

# SPALOVÁNÍ A KOTLE

prof. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.

1

## ENERGIE

Energie je extenzivní veličina

- definuje se jako schopnost hmoty konat práci
- vyskytuje se v nejrůznějších formách

Z hlediska jejího využití se často rozlišuje

- energie primární
- energie zušlechťená – získá se vhodnými energetickými přeměnami

Pro praxi má největší význam energie ve formě

- užitečného tepla v různých formách
  - elektřiny
  - stlačeného vzduchu
  - chladu
- } získává se transformací v pracovních cyklech

2

Na počátku řetězce energetických přeměn realizovaných v pracovních cyklech stojí často **teplo získané spalováním** = uvolnění energie chemicky vázané v palivu vstupem mohou být:

- primární energetické zdroje (PEZ), zejména pak chemicky vázaná energie fosilních paliv jako je:
  - uhlí
  - uhlovodíková paliva, ropa a zemní plyn
- energie získaná z tzv. „druhotných energetických zdrojů“ (DEZ)
  - vysokopecní plyn
  - sulfidové výluhy
  - plyny z chemické výroby
  - konvertorový plyn (při výrobě oceli)
  - spalitelné odpady – průmyslové, komunální
- obnovitelné zdroje energie – z těchto je z hlediska spalování zajímavá pouze biomasa

3

## Fosilní paliva a jejich vlastnosti

**Fosilními palivy** označujeme všechny látky, které nejspíše vznikly v době třetihor z biomasy či organismů a které při slučování s kyslíkem uvolňují tepelnou energii.

Mohou mít skupenství

- > pevné (uhlí),
- > kapalné (ropa)
- > plynné (zemní plyn)

Fosilní paliva jsou základem pro výrobu paliv umělých

4

## Přírodní a umělá paliva

Stav přírodního paliva	Přírodní palivo	Umělá paliva
pevné	uhlí, rašelina	koks, brikety, uhelný prášek
kapalné	ropa	všechny destilační produkty z ropy a zkapalněného uhlí
plynné	zemní plyn, plyn z ropného nadloží, důlní plyn	plyny vzniklé odplyněním (koksárenský), zplyněním (svítiplyn, generátorový plyn) a při destilaci plynu (kapalné plyny - propan, butan)

5

## BIOMASA

Obnovitelné palivo

Rozeznáváme především

- zbytkovou (odpadní) biomasu
  - dřevní odpady z lesního hospodářství
  - odpady z celulózo-papírenského, dřevařského a nábytkářského průmyslu
  - rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny
  - komunální bioodpad
  - odpady z potravinářského průmyslu
- cíleně pěstovanou biomasu
  - energetické byliny
  - rychlerostoucí dřeviny



## Složení paliv

Každé palivo se skládá z

- hořlaviny
- přítěže = balastu

Hořlavina = část, jejímž okysličováním se uvolňuje teplo chemicky vázané v palivu. Skládá se z

- aktivních látek, jejichž spalováním vzniká teplo
  - uhlíku (C),
  - vodíku (H)
  - síry (S),
- z pasivních látek, které teplo nedodávají, ale jsou vázány chemicky na uhlovodíky
  - kyslíku (O)
  - dusíku (N)

7

## Přítěž (balast)

- u paliv pevných a kapalných
  - popeloviny
  - voda
- u plyných paliv
  - obsah vodní páry
  - nehořlavých plynů.
- hlavními složkami popelovin jsou
  - jílové minerály ( $Al_2O_3$ ,  $2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ),
  - karbonáty ( $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ ,  $FeCO_3$ ),
  - sulfidy ( $FeS_2$ ),
  - sulfáty (např.  $MgSO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ),
  - oxidy ( $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ) a další.

8

## Výhřevnost a spalné teplo

Výhřevnost paliva  $Q_1$  [ $kJ \cdot kg^{-1}$ ,  $kJ \cdot Nm^{-3}$ ,  $kWh \cdot kg^{-1}$  nebo  $kWh \cdot Nm^{-3}$ ] je množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením 1 kg ( $1 m^3$ ) paliva při ochlazení spalin na standardní výchozí teplotu  $20^\circ C$ , přičemž vzniklá vodní pára nezkondenzuje.

Spalné teplo  $Q_s$  [ $kJ \cdot kg^{-1}$ , atd.] je celkové latentní chemicky vázané teplo v palivu, tedy včetně kondenzačního tepla vodní páry ve spalinách z paliva.

Vztah mezi spalným teplem a výhřevností je

$$Q_1 = Q_s - 2453 \cdot (W + 8,94 \cdot H)$$

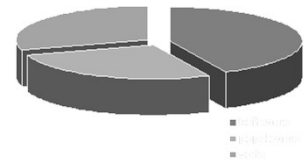
W je obsah vody v palivu [ $kg \cdot kg^{-1}$ ]  
H je obsah vodíku v palivu [ $kg \cdot kg^{-1}$ ]

9

## Pevná paliva

1 kg paliva se skládá z

- hořlaviny  $h$
- popeloviny  $A$
- vody  $W$



platí

10

## Spalování paliv

Spalování je fyzikálně – chemický pochod, při kterém probíhá

- řízená příprava hořlavé směsi paliva a okysličovadla
- jejich slučování (hořením) za intenzivního uvolňování tepla => prudké stoupení teploty
- vznik spalin jakožto produktu spalování

11

## Hoření

je možné pouze mezi elementárními složkami v atomárním stavu

- hořlaviny (C, H, S)
- okysličovadla (nejčastěji  $O_2$  ze vzduchu).

Pracovními látkami spalovacích procesů jsou

- palivo
- okysličovadlo
- spaliny - jsou produktem spalování a nositelem uvolněného chemicky vázaného tepla

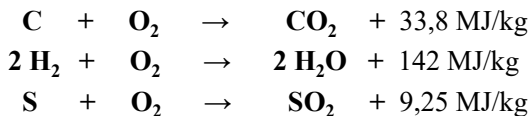
Spaliny

- plyné = směs převážně nehořlavých plynů ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2 + SO_3$ ,  $NO_x$ ,  $O_2$ ) a par ( $H_2O$ )
- pevné spaliny z popelovin (škvára, struska, jemný popílek)

12

## Model dokonalého spalování

- předpokládá úplné vyhoření paliva
- lze jej popsat elementárními chemickými rovnicemi



- pro aplikaci modelu je nezbytná znalost prvkového složení hořlaviny paliva – zjišťuje se rozбором
- pomocí modelu lze vypočítat
  - minimální objem kyslíku resp. vzduchu potřebného pro spálení paliva
  - objem a složení spalin vznikajících při spalování paliv

13

## Přebytek spalovacího vzduchu

- spalovací proces je veden s množstvím vzduchu, které je větší než vypočtené minimálně potřebné
- množství spalovacího vzduchu se vyjadřuje relativně pomocí součinitele přebytku vzduchu

$$\alpha = \frac{\text{dodávané množství spalovacích o vzduchu}}{\text{minimální množství spalovacích o vzduchu}} > 1$$

- u reálných zařízení se určuje měřením podle koncentrace kyslíku ve spalinách
- přibližně platí vztah

$$\alpha = \frac{0,21}{0,21 - o_{\text{O}_2}}$$

$o_{\text{O}_2}$  změřený poměrný obsah  $\text{O}_2$  ve spalinách

14

## Optimální přebytek spalovacího vzduchu

Závisí na

- druhu spalovaného paliva
- možnostech spalovacího zařízení

Spalování plynu

- atmosférické hořáky  $\alpha \sim 1,5$  až 2
- přetlakový hořáky  $\alpha \sim 1,05$  až 1,25

Spalování uhlí

- na pevném roštu  $\alpha \sim 2$  až ???
- na mechanickém roštu  $\alpha \sim 1,5$  až 2,5
- ve formě prášku  $\alpha \sim 1,12$  až 1,25

15

## Nedokonalé spalování

- palivo v kotli nikdy nevyhoří dokonale
- nedokonalost spalování je příčinou ztrát
  - hořlavinou ve spalinách – tvořena
    - CO
    - zbytky uhlovdíků
  - hořlavinou v tuhých zbytcích
    - koksový zbytek
    - saze
- nedokonalost spalování lze omezit
  - zvýšením množství spalovacího vzduchu
  - konstrukcí spalovacího zařízení
  - vhodnou organizací a řízením spalovacího procesu

16

## Spalovací zařízení a kotle

- spálením se chemicky vázané teplo v palivu převede do spalin pro další využití
  - přímé – vytápění, spalovací turbína
  - nepřímé – pro ohřev pracovní látky, přičemž získáváme
    - teplou nebo horkou vodu
    - sytou nebo přehřátou páru
    - teplý vzduch
    - jiné médium



17

## Základní pojmy

- Kotel je zařízení sloužící
  - k výrobě páry (parní kotel),
  - ohřevu vody (teplovodní nebo horkovodní kotel)
  - k ohřevu jiného média (např. oleje).
- Teplo se získává
  - obvykle spalováním paliva
  - z odpadního tepla (kotle utilizační)
  - z elektřiny (elektrokotle).
- V kotli dochází k transformaci
  - chemické energie paliva
  - na tepelnou energii spalin
  - do pracovního média.
- Výsledkem je
  - pára (syta nebo přehřátá),
  - teplá voda (do 110 °C) resp.
  - horká voda (nad 110 °C)
  - jiné ohřáté médium

## Rozdělení kotlů

Existuje celá škála různých způsobů dělení kotlů :

- podle použití se dělí na
  - elektrárenské,
  - teplárenské,
  - kotle pro výtopny,
  - pro spalovny,
  - utilizační (na odpadní teplo)
- podle pracovního média
  - teplovodní, horkovodní
  - parní
  - olejové aj.
- podle použitého paliva
  - kotle na tuhá paliva
    - roštové,
    - práškové,
      - granulární,
      - výtavné,
      - cyklónové,
    - fluidní,
  - kotle na kapalná paliva
  - kotle na plynná paliva

## Určení účinnosti kotle a tepelných ztrát

Lze použít dvě metody určení účinnosti kotle :

- metoda přímá – vychází z definice účinnosti

$$\eta = \frac{\text{tepelný výkon kotle}}{\text{příkon tepla v palivu}}$$

- metoda nepřímá

$$\eta = 1 - \sum \text{poměrných tepelných ztrát}$$

20

## Nepřímá metoda určení účinnosti kotle

$$\eta_V = 1 - \sum Z_i$$

Poměrné tepelné ztráty kotle  $i$  jsou

- $k$  - fyzickým teplem spalin (kominová)
- $sv$  - sdílením tepla do okolí
- $CO$  - hořlavinou ve spalinách
- $C$  - hořlavinou v tuhých zbytcích
- $f$  - fyzickým teplem tuhých zbytků

} plynové kotle  
} kotle na tuhá paliva

Nejvýznamnější je ztráta kominová, závisí na

- teplotě spalin za kotlem
- přebytku vzduchu ve spalinách za kotlem

21

## ■ Přímá metoda určení účinnosti kotle

- je poměrně jednoduchá, neboť vyžaduje minimální počet měřených veličin
- dobře aplikovatelná u plynových a olejových kotlů
- u kotlů na tuhá paliva je problém s měřením toku paliva
- podává jen všeobecnou informaci o účinnosti kotle
- nedostačující informace pro posuzování kvality provozu a zejména pak pro rozbor výsledků a návrh opatření

## ■ Nepřímá metoda určení účinnosti kotle

- u kotlů na tuhá paliva poskytuje přesnější výsledky a podrobnější informaci o provozních vlastnostech kotle

22

## Parametry kotlů

Parní kotel je charakterizován souborem těchto údajů:

- jmenovitý tepelný výkon v kW nebo MW
- jmenovitý hmotnostní tok vody nebo 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 výstupní vody nebo páry
- jmenovitá teplota napájecí vody
- druh a vlastnosti paliva.

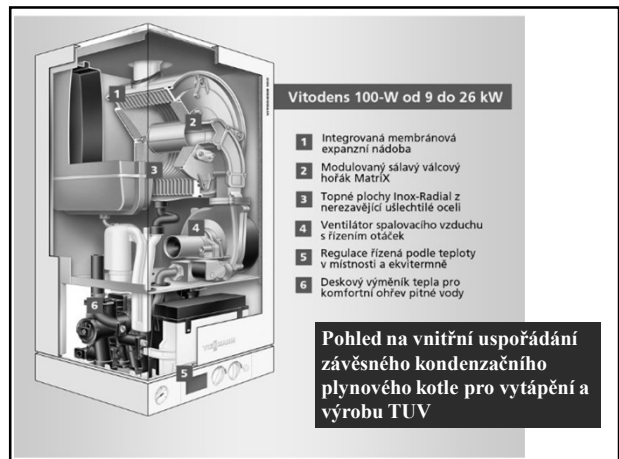
## Typy teplovodních plynových kotlů

### ■ Teplovodní plynové kotle

Pracovním médiem je voda (nebo roztok nemrznoucí kapaliny), která se v kotli ohřívá na pracovní teplotu maximálně 115 °C. Pracovní přetlak je stanoven výrobcem, u nižších výkonů bývá do 0,25 MPa, u vyšších až 0,6 MPa. Vyrábějí se ve výkonech od 8 do 3500 kW (výjimečně i vyšší). Určeny jsou normou ČSN 07 0240.

### ■ Horkovodní plynové kotle

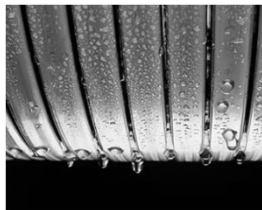
Slouží k výrobě horké vody o teplotě přes 115 °C při přetlaku nad 0,17 MPa. Vyrábějí se v širokém výkonovém pásmu od 1 do stovek MW a v rozsahu tlaku vody na výstupu z kotle od 0,9 do 7,0 MPa. Typy a základní parametry jsou určeny normou ČSN 07 0021.



## Plynové kondenzační kotle

### Princip činnosti

- u klasických a nízkoteplotních kotlů se latentní kondenzační teplo vodní páry nevyužívá
- ochlazením spalin pod teplotu rosného bodu nastává kondenzace vodní páry
- při kondenzaci se získává skupenské teplo, které lze využít
- stupeň kondenzace je úměrný podchlazení spalin pod teplotu rosného bodu

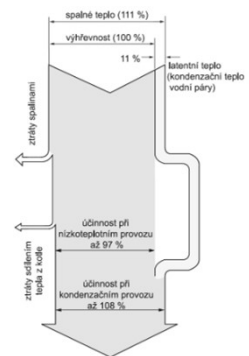


27

## Plynové kondenzační kotle

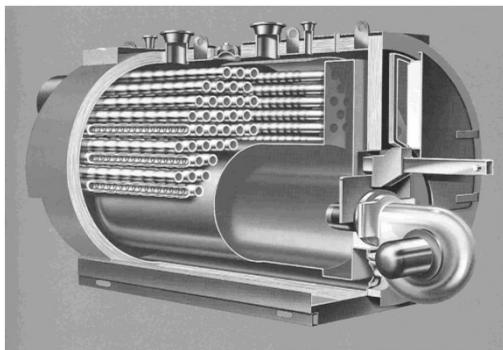
### Energetická bilance

- příkon kotle a tedy i účinnost se vyjadřuje z výhřevnosti paliva
- výhřevnost nezahrnuje kondenzační teplo vodní páry
- kondenzací lze část latentního tepla získat => účinnost kotle může vyjít větší než 100 %



28

## Kotle teplovodní ocelové s plynovým přetlakovým hořákem o výkonu 50 kW do 12 MW

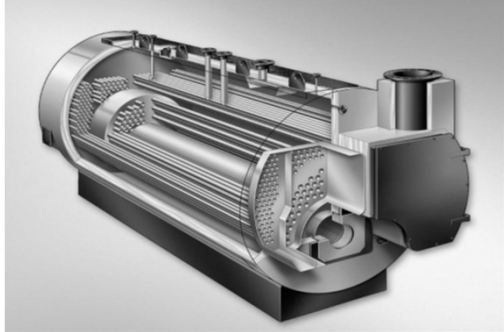


## Typy parních kotlů

### Základní dělení

- podle parametrů páry
  - kotle na sytou páru - určeny především pro dodávku technologické páry
  - kotle na přehřátou páru - určeny především pro výrobu páry k pohonu parních turbín
- podle provedení výparníku
  - kotle velkoprostorové
    - vhodné pro menší výkony a nižší parametry páry
    - palivem je obvykle plyn nebo olej
  - kotle vodotrubné
    - vhodné pro větší výkony a vyšší parametry páry
    - pro všechny druhy paliv

## Plynový kotel na sytou páru pro výkony do 20 t/h

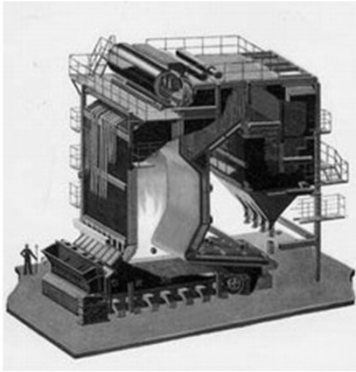


31

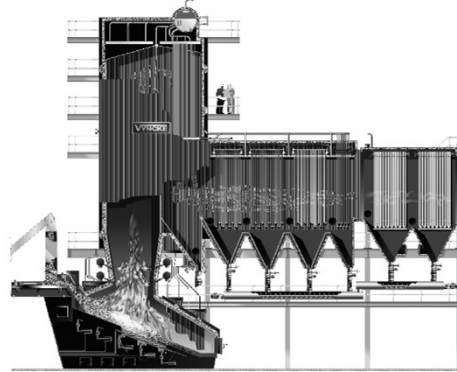
## Vodotrubné kotle na tuhá paliva dělení podle typu spalovacího zařízení

- roštové,
- práškové,
  - granulační,
  - výtavné,
  - cyklónové,
- fluidní
  - se stacionární fluidní vrstvou
  - s cirkulující fluidní vrstvou

## Roštový parní kotel na uhlí

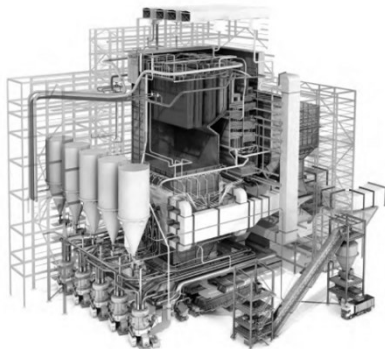


## Roštový kotel na spalování biomasy



34

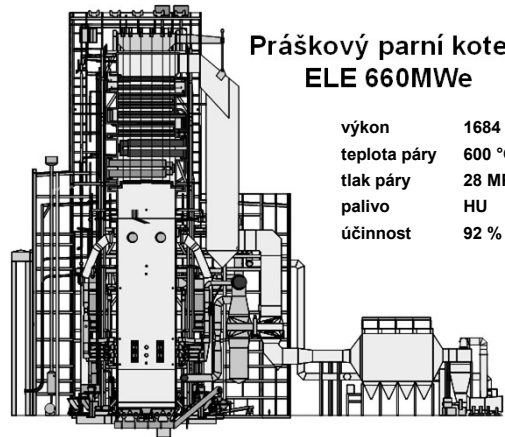
## Parní kotel na práškové uhlí



35

## Práškový parní kotel ELE 660MWe

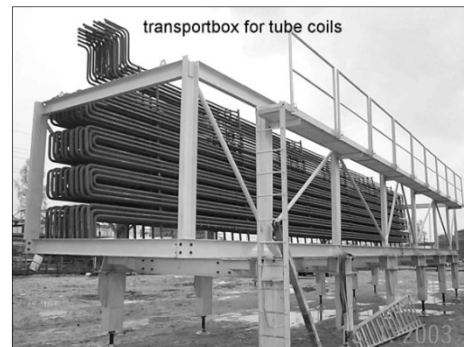
výkon	1684 t/ht
teplota páry	600 °C
tlak páry	28 MPa
palivo	HU
účinnost	92 %



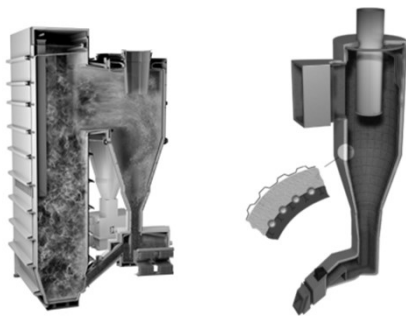
## Deskový přehřívák na závěsích



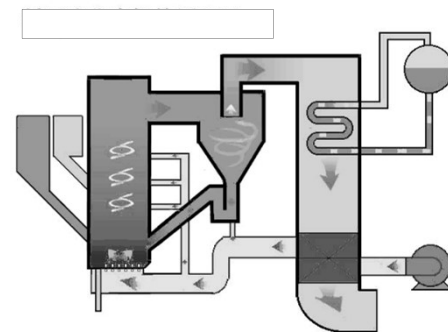
## Trubkový svazek



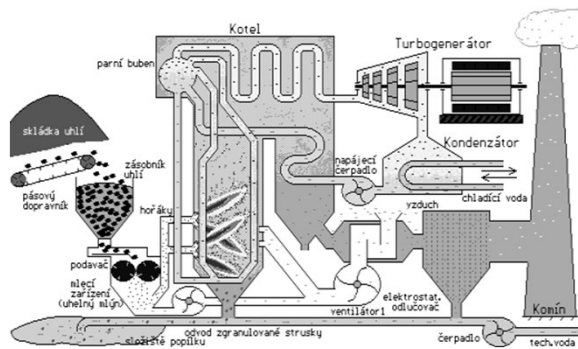
## Ohniště kotle s cirkulující fluidní vrstvou s odlučovacím cyklonem



## Ohniště kotle s cirkulující fluidní vrstvou s odlučovacím cyklonem



## A co dál s teplem ve formě páry?



<http://www.energetika.cvut.cz>

