

Návrh koncepce spalovacího zařízení

U roštových ohnišť se volí dle druhu paliva a jeho třídění

- typ roštu
- tvar spalovací komory,
- způsob přívodu paliva na rošt a vytváření vrstvy
 - hradítkem
 - pohazováním.
- Hrubá plocha roštu se vypočte z přípustného tepelného zatížení roštové plochy, pohybuje v mezích $0,7 + 1,5 \text{ MW/m}^2$.

U velkoprostorových práškových ohnišť granulačních se volí

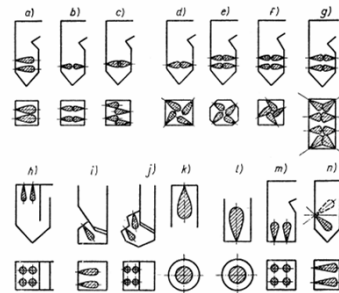
- tvar spalovací komory ve většině případů jako čtyřboký hranol
- zešíkmení bočních stěn ve spodní části do tvaru výsyvky
- zúžení v horní části komory pro zlepšení aerodynamiky v prostoru pod stropem ohniště - prodlužuje dobu setrvání paliva v komoře
- Maximální pozornost je třeba věnovat volbě umístění hořáků.

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

1

Principiální možnosti umístění hořáků v ohništích parních kotlů



a - dvouřadé čelní, b - jednořadé protiběžné, c - jednořadé vystřídání, d - jednořadé rohové, e - f - dvouřadé tangenciální, h - stropní, i - j - v šikmé stěně, k - stropní, l - m - ve dně, n - naklápěcí hořáky v čelní stěně

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

2

Návrh spalovací komory z hlediska potlačení tvorby NO_x

- Realizace tzv. primárních opatření
 - snížení přebytku vzduchu na výstupu z ohniště na nezbytné minimum z hlediska účinnosti spalování a redukce CO a NO_x
 - zvýšená koncentrace prášku v zóně hlavních hořáků,
 - odstupňovaný přívod spalovacího vzduchu
 - odstupňovaný přívod paliva
 - zajištění potřebných koncentrací v celém průřezu (účinné příčné míchání)
 - recirkulace spalin do ohniště.
- Vlastní realizace principů primárních opatření se liší
 - podle druhu spalovaného paliva (černé a hnědé uhlí),
 - především podle know-how dodavatele.

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

3

Spalování práškového uhlí

- Celkový přebytek vzduchu na konci ohniště snižuje na hodnotu 1,15
- Spalovací vzduch se musí odstupňovat
 - po výšce spalovací komory,
 - po průřezu (v oblasti hořáků).
- Realizaci primárních opatření lze u nových kotlů s tangenciálním ohništěm, dosáhnout snížení emisí NO_x na hodnotu
 - cca 350 mg/Nm^3 u černého uhlí
 - cca 200 mg/Nm^3 u hnědého uhlí
- Další snížení je možné jen s využitím metody SNCR nebo SCR.

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

4

Koncepce ohniště pro práškové uhlí

Příklad:

- SK s rohovými proudovými hořáky na HU

- ohniště má 4 ventilátorové mlýny,
- každý mlýn zásobuje primární směsí 1 rohový hořák
- každý hořák má 3 skupiny trysek nad sebou
- nad hořáky (před koncem spalovací komory) je pak zaústěn dospalovací vzduch.



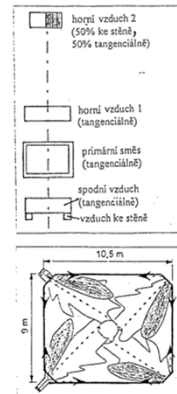
15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

5

Koncepce ohniště pro práškové uhlí

- každou skupinu hořáku tvoří
 - spodní vzduch, přičemž
 - část je přikloněna ke stěně
 - zbytek je nasměrován tangenciálně
 - tangenciálně nasměrovaný přívod primární směsi
 - horního vzduchu 1.
- Primární směs, dolní a horní vzduch 1 jsou uspořádány bezprostředně nad sebou.
- V určitém odstupu nad horním vzduchem 1 je přívod horního vzduchu 2
 - jedna polovina je nasměrována tangenciálně
 - druhá polovina je přikloněna ke stěně.

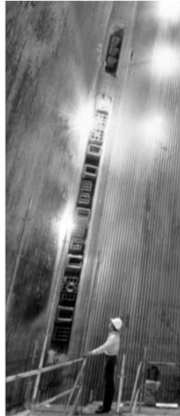
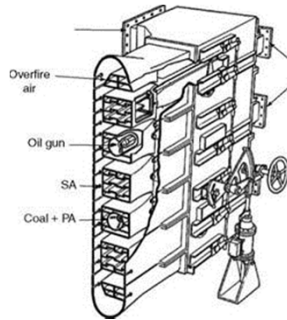


15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

6

Koncepce ohniště proudovými hořáky

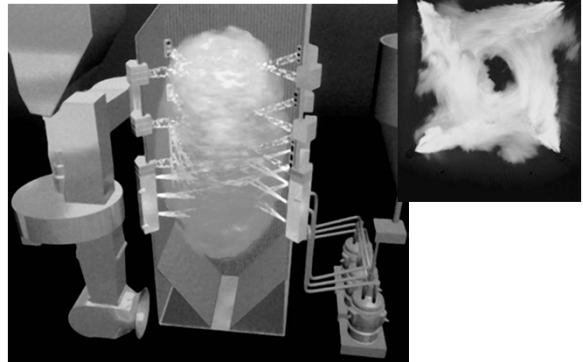


15.11.2019

Stavba kottů - přednáška č. 8

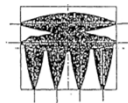
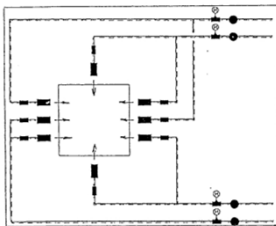
7

Koncepce ohniště pro práškové uhlí



8

Koncepce ohniště pro práškové uhlí



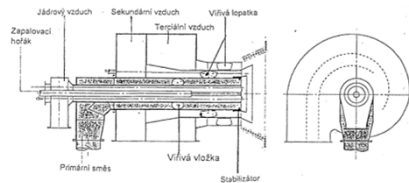
Dospalovací vzduch nad poslední (nejvýš umístěnou) hořákovou skupinou musí být přiveden tak, aby byla zajištěna rovnoměrná koncentrace kyslíku po celém průřezu na konci spalovací komory.

15.11.2019

Stavba kottů - přednáška č. 8

9

Použití vířivých hořáků pro černé uhlí



- Umístění
 - v přední stěně kotle
 - v přední a zadní stěně proti sobě - tzv. boxové uspořádání.
- Základní princip - vytváření redukčních zón přímo v hořáku
- Schéma vířivého hořáku DS (Drall - Stufen - Brenner)
 - primární směs přivádí mezikruží v ose hořáku - uvede do rotace pomocí vříči
 - vně přivodu tzv. jádrového vzduchu - vystupuje do spalovací komory axiálně
 - sekundární a terciální vzduch vstupují do hořákové skříně tangenciálně přes vřířivé lopatky v mezikružích

15.11.2019

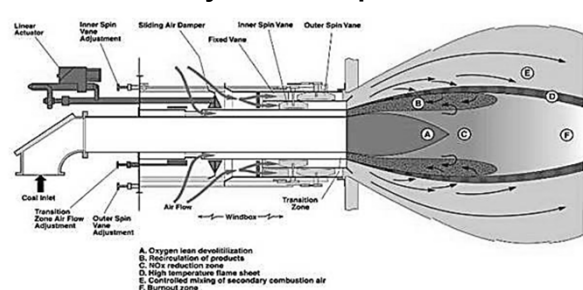
Stavba kottů - přednáška č. 8

10

Vířivý hořák Ultra Low NO_x



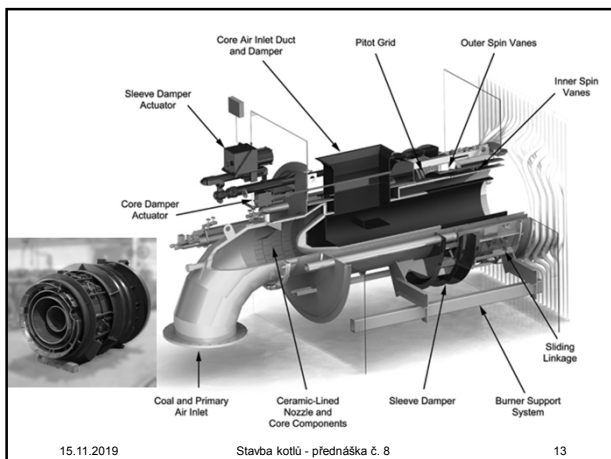
Použití vířivých hořáků pro černé uhlí



15.11.2019

Stavba kottů - přednáška č. 8

12



Použití vířivých hořáků pro černé uhlí

Charakteristické pro vířivý hořák DS s omezenou tvorbou NO je zejména:

- dostatečně včas započatý intenzivní tepelný rozklad paliva
- uvolněná prchavá hořlavina se zapálí přímo na hořáku - v zóně s vysokou koncentrací paliva a v redukčním prostředí
- přesně definovaný stupňovitý a opožděný přísun vzduchu k hořící hořlavině
- rovnoměrný přísun vzduchu a paliva do společných zón, čímž se dosáhne rovnoměrné rozložení plamene
- opožděný přísun terciálního vzduchu do zóny hoření (je jako vnější - obalový vzduch)
- spalování na hořáku probíhá v mírně redukční atmosféře. K dospění hořlaviny na konci spalovací komory se přivádí ve dvou úrovních dohořivací vzduch. (Tím se zajistí splnění emisního limitu CO.)

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

14

Roštové kotle na uhlí

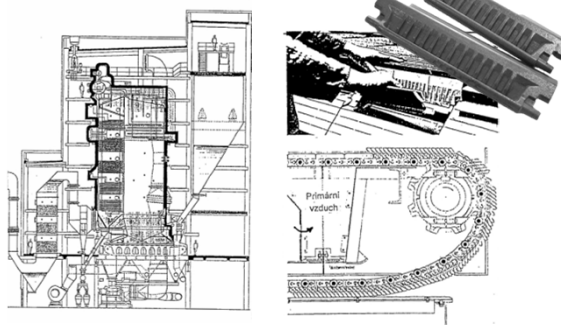
- Kotle se staví pro velký rozsah výkonů, obvykle 0,7 MWt až 50 MWt, extrémně do 150 MWt.
- Primárními opatřeními lze dosáhnout nízkých emisí NO_x. Je to dáno
 - nízkou spalovací teplotou (cca 1300°C) při přebytku vzduchu ve spalovací komoře cca 1,3 (1,4).
 - řízenou distribucí vzduchu
- Spalovací vzduch se rozděluje
 - na primární (cca 70% až 80%) – vhná se pod rošt kotle
 - sekundární (30% až 20%) – fouká se dýzami po obvodu spalovací komory nad roštem.
- Primární vzduch se po délce roštu rozdělí do několika zón
 - zóny jsou mezi sebou utěsněny
 - v každé je regulační orgán pro nastavení individuálního průtoku vzduchu.
- Rozdělení vzduchu na primární a sekundární, jakož i rozdělení primárního vzduchu do zón závisí na vlastnostech paliva.
- Bez recirkulace spalin lze dosáhnout hodnoty NO_x pod 450 mg/Nm³
- Další snížení emisí NO_x lze dosáhnout recirkulací studených spalin
 - do koncových zón roštu spolu s primárním vzduchem
 - do spalovací komory nad roštem pomocí dýz např. tangenciálně uspořádaných v obvodových stěnách

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

15

Roštový kotel o výkonu 100 t/h



Roštové kotle na biomasu a odpady

- V českých podmínkách výkony do 35 MWt.
- Kotle nemají spalinový ohřívák vzduchu – užívá se pouze parní kalorifer
- Přebytek vzduchu se volí 1,3 až 1,6
- Spalovací vzduch se rozděluje
 - na primární (cca 60% až 70%) – vhná se pod rošt kotle
 - sekundární (40% až 30%) – fouká se dýzami po obvodu spalovací komory nad roštem.
- Primární vzduch se po délce roštu zónuje
- Recirkulace spalin až do 30 % se užívá
 - pro snížení teplot a pro zamezení struskování a zalepování roštu
 - snížení emise NO_x

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

17

Roštový spalovací kotel (parní)

Parametry páry: 14t/h, 4,0MPa, 360°C

Rozměry: A – 17m
B – 14,5m
H – 24m

Legenda:

1. vstup paliva – násypná šachta
2. přesuvný rošt
3. plamenný hořák
4. spalovací komora
5. bloky přehříváku páry
6. bloky ekonomizéru
7. výstup spalin
8. výstup páry z kotle
9. odvod popela/škvrny

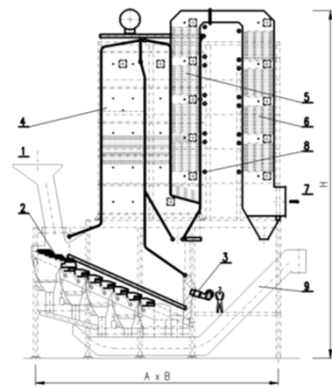
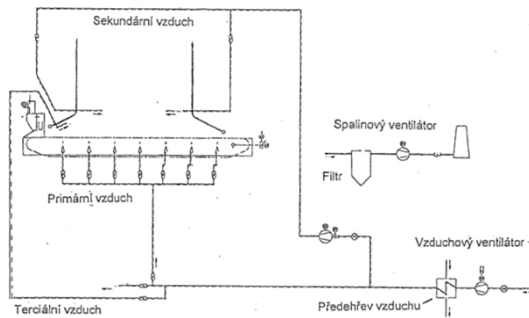


Schéma přívodu vzduchu u roštového kotle

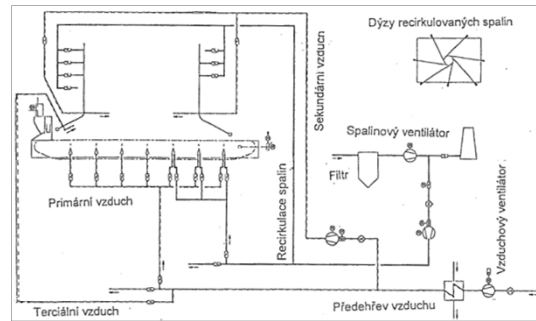


15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

19

Roštové ohniště s recirkulací spalin



15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

20

Návrh 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

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

21

Konstrukční provedení výparníku bubnových kotlů s přirozenou cirkulací

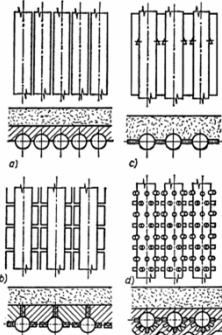
- Proudění výparníkem je zajištěno termosifonovým efektem v důsledku rozdílu hustoty vody na vstupu a parovodní směsi na výstupu z varnic.
- Využitelný tlakový spád je relativně malý, proto musí být minimalizovány tlakové ztráty.
- Výparník sestává ze svislých přímých trubek většího průměru, nejčastěji 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.

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

22

Způsob provedení stěnového výparníku



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

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

23

Řešení výparníku bubnových kotlů s přirozenou cirkulací

- Ze všech varnic výparníku by měla vystupovat parovodní směs zhruba stejné suchosti
- Vztlak ve varnicích je závislý na

$$\Delta p = h \cdot \Delta \rho \cdot g$$

- Příčiny rozdílné velikosti vztaku (průtoku) jednotlivými varnicemi
 - nerovnoměrný tepelný výkon po šířce stěny
 - různá délka varnic
 - různý příkon
 - různý odpor
 - různá hydrostatická výška
- Opatření pro vyrovnání průtoků
 - dělení rozváděcích komor vnitřními přepážkami na lichý počet sekcí s vlastními spádovkami = vytvoření samostatných cirkulačních okruhů
 - clonkování jednotlivých varnic – užívá se výjimečně

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

24

Řešení 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

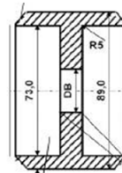
15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

25

Řešení 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



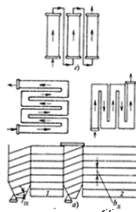
15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

26

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 o průměru 102 mm
 - Sulzerův kotel
 - výparník vytvořený jako svislý nebo vodorovný meandr z trubek o průměru 72 až 76 mm
 - separátor vlhkosti za výparníkem
 - Ramzinův kotel - šroubovitě vinutý výparník
 - jednochodý
 - vícechodý



15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

27

Výparník průtočných kotlů

- Prakticky u všech koncepcí výparníků průtočných kotlů se provádí clonkování z důvodu
 - zajištění rovnoměrnosti průtoku
 - zamezení nestabilitě proudění.
- Škrtkové clony se umísťují
 - na vstup každé varnice
 - do přívodního potrubí jednotlivých sekcí – neměly by být širší než 2 až 2,5 m

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

28

Klasické průtočné kotle s podkritickým tlakem

- Pro meandrové nebo 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 vyneseny 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.

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

29

Průtočné kotle s podkritickým tlakem

- Konstrukční údaje výparníku (počet trubek, šířka chodu, počet chodů) se vypočítávají na základě volby minimálně potřebného hmotného toku pracovního média

$$\rho \cdot w = \frac{M}{F \cdot n} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

M [kg/s] je průtok výparníkem,
 F [m²] je světlý průřez jedné varnice
 n [-] je počet paralelně řazených trubek ve výparníku

- Hmotový tok při jmenovitém zatížení kotle na vstupu do výparníku a v oblasti hořáků má mít tyto minimální hodnoty:
 - pro mazut $\rho \cdot w = 2500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
 - pro uhlí $\rho \cdot w = 2000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
 - pro plyn $\rho \cdot w = 1500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
- Pro úseky výparníků umístěné v horní části spalovací komory a v oblasti sůtu se doporučuje volit tyto hmotové toky:
 - pro mazut $\rho \cdot w = 1500 + 2000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
 - pro uhlí $\rho \cdot w = 1000 + 1500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
 - pro plyn $\rho \cdot w = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

30

Průtočné kotle s podkritickým tlakem

- Tlaková ztráta průtlačného výparníku
 - s parovodní směsí na výstupu se volí 1,2 až 1,8 MPa,
 - s přehřátou párou na výstupu 1,5 až 2,2 MPa,
- Kriteřiem je zajištění rovnoměrnosti a stability proudění při nízkých výkonech.
- Velikost ztráty se zajistí clonkováním varnic.
- Voda na vstupu do výparníku má mít entalpii minimálně 125 až 170 kJ/kg pod bodem varu

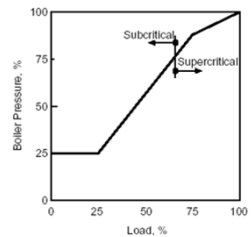
15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

31

Průtočné kotle s nadkritickým tlakem

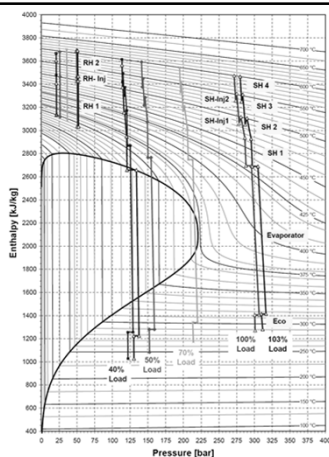
- Neexistuje odpařovací část neboli výparník v tom smyslu, jako při podkritickém tlaku
- Je tak označována výhřevná plocha, ve které dochází k fázové změně média, tj. část s maximálním měrným teplem.
- Při regulaci bloku s klouzavým tlakem se od určitého výkonu směrem dolů kotel dostává do podkritické oblasti
- Konstrukční zásady projektování výparníku jsou v tomto případě stejné jako u kotlů s podkritickým tlakem



15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

32



15.11.2019

33

Kotle se superponovanou cirkulací

- Jedná se o určitou analogii kotle s povzbuzenou cirkulací
- Buben je nahrazen separátorem vlhkosti.
- Tuto koncepci je výhodné navrhovat u kotlů
 - s výkonem vyšším než 200 MW
 - při tlaku v separátoru nad 17,6 MPa,
 - ve výparníku vystačí s jedním chodem média ve vertikálních varnicích.
 - lze ji užít i u kotlů s nadkritickým tlakem.
- Hodnota hmotového toku se volí v rozmezí

$$\rho \cdot w = 1100 + 1600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$
- Tlaková ztráta kotle s povzbuzenou cirkulací činí 0,6 až 0,7 MPa.
- Průtok vody výparníkem zajišťuje oběhové čerpadlo.
 - Voda v sání musí být vždy pod bodem varu, výrobce čerpadla doporučuje podchlazení o 15 až 20 °C.
 - Cirkulační číslo při jmenovitém výkonu se volí 1,3 až 1,5, takže výstupní suchost mokré páry z výparníku $x = 0,7$ až 0,8.

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

34

Kotle se superponovanou cirkulací

- Při použití výparníku s jedním chodem média ve vertikálních varnicích existuje poměrně pevná vazba mezi konstrukčním provedením výparníku a obvodem spalovací komory

$$s_1 \cdot n_r = 2 \cdot (a + b)$$

- Kde s_1 [m] je rozteč varnic, n_r [-] je jejich počet, a a b [m] je šířka stěn ohniště. Mimo to platí další podmínky

$$n_r = \frac{M}{F \cdot (\rho \cdot w)} \quad a \cdot b = \frac{M_{pal} \cdot Q_i}{q_s}$$

- kde M_{pal} [kg/s] je množství paliva, Q_i [kJ/kg] je výhřevnost paliva a q_s [kW/m²] je průřezové zatížení ohniště.
- Splnění uvedených podmínek lze docílit vhodnou volbou průměru varnic, jejich rozteče, hmotového toku média M a průřezového zatížení spalovací komory.

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

35

Kotle s kombinovanou cirkulací

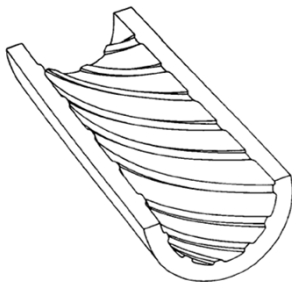
- Separátor vlhkosti za výparníkem je provozován pouze při dílčím výkonu řádově do 60 až 70 %
- Při vyšším výkonu kotel pracuje jako čistě průtočný bez separátoru
- U podkritických kotlů může být použito libovolné vinutí výparníku
- Hmotový tok se volí $\rho \cdot w = 1500 + 1600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ při plném výkonu.
- Kombinovaná cirkulace používá též u kotlů s nadkritickým tlakem - výparník se pak projektuje ze svislých trubek s jedním chodem média při dodržení podmínek

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

36

Použití trubek s vnitřním drážkováním



15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

37

Návrh velikosti spalovací komory

- Základním požadavkem kladeným na spalovací komoru kotle je
 - zajištění vznícení a dokonalého vyhoření paliva
 - ukončení spalování v prostoru ohniště
- U kotlů na tuhá paliva dále
 - ohniště musí umožňovat kontinuální odvod tuhých zbytků po spalování -vhodné řešení dna
 - teplota odcházejících spalin resp. úletu v nich (popílku) musí být dostatečně nízká, aby nedošlo k zastruskování následujících výhřevných ploch.

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

38

Výpočet spalovací komory

- Výpočet spalovací komory spočívá ve výpočtu teploty odchodících spalin
- Vypočtená teplota spalin musí vyhovět předem stanoveným požadavkům.
- Výpočet se provádí kontrolním způsobem, a to i v případě projekčního návrhu nového zařízení
 1. nejprve se navrhne objem a geometrické rozměry ohniště,
 2. vypočte se jím odpovídající odvod tepla a tedy i teplota spalin na výstupu
 3. získané výsledky se porovnají s předem stanovenými požadovanými hodnotami.
 4. pokud se vypočtené hodnoty liší od požadovaných, geometrické rozměry se upraví a výpočet se opakuje
- Kontrolní přepočet stávajících zařízení se provádí stejným způsobem.

15.11.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 8

39