

1. Paliva a jejich vlastnosti

Paliva jsou základní surovinou pro výrobu energie. Při výrobě energie jsou paliva zdrojem tepla, které se z nich získává chemickou reakcí. Podle skupenství jsou paliva tuhá, kapalná a plynná. Podle původu je lze dělit na paliva fosilní a obnovitelná, případně alternativní. Fosilními palivy v těžném přírodním stavu jsou antracit, černé uhlí, hnědé uhlí, lignit, rašelina, živičné břidlice, ropa a zemní plyn. Úpravou přírodních paliv s cílem zlepšit jejich vlastnosti či užité možnosti vznikají paliva umělá (např. frakční destilací ropy vzniká celá škála kapalných paliv). Za obnovitelná považujeme taková paliva, pro jejichž vznik je postačující doba srovnatelná maximálně s délkou lidského života. Jsou to paliva rostlinného či živočišného původu. Pro celou skupinu tuhých obnovitelných paliv se vžil souhrnné označení biomasa, která může být dřevního či rostlinného původu, podle způsobu získávání se dělí na odpadní (lesní štěpka, sláma apod.) a cíleně pěstovanou (rychle rostoucí dřeviny, triticales). Kapalnými obnovitelnými palivy jsou např. rostlinné oleje a bioetanol, plynnými palivy je bioplyn či procesní plyn ze zplyňování biomasy.

Rozdělení fosilních paliv na přírodní a umělá je uvedeno v tab. 1-1.

tab. 1-1 Přírodní a umělá paliva

Stav přírodního paliva	Přírodní palivo	Umělá paliva
tuhé	uhlí, rašelina	koks, brikety, uhelný 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)

Každé palivo se skládá z hořlaviny a z prýtěže. Hořlavinu paliva tvoří ta jeho část, jejímž oxidací se uvolňuje chemicky vázané teplo v palivu. Skládá se z uhlíku (C), vodíku (H) a síry (S), tzn. aktivních látek jejichž spalováním vzniká teplo a z pasivních látek, tj. kyslíku (O) a dusíku (N), které teplo nedodávají, ale jsou vázány chemicky na uhlík a vodík (respektive na uhlovodíky). Protože jsou paliva organického původu, jsou uvedené prvky hořlaviny vázány často ve složitých chemických sloučeninách a to zejména u mladších uhlí (hnědá uhlí, resp. rašelina) a u ropy.

Prýtěží (balastem) jsou u paliv tuhých a kapalných popeloviny a voda, u plynných paliv obsah vodní páry a nehořlavých plynů. S růstem podílu balastu v palivu klesá spalné teplo, resp. výhřevnost (tepelný obsah) paliva, snižuje se jeho cena a rostou náklady na dopravu, takže se palivo může stát ekonomicky nevhodným pro využívání. Hlavními složkami popelovin jsou jílové minerály (Al_2O_3 , $2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), karbonáty (CaCO_3 , MgCO_3 , FeCO_3), sulfidy (FeS_2), sulfáty (např. MgSO_4 , Na_2SO_4), oxidy (SiO_2 , Fe_2O_3) a další.

Tuhá a kapalná paliva lze z hlediska složení popsat následujícím vztahem

$$h^r + A^r + W^r = 1 \quad [-] \quad (1.1)$$

kde je

h^r hmotnostní podíl hořlaviny [kg.kg⁻¹]
část hořlaviny se po ohřátí paliva uvolní v plynné formě a nazýváme ji **prchavý podíl** V^{daf} , zbylou část nazýváme koksový zbytek
 A^r hmotnostní podíl popelovin [kg.kg⁻¹]
 W^r hmotnostní podíl vody [kg.kg⁻¹]

Energetický obsah paliv je charakterizován jejich výhřevností resp. spalným teplem.

Výhřevnost paliva Q_i^r [kJ.kg⁻¹, kJ.m⁻³, kWh.kg⁻¹ nebo kWh.m⁻³] je množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením 1 kg (1 m³) paliva při ochlazení spalin na standardní výchozí teplotu 20 °C,

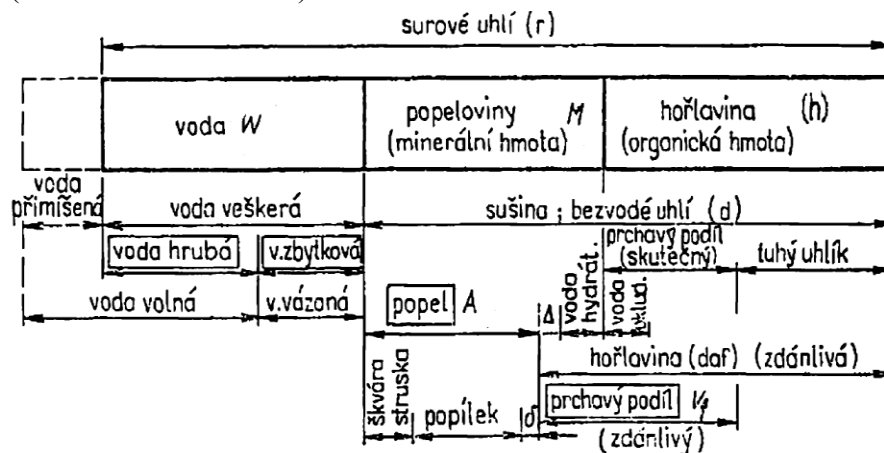
přičemž vzniklá voda zůstane ve formě páry. Spalné teplo Q_s^r [kJ.kg⁻¹, atd.] je celkové latentní chemicky vázané teplo v palivu, tedy včetně kondenzačního tepla vodní páry ve spalinách z paliva. Vztah mezi spalným teplem a výhřevností je

$$Q_i^r = Q_s^r - 2453 \cdot (W^r + 9 \cdot H^r) \quad [\text{kJ/kg}] \quad (1.2)$$

1.1. Tuhá paliva

Tuhá paliva se jsou všechna původem z organické hmoty a liší se od sebe délkou a podmínkami (tlak, teplota) tak zvaného prouhelnění této organické hmoty. Podle časové závislosti vzniku, můžeme přibližně tuhá paliva rozdělit do skupin :

- dřevo (současné - proto ho neřadíme do fosilních paliv, ale do obnovitelných zdrojů energie)
- rašelina (stáří cca 10 tisíc roků)
- hnědé uhlí (stáří cca 1 milion roků)
- černé uhlí (stáří cca 3 miliony roků)
- antracity (stáří cca 5 milionů roků)



obr. 1-1 Zjednodušené schéma složení uhlí

Složení tuhých paliv zjednodušeně ukazuje obr. 1-1.

Voda obsažená v palivu se dělí na vodu hrubou (volná voda) a na vodu zbytkovou (chemicky v palivu vázanou). Obsah vody se určuje laboratorně a rozděluje druhy vod takto:

- přimíšená voda, která se do uhlí dostala až po jeho vytěžení a kterou lze od paliva oddělit mechanicky (filtrací, odstředěním). Přimísenou vodu obsahují např. kaly;
- povrchová voda, tj. voda ulpívající na povrchu zrn paliva. Dá se odstranit mechanicky nebo např. odsát filtračním papírem;
- hrubá voda, tj. voda, která se odpaří při volném vysychání rozdrceného vzorku na vzduchu při teplotách 18 až 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu kolem 50 %;
- hydrokopická, neboli zbylá voda (zbytková), tj. voda kapilárně vázaná, která zbyla v palivu po odpaření hrubé vody. Uvolňuje se sušením analytického vzorku paliva (zrno pod 0,2 mm) za zvýšené teploty při 105 °C;
- volná voda, tj. celkový obsah vody přimíšené, povrchové a hrubé;
- veškerá voda, tj. celkový obsah vody povrchové, hrubé a zbytkové W [kg/kg⁻¹] [%]
- v palivu je dále voda chemicky vázaná, a to voda hydrátová, vázaná na popeloviny a voda okludovaná, vázaná na hořlavinu. Hydrátová a okludovaná voda se při běžné analýze uhlí neurčují, a proto při hrubém rozboru uhlí je určované množství hořlaviny zatíženo malou chybou ve srovnání se skutečným obsahem hořlaviny. To je způsobeno rozdílností popelovin a popela a neúplným stanovením obsahu vody. Voda hydrátová a okludovaná se z uhlí nemohou ani usilovným sušením uvolnit. Uvolní se teprve při teplotách rozkladu paliva.

Voda je nepříjemným balastem u všech paliv. Při spalování se voda odpařuje, zvětšuje objem spalin a je příčinou větší komínové ztráty. Část tepla uvolněného při spalování se spotřebuje k odpaření vody,

což snižuje spalovací teplotu. Vlhké palivo se také špatně drtí a vyžaduje někdy předsoušení ve zvláštních zařízeních. Vysoká vlhkost spalin zvyšuje jejich rosny bod, a tím nebezpečí koroze teplosměnných ploch na konci kotle. Teplota spalin bývá na odchodu z parního generátoru asi 140 až 180°C, aby nedošlo k podkročení rosného bodu. Tím se snižuje stupeň využití tepla, a tedy i účinnost parního kotle.

Potíže působí vlhké palivo v zimě, kdy namrzá. To ztěžuje jeho dopravu a překládání. Při obsahu vody asi nad 50 % jsou potíže v dopravě na běžně používaných pásových a korečkových dopravnících i v létě. Vlhké palivo vázne v zásobnících.

Popelovina a popel.

Minerální složky přítěže paliva jsou nazývány popelovinou.

Popelovinu podle původu lze rozdělit na vlastní a přimísenou. Vlastní neboli vnitřní je syngenetická a epigenetická. Syngenetická pochází přímo z rostlin, z nichž uhlí vznikalo a je v hořlavině rovnoměrně rozptýlena. Bývá jí asi 2 %. Epigenetická popelovina byla zanesena do uhelné vrstvy v průběhu různých geologických změn a její množství kolísá. Přimísená je popelovina, která se dostává do paliva při dolování, je to hlušina mezivrstvy paliva.

Popeloviny většiny našich uhlí obsahují převážně komplexní křemičitany hliníku, hořčíku, vápníku, železa, sodíku a draslíku, souhrnně označované v mineralogii jako illit. Dále tu bývá volný SiO₂, uhličitany vápenatý, hořečnatý a železnatý, sulfáty, oxidy železa, poměrně malá množství alkalických kovů a řada jiných minerálů v malých až stopových množstvích.

Popel jsou tuhé zbytky po dokonalém laboratorním spálení paliva, většinou ve formě oxidů kovů s nejvyšším stupněm oxidace. Protože při spalování paliva dochází k uvolňování konstituční vody, k rozkladu popelovin v oxidační atmosféře a k těkání některých složek popelovin, bývá hmota popela nižší oproti hmotě popeloviny.

V ohništi kotle při spálení tuhého paliva se z popeloviny vytvoří buď škvára, nebo struska a popílek. Jestliže spalování probíhalo při teplotách, při kterých nastalo spékání a tavení, tj. část minerálních zbytků dosáhla měknutí a teploty tavení popela a nastalo spojení jednotlivých zrn ve větší či menší kusy, vzniká škvára. Struska jsou minerální zbytky paliva po jeho spálení při teplotách nad teplotu tečení popela. Po rychlém ochlazení tvoří struska sklovitou hmotu. Struska po granulaci ve vodě po výtoku z ohniště je hrubozrnnou skelnou drtí o velikosti zrn asi 5 mm, která se časem vnitřním pnutím rozpadá na ostrohranný skelný prach. Popílek jsou drobné minerální částice unášené spalinami, které se buď usazují ve výsypkách kotlů nebo jsou unášeny spalinami z kotle ven. Škvára a popílek obsahují kromě přetvořené popeloviny určitou část nespáleného paliva, hlavně uhlíku, ve formě koksu.

Popel v palivu zhoršuje účinnost ohniště v průběhu spalování tím, že ztěžuje přístup kyslíku k hořlavině. Částičky popela se usazují na teplosměnných plochách, vytvářejí nánosy a zhoršují přenos tepla v kotli. Tím stoupá teplota spalin do komína a komínová ztráta, tj. ztráta tepla odcházejícími spalinami z kotle. Ucpané tahy kotle nánosy kladou průtoku spalin větší odpor a příkon sacího ventilátoru roste. Někdy se také vyskytuje eroze (ošlehávání) trubek popílkem. Obojí vede k nutnosti zvětšení teplosměnných ploch kotle a ke snížení rychlosti spalin. Další ztráty vznikají citelným teplem, obsaženým ve strusce a škváře, odváděné z ohniště. Popílek odcházející do atmosféry obtěžuje okolí a musí se zachytit v co nejvyšší míře ve vlastním kotli nebo v odprašovacích zařízeních za kotlem.

Síra se v palivu vyskytuje jako spalitelná síra organická a pyritická i jako síranová v popelovinách. Spalitelná síra se nazývá též sírou prchavou a je součástí hořlaviny v množství 0,5 až 9 %. Protože má nízkou výhřevnost, je z hlediska získaného tepla nepodstatná, a naopak pro obtíže, které způsobuje, je spíše přítěží uhlí. Síra je zdrojem nežádoucích oxidů SO₂ a SO₃ ve spalinách. Nepříjemné z hlediska čistoty výhřevných ploch je tvoření některých prchavých siřníků, které vedle alkálií působí vytváření stmelovaných nánosů tím, že kondenzují v oblasti nižších teplot především na dodatkových plochách. Z těchto siřníků vznikají pevné nánosy na trubkách v tloušťce několika mm, které značně ztěžují přístup tepla. Ve spalinách je zejména nežádoucí SO₃, neboť způsobuje s vodní párou korozi trubek a zvyšuje rosny bod spalin. Čím je větší koncentrace ve spalinách, tím je jejich rosny bod vyšší.

Hořlavina paliva se dělí na prchavý podíl (hořlavina, která se uvolní zahřátím paliva v plynné formě) a koksový zbytek (hoří v tuhém stavu). Uvolňování prchavého podílu začíná v oxidační atmosféře u biomasy a mladších uhlí již při cca 160 °C a končí při cca 1000 až 1100 °C u starších uhlí.

Vlastnosti hořlaviny tuhých paliv, která je pro každý druh tuhého paliva charakteristická, jsou uvedeny v tab. 1-2. Jedná se zejména o prvkové složení hořlaviny, o hodnotu prchavého podílu hořlaviny a spalné teplo hořlaviny.

tab. 1-2 Vlastnosti hořlaviny tuhých paliv

PALIVO		Složení hořlaviny				Spalné teplo	Typ plamene
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	Hodonín	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
Antracit	OKD	10-16	90-91	4,0-3,7	6,0-4,5	36600-35600	krátký a málo svitivý

Zrnění uhlí a zrnění koksu dle Mostecké uhelné a OKD je uvedeno v tab. 1-3. Těžené uhlí je v třídících a úpravných upravováno na vhodnou zrnitost pro distribuci a podle dalšího použití. Skutečná rozmezí zrnitosti liší podle úprav uhlí a jednotlivých těžebních společností.

tab. 1-3 Zrnění tříděného uhlí a koksu

UHLÍ			KOKS		
Zn.	Třída	Rozměr [mm]	Zn.	Třída	Rozměr [mm]
	Hnědé uhlí				
ko	kostka	40 - 100	SLK1	slévárenský koks 1	nad 80
h	pecka	20 - 100	SLK2	slévárenský koks 2	60-100
o1	ořech 1	20 - 40	VK 1	vysokopecní koks 1	40-90
o2	ořech 2	10 - 20	VK 2	vysokopecní koks 2	40 90
o3	ořech 3	10 - 16	VK 3	vysokopecní 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		ořech 1	40-60
hp	hruboprach	0 - 10		ořech 2	20-40
ts	topná směs	0 - 40		hrášek	10-20
ps	průmyslová směs	0 - 40		prach	0-10
	Černé uhlí			karbonkoks	20-80
	kusy	50 - 200			
	kostka	50 - 80			
	ořech 1	30 - 50			
	ETP	30 - 80			
	oříšek	10 - 30			
	hrášek	10 - 18			
	topná směs	0 - 10(30)			
	prach	0 - 5 (6)			
	proplástek	0 - 30			

Analytické vlastnosti tuhých paliv jsou uvedeny v tab. 1-4. Pro paliva distribuovaná pro malé zdroje znečišťování (do 200 kW) a pro obyvatelstvo platí omezení měrné sirnatosti paliva [g.MJ⁻¹] dle přílohy 8 k vyhlášce MŽP ČR č.117/1997.

1.2. Kapalná paliva

Kapalná paliva pro vytápění a pro energetiku (topné oleje) jsou převážně připravována z ropy, která se těží z vrstev v ropných oblastech na tuhé zemi nebo v mořských šelfech a dopravuje se dnes převážně ropovody do rafinerií ke zpracování.

1.2.1. Složení ropy.

Ropa se skládá z celé řady organických látek ve formě kapalných uhlovodíků a nepatrného podílu příměsí (síra, voda, minerální balast – v některých případech s vysokou koncentrací těžkých kovů, z nichž podstatný je zejména vanad a to např. z hlediska abrazivních vlastností). Proces zpracování surové ropy probíhá dvoustupňově. V 1. stupni se dělí jednotlivé užité produkty frakční destilací. Jednotlivé destilační složky se liší bodem kondenzace a to od kapalných plynů (propan) po těžké oleje. Neoddestilované produkty ze dna destilační kolony se dále zpracovávají v krakovacím zařízení, kde dochází pod vysokými tlaky a teplotami ke štěpení uhlovodíků s dlouhými molekulovými řetězci a využití ropy pro energetické produkty se tím výrazně zvyšuje.

1.2.2. Vlastnosti topných olejů

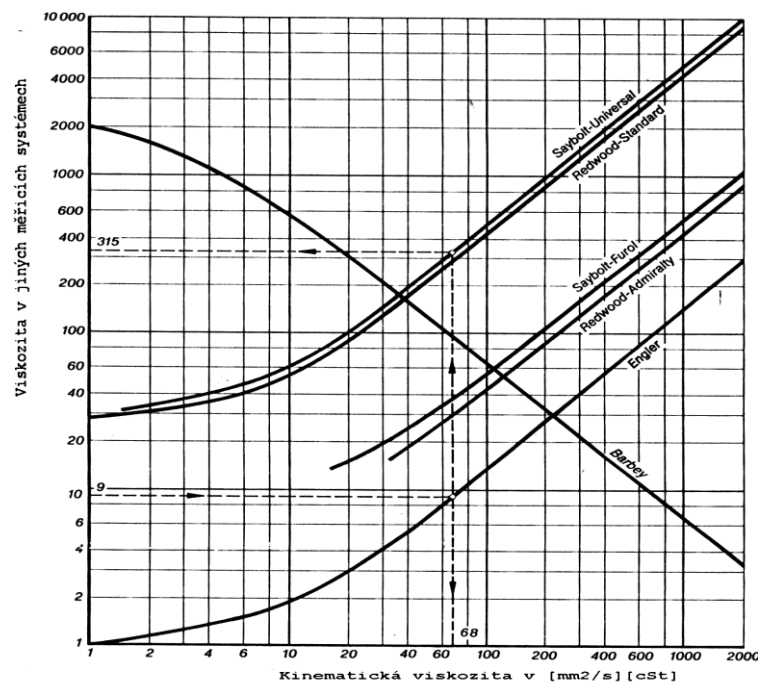
Pro transport a skladování kapalných paliv jsou důležité následující vlastnosti :

Hustota minerálních olejů se pohybuje převážně mezi 840 a 960 kg/m³ (výjimkou jsou dnes již téměř nepoužívané TA oleje s hustotou cca 1000 kg/m³). Jedná se o velmi důležitou hodnotu, protože velmi často jsou toky olejů (např. rozprašovacími tryskami u hořáků) udávány jako hmotnostní toky (kg/h), ale údaje na amerických výrobcích jsou objemové toky (Usgal/h).

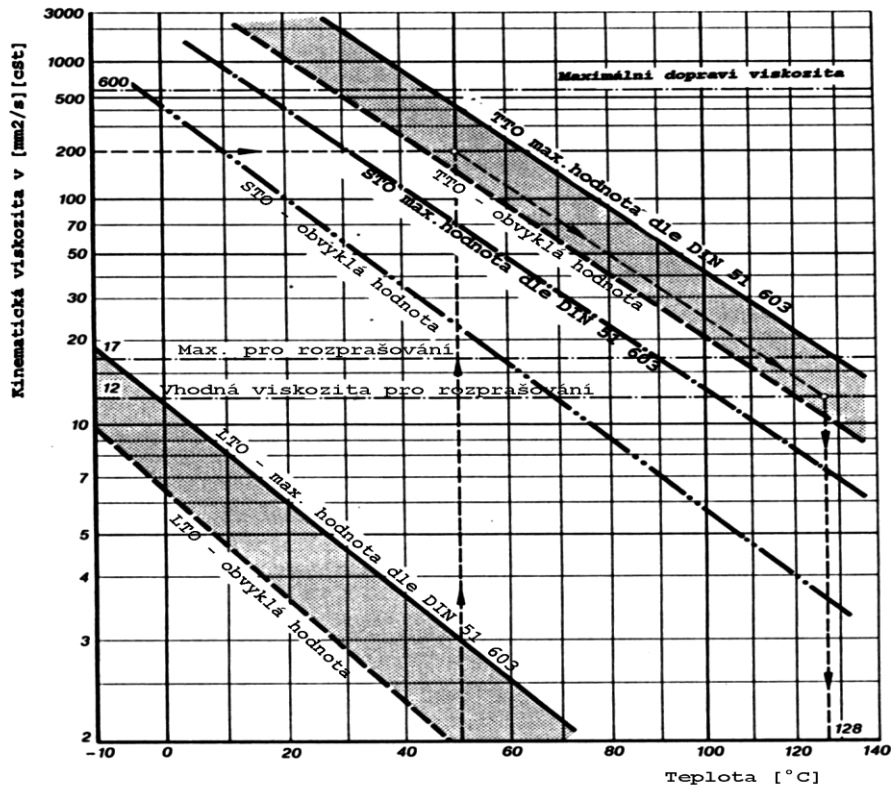
Pro transport a pro regulaci průtočného množství jsou důležité dvě hodnoty a to *viskozita* a *bod tuhnutí kapaliny*. Kinematická viskozita je dle normy udávána v jednotkách m²/s resp. mm²/s (jednotka shodná s užívanou jednotkou cSt). Používají se však i jiné způsoby vyjádření viskozity. Přepočty mezi užívanými způsoby vyjádření viskozity je na obr. 1-2. Používají se následující způsoby vyjádření kinematické viskozity :

Německo:	Centistokes (metrická jednotka)	mm ² /s	také cSt
	Stupeň Englera	°E	také E
Anglie :	Redwood-Standard	Sec R1	také R“
	Redwood-Admiralty	Sec RA	také RA“
USA :	Saybolt-Universal-Sekunden	SSU	také S“
	Saybolt-Furol-Sekunden	SSF	také SF“
Francie :	Barbey	cm ³ /h	

Viskozita topných olejů je velmi silně závislá na teplotě. Proto je například nutné těžké topné oleje (TM) přehřívát při čerpání na teploty cca 50 – 80 °C, pro rozprašování v hořácích pak až na teploty 140 – 180 °C. Závislost viskozity na teplotě u různých typů topných olejů je uvedena na obr. 1-3.



obr. 1-2 Přepočty mezi užívanými způsoby vyjádření viskozity



obr. 1-3 Závislost viskozity topných olejů na teplotě

Bod tuhnutí topných olejů se pohybuje ve velmi širokých mezích. Pro těžké topné oleje TS leží mezi 18 – 40 °C, kdežto u lehkých topných olejů TL může být i níže než –10 °C.

Výhřevnost Q_i [kJ.kg⁻¹] se pohybuje v mezích 37000 až 42000 podle chemického složení.

Bod vzplanutí je teplota, při které se za tlaku 0,1 MPa nad hladinou tvoří minimum par tak, že při přiblížení iniciačního plamene dojde k jejich vzplanutí a při oddálení ke zhasnutí plamene. Bod vzplanutí je ukazatelem stupně bezpečnosti. Norma ČSN 650201 dělí hořlavé kapaliny do čtyř tříd :

I. třída	bod vzplanutí do 21 °C	(např. benzín)
II. třída	od 21 do 55 °C	(např. nafta)
III. třída	od 55 do 100 °C	(např. topný olej)
IV. třída	od 100 do 250 °C	(těžký topný olej)

Pokud není bod vzplanutí prokázán, posuzuje se kapalina jako I. Třída (např. vyjeté oleje)

Bod zápalnosti je teplota oleje, při které zapálené páry nad hladinou hoří i po oddálení iniciačního plamene. Tento bod bývá u topných olejů asi o 60 °C vyšší než bod vzplanutí.

Bod samovznícení je teplota, při které topný olej sám vzplane bez iniciačního plamene. Jeho hodnota bývá od 350 do 600 °C.

Hustota ρ [kg.m³] topných olejů závisí na teplotě podle empirického vztahu :

$$\rho = \rho_{20} - a * (t - 20)$$

kde jsou

ρ_{20}	hustota oleje při 20 °C	[kg.m ³]
t	teplota oleje	[°C]
a	koeficient s hodnotou a=0,00068 pro TL (LTO) a a=0,00062 pro TM (mazuty)	

Obsah vody W – do oleje se dostává většinou srážením vlhkosti v nádržích na stěnách nebo netěsnostmi otopných hadů. Usazuje se u dna nebo u některých topných olejů zůstává rozptýlená na malé kapky. Je nežádoucí příměsí, protože při ohřátí TM olejů nad 100 °C se odpařuje, olej pění a může i náhle vzkypět a způsobit stoupenutí tlaku v nádrži.

Obsah popelovin – je velmi malý. Hlavní složky např. z románského ropy jsou Na_2O , K_2O a V_2O_5 . Způsobují provozní potíže – stmelené nánosy, vysokoteplotní koroze přehříváků páry a ve spojení s vyšším obsahem síry v oleji (v neodsířených mazutech bývá S až do 3 %) i vysoký rosný bod spalin spojený s potenciální korozií dodatkových ploch kotlů, kouřovodů a komínů.

Conradsonovo číslo (zbytek při koksování) je tuhý zbytek, vyjádřený v hmotnostních procentech, po zkoksování vzorku oleje žiháním za nepřístupu vzduchu. Koksování nastává při nedokonalém spalování těžkých topných olejů v důsledku špatně rozprášených kapek oleje zachycených na stěnách ohniště při špatné funkci hořáku nebo jeho nevhodném umístění v ohništi.

Obsah smoly – smola je mnohamolekulová látka s vysokým poměrem C:H, rozptýlená v oleji. Působí potíže při průtoku oleje jemnými síty ($d < 0,1$ mm).

Misitelnost olejů je omezena jejich chemickým složením. Při smíchání parafinicko-naftenických olejů s asfaltickými se vylučují asfaltové kaly, které způsobují ucpávání trysek hořáků koksovými zbytky. K tomuto jevu dochází zejména při míšení ropných a dehtových topných olejů.

Vlastnosti kapalných paliv používaných v energetice a průmyslu a to ropného a dehtového původu dle ČSN 657991 a ČSN 656509 jsou uvedeny v tab. 1-4.

tab. 1-4 Vlastnosti kapalných paliv

Vlastnost		Topné oleje				Nafta	
		TL	TS	TM	TA	topná	motorová
Q_s	[MJ.kg ⁻¹]	44	Min 40,5	42 -43	38,1 – 39,4	-	44- 45,3
Q_i	[MJ.kg ⁻¹]	Min 39,8	Min 39,8	39,8-42	36,8-39,4	Min 41,5	41,1
ρ	[kg.m ³]	Max 900	920	930-980	1100-1010	810 - 850	800 - 880
$\nu \cdot 10^{-6}$	[m ² .s ⁻¹]	12	12	18	40	3	4
t_{tuh}	[°C]	-5 až +10	Max +25	+20 až +30	+22 až +36	-5 až +10	-5
t_{vzp}	[°C]	Min +65	Min +65	120 až 220	130 až 175	Max 50	60
W	[%]	Max 0,3	Max 1	0 až 0,8	0 až 0,6	Max 0,5	1,5
A	[%]	0,1	0,2	0,1 až 0,5	0,1 až 0,4	Max 0,5	0,04
C	[%]	84 až 86	84,5 až 87	85 až 86,5	84 až 87	85	86 až 87,2
H	[%]	14,4 až 13	11,5 až 12,5	11 až 12	8 až 9,7	14	12,4 až 13
S	[%]	Max 2	Max 2	1,5 až 2,3	0,5 až 0,7	0,5	0,1 až 0,5
N	[%]	0,2	0,2	0,2 až 0,5	0,4 až 0,6	0,2	0,2
O	[%]			0,1 až 0,15	3,6 až 4,5	0,3	

POZN.

V Německu je používáno pro topnou naftu označení „extra lehký olej“ TOEL

Pro paliva distribuovaná pro malé energetické zdroje znečišťování (do 200 kW) , pro obyvatelstvo a pro všechny střední energetické zdroje na kapalná paliva (do 5 MW) platí omezení obsahu síry v palivu do 1 % hm dle vyhlášky MŽP ČR č.117/1997.

1.2.3. Kvalita topných olejů

Topná nafta se používá pro topná zařízení malých výkonů. Vzhledem k nízké viskozitě a čistotě se jedná o palivo zcela bezproblémové a to jak ve zplyňovacích, tak rozprašovacích typech hořáků.

Topný olej TL a TS

Rozlišení na lehké a střední topné oleje dnes ztratilo svůj původní význam, protože oba typy olejů vyžadují použití nízkoteplotního předehřívacího zařízení pře spalovacími hořáky a oba typy olejů nepotřebují předehřev paliva pro dopravu a skladování (pokud se nejedná o extrémně nízké teploty).“K

tomuto typu topných olejů patří i dehtové oleje z hnědého a černého uhlí. Jejich přehřátí před rozprašením je obvykle o něco vyšší. Některé typy těchto olejů se vyznačují extrémně vysokým obsahem palivového dusíku.

Topný olej (TM)

Těžké topné oleje se vyznačují vysokou viskozitou a musí se proto přehřívát i při transportu. Před rozprašením v hořáku se jejich viskozita snižuje na požadovanou hodnotu ohřátím na 120 až 180 °C. Typický je pro neodsířené těžké oleje významně vyšší obsah síry a s ním spojené problémy s korozí na koncových a dodatkových výměňkových plochách kotlů. Z důvodů omezení koncentrace SO₂ ve spalinách vypouštěných do ovzduší z energetických zdrojů lze používat pouze odsířené těžké topné oleje nebo stavět u energetických zařízení odsířovací zařízení spalin, což lze z ekonomických důvodů realizovat pouze u velkých energetických zařízení.

Aditiva do topných olejů

Vlastnosti topných olejů lze ovlivňovat použitím aditiv. Používají se aditiva na bázi organických sloučenin s kovy, např. manganem, hořčíkem, vápníkem, bariem mědí, železem apod. Sloučeniny působí katalyticky na spalovací proces a snižují tuhé emise (např. saze), podíl SO₃ ve spalinách a nánosy tuhého uhlíku s popelem na výměňkových plochách kotle. Obvykle se rozlišují tři typy zlepšení a to „zlepšení spalování“, „korozi ochrana“ a „zlepšení tekutosti“. Zlepšení spalování spočívá ve snížení Bacharachova čísla B (které charakterizuje obsah sazí ve spalinách) při velmi nízkém součiniteli přebytku vzduchu na hodnotu B < 1. Ochrana před korozí má význam pro životnost skladovacích zařízení na sirnaté topné oleje, na druhé straně aditiva pro snížení obsahu SO₃ mohou působit na snížení životnosti olejových filtrů (rychlejší zanášení), případně na životnost rozprašovacích trysek (rychlejší eroze dýzy trysky). Aditiva na zlepšení tekutosti omezují vliv parafinových složek v oleji, u kterých dochází ke snížení viskozity v závislosti na teplotě rychleji. Obecně známé je používání aditiv pro zlepšení tekutosti u nafty (zimní nafta). V energetice je známý např. švédský produkt BYCOSIN, který současně „zlepšuje spalování a zlepšuje tekutost“ topného oleje.

1.3. Plynná paliva

Plynná paliva mají v současnosti stále větší význam ve vytápěcí technice a v oblasti malých a středních výkonů vytěsňují kapalná a tuhá paliva. Kromě velice výhodných transportních a spalovacích vlastností je několik dalších důvodů pro jejich stále větší podíl ve vytápěcí technice. Jedná se zejména o následující důvody :

- nízká měrná emise znečišťujících látek (NO_x, CO, SO₂, tuhé částice)
- nejnižší měrná emise [g.MJ⁻¹] skleníkového plynu CO₂ ze všech fosilních paliv (především u zemního plynu)
- možnost kogenerační výroby elektrické energie a tepla v malých lokálních jednotkách a to již od elektrického výkonu cca 10 kW v plynových motorech s výměníky tepla
- možnost výroby elektrické energie s velmi vysokou účinností (přes 51 %) v tzv. paroplynovém cyklu
- využití v palivových článcích (s různými typy elektrolytů) k přeměně chemicky vázané energie na elektrinu s uvolňováním tepla

Topný plyn je směsí obvykle několika hořlavých plynů (vodík H₂, metan CH₄, další vyšší uhlovodíky, CO, případně H₂S), inertních plynů (oxid uhličitý CO₂, dusík N₂ a dalších) a u vlhkých plynů vodní páry. Topné plyny rozdělujeme dle jejich původu na přírodní (zemní plyn, zemní plyn z ropných nalezišť) a na průmyslové plyny (svítiplyn resp.dnes procesní plyn ze zplyňování uhlí, koksárenský plyn, kychtový plyn z klasické hutní výroby železa, bioplyn z čistíren odpadních vod a z fermentačních procesů apod.) a kapalně plyny z rafinace ropy (propan a butan).

1.3.1. Vlastnosti topných plynů

Důležité vlastnosti topných plynů, které rozhodují o použití plynů a o konstrukci hořáků pro jejich spalování jsou :

- složení
- spalné teplo Q_s,

- výhřevnost Q_i ,
- relativní hustota plynu d_v , což je poměr hustoty plynu a hustoty suchého vzduchu při shodných stavových podmínkách,
- teplota vznícení plynu
- rychlost hoření plynu u_{\max} .

Pro praktické použití je důležité, aby spalovací poměry pro konkrétní typ hořáku zůstaly v určitých mezích konstantní a hořák mohl pracovat s plným jmenovitým výkonem.

Vlastnosti plynu z výše uvedených hledisek určuje vztažná hodnota (kritérium) nazývaná Wobbého číslo W [$\text{MJ}\cdot\text{m}^3$]. Používají se dvě Wobbého čísla dle následujících vztahů :

$$W_s = \frac{Q_s}{\sqrt{d_v}} \quad \text{nebo}$$

$$W_i = \frac{Q_i}{\sqrt{d_v}} \quad , \text{ kde}$$

$$d_v = \frac{\rho_p}{\rho_v}$$

Hodnoty Wobbého čísel pro některé používané topné plyny jsou s jejich dalšími vlastnostmi uvedeny v tab. 1-5.

Spalovací zařízení na plyn jsou dělena do kategorií podle druhu plynu nebo druhů plynu, které mohou spalovat a to dle ČSN EN 303–3 a EN 297. Topné plyny jsou rozděleny do čtyř skupin a těmto skupinám odpovídají i tzv. *zkušební plyny*, které se používají pro zkoušení spalovacích zařízení příslušných kategorií. Ukázka složení a základních hodnot typických zástupců zkušebních plynů jednotlivých skupin je v tab. 1-5.

tab. 1-5 Ukázka typických zástupců zkušebních plynů

Zkušební plyn	Složení		Spalné teplo	Výhřevnost	Poměrná hustota	Wobbe číslo		Rychlost hoření	$V_{vv \min}$	$\text{CO}_{2\max}$	$V_{ss \min}$	$V_{sv \min}$
č.	složka	% obj.	Q_s [$\text{MJ}\cdot\text{m}^3$]	Q_i [$\text{MJ}\cdot\text{m}^3$]	d_v [vzduch=1]	W_s [$\text{MJ}\cdot\text{m}^3$]	W_i [$\text{MJ}\cdot\text{m}^3$]	u_{\max} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	[$\text{m}^3\cdot\text{m}^3$]	[%]	[$\text{m}^3\cdot\text{m}^3$]	[$\text{m}^3\cdot\text{m}^3$]
G 110	H ₂	50	16,73	14,72	0,411	26,08	22,96	0,822	3,67	7,66	3,40	4,42
	CH ₄	26										
	N ₂	24										
G 20	CH ₄	100	39,82	35,88	0,555	53,45	48,17	0,430	9,52	11,73	8,52	10,52
G 30	C ₄ H ₁₀	100	134,06	123,81	2,094	92,64	85,56	0,453	30,95	14,06	28,45	33,45
G130	C ₃ H ₈	26,5	26,83	24,70	1,147	25,05	23,06	0,472	5,58	13,76	5,78	
	Vzduch	73,5										

1.4. Vlastnosti fosilních paliv

V předchozích kapitolách již byly zmíněny některé vlastnosti paliv, které jsou důležité pro vznik a průběh spalovacího procesu. K těmto vlastnostem patří měrný tepelný obsah paliva (spalné teplo a výhřevnost), hranice zápalnosti paliva, teplota vznícení paliva, rychlost plamene a také spalovací teplota, resp. teplota plamene.

1.4.1. Hranice zápalnosti

Spalování fosilních paliv může probíhat pouze po jejich vznícení ve směsi s okysličovadlem (kyslík – vzduch – vzduch se zvýšeným nebo sníženým obsahem kyslíku, tj. nad nebo pod 20,9 % objemových). Objemová koncentrace paliva ve vzduchu, při které je možno tuto směs vznítit jsou právě

ony hranice zápalnosti, které jsou identické s hranicemi nebezpečí exploze daného paliva. Tyto objemové koncentrace se vyjadřují jako poměr prach – vzduch, páry paliva – vzduch, plynné palivo - vzduch, při kterých může dojít ke vznícení nebo explozi směsi.

tab. 1-6 Teplota vznícení a hranice výbušnosti tuhých a kapalných paliv

PALIVO	Teplota zápalnosti [°C]	Teplota vznícení [°C]	Hranice zápalnosti [% obj.]
Tuhá paliva			
Antracit	440	480	-
Hnědé uhlí celistvé	-	250 až 350	-
Hnědé uhlí lignit	-	400 až 450	-
Hnědouhelné brikety	-	200 až 250	-
Hnědouhelný prach	-	150 až 170	-
Dřevo tvrdé	-	300 až 400	-
Dřevo měkké	-	200 až 300	-
Dřevěné uhlí	-	250 až 450	-
Koks	-	550 až 700	-
Saze	-	500 až 600	-
Černé uhlí	-	300 až 600	-
Černouhelný prach	-	150 až 220	-
Piliny	-	170	-
Rašelina vysušená	-	225 až 280	-
Celulosa	-	360	-
Kapalná paliva			
Alkohol	12	510	3,5 až 20
Benzín	-16 až +15	430 až 550	
Hnědouhelný dehet	> 65	320 až 450	-
Nafta	15 až 220	330 až 350	-
Topný olej TL	70 až 100	340	-
Topný olej TM	120 až 140	360	-
Kerosin	-19 až + 15	320 až 440	1,1 až 8
Důležité materiály			
Aceton	-17	450	2 až 13
Etylchlorid	-50	519	4 až 15
Etyléter	-40	175	1,5 až 40
Butylalkohol	22	450	1,4 až 5
Metylacetát	-13	455	3 až 16
Metylalkohol	6,5	500	6 až 37
Sírouhlík	-30	120	2 až 32
Terpentin	30 až 45	255	> 8
Trichloretylen	-	400	11 až 31
Vinylchlorid	30	cca 200	4 až 31

1.4.2. Teplota vznícení

Teplota vznícení je taková teplota, při které dojde k zapálení paliva ve směsi s atmosférickým vzduchem a to bez iniciace, označujeme proto tuto teplotu teplotou samovznícení. U kapalných paliv rozeznáváme ještě teplotu zápalnosti, tak jak již byla popsána. V tab. 1-6 jsou uvedeny hodnoty hranic zápalnosti, teploty samovznícení, teploty zápalnosti u kapalných paliv a rychlost hoření pro tuhá a kapalná paliva a pro některé průmyslově důležité hořlavé látky. V tab. 1-7 jsou uvedeny stejné hodnoty pro plynná paliva.

1.4.3. Rychlost hoření plamene

Tento pojem označuje rychlost šíření fronty plamene, kterou dosáhne směs paliva a vzduchu při určité teplotě. Prakticky nás zajímá maximální hodnota u_{\max} v [m/s]. Je-li rychlost přiváděné směsi paliva a vzduchu do fronty hoření (např. u hořáku) větší než, tato hodnota, může dojít k odtržení plamene, naopak je-li rychlost přiváděné směsi nízká, postupuje fronta hoření proti přívodu směsi a může dojít k prošlenutí plamene do hořáku. Obecně proto můžeme říci, že nás zajímá tato hodnota z hlediska stability spalování paliva v hořáku. Hodnota rychlosti hoření plamene uváděná v tab. 1-7 se týká laminárního proudění směsi paliva a okysličovadla. Rychlosti hoření plamene při turbulentním proudění jsou významně vyšší.

Pro porovnání tepelného obsahu jednotky paliva (1 t, 1 m³) se někdy používají praktické vztažné jednotky. Jedná se například o ekvivalent výhřevnosti 1 tuny topného oleje TOE, nebo 1 tuny černého uhlí = 1 t SKE = 29,3 MJ = 8,14 kWh (Steinkohleneinheit) a výhřevnost ostatních paliv se vyjadřuje podílem této vztažné jednotky (např. 1 t LTO = 1,429 t SKE, 10³ m³ zemního plynu = 1,286 t SKE, 1 kg Uranu 235 = 2,5 t SKE).

1.4.4. Teoretická spalovací teplota = teplota nechlazeného plamene

Teplota nechlazeného plamene je taková teplota, jakou by měly spaliny v ohništi po ukončeném spalování, kdyby nebylo stěnami ohniště ani výměňikovými plochami odváděno žádné teplo. Tato teplota závisí především na výhřevnosti paliva a na součiniteli přebytku spalovacího vzduchu, se kterým je palivo spalováno. Tuto teoretickou maximální teplotu lze ještě ovlivňovat ohřátím okysličovadla (obvykle spalovacího vzduchu) a případně recirkulací chladných spalin z konce kotle do ohniště.

tab. 1-7 Teplota vznícení, hranice výbušnosti a rychlost hoření plyných paliv

PALIVO	Teplota vznícení [°C]	Hranice výbušnosti [% obj.]	Rychlost hoření [m.s ⁻¹]
Etylen	515	2,8 až 28	0,70
Amoniak	650	17 až 27	0,32
Acetylen	340	2,3 až 80	1,5
Butan	465	1,8 až 8,4	0,39
Zemní plyn naftový	670	5 až 12	0,38
Zemní plyn přírodní	635	5 až 13	0,42
Generátorový plyn	625	16 až 64	0,34
Kychtový plyn	595	35 až 75	0,44
CO	605	13 až 74	0,15 až 0,50
CH ₄	645	4 až 15	0,43
Pentan	470	1,4 až 7,8	0,40
Propan	510	2,1 až 9,4	0,42
Sirovodík	290	4 až 46	0,76
Vodní plyn	570	6 až 73	1,51
Vodík	560	4 až 74	2,8

1.4.5. Reálná teplota plamene

Reálná teplota plamene je skutečná teplota v ohništi, kterou lze naměřit např. optickým pyrometrem při skutečných podmínkách přenosu tepla sáláním a konvekcí do výhřevných ploch ohniště. Tato teplota je vždy nižší než teplota nechlazeného plamene. Moderní ohniště dokonce využívají mechanismu ovlivňování emisivity plamene, mechanismu postupného přívodu spalovacího vzduchu a mechanismu postupného přívodu paliva ke snížení této reálné maximální teploty plamene. Důvod ovlivňování této skutečné maximální teploty plamene je zejména snižování tvorby tzv. **termických oxidů dusíku NO_x**. Pro některá paliva a známé tepelné procesy jsou obvyklé maximální teploty plamene uvedeny v tab. 1-8.

1.4.6. Střední objemové zatížení ohniště q_v [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-3}$]

Jedním z ukazatelů, kterým jsou charakterizována ohniště kotlů a další spalovací procesy (spalovací motor, raketa, atd.) je střední objemové zatížení ohniště. Je to poměr tepla přiváděného palivem do ohniště $Q_i \cdot M_{pv}$, kde M_{pv} [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$] je přiváděné množství paliva, a objemu ohniště V_{os} [m^3]. Charakteristická rozmezí objemových zatížení ohniště jsou uvedena v tab. 1-8.

tab. 1-8 Maximální reálná teplota plamene a střední objemové zatížení ohniště

Tepelný proces	Teplota plamene [$^{\circ}\text{C}$]	Střední objemové zatížení [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-3}$]
Zemní plyn, atmosférický hořák	1750	200 až 1200
Zemní plyn, tlakový hořák	1900	200 až 2000
Topná nafta, atmosférický hořák	1850	200 až 1200
Lehký topný olej, tlakový hořák	1950	200 až 2000
Těžký topný olej, tlakový hořák	1850	500 až 1500
Roštový uhelný kotel	1200 až 1600	100 až 400
Práškový kotel	1400 až 1900	120 až 250
Cyklonový kotel	1700 až 1900	800 až 1200
Vodík, atmosférický hořák	2150	-
Vodík, přetlakový hořák, kyslík	2900	-
Acetylen, kyslík	3100	-
Elektrický oblouk	4000	-
Plynová turbína	1200 až 1360	20 000 až 50 000
Automobilový motor	1400 až 1950	7 200 až 36 000