

PALIVA A JEJICH SPALOVÁNÍ

1

ENERGIE

Pro výrobu elektřiny a dodávky tepla jsou využívány především tyto formy energie:

- primární energetické zdroje, zejména pak:
 - chemicky vázaná energie fosilních paliv jako je:
 - uhlí
 - uhlovodíková paliva, ropa a zemní plyn
 - jaderná energie
- obnovitelné zdroje energie – z těchto je z hlediska tepelné energetiky zajímavá
 - biomasa
 - solární energie
- energie získaná z tzv. „Druhotných energetických zdrojů“ (DEZ)
 - palivové DEZ
 - tepelné DEZ,

2

Fosilní paliva

Fosilními palivy označujeme všechny látky, které nejspíše vznikly v době třetihor z biomasy či organismů a které při slučování s kyslíkem uvolňují tepelnou energii.

Mohou mít skupenství

- > tuhé (uhlí),
- > kapalné (ropa)
- > plynné (zemní plyn)

Fosilní (přírodní) paliva jsou základem pro výrobu paliv umělých, tzn. koksu, topného oleje, syngasu nebo zkapalněných plynů.

3

Přírodní a umělá paliva

Stav přírodního paliva	Přírodní palivo	Umělá paliva
pevné	uhlí, rašelina	koks, brikety, uhlíkový prášek
kapalné	ropa	všechny destilační produkty z ropy a zkapalněného uhlí
plynné	zemní plyn, plyn z ropného nadloží, důlní plyn	plyny vzniklé odplyněním (koksárenský), zplyněním (svítiplyn, generátorový plyn) a při destilaci plynu (kapalné plyny - propan, butan)

4

BIOMASA

Obnovitelné palivo

Rozeznáváme především

- zbytkovou (odpadní) biomasu
 - dřevní odpady z lesního hospodářství - štěpka
 - odpady z celulózopapírenského, dřevařského a nábytkářského průmyslu
 - rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny
 - komunální bioodpad
 - odpady z potravinářského průmyslu
- cíleně pěstovanou biomasu
 - energetické byliny
 - rychlerostoucí dřeviny



Energetické byliny

Druh rostlin	Termín seti	Termín sklizně	Výnos suché hmoty v t/ha
Třítikale	25. 9. – 10. 10.	VII, VIII	10–12
Komonice bílá	IV–V	(VIII), IX	12–15
Slunečnice topinambur	V	IX (X, XI)	8–10
Šťovík krmný	V–VII	VII, (VIII)	15–25
Chrstice-lesknice rákosovitá	podzim (brzy z jara)	VI, VII	9–10 (15)
Kostřava rákosovitá	III, IV	VII	8–14



Rychlerostoucí dřeviny

Vrby a topoly

- vysoká produkce dřeva v první dekádě růstu
- 10 t (suš.)/ha/rok = 180 GJ/ha/rok
- rychlý výškový růst (1 - 3 m/rok)
- snadné a levné rozmnožování
- pařezová výmladnost



Složení paliv

Každé palivo se skládá z

- hořlaviny
- přítěže = balastu

Hořlavina = část, jejímž oxidačním se uvolňuje teplo chemicky vázané v palivu. Skládá se z

- aktivních látek, jejichž spalováním vzniká teplo
 - uhlíku (C),
 - vodíku (H)
 - síry (S),
- z pasivních látek, které teplo nedodávají, ale jsou vázány chemicky na uhlovodíky
 - kyslíku (O)
 - dusíku (N)

8

Přítěž (balast)

- u paliv tuhých a kapalných
 - popeloviny
 - voda
- u plyných paliv
 - obsah vodní páry
 - nehořlavých plynů.
- hlavními složkami popelovin jsou minerální látky
 - jílové minerály (Al_2O_3 , $2SiO_2 \cdot 2H_2O$),
 - karbonáty ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $FeCO_3$),
 - sulfidy (FeS_2),
 - sulfáty (např. $MgSO_4$, Na_2SO_4),
 - oxidy (SiO_2 , Fe_2O_3)
 - chloridy alkalických kovů (KCl, NaCl) a další.

9

Jednotkové množství paliv

Pro jednotlivé druhy paliv je jednotkovým množstvím paliva

1 kg pro pevná a kapalná paliva

1 Nm³ pro plyná paliva = normální metr krychlový
platí pro 0 °C a 101,325 kPa

Nm³ je základní objemovou jednotkou též pro určování objemů spalin a vzduchu – viz dále

10

Vlastnosti tuhých paliv

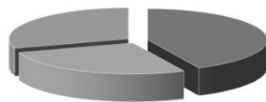
Složení – uvádí se hmotnostním podílem základních složek

- hořlaviny h^r
- popela A^r
- vody W^r

platí

$$h^r + A^r + W^r = 1 \text{ resp. } h^r + A^r + W^r = 100\%$$

Složení paliva se určuje hrubým rozбором analytického vzorku



11

Hrubý rozbor tuhého paliva

- složení a tedy i jakost tuhých paliv je proměnlivá
- pro zajištění jednotných vlastností musí být tuhé palivo před spalováním rozměrově i kvalitativně homogenizováno
- kvalita dodávky a složení paliva se stanovuje hrubým rozбором odebraných reprezentativních vzorků

Vzorkování

- při odběru vzorku musí být zachovány všechny důležité charakteristiky původního paliva
- ČSN ISO 5069-1,2 Hnědá uhlí a lignity – zásady vzorkování
- ČSN EN ISO 18135 – Tuhá biopaliva – Vzorkování
 - předepisuje především způsob odběru dílčích vzorků z různých dopravních prostředků i skládek
 - způsob úpravy hrubého vzorku na vzorek laboratorní, popř. analytický

12

Úprava vzorků

- vždy se odebírá více vzorků
 - z různých míst skládky nebo dopravního prostředku
 - ve zvolených intervalech z kontinuálního dopravníku
- souhrn všech odebraných dílčích vzorků dává tzv. hrubý vzorek
- hrubý vzorek se upravuje na analytický vzorek podle ČSN 44 1304 - Metody odběru a úpravy vzorků pro laboratorní zkoušení
- cílem hrubého rozboru je stanovení obsahu vody, popela a hořlaviny
- prvkové složení hořlaviny se určuje analytickým rozbořem – viz dále

13

Poměrný obsah vody W

Voda je v palivu nebo na palivo vázána různými způsoby

- **Přimíšená voda**
 - dá se z paliva odstranit mechanicky - odkapáním nebo odstředěním
 - nepovažuje se za část původního paliva
- **Hrubá voda** se zjistí z úbytku hmotnosti vzorku jeho sušením na vzduchu při teplotě místnosti a relativní vlhkosti vzduchu asi 50 %.
- **Zbylá voda**
 - je kapilárně vázaná voda, která zůstane ve vzorku po odstranění vody hrubé
 - zjistí se z úbytku hmotnosti laboratorního vzorku (vzorek bez hrubé vody se změní pod 3 mm) jeho sušením ve vzdušné sušárně při teplotě 105 až 110 °C.
- **Veškerá voda** je pojem označující součet hrubé a zbylé vody (zpravidla se uvádí v technických rozbořech)

14

Poměrný obsah vody W

Okludovaná voda

- je nepatrné množství vody adsorbované na hořlavinu paliva
- při rozboru se zahrnuje do prchavé hořlaviny.

Hydrátová voda

- je krystalová voda minerálů
- počítá se k popelovinám.

15

Poměrný obsah popela A

Popel je zbytek po žhání vzorku paliva.

- laboratorně se poměrné množství popela v palivu zjistí z úbytku hmotnosti analytického vzorku oxidací při teplotě 815 ± 25 °C
- vzorek v otevřeném kelímku se zahřívá v elektrické muflové peci způsobem předepsaným normou ČSN ISO 5071-1
- popel není totožný s popelovinami M = minerální část surového paliva
- Při spalování se jednotlivé složky popelovin mění
 - vypařuje se hydrátová voda
 - kalcinací uhlíčanů se odštěpuje CO_2 ,
 - při pražení pyritů se odštěpuje SO_2
 - oxiduje Fe atd.
- v konečné hmotnostní bilanci je zpravidla hmotnost popela A menší než hmotnost popelovin M
- poměr $M/A = f$ se nazývá **popelový faktor**
- u domácích uhlí bývá $f = 1,03$ až 1,10.

16

Poměrný obsah hořlaviny h

- určuje se pouze početně jako doplněk součtu poměrného obsahu veškeré vody a popela na 100 %

$$h = 1 - (W + A)$$

- u paliv s větším obsahem popela (přibližně $A \geq 10$ %) je nutno respektovat vliv popelového faktoru, obsah hořlaviny h je pouze zdánlivý, skutečný obsah hořlaviny bude

$$h' = h - A \cdot (1 - f)$$

neboli

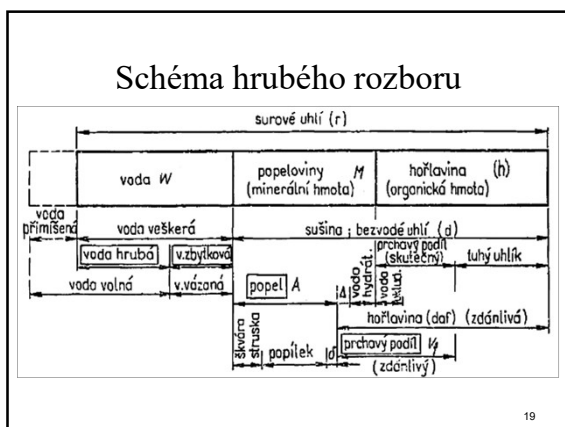
$$h' = 100 - (W + M)$$

17

Prchavá hořlavina V

- z hlediska spalování je významné rozdělení hořlaviny na tuhý a prchavý podíl
- poměr obou složek záleží na stáří paliva, u fosilních tuhých paliv charakterizuje stupeň prouhelnění
- prchavý podíl se stanoví z úbytku hmotnosti analytického vzorku (zrnění pod 0,2 mm) po 7 minutách žhání v uzavřeném kelímku při teplotě 850 ± 15 °C
- zbývající část hořlaviny tvoří neprchavý organický zbytek - v podstatě pouze tuhý uhlík (koks), jehož výhřevnost je konstantní (zhruba 33,9 MJ/kg)
- výhřevnost prchavé hořlaviny je značně proměnlivá v závislosti na stupni prouhelnění (v mezích asi 56 MJ/kg u černého žírného uhlí, až 20 MJ/kg u lignitů)
- množství a výhřevnost prchavé hořlaviny mají rozhodující vliv na reaktivitu paliva (rychlost jeho vzněcování a vyhořívání).

18



Výhřevnost a spalné teplo

Výhřevnost paliva Q_i [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{kJ}\cdot\text{Nm}^{-3}$, $\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$ nebo $\text{kWh}\cdot\text{Nm}^{-3}$] je množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením 1 kg (1 Nm^3) paliva při ochlazení spalin na standardní výchozí teplotu 20°C , přičemž vzniklá vodní pára nezkondenzuje.

Spalné teplo Q_s [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, atd.] je celkové latentní chemicky vázané teplo v palivu vztažené ke 20°C včetně kondenzačního tepla vodní páry ve spalinách z paliva.

Vztah mezi spalným teplem a výhřevností je

$$Q_i = Q_s - 2453 \cdot (W + 8,94 \cdot H) \quad [\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}]$$

W je obsah vody v palivu [$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$]
 H je obsah vodíku v palivu [$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$]
 2453 je měrné skupenské teplo vodní páry [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]

Značení

Analytické ukazatele tuhých paliv se označují

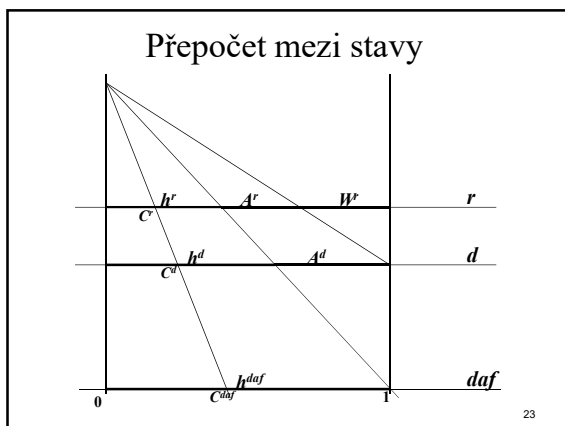
- základním symbolem - vyjadřuje určitou charakteristiku nebo vlastnost paliva (např.: W - obsah vody, Q - chemicky vázané teplo, aj.),
- dolním indexem - doplňuje a blíže specifikuje základní symbol (např. W_r - veškerá voda, W_M - hydrátová voda, atd.),
- horním indexem - udává stav paliva, na který je daná charakteristika nebo vlastnost vztažena (např. W^r - voda v původním stavu, atd.)
- výsledky analýz a spalné teplo se přepočítávají na různý stav tak, že se vynásobí faktorem podle tabulky

Základní stavy tuhého paliva

- původní r $h^r + A^r + W^r = 1$
- sušina d (s) $h^d + A^d = 1$
- hořlavina daf (h)

hořlavina se skládá z

- uhlíku C^{daf}
- vodíku H^{daf}
- síry S^{daf} $C^{daf} + H^{daf} + S^{daf} + N^{daf} + O^{daf} = 1$
- dusíku N^{daf}
- kyslíku O^{daf}



Přepočet výsledků rozboru na různé stavy paliva

Faktor pro přepočet na	původní stav r	analytický vzorek a	bezvodé palivo d	hořlavina (zdánlivou) daf	organickou hmotu (skutečnou hořlavinu) o
Přepočet z	r	a	d	daf	o
původního stavu	1	$\frac{1-W^r}{1-W^a}$	$\frac{1}{1-W^d}$	$\frac{1}{1-W^{daf}-A^d}$	$\frac{1}{1-W^o-M^o}$
analytického vzorku	$\frac{1-W^r}{1-W^a}$	1	$\frac{1}{1-W^d}$	$\frac{1}{1-W^{daf}-A^d}$	$\frac{1}{1-W^o-M^o}$
bezvodého paliva	$1-W^r$	$1-W^a$	1	$\frac{1}{1-A^d}$	$\frac{1}{1-M^o}$
hořlaviny (zdánlivé)	$1-W^r-A^r$	$1-W^a-A^a$	$1-A^d$	1	$\frac{1-A^o}{1-M^o}$
organické hmoty (skutečné hořlaviny)	$1-W^r-M^r$	$1-W^a-M^a$	$1-M^d$	$\frac{1-M^{daf}}{1-A^d}$	1

Prepočty výhřevnosti

$$Q_i^r = Q_s^r - 2453 \cdot (W_i^r + 8,94 \cdot H^r)$$

$$Q_i^a = Q_s^a - 2453 \cdot (W_i^a + 8,94 \cdot H^a)$$

$$Q_i^d = Q_s^d - 21930 \cdot H^d \quad [kJ / kg]$$

$$Q_i^{daf} = Q_s^{daf} - 21930 \cdot H^{daf}$$

$$Q_i^o = Q_s^o - 21930 \cdot H^o$$

Částečným vysušením paliva se obsah veškeré vody sníží z hodnoty W_1 na hodnotu W_2 , a tím se zvýší výhřevnost

$$Q_{i2}^r = Q_{i1}^r \cdot \frac{1 - W_{r2}}{1 - W_{r1}} + 2453 \cdot \frac{W_{r1} - W_{r2}}{1 - W_{r1}} \quad [kJ / kg]$$

25

Prvkové složení hořlaviny tuhých paliv

- organická hmota fosilních tuhých paliv pochází hlavně z pravěkých rostlin
- C, H a O tvoří 95 až 98 % hořlaviny
- poměr C/O roste se stářím (se stupněm prouhelnatění) paliva
- obsah N a S pocházejících z bílkovin rostlinného původu nebo mikroorganismů je nepatrný, přesto významný
- podle prvkového složení lze hořlavinu popsat vztahem

$$h^{daf} = \frac{h}{1 - A - W} = C^{daf} + H^{daf} + S^{daf} + N^{daf} + O^{daf} = 1$$

kde jsou

$C^{daf}, H^{daf}, S^{daf}, N^{daf}, O^{daf}$ hm. podíly prvků v hořlavině [kg/kg]

- zastoupení jednotlivých prvků se určuje analytickým rozбором

26

Vlastnosti hořlaviny tuhých paliv

PALIVO		Složení hořlaviny				Spalné teplo	Typ planene
Druh	Popis	$V^{daf}[\%]$	$C^{daf}[\%]$	$H^{daf}[\%]$	$O^{daf}[\%]$	$Q_s^{daf} [kJ kg^{-1}]$	
Dřevo	na otop	cca 85	40-50	6,0-5,0	45-30	21800	dlouhý-svitivý
Rašelina	sušená	cca 60	35-50	6,2-3,5	35-20	20400	dlouhý-svitivý
Lignit	hodonin	cca 55	50-60	6,0-5,0	30-20	26500	dlouhý-svitivý
Hnědé	severočes.	53-54	74-69	6,0-5,9	24-19	31700-28400	dlouhý-svitivý
Černé	karvinské	39-32	81-85	5,8-5,6	14-10	35800-33000	dlouhý a silně svitivý
Antraцит	OKD	10-16	90-91	4,0-3,7	6,0-4,5	36600-35600	krátký a málo svitivý

27

Fyzikální a chemické vlastnosti uhlí

Hustota ρ (kg/m^3) nebo (t/m^3) – závisí jednak na poměrném obsahu vody, popelovin a organické hmoty, jednak na chemickém složení hořlaviny (prouhelnatění).

Sypná hmotnost ρ_{syp} (t/m^3), je hmotnost objemové jednotky volně sypaného paliva; závisí především na hustotě ρ , ale také na zrnění

Zrnění - uhlí se třídí na zrna určité velikosti (resp. rozmezí velikosti). Třídy zrnění uhlí jsou uvedeny v tabulce.

Melitelnost - vyjadřuje poměr mlcei práce potřebné k rozemletí daného (zkoušeného) paliva a mlcei práce potřebné k rozemletí paliva standardního (etalonového, porovnávacího). Metody stanovení melitelnosti nejsou dosud normovány; používá se

- metoda podle Vsesvazového tepelnětechnického institutu VTI
- metoda podle Hardgrovea
- metoda podle VÚK

28

Zrnění tříděného uhlí a koks

UHLÍ			KOKS		
Zn.	Třída	Rozměr [mm]	Zn.	Třída	Rozměr [mm]
Hnědé uhlí					
ko	kostka	40 - 100	SLK1	slévarenský koks 1	nad 80
h	pecka	20 - 100	SLK2	slévarenský koks 2	60-100
o1	orech 1	20 - 40	VK 1	vysokepecní koks 1	40-90
o2	orech 2	10 - 20	VK 2	vysokepecní koks 2	40-90
o3	orech 3	10 - 16	VK 3	vysokepecní koks 3	25-90
d1	drobné 1	0 - 40		otopová směs	40-100
d2	drobné 2	0 - 20		kostka	60-80
d3	drobné 3	0 - 16		orech 1	40-60
hp	hruboprach	0 - 10		orech 2	20-40
ts	topná směs	0 - 40		hrášek	10-20
ps	průmyslová směs	0 - 40		prach	0-10
Černé uhlí					
	kusy	50 - 200		karbonkoks	20-80
	kostka	50 - 80			
	orechůl	30 - 50			
	ETP	30 - 80			
	orišek	10 - 30			
	hrášek	10 - 18			
	topná směs	0 - 10(30)			
	prach	0 - 3 (6)			
	proplástek	0 - 30			

Fyzikální a chemické vlastnosti uhlí

Teplota vznětu – je důležitá jak pro optimální návrh hořáků tak i z hlediska bezpečnostního – riziko samovznícení uhlí na skládkách v důsledku samovolné oxidace uhlí

Výbušnost – schopnost rozšířit spalování vyvolané v libovolném místě práškového mraku o dostatečné koncentraci na celý objem tohoto mraku

Druh paliva	Prchavý podíl $P^{daf}(\%)$	Teplota vznětu (prášek ve vzduchu) (°C)	Teplota výbuchu (prášek na kovové misce zahřáté na teplotu) (°C)	Meze výbušnosti (gm^{-3})	
				spodní	horní
hnědé uhlí živěné	až 60	208	375 až 400	35 až 80	≥ 1300
hnědé uhlí pálavé a celistvé	asi 52	218	450 až 470	50 až 120	1900 až 2600
černé uhlí:					
pálavé a plynné	28 až 40	214 až 230	580	80 až 200	≥ 1600
živě	19 až 28	243 až 250	610	240 až 350	< 2000
koksové	14 až 19	260	680	asi 400	≤ 1800
antracitové	10 až 14	340	680		
antracit	6 až 10	485			
hutní koks	1,6 až 6	600	> 750		

30

Popel (popelovina)

pochází

- z anorganických složek vegetace,
- z minerálů vniklých do usazenin (ve fázi vzniku uhlí)
- vnější popeloviny - určité množství minerálních příměsí, které se do paliva dostanou při těžbě, manipulaci a dopravě

Rozhodující vliv na složení a jakost popela uhlí mají popeloviny epigenetické (sekundární) a popeloviny vnější

Složení popelovin – určuje se jejich chemickým rozbořem; způsob a postup stanovení je předepsán ČSN 44 1358

- zjišťují se zejména tyto složky vyskytující se v popelovinách prakticky všech uhelných typů:

SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; CaO ; MgO ; Na_2O ; K_2O ; SO_3 ;

- podle okolností a potřeby se zjišťují také (popřípadě i nenormovanými metodami)

TiO_2 ; P_2O_5 ; Cl atd.

31

Fyzikální a chemické vlastnosti popelovin

Termofyzikální vlastnosti

- chování popelovin při vysokých teplotách v ohništi je u většiny paliv jedním z nejdůležitějších faktorů jak z hlediska konstruktéra, tak i provozovatele
- nejrozšířenějším kritériem chování popelovin při vysokých teplotách jsou tzv. charakteristické teploty popela:

- teplota měknutí $t_m(T_m)$,
- teplota tavení $t_p(T_p)$
- teplota tečení $t_c(T_c)$

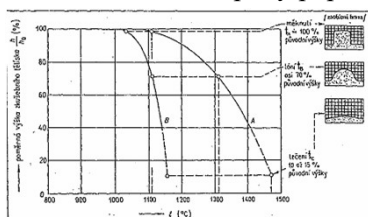
- definice těchto teplot jakož i způsob a postup jejich určení jsou uvedeny v ČSN 44 1359

- popel získaný z laboratorního vzorku paliva se slisuje do tvaru válečku o výšce i průměru 3 mm (nebo do krychličky o hraně 3 mm);
- toto tělíčko se zahřívá předepsanou rychlostí v elektrické peci
- sleduje se (popřípadě současně fotografuje) jeho deformace a změny tvaru a zároveň se zaznamenává teplota

- zjištěné hodnoty T_m , T_p , T_c lze zakreslit do souřadnic $t-h/h_0$ a třemi body proložit křivku tavení popela, která dává představu o chování popela v ohništi

32

Charakteristické teploty popela



- Vzorek (A) je příklad tzv. dlouhého popela, s velkým intervalem mezi t_A a t_B . V oblasti těchto teplot popel ještě není plně roztaven, neteče, ale nalepuje se na stěny spalovací komory

- Vzorek (B) představuje tzv. krátký popel, který velice rychle přechází plastickou oblastí ($t_A - t_B$) do taveniny o nízké viskozitě, takže na stěně spalovací komory se vytvoří poměrně tenká vrstva stékající strusky.

33

Mechanické a chemické působení popela

- při spalování dochází částečnému nebo úplnému roztavení popelových částic s tímto riziky
 - spékání – tvorba velkých shluků, které brzdí odvod popela
 - nalepování na výhřevné plochy kotle – nánosy blokují přestup tepla a intenzifikují korozi
- jemné popelové částičky jsou unášeny proudem spalin
 - usazují se na výhřevných plochách a blokují přestup tepla
 - způsobují otěr (abrazí a erozi) kovových materiálů, zvláště koncových výhřevných ploch a kouřovodů
- zvětšení obsahu popela v uhlí
 - zhoršuje jeho melitelnost (zvětšuje spotřebu mlecí práce)
 - zvyšuje opotřebení mlýnů a mlecích okruhů

34

Kapalná paliva

= topné oleje – převážně se připravují z ropy

Ropa se skládá :

- z organických látek ve formě kapalných uhlovodíků
- z nepatrného podílu příměsí
 - síra
 - voda
 - minerální balast – v některých případech s vysokou koncentrací těžkých kovů, z nichž podstatný je zejména vanad

Proces zpracování surové ropy probíhá dvoustupňově

- frakční destilací
- krakováním

35

Kvalita topných olejů

- druhy se liší zejména
 - viskozitou
 - bodem tuhnutí
 - obsahem síry
- podle hustoty se topné oleje dělí na
 - extra lehké (TOEL) - z petrolejů a plynových olejů
 - lehké (LTO) - z atmosférických a vakuových plynových olejů
 - těžké (TTO) - směsi vysokovroucích ropných frakcí a zbytků

Aditivace topných olejů

Obvykle se rozlišují tři typy pro

- zlepšení spalování
- zlepšení tekutosti
- korozní ochranu

36

Vlastnosti topných olejů

Pro transport a spalování jsou důležité vlastnosti

- hustota
- viskozita a bod tuhnutí kapaliny
- výhřevnost Q_i [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]
- bod zápalnosti
- bod samovznícení
- obsah vody W
- obsah popelovin
- složení hořlaviny - uvádí se analogicky jako u tuhých paliv
- Conradsonovo číslo – zbytek při koksování
- obsah smoly
- mísitelnost olejů

37

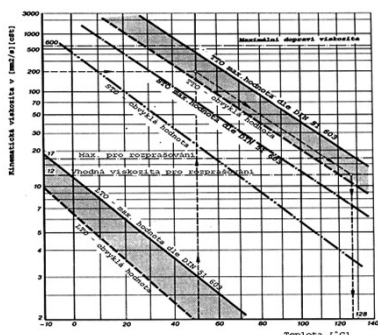
Vlastnosti topných olejů

Vlastnost	Jednotky		TOEL	LTO	TTO
Hustota při 20 °C	kg/m^3	max.	860	920	990
Do 350 °C předitiluje	% obj.	min.	85	20	-
Kinematická viskozita při 20 °C	mm^2/s	max.	6	-	-
Kinematická viskozita při 40 °C	mm^2/s	-	-	3,2 až 18	-
Kinematická viskozita při 100 °C	mm^2/s	max.	-	-	57
Obsah popela	% hm.	max.	0,01	0,02	0,14
Obsah mechanických nečistot	% hm.	max.	0,1	0,1	1,0
Bod vzplanutí (Pensky-Martens)	°C	min.	56	66	110 ^a
Bod tuhnutí	°C	max.	-15	10 ^b	40
Výhřevnost MJ/kg		min.	42,9	41	39
Obsah siry	% hm.	max.	0,2	-	-
málosirný	% hm.	max.	-	1,0	1,0
středněsirný	% hm.	max.	-	2,0	2,0
vysokosirný	% hm.	max.	-	-	3,0

^a Bod vzplanutí v otevřeném kelimku ^b Platí pro letní období, v zimě -5 °C

38

Závislost viskozity topných olejů na teplotě



39

Plynná paliva

- mají stále větší význam ve vytápěcí technice
- v oblasti malých a středních výkonů vytěšňují kapalná a tuhá paliva

Výhody :

- nízká měrná emise znečišťujících látek (NO_x , CO, SO_2 , TL)
- nejnižší měrná emise [$\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$] skleníkového plynu CO_2 ze všech fosilních paliv (především u zemního plynu)
- možnost lokální kogenerační výroby elektrické energie a tepla v malých jednotkách již od elektrického výkonu 5 kW
- možnost výroby elektrické energie s velmi vysokou účinností
- využití v palivových článcích

40

Složení plyných paliv

Hlavními složkami topných plynů jsou

- uhlovodíky - C_mH_n
- další hořlavé plyny - H_2 , CO, H_2S
- balastní plyny - N_2 , CO_2 , H_2O

Složení se obvykle uvádí výčtem objemových podílů plyných složek v 1 Nm^3 paliva

Nm^3 = kubík plynu za normálních podmínek, tj. pro 0 °C a 101,325 kPa = normální metr krychlový

41

Složení plyných paliv

Příklad složení zemního plynu

CH_4	0,981695
C_2H_6	0,005910
C_3H_8	0,002020
C_4H_{10}	0,000791
C_5H_{12}	0,000212
C_6H_{14}	0,000172
CO_2	0,000910
N_2	0,008290

Výhřevnost 36 409 kJ/Nm^3

42

Dělení topných plynů

dělení dle jejich původu na

- přírodní zemní plyn z ropných nalezišť
- průmyslové plyny
 - svítíplyn resp. dnes procesní plyn ze zplyňování uhlí, biomasy a odpadů (syngas)
 - koksárenský plyn
 - kychtový plyn z klasické hutní výroby železa
 - bioplyn z čištění odpadních vod, z fermentačních procesů apod.
- kapalně plyny z rafinace ropy (propan a butan).

43

Vlastnosti topných plynů

Vlastnosti topných plynů, které rozhodují

- o použití plynů
 - o konstrukci hořáků pro jejich spalování
- jsou :
- složení plynu
 - spalné teplo Q_S
 - výhřevnost Q_i
 - relativní hustota plynu d_v = poměr hustoty plynu a hustoty suchého vzduchu při shodných podmínkách
 - Wobbeho kritérium $W_i = \frac{Q_i}{\sqrt{d_v}}$
 - teplota vznícení plynu
 - rychlost hoření plynu u_{max}

44

Důležité vlastnosti paliv z hlediska spalování - shrnutí

- složení
- měrný tepelný obsah paliva (spalné teplo a výhřevnost)
- teplota vznícení paliva
- rychlost hoření
- spalovací teplota, resp. teplota plamene
- u tuhých paliv
 - podíl prchavé hořlaviny
 - termoplastické vlastnosti popela

45