

Stavba kotlů

2.n. ročník
zimní semestr

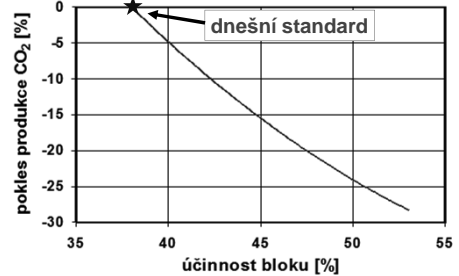
doc. Ing. Tomáš DLOUHÝ, CSc.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

1

Vliv účinnosti uhlénohého bloku na produkci CO₂



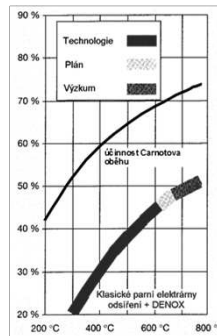
22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

2

Zvyšování účinnosti parního oběhu

- klasická karnotizační opatření:
 - intenzifikace parametrů
 - admisních - zvyšování tlaku a teploty páry
 - emisních - snižování protitlaku
 - opakované přehřívání páry
 - regenerační ohřev napájecí vody
- zlepšování účinnosti dílčích komponent
- snižování vlastní spotřeby
- nová opatření



22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

3

Stav u parních oběhů

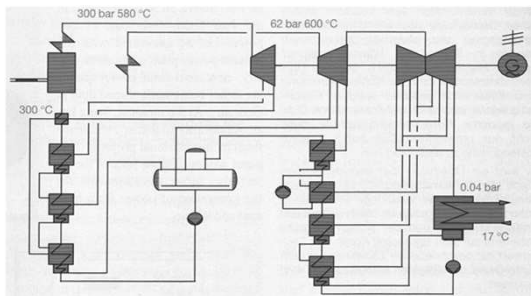
- Standard** - starší podkritické bloky s účinností $\eta_{\text{netto}} = 0,36$ až $0,40$.
- Stávající špička** „Generace 600“ s tlakem do 30MPa, teplotami do 620°C, $\eta_{\text{netto}} = 0,47$ až $0,50$.
- Aktuální vývoj** „Generace 700“ (AD700 realizace cca 2014) tlak do 35-37,5 MPa, maximální teploty páry 700-720°C a čistá účinnost až $\eta_{\text{netto}} = 0,54$.
- Výhled** po roce 2020 „Generace 800“ s maximální teplotou páry v oblasti 800°C a čistou účinností vyšší než $0,55$.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

4

Typické schéma bloku „Generace 600“

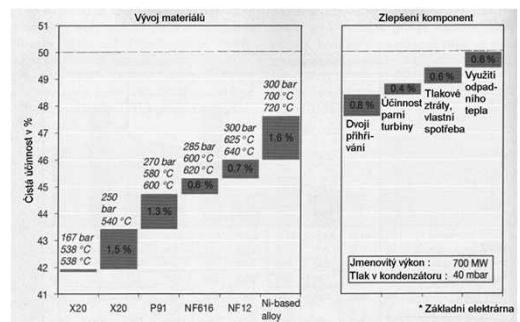


22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

5

Potenciál zvyšování účinnosti parních bloků



22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

6

Účinnost bloku uhelné parní elektrárny

$$\eta_{netto} = \eta_o \cdot \eta_k \cdot \eta_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{vs}$$

kde je η_o účinnost reálného tepelného oběhu
 η_k účinnost kotle
 η_p účinnost parovodů
 η_m mechanická účinnost turbíny
 η_g účinnost generátoru
 η_{tr} účinnost transformace
 η_{vs} respektování vlastní spotřeby

22.9.2019

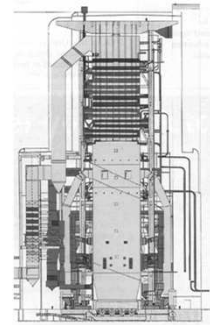
Stavba kotlů - přednáška č. 1

7

Účinnost kotle

je dána pěti ztrátami :

- ztrátu fyzickým teplem spalin (komínovou),
- ztrátu hořlavinou v TZ
- ztrátu hořlavinou ve spalinách
- ztrátu fyzickým teplem TZ
- ztrátou sdílením tepla do okolí



22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

8

Velikost ztrát závisí :

- na konstrukčním řešení spalovacího zařízení
- na konstrukčním řešení kotle
 - na velikosti koncových výhřevných ploch
 - ohříváku vody (EKO)
 - ohříváku vzduchu (OVZ)
 - na podmínkách přestupu tepla
- na vlastnostech paliv – obsahu vody a popela

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

9

Vliv parametrů páry a teploty napájecí vody na účinnost kotle

- zvolené parametry páry určují optimální teplotu napájecí vody
- volba vyšších parametrů páry vyžaduje vyšší teplotu napájecí vody
- teplota napájecí vody je rozhodující pro návrh dochlazovacích ploch kotle

↓
**vliv na
 koncovou teplotu spalin a
 účinnost kotle**

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

10

KOTLE

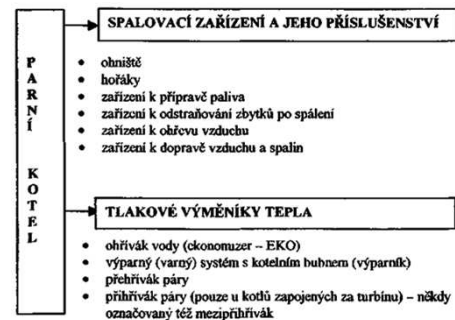
dělení, typy, názvosloví

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

11

Základní pojmy

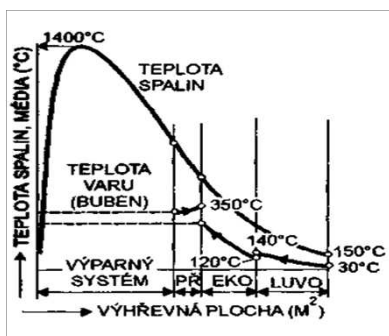


22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

12

Diagram teplota - výměnná plocha

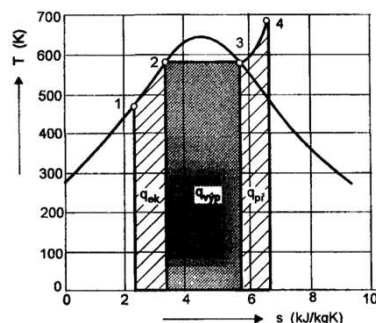


22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

13

Změna vody na páru v kotli v diagramu T-s



22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

14

Požadované vlastnosti kotlů

Obecné požadavky

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

v souhrnu zaručují vysokou účinnost zdroje.

Dále

- omezení vzniku škodlivých produktů spalování na nejnížší 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.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

15

Specifické požadavky na kotle pro TC

Dány

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

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

16

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 řeší s využitím tepla akumulovaného v kotli poklesem tlaku páry v kotli

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

17

Parametry kotlů

Parní kotel je charakterizován souborem těchto údajů:

- jmenovitý hmotnostní tok vyrobené páry na výstupu z kotle, kterého musí kotel dosáhnout v trvalém provozu při dodržení jmenovitých hodnot základních parametrů tj. tlaku a teploty páry a napájecí vody při spalování projektovaného paliva,
- jmenovitý tlak,
- jmenovitá teplota páry (přehřáté i přihřáté),
- jmenovitá teplota napájecí vody
- druh a vlastnosti paliva.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

18

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
 $Q_r = 15 \text{ MJ/kg}$ - 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

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

19

Rozdělení kotlů

Existuje celá škála různých způsobů dělení kotlů :

- podle použití se kotle dělí na
 - elektrárenské,
 - teplárenské,
 - kotle pro vytápny,
 - pro spalovny,
 - utilizační (na odpadní teplo)
- podle provedení jsou
 - 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

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

20

- podle pracovního média
 - teplovodní, horkovodní
 - parní
- podle konstrukce výparníku lze kotle rozdělit na
 - velkoprostorové (válcový, plamencový, žárotrubný, kombinovaný, skříňový),
 - článkové (sekcionalní) – již se nepoužívají
 - vodotrubné
 - s přirozeným či nuceným oběhem,
 - průtočné,
 - se superponovanou cirkulací apod.
- podle tlaku se někdy dělí kotle na
 - nízkotlaké (do 2,5 MPa),
 - středotlaké (do 6,4 MPa),
 - vysokotlaké (do 22,5 MPa) a
 - s nadkritickým tlakem
- podle způsobu nasazení se vyrábějí kotle jako
 - špičkové,
 - pološpičkové a
 - pro základní zatížení.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

21

Rozdělení kotlů podle druhu výparníku

- Kotle s relativně velkým obsahem vody - kotle velkoprostorové - kotle menších výkonů nízkotlakové nebo středotlakové, u nichž nedochází k cirkulaci vody. Patří sem kotle
 - plamencové,
 - žárotrubné,
 - kombinované z předchozích typů
- Kotle s relativně malým obsahem vody - kotle vodotrubné. Patří sem kotle
 - s přirozeným oběhem ve výparném okruhu,
 - s povzbuzeným oběhem ve výparníkovém okruhu,
 - průtočné.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

22

Kotle menších výkonů

- Velkoprostorové kotle na plyn a olej
- Kotle na pevná paliva - spalování na roštu
 - ve stacionární vrstvě
 - ve fluidní vrstvě
- Rošty mohou být
 - pevné - odvod popela se řeší prohrabováním
 - pohyblivé - mechanické
 - přesuvné
 - válcové
 - pásové
 - podsuvné

Speciálním případem spalování pevných paliv je jejich zplynování.

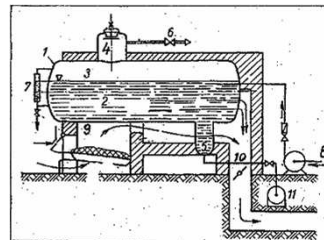
22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

23

Kotle velkoprostorové

Parní válcový kotel



Ležatý válec 1 je ve spodní polovině 2 naplněn vodou, prostor 3 nad hladinou je zaplněn parou.

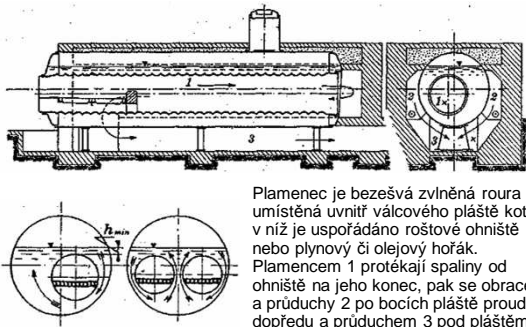
Sytá pára se odebírá z parního dómu 4 potrubím 6

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

24

Plamencový parní kotel



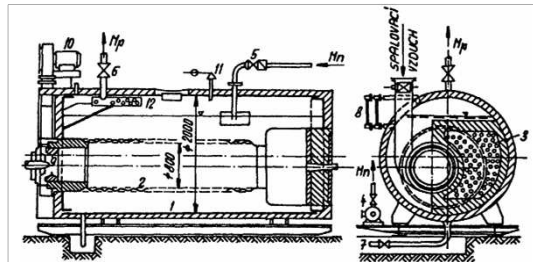
Plamenec je bezešvá zvlněná roura umístěná uvnitř válcového pláště kotle, v níž je uspořádáno roštové ohniště nebo plynový či olejový hořák. Plamencem 1 protékají spaliny od ohniště na jeho konec, pak se obrací a proudy 2 po bocích pláště proudí dopředu a proudem 3 pod pláštěm opět dozadu kotle a do komína

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

25

Kombinovaný parní kotel plamencový, žárotrubný



1-buben, 2-plamenec, 3-žárové trubky, 4-napáječka, 5-napájecí hlava, 6-Hlavní uzavírací ventil, 7-odkalovací ventil, 8-vodotlak, 9-hořák, 10-vzduchový ventilátor, 11-pojistný ventil, 12-panní směšovací trubka s oddělováním vřtkosti, 13-obratová komora

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

26

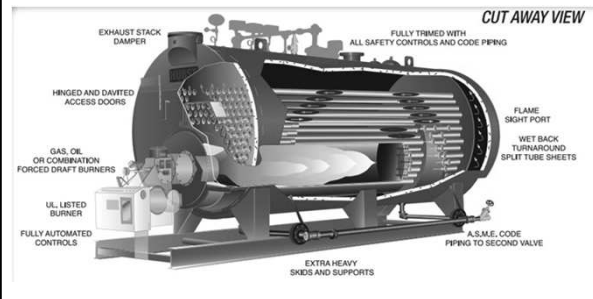


22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

27

Plynový parní kotel

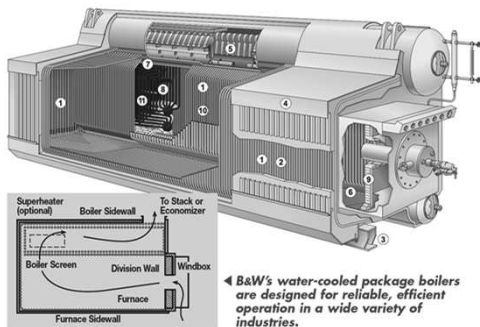


22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

28

Parní dvoububnový kotel pro výkony 3 až 30 MW



◀ B&W's water-cooled package boilers are designed for reliable, efficient operation in a wide variety of industries.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

29

Parní dvoububnový kotel pro výkony 3 až 30 MW



For higher steam capacities, B&W offers HCM and PTM boilers that are engineered with the same quality standards as our smaller package boilers.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

30

Kotle vodotrubné

Kotle se dělí podle tlaku na

- nízkotlaké - do 2,5 MPa
- středotlaké - do 6,4 MPa
- vysokotlaké - do 22,5 MPa
- nadkritické - nad 22,5 MPa

Rozdělení výrobního tepla páry podle jejich parametrů

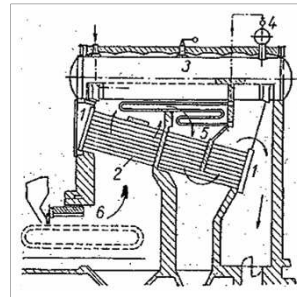
tlak páry p_{pp} [MPa]	Parametry		Celkové předané teplo $l_{zp} - l_m$ [kJ/kg]	Části tepla na		
	teplota páry t_{pp} [°C]	teplota nap. vody t_m [°C]		ohřátí k bodu varu $l' - l_m$ [%]	odpařování $l_{zp} - l'$ [%]	přehřátí $l_{zp} - l''$ [%]
1,3	350	105	2708	14,9	72	13,1
3,8	445	145	2708	18,8	62	19,2
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			

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

31

Vodotrubný článkový (sekcionální) parní kotel



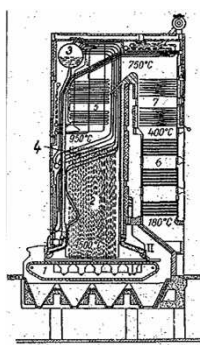
Výparník kotle je sestaven z řady článků (sekcí) vedle sebe, přičemž každý článek je proveden z šikmých trubek 2, zaústěných do komor 1, které jsou připojeny k bubnu 3, jehož spodní část zůstává ještě otápná spalninami a tvoří stále teplosměnnou plochu kotle. Sytá pára z parojemu 4 se vede do přehříváku 5. Uhlí se spaluje v ohništi 6 s pásovým roštem.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

32

Strmotrubný parní kotel



Výparník kotle je tvořen dlouhými svislými trubkami, ze kterých lze vytvářet stěny nebo svazky, takže tvar kotle lze přizpůsobit optimální funkci ohniště a také podmínkám sdílení tepla spalín. Buben kotle je mimo spaliny a není otápný, což umožňuje dále zvyšovat tlak páry.

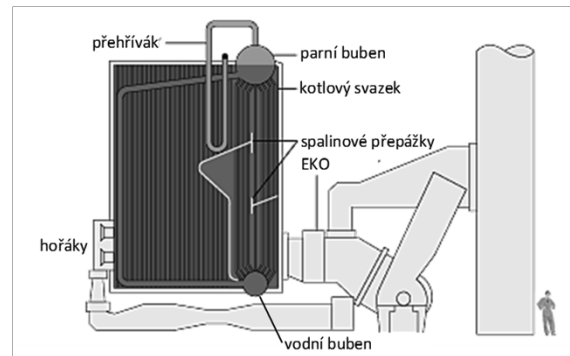
U kotle na obrázku se uhlí spaluje na pásovém roštu 1, stěny ohniště 2 jsou provedeny ze svislých trubek zaústěných do bubnu 3, který je umístěn mimo spaliny vně kotle. Další část výparníku tvoří trubkový svazek 4. Sytá pára z bubnu 3 se přehřívá ve dvoudílném přehříváku 5. Napájecí voda se ohřívá v ohříváku vody 6 a 7.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

33

Dvoububnový kotel pro nízký a střední tlak

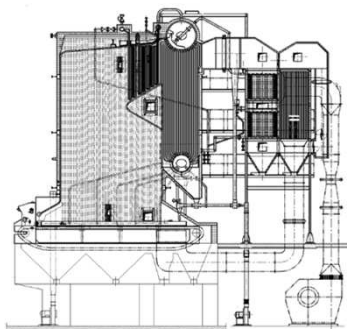


22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

34

Dvoububnový kotel pro nízký a střední tlak

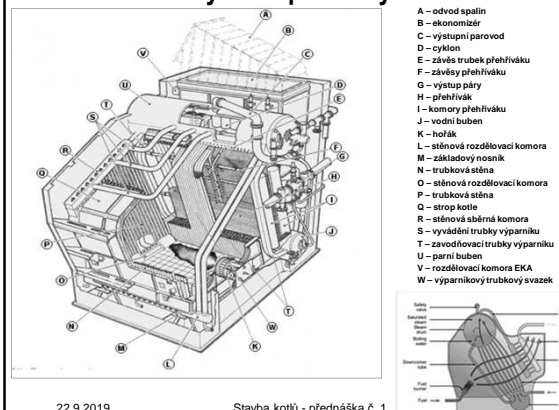


22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

35

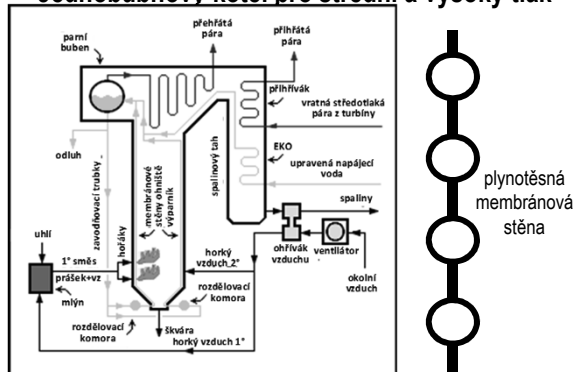
Dvoububnový kotel pro nízký a střední tlak



22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

Jednobubnový kotel pro střední a vysoký tlak

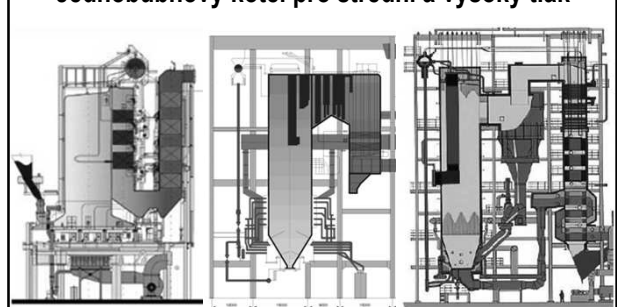


22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

37

Jednobubnový kotel pro střední a vysoký tlak



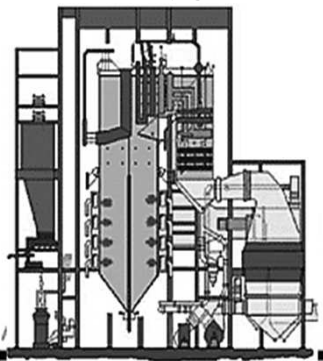
roštový

práškový

cirkofluidní

38

Elektrárenský granulační průtočný parní kotel



Dvoutahová koncepce ve tvaru TT
 $M_{pp} = 660 \text{ t/h}$, $P_{pp}/P_{mp} = 17,8/4,3 \text{ MPa}$, $t_{p}/t_{mp} = 570/570 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{nv} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$; Palivo : černé uhlí $Q_i = 26$ až 30 MJ/kg .

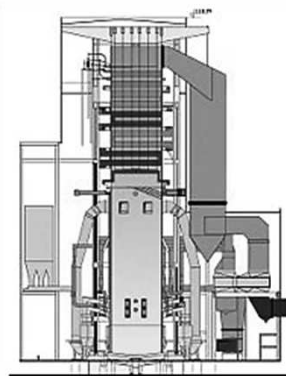
Průřez spalovací komory, obdélník blízký čtverci. Přehřívák je čtyřdílný s dvěma regulačními vstřiky. Přehřívák je dvoudílný s jedním regulačním vstřikem. Ekonomizér ohřívá vodu k mezi sytosti. Spalovací vzduch je předehříván odpadní parou v pamím ohříváku a ohříván na $280 \text{ }^\circ\text{C}$ v jednodílném rotačním ohříváku. Mleci okruhy s přímým foukáním mají osm kladkových mlýnů (jeden rezervní), sušení uhlí vzduchem.

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

39

Elektrárenský věžový granulační kotel



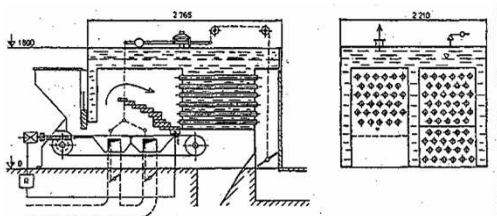
ohniště tangenciální
 výkon 374 kg/s
 teplota páry $544 \text{ }^\circ\text{C}$
 tlak páry $26,6 \text{ MPa}$
 přehřívání páry $308/566 \text{ }^\circ\text{C}$
 napájecí voda $273 \text{ }^\circ\text{C}$
 účinnost $90,3\%$
 palivo HU
 výhřevnost $8,6 \text{ MJ/kg}$

22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

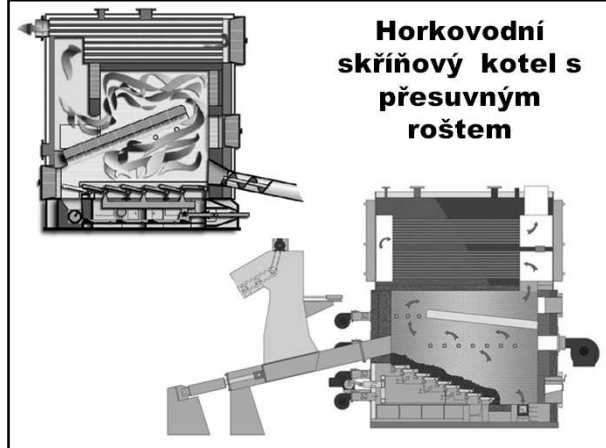
40

Horkovodní kotel skříňový

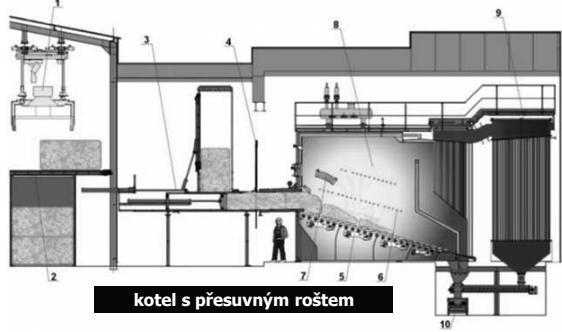


Používá se pro menší výkony a tlaky.
 Ohniště je uspořádáno přímo v tělese kotle, spaliny proudí přes žárové trubky (uspořádané např. ve 3 tazích) do komína.

Horkovodní skříňový kotel s přesuvným roštem



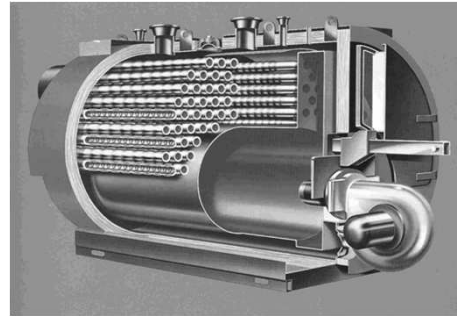
Horkovodní kotel na slámu 1 - 5 MW



kotel s přesuvným roštem

43

Plamencový žárotrubný ocelový kotel horkovodní s plynovým hořákem

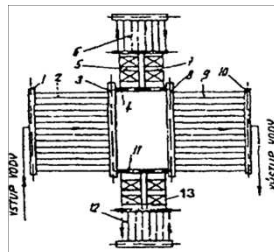
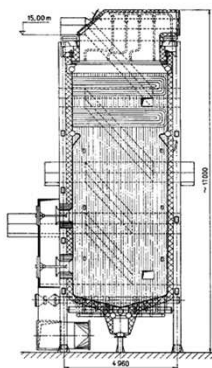


22.9.2019

Stavba kotlů - přednáška č. 1

44

Průtočné kotle horkovodní nebo teplovodní



1-spodní komora levé boční stěny kotle, 2-trubky levé boční stěny, 3-horní komora levé boční stěny, 4-levá část horní komory přední stěny, 5- konvekční svazek, 6-přední stěna kotle, 7- konvekční, 8-horní komora, 9-pravá boční stěna, 11 -levá část komory zadní stěny, 12-zadní stěna, 13-konvekční svazek