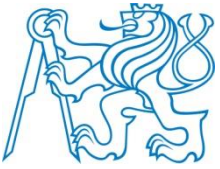




Zdroje tepla pro CZT

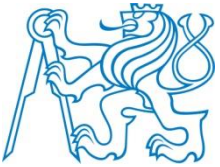
- kombinovaná výroba elektřiny a tepla
- výtopny, elektrárny a teplárny
- teplárenské ukazatele
- úspory energie teplárenským provozem





Zdroje tepla

- **výtopna**
 - pouze produkce tepla
 - kotle – teplovodní, horkovodní, parní
- **elektrárna**
 - pouze produkce elektřiny, teplo se maří v chladicích věžích
 - kotle, parní turbíny, spalovací plynové turbíny a motory
- **teplárna**
 - kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET)
 - teplotní modul σ



Teplárenský modul

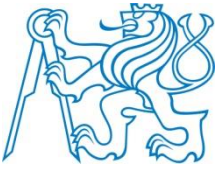
$$\sigma = \frac{E}{Q} \quad \frac{\text{vyrobená elektřina}}{\text{vyrobené teplo}}$$

označován různě, často např. **e**

pro výtopny $\sigma = 0$

pro elektrárny $\sigma = \infty$

pro teplárny $\sigma = 0,2 \text{ až } 1,5$ (záleží na druhu)



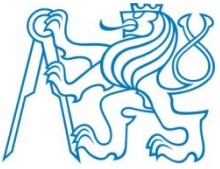
Energetická účinnost

- **výtopna**
 - pouze produkce tepla

$$\eta_V = \frac{Q}{P}$$

Q vyrobené teplo

P energie dodaná v palivu



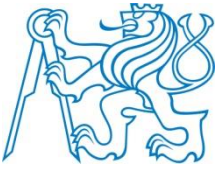
Energetická účinnost

- **elektrárna**
 - pouze produkce elektřiny

$$\eta_E = \frac{E}{P}$$

E vyrobená elektřina

P energie dodaná v palivu



Energetická účinnost

- **teplárna**

- kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET)

$$\eta_{KVET} = \frac{E + Q}{P} = \eta_e + \eta_t$$

E vyrobená elektřina

Q vyrobené teplo

P energie dodaná v palivu



Energetická účinnost

$$\eta_{KVET} = \frac{E + Q}{P}$$

- **sčítání dvou forem energie**

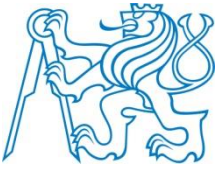
- neomezeně přeměnitelná E
- omezeně přeměnitelná Q

přepočítání mezi nimi stejně není
jednoduše možné

- **teplárenský princip**

- kombinovaná výroba Q a E
- nelze přeceňovat jednu formu energie před druhou

definici je nezbytné akceptovat, přestože má své nevýhody



Nevýhody definice

- účinnost závisí na využití tepla
 - „jak moc je kogenerační“, při maření tepelné energie účinnost klesá
 - méně záleží na technickém provedení teplárny

kondenzační elektrárna $\eta = 0,20$ až $0,40$

teplárna s plným využitím tepla $\eta = 0,85$



Nevýhody definice

- velmi malá rozlišovací schopnost
 - celkové účinnosti pro všechny teplárenské provozy s maximálním rozsahem kogenerace jsou podobné či dokonce nižší než u výtopny
 - ztráty **Z** dány především **komínovou ztrátou**

$$P = E + Q + Z$$

teplárna

$$\eta_{KVET} = \frac{E + Q}{P} = 1 - \frac{Z}{P}$$

výtopna $E = 0$

$$\eta_V = \frac{Q}{P} = 1 - \frac{Z}{P}$$



Komínová ztráta

- určena teplotou spalin
 - na výstupu z kotle
- určena množstvím spalin
 - závisí na přebytku spalovacího vzduchu

výtopna $Z = 10 \%$

parní teplárna $Z = 10 \%$

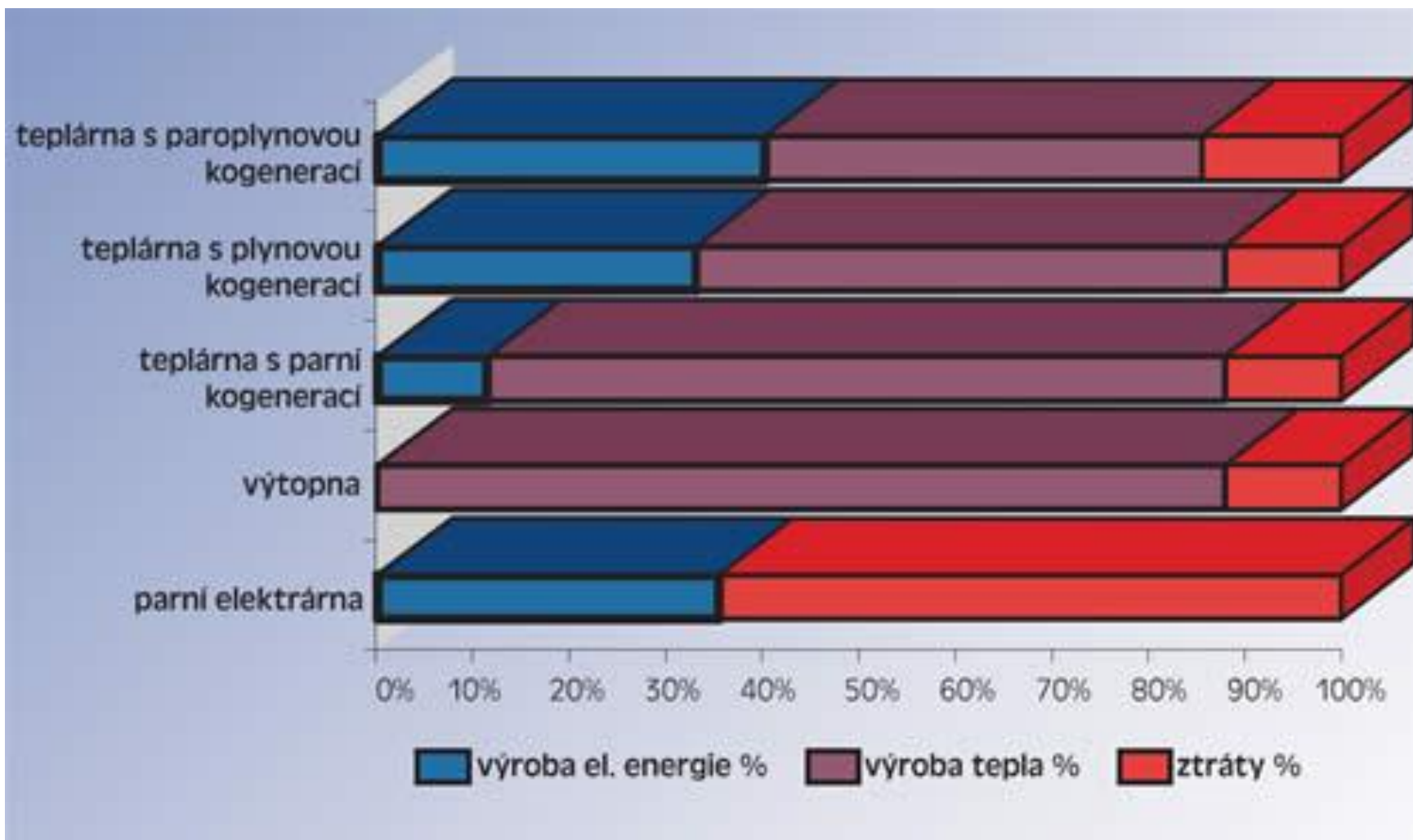
paroplynová teplárna

spalovací turbíny $Z = 15 \%$

vysoký přebytek spalovacího vzduchu



Bilance výroby a ztrát





Celková účinnost

■ teplárna

- nezávisí na poměru výroby elektrické energie
- nezávisí na technické úrovni transformace paliva na elektrickou energii
- nepřeměněná energie paliva na E je využita jako teplo Q

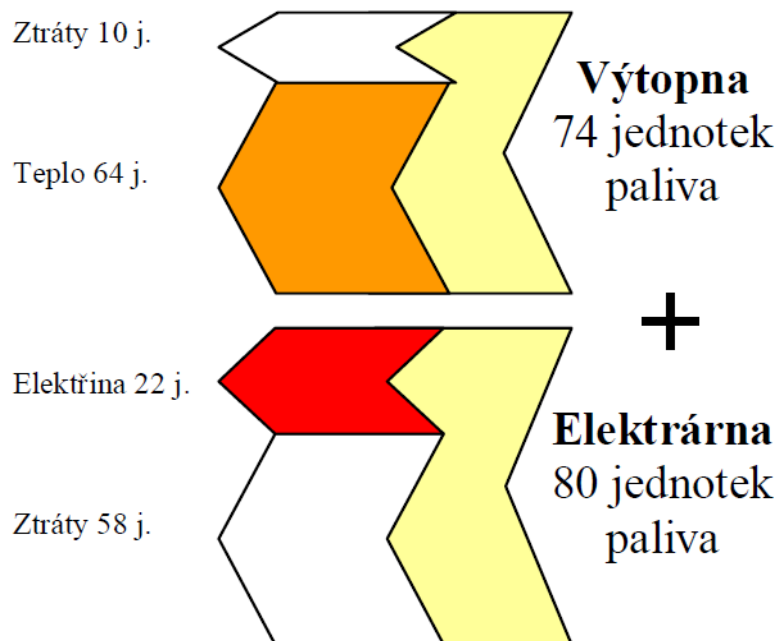
$$E + Q = konst = P - Z$$

- nezávisí na způsobech transformace paliva do teplonosné látky
parní oběh, plynový oběh, paroplynový oběh, paralelně, v sérii
- **teplárna je hodnotná nikoli účinností ale úsporou paliva proti oddělené výrobě**

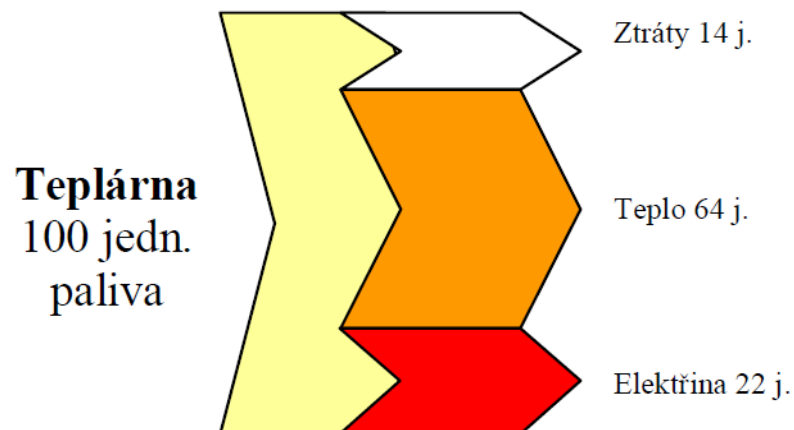


Výhoda KVET

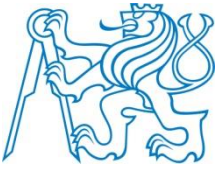
Oddělená výroba elektriny a tepla



Kombinovaná výroba elektriny a tepla



kombinovaná výroba elektriny a tepla vede k vyšší úspoře primárního paliva



Úspora paliva

- potřeba primární energie pro oddělenou výrobu elektrické energie a tepla
 - elektrárna

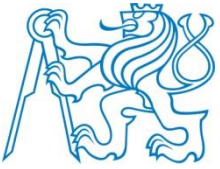
$$P_E = \frac{E}{\eta_E}$$

- výtopna

$$P_V = \frac{Q}{\eta_V}$$



$$P_{E+Q} = \frac{E}{\eta_E} + \frac{Q}{\eta_V}$$



Úspora paliva

- potřeba primární energie pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla

$$P_{KVET} = \frac{Q + E}{\eta_{KVET}}$$



Úspora paliva

$$\Delta P = P_{E+Q} - P_{KVET} = \frac{E}{\eta_E} + \frac{Q}{\eta_V} - \left(\frac{E}{\eta_{KVET}} + \frac{Q}{\eta_{KVET}} \right)$$

$$\Delta P = Q \cdot \left(\frac{1}{\eta_V} - \frac{1}{\eta_{KVET}} \right) + E \cdot \left(\frac{1}{\eta_E} - \frac{1}{\eta_{KVET}} \right)$$

$$\Delta P = Q \cdot \left[\left(\frac{1}{\eta_V} - \frac{1}{\eta_{KVET}} \right) + \sigma \cdot \left(\frac{1}{\eta_E} - \frac{1}{\eta_{KVET}} \right) \right]$$



Úspora paliva

- **úspora paliva je přímo úměrná teplotenskému modulu**
 - účinnost kogenerace běžně 0,85
 - účinnost elektrárny 0,35
 - účinnost výtopny 0,85

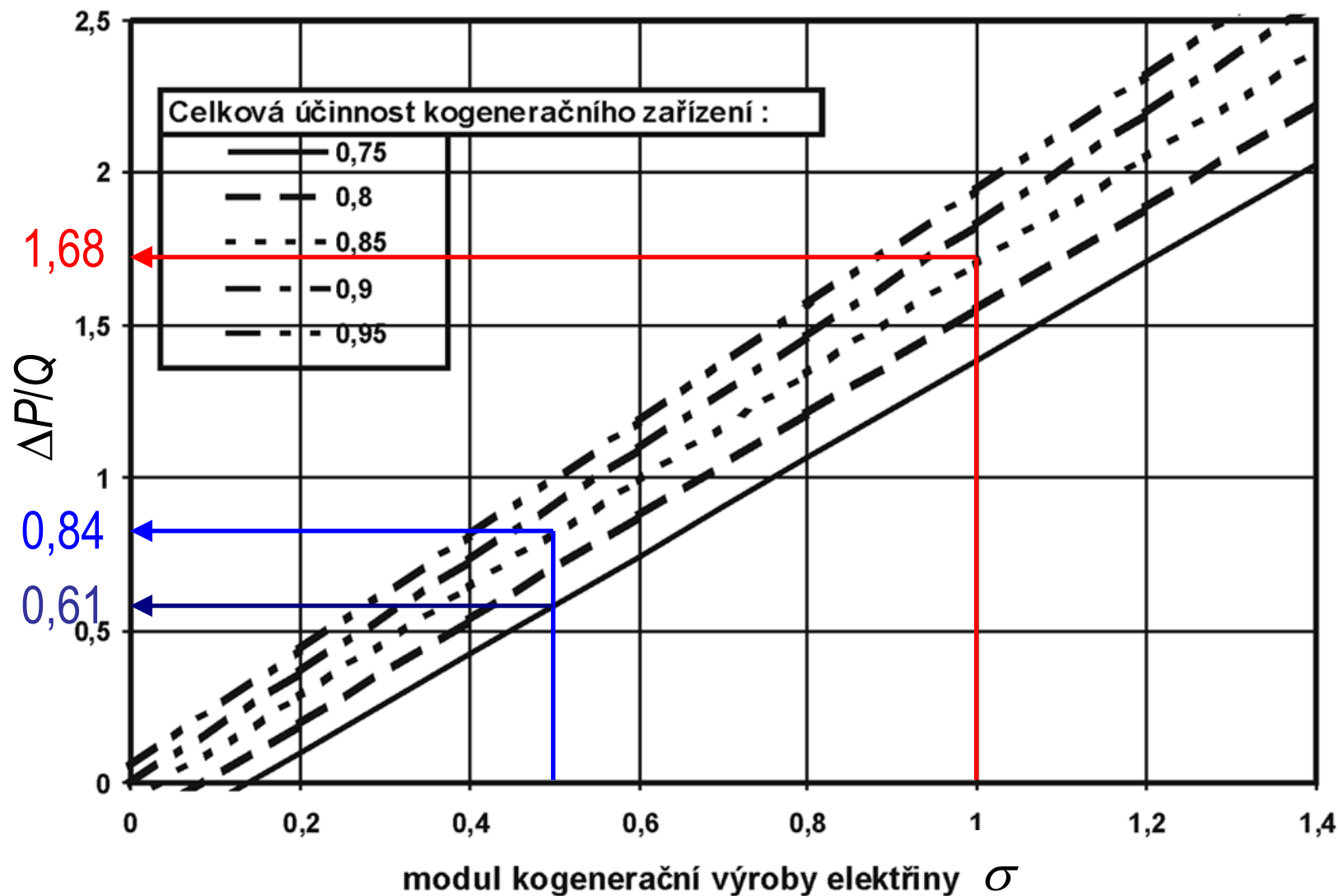
$$\Delta P = Q \cdot \left[\left(\frac{1}{0,85} - \frac{1}{0,85} \right) + \sigma \cdot \left(\frac{1}{0,35} - \frac{1}{0,85} \right) \right]$$

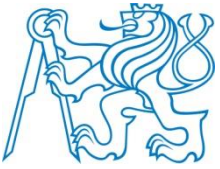
$$\Delta P = Q \cdot \sigma \cdot 1,68 = 1,68 \cdot E$$

úspora paliva je přímo úměrná elektřině vyrobené v KVET



Úspora paliva





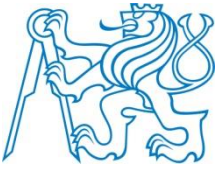
Poměrná úspora paliva

$$\Delta P = P_{E+Q} - P_{KVET} = \frac{E}{\eta_E} + \frac{Q}{\eta_V} - \left(\frac{E}{\eta_{KVET}} + \frac{Q}{\eta_{KVET}} \right)$$

vztažená k potřebě paliva při oddělené výrobě

$$\frac{\Delta P}{P_{E+Q}} = 1 - \frac{\eta_E \cdot \eta_V}{\eta_{KVET}} \cdot \frac{E + Q}{E \cdot \eta_V + Q \cdot \eta_E}$$

$$\frac{\Delta P}{P_{E+Q}} = 1 - \frac{\eta_E \cdot \eta_V}{\eta_{KVET}} \cdot \frac{\sigma + 1}{\sigma \cdot \eta_V + \eta_E}$$

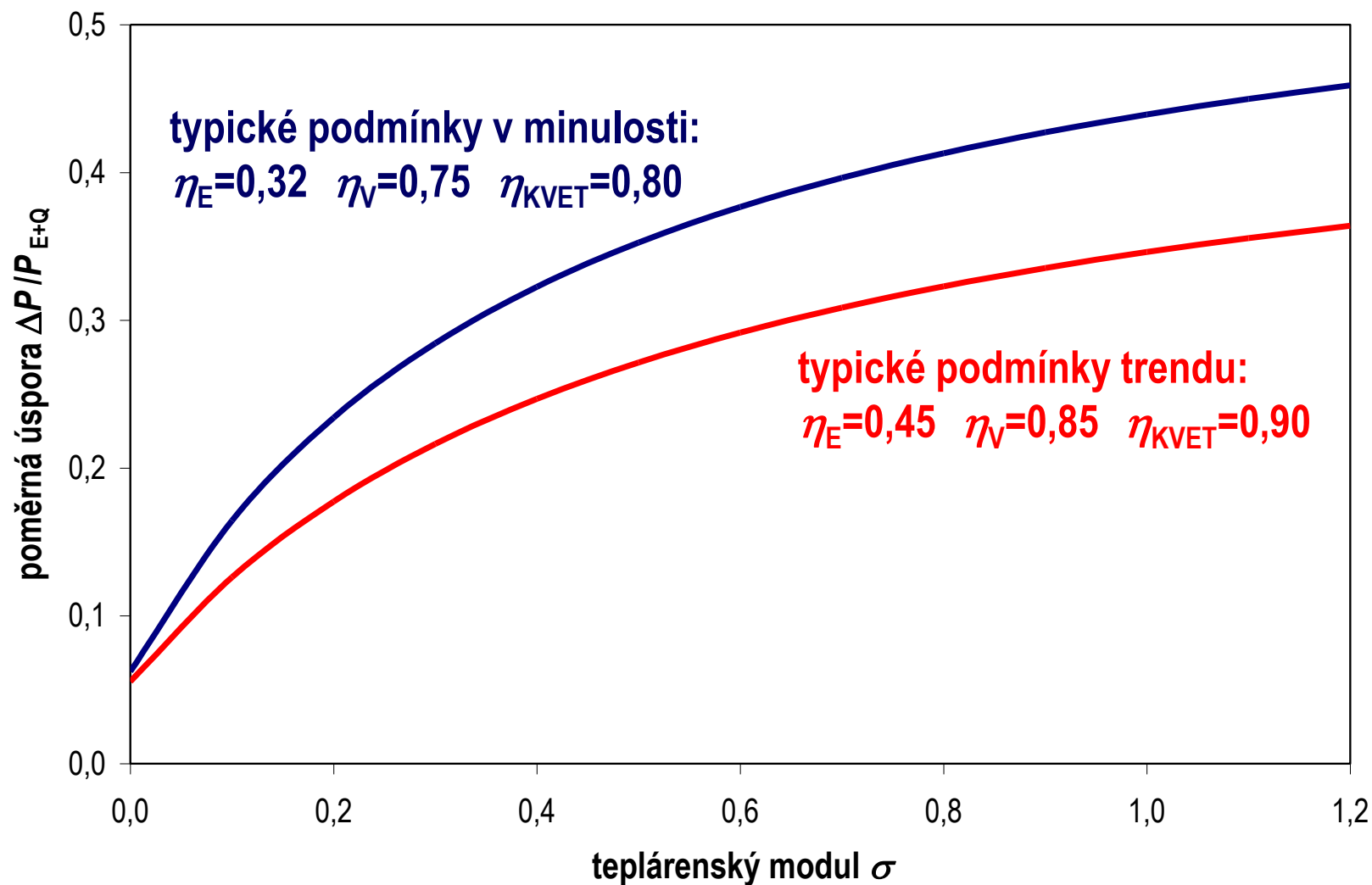


Poměrná úspora paliva

- závisí na
 - teplotenském modulu σ
 - konkurenčních podmínkách výroby elektřiny η_E a tepla η_V
 - účinnosti teplárny η_{KVET}



Poměrná úspora paliva





Proč využívat teplárny?

- **odtržení elektrárenství od vytopenství v minulosti**
 - industrializace: potřeba elektrické energie
 - velké elektrárny budované u zdrojů paliva mimo městské oblasti, produkce nevyužitelného odpadního tepla
 - vytopny co nejbližší odběratelům
- **teplárenství**
 - snížení potřeby paliva, efektivní zacházení s palivem
 - oddálení vyčerpání paliv
 - ekologické dopady
 - vyšší investiční náklady, **požadavek na vysoké roční využití**



Přínosy centrálních zdrojů tepla

■ **ekologie**

- umístění centrálních zdrojů mimo hustě osídlená centra
- kontrola kvality spalovaných paliv
- řízení spalovacího procesu
- čištění kouřových plynů
- monitoring emisí znečišťujících látek do ovzduší
- vypouštění kouřových plynů do vyšších vrstev atmosféry s větším rozptylem
- kontrolované nakládání se zbytky po spalování



Charakteristické ukazatele KVET

- výkon zdroje KVET
- teplotní modul
- účinnost výroby el. energie ve zdroji KVET
- účinnost výroby tepla ve zdroji KVET
- celková účinnost zdroje KVET
- celková roční doba provozu zdroje KVET
- doba využití maximálního výkonu zdroje KVET
- výkonový teplotní součinitel
- roční teplotní součinitel



Výkony teplárenských zdrojů

Druh zdroje kombinované výroby	Obvyklý rozsah el. výkonů
Protitlaké parní turbosoustrojí	3 až 60 MW _e
Odběrové parní turbosoustrojí	25 až 200 MW _e
Malé protitlaké (redukční) parní turbosoustrojí	0,2 až 2,5 MW _e
Samostatné plynové spalovací turbíny	0,2 až 250 MW _e
Paroplynové cykly	5 až 450 MW _e
Plynové motory	0,02 až 4,5 MW _e
Plynové mikroturbíny	0,01 až 0,25 MW _e
ORC moduly	0,2 až 5 MW _e
Palivové články	0,005 až 2 MW _e
Stirlingův motor	0,001 až 0,03 MW _e



Teplárenský modul

$$\sigma = \frac{E}{Q} \quad \frac{\text{vyrobená elektřina}}{\text{vyrobené teplo}}$$

e poměr dodávané elektřiny a tepla

y směrné číslo vyjadřující poměr výroby elektřiny v zařízení KVET

C poměr vyráběné elektřiny a tepla v procesu KVET

■ modul je dán:

- konstrukcí a druhem technologie
- způsobem provozu, vlivem zatížení (odběru)
- parametry odebíraného tepla (teploty, tlaky)

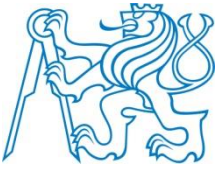


Teplárenský modul

Druh energetické centrály	$e = E / Q_d$
Výtopna - pro srovnání	0
Parní teplárna - s dodávkou tepla v horké vodě - s dodávkou tepla v páře	0,18 až 0,43 0,12 až 0,18
Plynová teplárna	0,3 až 0,7
Teplárna se spalovacími motory	0,6 až 1,1 (1,2)
Paroplynová teplárna s vysokým stupněm přitápění v kotli za plynovou turbínou	0,2 až 0,6
Paroplynová teplárna na uhlí (PFBCCP)	0,5 až 1,0
Paroplynová teplárna bez přitápění	0,6 až 1,5

Tab. 12.4-1 Závislost teplárenského modulu e_o (bez regenerace tepla) a poměrné úspory tepla Δq u parní teplárny v závislosti a vstupních stavech p_o / t_o a na protitlaku p_p pro $\eta_{idi} = 0,85$; $\eta_{KE} = 0,38$; $\eta_V = 0,9$; $\eta_{tep} = 0,85$

p_p [MPa]	p_o [MPa] / t_o [°C]	3,5/435	6,0/480	10,0/500
0,12	e_o	0,2870	0,3382	0,3846
	Δq	0,1887	0,2132	0,2327
0,5	e_o	0,1900	0,2410	0,2905
	Δq	0,1310	0,1635	0,1905
1	e_o	0,1324	0,1873	0,2397
	Δq	0,0872	0,1292	0,1627



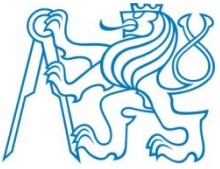
Účinnost zdrojů KVET

- účinnost výroby elektrické energie ve zdroji KVET

$$\eta_e = \frac{E}{P} \quad \frac{\text{vyrobená elektřina}}{\text{dodaná energie v palivu}}$$

- účinnost výroby tepla ve zdroji KVET

$$\eta_t = \frac{Q}{P} \quad \frac{\text{vyrobené teplo}}{\text{dodaná energie v palivu}}$$



Účinnost zdrojů KVET

- celková účinnost zdroje KVET

$$\eta_c = \frac{E + Q}{P} \quad \frac{\text{vyrobená elektřina a teplo}}{\text{dodaná energie v palivu}}$$

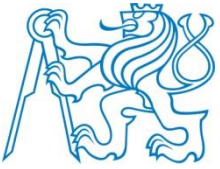
$$\eta_c = \eta_e + \eta_t$$



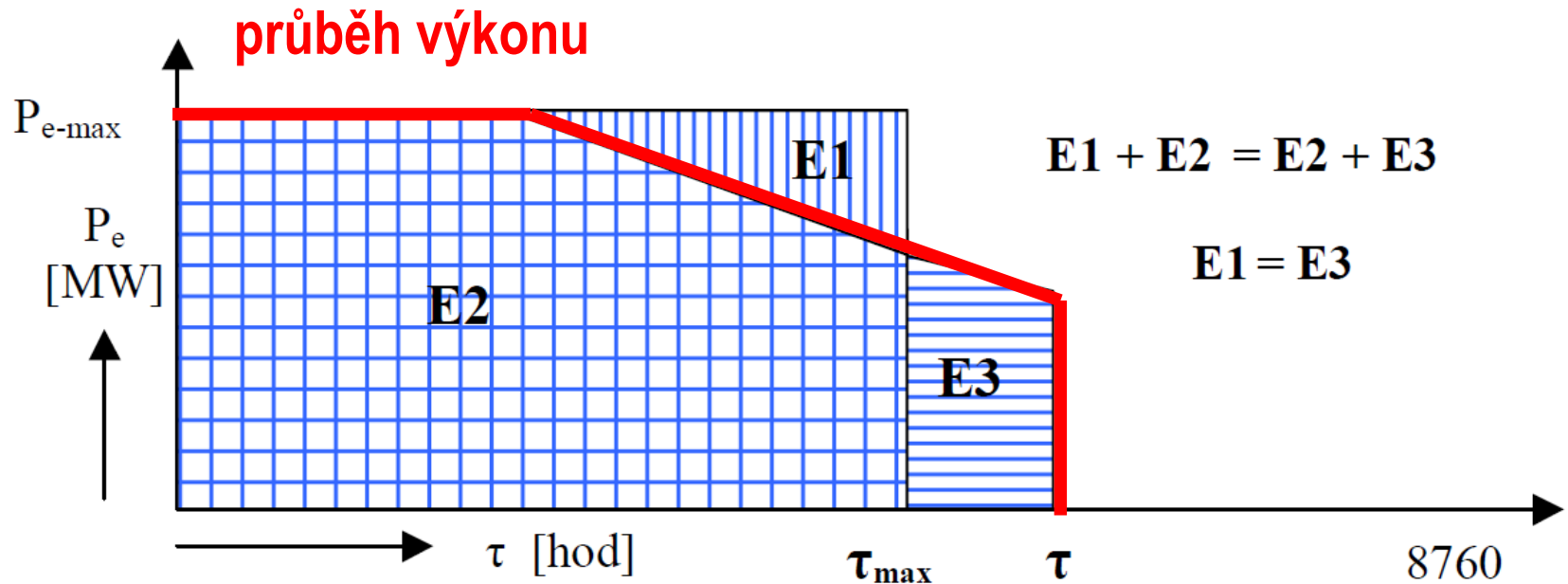
Provozní parametry

- **doba provozu zdroje τ**
 - celková doba provozu (součet provozních hodin) bez ohledu na zatížení (částečný výkon, plný výkon, nepřetržitý provoz, přerušovaný provoz), podléhá evidenci – servis

- **doba využití maximálního výkonu $\tau_{\max}$**
 - doba, za kterou by bylo při trvale maximálním výkonu vyrobeno/dodáno stejné množství energie jako při reálném provozu během roku



Doba provozu a využití maxima





Teplárenské součinitele

- výkonový teplárenský součinitel

$$\alpha = \frac{\dot{Q}_{KVET}}{\dot{Q}_{CZT}} \quad \frac{\text{maximální tepelný výkon zdroje KVET}}{\text{maximální tepelný příkon soustavy CZT}}$$

- roční teplárenský součinitel

$$\alpha_r = \frac{Q_{KVET}}{Q_{CZT}} \quad \frac{\text{roční dodávka tepla ze zdroje KVET}}{\text{roční potřeba tepla soustavy CZT}}$$



Teplárenské součinitele

- **dodávka tepla ze špičkového zdroje tepla**

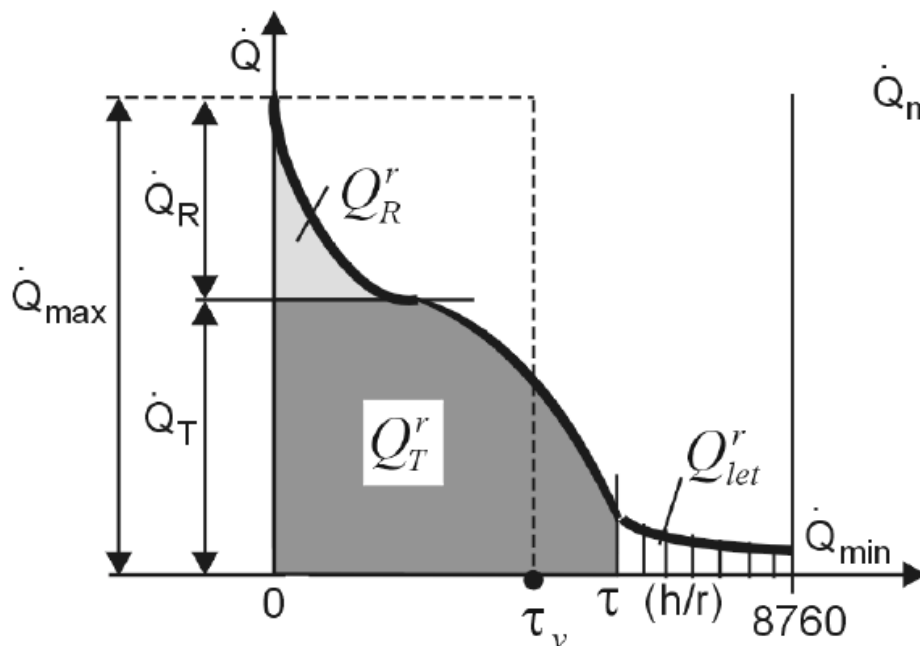
$$Q_p = (1 - \alpha_r) \cdot Q_{CZT}$$

- **optimální hodnota teplárenských součinitelů závisí na:**
 - účinnostní charakteristice zdroje KVET = závislosti účinnosti KVET na zatížení
 - tvaru charakteristiky trvání výkonů
 - četnosti změn výkonu, popř. i počtu odstavování zdroje KVET
 - investičních nákladech na zdroje KVET a dalších

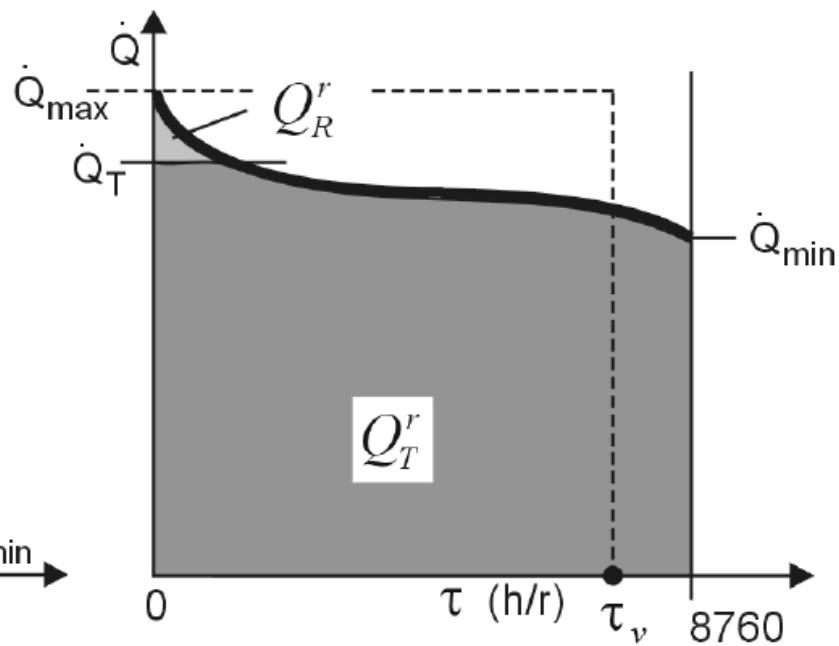


Teplářenské součinitele

komunální sektor



průmysl

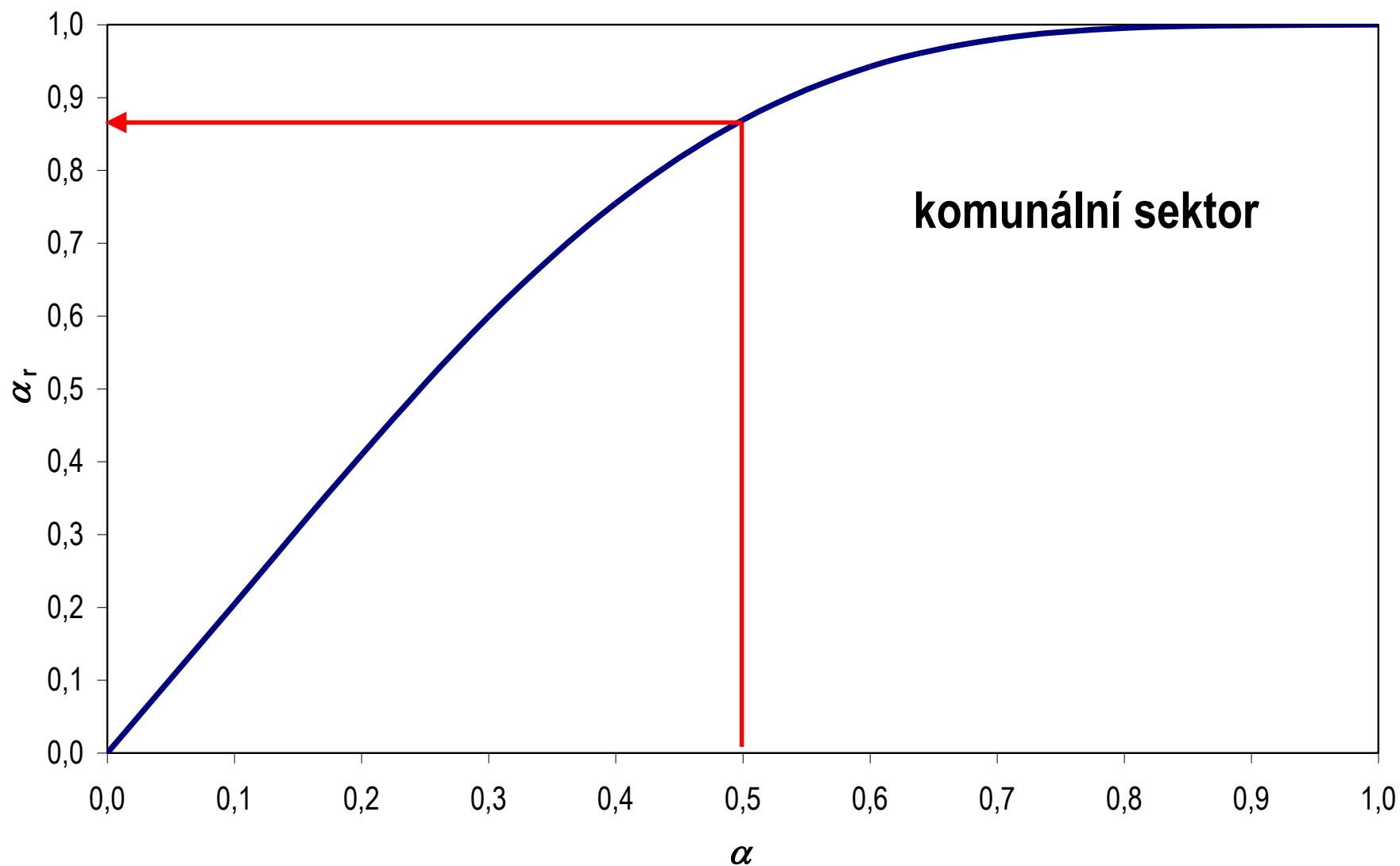


$$\alpha = \frac{\dot{Q}_T}{\dot{Q}_{\max}}$$

$$\alpha_r = \frac{Q_T^r}{Q_T^r + Q_R^r + Q_{let}^r}$$



Teplárenské součinitele





Teplárenské součinitele

- **volba teplárenského výkonového součinitele**
 - dimenzování výkonu teplárenského zdroje
 - návrh by měl respektovat:
 - maximální využití zdroje
 - účinnost zdroje při sníženém zatížení (odběru)
 - návrh na maximální zatížení = nejčastější provoz zařízení v době sníženého odběru při výrazně nižší účinnosti výroby elektřiny =
celková nižší výroba elektrické energie



Teplářenské součinitele

- orientační hodnoty teplářenských součinitelů na době využití maxima zatížení **(nikoli instalovaného výkonu !)**

τ_v [h/r]	2000	3000	4000	5000	6000	7000
α [1]	0,4 - 0,53	0,55 - 0,67	0,7 - 0,78	0,85 - 0,88	0,92 - 0,95	1,00
α_t [1]	0,74 - 0,88	0,89 - 0,97	0,94 - 0,99	0,96 - 0,99	0,98 - 0,99	1,00

$$\tau_v = \frac{Q_{CZT}}{\dot{Q}_{CZT}}$$

roční potřeba tepla soustavy CZT

maximální tepelný příkon soustavy CZT



Podmínky uplatnění zdrojů KVET

- **dostatečný odběr tepla je určujícím faktorem**
 - elektrizační soustava je globální „dokáže“ absorbovat celoročně „jakýkoli“ výkon instalované KVET – toky el. energie na velké vzdálenosti
 - soustava CZT je lokální síť – absorbuje pouze omezený tepelný výkon
 - velice odlišné zimní a letní období
 - průmysl může mít výrazně odlišné podmínky – jiný charakter dodávky



Podmínky uplatnění zdrojů KVET

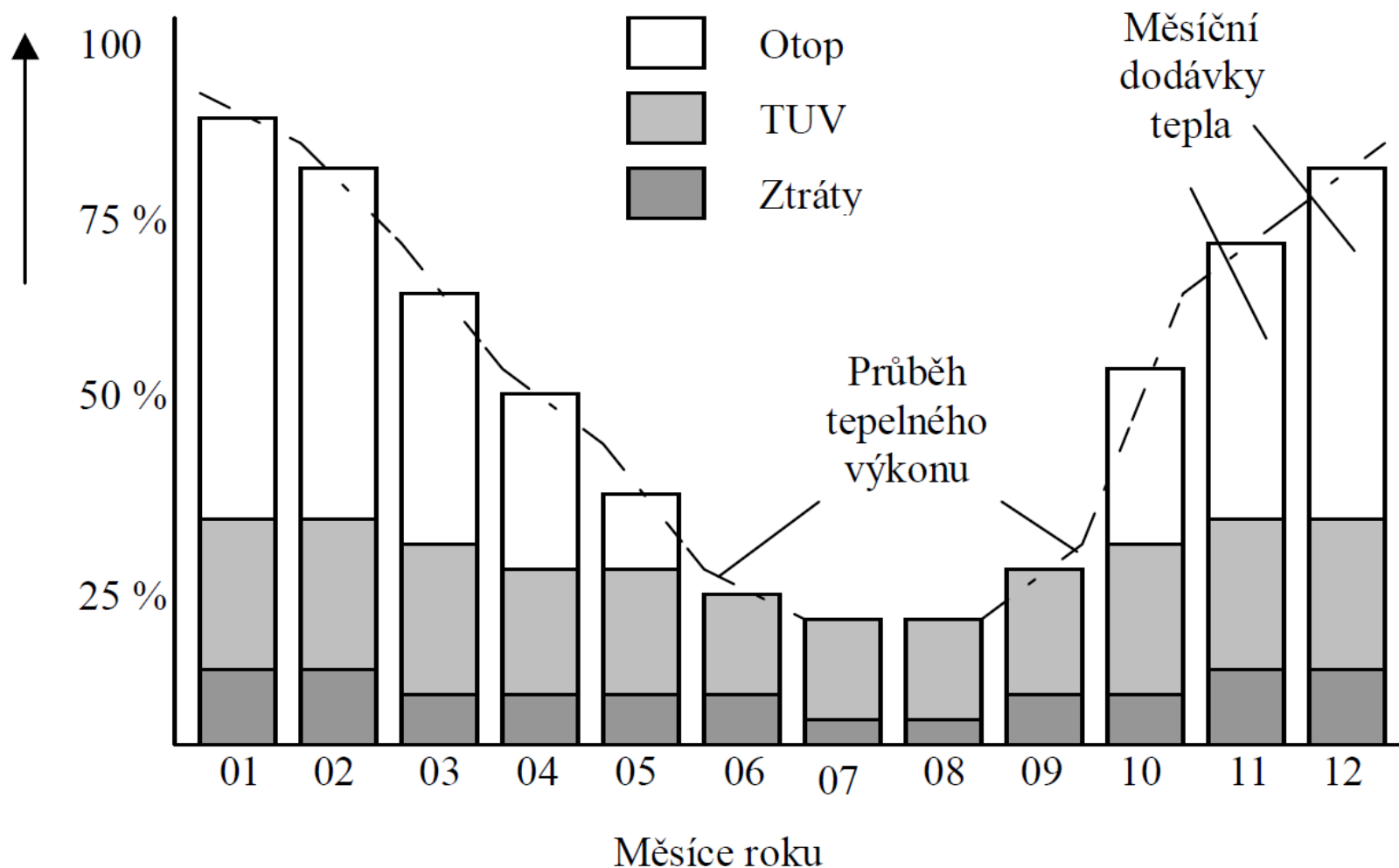
- **dostupnost paliv**
 - podle dispozice a „motivací“ v místě
 - uhlí, plyn, biomasa, kapalná paliva
 - zohlednit dopravní souvislosti, zvláště u městských tepláren

- **požadované parametry dodávky tepla**
 - teplovodní, horkovodní, parní síť
 - odběr páry pro technologii



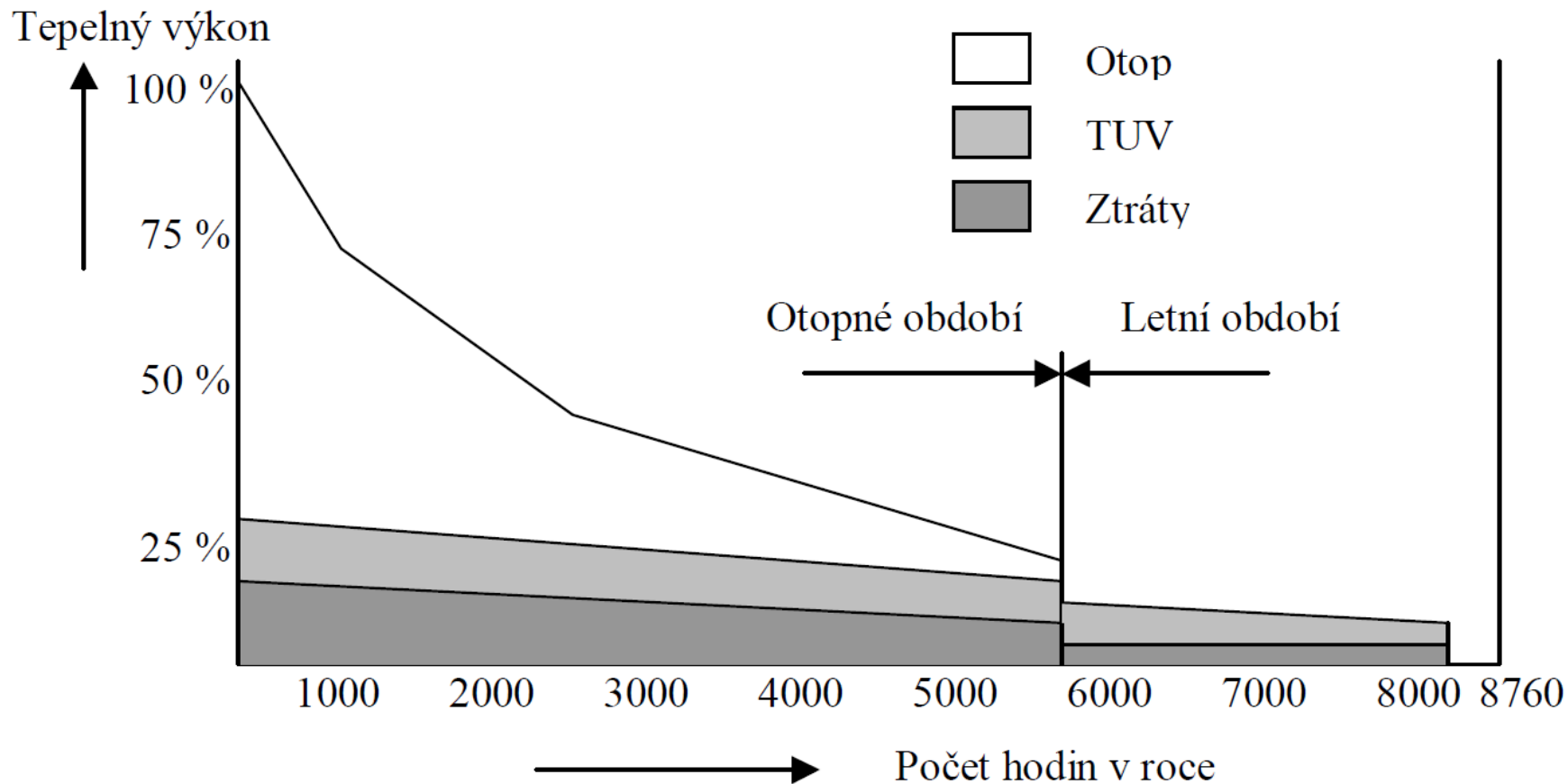
Potřeba výkonu – měsíční diagramy

Tepelný výkon
(dodávka tepla)



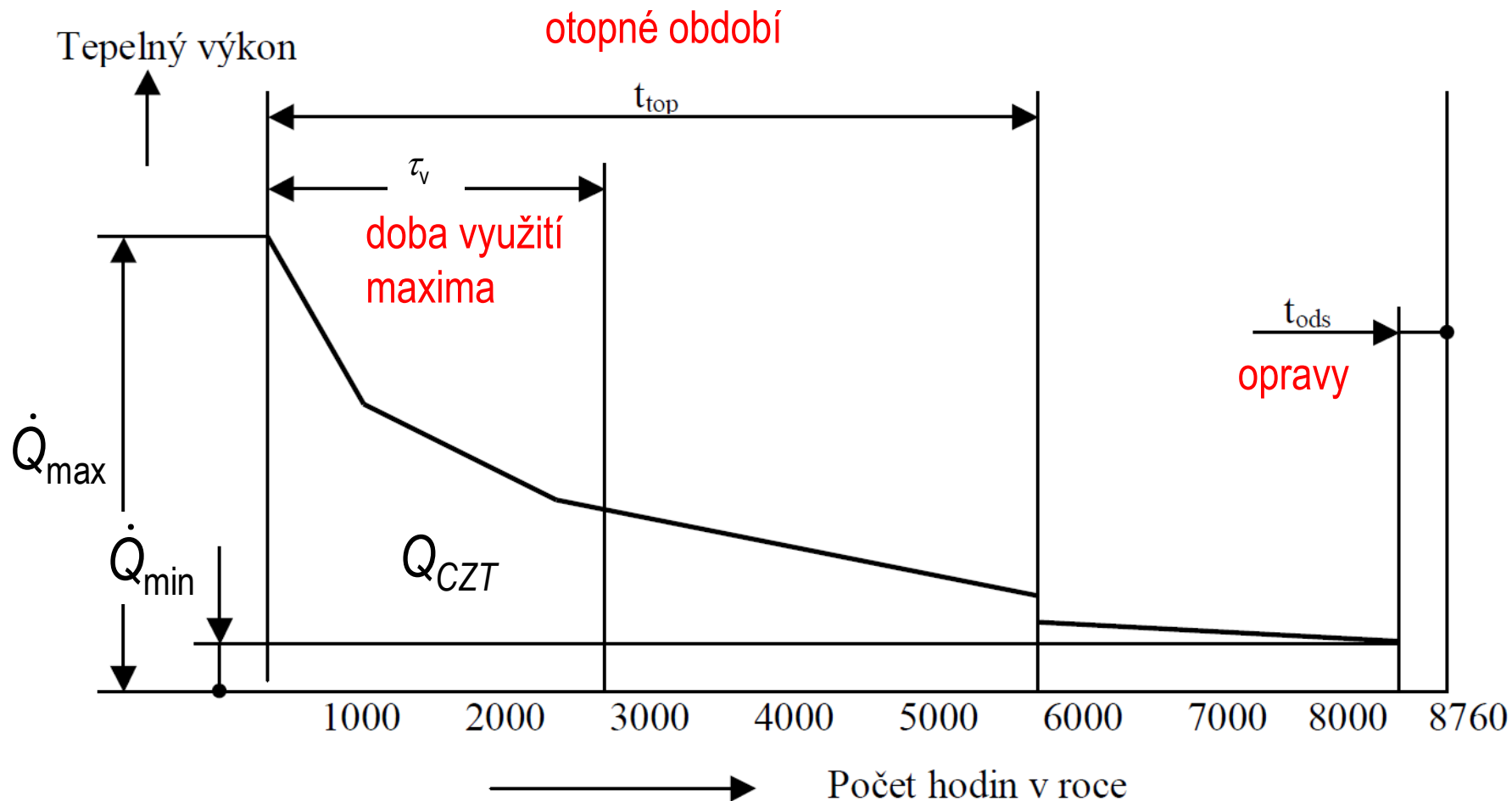


Potřeba výkonu – diagram doby trvání





Ukazatele teplotní soustavy



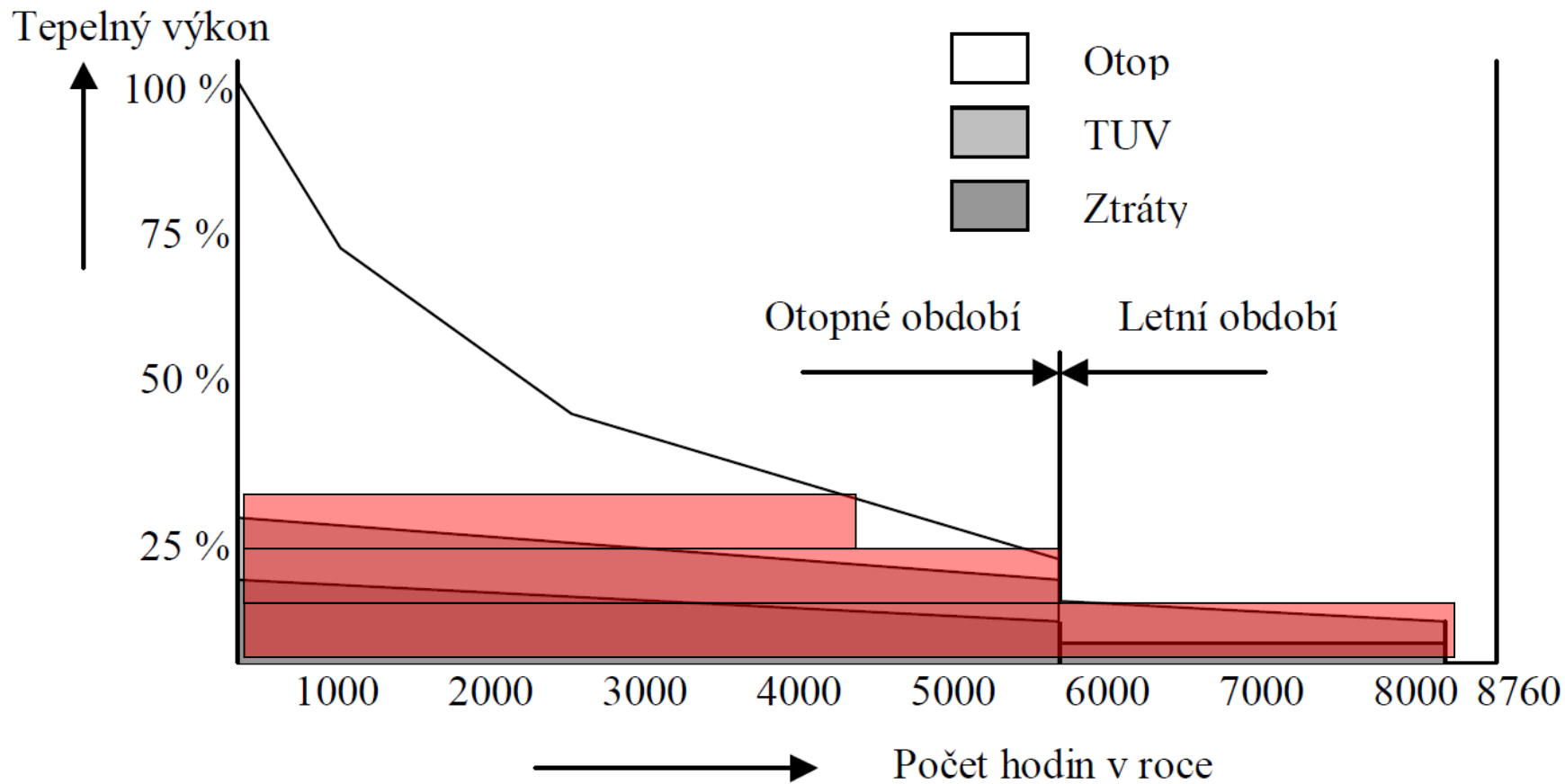


Ukazatele teplárenské soustavy

		Větší průmyslová parní SCZT	Rozsáhlá městská parní SCZT	Rozsáhlá městská hor- kovodní SCZT	Menší okrs- ková horko- vodní SCZT	Menší síd- lištní teplo- vodní SCZT
Q_{CZT}	celkem	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	otop	17 %	36 %	66 %	68 %	69 %
	TUV	5 %	12 %	22 %	24 %	25 %
	technol.	60 %	30 %	-	-	-
	ztráty	18 %	22 %	12 %	8 %	6 %
$\dot{Q}_{max}$	celkem	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	otop	36 %	59 %	84 %	84 %	83 %
	TUV	7 %	10 %	11 %	13 %	15 %
	technol.	45 %	20 %	-	-	-
	ztráty	12 %	11 %	5 %	3 %	2 %
τ_v	průměr.	4 500 hod.	3 200 hod.	2 500 hod.	2 300 hod.	2 100 hod.
t_{top}	max.	270 dnů	265 dnů	260 dnů	265 dnů	270 dnů
	průměr.	255 dnů	255 dnů	250 dnů	250 dnů	250 dnů
	min.	225 dnů	230 dnů	230 dnů	225 dnů	220 dnů
t_{ods}	průměr.	16 dnů	9 dnů	9 dnů	5 dnů	5 dnů

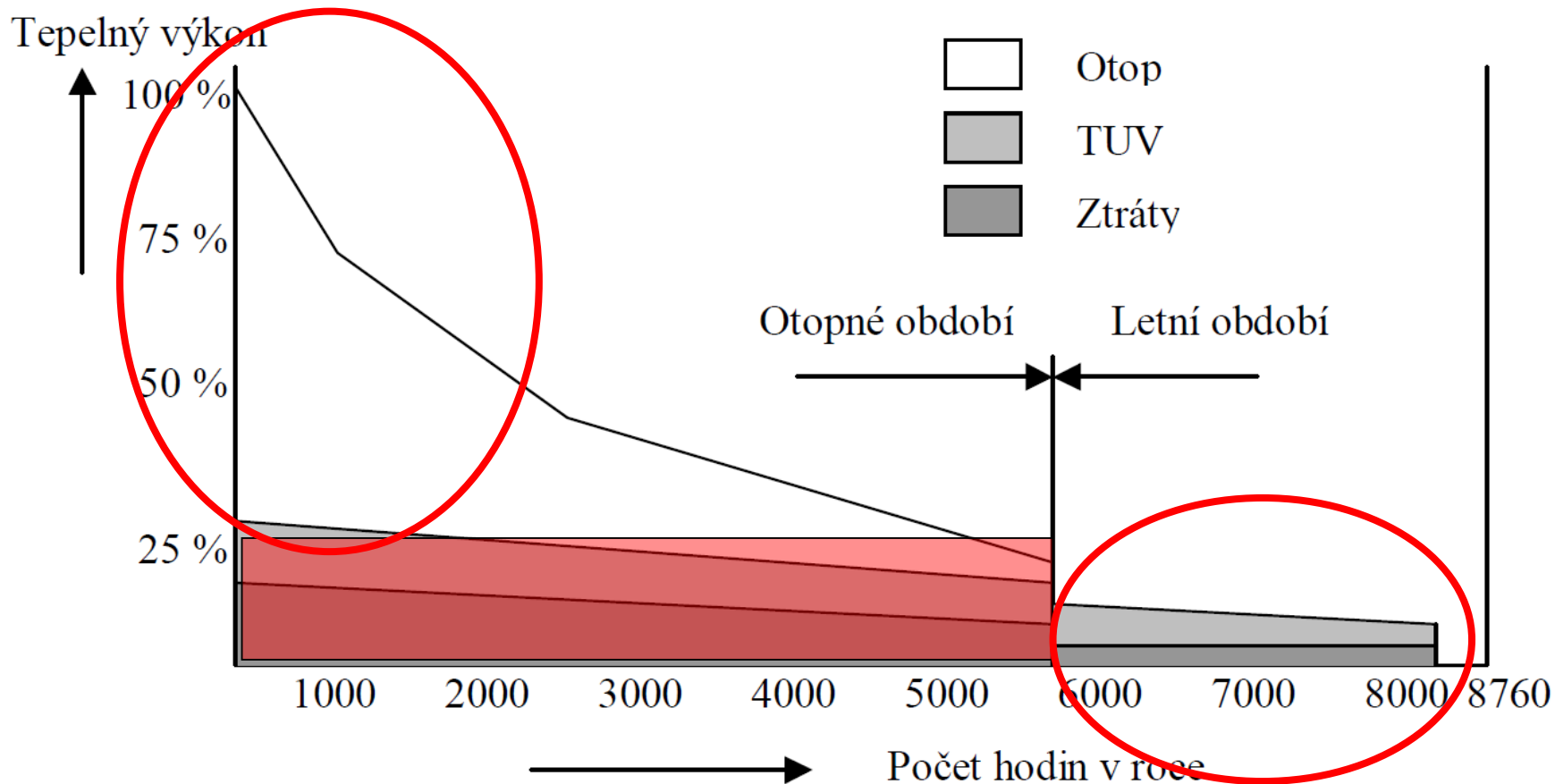


Návrh výkonu





Návrh výkonu



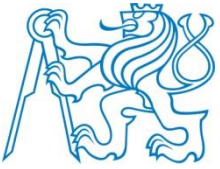
využití špičkových zdrojů, akumulace tepla, ...



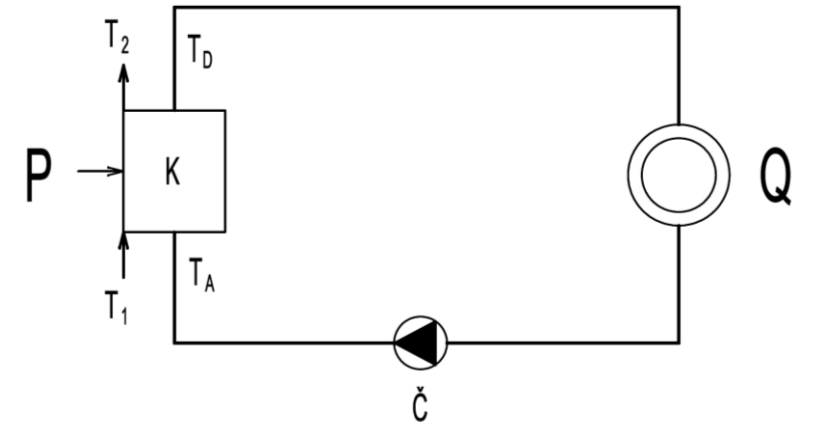
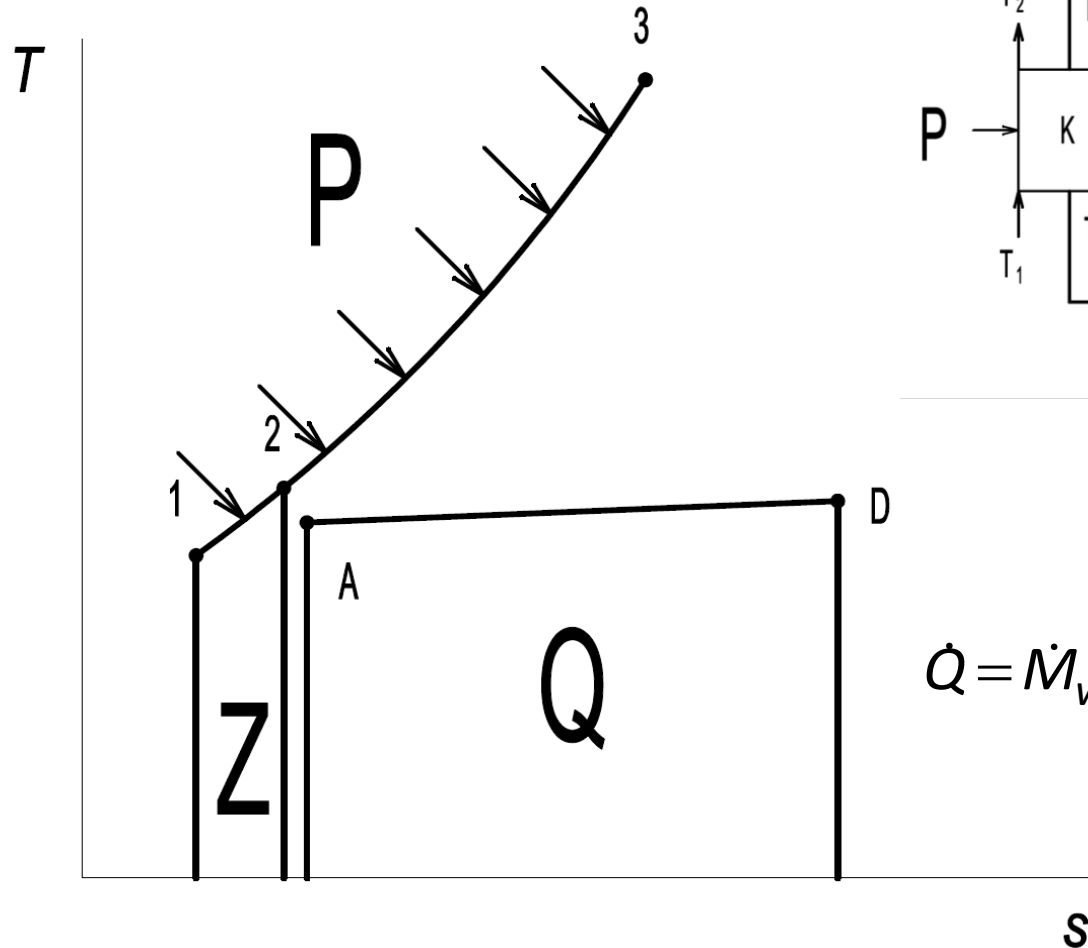
Zdroje tepla pro CZT

- výtopny
- teplárny





Teplovodní / horkovodní výtopna



$$\dot{Q} = \dot{M}_w (h_D - h_A) = \dot{M}_w c (T_D - T_A)$$



Teplovodní / horkovodní výtopna

- **teplovodní kotle**

- do 110 °C

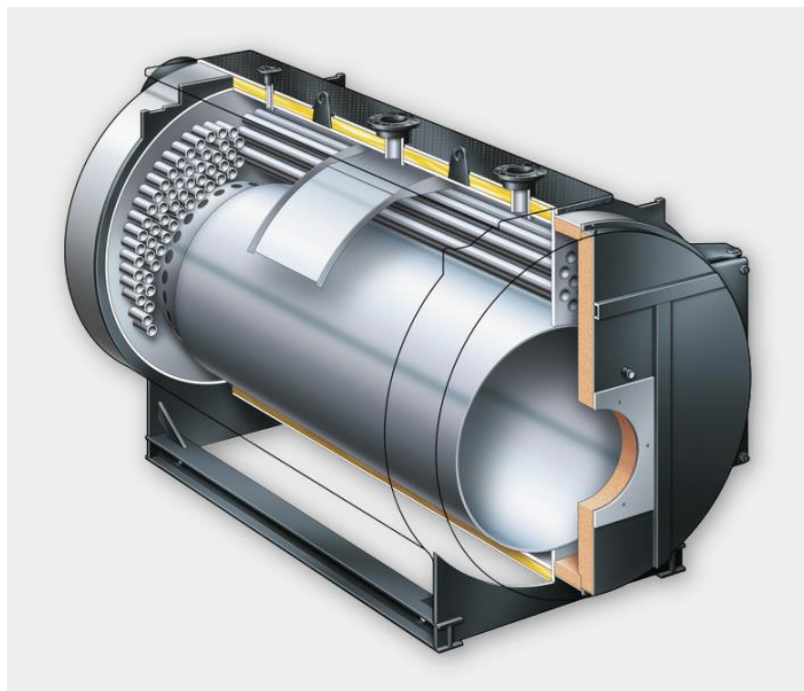
- **horkovodní kotle**

- nad 110 °C (do 150 °C)

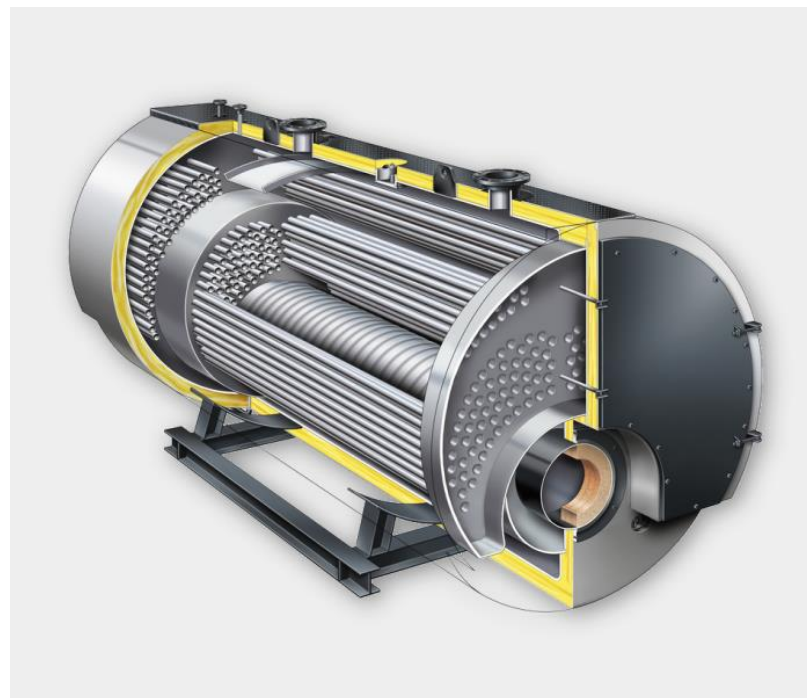
- především plynové kotle, tuhá paliva - biomasa
- plamencové žárotrubné – spaliny v trubkách, vodní objem okolo
- napájecí voda – voda z tepelné sítě, tepelná úprava $t > 70$ °C kvůli kondenzaci (kotlová smyčka)



Teplovodní / horkovodní výtopna



teplovodní plamencový kotel

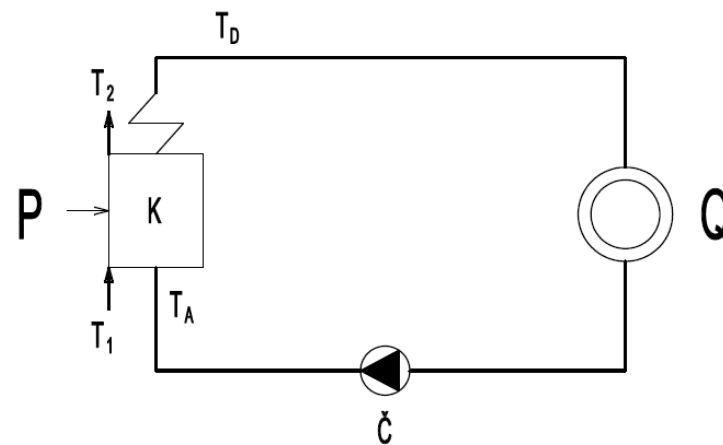
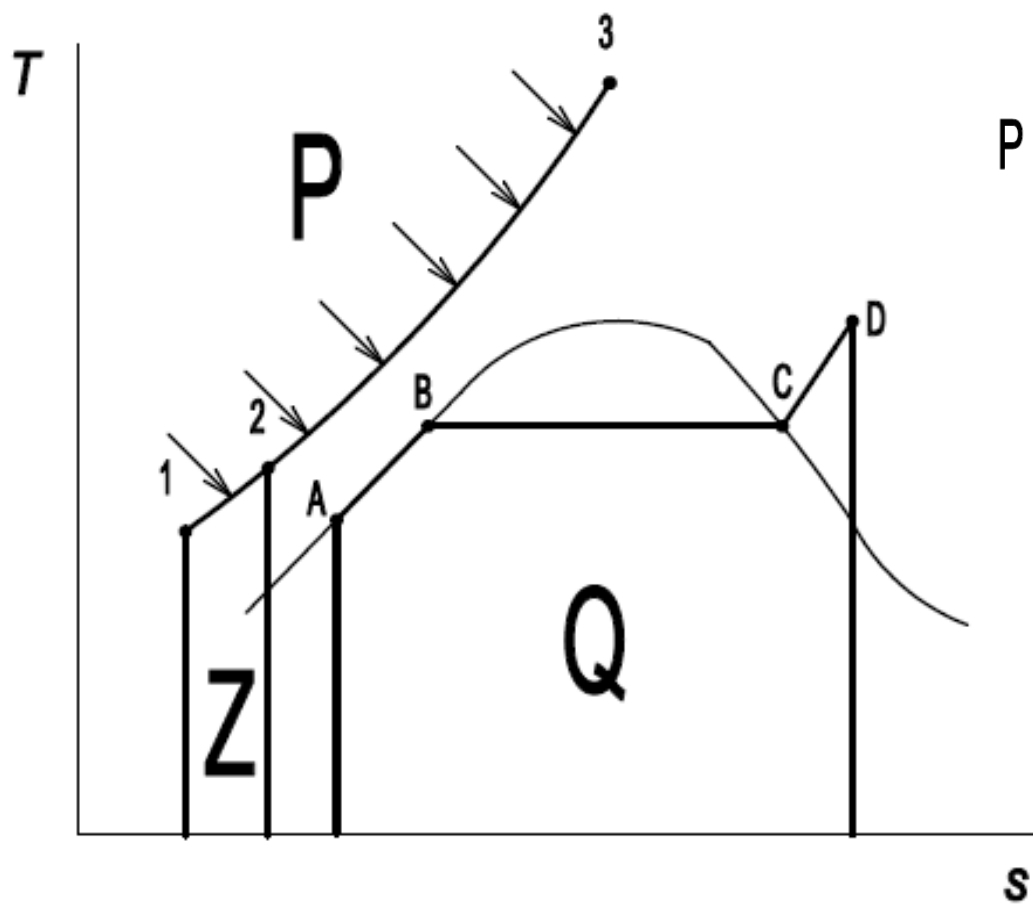


horkovodní plamencový kotel
třítahový

plyn, LTO



Parní výtopna



$$\dot{Q} = \dot{M}_p (h_D - h_A)$$



Parní výtopna

- **parní kotle**

- **vodotrubný kotel** – voda v trubkách obtékaných spaliny
malý objem vody v trubkách
vysoké tlaky do 30 MPa, vysoké výkony
- **plamencový - žárotrubný kotel** – spaliny proudí z ohniště v trubkách
ve vodním prostoru
velký objem

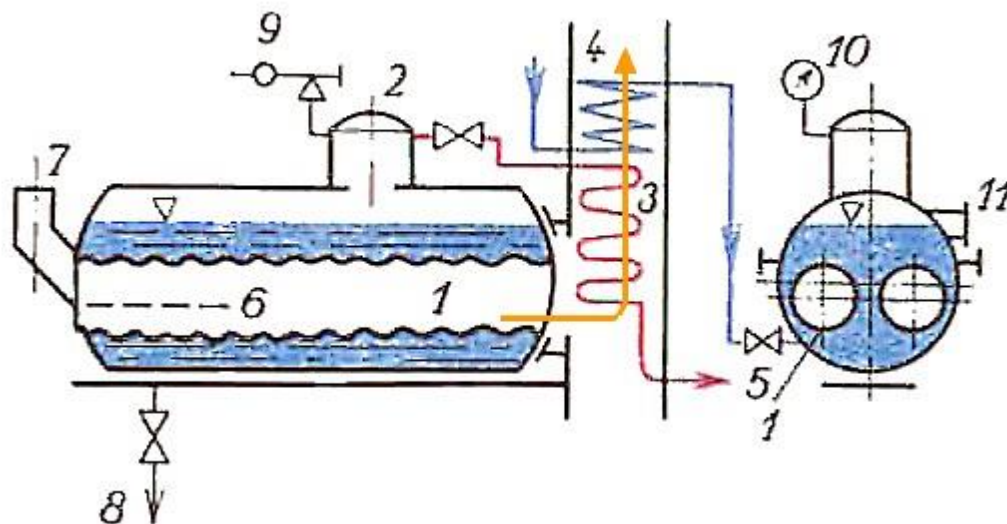
plamenec – zvlněná roura, ohniště / rošt / hořák
středotlaká / nízkotlaká pára, do 2,5 MPa

- ohřívák vody (ekonomizér), výparník, přehřívák páry
- pevná, plynná (zemní plyn), kapalná paliva (mazut, pyrolýzní olej)

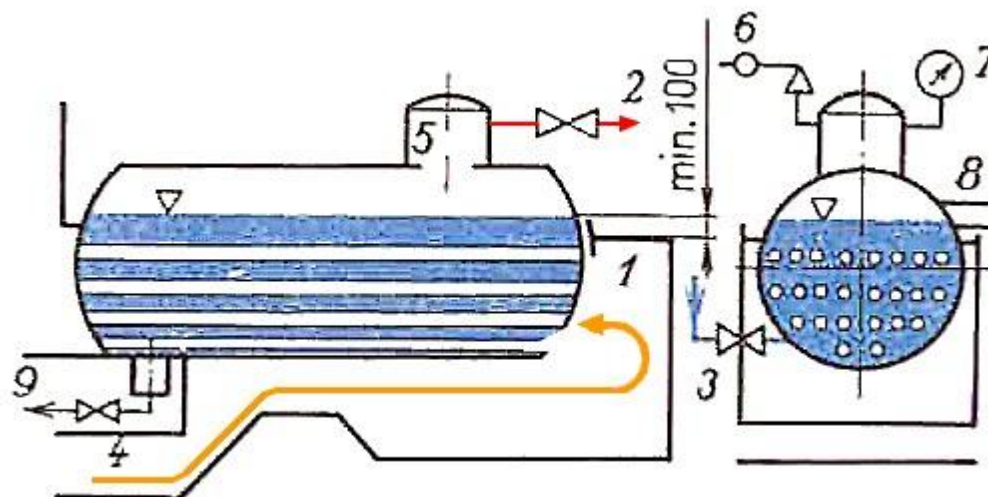


Parní výtopna

plamencový

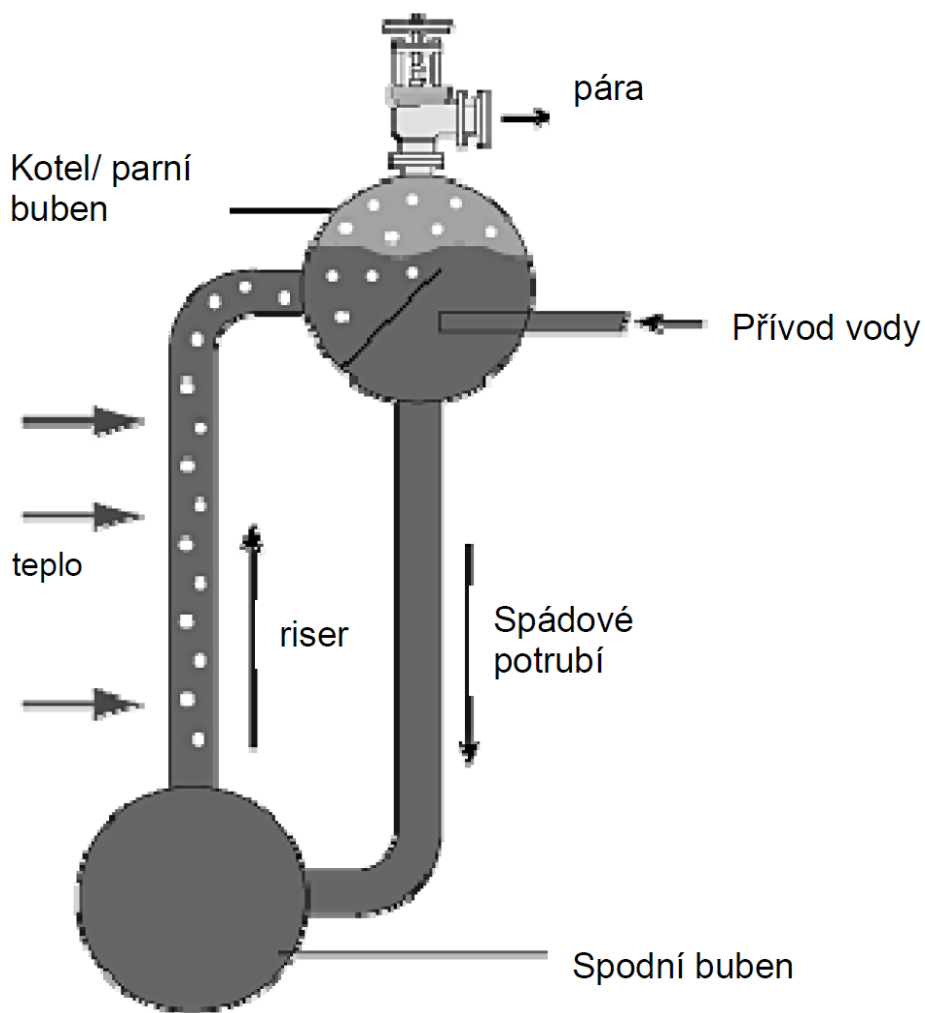


žárotrubný





Parní výtopna



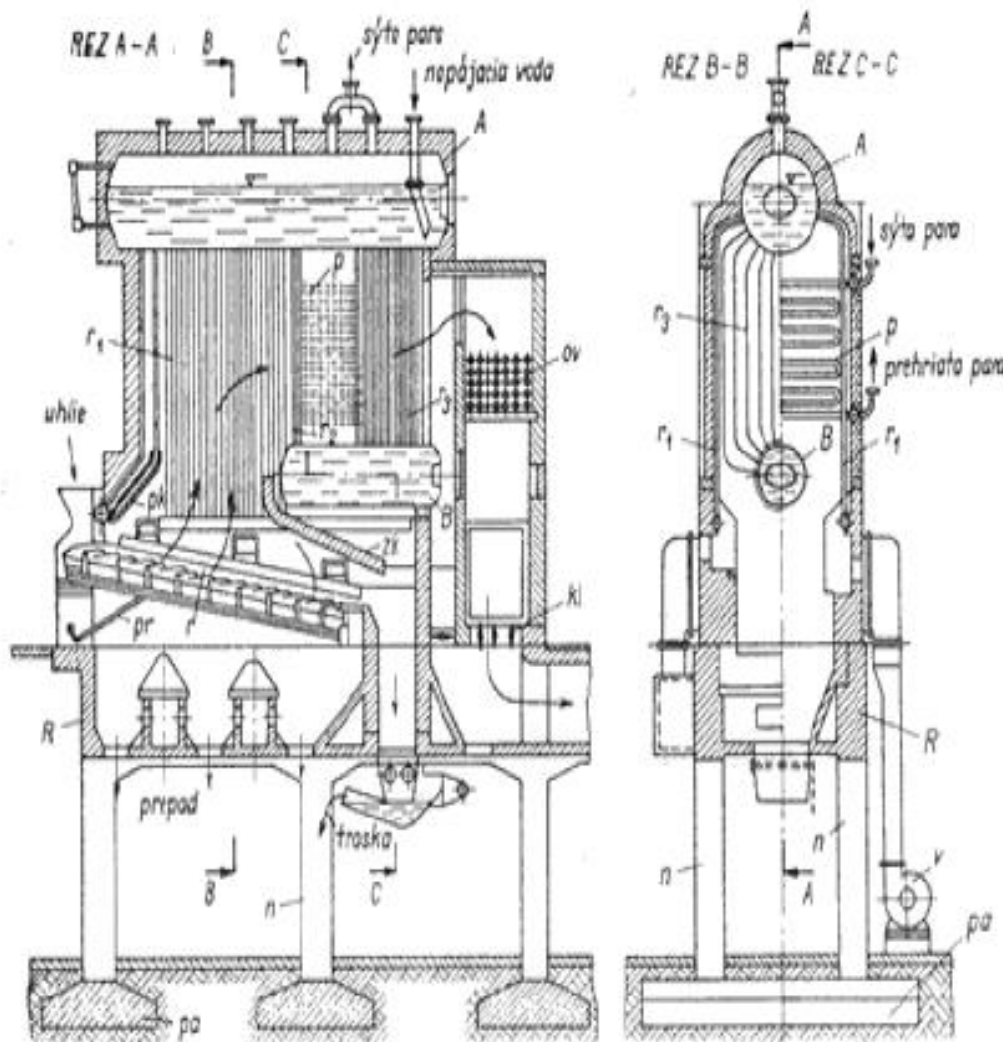
vodotrubný dvojbubnový

přirozený oběh

povzbuzený oběh



Parní výtopna



vodotrubný dvojhubnový

A - horní buben

r1 až r3 - svazky kotlových trubek

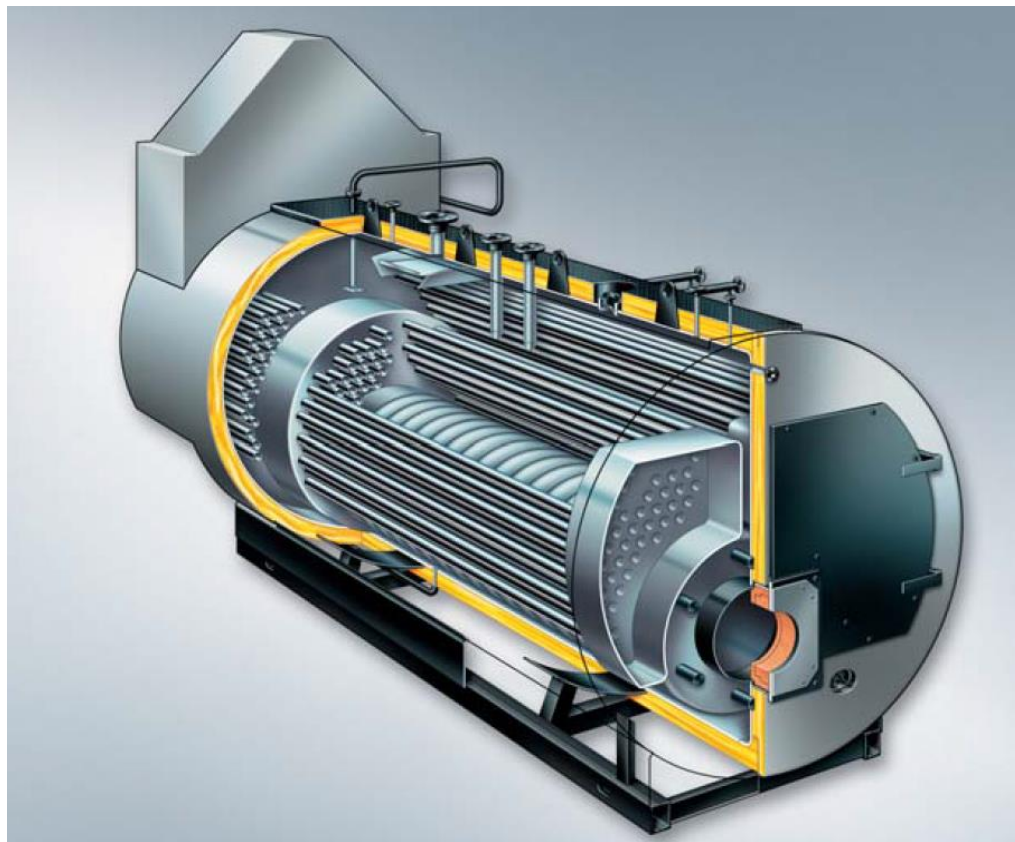
B - dolní buben

OV – ohřívák vody

P – přehřívák páry



Parní výtopna



třítahový plamencový kotel

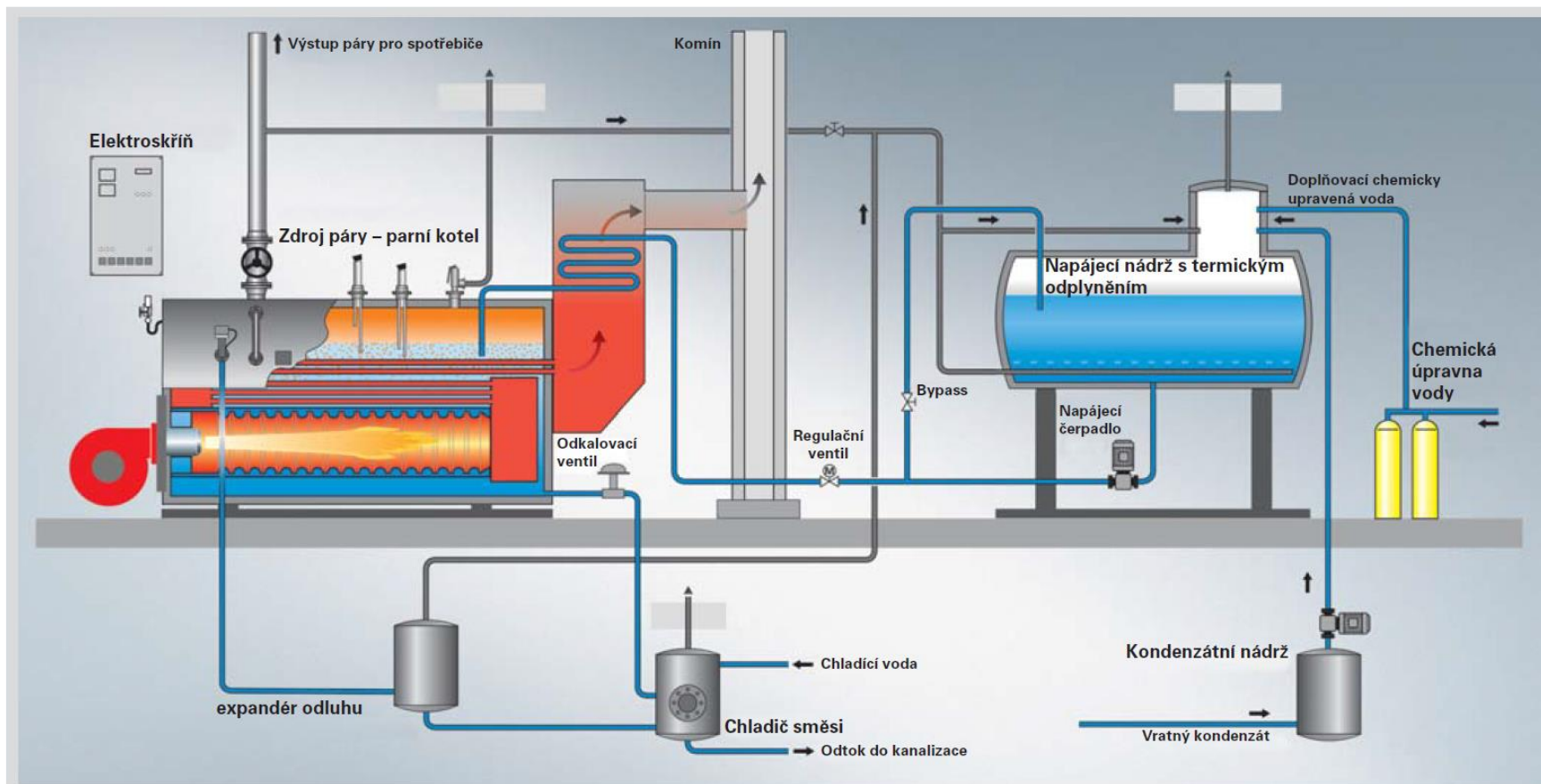
velký vodní prostor

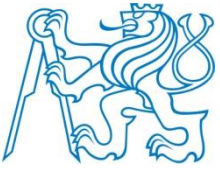
velké výkony

ekonomizér pro předeheřev
napájecí vody

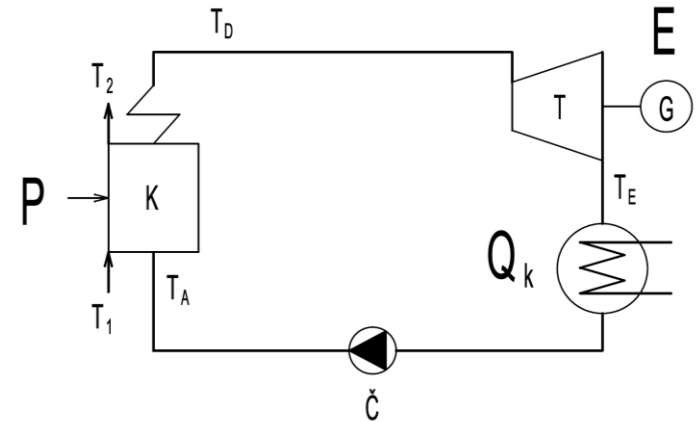
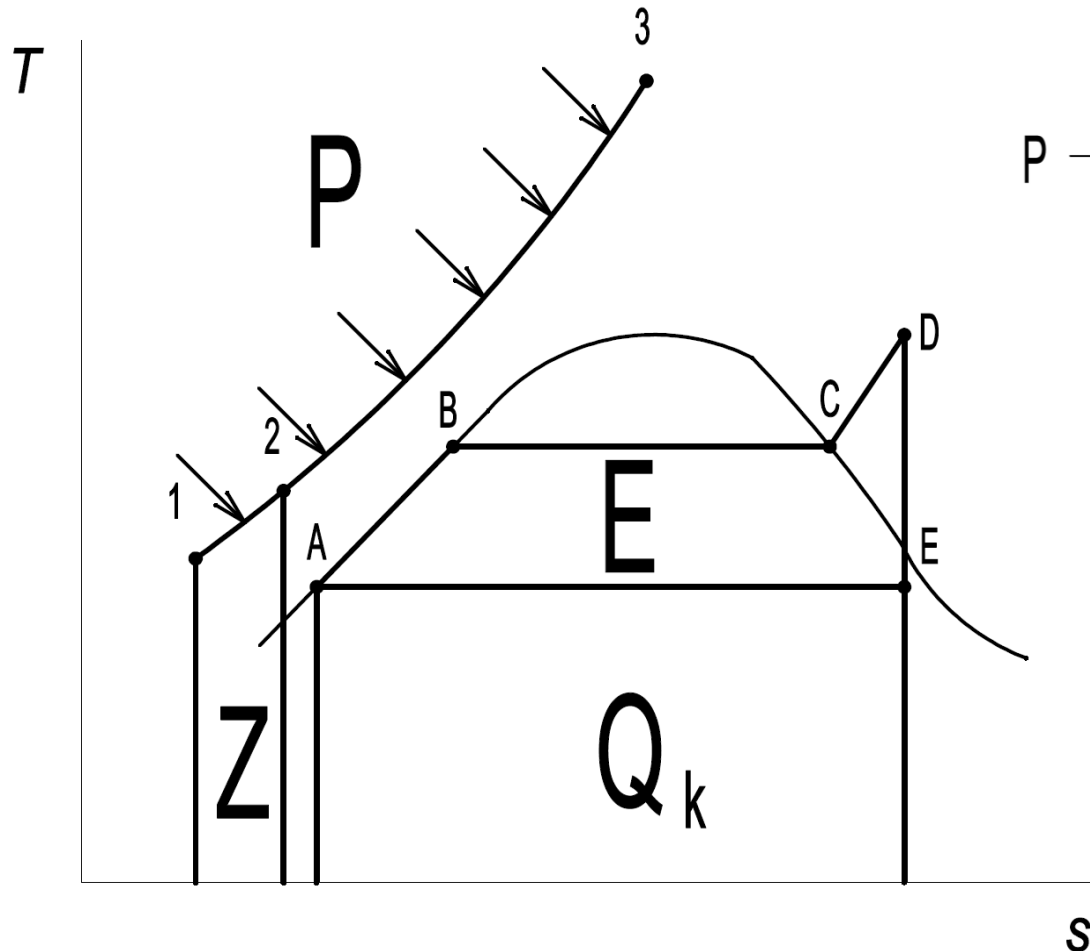


Parní výtopna





Parní elektrárna



přehřátí páry na 450 °C

kondenzace na teplotu
okolí 30 °C

tlak 5 kPa (vakuum)

$$\dot{Q} = \dot{M}_p (h_D - h_A)$$

$$E = \dot{M}_p (h_D - h_E)$$

$$\dot{Q}_k = \dot{M}_p (h_E - h_A)$$



Parní elektrárna

■ Carnotův ideální oběh

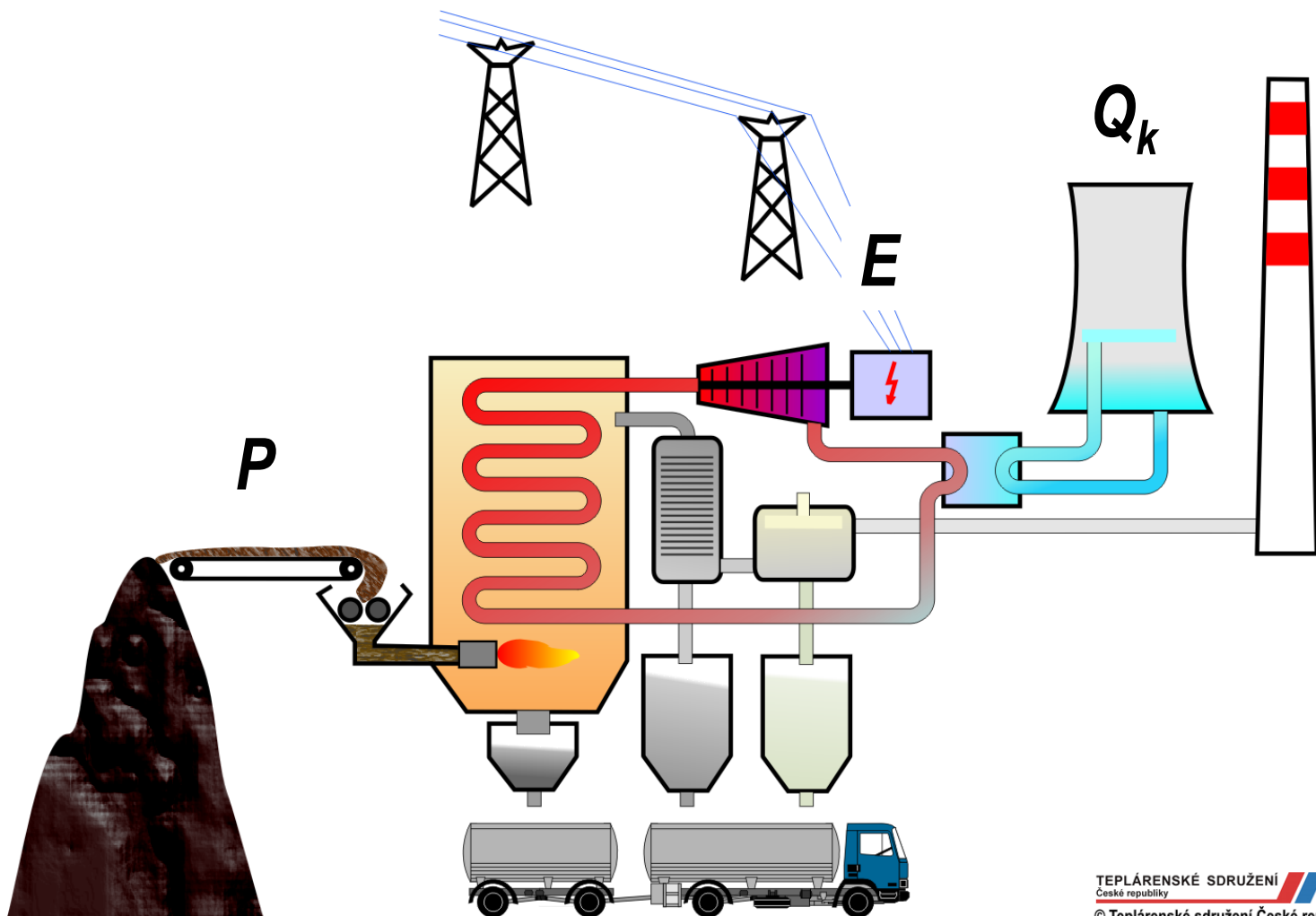
- $T_k = T_E = 300 \text{ K}$
 - $T_v = T_D = 773 \text{ K}$
- } $\eta_C = 61 \%$

$$\eta_C = 1 - \frac{T_k}{T_v} = 1 - \frac{T_E}{T_D}$$

- nízká účinnost ideálního Carnotova cyklu
 - účinnost kotle
 - termodynamická účinnost turbíny
 - mechanická účinnost
 - účinnost elektrického generátoru
- reálná účinnost elektráren 30 až 40 % (výjimečně 45 %)

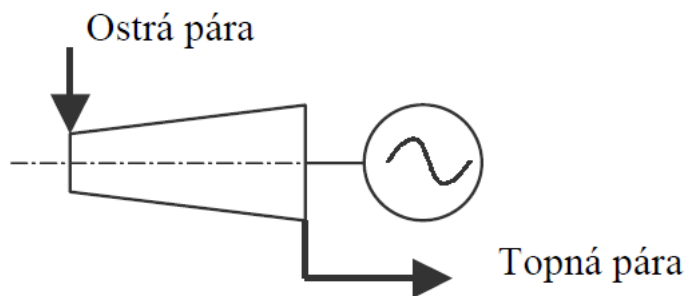


Parní elektrárna

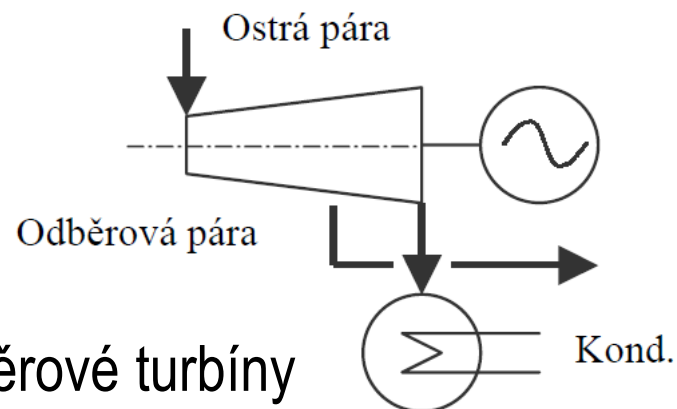




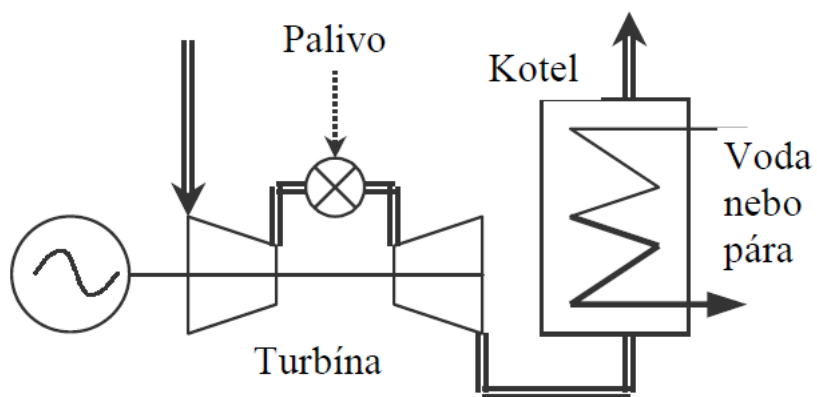
Teplárenské zdroje



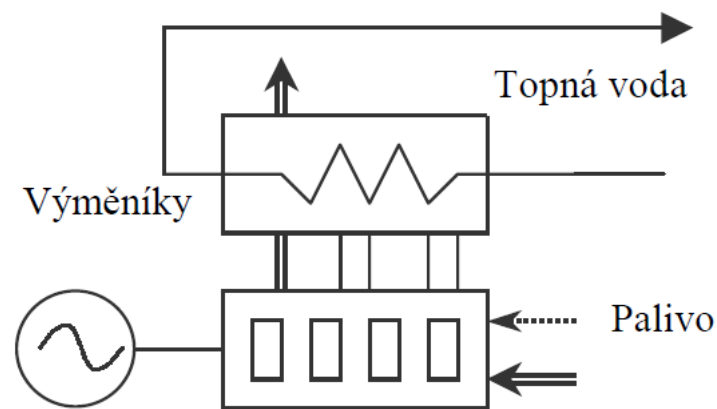
parní protitlaké turbíny



parní odběrové turbíny



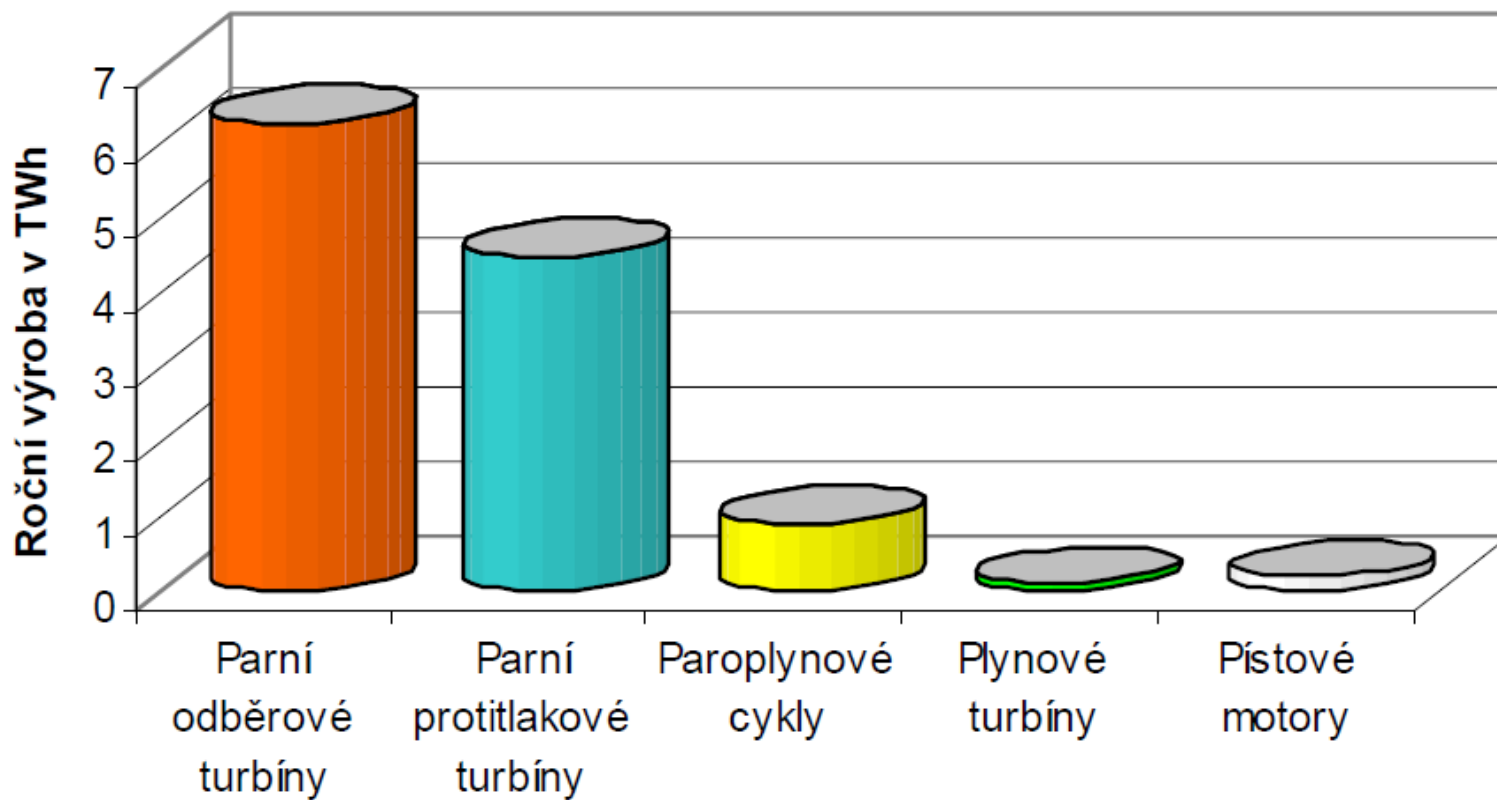
plynové turbíny



plynové motory



Výroba elektřiny ve zdrojích KVET





Výroba tepla ve zdrojích KVET

