

SPALOVÁNÍ A KOTLE

prof. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.

1

ENERGIE

Energie je extensivní veličina

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

Z hlediska jejího využití se často rozlišuje

- energie primární
- energie zušlechtěná – 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
 - sulfitové 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



tritikale

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 , $2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),
 - 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_i [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{kJ} \cdot \text{Nm}^{-3}$, $\text{kWh} \cdot \text{kg}^{-1}$ nebo $\text{kWh} \cdot \text{Nm}^{-3}$] je množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením 1 kg (1 m^3) paliva při ochlazení spalin na standardní výchozí teplotu 20°C, přičemž vzniklá vodní pára nezkondenzuje.

Spalné teplo Q_s [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, 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

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

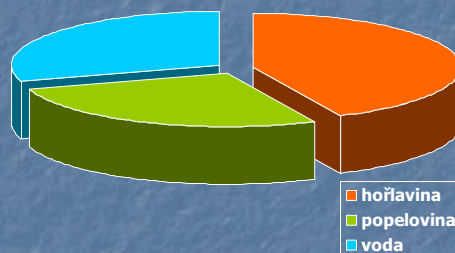
W je obsah vody v palivu [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$]
H je obsah vodíku v palivu [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$]

9

Pevná paliva

1 kg paliva se skládá z

- hořlaviny h
- popeloviny A
- vody W



platí

$$h + A + W = 1 (-) \text{ evt. } h + A + W = 100 (\%)$$

10

Spalování paliv

Spalování je fyzikálně – chemický pochod, při kterém probíhá

- řízená příprava hořlavé směsi paliva a okysličovadla
- jejich slučování (hoření) za intenzivního uvolňování tepla => prudké stoupnutí teploty
- vznik spalín 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

- plynné = 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

$$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 33,8 \text{ MJ/kg}$$

$$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 142 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + 9,25 \text{ MJ/kg}$$
- 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**

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

- 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_{O_2} změřený poměrný obsah 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

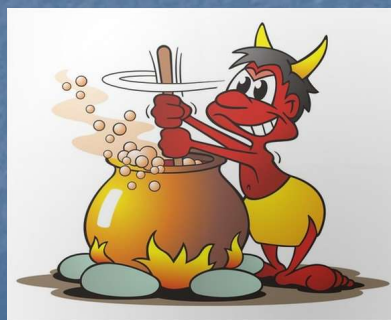
Nedokonalé spalování

- palivo v kotli nikdy nevyhoří dokonale
- nedokonalost spalování je příčinou ztrát
 - hořlavinou ve spalínách – tvořena
 - CO
 - zbytky uhlovodíků
 - 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

- spalením 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 přehřála),
 - 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 vytápny,
- 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 požit dvě metody určení účinnosti kotle :

- **metoda přímá** – vychází z definice účinnosti

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

- **metoda nepřímá**

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

Nepřímá metoda určení účinnosti kotle

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

Poměrné tepelné ztráty kotle i jsou

- k - fyzickým teplem spalin (komínová)
 - 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 komínová**, 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

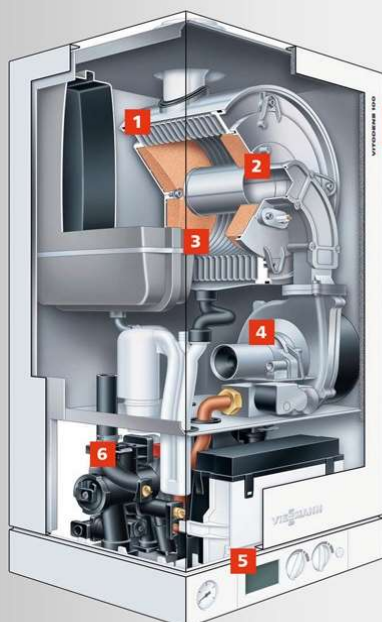
Pracovním médiem je voda (nebo roztok nemrznoucí kapaliny), která se v kotli ohřívá na pracovní teplotu maximálně 115 °C. Pracovní přetlak je stanoven výrobcem, u nižších výkonů bývá do 0,25 MPa, u vyšších až 0,6 MPa. Vyrábějí se ve výkonech od 8 do 3500 kW (výjimečně i vyšší). Určeny jsou normou ČSN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



**Pohled na vnitřní uspořádání
závěsného plynového kotle pro
vytápění a výrobu TUV
v provedení C1 TURBO**



Vitodens 100-W od 9 do 26 kW

- 1** Integrovaná membránová expanzní nádoba
- 2** Modulovaný sálavý válcový hořák Matrix
- 3** Topné plochy Inox-Radial z nerezavějící ušlechtilé oceli
- 4** Ventilátor spalovacího vzduchu s řízením otáček
- 5** Regulace řízená podle teploty v místnosti a ekvitermně
- 6** Deskový výměník tepla pro komfortní ohřev pitné vody

**Pohled na vnitřní uspořádání
závěsného kondenzačního
plynového kotle pro vytápění a
výrobu TUV**

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

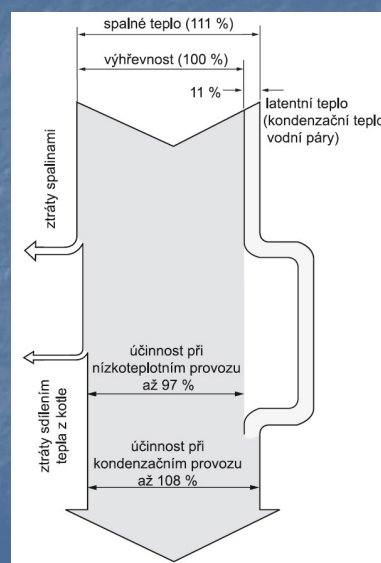


27

Plynové kondenzační kotle

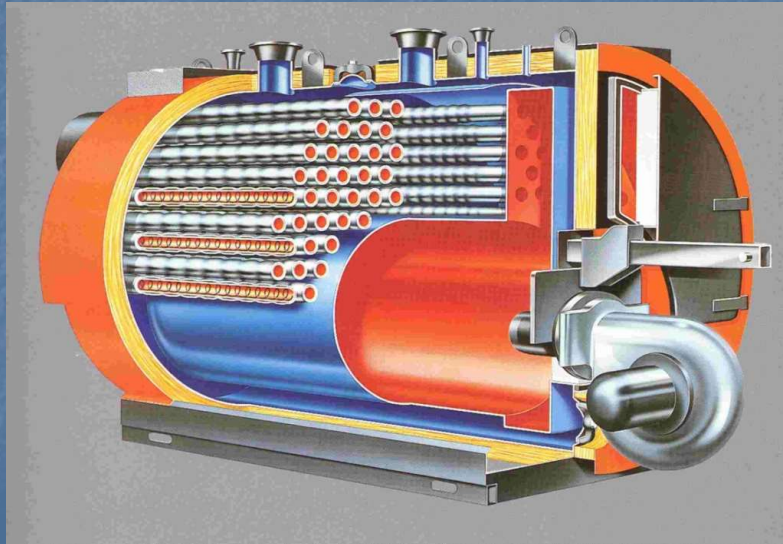
Energetická bilance

- 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

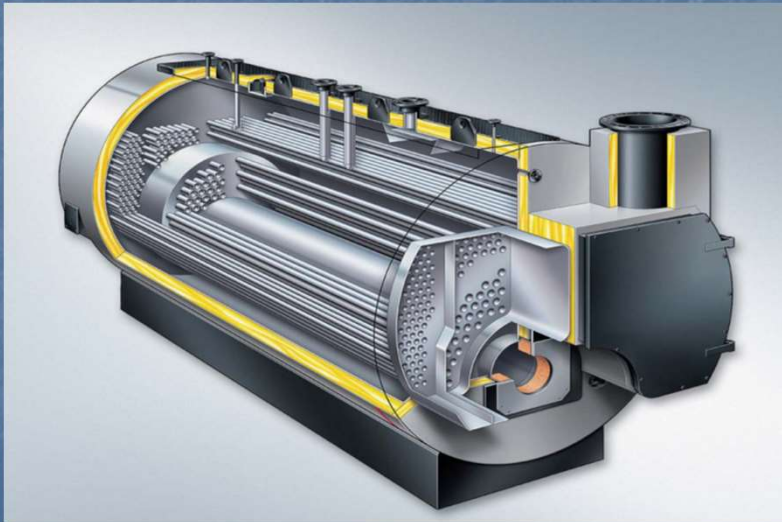


Typy parních kotlů

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

Velkoprostorový plynový kotel na sytou páru pro výkony do 20 t/h



Vodotrubné kotle na tuhá paliva

dělení podle typu spalovacího zařízení

- roštové
- práškové – pouze na uhlí
- fluidní
 - se stacionární fluidní vrstvou
 - s cirkulující fluidní vrstvou

Roštový parní kotel na uhlí

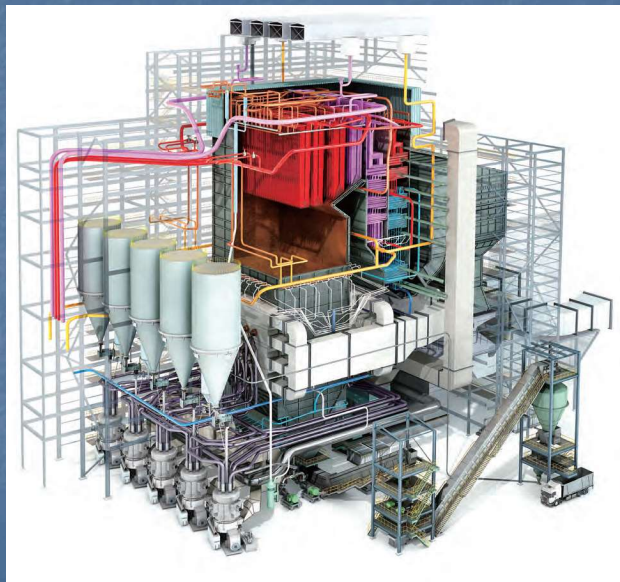


Roštový kotel na spalování biomasy



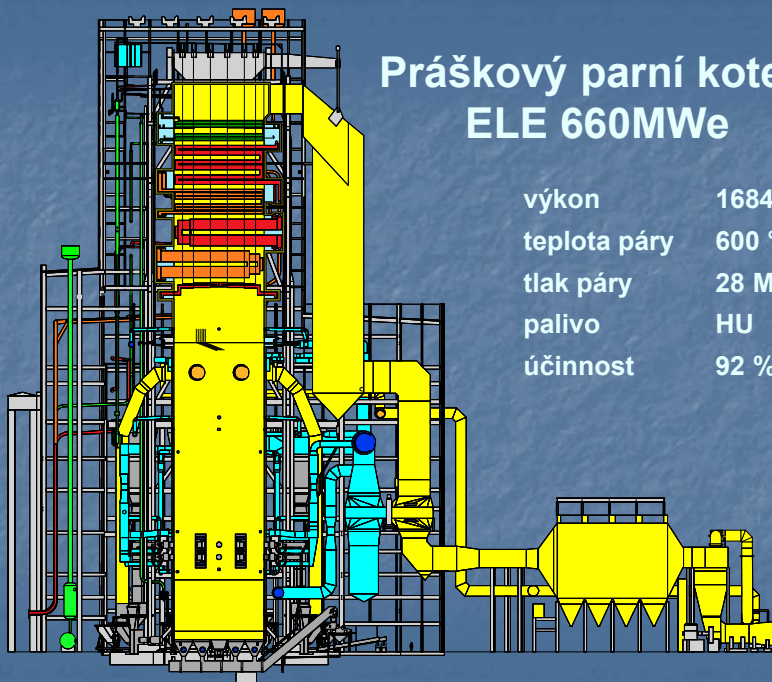
34

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 %

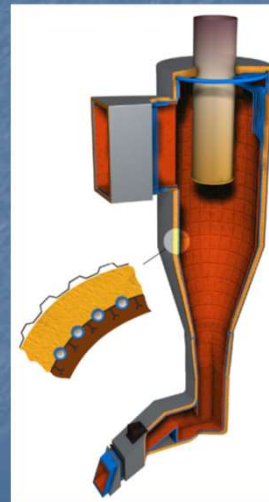
Deskový přehřívák na závěsech



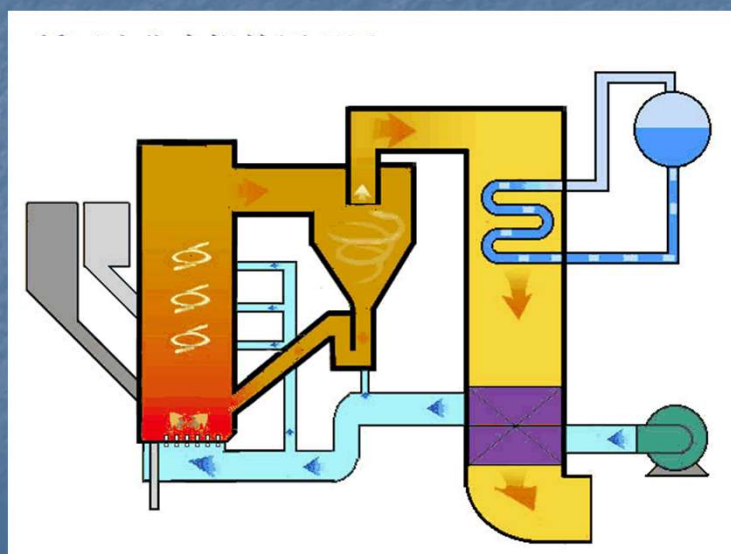
Trubkový svazek



Ohniště kotle s cirkulující fluidní vrstvou s odlučovacím cyklonem

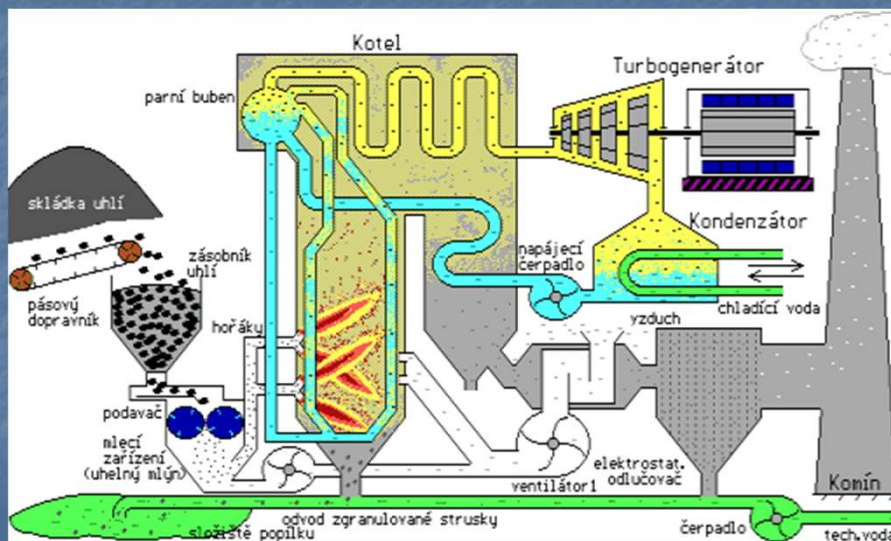


Ohniště kotle s cirkulující fluidní vrstvou s odlučovacím cyklonem



40

A co dál s teplem ve formě páry?



41

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

