

Účinnost transformace primární energie paliva

František HRDLIČKA
ČVUT Praha

8. dubna 2010



Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



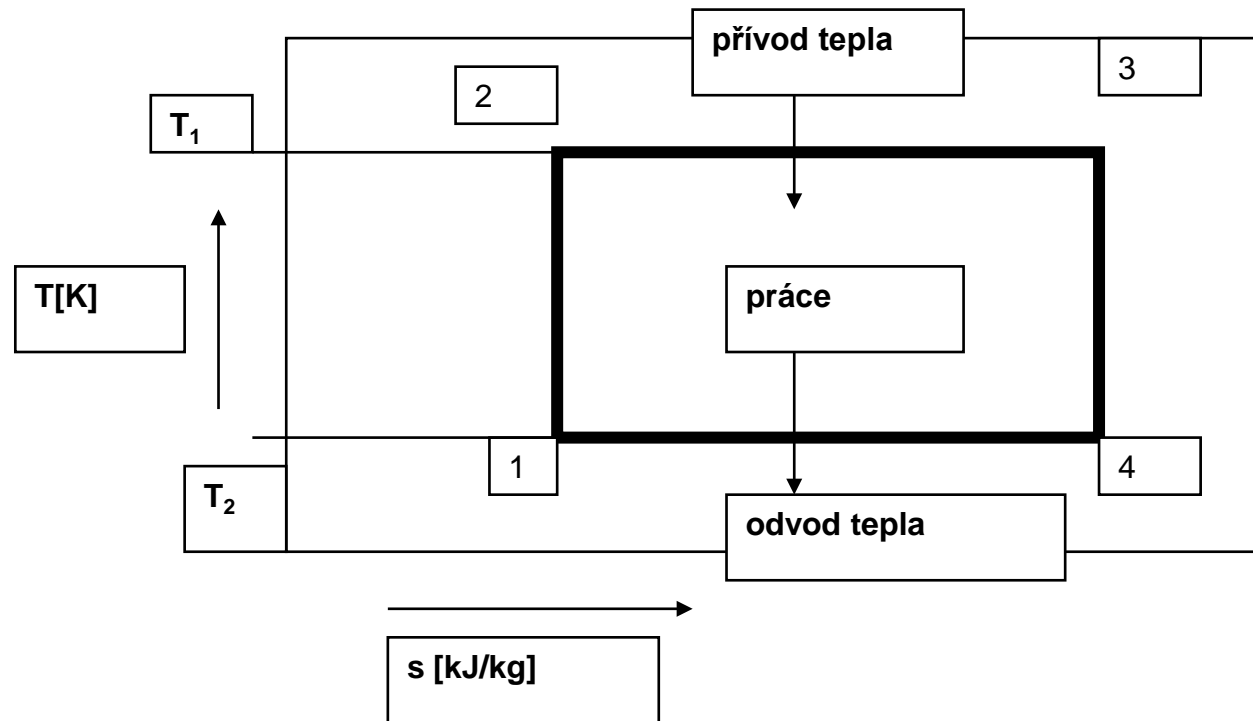
Druhý zákon termodynamiky

kde je
$$S = \int \frac{dQ}{T} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}],$$

- Q uvolněné teplo [kJ.kg-1]
- T.....teplota [K]
- S je entropie pracovní látky, která realizuje tepelný oběh a vyjadřuje pomyslnou míru užitečnosti tepla Q. Čím je entropie nižší (respektive uvolněné teplo je na vyšší teplotové hladině), tím je užitečnost tepla vyšší. Vysoká entropie vyjadřuje nízkou použitelnost disponibilního tepla. [**Velmi zjednodušeně řečeno jde o matematické vyjádření známé skutečnosti, že ani 1 GJ tepla na úrovni teploty 50 °C nestačí k uvaření hrníčku čaje, ale tentýž 1 GJ tepla bohatě postačuje k celodennímu vytápění průměrně izolovaného rodinného domu při venkovní teplotě – 5 °C.**]



Carnotův porovnávací cyklus



8.4.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Porovnávací Carnotův cyklus

- teoretický ideální oběh tepelného stroje mezi dvěma teplotami
- T_1 [k] teplota přívodu tepla do oběhu
- T_2 [k] teplota odvodu tepla z oběhu (ideálně teplota okolí)

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



Srovnání účinnosti některých zařízení

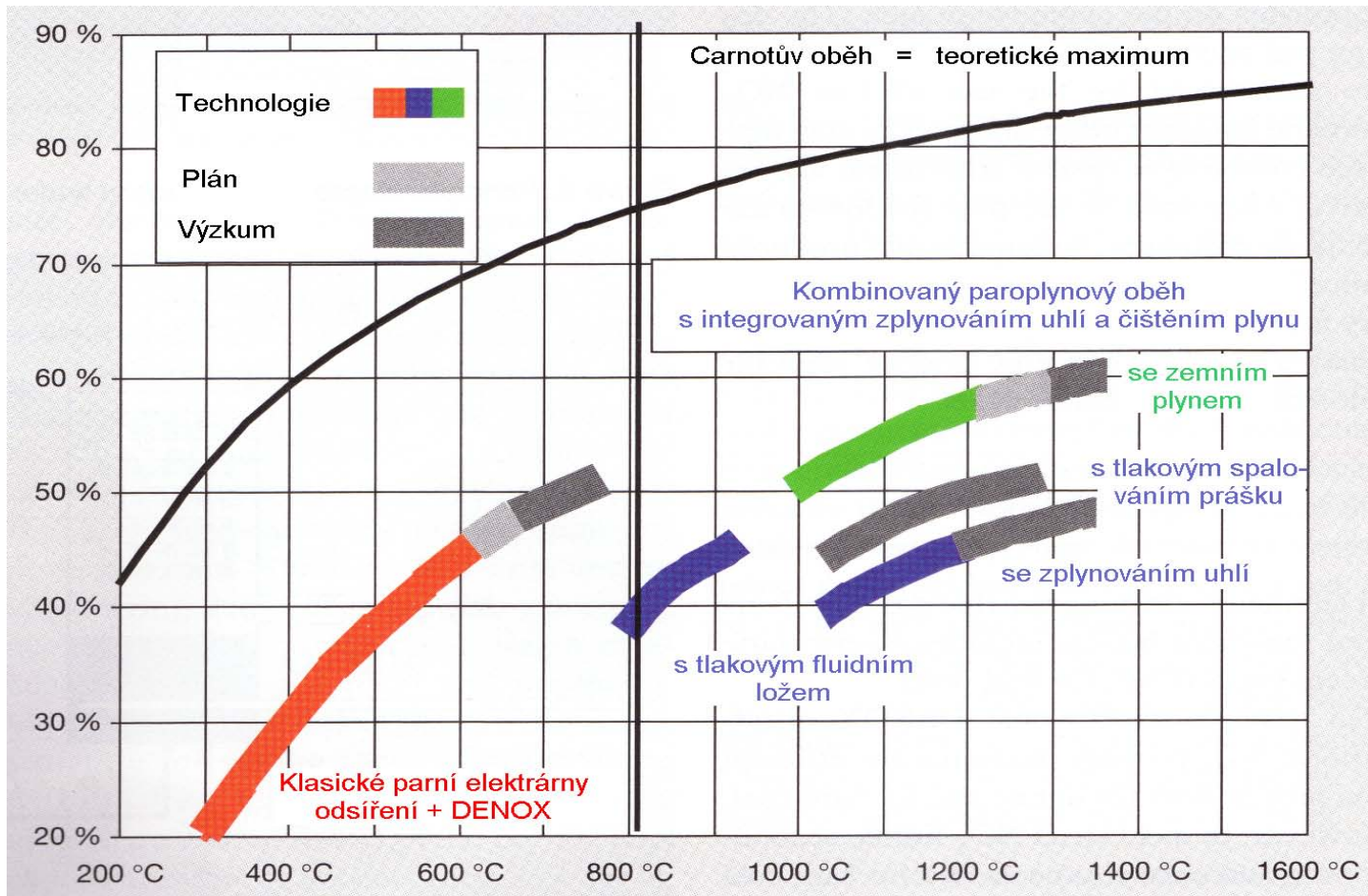
První parní stroj	1%
První elektrárna v Německu (Berlín 15.8.1885)	<5%
Fotočlánek	6-15%
Parní lokomotiva	10-15%
„Stroj“ člověk	15-20%
Automobil střední třídy	20%
Větrná elektrárna	30%
Diesel lokomotiva	40%
500 MW el. blok staršího provedení	>32%
500 MW el. blok nového provedení	>35%
Nový 800 MW el. blok (hnědé uhlí)	>40-42%
Nové velké el. bloky na černé uhlí	>42-44%
Paroplynová zařízení na zemní plyn	47-55%

8.4.2010



Účinnosti různých energetických technologií

- využití uhlí a jejich předpokládaný vývoj



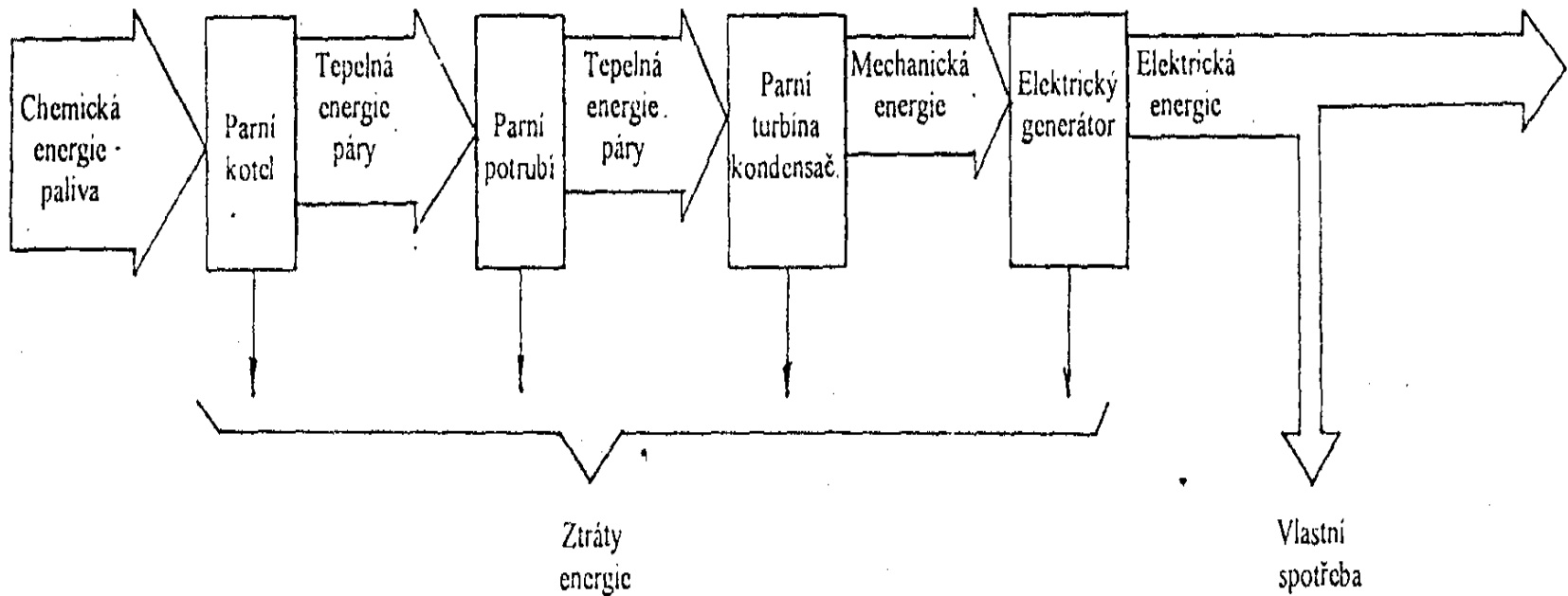
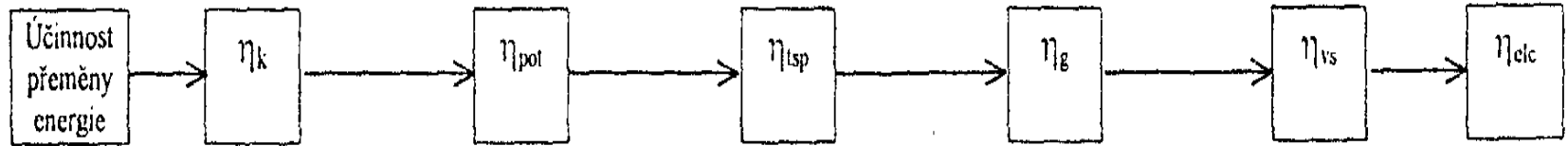
8.4.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Transformace energie v kondenzační elektrárně



8.4.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Hrubá a čistá účinnost složky

Celková netto účinnost kondenzační elektrárny je

$$\eta_{elc} = \eta_k \cdot \eta_{pot} \cdot \eta_{tsp} \cdot \eta_g \cdot \eta_{vs}$$

- η_k účinnost kotle - orientačně 0,89 až 0,95
- η_{pot} účinnost potrubí - v rozmezí 0,97 až 0,98
- η_{tsp} spojková termická účinnost transformace tepelné energie páry na mechanickou energii v parní turbíně

$$\eta_{tsp} = \eta_{to} \cdot \eta_{tdi} \cdot \eta_m$$

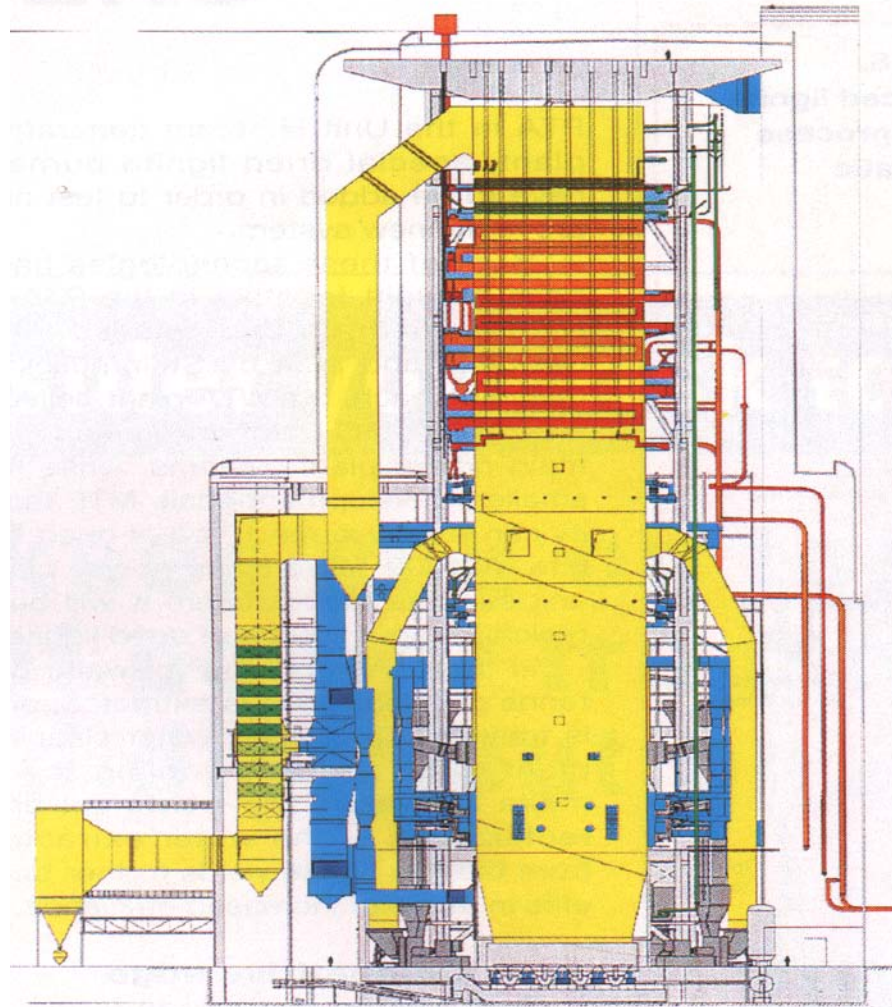
- η_{to} je tepelná účinnost Rankinova - Clausiova oběhu (0,6 – 0,65)
- η_{td} je vnitřní termodynamická účinnost (v rozmezí 0,85 - 0,9)
- η_m je mechanická účinnost (v rozmezí 0,97 až 0,996)
- η_g elektrická účinnost generátoru (0,97 – 0,99)
- η_{vs} účinnost vlastní spotřeby

$$\eta_{vs} = 1 - \zeta_{vs}$$

- ζ_{vs} je součinitel vyjadřující ztrátu vlastní spotřebou



Věžový parní kotel vhodný pro velké výkony a nadkritické parametry



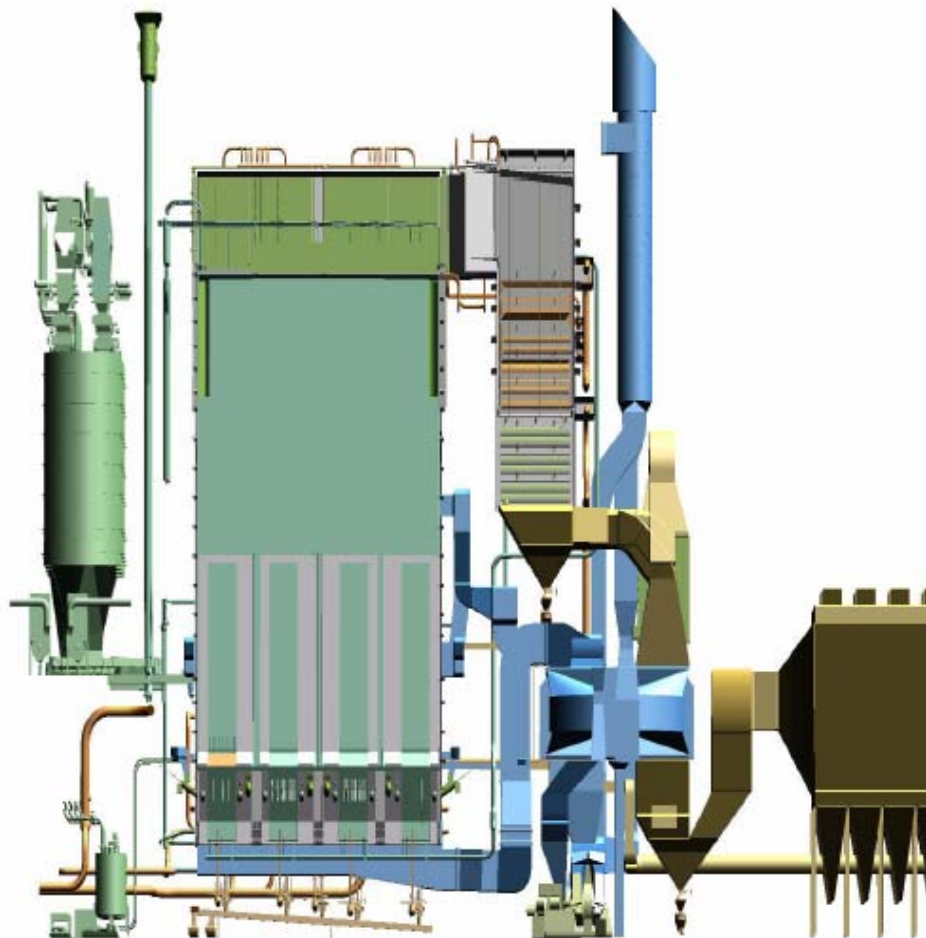
8.4.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





LAGISZA – nadkritický fluidní kotel 400 MWel



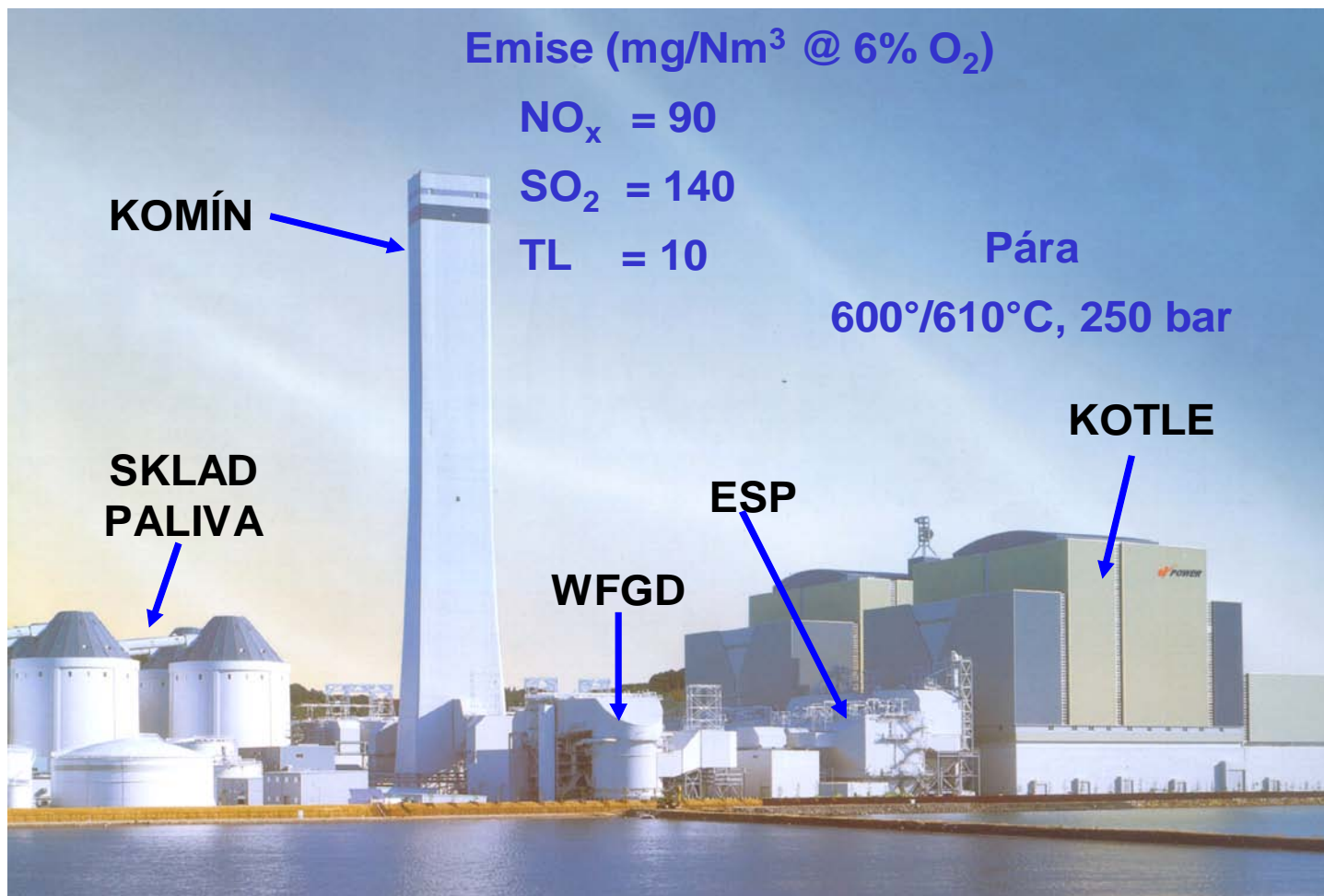
8.4.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Elektrárna Tachikaba Wan 2 s účinností 46%



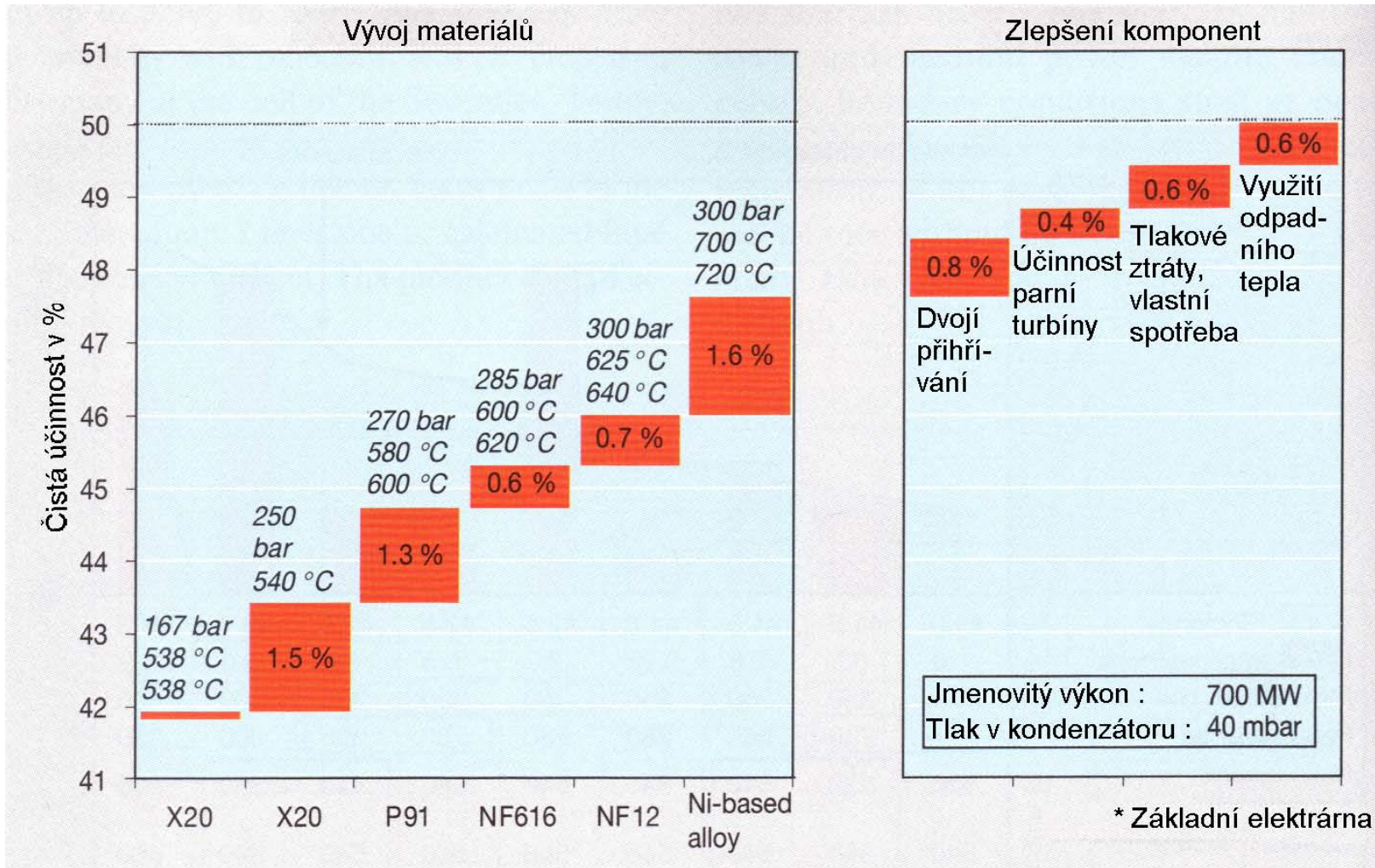
8.4.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





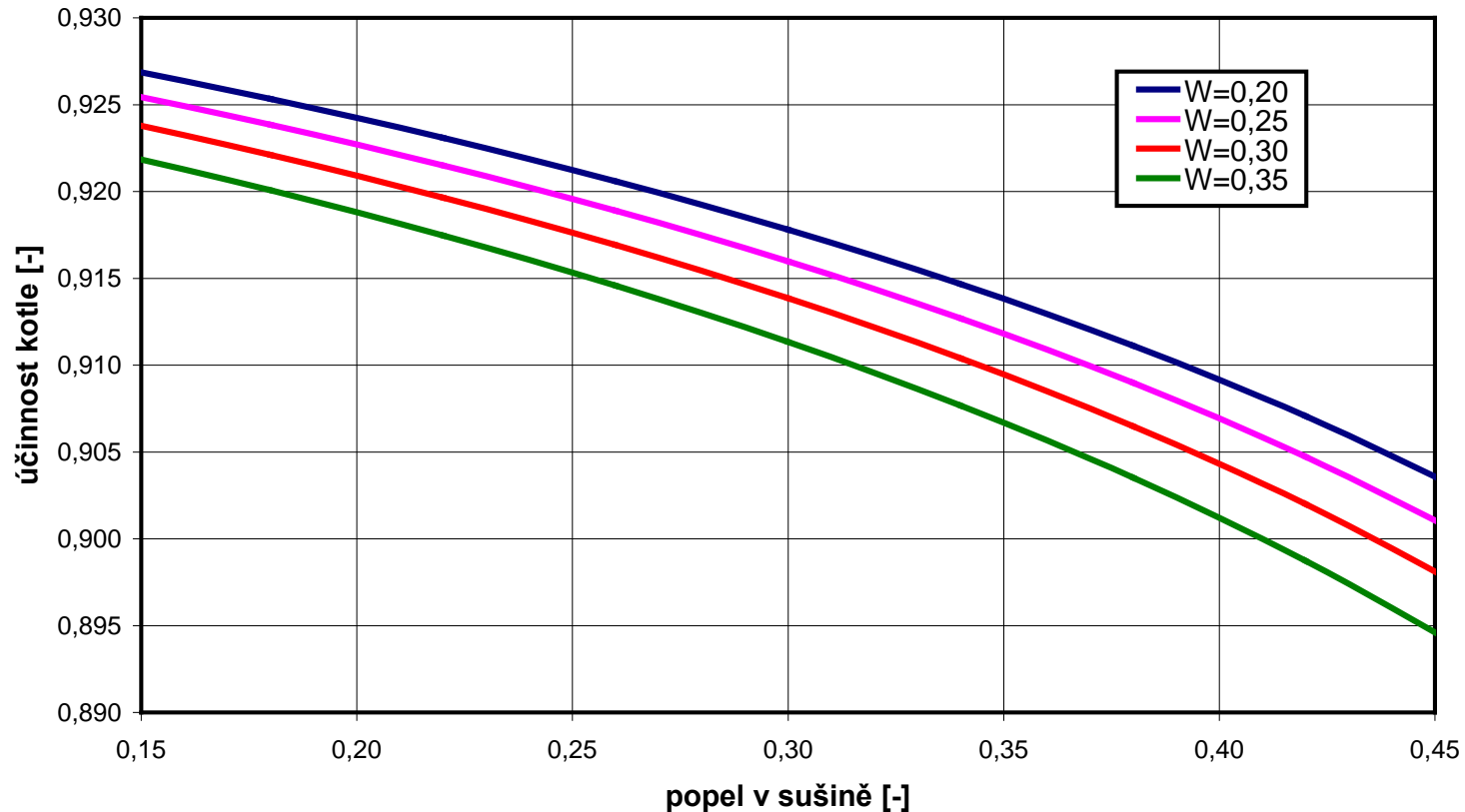
Opatření pro zlepšení účinnosti uhelných elektráren *dle fy SIEMENS*





Vliv českých hnědých uhlí na účinnost kotle

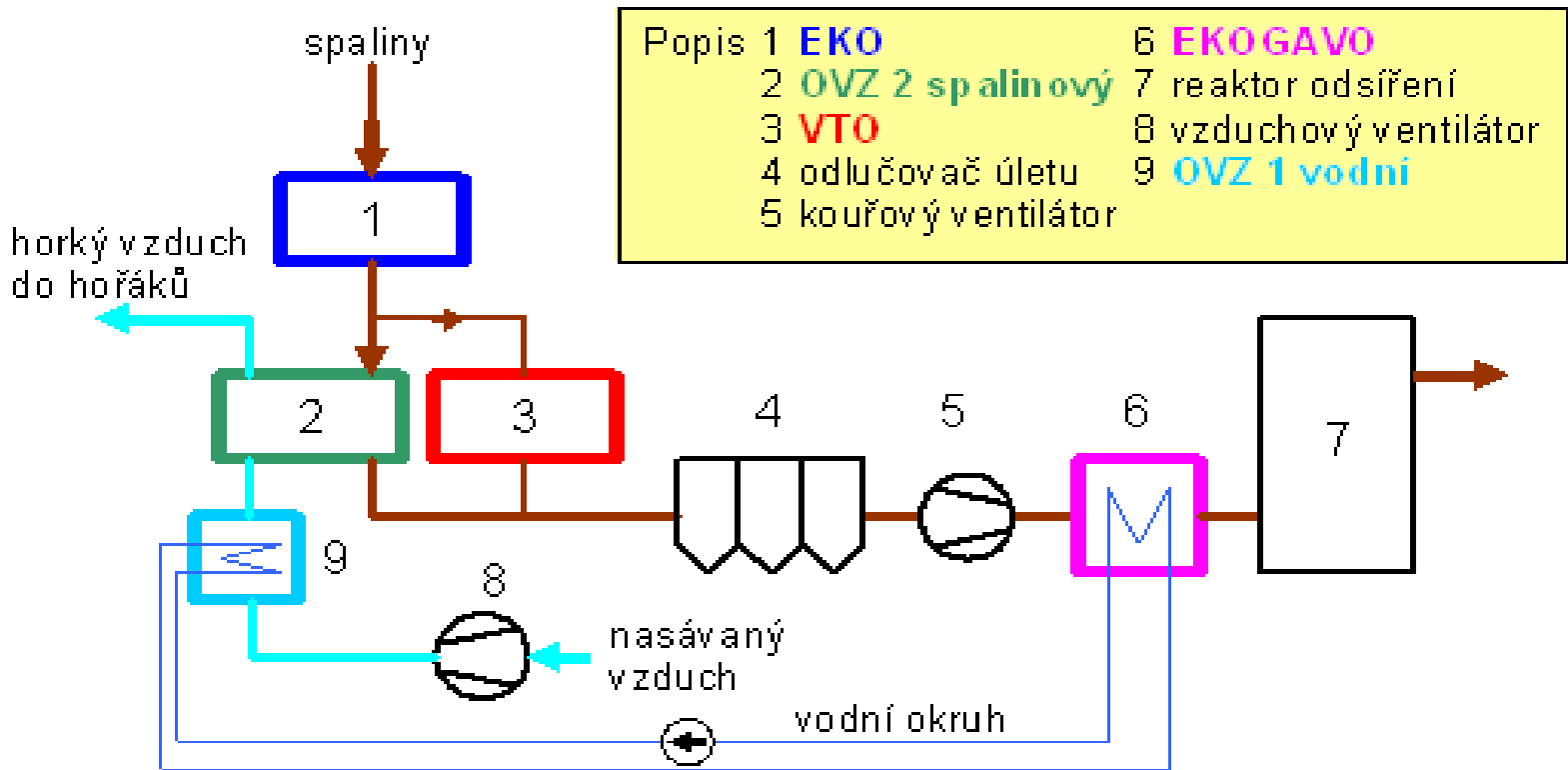
Závislost účinnosti kotle na obsahu vody a popela v HU





Blok ELE 660 MW

Využití odpadního tepla spalin do VTO – návrh ČVUT zlepšení $\Delta\eta \approx 0,5$ proc. bodu \approx úspora 1 % paliva



8.4.2010



Měrné náklady na realizované uhelné elektrárny

Lokalita	Palivo	Instalovaný výkon [MW]		Do provozu v roce	Odhad ceny [mld. USD]	Měrné náklady [USD/kWe]
MERI-PORI, Finsko	Č.U.	1x560	560	1994	0,65	1161
Taichung, Taiwan	Č.U.	4x550	550	1998	2,5	1136
Suralaya, Indonésie	Č.U.	3x600	600	1998	2,2	1222
Beilungang, Čína	Č.U.	3x600	600	2000	1,8	1000
JORF LARFAR, Maroko	Č.U.	2x350	350	2000	1,5	2143
Lippendorf, SRN	H.U.	2x931	931	2000	3,5	1880
Dangjin, J.Korea	H.U.	4x600	600	2000	2,7	1125
Hadong, J.Korea	H.U.	6x500	500	2001	4	1333
Yonghungdo, J.Korea	H.U.	2x800	800	2001	2,7	1688
Pha Lai, Vietnam	Antracit	2x300	300	2002	0,54	900
Yangcheng, Čína	Č.U.	6x350	350	2002	1,9	905
Manjung, Malajsie	Č.U.	3x700	700	2003	1,8	857
Na Ta Phut, Thajsko	Č.U.	1400	1400	2005	1,4	1000



Kombinovaná nízkoteplotní denitrifikace a katalytické odsíření – metoda WSA - SNOX

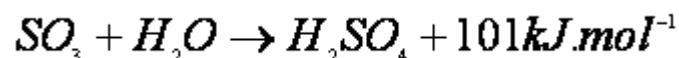
- Nástřik amoniaku do spalin a redukci oxidů dusíku v DNOX reaktoru metodou SCR (Selective Catalytic Reduction of Nitrogen Oxides) při teplotách cca 380 °C



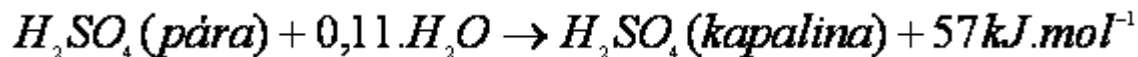
- Katalytické oxidace SO₂ na SO₃ při teplotě cca 420 °C se speciálním typem katalyzátoru:



- hydrolýza s ochlazením par H₂SO₄ na 240 °C



- a kondenzace kyseliny sírové



- **odsíření** **95 až 99 %**
- **denitrifikace** **93 až 98 %**



Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

– úspora paliva

η_E , η_V a η_T jsou účinnosti kondenzační elektrárny, výtopny a teplárny, E je vyrobená a dodaná elektrická energie a Q_d je vyrobené a dodané teplo

$$\Delta Q_{pv}^T = \frac{E}{\eta_E} + \frac{Q_d}{\eta_V} - \frac{E + Q_d}{\eta_T} = Q_d \left(\frac{e}{\eta_E} + \frac{1}{\eta_V} - \frac{e+1}{\eta_T} \right) = a \cdot E + b \cdot Q_d$$

$$a = \frac{1}{\eta_E} - \frac{1}{\eta_T} \quad b = \frac{1}{\eta_V} - \frac{1}{\eta_T} \quad e = \frac{E}{Q_d}$$



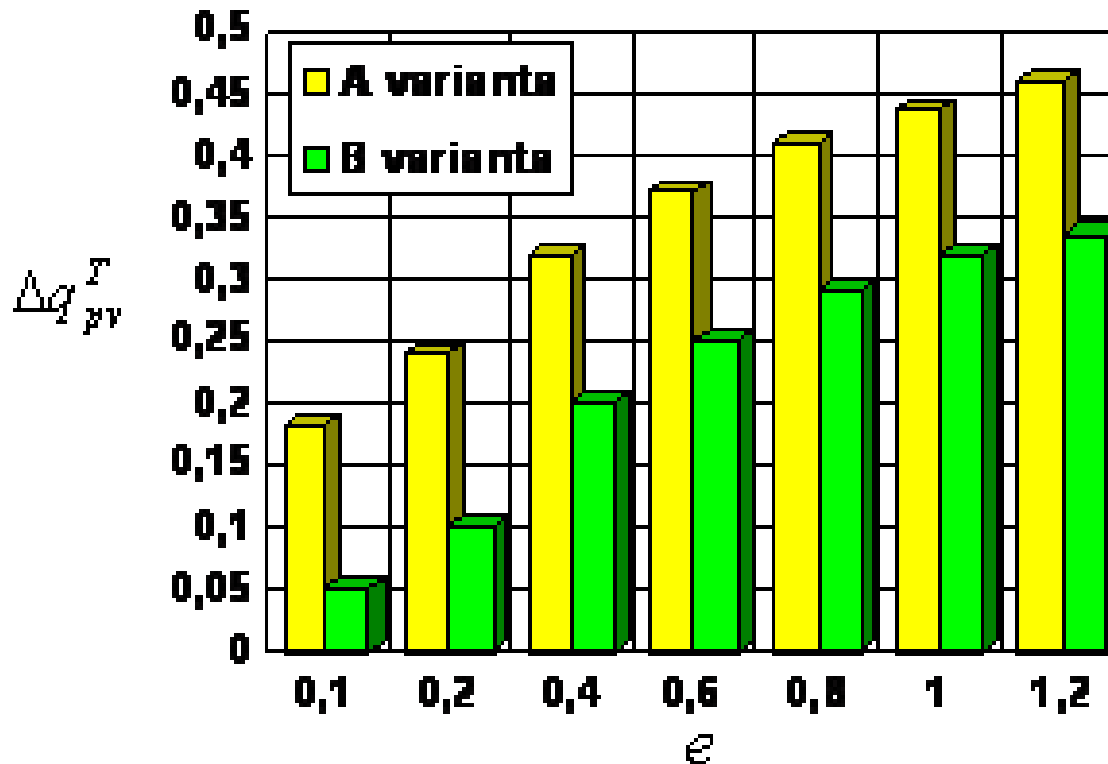
Poměrné úspory tepla v palivu v teplárně

$$\Delta q_{pv}^T = \frac{\Delta Q_{pv}^T}{Q_{pv}^{E+V}} = 1 - \frac{\frac{1+e}{\eta_T}}{\frac{e}{\eta_E} + \frac{1}{\eta_V}} = 1 - \frac{\eta_E \cdot \eta_V}{\eta_T} \cdot \frac{1+e}{e \cdot \eta_V + \eta_E}$$



Vliv $e = E/Qd$ na měrnou úsporu tepla v palivu

Řešení A při $\eta E = 0,32$, $\eta V = 0,75$ a $\eta T = 0,8$ a moderní řešení B při $\eta E = 0,45$, $\eta V = 0,95$ a $\eta T = 0,9$





Vztáhneme-li celou úsporu tepla v palivu jen na výrobu elektrické energie

$$\Delta q_{pvE}^T = \frac{\Delta Q_{pv}^T}{E} = \frac{1}{e} \left(\frac{e}{\eta_E} + \frac{1}{\eta_V} - \frac{e+1}{\eta_T} \right)$$



Srovnání výroby finálních energií a tržeb

Srovnání výroby finálních energií a tržeb u výtopny, parní teplárny, plynové teplárny a paroplynové teplárny při spotřebě tepla v palivu 100 MWh \Rightarrow 360 GJ \Rightarrow 11000 m³ zemního plynu.

Centrála	e [-]	Dodávka energie [MWh]			Tržby [Kč]		
		Q_d	E	$Q_d + E$	Q_d	E	$Q_d + E$
Výtopna	-	83,0	-	83,0	59760	-	59760
Parní teplárna	0,25	66,4	16,6	83,0	47809	29880	77689
Plynová teplárna	0,6	51,9	31,1	83,0	37369	55980	93349
Paroplyn. tep. s vysok. stup. přitápění	0,34	61,9	21,1	83,0	44569	37980	82549
Paroplyn. teplárna bez přitápění	1,2	37,7	45,6	83,0	27144	81540	108684



Jsou teplárny opravdu energeticky efektivní zdroje?

•	Palivo	=50	$\eta=30$	Palivo
T	200 MWh	E=30	elektrárna	100 MWh
		Q=70	$\eta=70$	100 MWh
			výtopna	200 MWh
			CELKEM	



**Průměrná účinnost výroby elektřiny v ČR
je 32 % , dodávky 29 %**

Zvýšení účinnosti výroby elektrické energie o 10 %

=

snížení spotřeby primárních paliv také o 10 %



Výhřevnost Q_i a spalné teplo Q_s [kJ/kg]

$$Q_i = Q_s - 2453 * (W + 9 * H)$$

W je obsah vody v palivu [kg.kg⁻¹]

H obsah vodíku v palivu [kg.kg⁻¹]



Spalovací reakce

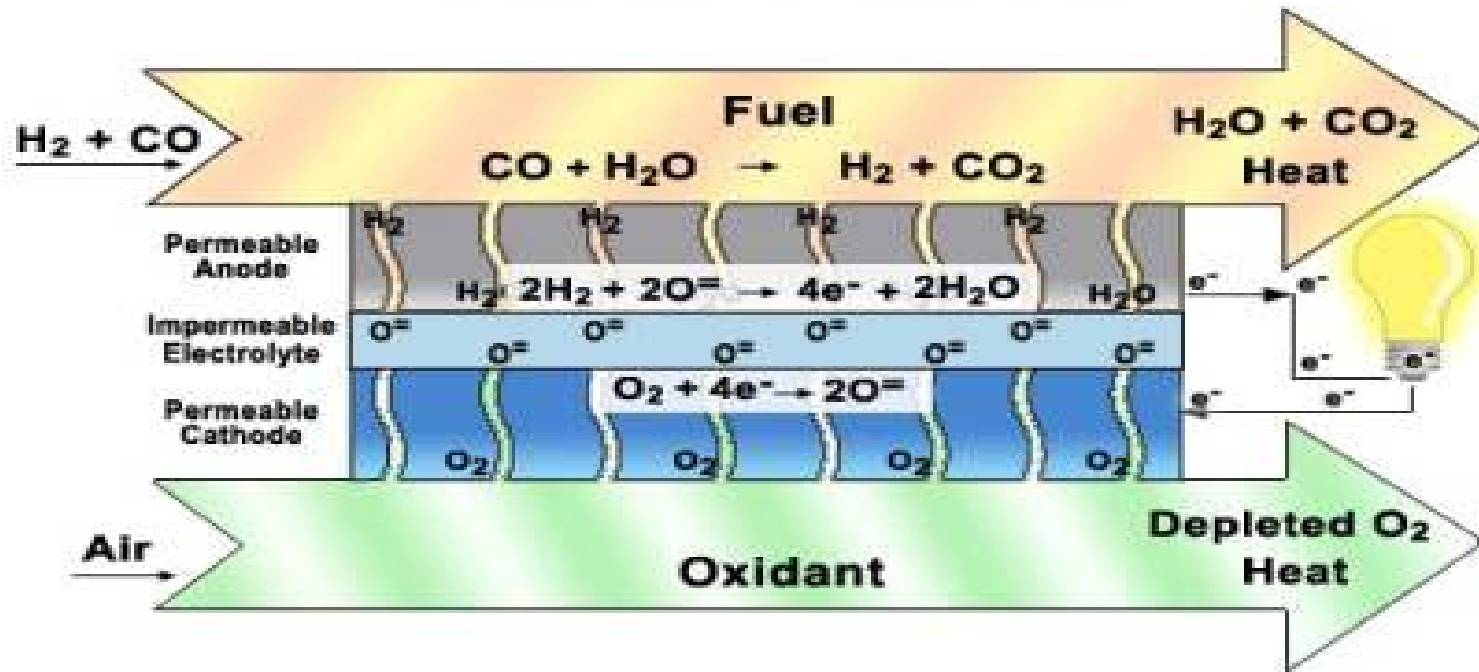


při reakci hoření mezi atomem uhlíku C (který má 6 elektronů rozdělených do 2 sfér – 2 elektrony na 1. sféře a 4 na 2. sféře, na které chybí 4 elektrony) a kyslíkem O₂ (má 8 elektronů na dvou sférách, takže na neúplné 2. sféře chybí 2 elektrony) se vytvoří molekula CO₂, u které je na vnější sféře $4 + 2 \times 6 = 16$ vnějších elektronů umístěných na 2. sféře tak, že **8 elektronů z celkových 16 ti je 8 společných** a prvky mají úplné 2. sféry



Palivový článek = přímý transport elektronů mezi reagenty oxidační reakce

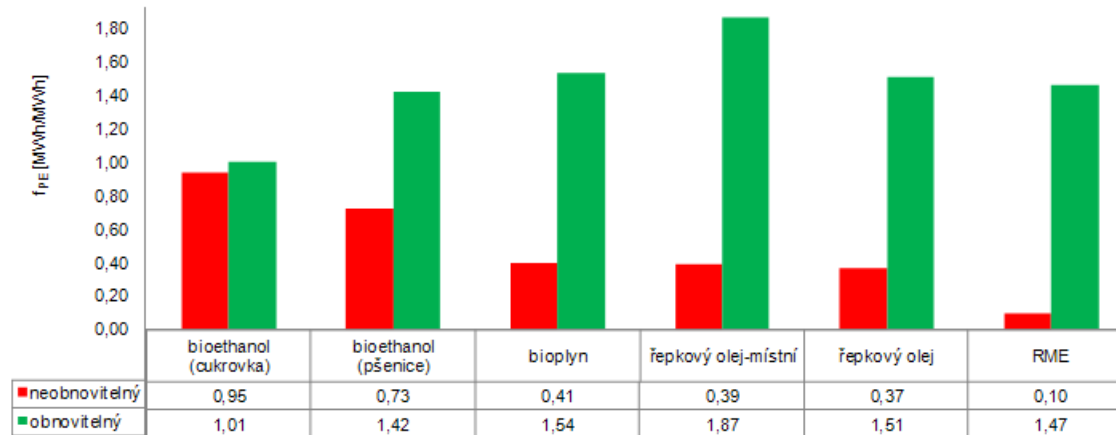
Solid Oxide Fuel Cell





Efektivnost produkce užitečné energie při výrobě kapalných paliv

(fPE = poměr energie obnovitelné/energie z fosilních paliv na její opatření)





Biomasa

- pro 10mil. obyvatel postačuje
- **2 miliony ha** na potraviny
- pro pokrytí 10 % spotřeby paliv
- na dopravu **0,6 milionu ha**



Biomasa

- **1 ha uživí 5 osob**
- **1 ha opatří teplo+TUV pro 5 osob**
- **1 ha dá kapalná biopaliva pro 2 osoby**
- **Pozn.**
- **Účinnost využití dodané energie - člověk a střední automobil přibližně stejná**



DĚKUJI ZA POZORNOST

8.4.2010

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

