ODBORNÉ VZDĚLÁVÁNÍ ÚŘEDNÍKŮ
PRO VÝKON STÁTNÍ SPRÁVY
OCHRANY OVZDUŠÍ V ČESKÉ REPUBLICE

OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST

Spalování paliv - Kotle

Ing. Jan Andreovský Ph.D.

esf evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM
LIDSKÉ ZDROJE
A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME
VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Teoretické základy spalování**
  - Spalování
    - Spalování je fyzikálně chemický proces, při kterém je směšováno připravené palivo a okysličovadlo, sloučením tzv. hořením dojde k intenzivnímu uvolnění tepla čímž stoupne teplota směsi i spalin. Entropie roste – snížení energetického potenciálu soustavy.
    - Hoření vzniká samovolně nebo pomocí iniciace. Má charakter řetězové reakce (část spalného tepla slouží jako iniciace zápalu další směsi). Ukončení hoření nastává po vyčerpání jedné ze složek směsi nebo intenzivním odvodem tepla pod mez zápalnosti.
    - Fyzikální představa hoření je založena na doplňování neúplných sfér atomu hořlaviny na plný počet. Dochází k energeticky efektivnějšímu rozmístění elektronů a nově vzniklé molekule, která obsahuje oba původní prvky např. CO_2 . Snížení energetické úrovně elektronů při spalování znamená úsporu energie, což se projevuje uvolněním tepla – tzn. intenzitou hoření.

Kotle – Spalování

- Statika spalování
- Určení spotřeby spalovacího vzduchu a určení množství vzniklých spalin. Využití stechiometrie nebo empirických vztahů.
- Spalování dokonalé/nedokonalé
- Stechiometrie dokonalého spalování

C	+	O_2	→	CO_2	+	q_c
1 kmol		1kmol		1kmol		405 942 [kJ/kmol]
12kg		22,39 m^3_n		22,26 m^3_n		[kJ/kg]
1kg		1,8658 m^3_n		1,8555 m^3_n		33 828,5 [kJ/kg]

$2H_2$	+	O_2	→	$2H_2O$	+	q_H
2 kmol		1kmol		2kmol		572 423 [kJ/kmol]
4,032kg		22,39 m^3_n		44,8m^3_n		[kJ/kg]
1kg		5,553 m^3_n		11,111 m^3_n		141 970 [kJ/kg]

S	+	O_2	→	SO_2	+	q_s
1 kmol		1kmol		2kmol		29 655,5 [kJ/kmol]
32,06kg		22,39 m^3_n		21,89 m^3_n		[kJ/kg]
1kg		0,69838 m^3_n		0,6828 m^3_n		9 250 [kJ/kg]

- Nedokonalého spalování

  $C + ½ O_2 \rightarrow CO$

OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Dynamika spalování**
  - Proces spalování není statický, ale dochází k prolínání a návaznosti řady fyzikálních a chemických dějů.
  - Dobu hoření je možné popsat jako

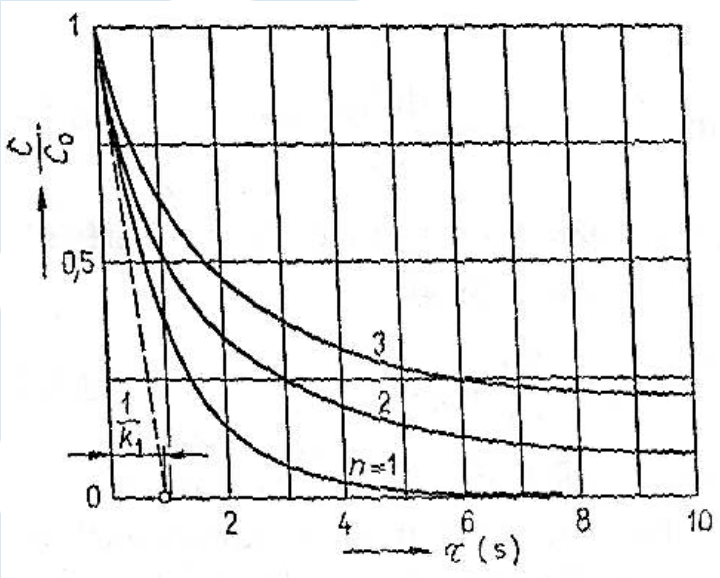
    $\tau_c = \tau_f + \tau_{ch}$
  - Pokud je $\tau_{ch} > \tau_f$ resp $\tau_{ch} \approx \tau_c$ jedná se o spalování kinetické. V opačném případě se jedná o spalování fyzikální (difúzní).
  - Dále se z hlediska dynamiky určuje spalování heterogení/homogení. Při homogením spalování jsou fáze okysličovadla paliva shodné.

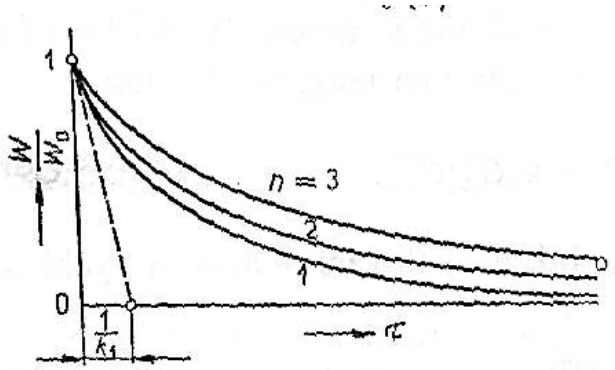
- Kinetika spalování
  - Určuje se kinetika spalovacích reakcí
  - Souvislost teplot na kinetiku spalování

esf evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Dynamika spalování**
  - Kinetika spalovacích reakcí
    - Intenzitu spalovacích reakcí charakterizuje rychlost hoření, tzn. časová změna koncentrace složek hořlaviny. Reakční složky jednotlivých složek (prvků) nejsou stejné, ale jsou závislé na počtu molekul v reakci, tedy rychlost reakce je určena v aktuálním čase závislá na součinu molekulárních koncentrací reagujících látek. Současně dochází k nárůstu koncentrace produktů spalovací reakce. Což znamená, že v případě spalovací reakce bez přísunu paliva nebo okysličovadla se rychlost zmenšuje až do ustáleného stavu. Po dostatečně dlouhé době se koncentrace produktů hoření blíží k rovnovážné koncentraci – rychlost hoření klesá až pro $\tau = \infty$ je $w = 0$.





esf evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Dynamika spalování**
  - Souvislost teplot s kinetikou spalování
    - Spalování probíhá pouze pokud je ve vzájemném styku palivo a okysličovadlo. Mimo počet střetů molekul musí být pro spalovací reakci zajištěny další podmínky – zrušení vnitřní molekulové vazby. Přetvoření molekulové vazby paliva a okysličovadla zajišťuje tzv. aktivační energie
    - Celková kinetická energie plynu (chaotického pohybu molekul) roste s rostoucí teplotou plynu v uzavřeném objemu. Na spalovací reakci se pak podílí pouze ty molekuly, které mají energii větší než je energie aktivační. Pozn. Pokud by uvedený energetické omezení nebylo platné, byla by rychlost reakce definována pouze pravděpodobností srážek molekul.
    - Reakční rychlost při spalování prudce roste s teplotou směsi a klesá s růstem aktivační energie. Největší význam má tento poznatek u nízkovýhřevných nebo nejakostních paliv, kde je vhodný předehřev spalovacího vzduchu.
    - Při spalování nastává mechanismus řetězových reakcí – dílčí reakce, převážně pomocí reakcí s potřebou nižší aktivační energie (vyšší pravděpodobnost)

esf evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Spalovací bilance, specifikace spotřeb, produkce spalin, dokonalosti a nedokonalosti spalování**
  - Spalovací bilance – vzduch (uvedeno v tzv. Normálním stavu)
  - Minimální potřeba kyslíku – výchozí

$$V_{O_2\,\min} = \frac{22{,}39}{12{,}01}C + \frac{22{,}39}{4{,}032}H_2 + \frac{22{,}39}{32{,}06}S - \frac{22{,}39}{32}O_2 \quad (\mathrm{m^3/kg})$$

$V_{O_2\,min} = 1.8658\ C + 5{,}553\ H_2 + 0{,}69838\ S - 0{,}6997\ O_2 \quad [m^3/kg]$

  - Minimální spotřeba vzduchu – výchozí

$$V_{vs\,\min} = \frac{100}{21}V_{O_2\,\min} = 4{,}7616V_{O_2\,\min} \quad (\mathrm{m^3/kg})$$

  - Spotřeba vzduchu vlhkého – praktické navýšení v rozsahu 1 až 5%

$$V_{vv\ min} = \chi_v V_{vsmin} \quad (\mathrm{m^3\ kg^{-1}}).$$

  - Koncentrace vodní páry je závislá na teplotě a je určena tlakem a relativní vlhkostí

$$\chi_v = 1 + \frac{\varphi}{100}\,\frac{p''}{p_c - \frac{\varphi}{100}p''}$$

esf evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Spalovací bilance, specifikace spotřeb, produkce spalin, dokonalosti a nedokonalosti spalování**
  - Spalovací bilance – vzduchy – Skutečná dodávka vzduchu do spalovacího procesu je vždy větší, neboť nelze v reálném provozu zajistit styk všech molekul O_2 s palivem. Pracuje se tedy s určitým větším množstvím vzduchu, který je definován součinitelem přebytku vzduchu α.

$$\alpha = \frac{V_{vv}}{V_{vv\,\min}} \quad resp \quad \frac{V_{vs}}{V_{vs\,\min}}$$

  - V praxi je hodnota přebytku vzduchu tvořena dvěma příspěvky. První je přebytek vzduchu záměrně přidávaný do spalovacího procesu α_o, druhý je příspěvek tzv. falešného vzduchu $\Delta\alpha$ tzn. přisátí vzduchu (podtlak kotle), který se nepodílí na spalování.

$$\alpha = \alpha_o + \Delta\alpha$$

  - Skutečná hodnota přebytku vzduchu α je závislá na konstrukčním provedení kotle (tedy výrobci) a na aktuálním stavu provozovaného zařízení (případně zkušenostech provozovatele). Typický rozsah hodnot α_o je uveden v tabulce

Ohniště	**α_o**	**Ohniště**	**α_o**
Roštové	1.25 – 1.5	Fluidní stacionární	1.15 – 1.45
Práškové – výtavné	1.15	Cirkofluidní	1.05 – 1.4
Práškové – granulační	1.2	Kapalná paliva	1.02 – 1.15
Cyklónová	1.05 – 1,15	Plynná paliva	1.02 – 1.1

Pozn: Fluidní vrstva umožňuje i $\alpha_0 < 1$

esf evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Spalovací bilance, specifikace spotřeb, produkce spalin, dokonalosti a nedokonalosti spalování**
  - Spalovací bilance – minimální produkce spalin
    - CO_2 z uhlíku hořlaviny a ze spal. vzduchu
    - SO_2 ze síry v hořlavině
    - N_2 z hořlaviny a spal. vzduchu
    - Ar ze spal. Vzduchu
    - H_2O z hořlaviny, z vlhkosti paliva, z vlhkosti spal. Vzduchu
    - Z části dusíku v hořlavině paliva a vzduchu vznikají oxidy NO_x (NO a NO_2), které se v základních bilancích zanedbávají. Oxidy dusíku budou diskutovány dále.
    - Minimální objem suchých spalin

$$V_{ss\,\min} = V_{co_2} + V_{so_2} + V_{N_2} + V_{Ar} \quad [\mathrm{m^3/kg}]$$

$$V_{ss\,\min} = \overbrace{\frac{22{,}27}{12{,}01} C + 0{,}0003 V_{vs\,\min}}^{V_{co_2}} + \overbrace{\frac{21{,}89}{32{,}06} S}^{V_{So_2}} + \overbrace{\frac{22{,}4}{28{,}013} N_2 + 0{,}7805 V_{vs\,\min}}^{V_{N2}} + \overbrace{0.0092 V_{vs\,\min}}^{V_{Ar}} \quad [\mathrm{m^3/kg}]$$

    - Minimální objem vlhkých spalin

$$V_{vs} = V_{ss} + V_{H_2O} \quad [\mathrm{m^3/kg}]$$

$$V_{H_2O} = \overbrace{\frac{44{,}81}{4{,}032} H_2}^{z\ H\ hoř.} + \overbrace{\frac{22{,}41}{18{,}015} W}^{z\ uhli} + \overbrace{(\chi_V - 1) V_{vs\,\min}}^{\text{ze vzduchu}} \quad [\mathrm{m^3/kg}]$$

esf evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Spalovací bilance, specifikace spotřeb, produkce spalin, dokonalosti a nedokonalosti spalování**
  - Spalovací bilance – minimální produkce spalin
    - Objemové koncentrace jednotlivých spalin dosahují nejvyšší koncentrace pro dokonalé spalování (α = 1) a pro suché spaliny. Stav vyhodnocení suchých spalin je zajištěn analyzátorem (chladnička analyzátoru). Sjednocení porovnávacích hodnot koncentrace je zajištěno tzv. Normálním stavem a referenční hodnotou kyslíku.

  - Nedokonalé spalování (tuhé a kapalné)

$$C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO + q_{co}$$

$$1\,mol\,C + \frac{1}{2}\,mol\,O_2 = 1\,mol\,CO$$

$$12{,}01\ \text{kg} + 11{,}195\,\text{m}^3 = 22{,}4\ \text{m}^3$$

$$1\,\text{C kg} + 0{,}932\,\text{m}^3\text{O}_2 = 1{,}8651\ \text{m}^3\text{CO}\ \ + 10\,334\,\text{kJ/kg}$$

esf evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Spalovací bilance, specifikace spotřeb, produkce spalin, dokonalosti a nedokonalosti spalování**
  - Nedokonalé spalování – je sledováno na uhlíku C který shoří částí a na CO_2, části b která shoří pouze na CO a části c která neshoří vůbec.

  tedy

  a + b + c = 1 [kg/kg]

  - Úbytek CO_2 oproti dokonalému spalování je

$$\Delta V_{CO_2} = 1{,}8555(b + c)C = V_{CO_2} - V^{NED}{}_{CO_2} \quad [m^3/kg]$$

  - Vzniklé objemy CO a CO_2 jsou

$$V_{CO} = 1{,}8651bC \quad [m^3/kg]$$

$$V_{CO_2} = 1{,}8555aC + 0{,}0003\, V^{NED}_{vs\,min} \quad [m^3/kg]$$

  - Následně je možné ze vzniklých objemů určit objemové koncentrace nedokonalého spalování.Pro nedokonalé spalování je zapotřebí poloviční množství O_2, tzn. část c nepotřebuje žádný kyslík u části b je spotřeba poloviční. Tepelný efekt z reakce je cca třetinový oproti dokonalému spalování.

$$V^{NED}_{ss\,min} = V_{ss\,min} - \Delta V_{CO2} + V_{CO} \quad [m^3/kg]$$

esf evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Charakteristiky jakosti spalování**
  - Jakost spalování paliv je kontrolována stanovením a sledováním koncentračních složek spalin
    - CO_2, CO,O, případně H_2 a CxHy, NO_x .
    - Určením sazového čísla kapalných paliv
    - Stanovením tuhé hořlaviny ve škváře, strusce, popílku.
  - Tvorba a výpočet koncentrace emisí CO, CO_2 SO_2 jsou uvedeny výše.
  - Výpočet koncentrace NO_X je závislá na mnoha faktorech, jako je např. obsah dusíkatých látek v palivu, teploty spalování, doba trvání reakce (respektive poměrná výška kotle), koncentrace kyslíku v zóně plamene, atd. Dle typu vzniku se dělí na termické, palivové a rychlé.
  - Orientační hodnoty výpočtu Nox jsou:

$$O_2[\%].100 = c_{NO_2} \quad [mg/m^3]$$

$$NO_{2\max} = \frac{3{,}3N^r}{V_{SS}}.\rho_{SS}.10^6 \left[mg/m^3\right]$$

$$NO = \left(7.10^{-5}.K.(cO_2)^2.\sqrt[3]{T-1025}\right).NO_{2\max} \quad [mg/m^3]$$

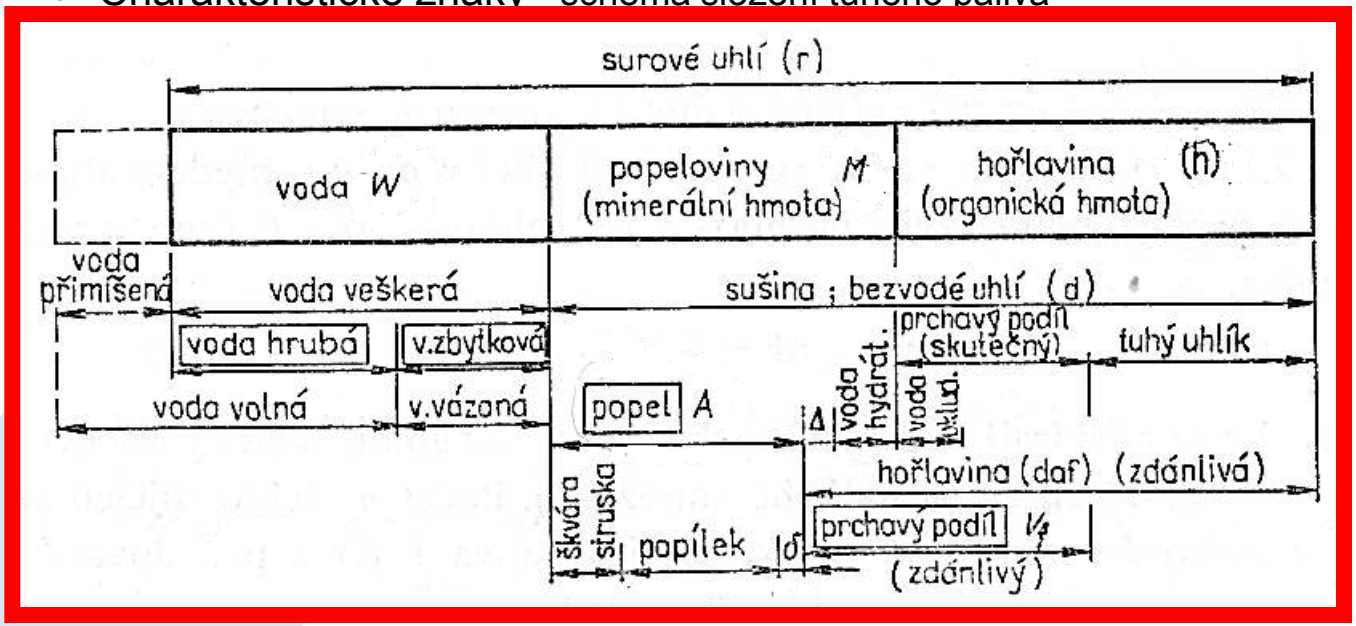
kde K se pohybuje pro české H.U. 4 až 6

  - Pro určení koncentrací emisí je možné využít rámcové výpočty (uvedeno výše) nebo pokročilé numerické simulace. Přesto veškeré výpočty je nutné brát jako metody, které využívají určitých zjednodušení a okrajových podmínek. Numerické simulace mohou poskytnout vhodné pojítko mezi realitou a fyzikální interpretací problému a nastínit cestu pro řešení v průmyslovém využití. Přesto rozhodující je vždy změřený (dosažený) údaj na reálném zařízení. Velmi vhodným pomocníkem jsou v tomto případě dokumenty BREF a BAT, které vycházejí z již skutečných ověřených údajů a při shodě hlavních typových znaků spalovacího zařízení poskytují nejobjektivnější náhled na rozsah dosahovaných emisních koncentrací.

esf evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Základy spalování fosilních paliv**
  - Charakteristické znaky - schéma složení tuhého paliva



  - Stavy paliva
  - r – původní, d – bezvodný (sušina), h – hořlavina, daf – hořlavina zdánlivá
  - Přepočty stavů

$$stav\ r = stav\ \text{daf} \,.\, \frac{(100 - W_t^r - A^r)}{100} [\%]$$

$$stav\ r = stav\ \text{d} \,.\, \frac{(100 - W_t^r)}{100} [\%]$$

OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

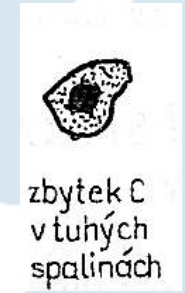
Kotle – Spalování

- **Základy spalování fosilních paliv**
- Charakteristické znaky
  - **Spalné teplo** Q_n^r [kJ/kg] – teplo uvolněné dokonalým spálením vzorku paliva a zchlazením spalin na původní teplotu, přičemž veškerá voda obsažená v analytickém vzorku zůstane v kapalné fázi a zároveň zkondenzuje vodní pára vzniklá spálením vodíku obsaženého v hořlavině.
  - **Výhřevnost** Q_i^r [kJ/kg] - teplo uvolněné dokonalým spálením vzorku paliva a zchlazením spalin na původní teplotu, přičemž veškerá voda obsažená v analytickém vzorku s spáleného vodíku zůstane v plynné fázi. Jedná se o spalné teplo bez výparného tepla vody z paliva a spáleného vodíku
  - **Hořlavina** – suma všech spalitelných látek, dělí se na prchavou a tuhou. Tuhá má konstantní výhřevnost, prchavá proměnnou výhřevnost.
  - **Popelovina** – chemicky vázané minerály, po spálení popel (nižší hmotnost než popelovina). Charakteristiky popela jsou stanoveny normou – test na předepsaných tvarech – teplota deformace (zakulacení špiček), teplota měknutí (podstava = výšce), teplota tání (podstava = dvě výšky), teplota tečení (podstava je min 3x větší než délka).
  - **Voda** – přimíšená, hrubá, zbytková, celková atd. Z hlediska praxe největší problémy způsobeny volnou (přimíšená a hrubá) – lepivosti, špatné sypné úhly.
  - **Síra** – několik druhů, energetický přínos, negativní vlastnosti z hlediska SO_2, koroze, struskování.
  - **Zrnitost uhlí** – granulometrické křivky – spalování.
  - **Samovznětlivost** – charakter. samovznícení
  - **Melitelnost** – dělitelnost za působení mechanických sil
  - **Další**

esf evropský sociální fond v ČR
EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Základy spalování fosilních paliv**
  - Hlavní zákonitosti a průběhy hoření tuhého paliva
    - Uvolnění vody ve formě páry z povrchu zrna a z pórů
    - Uvolnění prchavé hořlaviny – nejdříve lehké uhlovodíky posléze těžké.
    - Po dosažení zápalné teploty dojde ke vznícení uhlovodíků, mimo povrch zrna v prostoru ohniště.
    - Nakonec se vzněcuje tuhý uhlík, který se spaluje od povrchu a v pórech směrem k jádru (heterogenní spalování). Zrno mění svůj rozměr a povrch.
    - Při hoření dochází k sušení, odplyňování, rozkladu plynů a popelovin, přenosu tepla, vlastnímu hoření, transportu kyslíku a spalin a to jak za sebou tak současně. Především existence popelovin a prchavé hořlaviny je určujícím znakem pro chování paliva.
    - Prchavá hořlavina urychluje vzněcování (300°C) a zároveň zvětšuje povrch a tloušťku fronty spalování (vyplnění plamenem)
    - Voda zpomaluje hoření (odpar a látková výměna O_2)
    - Popelovina brzdí hoření – zmenšení povrchu, struska
    - Intenzita látkové výměny je určena rozměrem zrna, hlavní vliv především zrna pod 0,2mm – vysoký měrný povrch, snadný zápal, přenos, homogenita směsi atd.
    - Hoření uhlíku a prchavé hořlaviny se v určitou dobu překrývají, při dohořívání prchavé hořlaviny dojde k poklesu hoření uhlíku. Hoření vykazuje dvě maxima – max. prchavé hořlaviny a maximum tuhé hořlaviny



OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Základy spalování kapalných paliv**
  - Heterogenní spalování kapalných paliv je především závislé na
    - rozměr kapek
    - dokonalosti rozprášení, tzn. zvětšení reaktivního povrchu
    - ohřev a odpar,
    - uvolnění a vznícení prchavé hořlaviny,
    - stabilitě hoření a načasování zápalu
  - Představa hoření kapalného paliva má hlavní průběhy a zákonitosti
    - rozměr kapičky se z původního rozměru zmenšuje
    - dochází k uvolňování prchavé hořlaviny a par paliva, postupují směrem k frontě hoření (na kraj)
    - průchod je přes krakovací zónu
    - nejvyšší teplota je na frontě hoření (na kraji)
    - čas spalování je složen z ohřevu a odparu, uvolnění hořlaviny a vznícení, vlastního hoření.
  - Vznik sazí v krakovací zóně, pro vyhoření, důležitý je transport kyslíku do zón hoření. Redukční pochody vytvářejí směsi CO_2 a CO, vzájemný poměr je závislý na teplotě směsi (800 až 1500°C). S rostoucí teplotou roste CO a CO_2 klesá, v blízkosti nevyhořelého uhlíku není prakticky žádné CO_2.
  - Využití dynamických jevů proudění pro ohřev směsi (recirkulační víry).

esf evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Základy spalování uhlovodíků**
  - Přístup k základní spalovací bilanci plynných paliv (dokonalé i nedokonalé) je obdobný výše uvedeným schématům pro tuhá paliva. Rozdílné je složení paliva a tím i spotřeby vzduchů a produkce spalin. Plynná paliva obvykle obsahují hořlavé složky H_2, CO C_xH_y a nehořlavé CO_2, Ar, H_2O,N_2,O_2. Dokonalost (nedokonalost) spalování je určena opět podíly které shořely dokonale, nedokonale a neshořely vůbec.
  - Rozklad CH_4 již při 300°C, při teplotě 900°C je v rozloženo cca 97% , pyrolýzní proces bez O_2.
  - Vznik malých částic cca 0,3μm tj. atomární uhlí – sazí. Tvoří se shluky a žlutý plamen, který vykazuje vysokou sálavost.
  - Spalování sazí je heterogenní záležitost (na povrchu) v několika fázích.
  - Pro správné vyhoření sazí je nutnost zajištění:
    - teploty cca 900°C, při poklesu pod 850°C již většinou nedojde k opětovnému zápalu sazí a odcházejí se spalinami.
    - víření směsi
    - vícemístné přívody vzduchu a paliva
    - směrování proudu, deflektory, vířící desky

esf evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz

Kotle – Spalování

- **Důležité typy druhotných paliv a vlastnosti ovlivňující průběh spalování**
  - Druhotná paliva jsou paliva vzniklé jako druhotný produkt jiné výrobní a spotřebitelské činnosti, např. průmysl, komunální odpad, kaly, druhotné produkty ze zemědělské a zpracovatelské činnosti.
  - Jako druhotné palivo je možné považovat i cíleně pěstovaný obnovitelný zdroj pro energetické využití z hlediska svých specifických vlastností.
  - Vybrané problémové oddíly druhotných paliv:
    - Vysoká proměnnost kvality a složení (např. odpady)
    - Vysoké proměnnost kvality z hlediska působení povětrnostních podmínek (biomasa)
    - Obsah obtížně odbouratelných a nebezpečných látek (kaly, odpady)
    - Vysoký obsah látek snižující životnost zařízení (odpady, biomasa)

Alter. palivo	Q_i^n [MJ/kg]	Voda [%]	Popel [%]	V^{daf} [%]
Dřev. odpad	7 - 15	5 - 60	do 5	70 – 85
Papír. odpad	14 -15	8	1	70
PVC odpad	19	X	1	50
Pryžové odpady	14	X	63	36
Kožené odřezky	18	14	5	58
Pneumatiky	36	X	7	X
Rašelina	5 - 20	6 - 60	5-15	50-60
Agro odpad	13 - 16	5	5	70

esf evropský sociální fond v ČR EVROPSKÁ UNIE
OPERAČNÍ PROGRAM LIDSKÉ ZDROJE A ZAMĚSTNANOST
PODPORUJEME VAŠI BUDOUCNOST
www.esfcr.cz