

BUBEN A JEHO VESTAVBY

Vývoj funkce bubnu

- U kotlů vodotrubných ztrácí původní funkci výparné plochy
- Tvoří buben spojovací prvek pro varnice a spádové trubky
- Do bubnu se napájí
- Z bubnu se kotel odluhuje
- Nejdůležitější úlohou bubnu je
 - čištění páry
 - udržování dostatečné zásoby vody v kotli.
- Vodní hladina v bubnu slouží jako jeden z impulsů k regulaci napájení.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

1

Vývoj funkce bubnu

- K bubnu je připojen
 - vodoznak
 - manometr
 - přípojky pojistných ventilů
 - odvzdušňovací ventily
- K parnímu prostoru bubnu jsou připojeny trubky, odvádějící páru do přehříváku.
- U kotlů průtočných bubnu odpadá, resp. do určité míry je u Sulzerových a Ramzinových kotlů nahrazen odlučovákem vlhkosti



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

2

Velikost a provedení bubnu

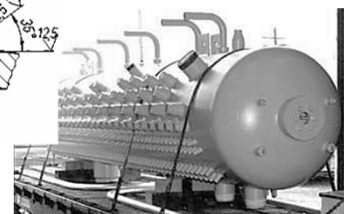
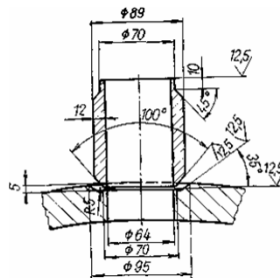
- Velikost bubnu je dána
 - dostatečným prostorem pro umístění odlučovacích zařízení
 - dostatečným povrchem pro připojení všech vyváděcích trubek z výparníku, ohříváku vody, zavodňovacích trubek a odvzdušňovacích a pojistných ventilů.
- Zvětšování délky a průměru bubnu jsou kromě samozřejmého hlediska ekonomického též tlak, jemuž je úměrná.
- Tlak omezuje
 - maximální průměr bubnu, který se ustálil asi na 1800 mm
 - tloušťku stěny bubnu, a která nemá překročit 80 až 100 mm z důvodu tepelných pnutí
- Délka bubnu je omezena šířkou ohniště - buben nemůže příliš přesahovat.
- Buben je nejčastěji svařen z lubů, skrouzených z plechů, ke kterým se na konci přivařují kulová lisovaná dna.
- Buben má na obou koncích průřezy
- Trubky výparníku
 - se do bubnu upevňovaly zaválcováním,
 - dnes se k němu připojují svařováním pomocí stopky.



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

Přivaření stopky

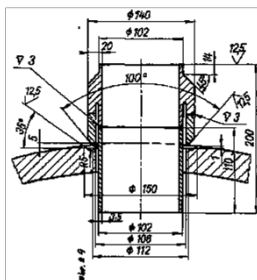


22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

4

Přivedení napájecí vody dvojitou trubkou



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

5

Rozvedení napájecí vody

- napájecím korytem



- rozváděcí trubkou pod hladinu



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

6

Mechanismus znečišťování páry

- Pára se může znečistit
 - stržením kotelní vody, která obvykle obsahuje značné množství solí (pokud se neprovádí demineralizace),
 - při svém vzniku, a to v zásadě třemi způsoby:
 - rozprášením,
 - sublimací
 - rozpouštěním solí v páře.
- Je třeba v bubnu z páry tyto soli i kotelní vodu co nejdokonaleji odstranit.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

7

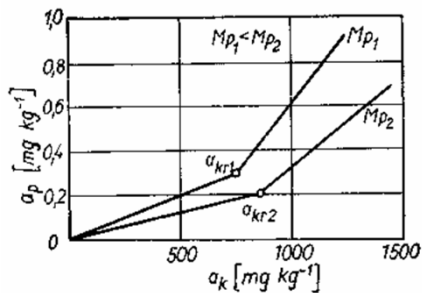
Součinitel únosu k_u

- udává poměr mezi koncentrací solí v páře, přinesených strženou vlhkostí, a koncentrací solí v kotelní vodě,
 - je prakticky roven vlhkosti páry odcházející z bubnu do přehříváku
- $$k_u = 1 - x$$
- Až do určité koncentrace solí v kotelní vodě je stálý
 - Od tzv. kritické koncentrace vzrůstá následkem
 - pění
 - přestřiku vody
 - Kritická koncentrace je funkcí
 - tepelného toku,
 - druhu soli
 - konstrukce kotle
 - výkonu
 - druhu paliva (mění se tepelné zatížení varnic)
 - Technicky čistou páru nelze u velkých bubnových kotlů vyrábět bez vestaveb.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

8



a_p - obsah solí v páře
 a_k - obsah solí v kotelní vodě

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

9

Rozprašování solí v páře

- Je podporováno velkým tepelným tokem a vznikem varu ve filmu
- S ním souvisí
 - velký teplotní spád mezi párou a stěnou (>20 °C)
 - malá oběhová rychlost (0,3 až 0,5 m/s).
- Na stěně trubky se vytvoří pod bublinkou či parním filmem místo, na němž zůstávají soli z odpařené vody.
- Těsně před odplavením bublinky se při prudkém odpařování posledních zbytků vody zbylé zahuštěné soli rozpráší do páry.
- Mikroskopické částice soli nesedimentují, nýbrž zůstávají ve vznosu v syté páře a s ní procházejí bubnem do přehřáté páry.
- Pokud na suché stěně soli zůstanou usazeny, sublimují přímo do parních bublinek.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

10

Rozpouštění solí v páře

- Probíhá ztelně při tlaku větším než 5 MPa
 - je obdobný jako rozpouštění solí v kapalině
 - přímá rozpustnost solí v syté páře je mnohem menší než ve vodě
- Je funkcí
 - tlaku
 - druhu soli
- Vyjadřuje se rozdělovacím součinitelem = poměr měrných hmotností páry ku hmotnosti vroucí vody

$$\delta_i = \frac{a_p}{a_k} = \left(\frac{\rho''}{\rho'} \right)^k = f(p)$$

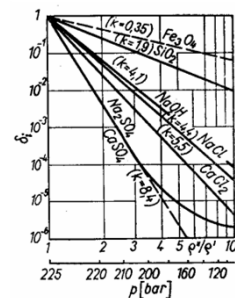
- Při kritickém tlaku je u všech solí v páře $\delta_i = 1$.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

11

Rozdělovací součinitel δ_i



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

12

Výsledné znečištění páry

- Při uvážení obou hlavních způsobů znečišťování páry

- strhávání kotelní vody
- rozpouštění solí,

je celkový obsah solí v páře dán vztahem

$$a_p = a_k \cdot (1 - x + \delta) \quad [\text{mg kg}^{-1}]$$

- Reguluje se odluhováním
- Je nutno zabránit míšení odluhované vody s napájecí vodou.
- Proto se snažíme odluhovat vodu
 - ihned po odloučení páry ze směsi přiváděné vyváděcími trubkami
 - z tepelně nejvíce zatížených varnic.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

13

Mechanické čištění páry

- K dosažení technicky čisté páry je třeba
 - oddělení páry od vody z parovodní směsi, vystupující z varnic
 - odloučení stržených kapiček kotelní vody
- Do bubnu se umísťují zařízení, jimiž dosáhneme nejsušší páry,
- Dělí se podle funkce na 3 základní typy:
 - zařízení vyrovnávající parní zatížení bubnu a tlumící kinetickou energii směsi, vystupující z varnic,
 - zařízení k hrubému oddělení cirkulační vody od páry, tzv. oddělovací zařízení
 - zařízení k odloučení párou stržených kapek vlhkosti - tzv. odlučovací zařízení.
- Představují zvýšený hydraulický odpor v cirkulačním okruhu
 - je omezujícím kritériem při návrhu

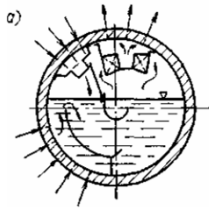
22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

14

Zařízení vyrovnávající zatížení a tlumící kinetickou energii parovodní směsi

- soustavy plechů
 - odrazných,
 - tlumících
 - děrovaných plechů
 - umístěny nad hladinou
 - umístěny pod hladinou v bubnu
- lze s nimi vystačit jen u malých jednotek



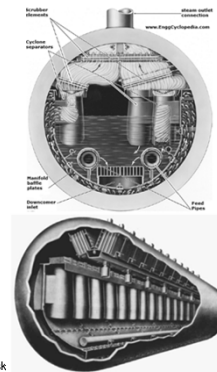
22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

15

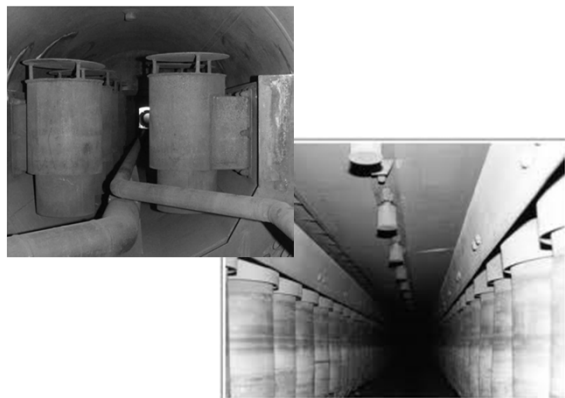
Zařízení vyrovnávající zatížení a tlumící kinetickou energii parovodní směsi

- Nejúčinnější jsou vnitřní oddělovací cyklony
- Jsou připojeny na cyklónový kanál, do kterého se přivádí veškerá parovodní směs.
- Cyklony mají směr vstupu
 - obvykle tangenciální,
 - méně často axiální.



22.11.2019

Stavba kotlů - přednášk



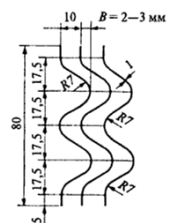
22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

17

Zařízení vyrovnávající zatížení a tlumící kinetickou energii parovodní směsi

- Odlučovky z vlnitých plechů umístěné
 - přímo nad výstupem,
 - těsně před vstupem do spojek k prvému přehříváku.
- Rychlost páry v mezeře mezi plechy musí být menší než rychlost kritická, při níž dochází k strhávání vodního filmu
- V provozu se však výraznější snížení vlhkosti působením vlnitých plechů nepotvrdilo
- Lze je považovat spíše za pojištění proti zvýšení únosu vlhkosti následkem náhlých provozních změn či poruch.



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

18

Praní páry napájecí vodou

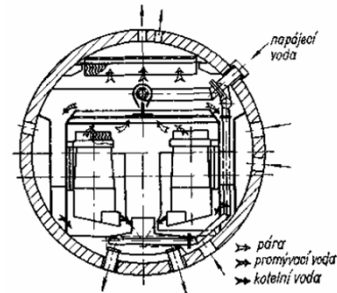
- Odstraňuje soli rozpuštěné v páře, jejichž množství je dáno rozdělovacím zákonem, se praním napájecí vodou.
- Rozeznáváme
 - praní sprchové - rozprašování vody v parním prostoru bubnu proti proudu páry
 - praní povrchové - smáčením vlnitých filtračních plechů napájecí vodou
 - praní vrstvou napájecí vody - probublávání páry žlabem, do něhož se přivádí napájecí voda
- Praní vrstvou napájecí vody je neúčinnější ze všech uvedených případů.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

19

Praní páry napájecí vodou



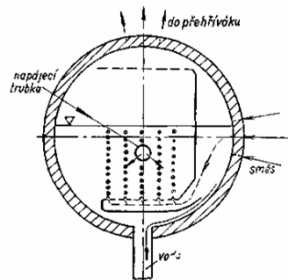
22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

20

Praní páry napájecí vodou

- promývání páry pod hladinou skrz proud napájecí vody,
- napájecí voda má řádově nižší obsah solí proti kotlové vodě

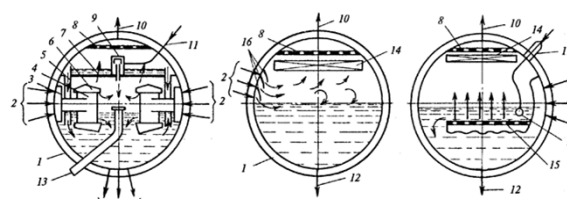


22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

21

Provedení bubnu pro VT ST a NT



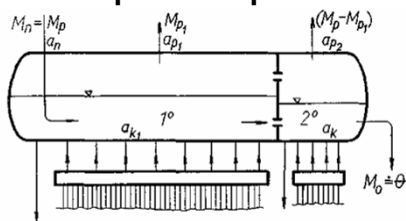
- 1- buben, 2- vstup parovodní směsi, 3- sběrna, 4- cyklon, 5- parní sběrna, 6- stříška, 7- děrovaný plech mytí páry, 8- stropní vestavba, 9- rozdělovací komora napájecí vody, 10- výstup páry, 11- přívod napájecí vody, 12- zavodňovací trubky, 13- trubka havarijního přepadu vody, 14- žaluziový separátor,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

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

22

Stupňové odpařování



- rozdělení celého odpařovacího systému včetně bubnu alespoň do dvou stupňů, řazených v sérii podle postupu napájecí vody.
 - voda napájená do kotle se přivádí pouze do prvního stupně
 - odluh prvního stupně je napájecí vodou pro druhý stupeň,
 - zde se po dalším odpařování voda ještě více zahustí
 - z druhého stupně se pak teprve kotel odluhuje.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

23

Stupňové odpařování

- většinu páry vyrábíme v prvním stupni z mnohem čistší vody
- s přihlédnutím k rozdělovacímu součiniteli je obsah solí v páře mnohem nižší.
- do druhého stupně, kde obíhá zahuštěnější voda, se zapojují výhřevné plochy méně tepelně zatížené
 - varnice v rozích stěn ohniště atd
 - nastává zde menší zahuštění soli v mezní vrstvě.
- Výhodou stupňového odpařování je možné snížení odluhu, a tím i ztrát kotle.
- Větší význam má u kotlů teplárenských.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

24

PŘEHŘÍVÁK PÁRY

- Účelem použití přehříváku je
 - zvýšení účinnosti cyklu
 - snížení vlhkosti po expanzi v turbíně.
- Pára se musí přehřívát na konstantní teplotu - materiál je obvykle využit do krajnosti
- Kolísáním teploty
 - by se snížila životnost přehříváku.
 - u turbíny by mohlo dojít
 - při pomalých změnách k tečení k nepřipustnému prodloužení a přesahu vůli,
 - při rychlých změnách pak ještě k nepřipustným prnutím,
- Střední výstupní teplota přehřáté páry je u kotle s pevným koncem odpařování ovlivňována především
 - jeho charakteristikou
 - zanášením,
 - vlastnostmi paliva
 - parametry na vodní straně, tj. teplotou napájecí vody, popřípadě i provozním tlakem.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

25

PŘEHŘÍVÁK PÁRY

- Výstupní teplota přehřáté páry
 - u dnešního kotle je od 250 °C do 620 °C,
 - u kotlů s nadkritickým tlakem bylo dosaženo až 650 °C.
- U jednotlivých paralelních hadů přehříváku je třeba dodržet
 - konstantní střední výstupní rychlosti páry
 - stejnou výstupní teplotu z důvodů materiálových.
- Nestejnost této teploty je způsobena
 - nestejným průtokem,
 - nestejným otáčením.
- Nestejný průtok je hlavně působen
 - uspořádáním komor,
 - nestejnou délkou hadů.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

26

Dělení přehříváku do stupňů, jeho uspořádání a umístění v kotli

- Při vysokých parametrech páry se zvětšují nároky na přesnost dodržování výstupní teploty přehřáté páry,
- Kotel musí mít regulátor teploty páry, zasahující při jejich odchylkách od žádané hodnoty.
- Přehřívák se rozděluje do několika stupňů
 - jsou z různých materiálů, odstupňovaných podle jejich nejvyšší pracovní teploty páry
 - promíchání páry mezi stupni, čímž se vyrovnávají rozdíly v teplotě páry za jednotlivými hady
 - mezi stupně lze výhodně zařadit regulátor teploty páry.
- Rozdělení přehříváku poskytuje možnost přidělit jednotlivým stupňům různé funkce.
 - Koncový stupeň má
 - dokončit přehřátí páry
 - udržet předepsanou teplotu páry
 - musí mít malou hmotnost a pracovat ve spalínách vyšší teploty.
 - První stupeň přehříváku
 - může se umístit v oblasti nižších teplot spalín
 - má velkou výhřevnou plochu - akumuluje hodně tepla.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

27

Charakteristika přehříváku

- Teplota páry vystupující z jednotlivých dílů přehříváku, resp. ohřátí páry v dílu, se mění se změnou výkonu kotle.
- Charakteristika přehříváku = závislost $\Delta t_p = f(M_p/M_{pj})$
- Je ovlivněna umístěním
 - přehříváku
 - výparníku a ohříváku vody.
- Podmínka zachování konstantní teploty páry (při zanedbání proměnlivosti teploty napájecí vody a tlaku)

$$\frac{Q_{ow} + Q_{vk}}{Q_{pk}} = konst$$

při změně výkonu kotle se musí úměrně změnit součet příkonů tepel do výparníku a ekonomizéru a příkon tepla do přehříváku

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

28

Charakteristika přehříváku kotlů s pevným koncem odpařování

- kotle s pevným koncem odpařování
 - kotle s oběhem vody - bubnové
 - průtočné kotle se separátorem,
- poměr S_{pk}/S_{ow+vk} neměnný
- konstantní teplota páry může být dosažena jen v případě, že

$$q_{pk} / \bar{q} = konst$$

tj. poměr středních tepelných toků do přehříváku a do výparníku spolu s ekonomizérem se nemění.

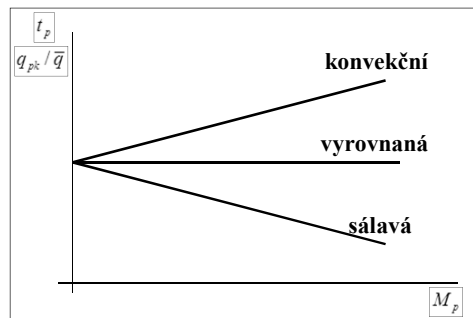
- poměr s výkonem roste = teplota přehřáté páry s výkonem stoupá tzv. konvekční charakteristika,
- v opačném případě je charakteristika sálavá
- Výraznou konvekční charakteristiku lze získat
 - malým ohřívákem vody
 - zcela předřazeným výparníkem před přehříváky.
- Sálavou charakteristiku lze získat
 - odpařovacím ekonomizérem
 - paralelním řazením přehříváku s výparníkem, např. ve stěně ohniště,

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

29

Charakteristika přehříváku



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

30

Charakteristika přehříváku kotlů s proměnným koncem odpařování

- lze měnit poměr $S_{pk}/S_{ow+vk} \Rightarrow$ vždy lze udržet $t_p = \text{konst}$
- součet $Q_{ow} + Q_{vk}$ lze měnit změnou hmotnostního průtoku vyráběné syté páry M''_p
- napájení lze přizpůsobit tepelnému příkonu do přehříváku Q_{pk}
- nutné dimenzování výkonu regulátoru teploty přehřáté páry je dáno
 - strmostí charakteristiky
 - požadovaným minimálním výkonem, při němž má být dodržena teplota přehřáté páry
- větší regulační výkon je nutný, je-li
 - strmost charakteristiky větší
 - požadovaný minimální výkon nižší

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

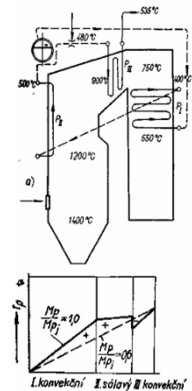
31

Řazení přehřívákových stupňů

- Dva principiální způsoby řazení.

1) Alternativa A

- těžký konvekční přehřívák ve 2. tahu,
- sálavý přehřívák v ohništi
- svislý konvekční přehřívák v přechodovém kanále za výstupem z ohniště.
- Hlavní výhodou tohoto řešení je lepší využití teplotních spádů
- Nevýhodou jsou horší akumulační vlastnosti.
 - při zvyšování výkonu se zvětšuje akumulované množství tepla v přehřívácích I a II,
 - přehřívák se musí nabit na vyšší teplotní úroveň,
 - odezva teploty přehřáté páry zpožďuje



22.11.2019

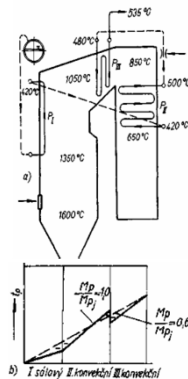
Stavba kotlů - přednáška č. 9

32

Řazení přehřívákových stupňů

2) Alternativa B

- prvý a druhý díl zaměněny
- výstupní přehřívák prakticky vždy zůstává za výstupem z ohniště.
- Dostaneme příznivější pracovní podmínky pro sálavý přehřívák v ohništi,
 - pára s nižší teplotou,
 - větší ρ , c_p i λ ,
 - snáze dostaneme i větší α_p a nižší pracovní teplotu stěny.
- Akumulační vlastnosti jsou příznivější,
 - při zvyšování výkonu se teplo z hmoty přehříváku vybíjí,
 - udržení konstantní teploty páry je snazší.



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

33

Konstrukční řešení přehříváků

- Konstrukčně se přehříváky dělí na tři základní typy:
 - svazkové,
 - deskové
 - stěnové.
- Kritériem je teplota spalin a její vliv na stav popelovin
- Popeloviny mohou při vysokých teplotách přejít do plastického stavu a způsobit velké zanášení
 - je třeba použít přehříváku, řešeného ve tvaru desek - svislé a dostatečně dlouhé
 - mezery mezi jednotlivými deskami lze volit dostatečně široké, takže nemůže dojít k přemostění mezery mezi deskami spojením sousedních vrstev nánosů.
 - desky mají určitý samočisticí účinek následkem nestejně dilatace sousedních trubek a jejich chvění,
 - deskový přehřívák lépe využívá materiálu trubek na rozdíl od stěnového přehříváku,
- Svazkový typ přehříváku nemůže být umístěn v ohništi
 - vstupní teplota spalin do něho musí být bezpečně nižší než teplota měknutí popela, což představuje teplotu kolem 1000 °C.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

34

Svazkové přehříváky páry

- svazkový přehřívák vznikne ohnutím trubek do tzv. hadů s větším počtem smyček
 - šířková rozteč mezi trubkami bývá $\sim 4 D$
 - hloubková rozteč bývá (1,7 až 3) D
- mohou být svislé a vodorovné
- vodorovné se řadí do druhého svislého tahu kotle
 - jsou odvodnitelné - výhodné při odstavení
 - nevýhodou je značné zanášení nánosy popílku
- svislé přehříváky se umísťují v přechodovém kanále

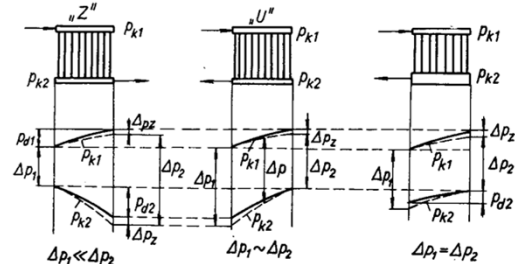
22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

35

Zapojení komor přehříváku

- průběh tlaku a průtok

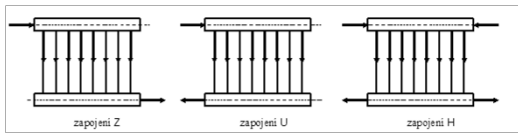


22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

36

Zapojení a uspořádání přehříváku



- nedovoluje se použití uspořádání „Z“
- uspořádání „U“ přípustné, ale nedoporučuje se.
- přívod páry k rozdělovacím komorám má být proveden větším počtem trubek menšího průměru po celé délce komory, aby se docílilo rovnoměrného rozdělení do jednotlivých hadů po šířce přehříváku.

22.11.2019

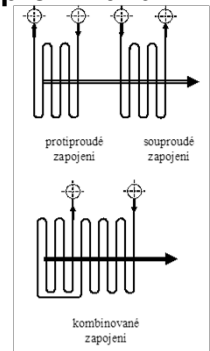
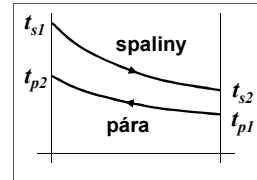
Stavba kotlů - přednáška č. 9

37

Zapojení svazkových přehříváku

• Protiproud

- má největší teplotní spád a tím nejmenší výhřevnou plochu
- uplatňuje se u konvekčních přehříváků s malým rozdílem teplot spalin a páry



22.11.2019

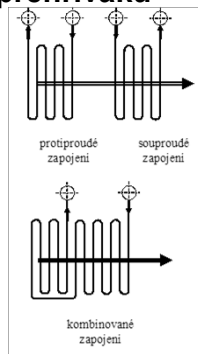
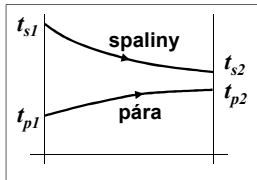
Stavba kotlů - přednáška č. 9

38

Zapojení svazkových přehříváku

• Souproud

- teplotní spád se podél plochy značně mění = tepelné zatížení výhřevné plochy je nerovnoměrné,
- výhřevná plocha vychází větší
- používá se jen v oblasti vysokých teplot spalin, kde teplotový spád je velký
- menší tepelné zatížení posledních smyček se s výhodou uplatní u koncového stupně přehříváku

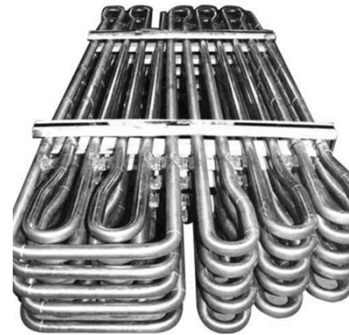


22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

39

Svazkový přehřívák – kombinované zapojení



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

40

Svazkový přehřívák

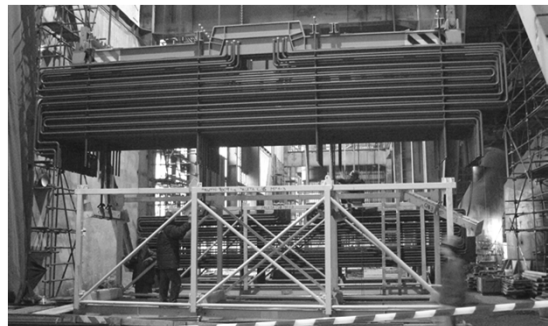


22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

41

Svazkový přehřívák



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

42

Deskové přehříváky páry

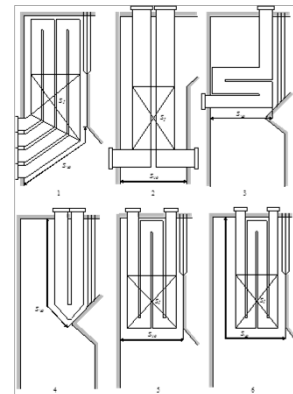
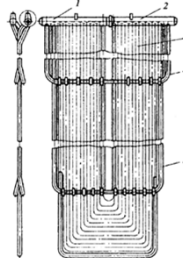
- bývají první výhřevnou plochou umístěvanou do tahu spalin za ohništěm
- Nacházejí se v oblasti velmi vysokých teplot, kde ještě může docházet k dohořívání paliva a vytváření struskových nánosů na plochách, proto
- jednotlivé trubky jsou uspořádány těsně k sobě, takže vytvářejí kompaktní desky umístěné s velkou roztečí do proudu spalin
- jedná se o polosálavé plochy - vyrovnávají pokles teploty páry při sníženém výkonu, a tím zlepšují charakteristiku přehříváku
- používají se u všech vysokotlakých kotlů větších výkonů, někdy také u kotlů středotlakých.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

43

Provedení deskových přehříváků

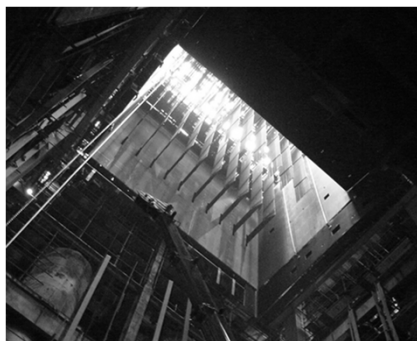


22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

44

Deskový přehřívák

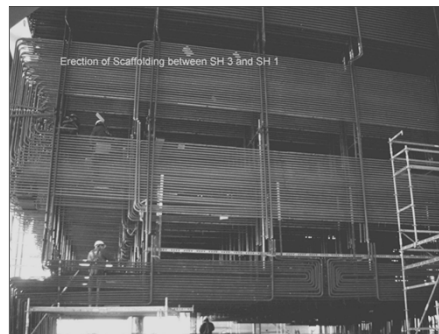


22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

45

Deskový přehřívák



22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

46

Volba základních rozměrů

- Deskové přehříváky se vyrábějí z hladkých trubek o průměru 32, 38 nebo 44,5 mm.
- Tloušťka stěny může být 4 až 7 mm.
- Rozteče deskových přehříváku se volí následovně :
 - rozteč desek ve spalinovém tahu (příčná rozteč) $s_1 = 550$ mm
 - rozteč trubek v desce (podélná rozteč) $s_2 = (1,1 + 1,25) \cdot D$
- Rychlost páry v trubkách
 - pro zvýšený tlak 14 MPa $w_p = (10 + 18)$ m/s
 - pro vysoký tlak = (8 + 14) MPa $w_p = (20 + 30)$ m/s
- Daným rychlostem odpovídá hmotová rychlost
 - pro přehříváky $\rho \cdot w = (600 + 1000)$ kg·m⁻²·s⁻¹,
 - pro přehříváky $\rho \cdot w = (250 + 400)$ kg·m⁻²·s⁻¹.
- Rychlost spalin bývá (4 ÷ 8) m/s.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

47

Rychlost páry v přehřívácích

- tlaková ztráta přehříváku neměla přesáhnout 10% z jmenovitého tlaku kotle
- upřednostňuje se dobré chlazení stěny přehříváku před velikostí tlakové ztráty.
- Základním ukazatelem dostatečného chlazení stěn trubek přehříváku je hmotová rychlost páry $\rho \cdot w$ [kg·m⁻²·s⁻¹].
- Doporučená hmotová rychlost páry velikost je následující :
 - konvekční přehřívák vysokotlaký $\rho \cdot w = 500 + 1000$ kg·m⁻²·s⁻¹
 - deskový přehřívák $\rho \cdot w = 600 + 1000$ kg·m⁻²·s⁻¹
 - sálavý přehřívák $\rho \cdot w = 1000 + 1500$ kg·m⁻²·s⁻¹
 - konvekční přehřívák $\rho \cdot w = 250 + 400$ kg·m⁻²·s⁻¹
- Odpovídající skutečné rychlosti páry jsou v mezích 12 až 30 m/s.
- Někdy se doporučuje volit rychlost páry tak, aby přestupní součinitel tepla na straně páry byl $\alpha_p = 3000$ W·m⁻²·K⁻¹,
- Jiným kritériem je teplotový gradient mezi párou a stěnou trubky q/α_p , jehož velikost má být v mezích 10 + 20 K.

22.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 9

48