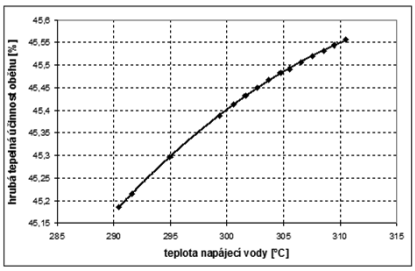
Předběžný návrh koncepce kotle a přípravy paliva

- **Podle zadaných parametrů se volí typ parního generátoru (výparníku)**
  - **s přirozeným oběhem,**
  - **nucenou nebo superponovanou cirkulací**
  - **průtočný.**
- **Zvolí se uspořádání kotle a sestaví se tepelné schéma, které určuje**
  - **posloupnost řazení výhřevných ploch**
  - **umístění výhřevných ploch po délce traktu spalin**
  - **rozdělení tepla na jednotlivé plochy**
  - **volbu teploty ohřátí vzduchu**
- **Volba schématu závisí na mnoha faktorech :**
  - **na druhu a vlastnostech paliva**
  - **na parametrech páry**
  - **na typu kotle**
  - **na způsobu regulace teploty páry a dalších**

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**

Vlivu teploty napájecí vody na účinnost bloku



Závěr : teplota napájecí vody by měla být co nejvyšší

Posouzení vlivu teploty napájecí vody na konstrukci kotle

S rostoucí teplotou napájecí vody

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

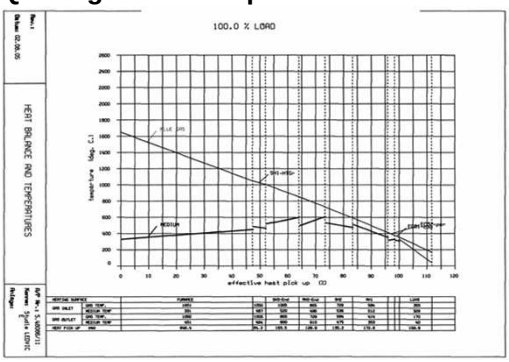
kotel vyjde větší

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

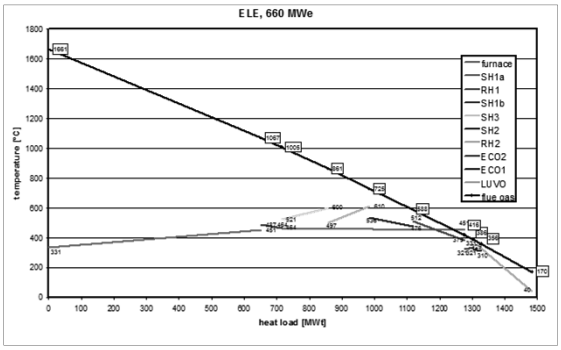
Předpoklady posouzení :

- 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 napájejí 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.

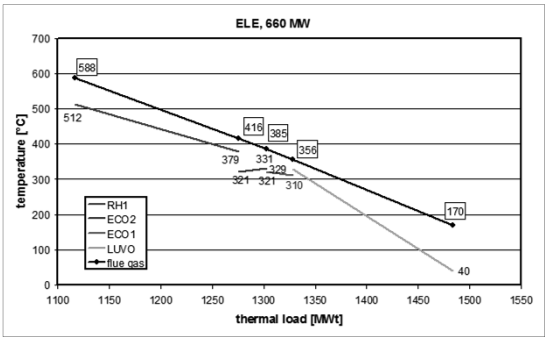
Q-t diagram kotle společnosti ALSTOM



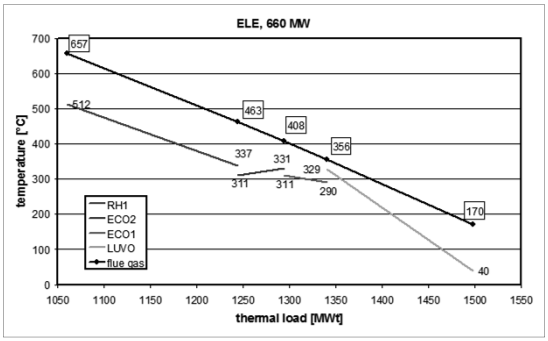
Q-t diagram kotle dle ČVUT



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
vstřik	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 přihřáté páry	°C	610,0	610,0	610,0	610,0	610,0	610,0
tlak přihřáté páry	MPa	5,7	5,0	5,4	5,9	6,4	6,9
vstřik do přihřáté 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

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

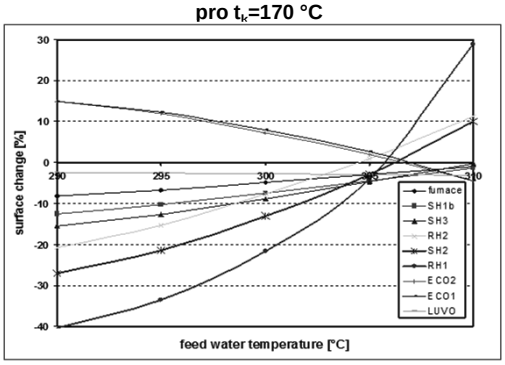
Předpoklad : poměry přestupu tepla na výhřevných plochách se nebudou měnit → $\boldsymbol{k}$ = konst.

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

Index 1 označuje porovnávací návrh společnosti ALSTOM

Relativní změna velikosti ploch

pro t_k=170 °C



Absolutní změna velikosti ploch
pro t_k=170 °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

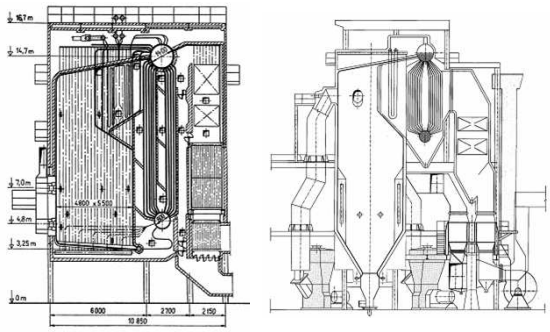
Parametry			Celkové předané teplo	Části tepla na		
tlak páry p_{pp} [MPa]	teplota páry t_{pp} [°C]	teplota nap. vody t_{nv} [°C]	$i_{pp}-i_{nv}$ [kJ/kg]	ohřátí k bodu varu $\frac{i'-i_{nv}}{i_{pp}-i_{nv}}$ [%]	odpařování $\frac{r}{i_{pp}-i_{nv}}$ [%]	přehřátí $\frac{i_{pp}-i'}{i_{pp}-i_{nv}}$ [%]
1,3	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			

Vliv tlaku na tepelné schéma kotle
Střední tlak

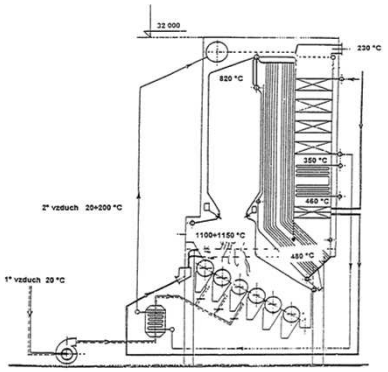
- **Středotlaké kotle se uplatňují**
  - **v průmyslových energetických zdrojích**
  - **v menších teplárnách.**
- **Řeší se většinou jako bubnové s přirozenou cirkulací.**
- **Převážná část tepla se využívá pro odpaření vody, proto musí být patřičně dimenzován výparník.**
- **Výparník obvykle nestačí umístit na stěny spalovací komory, musí být doplněn o konvekční část.**
- **Do druhého spalinového tahu se umisťuje**
  - **kotlový svazek ze svislých trubek**
  - **výparník z meandrovitě tvarovaných desek.**
- **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



Střední tlak

- Přírůstek entalpie pracovní látky v ekonomizéru Δi_{EKO} [kJ/kg] a v kotlovém svazku Δi_{KS} [kJ/kg] musí splňovat podmínku

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

kde Δi_o, Δi_p [kJ/kg] je přírůstek entalpie v ohništi a přehříváku.

- Při rozdělení EKA na dva díly je nutno dbát, aby na výstupu z prvního dílu byla ještě voda při všech provozních stavech, tj.

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

Vysoký tlak

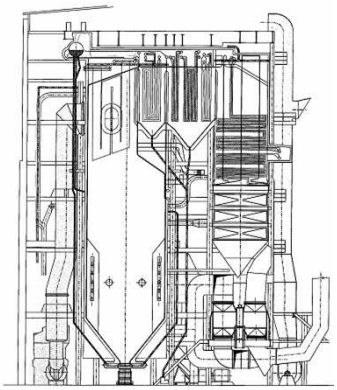
- Využívají se v elektrárnách a ve větších teplárnách
- Zajišťují dodávku páry pro pohon parní turbíny
- Dle provozních požadavků mohou být konstruovány jako
  - bubnové s nucenou cirkulací
  - průtlačné.
- Výparné teplo se snižuje na hodnotu menší než 50% celkového výrobního tepla
- Pro výrobu syté páry postačuje výparník umístěný na stěny ohniště,
  - voda v EKU se neohřívá na bod varu
  - v ohništi se umisťuje 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
  - se superponovanou cirkulací
  - výjimečně mohou být i bubnové.
- Použití vyšších tlaků do 14 ÷ 18 MPa je spojeno se zavedením přihřívání (mezipřehřívání) páry.
- Přírůstek entalpie páry v přihříváku představuje asi polovinu přírůstku entalpie ostré páry.
  - je vhodné přihřívák dělit na dva díly
  - výstupní svazek přihříváku se zpravidla umisťuje za výstupním dílem přehříváku, a to v oblasti teplot spalin 800 až 900 °C v závislosti na použitém schématu najíždění bloku
  - vstupní díl přihříváku se umisťuje 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

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

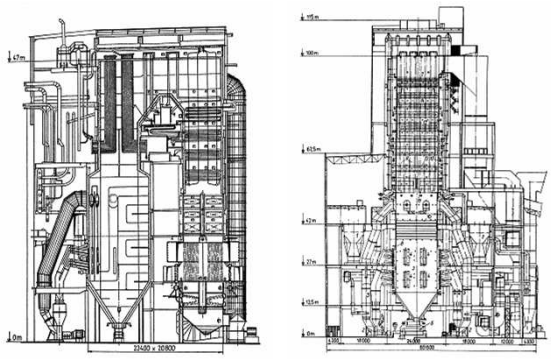
Průtlačné kotle s podkritickým tlakem

- **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**
  - **umisťuje 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**

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

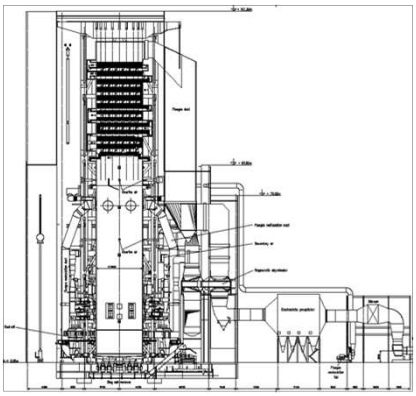
Průtlačné kotle s podkritickým tlakem

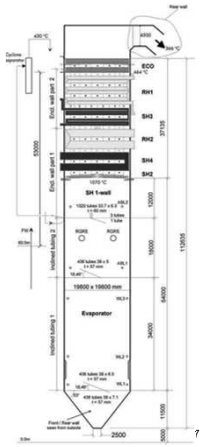
- **Přehřívák se dělí na několik dílů (4 až 5).**
- **Přírůstek entalpie páry v jednotlivých stupních se volí v rozsahu Δi_p = 125 ÷ 330 kJ/kg**
  - **čím blíže k syté páře, tím větší přírůstek lze v daném rozsahu volit**
  - **menší hodnota se volí pro výstupní díl přehříváku z důvodu lepší regulace 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 souproudý, aby se snížilo extrémní teplotní namáhání a prodloužila životnost daná materiálovými vlastnostmi trubek.**



Průtlačné kotle s nadkritickým tlakem

- **Zachová se klasické členění i umístění ploch v kotli (včetně tzv. výparníku) jako u vyskotlakých 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.**





Předběžný návrh koncepce kotle a přípravy paliva

- Podle zadaných parametrů se volí typ parního generátoru (výparníku)
  - s přirozeným oběhem,
  - nucenou nebo superponovanou cirkulací
  - průtočný.
- Zvolí se uspořádání kotle a sestaví se tepelné schéma, které určuje
  - posloupnost řazení výhřevných ploch
  - umístění výhřevných ploch po délce traktu spalin
  - rozdělení tepla na jednotlivé plochy
  - volbu teploty ohřátí vzduchu
- Volba schématu závisí na mnoha faktorech :
  - na druhu a vlastnostech paliva
  - na parametrech páry
  - na typu kotle
  - na způsobu regulace teploty páry a dalších

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 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 EKU 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

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

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 výsypky resp. spodní části ohniště.

Výparník

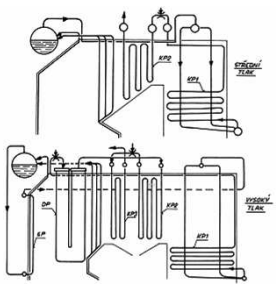
- U všech kotlů je umístěn v ohništi, jelikož tak lze nejsnáze zajistit dostatečné chlazení výhřevné plochy při velkých tepelných tocích.
- U průtočných kotlů končí výparník tzv. přechodníkem, kde se dokončuje odpařování a usazuje zbytek solí, není-li voda zcela demineralizovaná.
- V tom případě se umisťuje 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

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

- kde i''_p [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



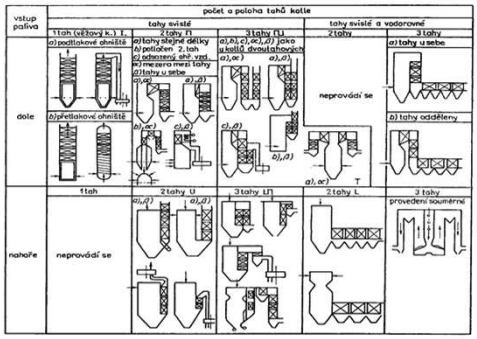
Přehřívák

- 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 obratové 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 ÷ 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 vstřikem.
- Přehřátí na 530 až 540°C se dokončuje ve výstupním konvekčním přehříváku s Δi_p menším než 125 ÷ 200 kJ/kg.
- Výstupní přehřívák
  - bývá zapojen jako souproudý
  - musí být před přímým sáláním z ohniště chráněn předřazenou mříží, svazkem nebo jinou plochou.

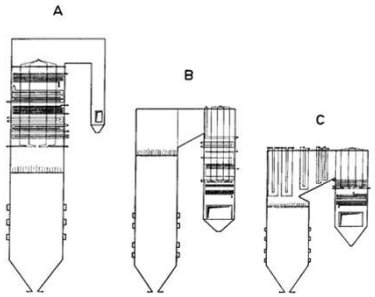
Návrh celkového uspořádání kotle

- 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 plynných paliv pro velké výkony
  - pro spalování kapalných nebo plynných paliv pro malé výkony

Jednotlivé koncepční typy



Granulační kotle pro spalování uhlí



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