

4. Klasická energetika I

Kotle, parogenerátory, turbíny

Základy energetiky

Vyučující

Luděk Jelínek

Kotle a parogenerátory

- Ohniště
- Kotle s velkým vodním obsahem
 - Vodotrubné kotle

Typy ohnišť

- **roštové**
 - většinou jen pro malé výkony
- **práškové granulační**
 - základní typ v klasické energetice
- **práškové výtavné**
- **fluidní**
 - bude probráno samostatně

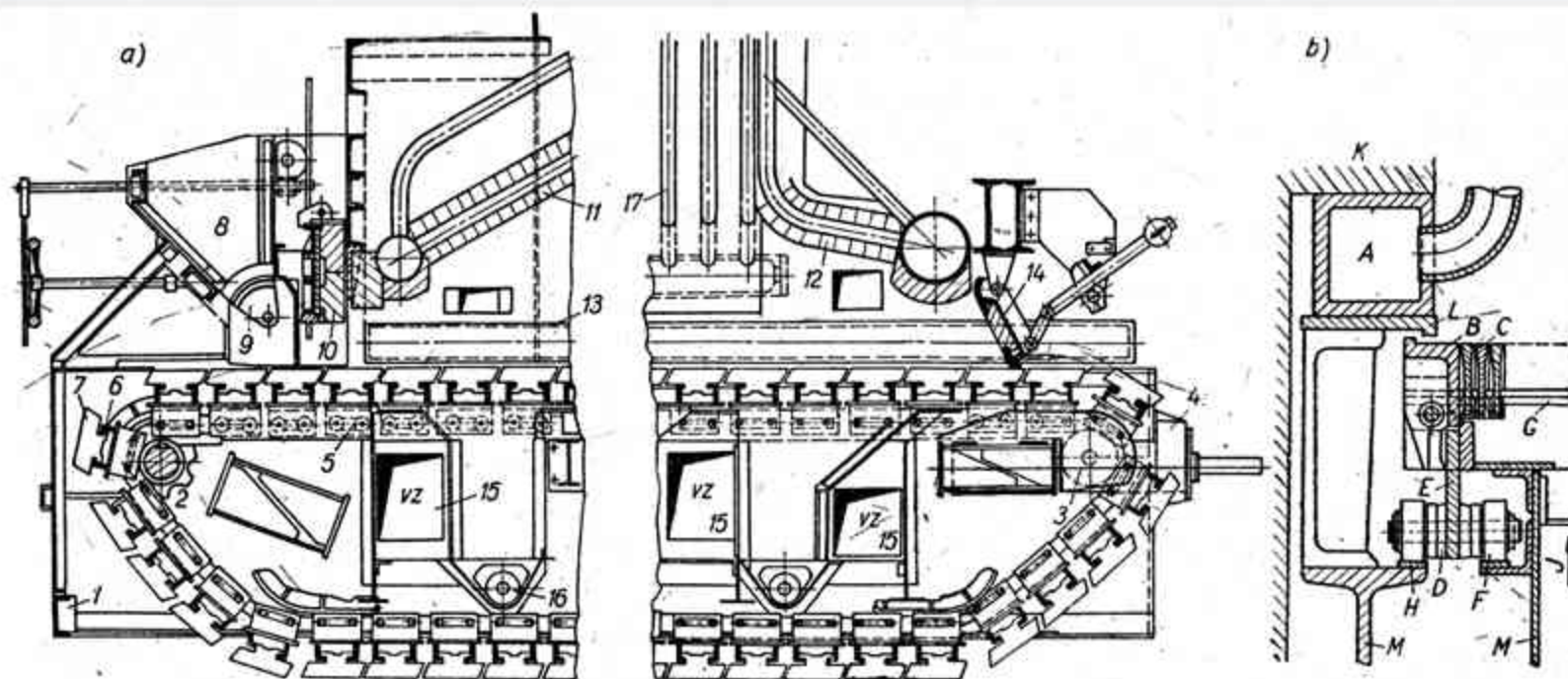
Vlastnosti paliva

- Vlastnosti paliva určují i výběr vhodného typu ohniště
- Tavitelnost popela je dána poměrem **kyselých** a **alkalických složek**

$$P = \frac{Al_2O_3 + SiO_2}{CaO + MgO + Fe_2O_3}$$

- 3,5 <1200° C lehce tavitelný – Oslavany
- 4,5 1200-1500°C SHR, OKD
- 4 >1500°C těžce tavitelný – Kladno
- **Důsledkem spalování biomasy nebo jejího přídavku mohou být popely s velmi nízkými body tání to přináší problémy pokud jsou ohniště původně projektována jako granulační –**
Teplárna Žlutice

Roštové ohniště - pásový rošt



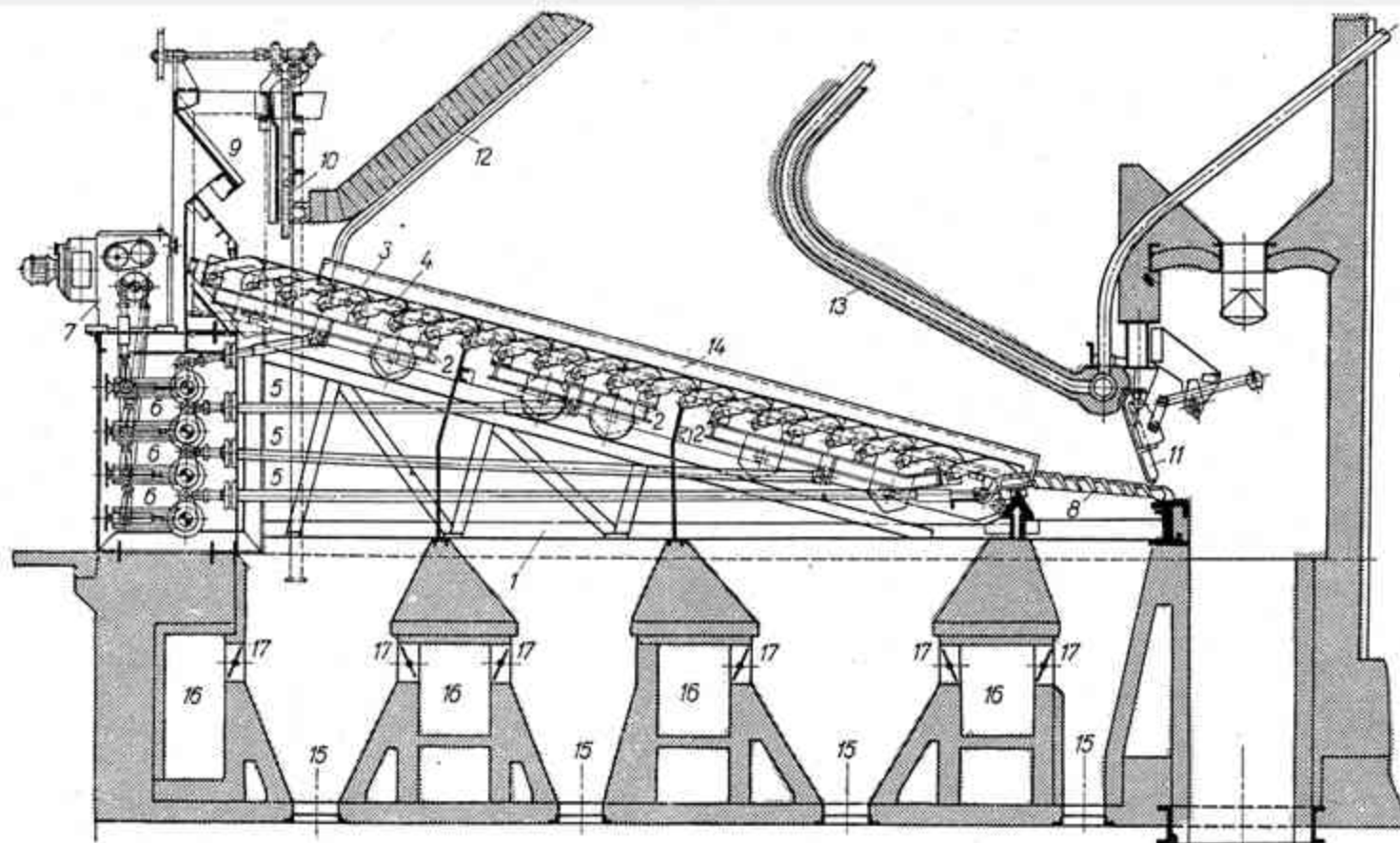
Obr. 190. Pásový rošt:

a) podélný řez: 1 - nosný rám, 2 - hnací řetězka, 3 - hnaná řetězka, 4 - napínací zařízení, 5 - článek řetězu s kladkami, 6 - nosný trámec roštnice, 7 - roštnice, 8 - uhelná násypka, 9 - segmentový uzávěr, 10 - hradítko (vrstevník), 11 - přední klenba, 12 - zadní klenba, 13 - chladič boční trámec, 14 - škvárový jizek, 15 - pásmový přívod vzduchu, 16 - šnekový vyhrnovač škváry a propadu, 17 - varnice kotle; b) detail bočního utěsnění roštu proti vnikání falešného vzduchu do ohniště: A - boční chladič trámec, B - koncová roštnice, C - roštnice, D - článek řetězu, E - stojina spojená s článkem, F - kladička, G - nosný trámec, H - kolejnicová pásnice, J - přívod vzduchu, K - obezdívka, L - stranové těsnicí desky, M - rámová konstrukce roštu

Zdroj obrázku: Doležal, R. a kol. Kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha, 1965

Roštové ohniště –přesuvný rošt

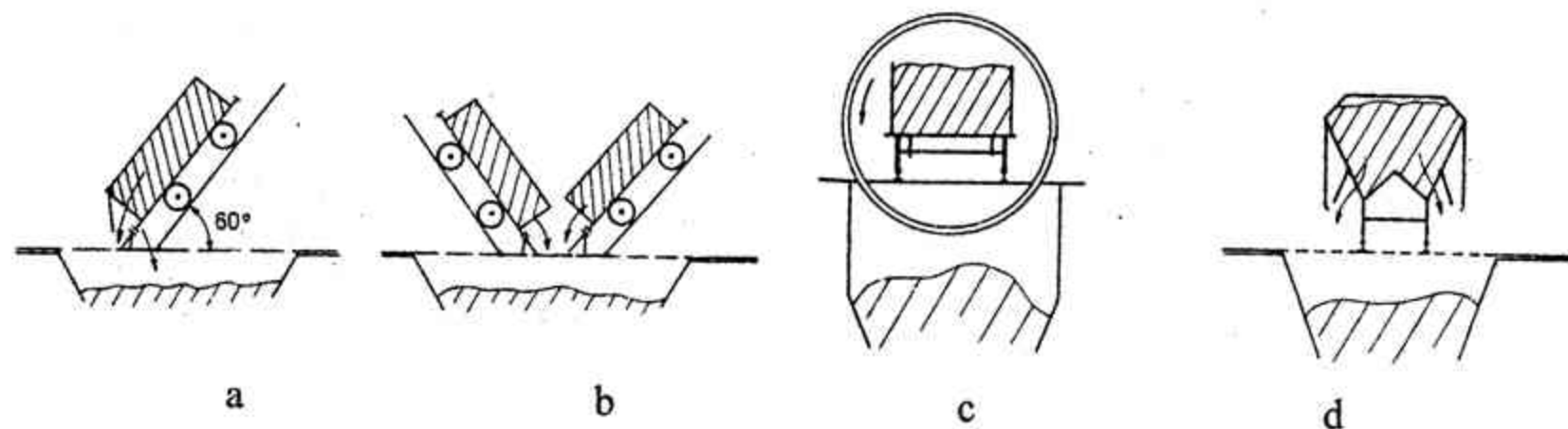
Zdroj obrázku: Doležal, R. a kol. *Kotle a spalovací zařízení*, SNTL Praha, 1965



Obr. 199. Podélný řez přesuvným roštem:

1 – nosný rám s koleji pro vozíky, 2 – vozík, 3 – pevná roštnice, 4 – posuvná roštnice spojená s vozíkem, 5 – táhlo, 6 – klikový mechanismus s přestavitelným zdvihem, 7 – převodovka s elektromotorem, 8 – dohořívací roštnice, 9 – násypka na uhlí, 10 – hradítko k regulaci tloušťky vrstvy paliva na roštu, 11 – škvárový jízec, 12 a 13 – přední a zadní klenba, 14 – boční chladicí trámec, 15 – škvárová výsypka, 16 – kanál pro přívod spalovacího vzduchu, 17 – klapka k regulaci vzduchu do jednotlivých pásem roštu

Zauhlování - doprava

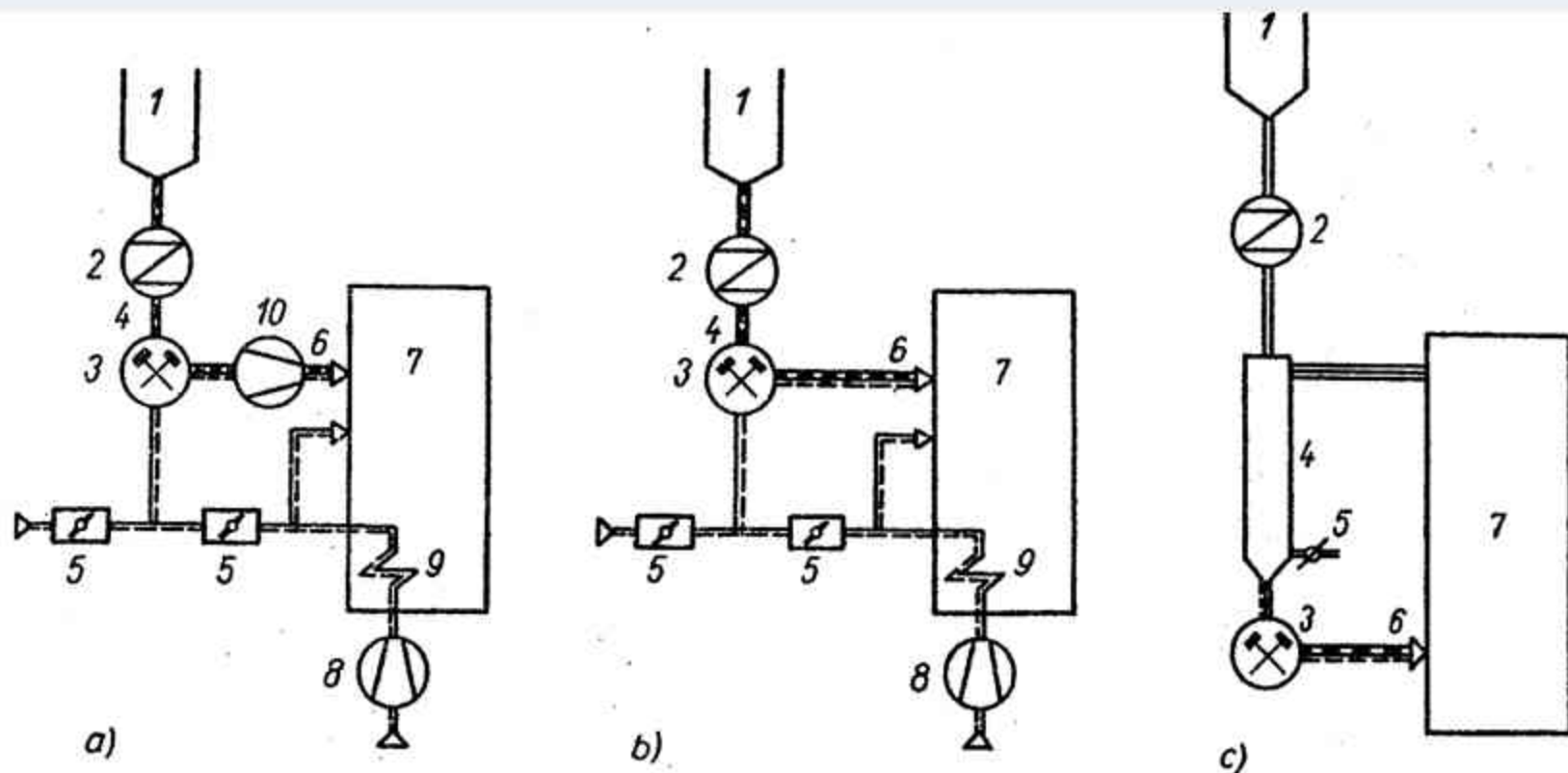


*Obr. 1.4 Vykládání uhlí z vagónu vyklápěním či vyprazdňováním
a-čelní výklopník jednoduchý, b-dvojitý čelní výklopník, c-otočné vyklápění vagónu,
d-vyprazdňování samovýsypných vagónů*

Zdroj obrázku: Jiříček I.: Konstrukce základních
prvků tepelných elektráren, VŠCHT Praha, 1997,
ISBN: 80-7080-297-9

Mletí

Zdroj obrázku: Jiříček I.: Konstrukce základních prvků tepelných elektráren, VŠCHT Praha, 1997, ISBN: 80-7080-297-9

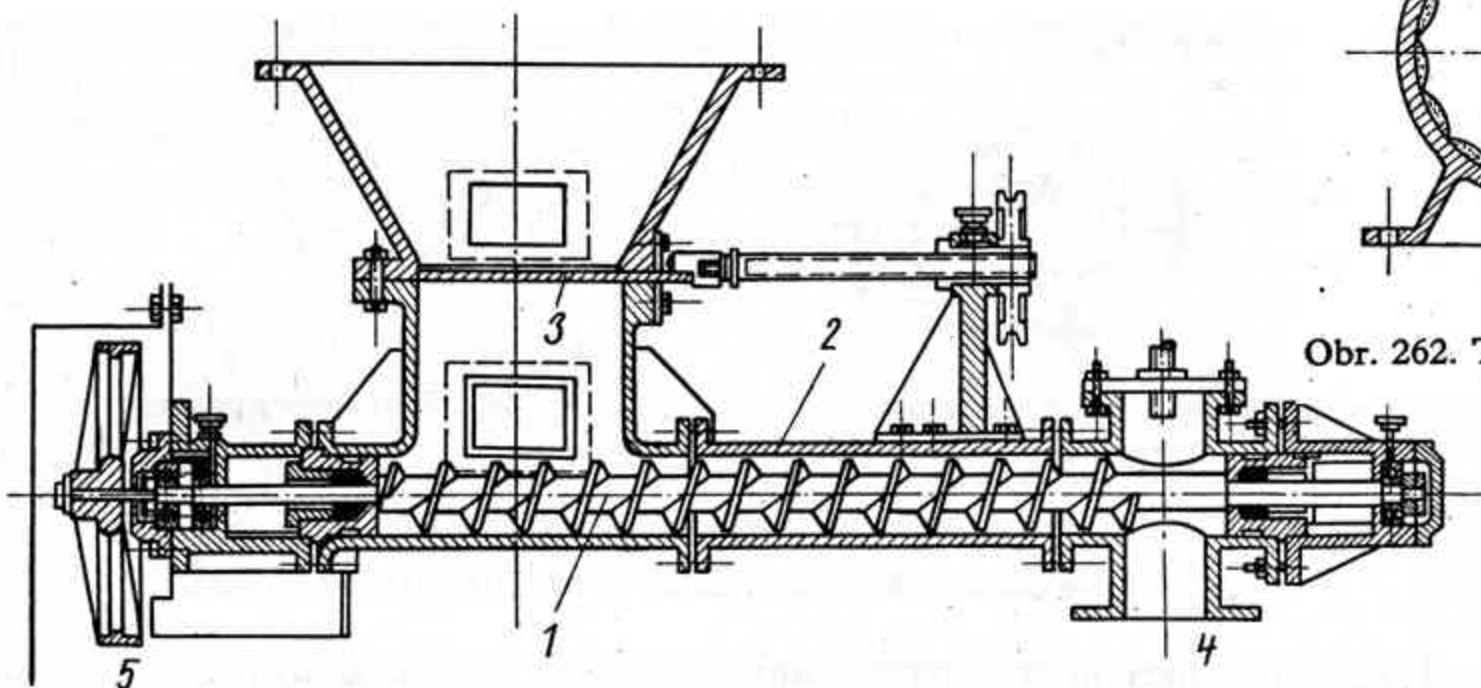


Obr.1.5 Schéma mlecího okruhu s přímým foukáním

a-podtlakový, b-přetlakový, c-se samonasávacím mlýnem. 1-zásobník surového uhlí, 2-podavač surového uhlí, 3-mlýn, 4-suška, 5-regulační klapka, 6-hořáky, 7-ohniště, 8-vzduchový ventilátor, 9-ohřívák vzduchu, 10-brýdový (mlýnský) ventilátor

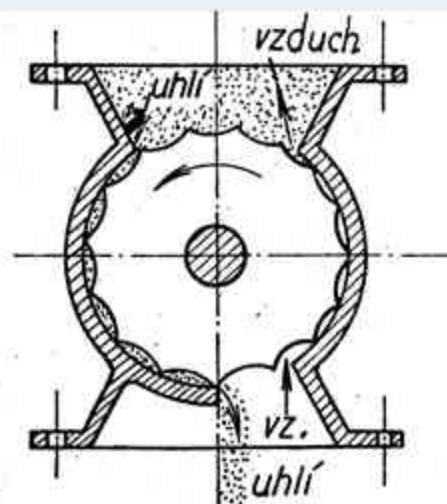
Podavače uhlého prášku

Zdroj obrázků: Doležal, R. a kol. *Kotle a spalovací zařízení*, SNTL Praha, 1965



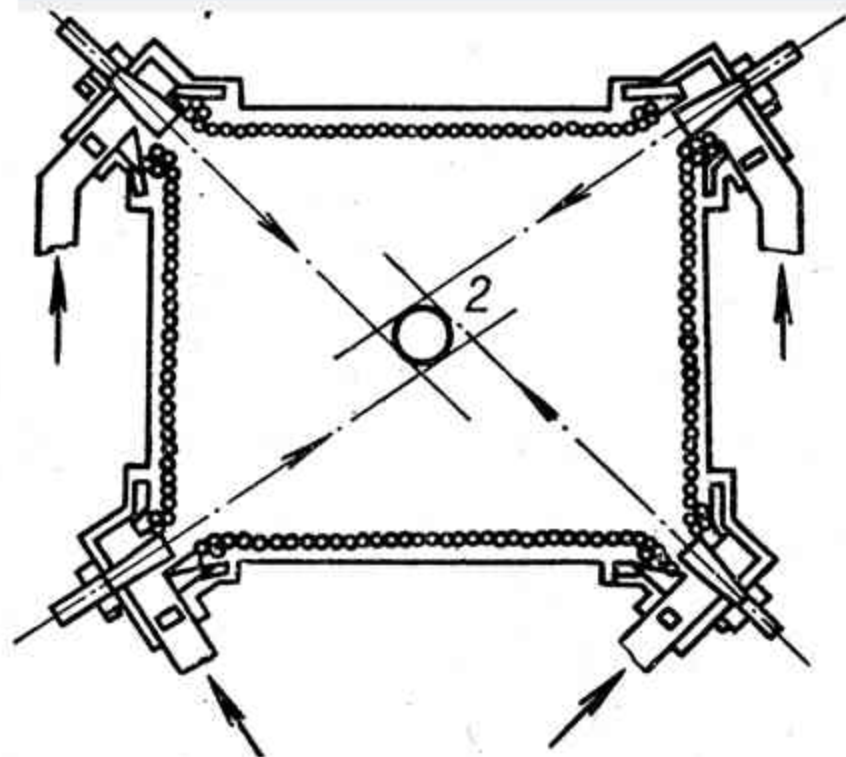
Obr. 260. Šnekový podavač:

1 – hrnucí šnek, 2 – těleso podavače, 3 – šoupátkový uzávěr přívodu prášku, 4 – výstup uhlého prášku, 5 – pohon s proměnlivými otáčkami



Obr. 262. Turniketový podavač

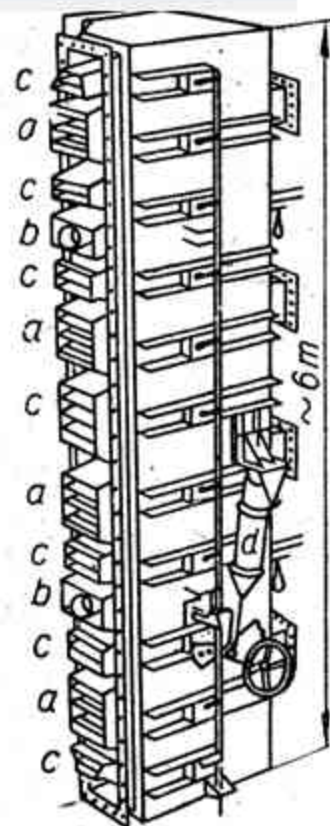
Práškové granulační ohniště



Zdroj obrázků: Doležal, R. a kol. *Kotle a spalovací zařízení*, SNTL Praha, 1965

Obr. 226. Příklad usměrnění proudění v ohništi s rohovými hořáky:

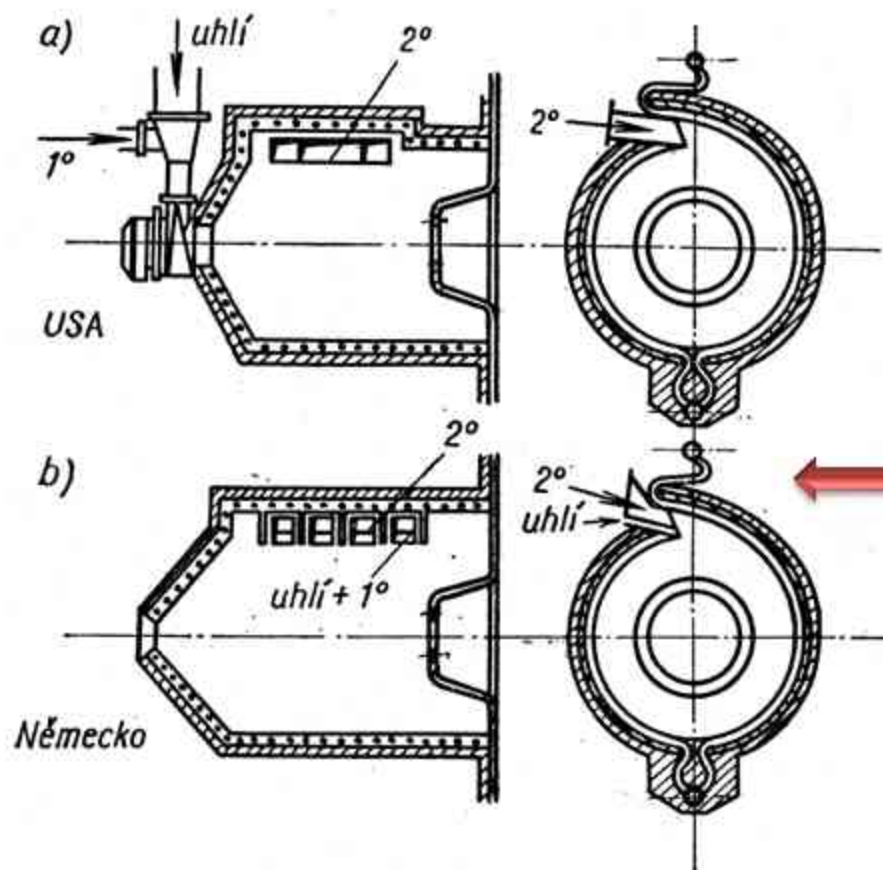
1 – hořák, 2 – imaginární kružnice, k níž jsou tečně namířeny proudy z hořáků tak, aby všechny točily obsahem ohniště v jednom smyslu



Obr. 269. Proudový rohový hořák na uhlý prášek:

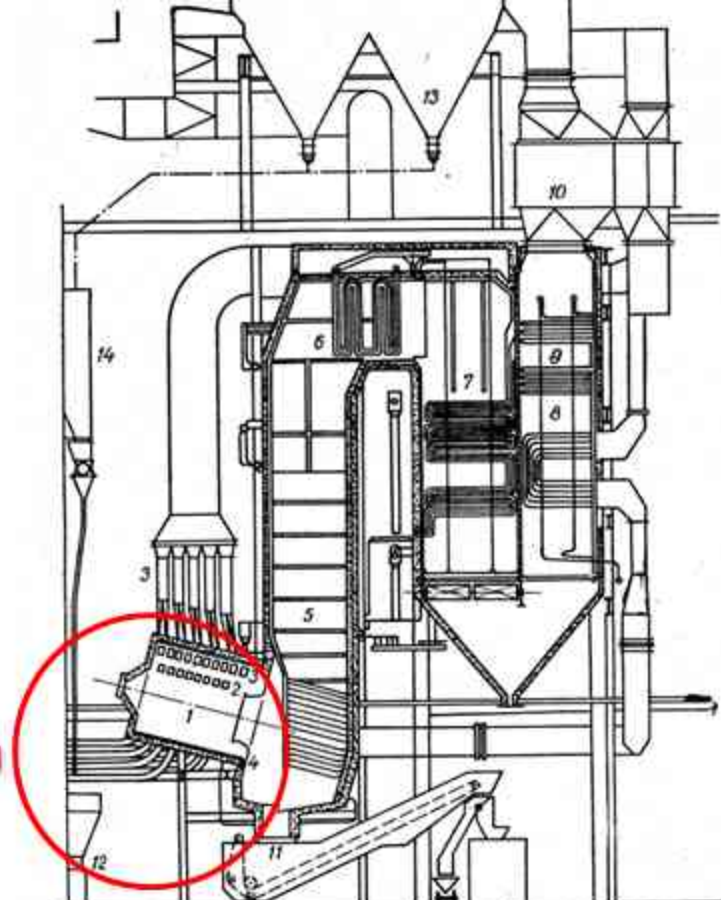
a – hubice primárního vzduchu a uhlí, b – hubice pro přívod brýd, c – hubice sekundárního vzduchu, d – servomotor k naklápění hubic

Cyklónové ohniště



Obr. 231. Provedení cyklónového ohniště:

a – s osovým přívodem paliva, b – s tečným nebo sečným přívodem paliva na obvodě cyklónu

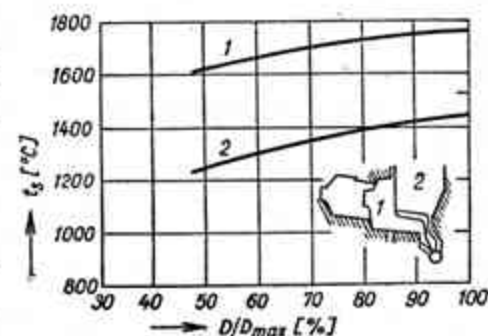


Obr. 232. Schéma parního kotle s cyklónovým ohništěm:

1 – cyklón, 2 – přívod paliva, 3 – přívod sekundárního vzduchu, 4 – dohořívací prostor, 5 – vychlázecí prostor, omezený stěnami z meandrovitého výparníku, 6, 7 – přehřívák, 8 – druhý stupeň ohříváku vzduchu, 9 – ohřívák vody, 10 – první stupeň ohříváku vzduchu, 11 – granulární a odstraňovací zařízení, 12 – mlýn, 13, 14 – zásobníky drceného uhlí

Obr. 233. Teplota spalin u cyklónového ohniště v závislosti na změně výkonu:

1 – na vstupu z cyklónového ohniště, 2 – na výstupu z dohořívacího prostoru



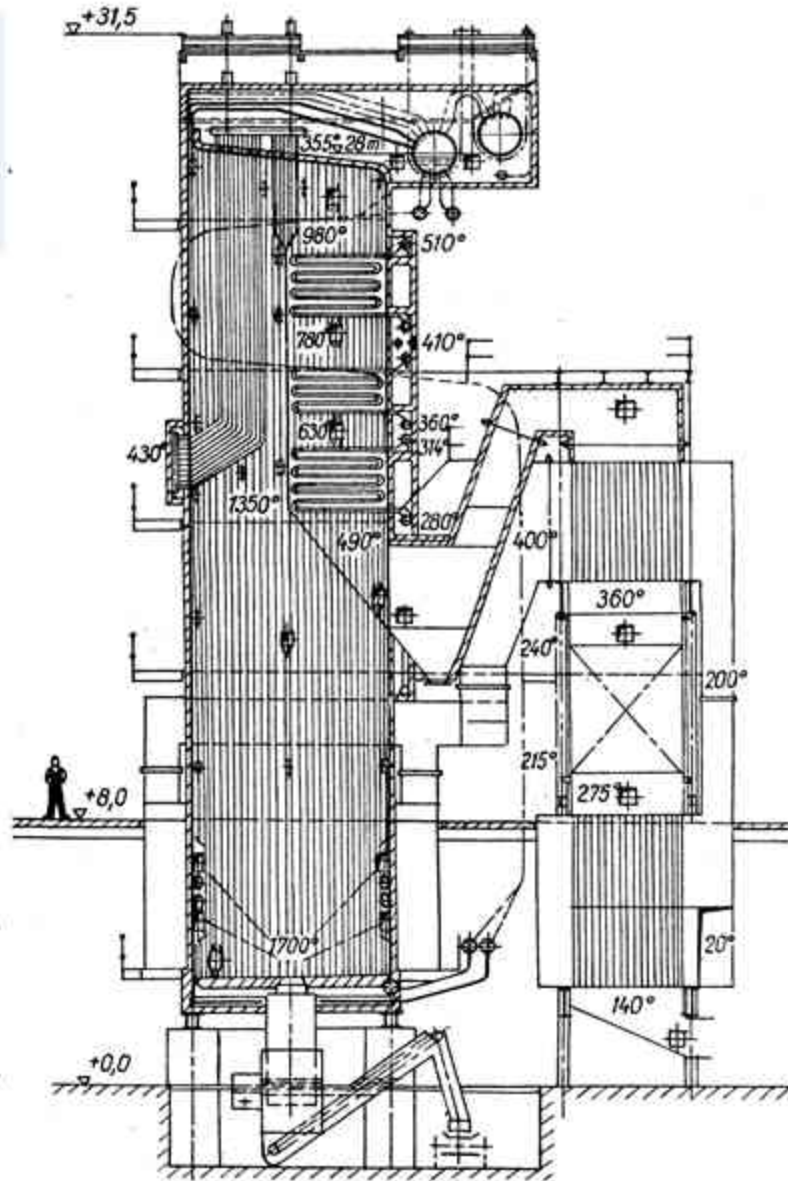
Zdroj obrázku: Doležal, R. a kol. Kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha, 1965

Práškové výtavné ohniště

Škvára

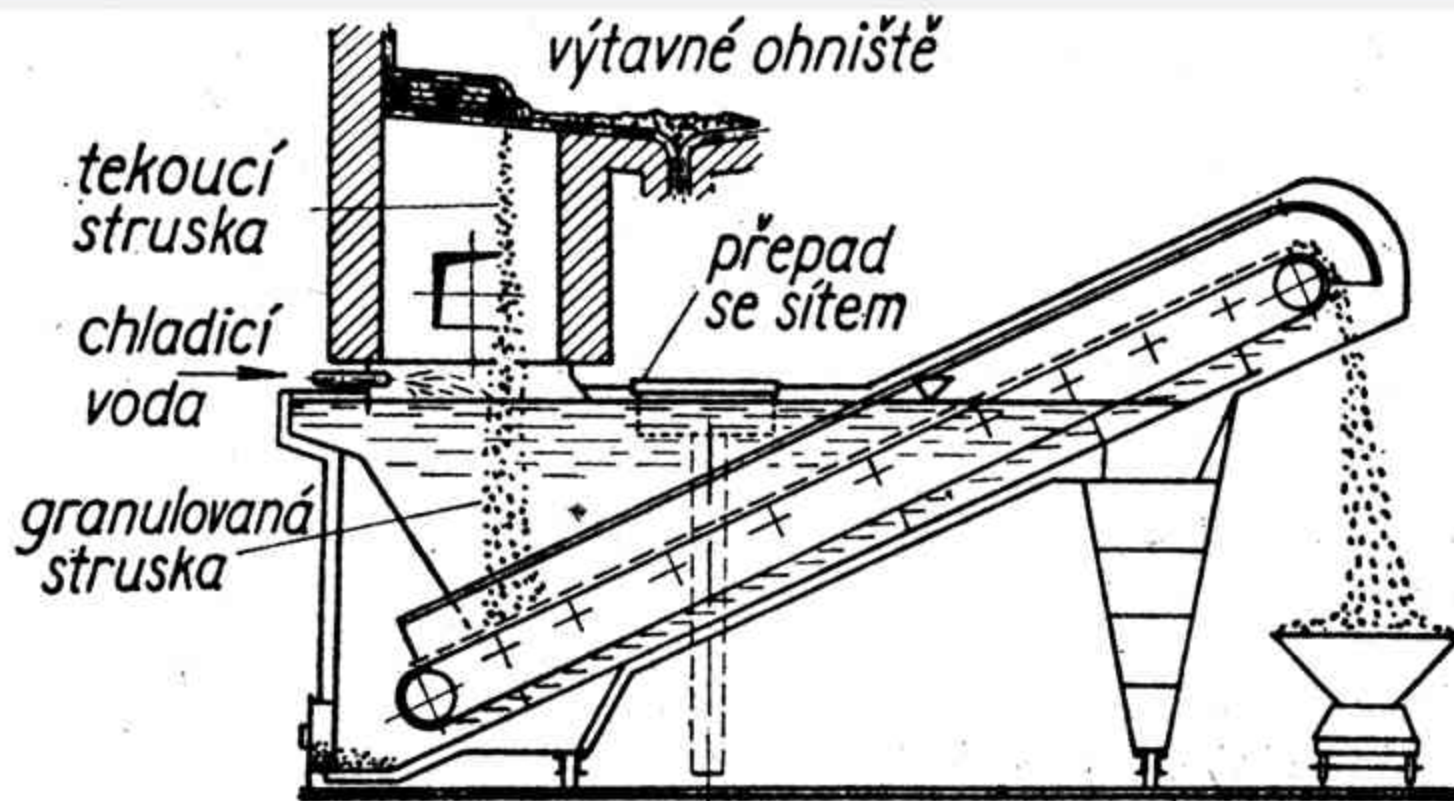
struska vznikající při
spalování uhlí

Zdroj obrázku: Doležal, R. a kol. Kotle a spalovací
zařízení, SNTL Praha, 1965



Obr. 139. Strmotrubný parní kotel s otevřeným výtavným
ohništěm

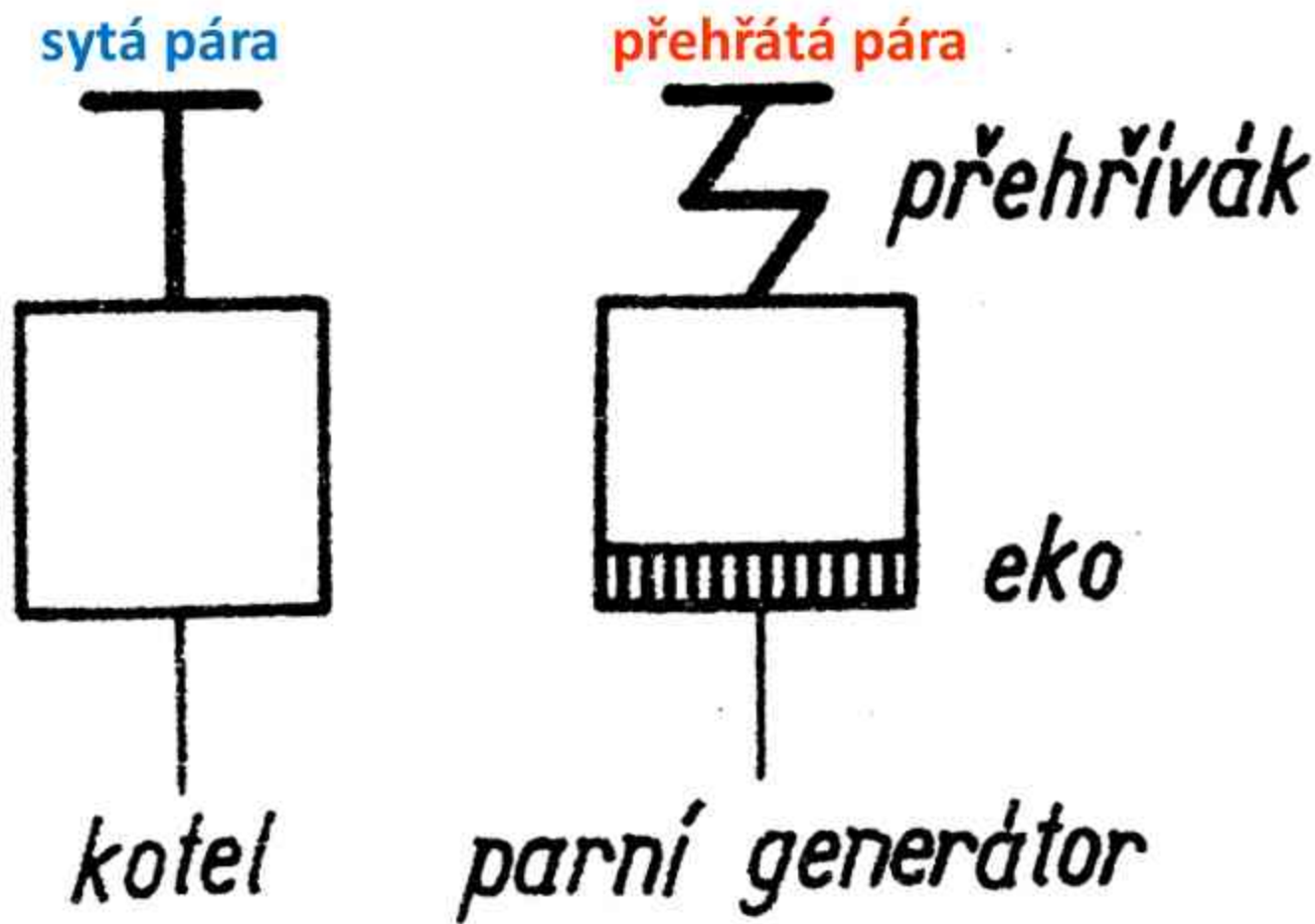
Příklad odvádění škváry



Zdroj obrázku: Doležal, R. a kol. Kotle a spalovací zařízení, SN TL Praha, 1965

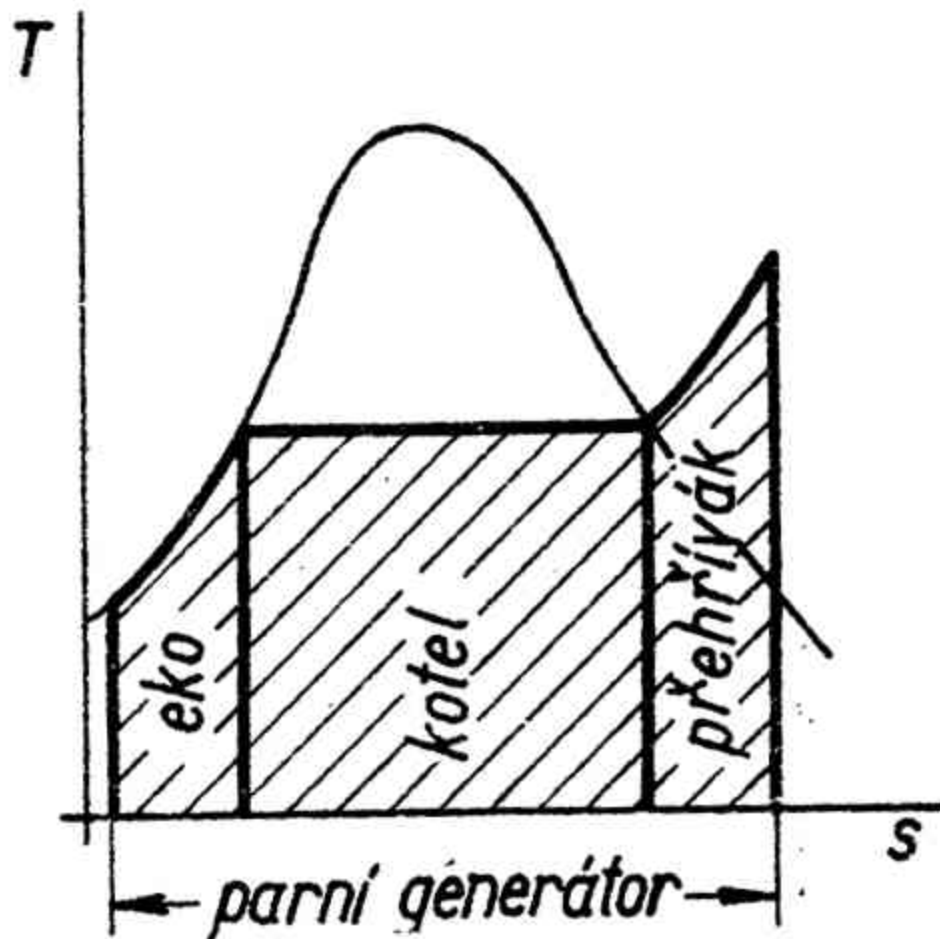
Obr. 293. Granulační zařízení s řetězovým vynášecem strusky

Kotel vs. parogenerátor



Zdroj obrázku: Vořta J., Matějka Z., Macák J.:
Energetika, VŠCHT Praha, 1999, ISBN: 80-7080-358-4

Výroba přehřáté páry – výrobní teplo páry



$$\lambda = q_k + q_v + q_p$$

$$\lambda = c_k \Delta T + T_v \Delta S + c_p \Delta T$$

$$\lambda = c_k \Delta T + h_v + c_p \Delta T$$

$$\eta_k = \lambda / Q_i$$

Rozdělení kotlů podle tlaku

Nízko tlaké < 2,5 MPa

Středo tlaké 2,5 - 6,5 MPa

Vysoko tlaké 6,5 - 14 MPa

Velmi vysoko tlaké > 14 MPa

Nadkritické > 22,2 MPa

Rozdělení kotlů podle výkonů

Malý výkon < 10 t/h

Střední výkon 10-50 t/h

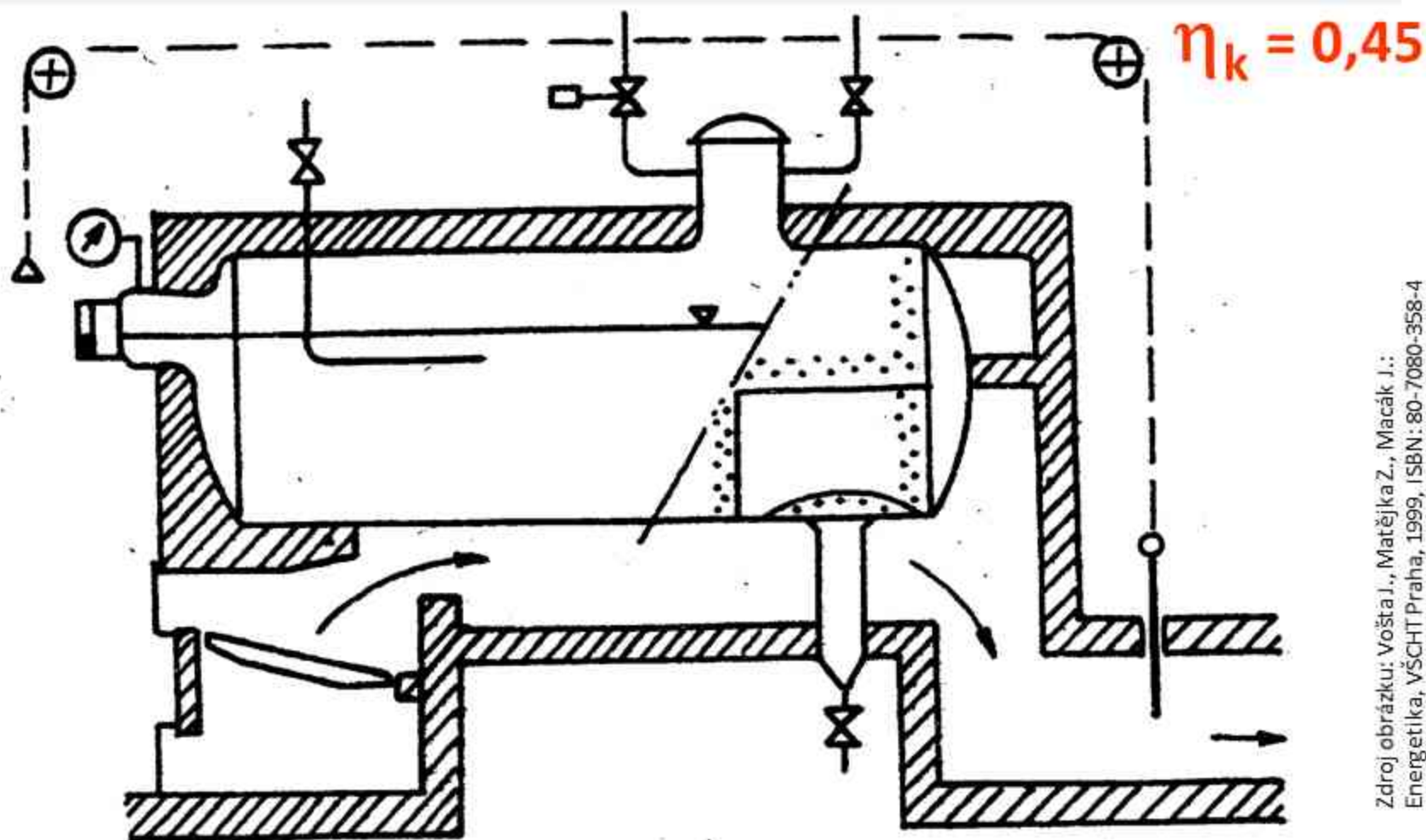
Velký výkon > 50 t/h

Příklad: 200 MW – 650 t/h

Kotle s velkým vodním obsahem

- Vodní obsah je několikanásobkem parního výkonu
- Pružnost výroby páry – vhodné v průmyslu
- Válcový
 - nejjednodušší varianta
 - nezaměňovat s bubnovým!
- Plamencový
 - zlepšený přestup tepla
- Žárotrubný
 - použití trubkového výměníku
 - Spaliny uvnitř trubek
- Různé kombinace
 - Tischbein

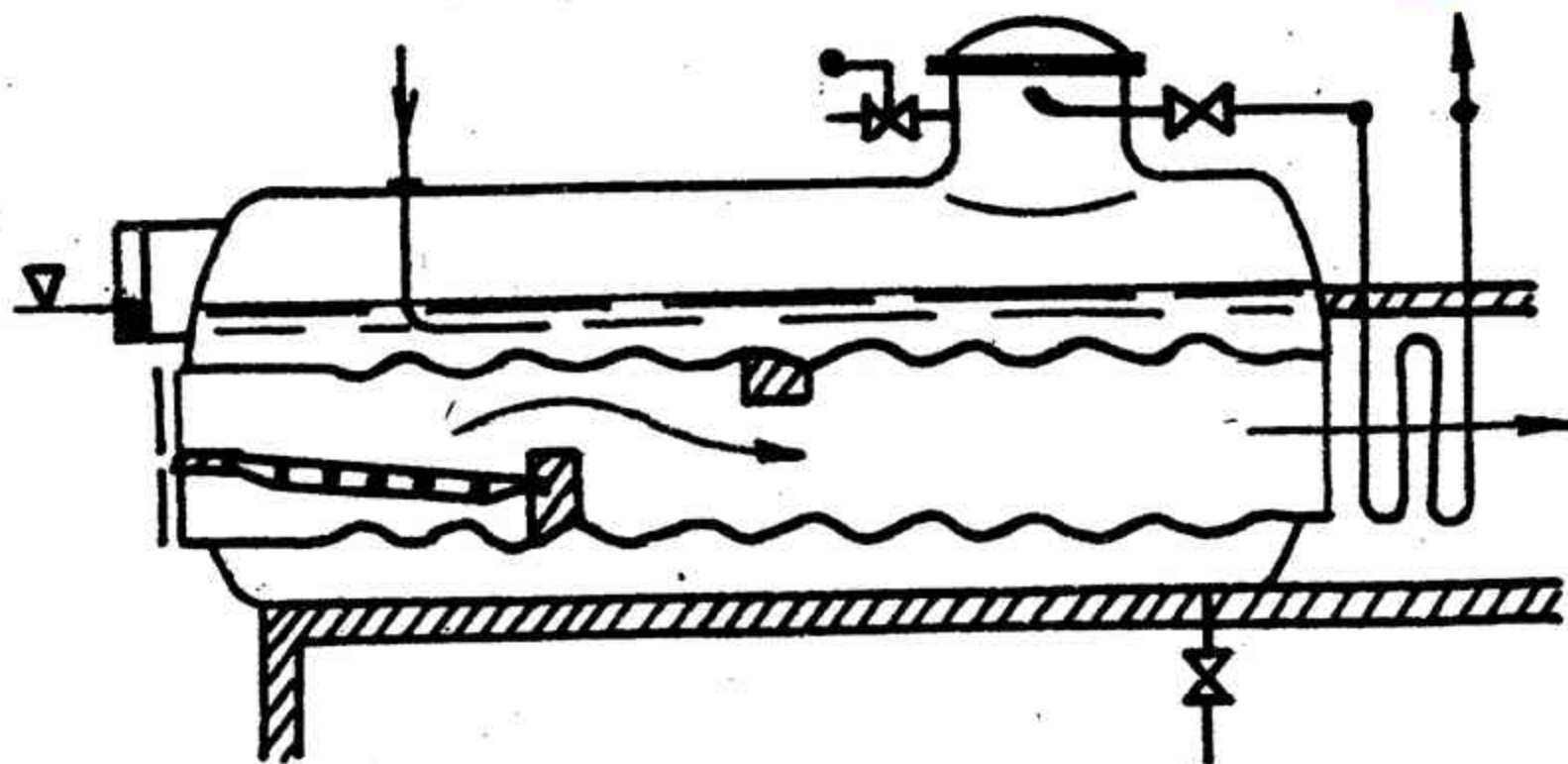
Válcový kotel



Zdroj obrázku: Vošta J., Matějka Z., Macák J.:
Energetika, VŠCHT Praha, 1999, ISBN: 80-7080-358-4

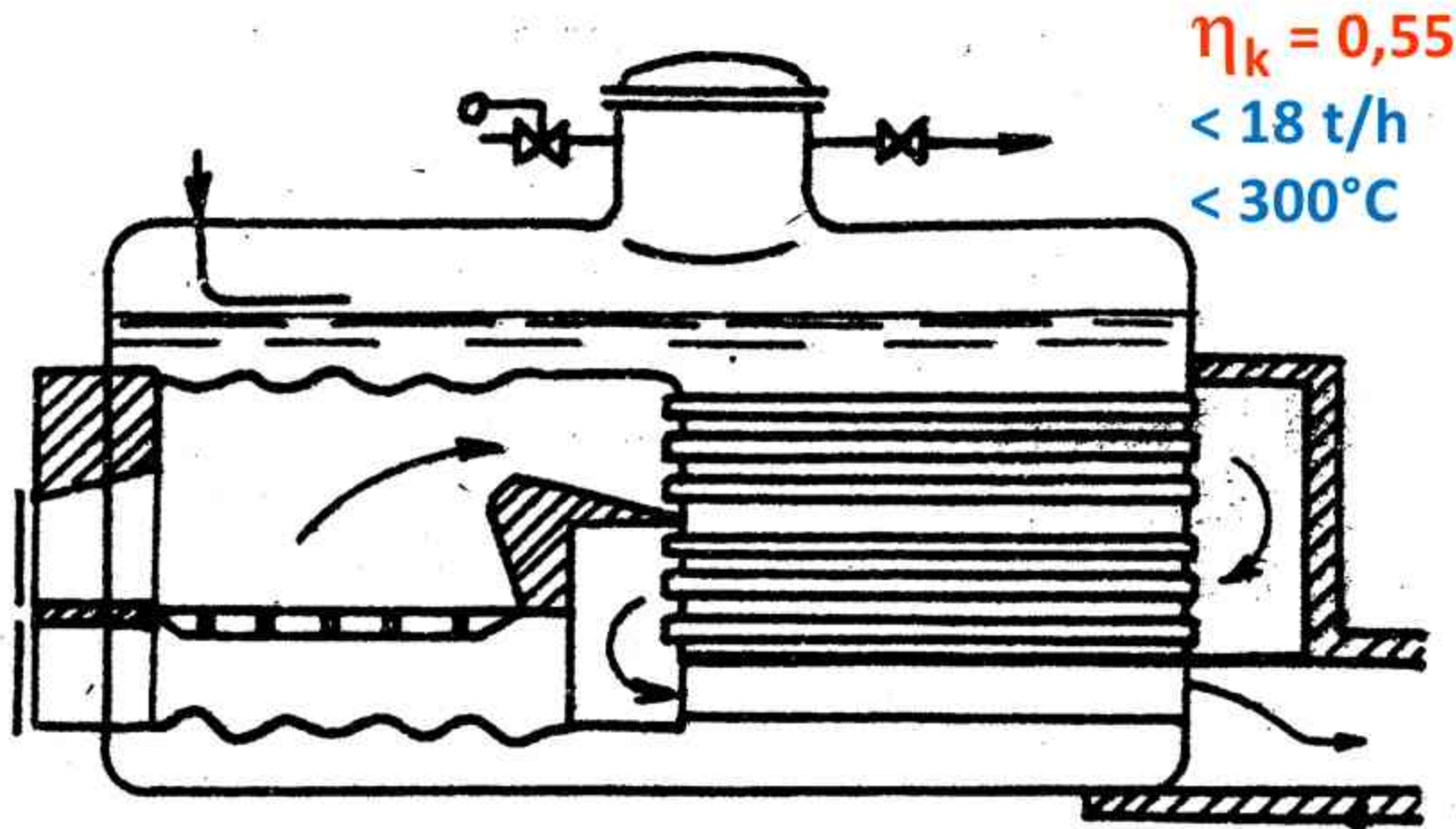
Plamencový kotel

$\eta_k \sim 0,5$



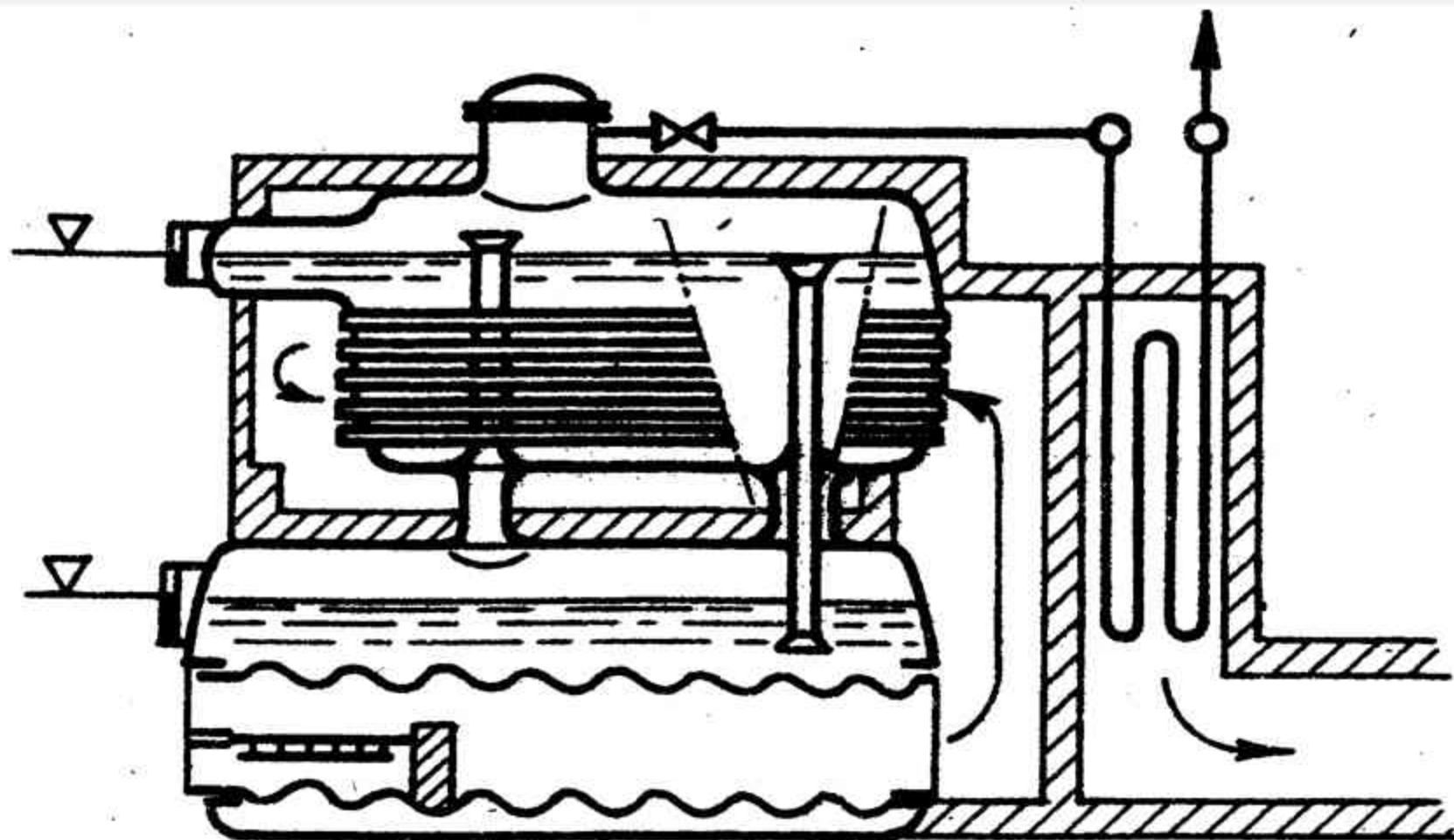
Zdroj obrázku: Vošta J., Matějka Z., Macák J.:
Energetika, VŠCHT Praha, 1999, ISBN: 80-7080-358-4

Žárotrubný kotel



Zdroj obrázku: Vošta J., Matějka Z., Macák J.:
Energetika, VŠCHT Praha, 1999, ISBN: 80-7080-358-4

Tischbein

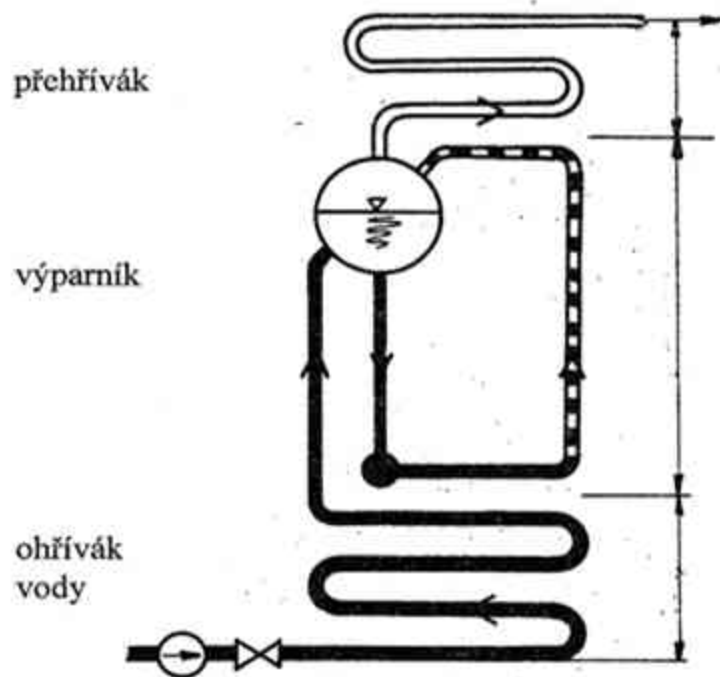


Zdroj obrázku: Vošta J., Matějka Z., Macák J.:
Energetika, VŠCHT Praha, 1999, ISBN: 80-7080-358-4

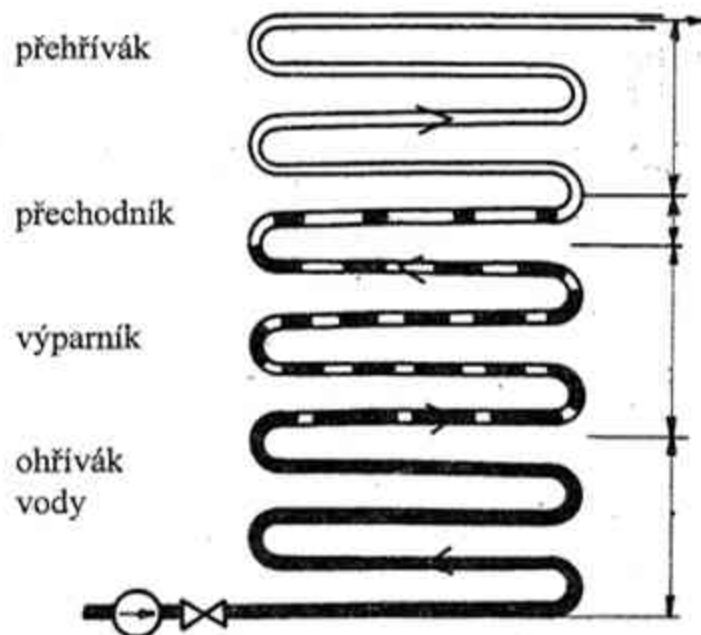
Kotle s malým vodním obsahem

- Vodotrubné kotle
 - bubnové
 - s přirozeným oběhem (šikmé trubky/strmotrubné)
 - s nuceným oběhem (La Mont)
 - průtlačné (Benson)
- Klasika 200 MW
 - 630 t/h
 - 17,8 MPa
 - 565°C

Moderní kotle



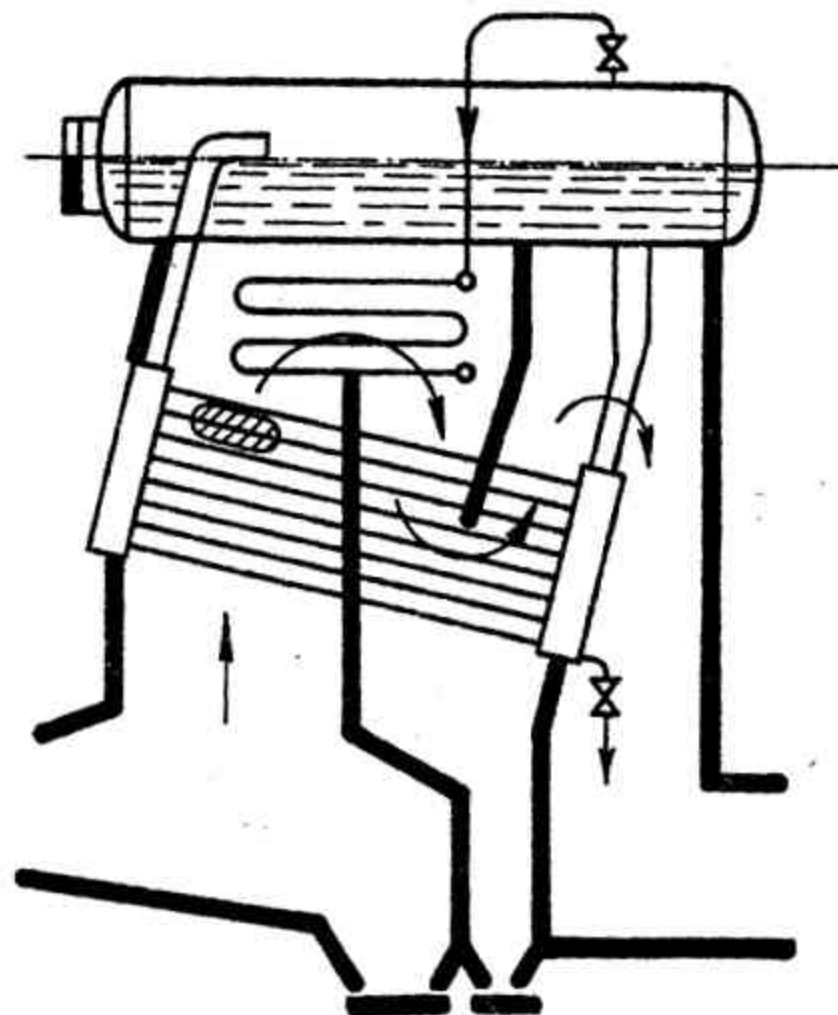
Obr. 2.2 Schéma kotle s přirozeným oběhem.



Obr. 2.3 Schéma kotle s nuceným průtokem

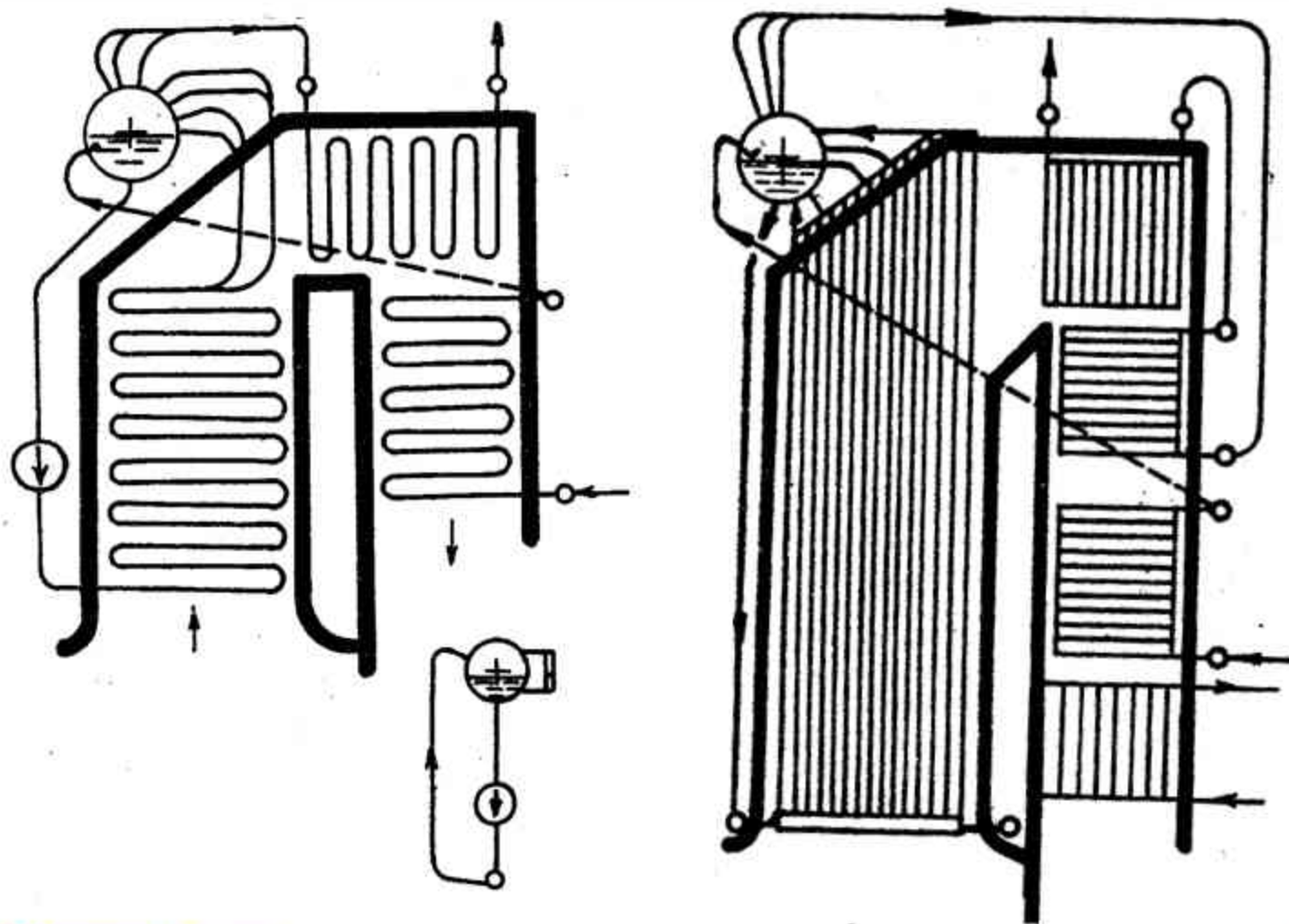
Zdroj obrázku: Jiříček I.: Konstrukce základních
prvků tepelných elektráren, VŠCHT Praha, 1997,
ISBN: 80-7080-297-9

Bubnový kotel se šikmými trubkami



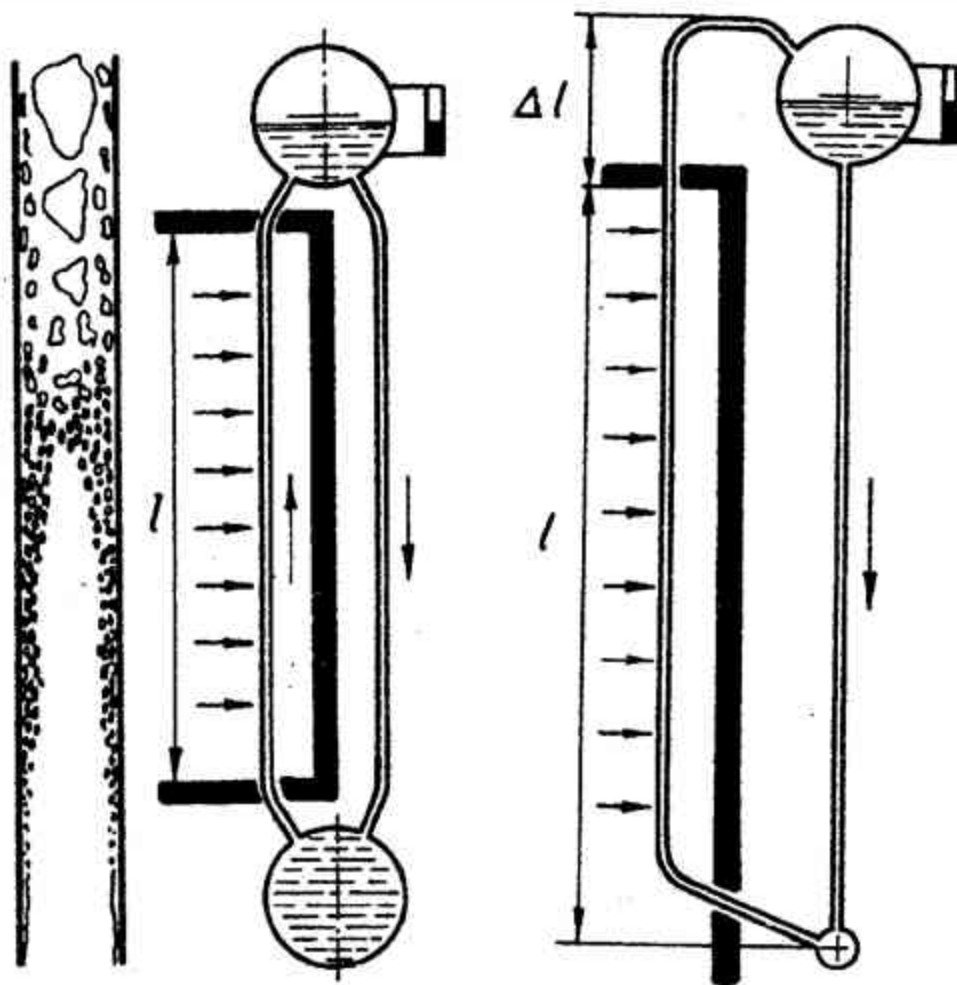
Zdroj obrázku: Vošta J., Matějka Z., Macák J.:
Energetika, VŠCHT Praha, 1999, ISBN: 80-7080-358-4

Bubnové kotle strmotrubný / La Mont



Zdroj obrázků: Vošta J., Matějka Z., Macák J.:
Energetika, VŠCHT Praha, 1999, ISBN: 80-7080-358-4

Oběh vody v kotli, oběhové číslo

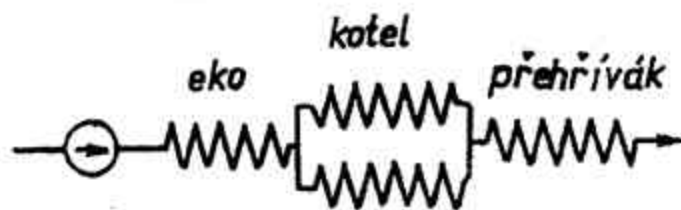
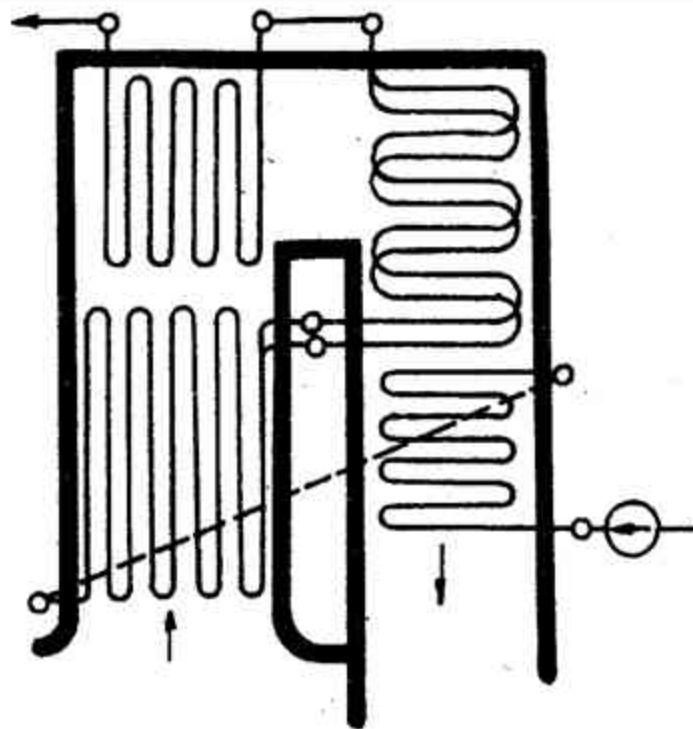


Oběhové číslo
OČ 7-10

$$OČ = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_p}$$

Suchost páry
 $X \sim 0,15$

Průtlačný kotel / Benson



- Vodotrubné kotle
 - bubnové
 - s přirozeným oběhem (šikmé trubky/strmotrubné)
 - s nuceným oběhem (La Mont)
 - průtlačné (Benson)
- Klasika 200 MW
 - 630 t/h
 - 17,8 MPa
 - 565°C

Parní turbíny



Zdroj obrázku: Wikimedia commons.

Dělení parních turbín

- Při dělení parních turbín na impulzní a reaktivní je zajímavé si všimnout podobnosti principu reaktivní turbíny a Heronova hrnce

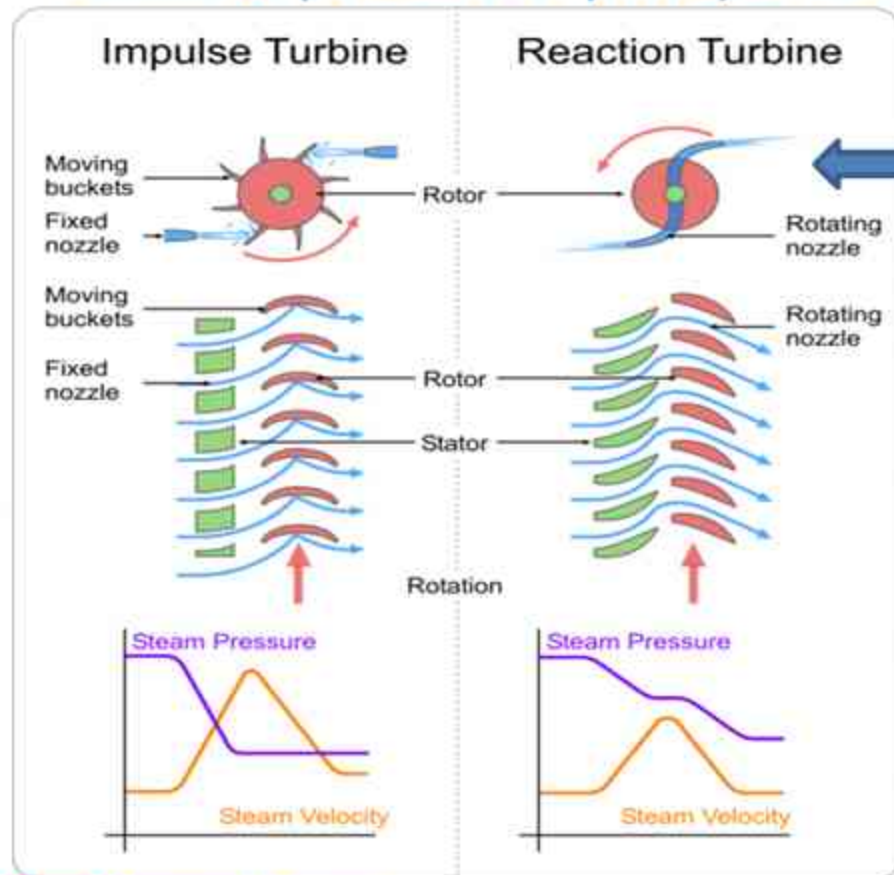


Fig. 21 —HERON'S EOLIPILE.



Zdroj obrázků: Wikimedia commons

Otcové zakladatelé



Charles Algernon Parsons
(1854-1931)

Otec moderní parní
turbíny, kterou vyvinul
v r. 1884



Gustaf de Laval
(1845-1913)

Otec impulzní parní
turbíny, kterou
zkonstruoval v r. 1887



Charles Gordon Curtis
(1860-1953)

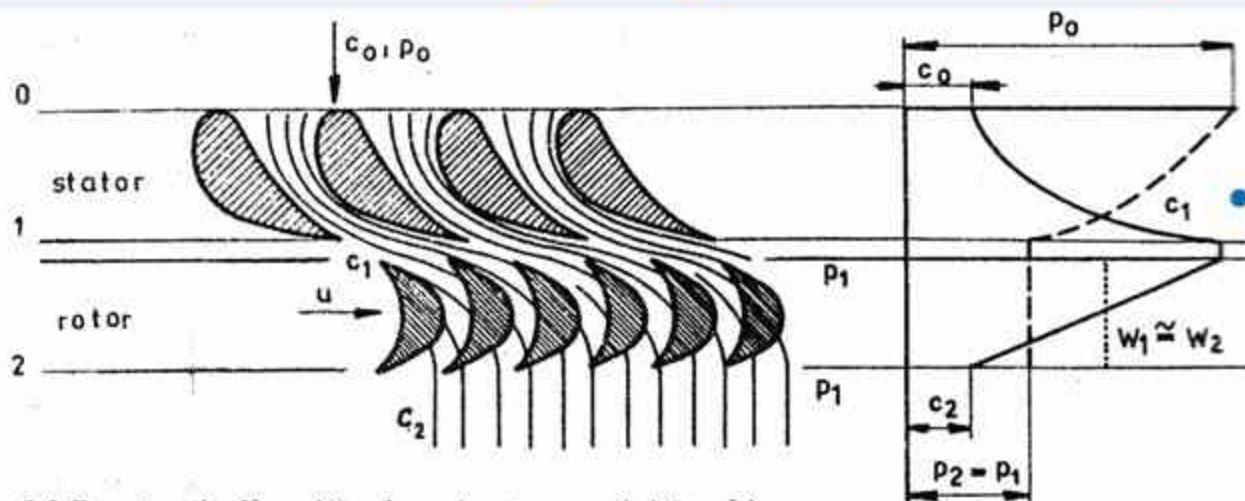
Otec Curtisovy turbíny,
kterou si patentoval v r.
1896 a která kombinuje
prvky Parsonse a de Lavala



Aurel Stodola
(1859-1942)

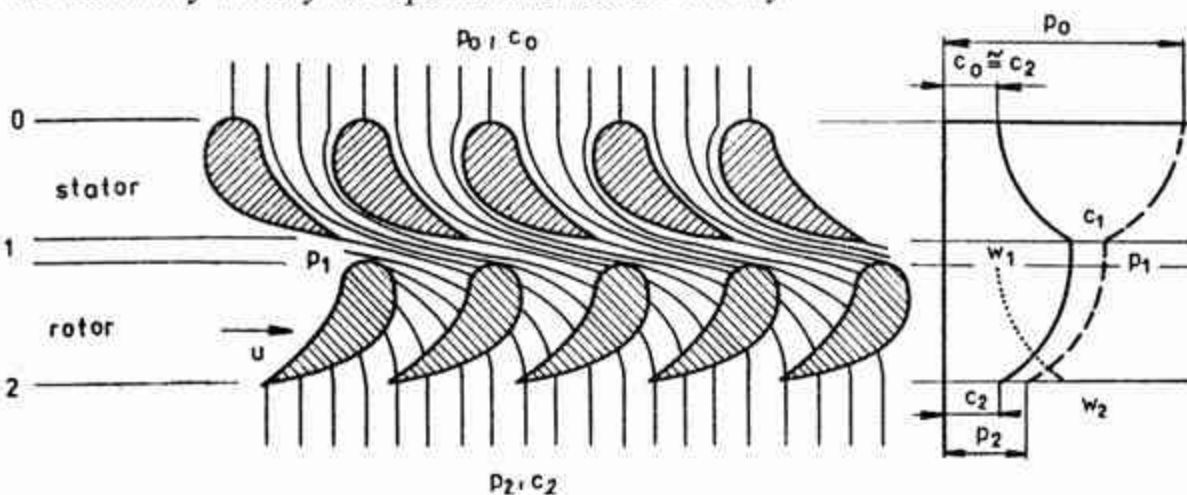
Tvůrce teorie parních
a plynových turbín

Rovnotlaký a přetlakový stupeň



• Rovnotlaký st.

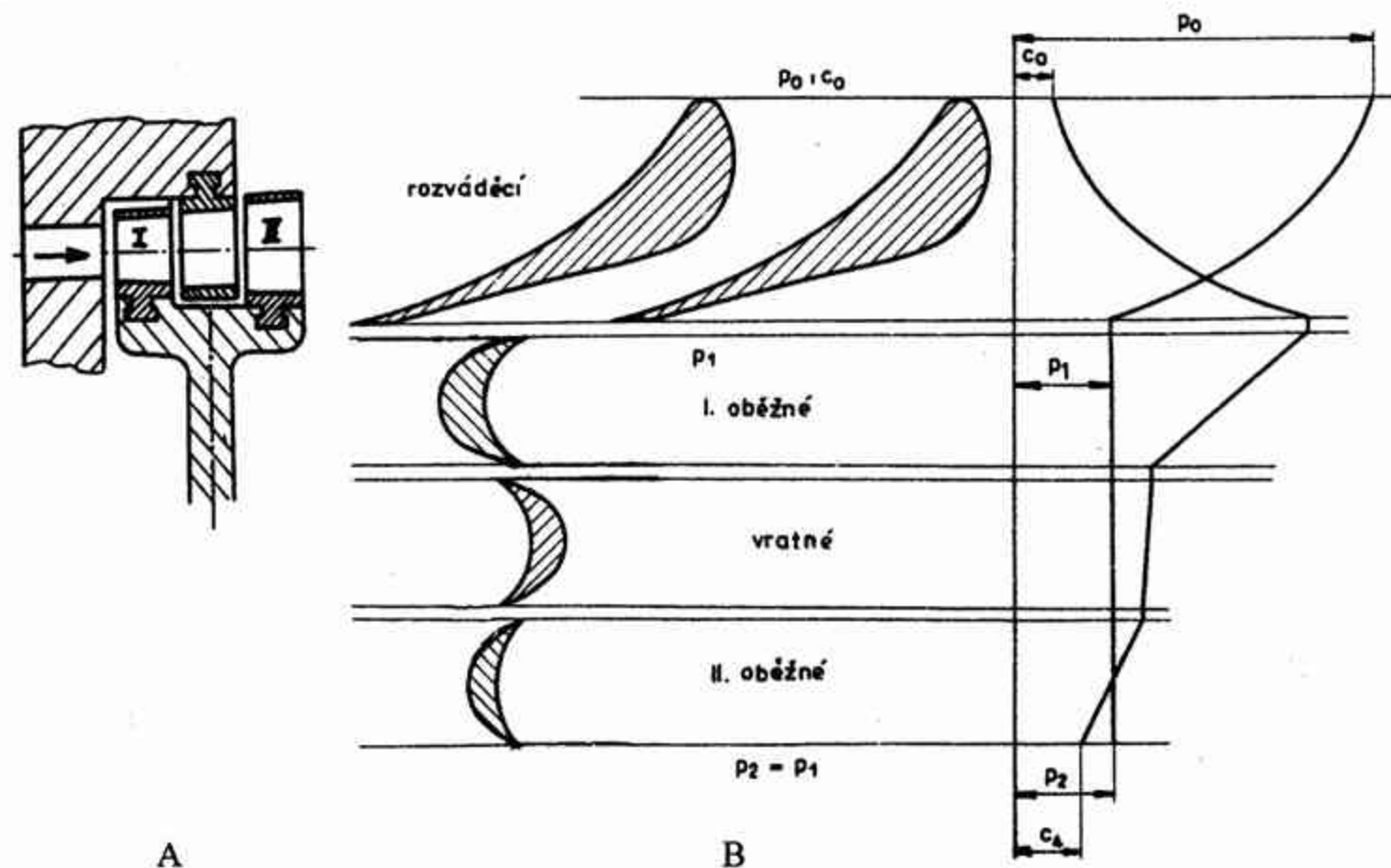
5.3 Rozvinutý válcový řez lopatkami rovnotlaké turbíny



• Přetlakový st.

Obr. 5.6 Rozvinutý válcový řez lopatkami přetlakového stupně

Curtisův stupeň



Obr. 5.4 Tvar rychlostního (Curtisova) stupně (A) a rozvinutý válcový řez jeho lopatkami (B)

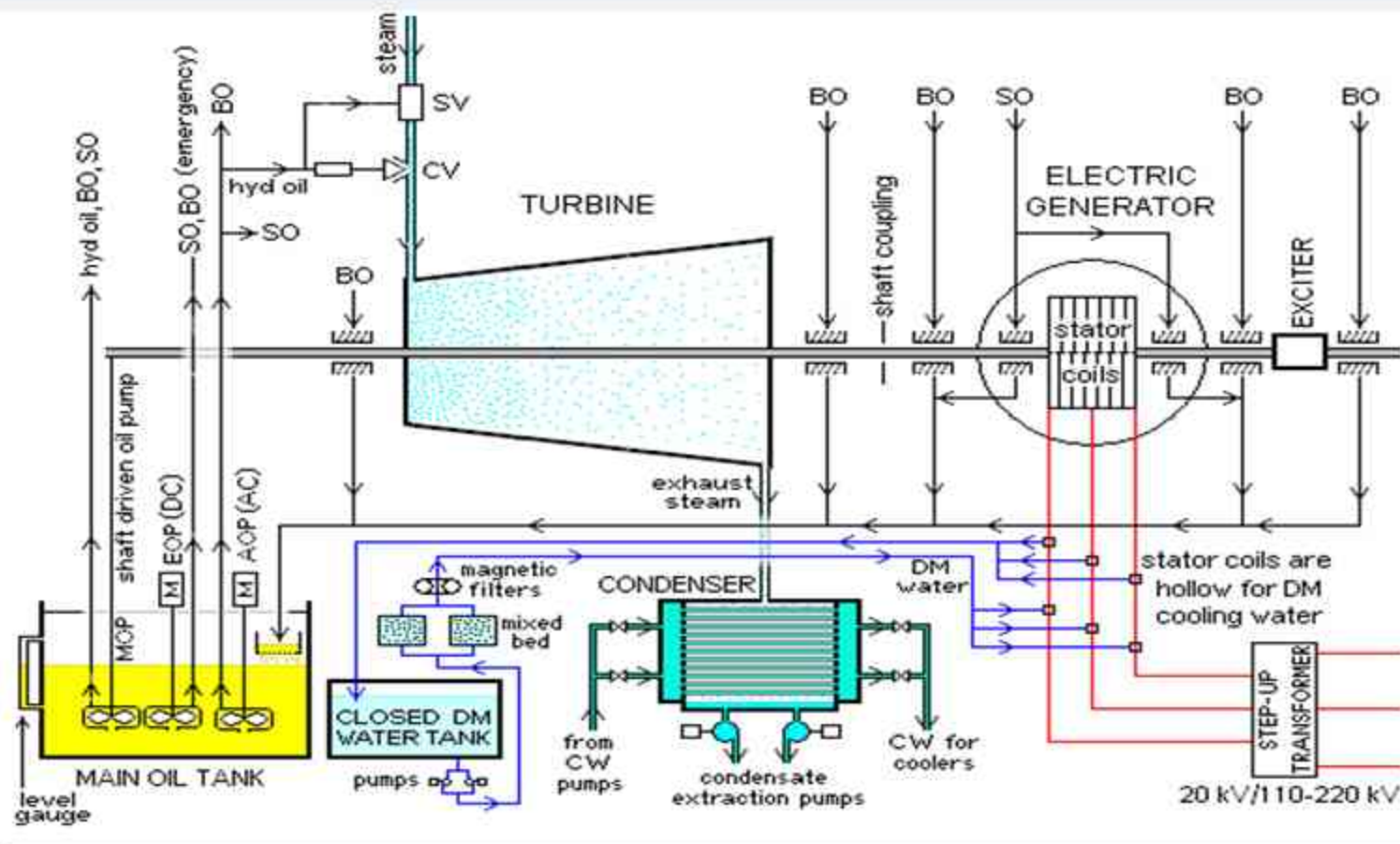
Turbína rotor NT dílu



Zdroj obrázku: Wikimedia commons, Autor: Hannes Grobe

Turbosoustrojí – olejové hospodářství

Zdroj obrázku: Wikimedia commons, Autor: H Padleckas

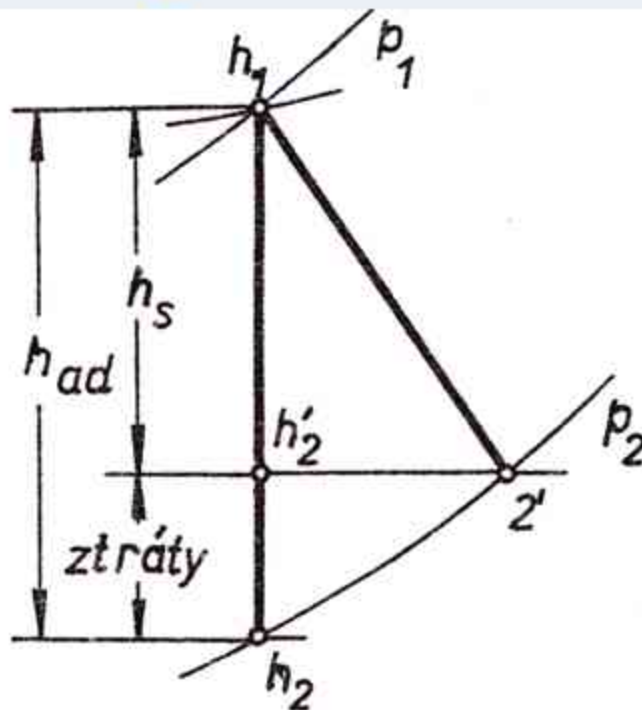


SO-seal oil; BO-bearing oil; hyd oil-hydraulic oil; SV-stop valve; CV-control valve;
MOP-main oil pump; EOP-emergency oil pump; AOP-auxiliary oil pump; **[M]** - motor
CW-circulating water; DM-demineralised (water); DC - direct current; AC - alternating current

Termická a termodynamická účinnost turbíny

$$\eta_T = \frac{\Delta h_{ad}}{\lambda}$$

$$\eta_{td} = \frac{\Delta h_s}{\Delta h_{ad}}$$



Zdroj obrázku: Vošta J., Matějka Z., Macák J.:
Energetika, VŠCHT Praha, 1999, ISBN: 80-7080-358-4

$$\eta_C = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Carnotova účinnost

$$T_1 > T_2$$

$$\lim_{T_2 \rightarrow 0} \eta_C = 1$$

$$\lim_{T_1 \rightarrow \infty} \eta_C = 1$$

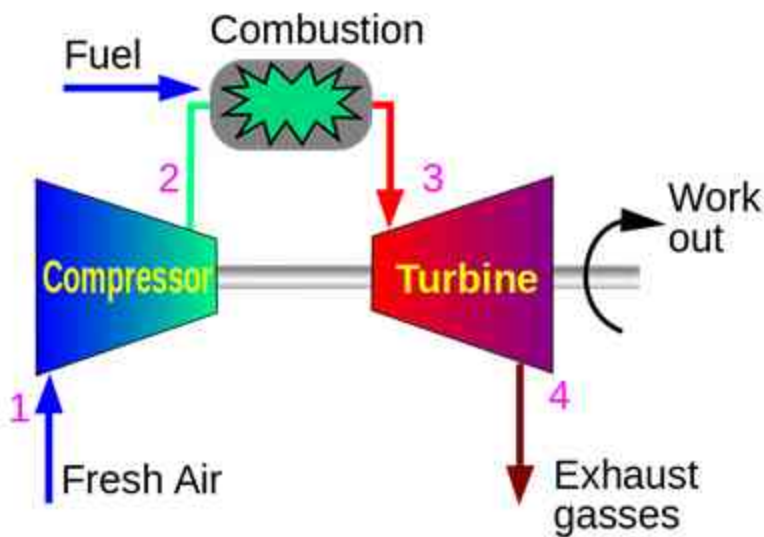
Plynové turbíny– kombinovaný (paroplynový) cyklus

- Využití plynové turbíny dále zvýší celková účinnost cyklu, protože teplo spalin se využije v klasickém Rankinově cyklu

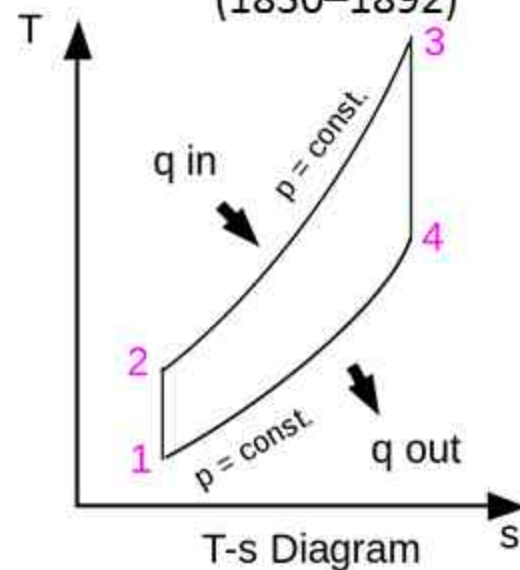
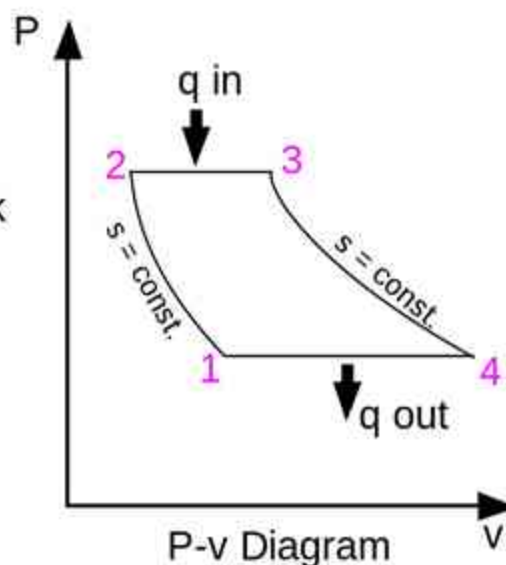


Zdroj obrázku: Wikimedia commons

George Brayton
(1830–1892)



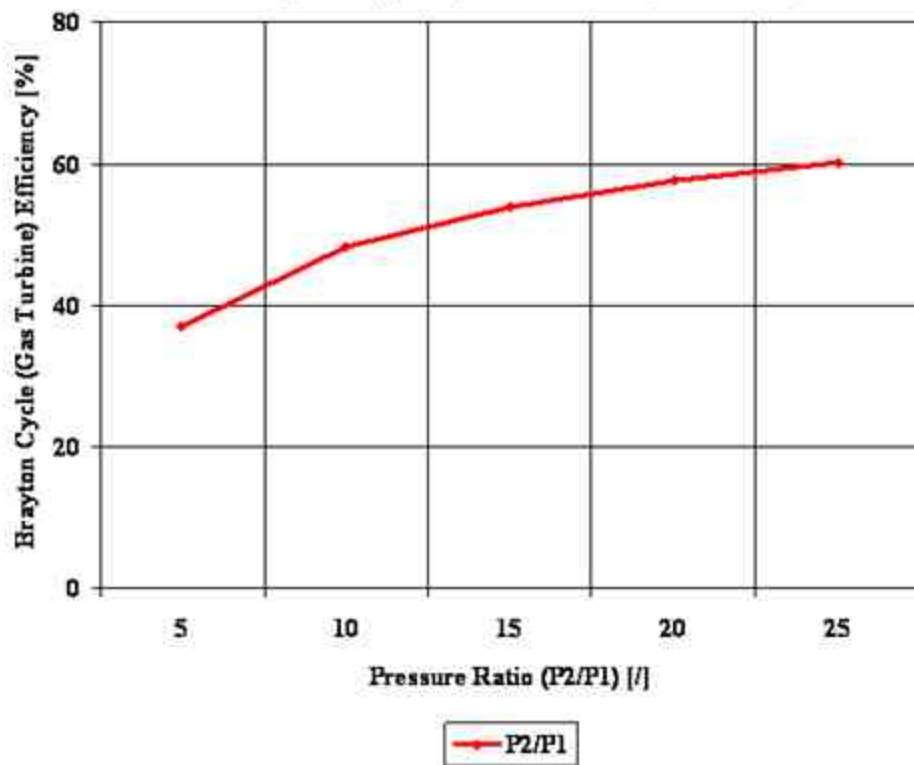
Idealizovaný Braytonův cyklus



Zdroj obrázku: Wikimedia commons, Autor: Tttrung

Účinnost Braytonova cyklu

Brayton Cycle (Gas Turbine) Efficiency



Working Fluid: Air

Compressor Inlet Temperature: 298 [K] -- Gas Turbine Inlet Temperature: 1,500 [K]

- Pro ideální stav se dá účinnost vyjádřit jako

$$\eta_{B,ideal} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

- Účinnost Braytonova cyklu závisí na poměru výstupního tlaku kompresoru a vstupního (atmosférického) tlaku

$$PR = \frac{p_2}{p_1}$$
$$\eta_B = 1 - \frac{1}{PR^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$$
$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \sim 1,4$$

Zdroj obrázku: Wikimedia commons, Autor: Engware

Výpočet podle: <http://web.mit.edu/16.unified/www/SPRING/propulsion/notes/node27.html>