

Člověk a energie – 2. přednáška

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Obsah přednášky

- Technologie spalování
- Obecné složení paliv, výhřevnost, spalné teplo
- Výpočet množství spalovacího vzduchu – určení přebytku spalovacího vzduchu
- Klasické zdroje tepla – parní kotle a spalovací komory.
- Problematika snižování emisí ze spalování
- Otázky pro studenty



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Spalování

- Spalování je exotermická redoxní oxidační chemická reakce (s kyslíkem) s intenzivním uvolňováním tepla.
- Nositelem tepelné energie jsou spaliny.
- Vnější impuls, nebo samovolné samovznícení.
- Produktem reakce jsou kromě uvolněné energie spaliny (emise), popílek, škvára, případně kapalná a tuhá struska.
- Palivo se z hlediska hmoty skládá ze dvou základních složek:
 - Hořlavina
 - a) aktivní hořlavina – spalováním dodávají teplo (C, H, S)
 - b) pasivní hořlavina – nedodávají teplo, ale jsou chemicky vázané na uhlovodíky (O, N)
 - Balastní složka (přítěž) – snižuje podíl aktivní hořlaviny => nižší výhřevnost
 - a) U tuhých a kapalných paliva: popelovina a voda
 - popelovina = směs minerálů (jílové minerály, karbonáty, sulfidy, oxidy a halogenní minerály), reakcí se přeměňují na popílek
 - b) U plyných paliv: vodní pára a nehořlavé plyny



Hrubý vzorek uhlí

- Prchavá hořlavina – plyny uvolněné zahříváním paliva za nepřístupu vzduchu na teplotu 300 – 800 °C. Obsah prchavé hořlaviny závisí na geologickém stáří paliva (stupeň prouhelnatění). Starší palivo => nižší obsah prchavé hořlaviny => obtížnější vznícení, lepší vyhoření.
- Obsah vody závisí rovněž na geologickém stáří, čím starší, tím méně vody. Více vody => vyšší kotlové ztráty, nižší spalovací teplota, prodlužuje dobu zapálení, vyšší vlhkost – vyšší rosný bod a riziko koroze, v zimě možné zamrznutí => nutné sušit.

Voda je vázaná jako:

- Hrubá voda.
- Zbylá voda (kapilárně vázaná).
- Veškerá (většinou uvedena v technických rozbořech).

uhlí v původním stavu (surové, těžené)						
přítěž (balast)				hořlavina U (uhelná hmota)		
voda veškerá W_t^r		popelovina M				
voda hrubá W_{ex}	zbylá W_h	sušina				
		popel A^r	ΔV	prchavá hořlavina	tuhý uhlík C_{fix}	
		zdánlivá prchavá h. V				
		zdánlivá hořlavina				

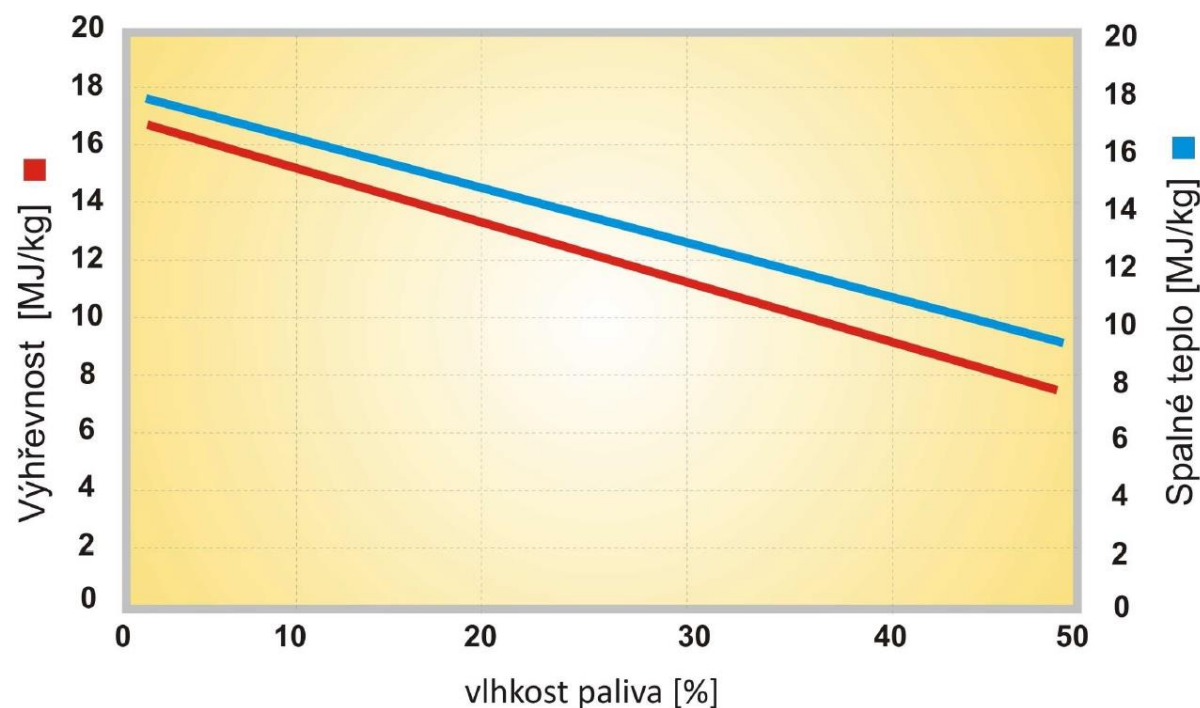


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Výhřevnost vs. spalné teplo

- Výhřevnost (q_n) = množství tepla uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva a ochlazením spalin na původní teplotu, přičemž voda zůstává ve formě páry.
- Spalné teplo (q_s) = množství tepla uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva a ochlazením spalin na původní teplotu, přičemž voda zkondenzuje.
- Spalné teplo je vždy větší než výhřevnost právě o hodnotu tzv. výparného tepla, tedy energie, kterou voda vznikající oxidací vodíku odebere pro své vypaření.

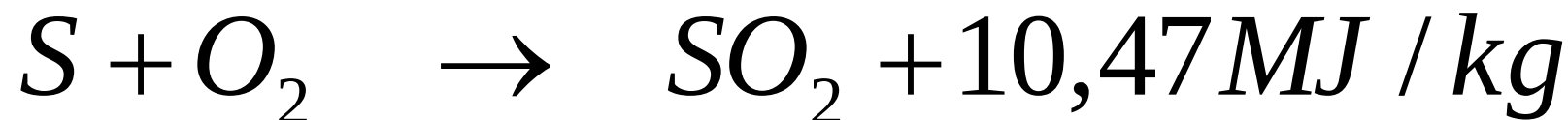
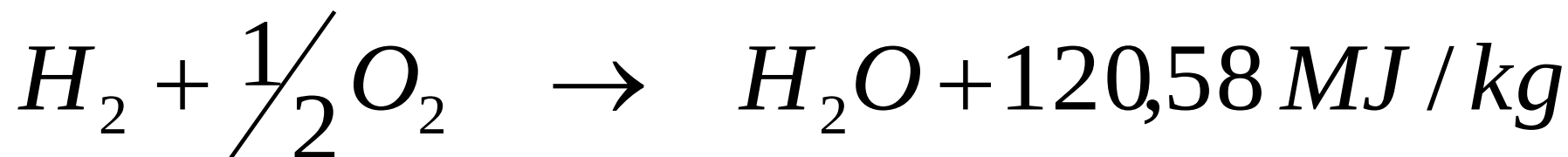


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

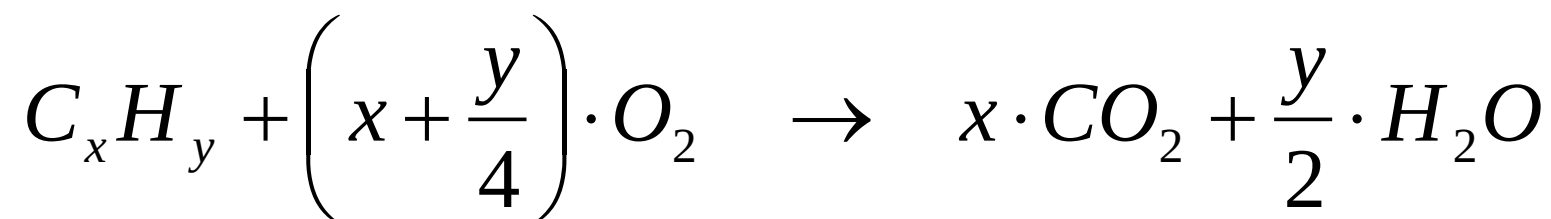
Chemické reakce spalování

- Spalování (dokonalé) hořlavých prvků paliva (uhlíku, vodíku a síry) je dáno exotermními reakcemi (bráno pro 1 kg látky):

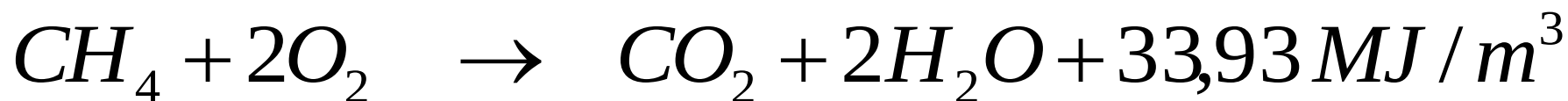


Chemické reakce spalování – plynná paliva

- Hořlavé složky plynných paliv jsou uhlovodíky C_xH_y , dále CO a H_2 . Například zemní plyn obsahuje převážně metan, tedy obecně uhlovodík, jehož spálení probíhá podle následující chemické rovnice:



a konkrétně pro metan při teplotě 15,6 °C a tlaku 101,325 kPa (bráno pro 1 m³ látky):



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Výpočet spalovacího vzduchu

- Pro optimální oxidaci paliva, tedy aby bylo hoření dokonalé, je nutné do kotle vhánět určitý objem spalovacího vzduchu, respektive kyslíku. Pro dokonalé spálení 1 kg paliva obsahujícího poměrné množství uhlíku, vodíku, síry a kyslíku je minimální teoretické objemové množství kyslíku dáno vztahem:

$$V_{\min}(O_2) \left[\frac{m^3}{kg} \right] = \underbrace{1,865 \cdot C}_{\text{Kyslík pro spálení uhlíku v palivu}} + \underbrace{5,553 \cdot H_2}_{\text{Kyslík pro spálení vodíku v palivu}} + \underbrace{0,699 \cdot S}_{\text{Kyslík pro spálení síry (spalitelné) v palivu}} - \underbrace{0,700 \cdot O_2}_{\text{Odečtený kyslík obsažený v palivu}}$$



Výpočet spalovacího vzduchu

- Vzhledem ke složení suchého atmosférického vzduchu (bez vodní páry a při zanedbání vzácných plynů), tj. podíl kyslíku je 21 % se teoretická objemová spotřeba suchého spalovacího vzduchu pro spálení 1 kg paliva určí následovně:

$$V_{\min}(\text{vzduch}_{\text{such}}) \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] = \frac{100}{21} \cdot V_{\min}(\text{O}_2) = \frac{1}{0,21} \cdot V_{\min}(\text{O}_2) = 4,762 \cdot V_{\min}(\text{O}_2)$$

- Do spalovacího procesu vháněný atmosférický vzduch ve skutečnosti obsahuje určité množství vodní páry, o kterou je objem vzduchu zvětšen. Vliv vlhkosti zahrnuje faktor poměrného zvětšení objemu vlhkého vzduchu oproti suchému:

$$\chi_v = 1 + \frac{p_s \cdot \frac{\varphi}{100}}{p_c - p_s \cdot \frac{\varphi}{100}} \quad [-]$$

p_s [Pa]

je absolutní parciální tlak vodní páry na mezi sytosti při dané teplotě

p_c [Pa]

je celkový absolutní tlak vlhkého vzduchu při dané teplotě

φ [%]

je relativní vlhkost vzduchu



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Výpočet spalovacího vzduchu – přebytek vzduchu

- Celkové minimální objemové množství vlhkého spalovacího vzduchu pro spálení 1 kg paliva je pak dáno vztahem:

$$V_{\min}(\text{vzduch}_{vlh}) = \frac{100}{21} \cdot \chi_V \cdot V_{\min}(O_2) = 4,762 \cdot \chi_V \cdot V_{\min}(O_2) \quad [m^3 / kg]$$

- Ve skutečnosti nereaguje všechen kyslík, je nutné do kotlů přivádět přebytek vzduchu => urychlí dobu hoření a sníží ztráty mechanickým a chemickým nedopalem, ale zvýší komínovou ztrátu, liší se dle typu kotle. Součinitel přebytku vzduchu α je poměr objemů skutečně přiváděného vzduchu a vypočteného minimálního teoretického vzduchu.

$$\alpha = \frac{V_{sk}(\text{vzduch})}{V_{\min}(\text{vzduch}_{vlh})} \geq 1$$



Výpočet spalovacího vzduchu – přebytek vzduchu

- Skutečné množství přiváděného spalovací vzduchu do procesu hoření je tedy dáno následujícím vztahem:

$$V_{sk}(\text{vzduch}) = \alpha \cdot V_{\min}(\text{vzduch}_{vlh})$$

- Nutno volit citlivě – komínová ztráta roste + přísávání tzv. falešného vzduchu skrz netěsnosti (podtlak v ohništi) – vyšší komínová ztráta + vyšší příkon sacího ventilátoru. Optimální hodnoty součinitelů přebytku vzduchu souvisí s typem ohniště:

Typ ohniště	Součinitel α [-]	Typ ohniště	Součinitel α [-]
U roštových ohnišť	1,30 až 1,50	U cyklónových ohnišť	1,05 až 1,10
U práškových ohnišť granulačních	1,20	U ohnišť na kapalná paliva	1,01 až 1,15
U fluidních ohnišť	1,25 až 1,3	U plynových ohnišť	1,01 až 1,10
U práškových ohnišť výtavných	1,15		



Nedokonalé spalování

- V případě, že se v kotli nachází nedostatek vzduchu (tedy $\alpha < 1$), je část uhlíku v palivu spálena nedokonale a část eventuálně nespálená vůbec. Nedokonalé spalování uhlíku probíhá podle následující chemické reakce (bráno pro 1 kg látky):



- Produktem nedokonalého spalování je oxid uhelnatý
 - Uvolňuje se při nedostatku kyslíku, ale i při nízké spalovací teplotě.
 - Jedovatý + v atmosféře se rozkládá na metan (skleníkový plyn) a na přízemní (troposférický) ozón – fotochemický smog.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Tepelný zdroj

- Termodynamické systém, ve kterém dochází k přívodu tepla Q_p do pracovní látky tepelného oběhu.
- Přívod tepla může být realizován přímo do pracovní látky (plynové oběhy – jednofázové prostředí) nebo prostřednictvím tepelného výměníku (parní oběhy – dvoufázové prostředí).
 - Pokud jde o spalování:
 - Parní oběhy – tepelným zdrojem je kotel.
 - Plynové oběhy – tepelným zdrojem je spalovací komora (spalovací turbína).

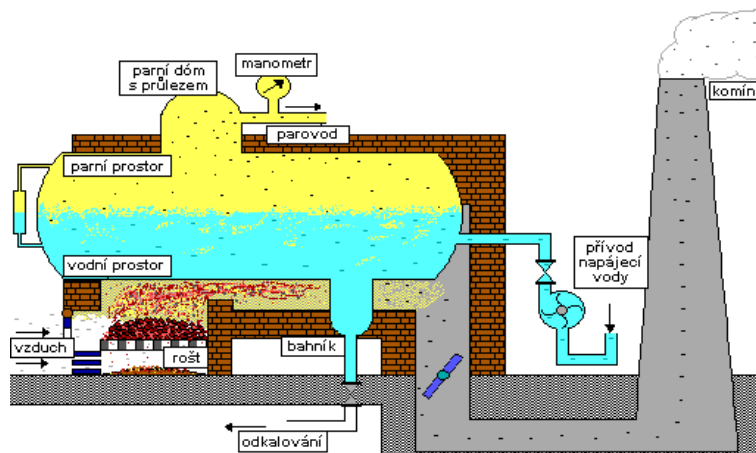


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Parní kotle

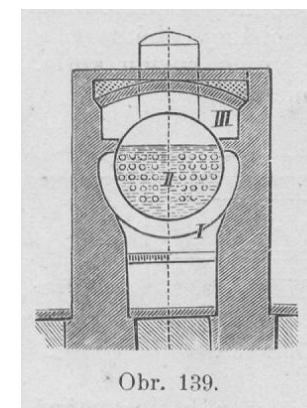
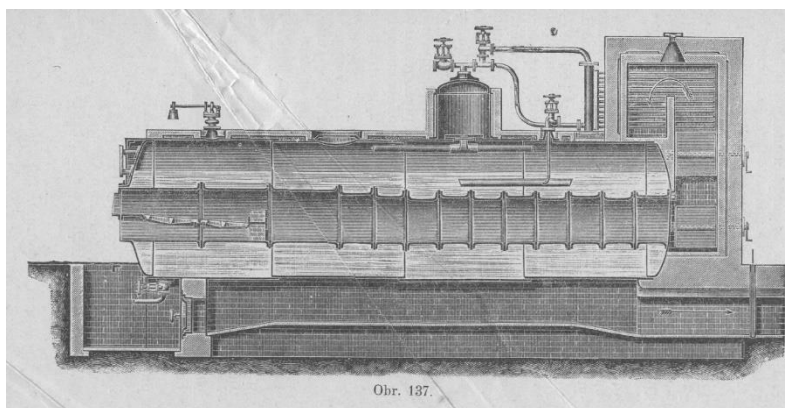
Válcový kotel



Žárotrubný kotel



Plamencový kotel



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

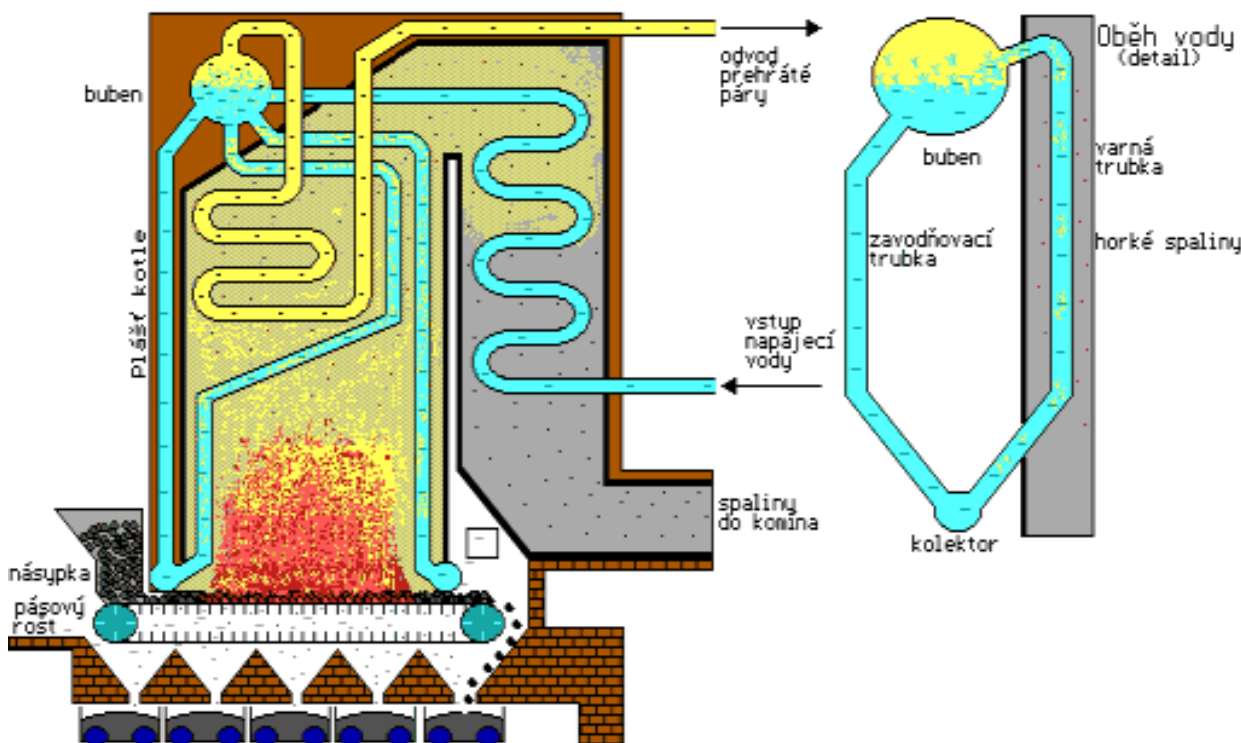
Základní parametry kotle

- Jmenovitý výkon parního kotle [kg/s], [t/h] – výkon, který kotel musí trvale dodávat při dodržení jmenovitých hodnot základních parametrů. Řada jmenovitých výkonů a parametrů je doporučena normou (ČSN 07 0010).
- Tlak přehřáté páry [MPa] – na výstupu z kotle. Měří se před hlavním uzávěrem kotle.
- Teplota přehřáté páry [°C] – na výstupu z kotle. Měří se na stejném místě jako tlak páry.
- Teplota přihřáté páry [°C] – měří se na výstupu z přihříváku.
- Teplota napájecí vody [°C] – měří se před místem, kde začíná přívod tepla z paliva do napájecí vody, tj. obvykle před ohřívákem (ekonomizérem) vody, u kotlů bez ohříváku vody před vstupem do kotlového bubnu.



Moderní parní kotel

- Strmotrubný (průtlačný – nucený oběh).



Části kotle:

- Výhřevná plocha (ohniště), hořáky
 - Roštová ohniště
 - Prášková ohniště
 - Fluidní ohniště
- Potrubí – napájecí voda (doplňování kotelní vody)
- Ohřívací voda – ekonomizér
- Výparník, přehřívák, přihřívák
- Odtah škváry (strusky), výsypka
- Koncové technologie pro čištění spalin

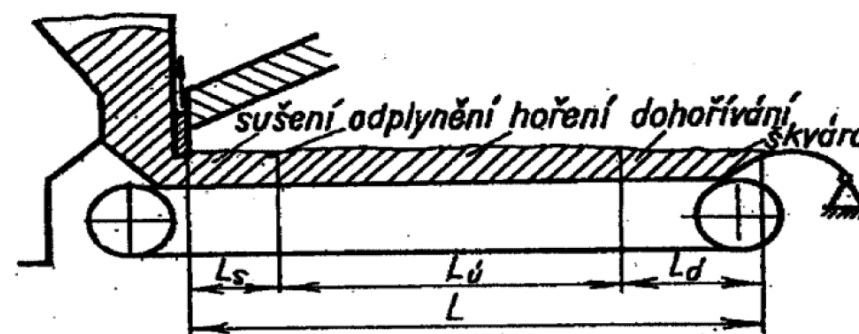
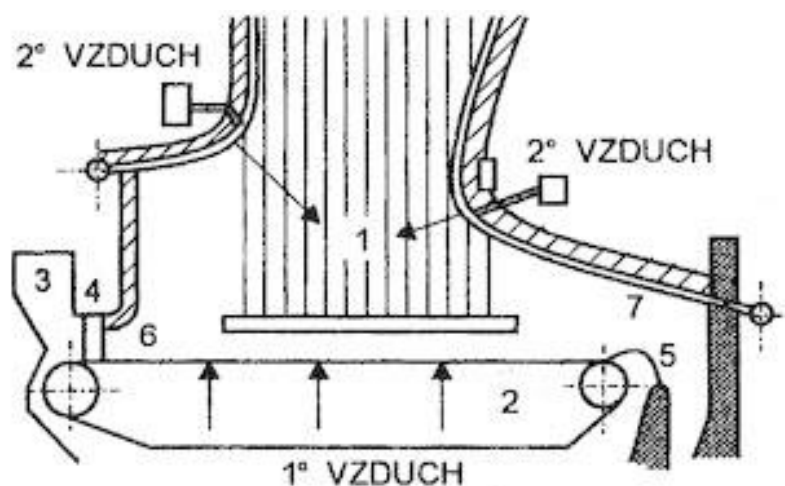


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Parní kotle – roštová ohniště

- Spalování kusových paliv ve vrstvě filtračním způsobem. Tloušťka vrstvy závisí na tepelném výkonu ohniště a prodyšnosti vrstvy pro spalovací vzduch.



Délka roštu:
 L_s – sušící, L_u – účinná (vlastní hoření),
 L_d – dohořívací, L – celková

- Požadavky na rošt – podpora spalovaného paliva (správná tloušťka a prodyšnost), zajištění přívodu spalovacího vzduchu (pro optimální přebytek vzduchu), umožnit postupné vysušení paliva, odplynění, zápálení, hoření a dokonalé vyhoření, odvod tuhých zbytků z ohniště, reagování na požadovaný výkon kotle.



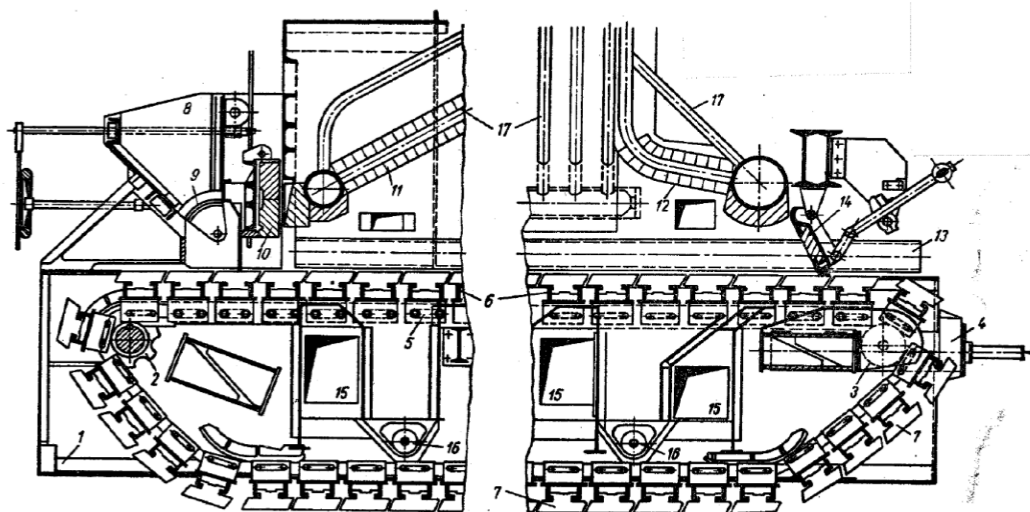
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

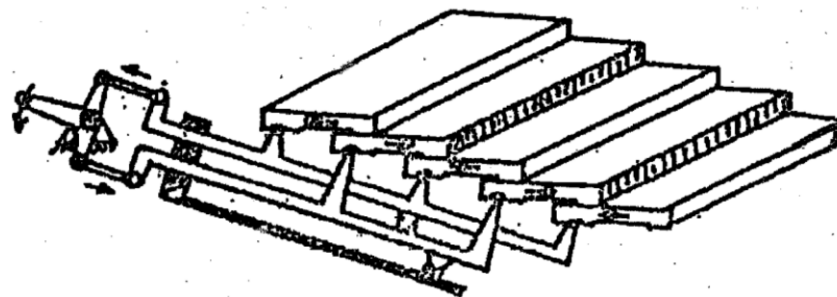
Parní kotle – roštová ohniště

Podle způsobu přemísťování paliva vzhledem k ohništi se rozeznávají rošty s nehybnou vrstvou (pevné rošty – starší technologie) a dále:

Pásové rošty (s vrstvou trvale se posouvající)



Posuvné rošty (s přerušovaným přemísťováním vrstvy)



1- nosný rám, 2 – hnací řetězka, 3 – napínací řetězka, 4 – napínací zařízení, 5 – článek řetězu, 6 – nosný trámec, 7 – roštnice, 8 – násypka, 9 – segmentový uzávěr, 10 – hradítko, 11, 12 – přední a zadní klenba, 13 – boční chladičí komora, 14 – škvárový jízec, 15 – pásmování vzduchu, 16 – šnek na vyhrabávání škváry a propadu, 17 – výparník kotle

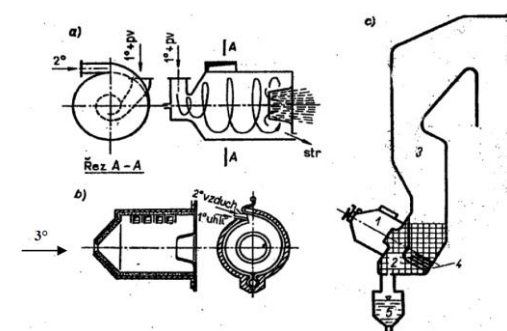
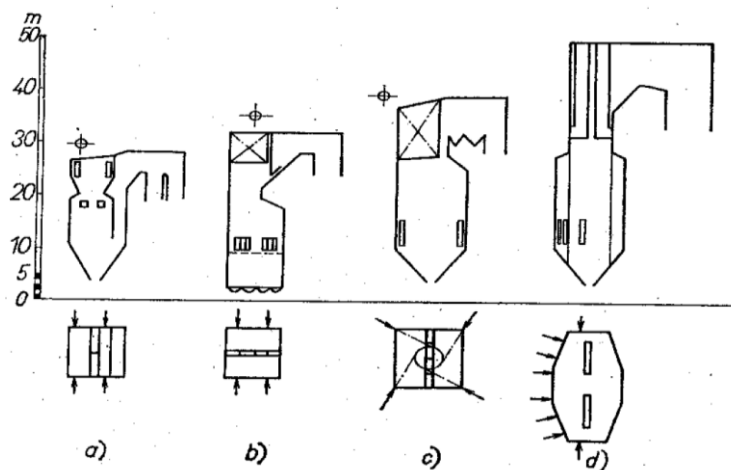
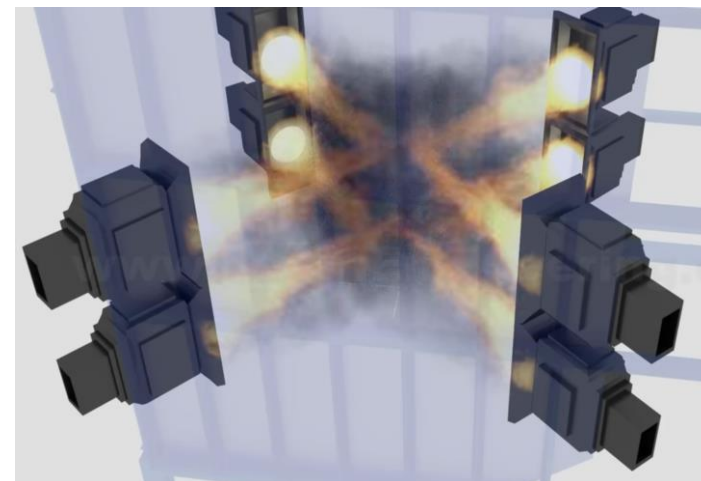


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Parní kotle – prášková ohniště

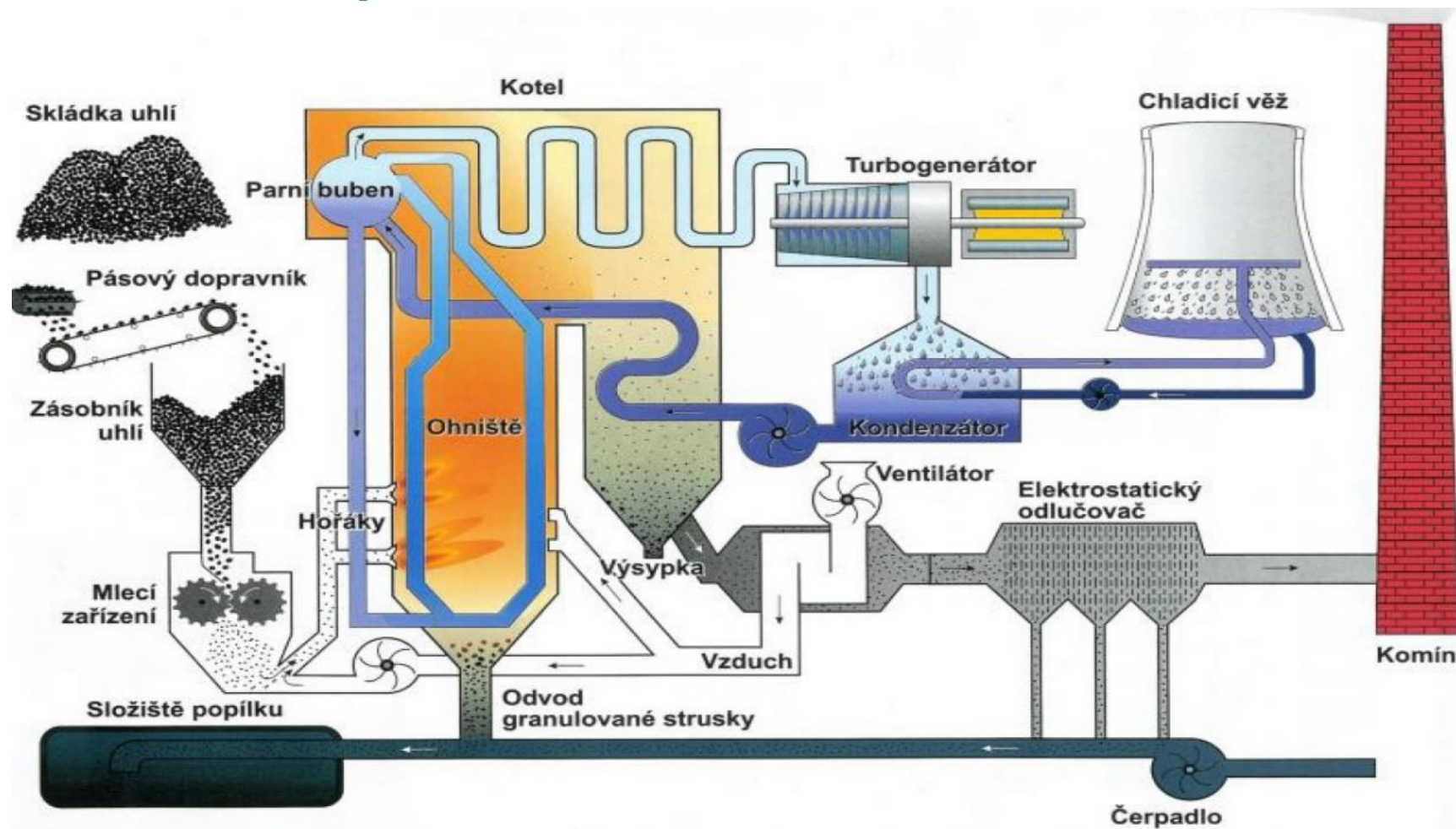
- Prostorového spalování jemně umletého uhlého prášku přivedeného spolu se vzduchem tryskami hořáků (palivo lépe vyhoří). Prášková ohniště:
 - a) Granulační – v ohništi 1100 – 1400 °C, struska odchází v pevném stavu (hrozí zastruskování ohniště).
 - b) Výtavné – v ohništi cca 1700 °C (teplota tavení popela), struska odchází v tekuté formě.



a, b – vlastní ohniště, c -připojení na vychlazovací prostor, 1 – cyklón, 2 – omaz, 3 – vychlazovací prostor, 4 – mezistěna se struskovou mříží, 5 – granulační nádrž



Parní kotle – prášková ohniště



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Parní kotle – fluidní ohniště

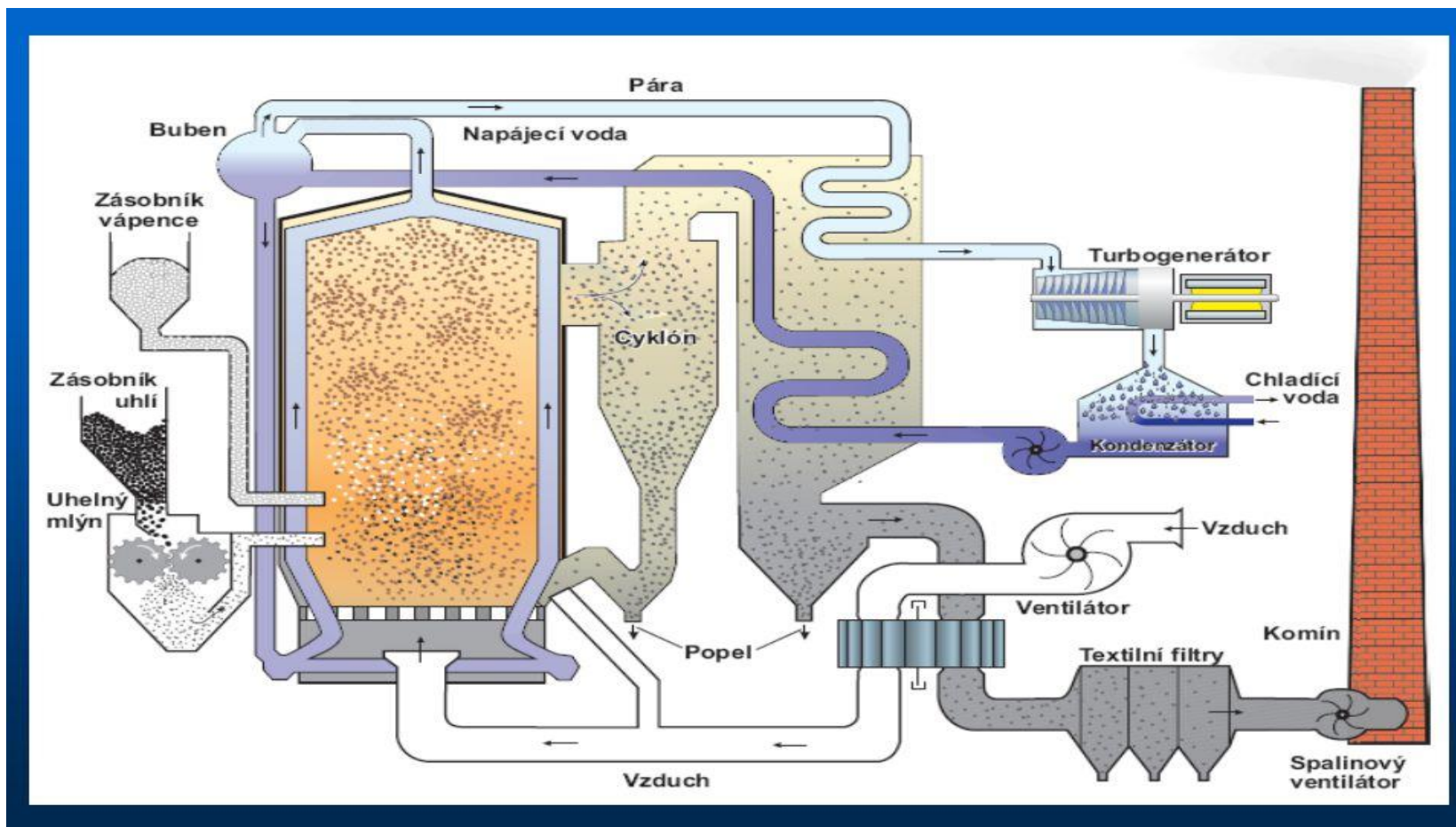
- Spalování ve vzhledu (fluidní vrstvě – lepší vyhoření)
 - Fluid vytváří vzduchem načeřený inertní materiál (popel z vlastního paliva, křemenný písek, keramzit).
 - Fluid má tendenci se chovat jako kapalina => součinitel přestupu tepla z fluidní vrstvy do výhřevné plochy je větší než v jiných typech ohnišť.
- Drcené palivo v kombinaci s vápencem (odsíření).
- Menší teplota než práškové (900 °C) => nižší produkce vysokoteplotních NOx.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Parní kotle – fluidní ohniště

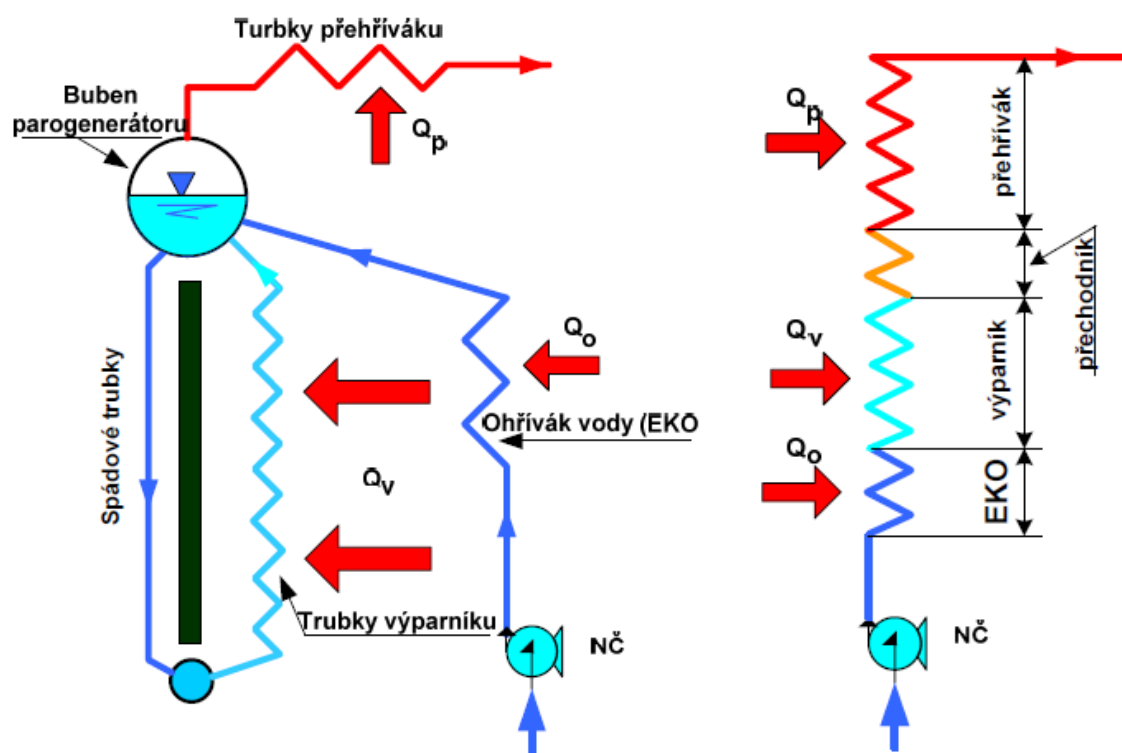


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Parní kotle – způsob vytvoření páry

- a) Bubnový parogenerátor – plní funkci gravitačního separátoru páry.
- Nucený průtok vody je pouze v ohříváku vody (ekonomizéru) respektive výparníku.
- b) Průtočný parogenerátor – nucený průběh ve všech teplosměnných plochách.
- Vyšší průtočné rychlosti => vyšší přestupní součinitel tepla => materiálové úspory.



Energetická bilance parního kotle

$$m_u \cdot q_n \cdot \eta = m_p \cdot (i_a - i_{nv})$$

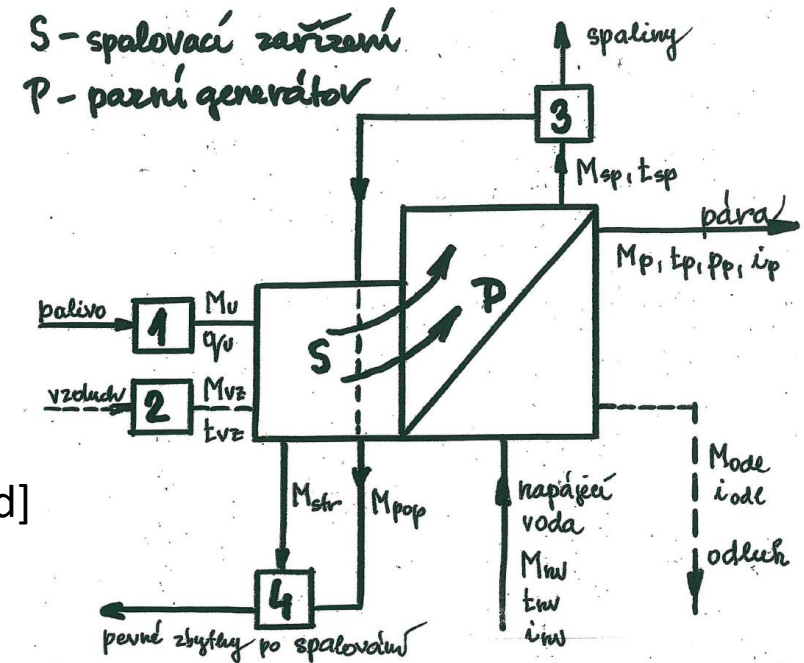
Přímá metoda stanovení účinnosti kotle:

$$\eta = \frac{m_p \cdot (i_a - i_{nv})}{m_u \cdot q_n}$$

m_p ... hmotnostní průtok výstupní páry [kg/s] v praxi [t/hod]

 i_a ... admisní entalpie (výstupní páry) [kJ/(kg.K)]

i_{nv} ... entalpie napájecí vody [kJ/(kg.K)]

 m_u ... hmotnostní průtok paliva [kg/s] q_n ... výhřevnost paliva [MJ/kg]

- 1 – doprava a příprava paliva
- 2 – dopravu a příprava spalovacího vzduchu
- 3 – odvádění a čištění spalin
- 4 – odvádění tuhých zbytků

Kotlové ztráty parního kotle

1. Ztráty hořlavinou – omezení dostatečným množstvím spalovacího vzduchu a kvalitou paliva.
 - a) v tuhých zbytcích (mechanický nedopal, cca 3,9 – 5 %).
 - b) ve spalínách (chemický nedopal, cca 0,3 – 0,4 %).
 2. Ztráty fyzickým teplem
 - a) tuhých zbytků – popílek, škvára, (struska) má vyšší teplotu než okolí, cca 0,3 – 1,2 %.
 - b) spalin (komínová ztráta) – odcházející spaliny mají vyšší teplotu než okolí. Nejvyšší ztráta cca 7 – 8 %. Závisí na teplotě spalin za kotlem a na množství spalovacího vzduchu.
 3. Ztráty sdílením tepla do okolí sáláním a vedením – těleso má vyšší teplotu než okolí, omezení tepelnou izolací systému.
 4. Vlastní spotřeba bloku – ventilátory, mlýny, turbonapajčka, elektronapajčka.
- Vyšší množství spalovacího vzduchu sníží ztráty hořlavinou, ale zvýší komínovou ztrátu.



Parní kotel

<https://www.youtube.com/watch?v=nL-J5tT1E1k>

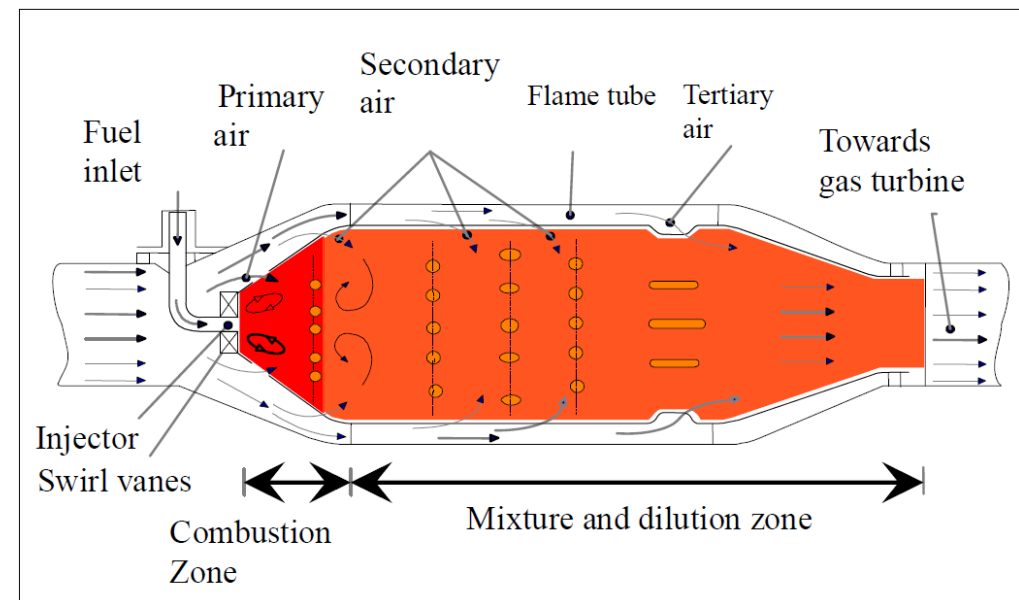


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

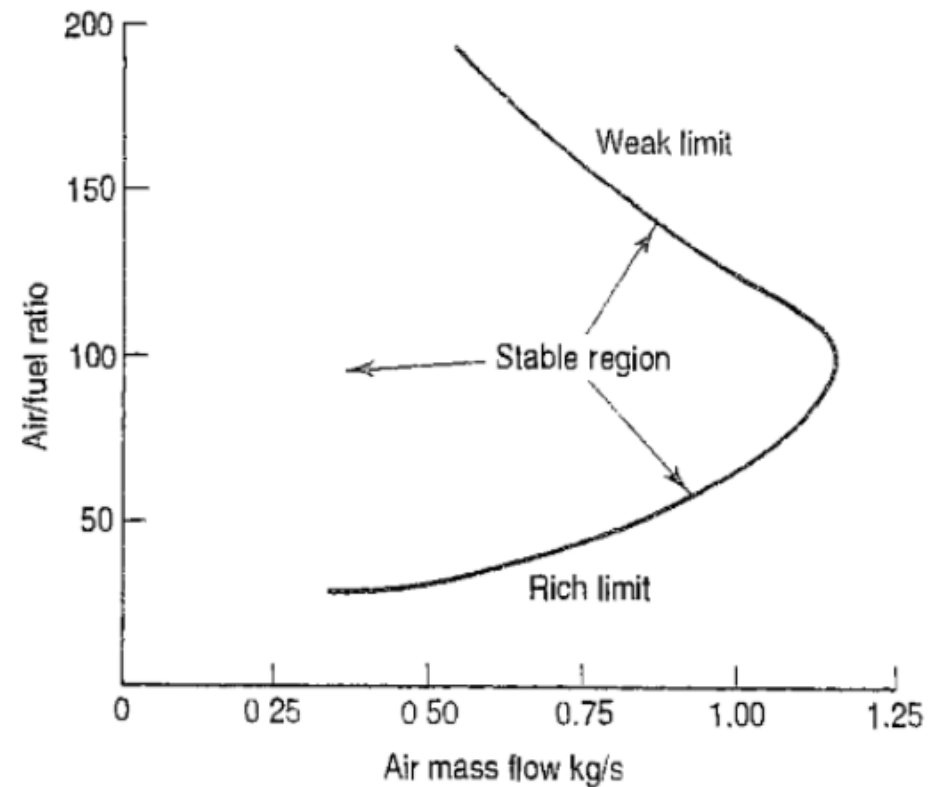
Spalovací komory spalovacích turbín

- V případě otevřeného okruhu je palivo (plynné nebo kapalné) spáleno ve vzduchu, který dodává kompresor. Elektrickou jiskrou je palivo zapáleno, pak je hoření soběstačné. Nutnost zabránit tvorbě ložisek uhlíkového koku (může poškodit turbínu).
1. Primární zóna (15 – 20 % vzduchu)
 - Takřka stechiometrické spalování (rychlé spalování a vysoká teplota)
 2. Sekundární zóna (30 % vzduchu)
 - Přesné vzduchové vstřikování na správných místech, aby nedošlo k lokálnímu ochlazení plamene.
 3. Terciální zóna (zbývající vzduch)
 - Ředící zóna – vytvoření turbulence, aby se horké a studenější proudy smíchaly pro rovnoměrnou teplotu na vstupu do turbíny.



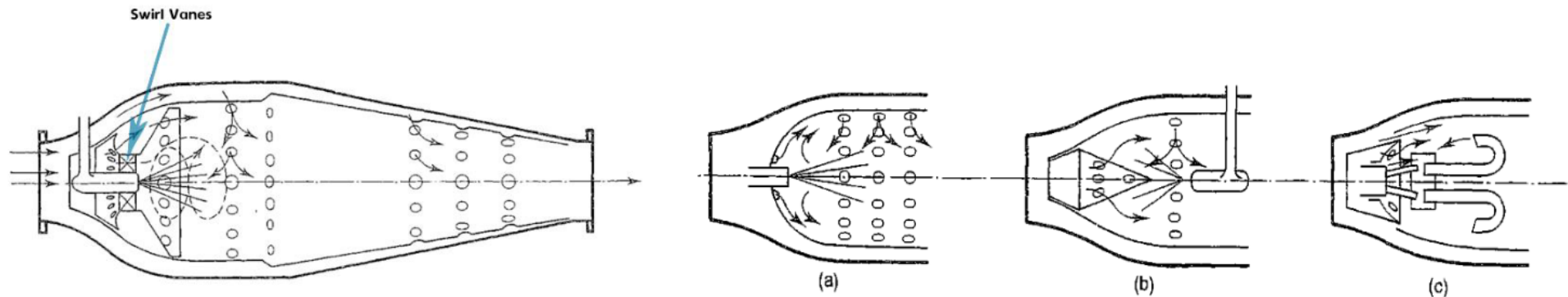
Spalovací komora – smyčka stability

- Pro každou spalovací komoru existuje bohatý a chudý limit vymezující podmínky pro stabilitu plamene.
- Smyčka stability je funkcí tlaku v komoře – pokles tlaku zužuje limity stability.
- Vyšší rychlost vzduchu snižuje možný rozsah poměrů vzduch/palivo, od určitého průtoku vzduchu už je nemožné spalování provádět.



Spalovací komora – stabilita plamene

- Zónové přivádění vzduchu je kombinované s recirkulačním prouděním, které směřuje část spalovací směsi v primární zóně zpět na přiváděné palivo a vzduch.
- Metody vytvoření recirkulačního proudění:
 - Vírové lopatky
 - Otvory pod hemisférickou přepážkou
 - Předřazená injekce
 - Systém odpařovače (vycházková hůl/trubky ve tvaru T)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Snižování emisí ve spalínách

- Tuhé škodliviny – prach obsahující toxické složky (těžké kovy, radioaktivní látky, kyanidy, azbest). Prach bez toxických látek s fibrogenním (dráždivým) nebo nedráždivým účinkem.
- Plynné škodliviny – SO_2 (je zpoplatněný), SO_3 , NO_x (NO , NO_2), CO (nedokonalé spalování), těkavé organické látky (uhlovodíky, metan apod.)
- Přístupování vůči tvorbě emisí:
 - a) Reaktivně – reakce na již vzniklý problém – koncové technologie (odlučování, odsíření, ...).
 - b) Proreaktivně – předcházení vzniku škodlivin (prevence, opatrnost, integrita).



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Odlučování

- Odlučování tuhých částic – využívané principy:
 - Gravitace, odstředivý princip (cyklon), setrvačnost, elektrický princip (elektrostatický odlučovač), difúze, ulpívání (chlupaté vlákno).
- Odlučování plynných škodlivin
 - a) Mokrý způsoby
 - Absorpce – princip pohlcování.
 - Kondenzace – teplota pod rosným bodem.
 - b) Suché způsoby
 - Adsorpce – porézní materiál, např. aktivní uhlí.
 - Biologické postupy – biofiltry a biopračky (mineralizace substrátu)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Denitrifikace – snižování NOx

- Vznik oxidů dusíku závisí na teplotě, množství spalovacího vzduchu a na době, po kterou spaliny zůstávají ve vysoké teplotě. Dělení NOx:
 - vysokoteplotní (termické) – oxidace dusíku při vysokých teplotách
 - palivové – oxidace, kterou nelze ovlivnit
 - okamžité – na hranici plamene ze spalovacího vzduchu
- Primární denitrifikace – omezení vzniku spalováním při nižší teplotě, uspořádáním ohniště k rychlému odvodu spalin, pásmováním kyslíkem (postupný přívod kyslíku) a nízkým přebytkem vzduchu.
- Sekundární denitrifikace:
 - SNCR – selektivní nekatalytická reakce (vstřikování čpavku (redukční činidlo) přímo do kotle). Malá účinnost cca 50 % + úniky čpavku do okolí.
 - SCR – selektivní katalytická reakce (spaliny se zpracovávají v katalyzátoru, což je keramická kostra napuštěná podkladem z TiO_2 a V_2O_5). Účinnost 80 %.
 - řízený trojcestný katalyzátor – u aut s benzinovým motorem, obsahují vzácné kovy.



Odsiřování

- Neregenerativní metody – jako vedlejší produkt vzniká energovápenec (stavební materiál) oxidací siřičitanu vápenatého.
 - a) Mokrý způsob – mokrá vápencová vypírka. V odsiřovacím reaktoru se spaliny sprchují vodní suspenzí s rozemletým vápencem. SO_2 se absorbuje v kapalině a ochladí se ze $130\text{ }^\circ\text{C}$ na $50 - 60\text{ }^\circ\text{C}$. Před vstupem do komína se spaliny musí opět ohřát. Účinnost cca 95 %.
 - b) Polosuchý způsob – do spalin se vstříkují absorpční kapalina s vápencem. Účinnost cca 50 %. Kombinace se suchým způsobem, účinnost cca 85 %.
 - c) Suchý způsobem – aktivní látka (vápenec) je v tuhé fázi přimíchávána k palivu.
- Regenerativní metody – aktivní látka se vrací zpět do procesu.
 - a) Welmann-Lord – Účinnost více než 90 %. SO_2 se absorbuje v roztoku siřičitanu sodného a pak se desorbují vodní parou.
 - b) Magnezitový proces – absorpce SO_2 v suspenzi MgO (oxid manganatý).



Otázky pro studenty

- Jaký je rozdíl mezi výhřevností a spalným teplem?
- Co je tepelný zdroj?
- Jakým způsobem je vytvářena pára v parním kotli?
- Co je spalovací komora spalovacích turbín?



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Děkuji za pozornost



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY