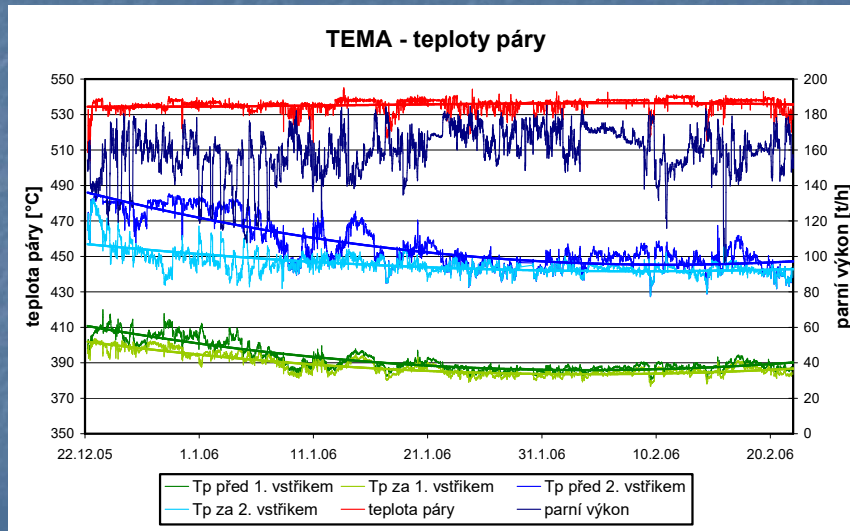
Zanesený výstupní přehřívák



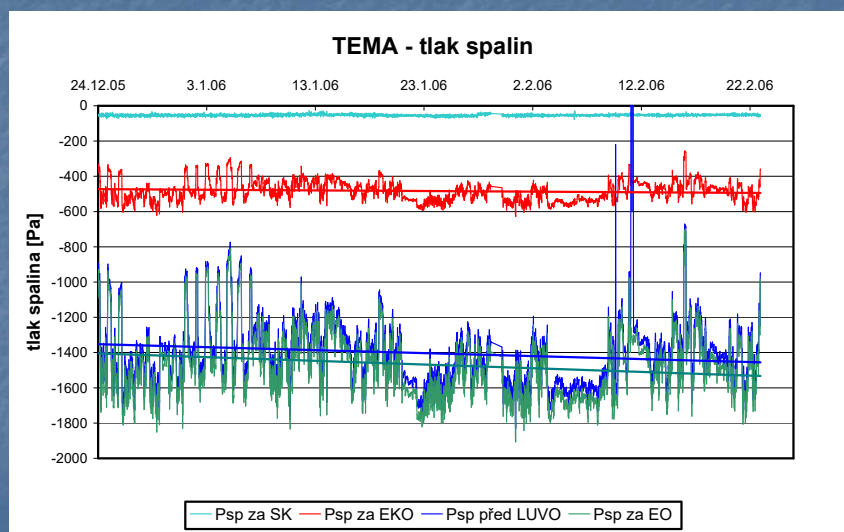
Popílkový nános v obratu nad 2. tahem



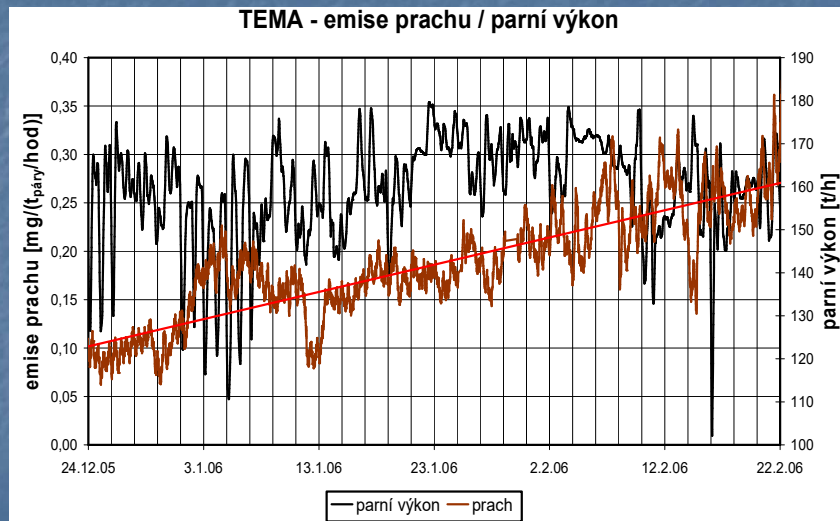
Vliv postupného zanášení kotle na teplotu páry



Vliv postupného zanášení kotle na tlak spalín

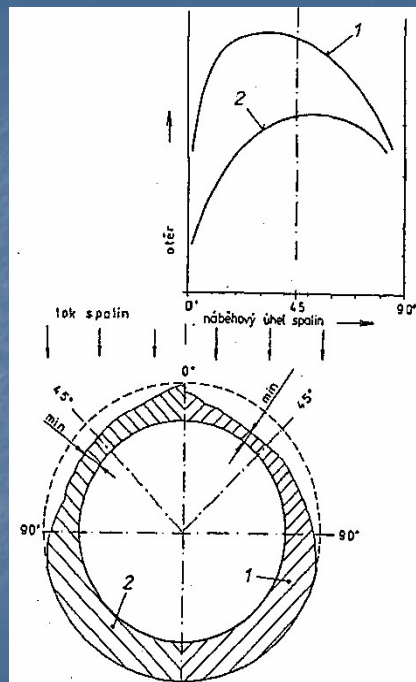


Vliv postupného zanášení kotle na emisi prachu



Abrase trubek v konvekčních svazcích

- tuhé částice unášené spalinami způsobují mechanický otěr, který při současném působení koroze ze strany spalin vede k úbytku materiálu stěny teplosměnných ploch kotle.
- při tom hovoříme o
 - abrazi - relativně rovnoměrný, nepřilíš hluboký a plošný otěr,
 - erozi - místní (nerovnoměrné) opotřebení materiálu do značné hloubky
- úbytek materiálu je největší v ose svírající úhel cca 45° k vektoru rychlosti
- omezení intenzi abrase lze docílit
 - volbou nižší rychlosti spalin – do 8 m/s
 - vhodnou konfigurací trubek ve svazku
 - mechanickou ochranou trubek



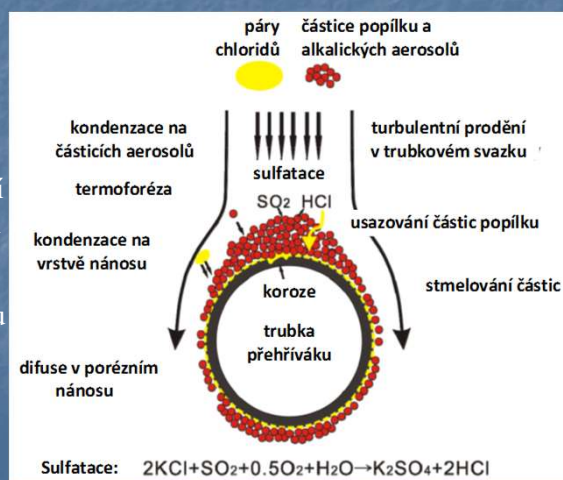
Ochrana trubek EKA před abrazií



Vliv spalování biomasy na zanášení kotle

- rostlinná biomasa obsahuje vysoký podíl nízkotavitelných alkalických sloučenin – typicky KCl, NaCl
- při spalování se odpaří a kondenzují na výhřevných plochách při 800 až 650 °C
- uplatňují se 4 základní mechanismy tvorby nánosů:

- mechanické usazování částic v důsledku jejich vzájemného zaklíňování
- kondenzace odpařených anorganických látek
- termoforéza – pohyb částic aerosolu ve směru teplotního gradientu
- chemické reakce



Vliv spalování biomasy na zanášení kotle

- intenzivní zanášení výhřevných ploch je pozorováno při spalování slámy a travin
- nánosy rostou poměrně rychle ve směru proti proudění spalin
- zpočátku jsou sypké a dají se odstranit ofukováním
- časem může dojít k jejich stmelení



Ofukovače pro čištění výhřevných ploch

