

KOTLE

dělení, typy, názvosloví

1

Základní pojmy

Parní kotel tvoří

■ **SPALOVACÍ ZAŘÍZENÍ A JEHO PŘÍSLUŠENSTVÍ**

- spalovací komora - ohniště
- rošt nebo hořáky
- zařízení k přípravě paliva
- zařízení k odstraňování zbytků po spálení
- zařízení k ohřevu vzduchu
- zařízení k dopravě vzduchu a spalin

■ **TLAKOVÉ VÝMĚNÍKY TEPLA**

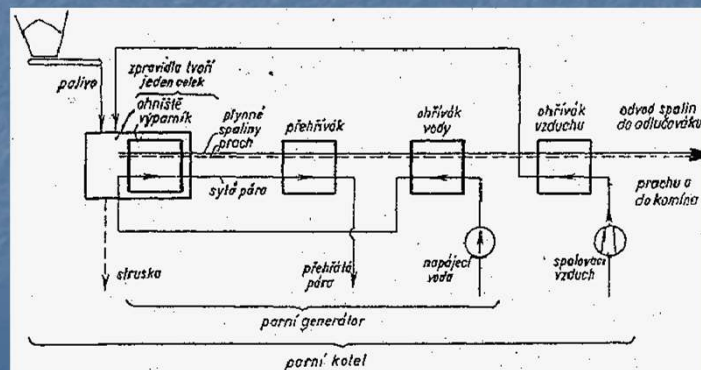
- ohřívák vody (ekonomizér - EKO)
- výparný (varný) systém průtočný nebo s kotelním bubnem (souhrnně označovaný jako výparník)
- přehříváky páry
- přihřívák páry (pouze u kotlů zapojených na elektrárenskou turbínu) – někdy označovaný též mezipřehřívák

2

Uspořádání kotle

U kotle na pevná paliva mají samostatnou cestu tyto látky:

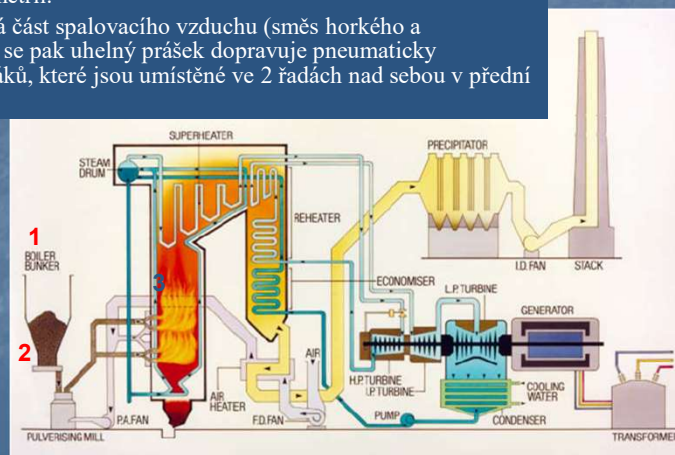
- palivo
- spalovací vzduch
- spaliny
- tuhé zbytky po spalování (struska, popílek)
- pracovní látka - voda a pára.



3

Cesta paliva – uhlí kotel

- Cesta paliva začíná u zásobníků surového uhlí - 1.
- Ve spodní části každého zásobníku je řetězový vynašeč uhlí.
- Palivo v zásobníku se sesouvá působením tíže do vynašeče, kterým se dopraví požadované množství uhlí do svodky a tou pak do mlýna 2.
- Ve mlýně se uhlí vysuší na požadovaný obsah vody a rozeleme na potřebnou granulometrii.
- K sušení se používá část spalovacího vzduchu (směs horkého a studeného), kterým se pak uhlíkový prášek dopravuje pneumaticky do hořáků, které jsou umístěny ve 2 řadách nad sebou v přední stěně kotle 3.



4

Cesta paliva – kotel na biomasu

- vykládka štěpky z kamionu
- velkokapacitní čelní nakladač



5

Cesta paliva – kotel na biomasu

- doprava ze skládky do kotelný



třídíč biomasy 0 – 50 mm

6

Cesta paliva – kotel na biomasu

- denní zásobník v kotelně
- problémem je váznutí biomasy - řešení
 - stěny zásobníku svislé nebo s negativním sklonem
 - pohyblivá celá podlaha zásobníku



7

Cesta paliva – kotel na biomasu

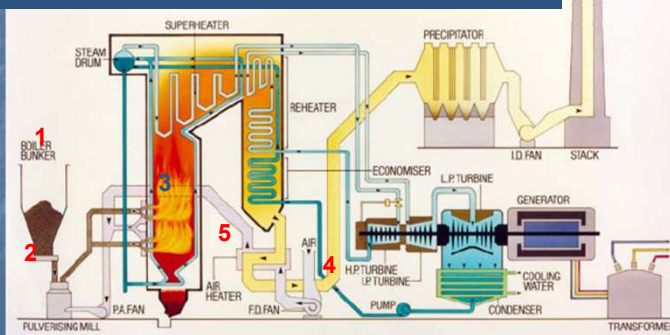
- šnekový dopravník biomasy ze zásobníku do kotle



8

Cesta vzduchu

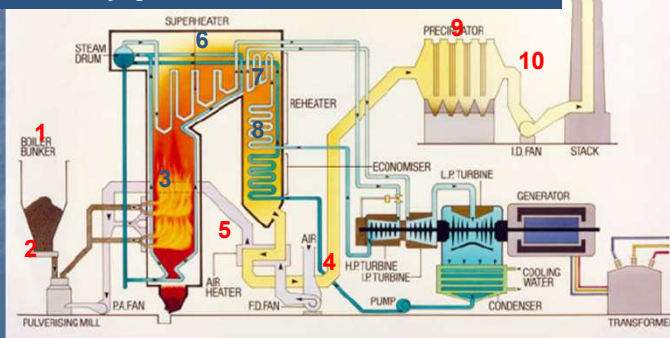
- Spalovací vzduch se nasává vzduchovým ventilátorem 4
 - jednak pod stropem kotelny
 - jednak z vnějšku.
- Vzduch se pak ohřívá spaliny v regenerativním ohříváku 5
- Vzduchovými kanály se jedna jeho část (jako tzv. primární vzduch) vede do uhelných mlýnů 2,
- Zbývající část (jako tzv. sekundární vzduch) se vede přímo do hořáků v přední stěně ohniště 3



9

Cesta spalin

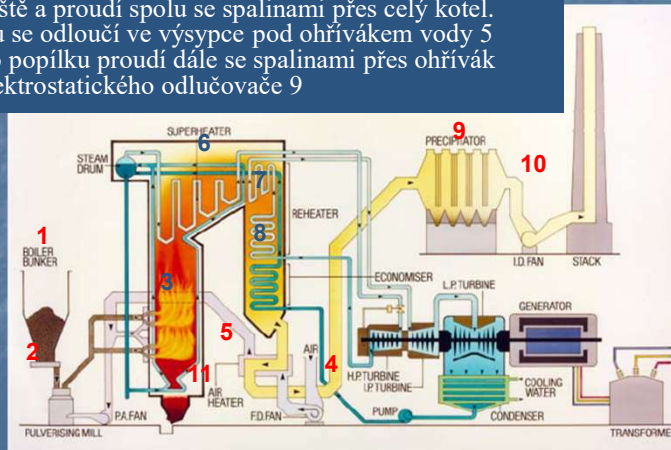
- Spaliny, které vznikají v ohništi spalováním uhlí, proudí dále svise nahoru konvekčním tahem, v němž jsou umístěny svazky přehříváku 6
- Dále pak proudí směrem dolů druhým konvekčním tahem přes přehřívák 7 a ohřívák 8 napájecí vody do regenerativního ohříváku 5 spalovacího vzduchu.
- Odtud pak proudí do elektrostatického odlučovače popílku 9
- Spaliny odsává z kotle do komína kouřový ventilátor 10
- Pod stropem kotle se udržuje podtlak asi 50 Pa.



10

Cesta tuhých zbytků

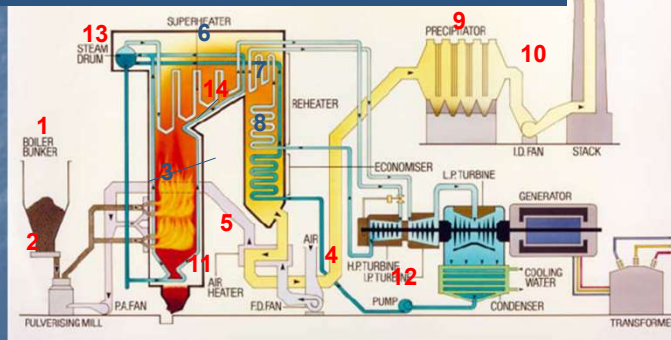
- Tuhé zbytky po spalování se z kotle odvádí ve formě strusky a popílku.
- V práškovém granulačním ohništi se zachytí cca 15 až 25% z popela přivedeného s palivem. Zachycená struska ve výsypce padá do odstruskovacího zařízení 11
- Zbývající větší část z popela přivedeného palivem je vynášena spaliny z ohniště a proudí spolu se spaliny přes celý kotel.
- Malá část prachu se odloučí ve výsypce pod ohřívákem vody 5
- Většina jemného popílku proudí dále se spaliny přes ohřívák vzduchu 5 do elektrostatického odlučovače 9



11

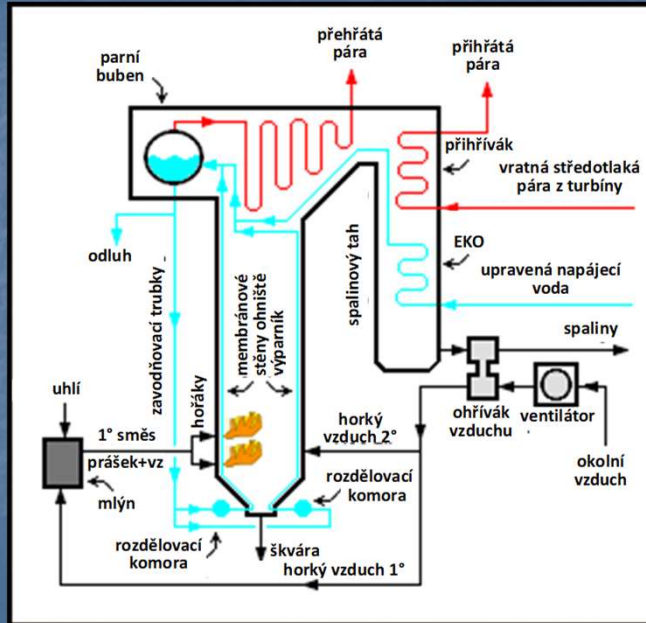
Cesta vody a páry

- Pracovní látka - voda a pára - protéká trubkami teplosměnných ploch tlakového systému. Voda se ohřívá, odpařuje a pára přehřívá na žádanou teplotu.
- Napájecí vodu o teplotě 105 až cca 290°C dopravuje do kotle napájecí čerpadlo 12.
- Voda vstupuje do ohříváku vody 8, který je proveden jako svazek vodorovných trubkových hadů.
- Ohřátá voda se vede potrubím do bubny 13, který je součástí výparníku.
- Výparník je vytvořen ze svislých trubek stěn kotle 14.
- Výparník končí v bubnu 13, kde se odloučí voda a sytá pára
- Sytá pára se vede do přehříváku 6 a z něho do turbíny
- Po částečné expanzi se pára z turbíny vrací do přehříváku 7



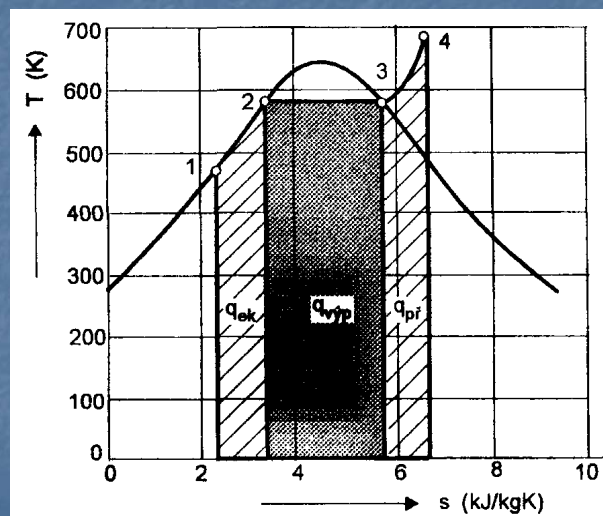
12

Elektrárenský parní kotel na práškové uhlí



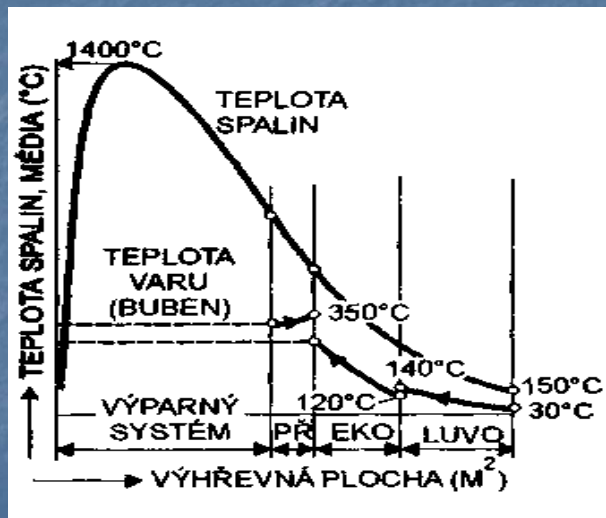
13

Změna vody na páru v kotli v diagramu T-s



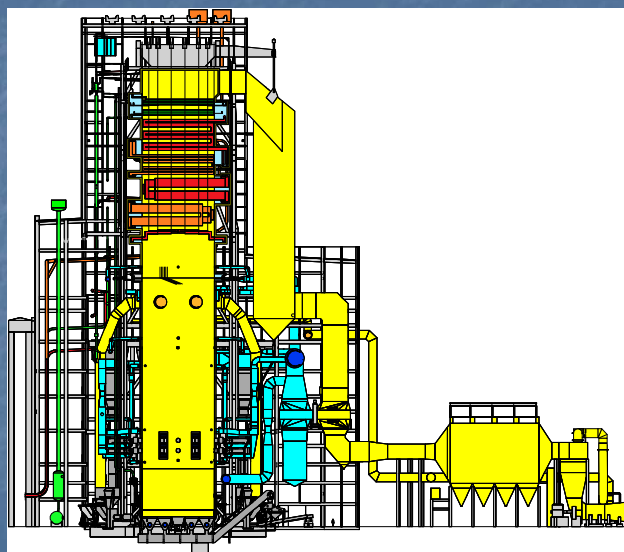
14

Diagram teplota - výměnná plocha



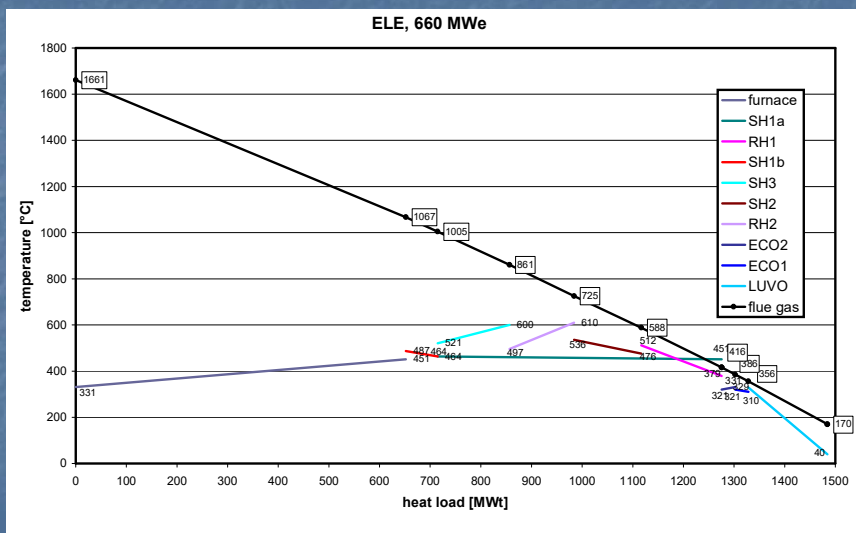
15

Tepelné schéma kotle ELE 660 MWe



16

Q-t diagram



17

Požadované vlastnosti kotlů

Obecné požadavky

- zajištění dokonalého spálení paliva s minimálními ztrátami,
- dobré vychlazení spalin pro omezení komínové ztráty
- nízká vlastní spotřeba

v souhrnu zaručují vysokou účinnost zdroje.

Dále

- omezení vzniku škodlivých produktů spalování na nejnižší možnou míru. Jsou to tuhé emise, SO_2 , NO_x , CO a uhlovodíky.
- vysoká provozní spolehlivost
- stabilita spalovacího procesu v pokud možno co nejširším výkonovém režimu.

18

Specifické požadavky na kotle pro PTC

Dány

- charakterem provozu resp. časovým průběhem odběru tepla a elektrické energie,
- teplotenským modulem výroby elektrické energie $e = E/Q$
- absolutní velikostí dodávky tepla a elektrické energie, resp. výkonem TC,
- předpokládaným nasazením v oblasti čáry trvání výkonu.

19

Charakter provozu kotlů

Může být

- převážně **ustálený**, bez velkých a rychlých výkonových výkyvů
- **s rychlými výkonovými změnami** převážně v odběru tepla

Kotel by měl být schopen pokrýt rychlé změny výkonu.

Teoreticky jsou dvě cesty, jak toho dosáhnout :

- **lehký tzv. pružný kotel**, který by byl schopen zvýšit výkon rychlým zvýšením příkonu
- **kotel s velkou akumulací konstantou** - požadavek zvýšené dodávky páry řešit s využitím tepla akumulovaného v kotli poklesem tlaku páry v kotli

20

Rozdělení kotlů

Existuje celá škála různých způsobů dělení kotlů :

- podle použití
 - elektrárenské,
 - teplárenské,
 - kotle pro vytápny,
 - pro spalovny,
 - utilizační (na odpadní teplo)
- podle provedení
 - stacionární,
 - mobilní,
 - zvláštní skupinu tvoří kotle balené
- podle použitého paliva
 - kotle na tuhá paliva
 - roštové,
 - práškové,
 - granulační,
 - výtavné,
 - cyklónové,
 - fluidní,
 - kotle na kapalná paliva
 - kotle na plynná paliva

21

- podle pracovního média
 - teplovodní, horkovodní
 - parní
- podle konstrukce výparníku lze parní kotle rozdělit na
 - velkoprostorové (plamencový, žárotrubný, kombinovaný),
 - vodotrubné
 - s přirozeným oběhem ve výparném okruhu,
 - s povzbuzeným oběhem ve výparníkovém okruhu,
 - průtočné.
- podle tlaku se někdy dělí kotle na
 - nízkotlaké (do 2,5 MPa),
 - středotlaké (do 6,4 MPa),
 - vysokotlaké (do 22,5 MPa),
 - s nadkritickým tlakem
- podle způsobu nasazení se vyrábějí kotle jako
 - špičkové,
 - pološpičkové
 - pro základní zatížení.

22

Základní parametry kotle

Základní názvosloví :

- **Jmenovitá výkonost** [kg/s], [t/h] je hmotnostní průtok páry na výstupu z kotle, který musí kotel trvale dosahovat při dodržení jmenovitých hodnot základních parametrů při spalování záručního paliva (BMCR - Boiler Maximum Continuous Rating)
- **Jmenovitý tlak páry** [MPa] je tlak přehřáté páry na výstupu z kotle nebo u hlavního parního uzávěru. Zpravidla se udržuje konstantní v celém regulačním rozsahu kotle.
- **Jmenovitá teplota páry** [°C] je teplota přehřáté (přihřáté) páry na výstupu z kotle nebo u hlavního parního uzávěru. Zpravidla se udržuje konstantní v předepsaných (nebo dohodnutých) tolerancích jen v dohodnutém regulačním rozsahu kotle.
- **Nejvyšší tlak páry** [MPa] je roven nejnižšímu otevíracímu tlaku pojistného ventilu na přehříváku, resp. přihříváku páry.
- **Nejvyšší teplota páry** [°C] je nejvyšší trvale přípustná hodnota teploty.
- **Konstrukční přetlak** [MPa]
 - u **bubnových kotlů** je nejvyšší hodnota přetlaku syté páry (proti atmosféře) při nejvyšším tlaku páry a jmenovité výkonosti kotle.
 - u **průtočných kotlů** se konstrukční přetlak stanoví samostatně pro jednotlivé části tlakového celku (přehřívák, výparník, ohřívák vody). Rovná se nejvyšší hodnotě vyskytujícího se přetlaku v dané části při nejvyšším tlaku páry a jmenovité výkonosti.
- **Jmenovitá teplota napájecí vody** [°C] je teplota napájecí vody před napájecí hlavou nebo na vstupu do tlakového systému kotle při jmenovité výkonosti kotle.
- **Základní parametry kotle** jsou jmenovitý tlak přehřáté páry, jmenovitá teplota přehřáté a přihřáté páry a jmenovitá teplota napájecí vody.

23

Příklad označení parního kotle

KOTEL PARNÍ, PRÁŠKOVÝ, GRANULAČNÍ

4,86 kg/s (75 t/h) - hmotnostní tok páry
16/3,8 MPa-tlak přehřáté/přihřáté páry
540/545 °C - teplota přehřáté/přihřáté páry
240 °C - teplota napájecí vody
na hnědé uhlí
 $Q_i = 15$ MJ/kg – výhřevnost
 $W^r = 25\%$ - obsah vody v palivu
 $A^r = 15\%$ - obsah popelovin v palivu

HORKOVODNÍ KOTEL

198 kg/s (715 t/h) - hmotnostní průtok vody (M_w)
150/90 °C - výstupní/vstupní teplota vody (t_{w1}/t_{w2})
na zemní plyn

24

Základní hodnoty kotlů dle ČSN 07 0010

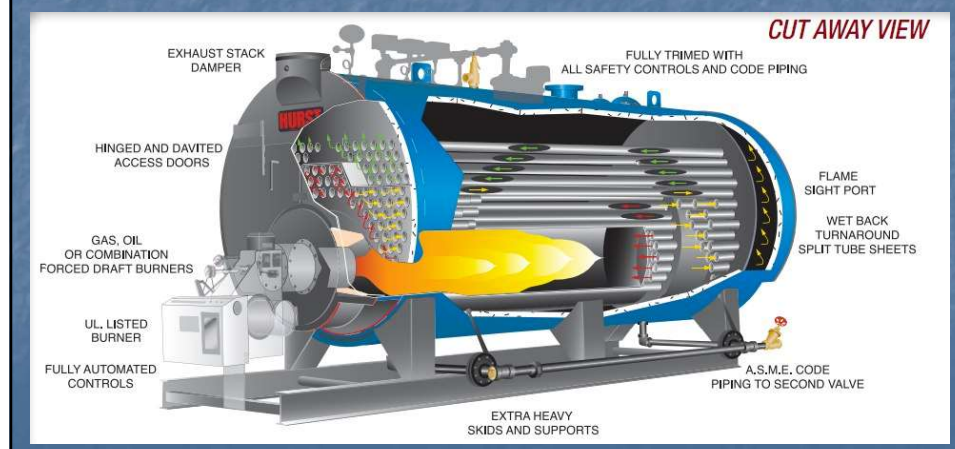
Tlak páry (MPa)			Teplota páry (°C)		Dovolené úchyly od jmenovité teploty (°C)		Teplota přehřáté páry (°C)		Teplota napájecí vody při jmenovité výkonnosti (°C)			Jmenovitá výkonnost kotle (t ^h ⁻¹)
jmeno- vitý	nejvyšší	kon- strukční	jmeno- vitá	nejvyšší	+	-	jmeno- vitá	nejvyšší	nejvyšší	jmeno- vita	nejnižší	
0,85	0,9	1,0	sytá 200	sytá 230	---	---	---	---	---	50	---	1; 2,5
1,35	1,4	1,55	250 300 350	280 330 380	30	15	---	---	---	20 50 105	---	1; 2,5; 4; 6; 8; 12
2,5	2,6	2,9	380	400	20	15	---	---	---	105	---	4; 6; 8; 12; 16; 25
3,8	4,0	4,5	445	460	15	10	---	---	160	105 145	---	8; 12; 16; 25; 35; 50; 75
9,6	10,1	11,6	540	545	5	10	---	---	241	225	215	50; 75; 115; 150; 215
13,9	14,6	16,6	570	575	5	10	570	575	246 256	230 240	220 230	160; 215; 250; 325
17,8	18,8	---	570	575	5	10	570	575	266	250	240	630
25,9	27,2	---	585	590	5	10	570	575	276	260	250	615; 630

25

Typy parních kotlů dle konstrukce výparníku

Velkoprostorový plamencový žárotрубный parní kotel

- má relativně velkým obsah vody
- kotle menších výkonů nízkotlaké nebo středotlaké, u nichž nedochází k cirkulaci vody ve výparníku



26

Vodotrubné parní kotle

- základním konstrukčním prvkem těchto kotlů je trubka
- v trubkách proudí voda/pára
- trubky jsou z vnější strany omývány spalinami
- z trubek jsou vytvořeny
 - výhřevné plochy ve tvaru trubkových svazků
 - chlazené obvodové stěny kotle.
- kotle mají relativně malý vodní obsah - jsou citlivé na změny odběru páry
- zmenšenému vodnímu obsahu kotle odpovídá rychlejší najíždění.

27

Vodotrubné parní kotle

- umožňují stavbu kotlů od nejmenších výkonů až po nejvyšší
- tlak a teplotu páry lze volit od barometrického tlaku až po parametry nadkritické.
- kotle lze stavět s ohništi všech typů na kvalitní i méně hodnotná paliva včetně odpadů.
- liší se konstrukcí výparníku
 - s přirozenou cirkulací
 - s nucenou cirkulací
 - průtočný (průtlačný)

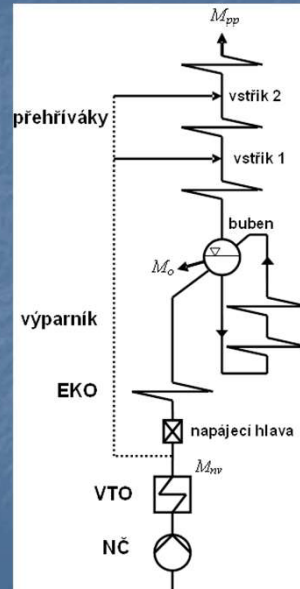
 } bubnové kotle
 } průtočné kotle

28

Kotel s přirozenou cirkulací vody ve výparníku

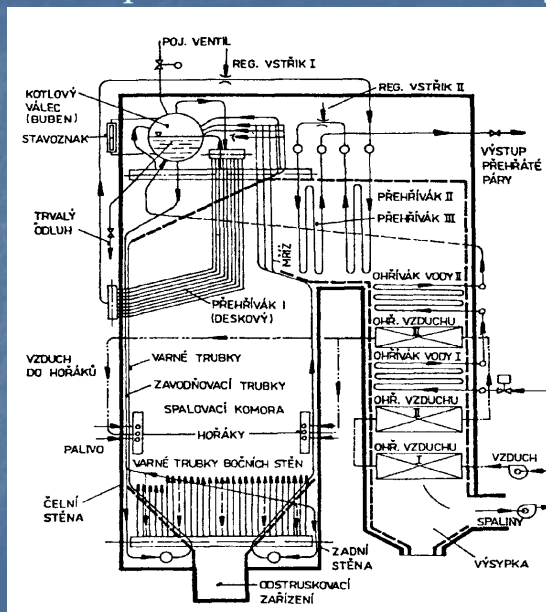
- voda ve výparníku cirkuluje a částečně se odpařuje – četnost oběhu vody výparníkem udává oběhové číslo $O = 1/x$ ($x =$ výstupní suchost parovodní směsi)
- průtok v systému výparníku je zajištěn rozdílnou hustotou vody a parovodní směsí $\Delta\rho$ – užitečný vztlak je dán

$$\Delta p = h \cdot \Delta\rho \cdot g$$
 ($h =$ stavební výška výparníku)
- typickým znakem tohoto výparníku je :
 - pevný konec odpařování daný bubnem
 - do varnic vstupuje sytá voda z bubnu při $x = 0$
 - z bubnu vystupuje sytá pára při $x = 1$
- ve vodní části bubnu dochází k zahušťování solí obnažených v obíhající kotelní vodě – nutný odluh M_o



29

Kotel s přirozenou cirkulací vody ve výparníku

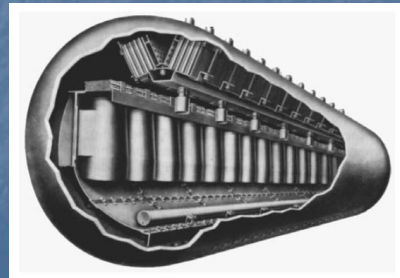


plynotěsná
membránová
stěna
zapojená do
systému
výparníku

30

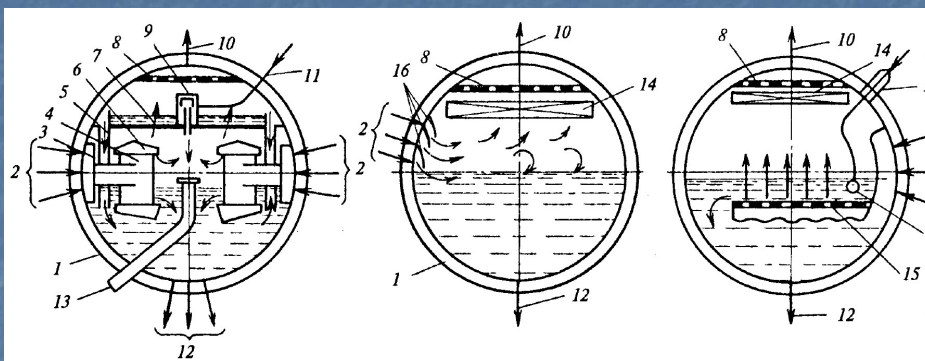
Funkce bubnu

- Úlohou bubnu je
 - čištění páry – dokonalé oddělení kotelní vody od páry
 - udržování dostatečné zásoby vody v kotli.
- Buben tvoří spojovací článek mezi ohřívákem vody a přehřívákem
 - do bubnu vstupuje
 - voda z EKA
 - parovodní směs z výparníku
 - z bubnu vystupuje
 - sytá pára do přehříváku
 - sytá voda do výparníku
 - odluh
- K bubnu je připojen
 - vodoznak – pro kontrolu výšky hladiny
 - manometr
 - přípojky pojistných ventilů
 - odvzdušňovací ventily
- Uvnitř bubnu jsou vestavby pro dokonalou separaci vodních kapek z páry
 - odlučovací cyklony
 - plechové žaluzie



31

Různé provedení vestaveb v bubnu

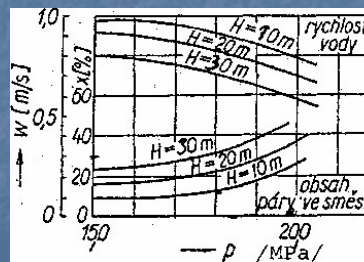
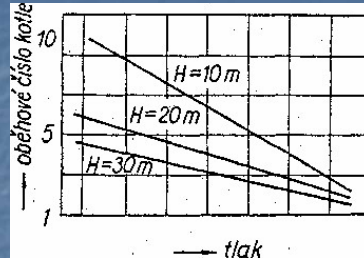


1- buben, 2- vstup parovodní směsi, 3- sběrna, 4- cyklon, 5- parní sběrna, 6- stříška, 7- děrovaný plech mytí páry, 8- stropní vestavba, 9- rozdělovací komora napájecí vody, 10- výstup páry, 11- přívod napájecí vody, 12- zavodňovací trubky, 13- trubka havarijního přepadu vody, 14- žaluziový separátor, 15- potopený děrovaný plech, 16- usměrňovací plech

32

Nevýhody přirozené cirkulace

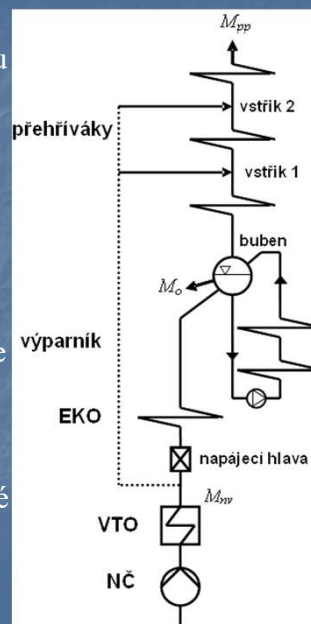
- Nízký užitečný vztlak vyžaduje minimalizaci tlakových ztrát celého systému – použití svislých přímých trubek většího průměru (60 mm)
 - S rostoucím tlakem a s rostoucí výškou se zvyšuje obsah páry x ve směsi a snižuje se rychlost vody (oběhové číslo).
 - S rostoucím tlakem vyráběné páry se zmenšuje rozdíl hustoty vody a syté páry - oběhové číslo výparníku se snižuje.
 - Čím je větší výška výparníku (pokud výparník tvoří stěny ohniště) tím je cirkulační číslo menší. S rostoucí výškou výparníku roste jeho parní výkonost (suchost x) rychleji než rychlost vody (hmotnostní průtok) na vstupu do varnice.
- ↓
- Použití výparníku s přirozeným oběhem je omezeno tlakem.
 - Za provozně ověřený tlak při spolehlivé funkci výparníku se považuje tlak kolem 14,0 MPa.



33

Kotle s nuceným oběhem (povzbuzenou cirkulací)

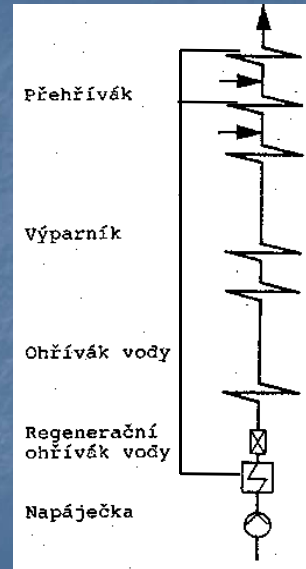
- Nucený oběh, který je vyvolán oběhovým čerpadlem, zajišťuje stabilní funkci výparníku i v oblasti vyšších tlaků (do 18 MPa)
- Schéma se výrazně neodlišuje od kotle s přirozenou cirkulací
 - ohřívák napájecí vody je rovněž připojen k bubnu
 - do varnice vstupuje voda z bubnu o stavu sytosti
- Rozdíl je v zařazení oběhového čerpadla v zavodňovacím potrubí výparníku (dopravní přetlak kolem 0,3 až 0,6 MPa), které zajišťuje dostatečný průtok pro spolehlivý provoz výparníku
- Výparník s nuceným oběhem může být proveden z trubek menšího průměru (oběhové čerpadlo pokryje větší tlakové ztráty) – je lehčí a levnější, může mít menší výšku
- Pro tyto kotle používá název La Mont



34

Kotle průtočné

- Ohřev vody na bod varu, odpaření vody a přehřátí vyrobené páry je v principu soustředěno do „jedné“ trubky, do které se na vstupu přivádí napájecí voda a z výstupu se odvádí přehřátá pára
- Průtočný systém nemá bubnu a jednotlivé části tlakového systému navzájem na sebe navazují (nemají žádný společný prvek).
- Obecně u průtočného systému není pevný začátek a konec odpařování – poloha výparníku v kotli se mění v závislosti na výkonu, změně teploty napájecí vody, struskování stěn ohniště apod.
- Rozdíl proti cirkulačnímu výparníku je
 - ve stavu vody na vstupu do výparníku – voda musí být bezpečně pod mezí sytosti
 - ve stavu páry vstupující do přehříváku, s níž se vzhledem k vyšší rychlosti proudění směsi ve varnici strhává i vodní mlha.
- Rozdíl je i ve způsobu regulace kotle – odpadá regulace hladiny v bubnu a kotel se reguluje tak, že se trvale udržuje stálý poměr mezi průtokem vody napájené do kotle a tepelným výkonem ohniště.
- Průtok vody výparníkem odpovídá $O = 1$ => vychází výrazně menší počet paralelních trubek s velkou délkou - to vyžaduje specifické konstrukční řešení – vznikly 3 koncepce



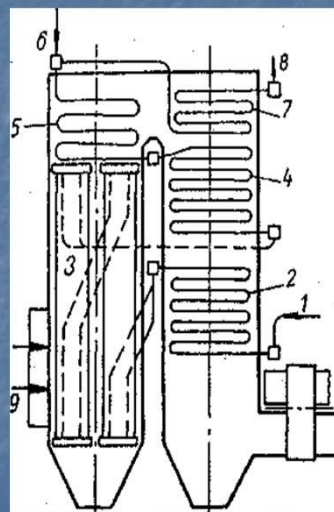
35

Průtočný výparník Benson

- Koncepce vychází z výparníku kotle s přirozenou cirkulací, který je proveden ze svislých trubek. Trubky výparníku jsou však rozděleny do sériově zapojených sekcí 3, každá sekce má vlastní vstupní a výstupní komoru.

Zapojení ploch je následující.

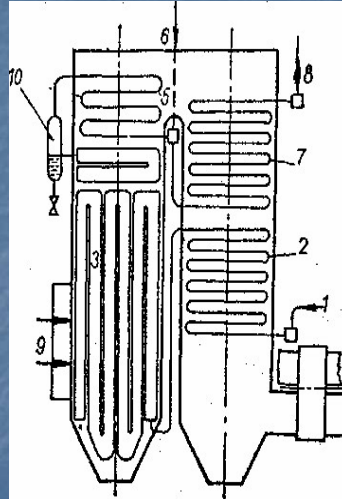
- Napájecí voda 1 vstupuje do ohříváku vody 2 kde se ohřívá na teplotu nižší než bod varu
- Dále proudí vnějším spojovacím potrubím do vstupní komory (vždy dole) první sekce výparníku. Při průchodu první sekcí se voda dohřeje na teplotu bodu varu a částečně se odpaří.
- Parovodní směs z výstupu první sekce se vede vnějším spojovacím potrubím na vstup další sekce, atd. až v poslední sekci se dosáhne obsah páry v parovodní směsi $x =$ cca 80%.
- K odpaření zbývající vlhkosti ($x =$ cca 20%) dojde až v tzv. přechodníku 4, z něhož vstupuje již sytá pára ($x = 1$) nebo mírně přehřátá pára.
- Pára se pak v přehříváku 5 a 7 přehřívá na požadovanou teplotu.
- Regulace teploty páry se provádí vstříkem 6 napájecí vody.



36

Průtočný výparník Sulzer

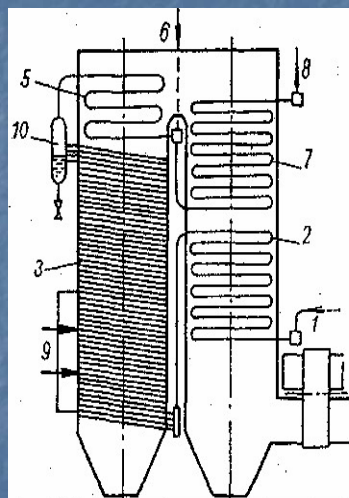
- V původním provedení měl tento kotel výparník z meandrovitě vinutého pásu několika paralelních varnic většího průměru (63 až 70 mm).
- Napájecí voda 1 se přivádí do ohříváku vody 2 a z něj do meandrovitého výparníku 3, jehož varnice jsou přímým prodloužením hadů ohříváku vody 2.
- Z meandrovitého výparníku 3 proudí parovodní směs o suchosti $x = 95$ až 98% do separátoru 10, v němž se zbytek vlhkosti, ve které by měla být obsažena většina solí z odpařované vody, odloučí a odvádí se jako odluh mimo kotel.
- Pára ze separátoru 10 se v přehříváku 5 a 7 ohřeje na požadovanou teplotu, regulace teploty páry se provádí vstříkem 6 napájecí vody.
- Charakteristické znaky původního kotle Sulzer :
 - varnice jsou prodloužením trubek ohříváku vody
 - výparník má pevný konec odpařování, který je určen separátorem
 - problém usazování solí řeší odluhem zahuštěné kotelní vody ze separátoru.
- Dnes se již meandrovitě vinutí na celý výparník nepoužívá – meandry někdy kryjí pouze část – např. výsypku



37

Průtočný výparník Ramzin

- Charakteristickým znakem je šroubovitě vinutý výparník ze svazku paralelních varnic.
- Počet paralelních trubek je určen výkonem kotle a požadovanou rychlostí vody > 1 m/s
- Pro kotle velkých výkonů se provádí šroubovitě vinutí jako dvouchodý závit, takže kotel má dvě paralelní větve samostatně regulované.
- Napájecí voda 1 se přivádí do ohříváku 2 vody a odtud se vede ohřátá voda na vstup do šroubovitě vinutého výparníku 3.
- Na výstup z výparníku je připojen separátor 10 pro odloučení zbytkové vlhkosti z parovodní směsi.
- Pára se přehřívá v přehříváku 5 a 7, teplota se reguluje vstříkem 6 napájecí vody.
- Původně se tento kotel stavěl se separátorem (pak měl výparník pevný konec odpařování jako Sulzer), dnes se staví i bez separátoru (výparník má pohyblivý konec odpařování jako Benson).



38

Cyklonový separátor vlhkosti na konci výparníku



39

Cyklonový separátor vlhkosti na konci výparníku



40

Provedení výparníku

- Výparník pokrývá stěny spalovací komory případně dalších prostor kotle.
- U nízkotlakých a středotlakých kotlů mohou být další části výparníku tvořeny
 - deskovými plochami
 - kotlovým svazkem
- Dochází v něm k varu vody za vzniku páry
 - u kotlů bubnových nebo se superponovanou cirkulací je odpaření 1 kg vody při jednom průchodu výparníkem pouze částečné - charakterizováno cirkulačním číslem,
 - u průtočných kotlů je odpaření vody ve výparníku úplné, případně může být dokončeno v tzv. přechodníku

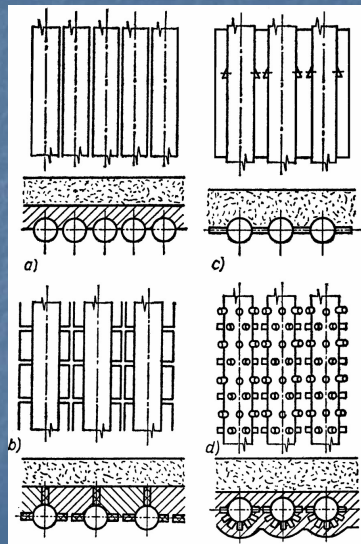
41

Konstrukční provedení výparníku bubnových kotlů s přirozenou cirkulací

- Proudění výparníkem je zajištěno termosifonovým efektem v důsledku rozdílu hustoty vody na vstupu a parovodní směsi na výstupu z varnic.
- Využitelný tlakový spád je relativně malý, proto musí být minimalizovány tlakové ztráty.
- Výparník sestává ze svislých přímých trubek většího průměru, nejčastěji 60 mm, pouze na stropě evt. nosu spalovací komory bývají trubky šikmé se sklonem minimálně 20° k horizontále.
- Jednotlivé varnice mohou být
 - volné holé,
 - opatřené žebry,
 - trny a omazem
 - svařené ocelovou pásovinou do membrány.

42

Způsob provedení stěnového výparníku



- a – holé volné trubky
- b- trubky s praporky
- c- membránová stěna
- d- otměné trubky

43

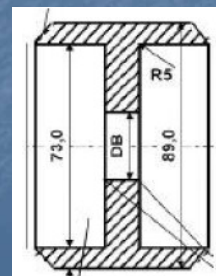
Konstrukční provedení výparníku bubnových kotlů s nucenou cirkulací

- Navrhuje se pro bubnové kotle s vyššími parametry páry.
- Pro návrh platí podobné principy jako u přirozené cirkulace.
- Oběhové čerpadlo zajišťuje
 - větší využitelný přetlak
 - stabilní průtok nezávisle na výkonu kotle.
- Je možné užít trubky menšího průměru 32 až 38 mm,
 - výparník vychází lehčí,
 - kotel je nižší s menším cirkulačním číslem 5 až 8.
 - varnice mohou být meandrovitě vinuté (klasického provedení La Mont)
- Oběhové čerpadlo je většinou bezucpávkové s pracovním přetlakem 0,3 až 0,6 MPa
- Odpovídající konstrukční délka varnic 20 až 40 m při vstupní rychlosti vody 1,0 až 1,5 m/s

44

Konstrukční provedení výparníku bubnových kotlů s nucenou cirkulací

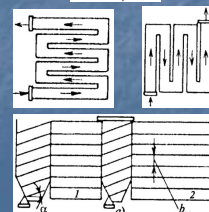
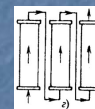
- Všechny trubky výparníku s nuceným oběhem se clonkují
- Clonka představuje konstantní odpor, který
 - zmenšuje nerovnoměrnosti průtoku v paralelních trubkách
 - kompenzuje konstrukční nebo provozní rozdíly
- Clonky
 - vyrábějí se z nitridované oceli
 - průměr bývá 6 až 12 mm
 - jejich odpor má být řádově srovnatelný s odporem varnice.
- Clonky se instalují na vstupu do jednotlivých sekcí výparníku



45

Výparník průtočných kotlů

- Dochází v něm k postupnému a úplnému odpaření přivedené vody
- Konec odpaření není pevně dán a posouvá se s výkonem kotle
- Odpadají zavodňovací trubky, takže se skládá
 - z rozváděcí a sběrné komory
 - ze soustavy paralelních varnic o vnějším průměru 32 až 38 mm,
- Délka varnic průtočných kotlů vychází větší - tři klasická vinutí varnic ve výparníku :
 - Bensonův kotel
 - výparník ze sekcí se svislými varnicemi,
 - sekce vzájemně propojeny převáděcími trubkami průměru 102 mm
 - Sulzerův kotel
 - výparník vytvořený jako svislý nebo vodorovný meandr z trubek o průměru 72 až 76 mm
 - separátor vlhosti za výparníkem
 - Ramzinův kotel - šroubovitě vinutý výparník
 - jednochodý
 - vícechodý



46

Výparník průtočných kotlů

- Prakticky u všech koncepcí výparníků průtočných kotlů se provádí clonkování z důvodu
 - zajištění rovnoměrnosti průtoku
 - zamezení nestabilitě proudění.
- Škrťící clony se umísťují
 - na vstup každé varnice
 - do přívodního potrubí jednotlivých sekcí – neměly by být širší než 2 až 2,5 m
- Pro meandrové anebo spirálové vinutí se používá trubek o vnějším průměru 32, 38, 44,5 a 51 mm.
- Větších průměrů varných trubek se používá na odpařovacím a přehřívákovém úseku výparníků kotle.
 - vstupní úseky varnic mají průměr 32 mm nebo 38 mm.
 - trubky o průměru 44,5 mm se používají v případě, že na výstupu z výparníku je parovodní směs - tj. kotel má vnesený přechodník
 - trubky o průměru 51 mm se používají v přehřívákovém úseku výparníků, tj. když přechodové pásmo představuje nedílnou součást odpařovací plochy kotle.
- Odstupňování průměru varnice se používá z důvodů zmenšení tlakové ztráty výparníku.

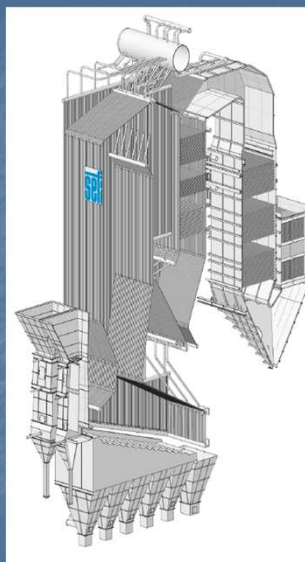
47

Výhody bubnových kotlů

- mohou pracovat s napájecí vodou horší kvality při dodržení kvality páry
- mají velký vodní obsah => vyšší akumulární schopnost je předurčuje k průmyslovým aplikacím
- nízká tlaková ztráta => nižší příkon napáječky
- univerzální použití – teplárny, elektrárny, průmyslové energetické centrály

Nevýhody bubnových kotlů

- tlakové a výkonové omezení
- těžší a dražší konstrukce
- menší provozní pružnost
- pomalejší najíždění



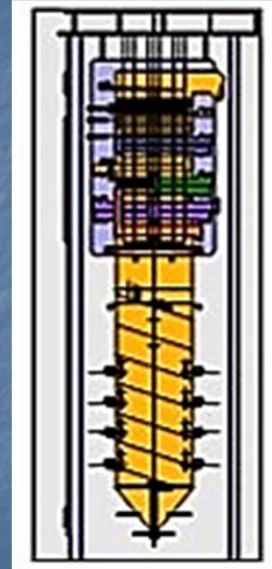
48

Výhody průtočných kotlů

- odpadá parní buben
 - levnější řešení
 - provozně pružnější
- použitelné pro velmi vysoký a nadkritický tlak

Nevýhody průtočných kotlů

- velká tlaková ztráta výparníku (1,0 – 1,6 MPa) vynucená zajištěním stabilního vyrovnaného průtoku ve všech varnicích při nízkém výkonu kotle
- složitější regulace
- menší akumulace ve výparníku – citlivost na rychlé změny odběru páry
- složitější najíždění – nutný separátor vlhkosti na konci výparníku
- vyšší nároky na kvalitu vody – demi
- uplatnění v podstatě pouze v elektrárnách



49

Konstrukční řešení výhřevných ploch

Výhřevné plochy dělíme

- podle funkce
 - ohříváky vody
 - výparníky
 - přehříváky, přihříváky
 - ohříváky vzduchu
- podle převažujícího mechanismu sdílení tepla na
 - sálavé – v oblasti nejvyšších teplot – výparník, plochy za SK
 - konvekční – husté trubkové svazky na konci kotle
 - kombinované
- podle způsobu obtékání teplosměnné plochy
 - s podélným obtékáním – deskové, nástěnné i žárotrubné
 - s příčným obtékáním – svazkové, trubkové mříže
 - s kombinovaným obtékáním

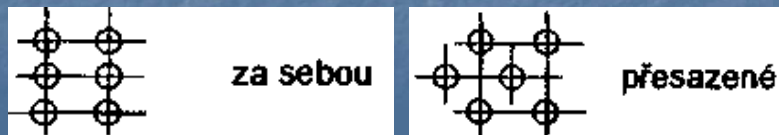
50

Svazkové výhřevné plochy

- Z hlediska změn proudění rozeznáváme:
 - omývání příčné, tj. kolmo na výhřevnou plochu trubek
 - omývání podélné, tj. rovnoběžně s osou trubek

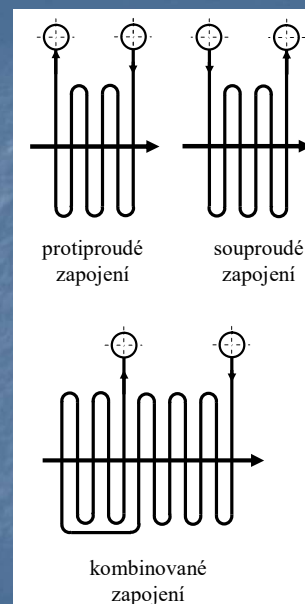
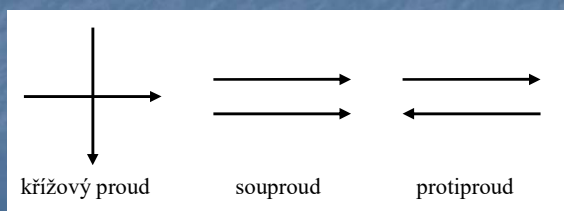


- Z hlediska uspořádání trubek rozeznáváme:
 - trubky za sebou (v zákrytu)
 - trubky přesazené (vystřídané)



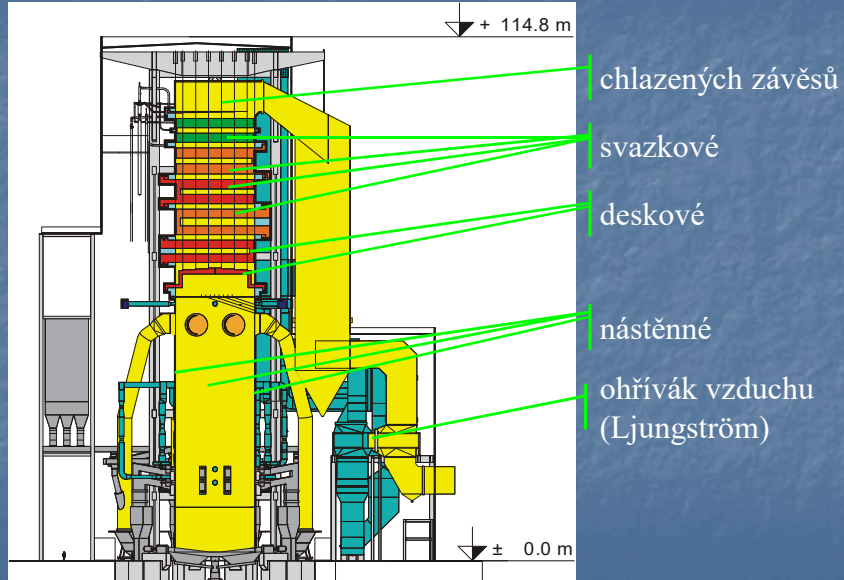
51

- Z hlediska zapojení rozeznáváme:
 - křížové zapojení
 - protiproudé zapojení
 - souproudé zapojení
 - kombinované zapojení



52

- Z hlediska provedení rozeznáváme plochy



53

Deskový přehřívák na chlazených závěsech



54

Deskový přehřívák na chlazených závěsích



55

Trubkový svazek před montáží do kotle



56

Trubkový svazek ohříváku vody



57

Trubkový ohřívák vzduchu



58

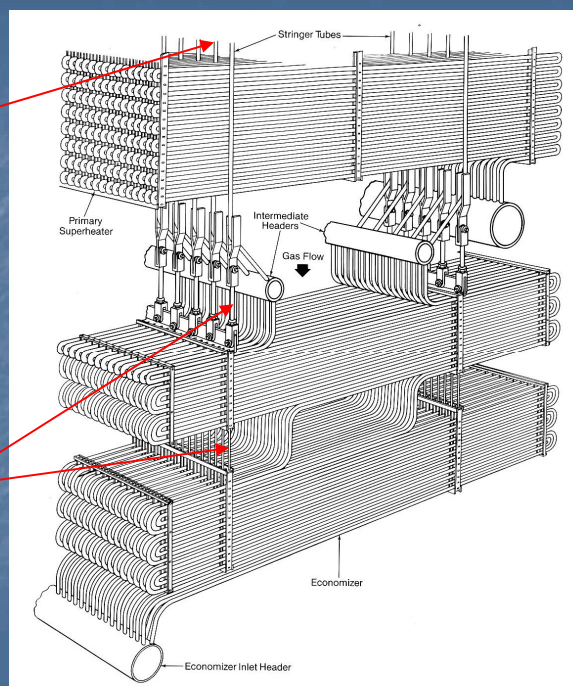
Membránová stěna



59

Závěsy

- chlazené
- nechlazené
lze je použít
pouze v nižších
teplotách spalin



60