

Akumulační schopnost parních kotlů

1

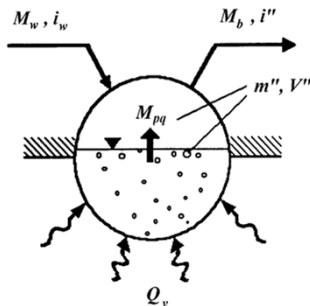
Parní kotle pro PTC

- odběr páry může v důsledku najždění a odstavení velkých spotřebičů s kampaňovitým provozem silně kolísat
- změna odběru páry se projevívá změnou tlaku => tlak páry je hlavní veličinou výkonové regulace kotle
- trend změny odběru páry je často větší než je odezva výkonu kotle na změnu příkonu
- kotle pro PTC lze principiálně řešit
 - s malým vodním obsahem – lehká, provozně pružná konstrukce – kotel je schopen svým výkonem kopírovat změny odběru páry
 - s velkým vodním obsahem – kotel je schopen rychlé změny odběru páry kompenzovat díky velké akumulaci tepla ve vodě a železe
- akumulační schopnost kotle má při kolísavém odběru páry zásadní význam

2

Akumulační schopnost parních kotlů

- Stacionární provoz parního bubnu



3

Akumulační schopnost parních kotlů

- Nestacionární provozní režim
- Zajímá nás závislost vzrůstu parního výkonu M_p na poklesu tlaku p

$$M_{pq} + M_{pA} - M_b = \frac{dm''}{d\tau} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$M_{pq} + M_{pA} - M_b = \frac{d}{d\tau} (V'' \cdot \rho'') = V'' \cdot \frac{\partial \rho''}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial \tau} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$M_{pq} = \frac{Q_v}{i'' - i_w}$ [kg·s⁻¹] je parní výkon z přiváděného příkonu Q_v [kW],
 m'' [kg] resp. V'' [m³] je hmotnost resp. objem páry ve výparníku
 M_{pA} je parní výkon z akumulovaného tepla při poklesu tlaku $\frac{\partial p}{\partial \tau}$

4

Akumulační schopnost parních kotlů

- parní výkon z akumulovaného tepla při poklesu tlaku

$$M_{pA} = -\frac{1}{r} \cdot \left(m' \cdot \frac{\partial i'}{\partial p} + m_s \cdot c_s \cdot \frac{\partial t'}{\partial p} \right) \cdot \frac{\partial p}{\partial \tau} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde

- r [kJ/kg] je výparné teplo při daném tlaku,
- m' [kg] je hmotnost vody na mezi sytosti ve výparníku,
- m_s [kg] je hmotnost výparníku,
- c_s [kJ·kg⁻¹·K⁻¹] je měrná tepelná kapacita výparníku (železa)
- i'', i' [kJ/kg] a t' [°C] jsou entalpie a teplota na mezi sytosti

5

Akumulační schopnost parních kotlů

- řešením je výsledný vztah

$$\frac{Q_v}{i'' - i_w} - M_b = \left[V'' \cdot \frac{\partial \rho''}{\partial p} + \frac{1}{r} \cdot \left(m' \cdot \frac{\partial i'}{\partial p} + m_s \cdot c_s \cdot \frac{\partial t'}{\partial p} \right) \right] \cdot \frac{\partial p}{\partial \tau} = K_v \cdot \frac{\partial p}{\partial \tau} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

K_v [kg·bar⁻¹] nebo [kg·MPa⁻¹] se nazývá akumulační konstanta

Pro konkrétní výpočet akumulační konstanty je třeba znát

- rozměry bubnu a úroveň hladiny
- objem všech parních bublin pod hladinou, tj. hlavně ve varnicích a vyváděcích trubkách
- závisí na tzv. cirkulačním čísle C .

6

Příklad

Zadání

- vodotrubný kotel s přirozenou cirkulací o výkonu 50 t/h,
- tlak páry 3,9 MPa (ve výparníku cca 4,2 MPa)
- buben ϕ 1600 mm, $L = 7500$ mm, objem bubnu 13 m^3
- výparník z trubek 70/4,5 mm, střední délky 18 m
- počet varnic $n = 260$, objem $V = 13,7 \text{ m}^3$,
- zavodňovací trubky o objemu $4,0 \text{ m}^3$,
- vyváděcí trubky objem $2,0 \text{ m}^3$,
- celková hmotnost železných součástí s teplotou meze sytosti cca 60 t

7

Určení akumulací konstanty

Předpoklady řešení:

- parou je zaplněna
 - polovina bubnu,
 - cca 30 % varnic
 - 70 % vyváděcích trubek,
- vodou na mezi sytosti je zaplněna
 - polovina bubnu,
 - zavodňovací trubky
 - cca. 70 % varnic
 - 30 % vyváděcích trubek
- $\Delta Q_v = 0$

8

Určení akumulací konstanty

objem veškeré páry ve výparníku (parní prostor i bubliny pod hladinou)

$$V'' = V_{bub} \cdot 0,5 + V''_{var} + V_{vyv} \cdot 0,7 = \\ = 0,5 + 0,3 \cdot 13,7 + 2,0 \cdot 0,7 = 12,0 \text{ m}^3$$

hmotnost vody na mezi sytosti ve výparníku

$$m' = (V_{bub} \cdot 6,5 + V_{zav} + V_{var}) \cdot \rho' = \\ 4,0 + 0,7 \cdot 13,67 \cdot 2 \cdot 0,3) \cdot \rho' = 20,67 \cdot \rho' = 16 370 \text{ kg}$$

9

Určení akumulací konstanty

akumulací konstanta bude

$$K_v = V'' \cdot \frac{\partial \rho''}{\partial p} + \frac{1}{r} \cdot \left(m' \cdot \frac{\partial i'}{\partial p} + m_s \cdot c_s \cdot \frac{\partial t'}{\partial p} \right) = \\ = 12 \cdot 5,22 + 16 370 \cdot 0,0413 + 60 000 \cdot 0,5 \cdot 0,00842 = \\ = 62,71 + 676,08 + 252,6 = 991,3 \text{ kg/MPa}$$

hodnoty derivací lze

- najít v „lepších“ tabulkách
- nahradit diferencemi v okolí výchozího stavu

10

Určení akumulací konstanty

Pak lze např. vypočítat rychlosti poklesu tlaku v kotli při požadovaném nárůstu výkonu v kg/min

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = \frac{\Delta M}{K_v} = \frac{M_{pq} - M_b}{K_v}$$

Konkrétně např. při požadavku vzrůstu výkonu o 10 %

$$\text{tj. } \Delta M_p / M_{pq} = 0,1$$

a tudíž

$$\Delta M_p = 50 000 \cdot 0,1 = 5 000 \text{ kg/h tj. } 5 000/60 = 84 \text{ kg/min}$$

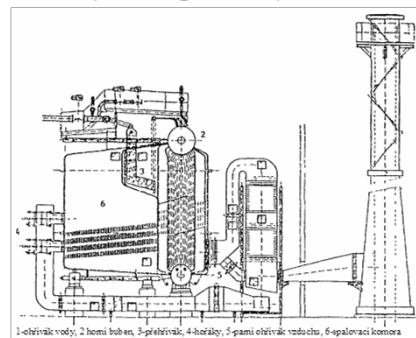
je

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = \frac{84}{991} = 0,0847 \text{ MPa/min} \sim 0,85 \text{ bar/min}$$

11

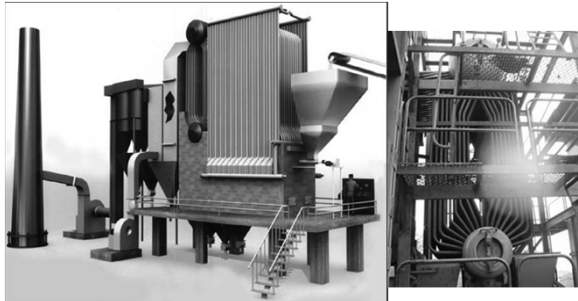
Příklady kotlů pro PTC

dvoububnový kotel pro nízký a střední tlak



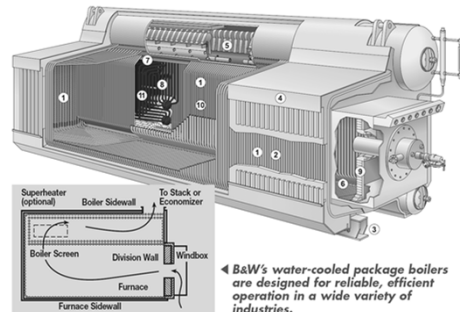
12

Příklady kotlů pro PTC
 dvoububnový kotel pro nízký a střední tlak



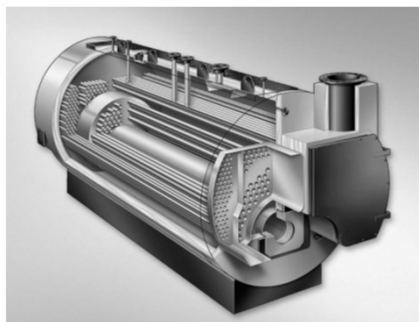
13

Příklady kotlů pro PTC
 parní dvoububnový kotel



14

Příklady kotlů pro PTC
 velkoprostorový kotel na sytou páru



15