

Ing. Marek Patsch, PhD.

doc. Ing. Peter Ďurčanský, PhD.

Ing. Alexander Čaja, PhD.

Ing. Peter Pilát, PhD.

## **Palivá pre spaľovanie v energetických strojach a zariadeniach**

Žilina 2022



**INTERREG V-A**  
SLOVENSKÁ REPUBLIKA  
ČESKÁ REPUBLIKA



**EURÓPSKA ÚNIA**  
**EURÓPSKY FOND**  
**REGIONÁLNEHO ROZVOJA**  
SPOLOČNE BEZ HRANÍC



**INTERREG V-A**  
SLOVENSKÁ REPUBLIKA  
ČESKÁ REPUBLIKA

Publikácia bola vydaná s podporou  
Európskeho spoločenstva prostredníctvom  
programu cezhraničnej spolupráce  
INTERREG V-A  
SR-ČR 2014-2020

Publikácia je súčasťou projektu:

„Inovácie vzdelávacích programů v oblasti  
energetiky - 304011U698“



**EURÓPSKA ÚNIA**  
**EURÓPSKY FOND**  
**REGIONÁLNEHO ROZVOJA**  
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Projekt je spolufinancovaný Európskou  
úniou a Európskym fondom regionálneho  
rozvoja (EFRR)  
Spoločne bez hraníc

Autori:

Ing. Marek Patsch, PhD.

doc. Ing. Peter Ďurčanský, PhD.

Ing. Alexander Čaja, PhD.

Ing. Peter Pilát, PhD.

ISBN 978-80-973466-9-0

## Zoznam skratiek

- TAP - tuhé alternatívne palivá
- SRF - ang. Solid Recovered Fuels - tuhé alternatívne palivá
- RDF - Refuse Derived Fuels - palivá vyrobené z odpadu
- MT - mechanical treatment – mechanické čistenie
- MBT - mechanical biological treatment – mechanicko-biologické čistenie
- MSW - mixed stream of municipal waste – zmesový komunálny odpad
- CW - commercial waste – komerčný odpad
- IW - industrial waste – priemyselný odpad
- CDW - construction and demolition waste – stavebný a búrací odpad
- NCV - Net calorific value

## Obsah

1.	Tuhé palivá .....	7
1.1	Energetické zhodnotenie tuhých palív .....	15
1.1.1	Zloženie paliva .....	19
1.1.2	Obsah vody v palive .....	25
1.1.3	Spalné teplo a výhrevnosť .....	26
1.1.4	Merná hmotnosť paliva .....	27
1.1.5	Sypná hmotnosť paliva.....	27
1.2	Spaľovanie.....	28
1.3	Chemické reakcie pri spaľovaní.....	30
1.3.1	Mechanizmus spaľovania pevného paliva.....	32
1.3.2	Sušenie pevných palív .....	34
1.3.3	Uvoľňovanie prchavých látok z pevných palív .....	36
1.4	Množstvo spaľovacieho vzduchu .....	40
1.5	Množstvo spalín .....	46
1.5.1	Vplyv nakladania paliva na proces spaľovania .....	49
1.5.2	Kúreniská pre spaľovanie pevných palív .....	51
1.5.3	Rošty pre spaľovanie palivového dreva .....	56
1.6	Druh kúreniska malých zdrojov tepla .....	62
1.7	Zdroje tuhých palív v SR .....	65
1.7.1	Uhlie .....	65
1.7.2	Biomasa – drevo .....	65
1.8	Emisie pri spaľovaní tuhých palív.....	69
1.8.1	Emisie .....	69
1.8.2	Imisie .....	69
1.8.3	Znečisťujúce látky .....	69
1.8.4	Mechanizmus vzniku emisií a pôsobenie emisií .....	71
1.8.5	Negatívne účinky znečisťujúcich látok .....	75
1.9	Meranie na malom zdroji tepla.....	78
1.9.1	Meranie na kotly na spaľovanie peliet.....	78
1.9.2	Meranie na krbových kachliach.....	81
1.10	Literatúra ku kapitole 1 Tuhé palivá .....	85
2.	Tuhé alternatívne palivá .....	87

2.1	Rozdelenie alternatívnych palív .....	87
2.1.1	Rozširovanie kapacít cementární.....	89
2.1.2	Problém dovezeného odpadu.....	90
2.1.3	Plány na nové prevádzky .....	91
2.1.4	Spaľovanie odpadu v Novákoch.....	92
2.1.5	Lepšie ako lokálne kotolne .....	92
2.1.6	Recyklácia ako negatívny faktor .....	93
2.1.7	Slovensko potrebuje analýzu .....	93
2.1.8	Čo sú to palivá vyrobené z odpadu?.....	94
2.1.9	Základné princípy zhodnocovania odpadov vo výrobe cementu .....	94
2.1.10	Situácia v Európe a na Slovensku .....	95
2.2	Terminológia .....	106
2.3	Pôvod, výrobné procesy a špecifické trhové požiadavky na kvalitu.....	108
2.4	Literatúra ku kapitole 2 Tuhé alternatívne palivá .....	120
3.	Kvapalné palivá.....	122
3.1	Kvapalné palivá – vlastnosti a charakteristiky .....	123
3.2	Ropa .....	129
3.2.1	Vznik ropy .....	134
3.2.2	Výskyt a ťažba ropy .....	134
3.2.3	Spracovanie ropy .....	141
3.3	Vykurovacie oleje .....	147
3.3.1	Automobilový benzín .....	150
3.3.2	Motorová nafta .....	153
3.3.3	Kvapalné biopalivá.....	158
3.3.4	Bionafta (MERO) .....	160
3.3.5	Bioalkoholy .....	166
3.3.6	Spaľovanie kvapalných palív v energetických zariadeniach.....	171
3.3.7	Atomizácia kvapalných palív .....	173
3.3.8	Dôležitosť veľkosti kvapiek .....	176
3.3.9	Horák odparovacieho typu .....	181
3.3.10	Horák rotačného typu .....	181
3.3.11	Horák s atomizovaním pomocou plynu.....	183
3.3.12	Horák rozprašovacieho typu.....	187

3.3.13	Skúška podľa Clevelanda .....	203
3.4	Literatúra ku kapitole 3 kvapalné palivá .....	205
4.	Plynné palivá .....	208
4.1	Vlastnosti plynných palív .....	208
4.1.1	Zloženie .....	208
4.1.2	Spalné teplo .....	208
4.1.3	Výhrevnosť .....	208
4.1.4	Výbušnosť .....	209
4.1.5	Jedovatosť .....	210
4.2	Spaľovanie plynných palív .....	211
4.2.1	Spaľovacie rovnice .....	211
4.2.2	Prebytok spaľovacieho vzduchu .....	212
4.3	Rozdelenie plynných palív .....	212
4.3.1	Podľa spálneho tepla .....	212
4.3.2	Podľa vzniku .....	213
4.4	Literatúra ku kapitole 4 Plynné palivá .....	218
5.	Bezpečnosť dodávok palív .....	219

## 1. Tuhé palivá

Do tejto skupiny patria všetky druhy uhlia a biomasa, z ktorých pre vykurovanie sa predovšetkým využíva drevo a z neho vyrobené umelé palivá ako drevné pelety, brikety a pod.

Prehľad najdôležitejších palív podľa obidvoch už uvedených hľadísk:

Druh paliva	Prirodzené palivá	Umelé palivá
Tuhé	antracit, čierne uhlie, hnedé uhlie, rašelina, drevo, živičnaté bridlice a i.	čiernouhoľný koks a polokoks, hnedouhoľný koks a polokoks, drevné uhlie, brikety z uhlia čierneho, hnedého a dreveného, prášok na práškové kúrenie

Tuhé fosílné palivá sa delia na rašelinu, lignit, hnedé uhlie, čierne uhlie a antracit, základom toho rozdelenia je chemické zloženie, predovšetkým pomer medzi obsahom uhlíka, vodíka a kyslíka. Toto rozdelenie je možné vtedy, keď sa ako meradlo klasifikácie zvolí vek uhlia. Rašelina je najmladším produktom premeny.

### Rašelina

Rašelina je svetlohnedá až tmavohnedá hmota. Vznikla z pozemných a rašelinových rastlín vplyvom rašelinovania (1. stupeň preuhoľnenia) a je viac alebo menej znečistená nerastnou prítlačou. Čerstvá obsahuje až 70 % vody, na vzduch vysušená 15-40 % vody. Obsah popola 1-20 %. Rašelina má pre svoju nízku výhrevnosť len miestny význam. Najčastejšie sa splyňuje, pričom sa získava z plynu síran amónny a plyn sa potom používa na pohon veľkých spaľovacích strojov.

## **Uhlie**

Uhlie vzniklo prevažne z rastlinných látok, buničiny a lignitu, ku ktorým sa v menšej miere zaraďujú tuky, živice a bielkoviny. Proces, ktorým sa rastlinné a živočíšne látky menia na uhlie, nazývame preuhoľňovaním, ktoré sa pri rastlinných látkach začalo práchnivením a pri látkach živočíšnych hnitím. Uhliá, ktoré vznikli z rastlinných látok, sa nazývajú humity, zatiaľ čo sapropelity sú fosílné palivá živočíšneho pôvodu.

Uhlie pozostáva z vlastnej organickej podstaty, t.j. horľaviny, z minerálnych súčastí, t.j. popolovín a z vody.

Organická podstata uhliá sa skladá predovšetkým z uhlíka, ktorého je tým viac, čím ďalej pokročil preuhoľňovací proces. S pribúdaním uhlíka klesá obsah kyslíka, zatiaľ čo obsah vodíka klesá podstatne menej.

Organický pôvod uhliá podmieňuje vo fosílnych palivách aj obsah dusíka, kyseliny fosforečnej a síry.

Všetky uhliá obsahujú rôzne množstvá bezcennej príťažze (balastu) v podobe popola a vody. Popoloviny v uhlí sú rôzneho pôvodu a len nepatrná časť pochádza z anorganického podielu východiskového materiálu, prevažná časť bola premiešaná počas preuhoľňovania.

Voda v uhlí je sčasti (kapilárne nasatá hrubá vlhkosť), sčasti absorbovaná (hygroskopická voda). Hrubá vlhkosť sa na vzduchu vysuší, zatiaľ čo hygroskopická voda ostáva aj v uhlí vysušenom na vzduchu.

### **a) Hnedé uhlie**

Hnedé uhlie je produktom pokročilejšieho preuhoľňovacieho procesu. V podstate sú to humusové uhliá vzniknuté predovšetkým zo stromových rastlín a medzi nimi aj takých, ktoré obsahovali živiace a vosky. Uhliá obsahujúce väčšie množstvo týchto látok nazývame bituminóznymi. Najmladšie hnedé uhliá sa nazývajú lignity, majú zachovalú štruktúru dreva a obsahujú málo bitúmenu.



Hnedé uhlie obsahuje veľké množstvo vody, lignity 50-60 %. Severočeské hnedé uhlie obsahuje 20-30 %. Zriedka vyše 30 %, ale často nižšie 20 %.

Obsah popola okolo 10 %. Často menej ako 5 %.

Výhrevnosť býva 8400 až 21 000 kJ.kg<sup>-1</sup>. Doprava podradného hnedého uhlia (veľa vody, popola a malá výhrevnosť) je finančne veľmi nákladná, a preto sa spaľuje predovšetkým v blízkosti výskytu.

## b) Čierne uhlie

Čierne uhlie je najdôležitejším fosílnym palivom vôbec. Na rozdiel od hnedého má vždy čierny vryp a vyskytuje sa prevažne vo vrstvách karbónu.

Na vykurovanie kotlov možno použiť všetky druhy uhlia a ich hospodárne spaľovanie závisí len od voľby vhodného ohniska. V celom svete rastie podiel podradných palív pri vykurovaní parných generátorov. Príčinou toho je najmä prenikavý rozvoj chemického priemyslu (zušľachťovanie palív), ktorý viaže značnú časť najhodnotnejších palív, ďalej spôsob mechanickú ťažbu a úsilie po zužitkovaní aj takých palív, ktoré predtým putovali do haldu.

Uhlie sa väčšinou nezužítkuje v surovom vyťaženom stave, ale sa najprv mechanicky zušľachťuje triedením a praním v úpravniach, väčšinou pričlenených k uhoľným baniam.

## Drevo

Drevo ako technický materiál sa radí medzi látky s kapilárno-pórovitou štruktúrou, pričom steny kapilár majú vlastnosti elastických obmedzene napúčajúcich gélov.

Podľa charakteru väzieb vody s drevom rozoznávame v dreve:

- **Vodu adsorpčnú** – nachádzajúcu sa na povrchu mikrofibríl vo forme monomolekulárnej vrstvy, resp. dvoch, či troch vrstiev vody viažucej sa Van der Waalsovými silami medzi voľnými OH skupinami lignín:-sacharidickej matrice dreva a polárnymi molekulami vody,
- **Vodu hygroscopickú** – nachádzajúcu sa v medzifibrilárnych priestoroch a mikrokapilárach bunecných stien s polomerom  $r < 10^{-7}$  m a

- **Vodu voľnú** – nachádzajúcu sa v makrokapilárach – lúmenoch buniek.

Drevo v absolútne suchom stave pozostáva z bunkových stien a vzduchu nachádzajúcom sa v mikrokapilárach bunečných stien a v lúmenoch buniek. Hmotnosť bunkových stien dreva je označovaná pojmom drevná látka. Priemerná hodnota hustoty drevných látok je  $\rho_{ds} = 1540 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Hustota absolútne suchého dreva:

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o} \quad (1-1)$$

Tab. 1-1 Rozdelenie dreva drevín rastúcich v miernom pásme podľa hustoty v absolútne suchom stave.

Skupina	Hustota dreva v absolútne suchom stave $\rho_o$	Drevina
Lahké drevo	$\rho_o < 550 \text{ kg.m}^{-3}$	Smrek, jedľa, duglaska, borovica, limba, smrekovec, topoľ, lipa, vrbica, osika, jelša, gaštan
Stredne ťažké drevo	$560 < \rho_o < 750 \text{ kg.m}^{-3}$	Javor, breza, buk, dub, jaseň, brest, agát
Ťažké drevo	$\rho_o > 760 \text{ kg.m}^{-3}$	hrab

**Absolútna vlhkosť dreva** je definovaná ako podiel hmotnosti vody nachádzajúcej sa vo vzorke dreva k hmotnosti vzorky dreva v absolútne suchom stave.

$$W = \frac{m_w - m_o}{m_o} 100 \quad (1-2)$$

**Redukovaná hustota dreva  $\rho_r$**  je definovaná podielom hmotnosti dreva v absolútne suchom stave  $m_0$  a jeho maximálneho objemu  $V_{max}$  na medzi hygroskopickosti dreva. Niektorí autori používajú pojem redukovaná hustota dreva v čerstvom stave  $\rho_{rč}$ , ktorým označujú podiel hmotnosti sušiny vzorky dreva  $m_0$  a jej objemu  $V_{max}$  v mokrom stave po zoťatí stromu.

$$\rho_r = \frac{m_0}{V_{max}} \quad (1-3)$$

### 1.1.1 Tepelné vlastnosti dreva

Vlastnosti dreva sú charakterizované:

- špecifickou tepelnou kapacitou dreva
- tepelnou vodivosťou dreva
- teplotnou vodivosťou
- pohltivosťou tepelného žiarenia povrchom dreva

**Špecifická tepelná kapacita dreva  $c_w$  [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]** je definovaná, ako množstvo tepla, ktorým sa hmotnosť 1 kg dreva ohreje o 1K.

$$c_w = \frac{\Delta Q}{m(t_2 - t_1)} \quad (1-4)$$

So zvyšovaním teploty sa hodnota špecifickej tepelnej kapacity zvyšuje .

Pre výpočet špecifickej tepelnej kapacity vlhkého dreva  $c_w$  v závislosti na vlhkosti dreva  $w$  a termodynamickkej teplote dreva  $T$ , uvádza Deliiski (1990) nasledovné rovnice:

- pre vlhké a mokré nezmrznuté drevo ( pri  $T \geq 271,15K$ )“

$$c_w = \frac{2097w + 826}{l + w} + \frac{9,92w + 2,55}{l + w} T + \frac{0,0002}{l + w} T^2 \quad \text{pri } w < w_{BNV}, \quad (1-5)$$

$$c_w = \frac{2862w + 555}{1 + w} + \frac{5,49w + 2,95}{l + w}T + \frac{0,0036}{l + w}T^2 \quad \text{pri } w \geq w_{BNV} \quad (1-6)$$

**Tepelná vodivosť dreva** charakterizuje intenzitu šírenia tepla v dreve pri jednotkovom tepelnom spáde. V dôsledku pórovitej stavby dreva, tepelná vodivosť suchého a vzduchosuchého dreva je nízka, čo radí suché a vzduchosuché drevo medzi izolačné materiály t.j. materiály s koeficientom tepelnej vodivosti  $\lambda < 0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

Koeficient tepelnej vodivosti  $\lambda$  udáva množstvo tepla, ktoré prejde plochou steny  $S = 1\text{m}^2$  o hrúbke  $h = 1\text{m}$ , pri teplotnom spáde medzi protíľahlými stranami  $\Delta t = 1\text{K}$  za čas  $\tau = 1\text{s}$ . Tepelná vodivosť dreva je závislá na hustote, vlhkosti, teplote. S Rastom hustoty dreva jednotlivých drevín sa tepelná vodivosť dreva zvyšuje. Závislosť koeficienta tepelnej vodivosti dreva na hustote absolútne suchého dreva pri teplote  $0^\circ\text{C}$  popisujú Kollmann-Malmquist rovnicami:

- Pre šírenie tepla v smere kolmo na vlákna:

$$\lambda_{0\lambda} = 0,015 + 0,159\rho_0 + \frac{0,0048}{0,44 - 0,278\rho_0} \quad (1-7)$$

- Pre šírenie tepla v smere vlákien:

$$\lambda_{0II} = 0,026 + 0,474\rho_0 \quad (1-8)$$

Kde:  $\rho_0$  – hustota dreva v absolútnom suchom stave,  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

### **Tepelná vodivosť dreva**

Koeficient teplotnej vodivosti  $a$  [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ] je parameter, ktorý charakterizuje ako rýchlo sa vyrovnávajú teplotné rozdiely v nerovnomerne ohriatom dreve. Definovaný je ako podiel tepelnej vodivosti  $\lambda_w$  dreva a súčinu hustoty dreva  $\rho_w$  a jeho špecifickej tepelnej kapacity  $c_w$ .

$$a_w = \frac{\lambda_w}{\rho_w c_w} \quad (1-9)$$

(Dzurenda: tepelné procesy v technológiách spracovania dreva)

Teplotná vodivosť dreva je závislá na tepelnej vodivosti  $\lambda_w$ , hustote  $\rho_w$ , špecifickej tepelnej kapacite dreva  $c_w$  a anatomickom smere šírenia sa tepla v dreve. Teplotná vodivosť dreva v smere vláken je vyššia než naprieč vláken a hodnota tepelnej vodivosti dreva v radiálnom smere je nepatrne vyššia než v tangenciálnom smere. Teplotná vodivosť dreva klesá so zvyšovaním hustoty a vlhkosti dreva. S rastúcou teplotou koeficient tepelnej vodivosti sa zvyšuje, pričom pre absolútne suché drevo je táto závislosť lineárna.

### **Spalné teplo a výhrevnosť**

**Spalné teplo  $Q_s$  [MJ.kg<sup>-1</sup>]** je teplo uvoľnené dokonalým spálením aktívnych zložiek horľaviny C, H, S obsiahnuté v 1 kg paliva na CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, a kvapalnú vodu H<sub>2</sub>O.

**Výhrevnosť  $Q_i$  [MJ.kg<sup>-1</sup>]** je teplo uvoľnené za rovnakých podmienok len s tým rozdielom, že miesto kvapalnej vody sa uvoľňuje para. Výhrevnosť sa vypočíta zo spálneho tepla odpočítaním výparného tepla vody  $Q_v$ . Voda uvoľňujúca sa spaľovaním je súčtom vody obsiahnutej v palive (jeho vlhkosť) a vody vzniknuté spálením paliva (odpovedajúca obsahu vodíka v palive).

Obsah vody výrazne ovplyvňuje výhrevnosť paliva a to nielen zmenšením obsahu sušiny, ale aj spotrebou energie na odparenie. T toho vyplýva nutnosť predaja paliva s ohľadom na vlhkosť.

Výhrevnosť sa určí zo vzťahu:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) \quad (1-10)$$

Výhrevnosť paliva môžeme určiť aj na základe zjednodušeného výpočtu na základe vzťahu:

$$Q_i = 18,84 - 0,217 \cdot w \quad (1-11)$$

Tab. 1-2 Skutočná výhrevnosť dreva a kôry v závislosti na obsahu vody

Obsah vody	Drevo		Kôra	
	[MJ.kg <sup>-1</sup> ]	[kWh.kg <sup>-1</sup> ]	[MJ.kg <sup>-1</sup> ]	[kWh.kg <sup>-1</sup> ]
0	18,5	5,1	18,8	5,2
10	16,4	4,6	16,7	4,6
20	14,3	4,0	14,6	4,1
30	12,2	3,4	12,5	3,5
40	10,1	2,8	10,5	2,9
50	8,0	2,2	8,4	2,3
60	6,0	1,7	6,3	1,8

(Mikulík,2009a)

Tab. 1-3 Výhrevnosť pri 0% vlhkosti a chemické zloženie niektorých druhov dreva

Palivo	Výhrevnosť [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	Zložky paliva v suchej hmote [%]					
		C	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	S	Cl
Smrekové drevo	18,8	49,8	6,3	43,2	0,13	0,015	0,005
Bukové drevo	18,4	47,9	6,2	45,2	0,22	0,015	0,006
Topoľové drevo	18,5	47,5	6,2	44,1	0,42	0,031	0,004
Vŕbové drevo	18,4	47,1	6,1	44,3	0,54	0,045	0,004

(Jandačka,2007a)

## 1.1 Energetické zhodnotenie tuhých palív

Pri najjednoduchšom energetickom hodnotení tuhých palív vychádzame z predpokladu, že sú zložené z horľaviny, popola a vody. Horľavina predstavuje aktívnu zložku, pretože je nositeľom chemicky viazanej energie a je tvorená najmä uhlíkom, vodíkom a sírou. Z praktického hľadiska sa do horľaviny zahrňuje tiež dusík a kyslík. Popol a voda sú zložky sú zložky pasívne, nie sú nositelia energie, naopak energetickú hodnotu paliva znižujú. Rozdiel medzi nimi je v tom, že zatiaľ čo obsah popola, ktorý je z časti rozptýlený v uhoľnej hmote, nemožno jednoduchým spôsobom ovplyvniť, obsah vody možno pomerne ľahko znížiť sušením. Je logické, že vysušenie paliva má za následok zvýšenie jeho výhrevnosti, čo má veľký praktický význam najmä v prípade dreva. ([www.biomasa-info.cz](http://www.biomasa-info.cz))

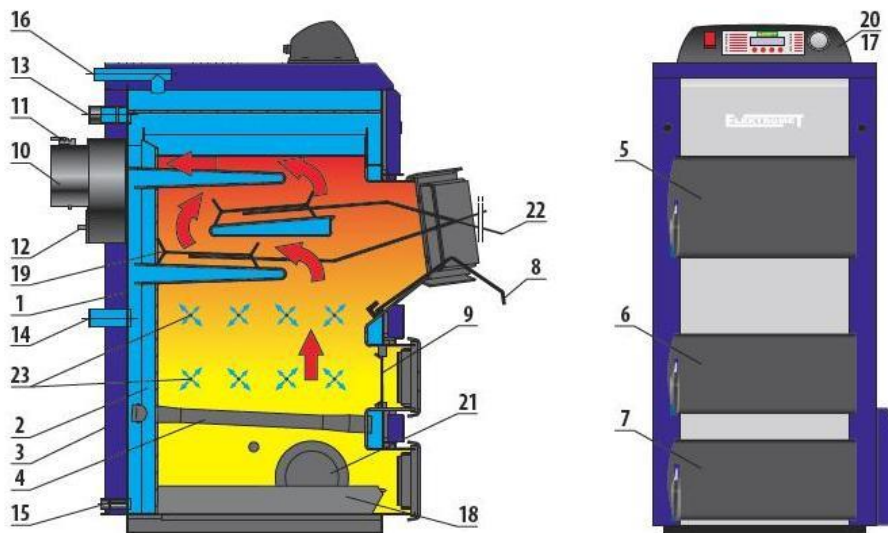
Z energetického hľadiska najdôležitejšími vlastnosťami paliva sú spalné teplo a výhrevnosť. Spalné teplo je definované ako teplo, ktoré sa uvoľní dokonalým spálením 1 kg paliva a ochladení spalín a popola na počiatočnú teplotu t. j. 20°C, pričom vodná para skondenzuje a zmení sa na vodu. Výhrevnosť je definovaná ako teplo, ktoré sa uvoľní dokonalým spálením 1 kg paliva pri ochladení spalín na pôvodnú teplotu okolia pričom voda (odparená z paliva, vzniknutá oxidáciou vodíka nachádzajúcom sa v palive a privedená vlhkým vzduchom) zostáva v plynnom stave. (DZURENDA, 2005)

Kotly na tuhé palivá sa konštrukčne odlišujú podľa druhu spaľovaného paliva, ktoré vplýva na prevedenie spaľovacieho roštu a odstraňovanie popola z kotla.

Medzi základné konštrukčné časti kotlov na pevné palivo patria (JANDAČKA, 2007):

- spaľovací priestor - časť vnútorného priestoru kotla, kde prebieha spaľovanie paliva,
- rošt- súčasť kotla na pevné palivo, určená k spaľovaniu paliva vo vrstve, poprípade k odstraňovaniu pevných zvyškov spaľovania z ohniska,
- kúrenisko(ohnisko) - časť kotla na pevné palivo, ktoré pozostáva z roštu a zo spaľovacieho priestoru,
- zásobník paliva - priestor, v ktorom je umiestnené palivo,
- rozvody primárneho a sekundárneho vzduchu- priestory vo vnútri kotla, ktorými prúdi vzduch na spaľovanie do primárnej a sekundárnej zóny spaľovania

- kotlové teleso - súčasť kotla, v ktorom sa ohrieva teplotonosná látka,
- popolník- priestor v kotle na pevné palivo, kde sa zhromažďujú pevné zvyšky spaľovania, ktoré prepádajú cez rošt alebo sú roštom vynesené,
- popolníková zásuvka - vyberateľná nádoba, určená k odstráneniu pevných zvyškov spaľovania z popolníka,
- spalinové cesty - priestory vo vnútri kotla, ktorými prúdia spaliny,
- výmenník tepla - časť kotla, v ktorej odovzdávajú spaliny teplo teplotonosnej látke, zvyčajne rúrkovými, jedno až trojťahovými výmenníkmi tepla,
- čistiace otvory- otvory pre čistenie spalinových ciest a výmenníkov tepla.



Obr. 1.1 Schéma kotla na tuhé palivo – 1. kotlové teleso, 2. výmenník tepla, 3. opláštenie, 4. vodný rošt, 5, 6, 9. dvierka, 7. popolníkové dvierka, 8. smerovač ťahu, 10. sopúch, 11. komínová klapka, 12. revízny otvor, 13, 14. pripojenie vykurovacieho média, 15. výpust, 16. odvodušenie, 17. termostat, 18. popolník, 19. lapače, 20. ovládací panel, 21. ventilátor, 22. háky na lapače, 23. náduchové dýzy (www.svetkotlov.sk)

Kotly na tuhé palivá sa delia podľa spôsobu spaľovania paliva na (Jandačka, 2007):

- Kotly s vrchným spaľovaním- v ktorých palivo nasypané cez šachtu na rošt horí zdola nahor. Horľavé plyny i spaliny prechádzajú celou vrstvou nasypaného paliva, ktoré prehorieva v celej výške a cez kotlové ťahy sa dostávajú do sopúcha a ďalej do komína. Výkon kotla je nerovnomerný,



pretože je závislý od rozžeravenej vrstvy paliva, ktorá sa počas horenia neustále znižuje. Výhodou kotlov s vrchným spaľovaním je pomerne malá ťahová strata. Preto sa vrchné spaľovanie používa predovšetkým v malých kotloch s výhrevnou plochou od 0,5 do 25m<sup>2</sup>, ktoré sa často pripojujú na nízky komín s malým ťahom.

- Kotly so spodným spaľovaním, v ktorých plyny a spaliny neprechádzajú celou vrstvou paliva v násypnej šachte. Bez ohľadu na množstvo paliva v šachte prehorieva palivo len v dolnej časti nasypanej vrstvy. Rozžeravená je trvalo približne rovnaká vrstva paliva, ktorú možno v určitých medziach regulovať, čím sa dosahuje rovnaký výkon kotla. Ohnisko upravené na spodné spaľovanie majú predovšetkým veľké kotly. Môžu sa v nich spaľovať skoro všetky druhy tuhých palív. Medzi kotly so spodným spaľovaním patria tiež kotly s násypníkom na jednej strane, v ktorých sa palivo zosúva na rošt vlastnou hmotou, alebo sa dopravuje do ohniska mechanickým roštom.

Kotly so splyňovaním dreva pracujú na princípe odhorievania paliva, avšak celý proces horenia je možné rozdeliť na dve fázy, a to splyňovanie a následné spaľovanie horľavých plynov. Splyňovanie dreva prebieha pri prebytku spaľovacieho vzduchu menšom ako jedna. Toto sa zabezpečí prívodom primárneho spaľovacieho vzduchu. Spaľovanie horľavých plynov sa realizuje v tzv. spaľovacej komore pri účasti sekundárneho spaľovacieho vzduchu. (JANDAČKA, 2007)

Podľa prísunu paliva na rošt kotly na tuhé palivá môžu byť:

- Ručné
- Poloautomatické
- Automatické

V kotloch s ručnou obsluhou sa palivo ukladá do násypnej šachty kotla. Výšku spaľovaného paliva na rošte nemožno kontrolovať. Poloautomatické kotly majú zásobník paliva umiestnený mimo kotla. Palivo sa zosúva vlastnou tiažou na rošt. Výšku vrstvy paliva na rošte možno regulovať. V automatických kotloch sa palivo zosúva zo zásobníka v nastavenej vrstve na pohyblivý pásový rošt, ktorý je riadený automaticky. ([www.tabulky.sk](http://www.tabulky.sk))

Emisie zo spaľovania tuhých palív sú základným zdrojom znečisťovania životného prostredia. Kvalitu spaľovania, najmä v malých zdrojoch, najviac ovplyvňuje teplota spaľovania, prívod atmosférického vzduchu, vlhkosť paliva, použitá technológia. Pri spaľovaní tuhých palív unikajú do ovzdušia tieto znečisťujúce látky: CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO. Z globálneho hľadiska sú najdôležitejšie emisie oxidu uhličitého, ktorý spôsobuje skleníkový efekt a vplýva na globálne otepľovanie. Z ekologického hľadiska majú významný negatívny vplyv oxidy dusíka a odparené uhľovodíky, ktoré sa za pôsobenia slnečného žiarenia zúčastňujú na tvorbe fotochemického smogu. V súčasnosti sa kladú veľké nároky na zvyšovanie účinnosti zdrojov tepla a zvyšovanie efektívnosti paliva čo znižuje produkciu emisií.

Pre spoľahlivú prevádzku spaľovacieho zariadenia je nevyhnutné poznať teplotu tavenia popolovín nachádzajúcich sa v palive. Podľa teploty tavenia popola sa popol rozdeľuje na:

- ľahko tavitelné popoly, int. teplôt tavenia popola 1000 až 1200 °C
- stredne tavitelné popoly, int. teplôt tavenia popola 1200 až 1450 °C
- ťažko tavitelné popoly, interval teplôt tavenia popola > 1450 °C.

Pri uhlí je pomerne veľký obsah oxidov kremíka a hliníka. Z toho dôvodu má táto popolovina pomerne vysokú teplotu tavitelnosti. Pri biomase je naopak podstatná časť tvorená oxidmi vápnika, horčíka, draslíka a sodíka. Zatiaľ čo vápnik a horčík zvyšuje bod topenia popola, draslík, chloridy a nízko topiace alkalické silikáty spôsobujú pokles bodu topenia. Pri niektorých druhoch rastlinnej biomasy ako slama, celé rastliny obilnín a seno je teplota spaľovacieho priestoru vyššia než 800 - 900 °C. Z tohto dôvodu, je ich nutné považovať slamu, seno a obilniny za technicky zložitejšie spáliteľné palivo. Veľkosť zŕn popola rôznych druhov biomasy ukazuje na podstatne väčšie množstvo častíc poletujúceho popola u steblovín oproti drevným biopalivám. To je spojené s podstatne vyšším znečistením výmenníka tepla a následnou požiadavkou na jeho vhodnú konštrukciu umožňujúcu automatické čistenie.

V biopalivách sa z ekologického hľadiska nachádza nezanedbateľné množstvo ťažkých kovov ako je kadmium a zinok. Častice s týmito kovmi sú najčastejšie súčasťou najjemnejších frakcií a sú emitované do ovzdušia. U väčších zdrojov je teda nutný filter jemných frakcií, ktoré sa na rozdiel od ostatných frakcií nesmú použiť ako hnojivo, ale je potrebné ukladať ich na skládkach.

Udržať teplotu v spaľovacej komore v takýchto medziach, aby sa nevytvárali spečence a nánosy je pomerne zložité, avšak je možné regulovať teplotu spaľovania aspoň v určitých medziach tak, aby sa tvorba spečencov a nánosov výrazne obmedzila. Obsah popola v palive sa vyjadruje na základe vzťahu

$$A = \frac{m_p}{m_d} [-], \quad (1-12)$$

kde  $m_p$  je hmotnosť popola [g],  $m_d$  je hmotnosť absolútne suchej vzorky paliva [g]. V *tab. 1-4* sú uvedené obsahy popola ako aj teploty topenia popola niektorých druhov biopalív. Množstvo popoloviny biomasy sa pohybuje od 0,5 do 8 %. Obsah popola u drevnej biomasy je od 0,5 do 2,0 %.

Biomasa vykazuje široké rozpätie obsahu vody. V procese spaľovania predstavuje vysoký obsah vody (vlhkosti) v palive väčšie nároky na spotrebovanú energiu na jej odparovanie. Okrem toho má vlhkosť paliva z biomasy nepriaznivý vplyv na:

- tvorbu klenby v zásobníkoch paliva,
- objem spalín a množstvo vodnej pary v spaliniách,
- vzrast teploty rosného bodu spalín, ktorá sa negatívne premieta v náraste tzv. kombinovanej straty zdroja tepla,
- zvýšené nebezpečenstvo vzniku korózie niektorých častí spaľovacieho zariadenia a pod.
- 

### 1.1.1 Zloženie paliva

Tuhé palivá pozostávajú z horľaviny ( $h$ ), popola ( $A$ ) a vody ( $w$ ). Všeobecné zloženie paliva možno vyjadriť zápisom:

$$h + A + w = 1 [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (1-13)$$

Horľavinu tvorí tá časť paliva, ktorej oxidáciou sa uvoľňuje teplo, t.j. chemicky viazaná energia v palive. Jedná časť horľaviny sa skladá z prvkov uhlíka (C), vodíka (H) a prípadne síry (S). Sú to tzv. aktívne látky horľaviny, pri oxidácií ktorých vzniká teplo. Druhú časť horľaviny predstavujú tzv. pasívne látky, ktoré nedodávajú teplo, ale sú viazané na organickú hmotu. Pasívnymi látkami horľaviny sú kyslík ( $\text{O}_2$ ) a dusík

(N<sub>2</sub>), ktoré pri chemickej reakcii neuvolňujú teplo, resp. pre ich priebeh je nevyhnutné dodanie tepla. Horľavinu potom môžeme vyjadriť zápisom

$$h = C + H_2 + S + N_2 + O_2 = 1 \text{ [kg.kg}^{-1}\text{]} \quad (1-14)$$

kde  $h$  - horľavina a C, H<sub>2</sub>, S, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> - hmotnostné zlomky príslušných prvkov. Súčet podielov uvedených prvkov (uhlíka, vodíka, síry, dusíka a kyslíka) predstavuje podiel horľaviny v palive.

Podľa skutočnosti, ako jednotlivé prvky horľaviny chemicky reagujú: exotermicky, neutrálne, či endotermicky sa prvky horľaviny členia na aktívne prvky horľaviny: uhlík (C), vodík (H), síra (S) pri oxidácií ktorých sa uvoľňuje teplo a pasívne prvky horľaviny: kyslík (O) a dusík (N), ktoré pri chemických reakciách neuvolňujú teplo – reakcie kyslíka (O), resp. odoberajú teplo z okolia – oxidácia dusíka (N). Horľavina, podľa skupenstva, v ktorom horí, sa delí na prchavú a neprchavú zložku. Podiel prchavej a neprchavej horľaviny sa stanovuje tzv. koksovacou skúškou. Prchavá horľavina je tá časť horľaviny, ktorá pri zohriatí paliva za neprítomnosti kyslíka na 850 °C, sa termolytickým rozkladom z paliva uvoľňuje vo forme plyných produktov (organických plynov a pár). Prchavá horľavina má významný vplyv na tvorbu plameňa a proces horenia paliva. Dendromasa sa z uvedeného aspektu radí medzi palivá s vysokým podielom prchavej horľaviny, ktorý dosahuje hodnotu 70 až 76 %. Neprchavá horľavina je tuhý zvyšok po koksovaní paliva – drevné uhlie. Pozostáva z uhlíka (C) v drevnom uhlí a popolovín, ktoré sa žíhaním premieňajú na popol. Balast paliva je tvorený popolovínami (A) a vodou (W) nachádzajúcimi sa v palive. Balast je nežiaduci podiel paliva. Čím je podiel balastu v palive vyšší tým je palivo menej hodnotné pre výrobu tepla. Dendromasa v porovnaní s inými pevnými palivami sa radí medzi palivá s nízkym obsahom popolovín. Negatívnou vlastnosťou dendromasy je jej schopnosť viazať značné množstvo vody.

Horľavina sa ďalej delí na neprchavú a prchavú zložku, ktorých podiel sa stanovuje tzv. koksovacou skúškou pri 850 °C za neprítomnosti kyslíka. Podiel, ktorý pri tejto skúške vyprchá, je tvorený prchavou zložkou horľaviny a vodnou parou. Ochladením prchavých zložiek sa získa karbonizačný plyn, decht a voda. Tuhý zvyšok po koksovaní vzorky je tvorený neprchavou horľavinou (tuhý uhlík) a popolovínami premenenými pri žíhaní na popol.

Prchavá horľavina má výrazný vplyv na tvorbu plameňa a proces spaľovania tuhých palív, preto je veľmi dôležité poznať zásadné rozdiely medzi palivami z hľadiska tohto parametra. V prípade tuhých fosílnych palív podiel prchavej horľaviny závisí od geologického veku a tým aj od stupňa zuhoľnatenia paliva. Čím je palivo geologicky staršie, tým má menší prchavý podiel a naopak.

Biomasa všeobecne obsahuje veľké množstvo prchavej horľaviny. Bežne sa pohybuje okolo 75 %. Najviac jej obsahuje drevo, a to spôsobuje, že drevo nehorí v kúrenisku, ale v priestore medzi kúreniskom a komínom. Často sa hovorí o tzv. dlhom plameni dreva a biopalív. Ak prchavá horľavina nevyhorí v tomto priestore, či už z dôvodu veľkosti kúreniska, nedostatku kyslíka alebo nedostatočnej teploty, horľavina sa odvádza do atmosféry a vytvára emisné zaťaženie okolia. Z hľadiska prevádzky spaľovacích zariadení, nespálenie prchavej zložky paliva predstavuje tepelnú stratu zariadenia tzv. chemickým nedopalom. Pri poklese teploty prchavej horľaviny v nejakom mieste spaľovacieho zariadenia pod spaľovaciu teplotu, niektoré jej uhľovodíky kondenzujú a spolu so sadzami a popolčekom sa usádzajú na povrchu výhrevných plôch a vytvárajú nánosy. Tieto nánosy zhoršujú prestup tepla medzi spalinami a teplonosným médiom, čoho dôsledkom je zníženie účinnosti spaľovacieho zariadenia. Z tohto dôvodu sú spaľovacie zariadenia konštruované odlišne od zariadení určených na spaľovanie čierneho uhlia a koksu. Biomasa nutne vyžaduje prívod sekundárneho vzduchu do priestoru nad roštom, ďalej musí byť tento vzduch ohriaty na teplotu čo možno najbližšie k teplote spalín. Studený vzduch by sa so spalinami s vysokou viskozitou zle miešal. Pre spaľovaciu komoru je tiež dôležité, aby nebola vychladzovaná. Tým sa udrží dostatočne vysoká teplota a čas pre spaľovanie oxidu uhoľnatého.

Balast paliva tvorí popol (A) a voda (w). Balast je nežiaduci podiel paliva. S rastom balastu v palive klesá spalné teplo paliva, resp. výhrevnosť, znižuje sa jeho cena a pri veľkom podiele balastu je palivo nevhodné na využívanie, lebo náklady na jeho dopravu môžu prevažovať jeho využiteľnú hodnotu.

Popol vzniká v dôsledku reakcii minerálnych látok prítomných v biomase a kyslíka. Je to pevný zvyšok, ktorý vznikne po dokonalom laboratórnom spálení paliva. Tvorený je minerálnymi látkami, ktoré sa v palive nachádzajú. Z chemického hľadiska popol z biomasy je hlavne tvorený zmesou oxidov anorganických prvkov  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $P_2O_5$ . Množstvo popola je závislé od

podmienok, pri ktorom prebieha proces spaľovania. Popoloviny v procese spaľovania paliva tvoria tuhý zvyšok – popol, ktorý môže byť v nasledovných formách:

- Troska – minerálne látky nachádzajúce sa v palive, ktoré prešli pri horení paliva procesom tavenia a vytvorili hutnú sklovitú hmotu,
- Škvara - minerálne látky nachádzajúce sa v palive, ktoré v priebehu horenia zmäkli, spiekli sa a vytvorili pórovitý materiál,
- Popol - minerálne látky nachádzajúce sa v palive, ktoré v priebehu horenia paliva zostávajú vo forme sypkej hmoty a prepadávajú cez rošt do popolnice,
- Popolček – jemné častice tuhého zvyšku (popola), ktoré sú v procese spaľovania paliva strhávané z kúreniska, resp. zo spaľovacej komory spalinami. Zachytávané sú v odľučovačoch popolčeka alebo sú spalinami odvádzané komínom do atmosféry a tvoria emisný spád tuhých znečisťujúcich látok (TZL) na okolie.

Tab. 1-4 Výhrevnosť, spalné teplo, obsah popola a teplota tavenia popola v suchom stave (HARTMANN, 2003)

Palivo	Výhrevnosť ( $Q_i$ )	Spalné teplo ( $Q_s$ )	Obsah popola (A)	Teplota tav. popola
	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]	[MJ·kg <sup>-1</sup> ]	[kg·kg <sup>-1</sup> ]	[°C]
Smrekové drevo s kôrou	18,8	20,2	0,6	1426
Bukové drevo s kôrou	18,4	19,7	0,5	-
Topoľové drevo - krátke výhonky	18,5	19,8	1,8	1335
Vrbové drevo - krátke výhonky	18,4	19,7	2,0	1283
Kôra s ihličnatého dreva	19,2	20,4	3,8	1440
Žitná slama	17,4	18,5	4,8	1002

Pšeničná slama	17,2	18,5	5,7	998
Tritikale slama	17,1	18,3	5,9	911
Jačmenná slama	17,5	18,5	4,8	980
Repková slama	17,1	18,1	6,2	1273
Pšeničné zrno so slamou	17,1	18,7	4,1	977
Tritikale zrno so slamou	17,0	18,4	4,4	833
Zrno pšenice	17,0	18,4	2,7	687
Zrno tritikale	16,9	18,2	2,1	730
Repkové semeno	26,5	-	-	-
Ozdobnica čínska	17,6	19,1	3,9	973
Poľnohospodárske seno	17,4	18,9	5,7	1061
Pasienková tráva	16,5	18,0	8,8	-
Čierne uhlie	29,7	-	8,3	1250
Hnedé uhlie	20,6	-	5,1	1050

Pre spoľahlivú prevádzku spaľovacieho zariadenia je nevyhnutné poznať teplotu tavenia popolovín nachádzajúcich sa v palive. Podľa teploty tavenia popola sa popol rozdeľuje na:

- ľahko tavitelné popoly, int. teplota tavenia popola 1000 až 1200 °C
- stredne tavitelné popoly, int. teplota tavenia popola 1200 až 1450 °C
- ťažko tavitelné popoly, interval teplot tavenia popola > 1450 °C.

Pri uhlí je pomerne veľký obsah oxidov kremíka a hliníka. Z toho dôvodu má táto popolovina pomerne vysokú teplotu tavitelnosti. Pri biomase je naopak podstatná

časť tvorená oxidmi vápnika, horčíka, draslíka a sodíka. Zatiaľ čo vápnik a horčík zvyšuje bod topenia popola, draslík, chloridy a nízko topiace alkalické silikáty spôsobujú pokles bodu topenia. Pri niektorých druhoch rastlinnej biomasy ako slama, celé rastliny obilnín a seno je teplota spaľovacieho priestoru vyššia než 800 - 900 °C. Z tohto dôvodu, je ich nutné považovať slamu, seno a obilniny za technicky zložitejšie spáliteľné palivo. Veľkosť zŕn popola rôznych druhov biomasy ukazuje na podstatne väčšie množstvo častíc poletujúceho popola u steblovín oproti drevným biopalivám. To je spojené s podstatne vyšším znečistením výmenníka tepla a následnou požiadavkou na jeho vhodnú konštrukciu umožňujúcu automatické čistenie.

V biopalivách sa z ekologického hľadiska nachádza nezanedbateľné množstvo ťažkých kovov ako je kadmium a zinok. Častice s týmito kovmi sú najčastejšie súčasťou najjemnejších frakcií a sú emitované do ovzdušia. U väčších zdrojov je teda nutný filter jemných frakcií, ktoré sa na rozdiel od ostatných frakcií nesmú použiť ako hnojivo, ale je potrebné ukladať ich na skládkach.

Udržať teplotu v spaľovacej komore v takýchto medziach, aby sa nevytvárali spečence a nánosy je pomerne zložité, avšak je možné regulovať teplotu spaľovania aspoň v určitých medziach tak, aby sa tvorba spečencov a nánosov výrazne obmedzila. Obsah popola v palive sa vyjadruje na základe vzťahu (1-12). V *tab. 1-4* sú uvedené obsahy popola ako aj teploty topenia popola niektorých druhov biopalív. Množstvo popoloviny biomasy sa pohybuje od 0,5 do 8 %. Obsah popola u drevnej biomasy je od 0,5 do 2,0 %.

Biomasa vykazuje široké rozpätie obsahu vody. V procese spaľovania predstavuje vysoký obsah vody (vlhkosti) v palive väčšie nároky na spotrebovanú energiu na jej odparovanie. Okrem toho má vlhkosť paliva z biomasy nepriaznivý vplyv na:

- tvorbu klenby v zásobníkoch paliva,
- objem spalín a množstvo vodnej pary v spalinách,
- vzrast teploty rosného bodu spalín, ktorá sa negatívne premieta v náraste tzv. kombinovanej straty zdroja tepla,
- zvýšené nebezpečenstvo vzniku korózie niektorých častí spaľovacieho zariadenia a pod.



### 1.1.2 Obsah vody v palive

Každé palivo je charakteristické meniacim sa obsahom vody, ktorý v palive do značnej miery ovplyvňuje energetické vlastnosti paliva.

Pri stanovení obsahu vody v palive je potrebné rozlišovať, či sa jedná o vyjadrenie obsahu vody na základe zvyklosti z drevospracujúceho priemyslu, resp. na základe energetického vyjadrenia obsahu vody. V drevospracujúcom priemysle sa obsah vody v drevnej hmote vyjadruje na základe absolútnej vlhkosti

$$w_{dr} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 = \frac{\Delta m}{m_2} \cdot 100 \quad (1-15) \quad [\%]$$

kde  $m_1$  je hmotnosť vzorky surovej drevnej hmoty [kg],  $m_2$  je hmotnosť vzorky po vysušení [kg],  $\Delta m$  je úbytok hmotnosti vzorky vplyvom vysušenia [kg].

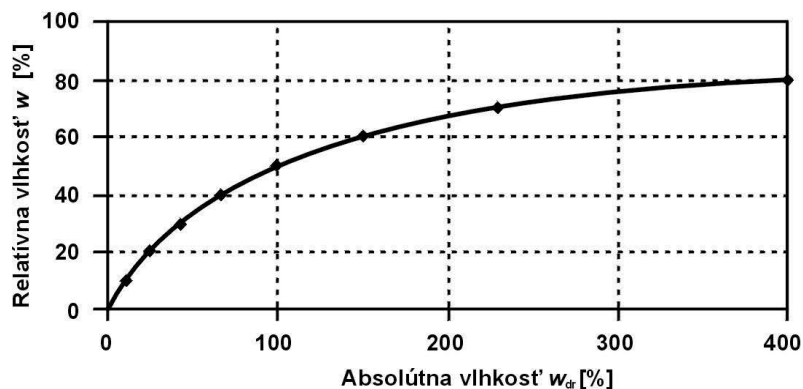
V energetike sa vyjadruje obsah vody na základe relatívnej vlhkosti

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 = \frac{\Delta m}{m_1} \cdot 100 \quad (1-16) \quad [\%]$$

Prepočet obsahu vody v palive z absolútnej vlhkosti na relatívnu vlhkosť je daný vzťahom

$$w = \frac{w_{dr}}{100 - w_{dr}} \quad (1-17) \quad [\%]$$

Na obr. 1.2 je uvedený prepočet absolútnej vlhkosti paliva ( $w_{dr}$ ) na relatívnu vlhkosť paliva ( $w$ ).



Obr. 1.2 Prepočet abs. vlhkosti paliva ( $w_{dr}$ ) na relatívnu vlhkosť paliva ( $w$ )

### 1.1.3 Spalné teplo a výhrevnosť

Z hľadiska energetického využitia biomasy sú najdôležitejšími vlastnosťami paliva výhrevnosť a spalné teplo.

Spalné teplo  $Q_s$  [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] je teplo uvoľnené dokonalým spálením aktívnych zložiek horľaviny C, H, S obsiahnuté v 1 kg paliva na  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  a kvapalnú vodu  $\text{H}_2\text{O}$ .

Výhrevnosť  $Q_i$  [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] je teplo uvoľnené za rovnakých podmienok, len s tým rozdielom, že miesto kvapalnej vody sa uvoľňuje para. Výhrevnosť sa vypočíta zo spálneho tepla odpočítaním výparného tepla vody  $Q_v$ . Voda uvoľňujúca sa spaľovaním je súčtom vody obsiahnutej v palive (jeho vlhkosť) a vody vzniknuté spálením paliva (odpovedajú obsahu vodíka v palive).

V mnohých prípadoch sa spalné teplo a výhrevnosť vyjadruje na základe jednotiek  $\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Pre prepočet platí  $1 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1} = 3,6 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Obsah vody výrazne ovplyvňuje výhrevnosť paliva, a to nielen zmenšením obsahu sušiny, ale aj spotrebou energie na odparenie. Z toho vyplýva nutnosť predaja paliva s ohľadom na vlhkosť. Výhrevnosť sa určí zo vzťahu:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) \quad [\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}] \quad (1-18)$$

kde  $Q_i$  je výhrevnosť paliva [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],  $Q_s$  je spalné teplo paliva [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],  $w$  je energetická (relatívna) vlhkosť paliva [ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] a  $H_2$  je obsah vodíka v palive [ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]. Hodnota  $2,453 \cdot w$  [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] vyjadruje skupenské teplo potrebné na odparenie vody obsiahnutej v palive  $w$ . Hodnota  $2,453 \cdot 9 \cdot H_2$  [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] vyjadruje skupenské teplo obsiahnuté v pare, ktoré vzniklo spálením vodíka obsiahnutého v palive  $H_2$ . Výhrevnosť paliva môžeme určiť aj na základe zjednodušujúceho výpočtu na základe vzťahu

$$Q_i = 18,84 - 0,217 \cdot w \quad [\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}] \quad (1-19)$$

resp.

$$Q_i = 5,2 - 0,06 \cdot w \quad [\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1}] \quad (1-20)$$

kde  $w$  je energetická (relatívna) vlhkosť paliva [%]. V *tab. 1-4* sú uvedené výhrevnosti niektorých druhov biomasy a niektorých druhov fosílnych palív pri nulovej vlhkosti. Z *tab. 1-4* je zrejmé, že výhrevnosť suchého dreva je pomerne vysoká a pohybuje sa

od 18 do 19 MJ·kg<sup>-1</sup>. Pomerne vysokú výhrevnosť má suchá slama z rôznych druhov obilnín, suché obilniny a traviny, a to v rozsahu 16,5 až 17,5 MJ·kg<sup>-1</sup>. V skutočnosti však biomasa obsahuje vždy najmenej 10 % vody. Vlhkosť slamy v balíkoch uskladnených v halových skladoch alebo v zakrytých stohoch dosahuje 14 až 16 %. Pri horení sa táto voda odparuje a tým znižuje základnú výhrevnosť sušiny biomasy. Výhrevnosť paliva sa však tiež znižuje s časom, a to vplyvom pôsobenia mikroorganizmov, húb a plesní.

Z porovnania výhrevnosti rôznych druhov biomasy s výhrevnosťou zemného plynu  $Q_i = 34 \text{ MJ} \cdot (\text{n})\text{m}^{-3}$  vyplýva, že pri náhrade 1 normovaného (n)m<sup>3</sup> zemného plynu ako paliva, suchým palivom z biomasy môžeme nahradiť 1 (n)m<sup>3</sup> zemného plynu cca 2 kg paliva z biomasy. Jeden (n) m<sup>3</sup> zemného plynu predstavuje množstvo zemného plynu prepočítané na tzv. normované podmienky, ktoré v prípade zemného plynu predstavujú atmosférický tlak 101325 Pa, teplota zemného plynu 15 °C a relatívna vlhkosť 0 %.

#### **1.1.4 Merná hmotnosť paliva**

Merná hmotnosť paliva ( $\rho$ ) je hmotnosť jednotkového objemu paliva. Vyjadruje sa v [kg·m<sup>-3</sup>]. Merná hmotnosť vždy závisí od vlhkosti a preto rovnaká drevina má pri rôznej vlhkosti rôznu mernú hmotnosť. Z tohto dôvodu je potrebné pri vyjadrovaní mernej hmotnosti poznať aj vlhkosť.

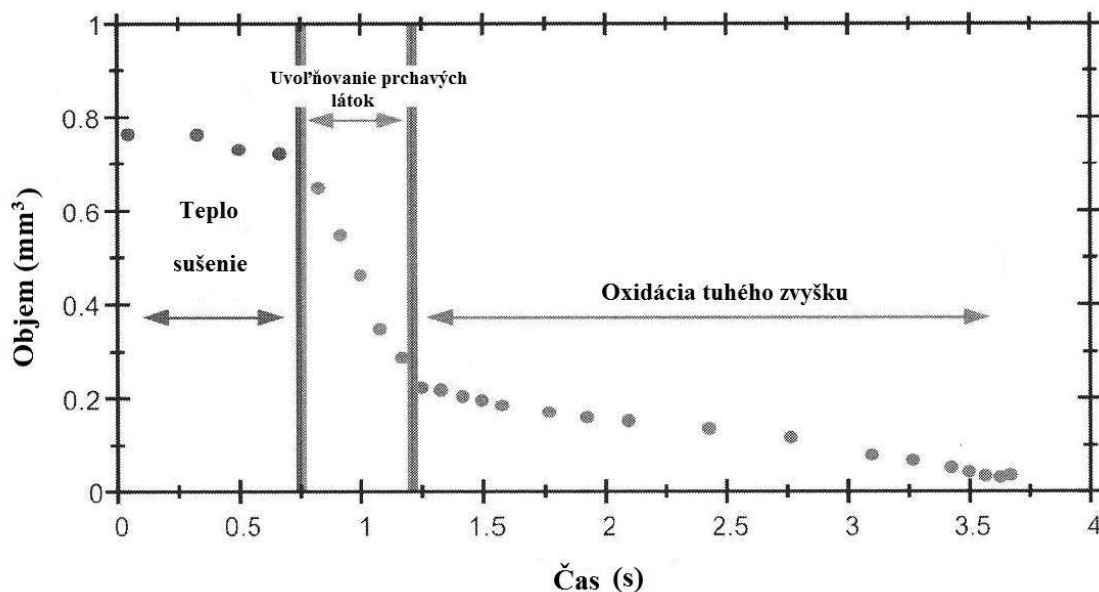
#### **1.1.5 Sypná hmotnosť paliva**

Množstvo sypnej biomasovej hmoty nachádzajúcej sa v priestore 1 m<sup>3</sup> sa vyjadruje prostredníctvom sypnej hmotnosti. Sypná hmotnosť  $\rho_s$  je definovaná ako pomer hmotnosti častíc sypkej biomasovej hmoty ( $m$ ) a objemu ( $V_s$ ), ktorý sypká hmotá zaujme voľným sypaním. Sypná hmotnosť je závislá od vlastností sypného materiálu, najmä potom od druhu biomasy, zrnitosti, vlhkosti, spôsobu sypania, prípadne od zhutnenia, ktoré môže byť dosiahnuté striasaním, vibráciami, či stláčaním.

## 1.2 Spaľovanie

Spaľovanie paliva je exotermická reakcia horľavých látok s kyslíkom, pri ktorých sa uvoľňuje teplo a svetlo. Proces spaľovania biomasy možno rozdeliť do štyroch fáz:

- Ohrev paliva
- Termický rozklad paliva
- Horenie prchavej horľaviny
- Horenie tuhého zvyšku



Obr. 1-3 Spaľovanie častíc biomasy prebieha v rôznych fázach

(SJAANK VAN LOO,2008)

Horenie spomaľuje vlhkosť v palive, vodná para znižuje teplotu plameňa. Palivá s vyššou hustotou horia pomalšie ako palivá s nižšou hustotou, čo je spôsobené tým, že kilogram paliva s vyššou hustotou má menší objem a povrch ktorým prijíma teplo na uskutočnenie termického rozkladu ako kilogram paliva s nižšou hustotou. Čím má palivo menší pomer povrchu k objemu tým pomalšie sa vznieti a horí.

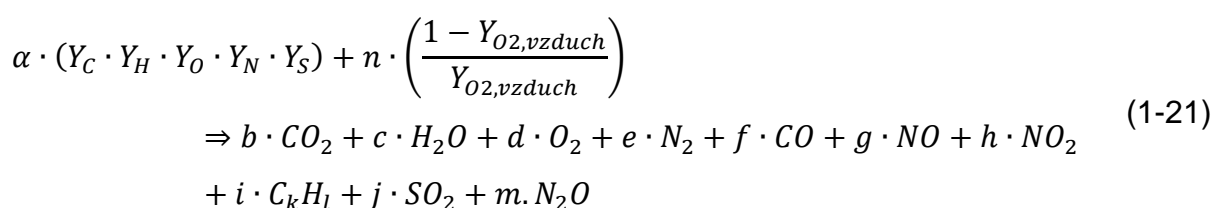
Ohrev paliva v spaľovacom priestore kúreniska sa realizuje vplyvom žiarenia plameňa a sálania stien kúreniska. Následné sušenie paliva a odparovanie vody z paliva sa deje pri teplote cca 100°C, pričom odparená voda je odvádzaná spoločne so spalínami do komína.

Termický rozklad paliva (odplyňovanie paliva), začína ohrevom vysušenej dendromasy na teplotu 150°C. Termicky najlabilnejšími zložkami dendromasy sú hemicelulózy a sprievodné látky, ich rozklad nastáva pri teplotách 150-260°C. Relatívne stabilnejšími zložkami v dreve sú celulóza a lignín. Termická deštrukcia celulózy prebieha v teplotnom intervale 240 - 350°C a najstabilnejšieho lignínu pri 280 - 500°C. Chemické reakcie termického rozkladu do teplôt 300°C sú zväčša endotermické a nad teplotnou hranicou prebiehajú exotermické reakcie horenia dendromasy.

Termickým rozkladom dendromasy sa uvoľňujú plynné produkty akými sú: oxid uhoľnatý, uhľovodíkové zlúčeniny na báze: alkoholov, aldehydov, organických kyselín, ketónov, anhydridov, fenolov a aromatických uhľovodíkov a dusíkaté zlúčeniny vo forme primárnych amínov (R-NH<sub>2</sub>), kyanovodíka (HCN), či oxidu dusnatého (NO) tvoriace prchavú horľavinu.

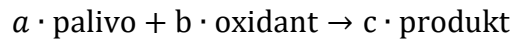
Horenie prchavej horľaviny z dendromasy je determinované skutočnosťou, že jej chemické zloženie, ako bolo uvedené vyššie, je značne heterogénne a chemické reakcie horenia prchavej horľaviny v plameni sú značne rozmanité. Konečným produktom týchto reakcií je oxidácia uhlíka na oxid uhličitý CO<sub>2</sub> a vodíka na vodnú paru H<sub>2</sub>O.

Proces spaľovania môže byť popísaný zjednodušeným spôsobom niekoľkými spaľovacími reakciami:



kde Y je objemový podiel uhlíka, vodíka, kyslíka, dusíka a síry v palive. Y<sub>O<sub>2</sub>,vzduch</sub>, je podiel kyslíka vo vzduchu a koeficienty α, n, b, c, d, e, f, g, h, i, j a m možno nájsť čiastočne z prvkového zloženia (C, H, O, N, S) a čiastočne z predpokladov o zložení prvku. Za predpokladu dokonalého spaľovania, zanedbaním disociačného účinku pri vysokých teplotách a tvorby NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O môžeme zloženie výrobku nájsť priamo z elementárnych zostatkov.

Reakčná rýchlosť elementárnych reakcií závisí od miešania a dostupnosti reaktantov v zóne plameňa a teploty a doby udržania konštantnej rýchlosti reakcie  $k$ .



$$\frac{d[\text{produkt}]}{dt} = k \cdot [\text{palivo}]^a \cdot [\text{oxidant}]^b \quad \left[ \frac{\text{mol}}{\text{m}^3 \text{s}} \right] \quad (1-22)$$

Pritom platí, že:

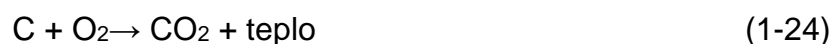
$$k = A \cdot T^b \cdot \exp\left(-\frac{E}{R_u \cdot T}\right) \quad (1-23)$$

kde  $A$ ,  $b$ ,  $E$  sú pre -exponenciálny faktor, teplotný exponent a aktivačná energia. Ide o konštanty pre danú elementárnu reakciu a získajú sa experimentálne.

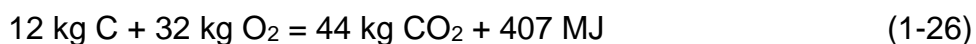
(SJAAK VAN LOO, 2008)

### 1.3 Chemické reakcie pri spaľovaní

Pri presných výpočtoch objemových množstiev produktov spaľovania (dymových plynov) a potrebného objemu spaľovacieho vzduchu sa pri spaľovaní palív vychádza z molekulovej hmotnosti jednotlivých prvkov horľaviny. Jednotkou molekulovej hmotnosti je jeden kilomol (kmol), ktorý predstavuje hmotnosť množstva látky v kilogramoch a je daná jej molekulovou hmotnosťou. Za normálnych podmienok, t.j. pri teplote  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a tlaku  $101,325 \text{ kPa}$ , zaberá jeden kilomol pri všetkých plynoch objem  $22,4 \text{ m}^3$ . Molekulové hmotnosti horľavých prvkov paliva a prvkoch zúčastňujúcich sa na reakciách pri spaľovaní sú nasledovné: vodík (H)  $2 \text{ kg}$ , uhlík (C)  $12 \text{ kg}$ , kyslík (O)  $32 \text{ kg}$ , síra (S)  $32 \text{ kg}$  a dusík (N)  $28 \text{ kg}$ . Použitím molekulových hmotností jednotlivých prvkov je možné vyjadriť vzťahy pre chemické reakcie pri spaľovaní spaľovacími rovnicami. Spaľovanie uhlíka na oxid uhličitý



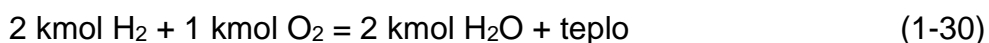
Pri uvažovaní molekulových hmotností prvkov zúčastňujúcich sa na reakcii a uvažovaní výhrevnosti čistého uhlíka  $33,90 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  je možné rovnicu (1-25) prepísať do tvaru



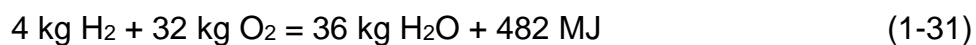
resp.



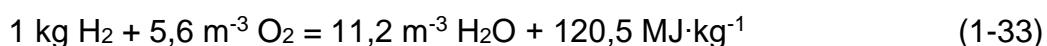
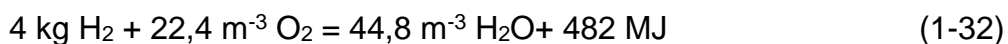
Spaľovanie vodíka na vodnú paru



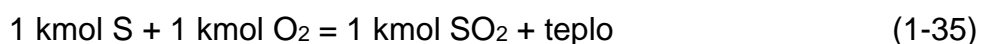
Pri uvažovaní molekulových hmotností prvkov zúčastňujúcich sa na reakcii a uvažovaní výhrevnosti čistého vodíka  $120,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  je možné vzťah (1-29) prepísať do tvaru



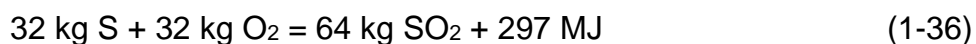
resp.



Spaľovanie síry na oxid siričitý



Pri uvažovaní molekulových hmotností prvkov zúčastňujúcich sa na reakcii a uvažovaní výhrevnosti čistého vodíka  $9,3 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  je možné vzťah (1-35) prepísať do tvaru



Tieto vzťahy nevyjadrujú presne spaľovacie pomery, ktoré existujú v skutočnom ohnisku. V ohnisku sa spaľovanie neuskutočňuje s čistým kyslíkom, ale za prítomnosti vzduchu, ktorý obsahuje okrem kyslíka aj dusík.

Dusík prechádza ako balastná zložka do odpadových dymových plynov alebo sa zlučuje s kyslíkom na škodlivé zložky NO a NO<sub>2</sub>. Dymové plyny tak predstavujú zmes vzdušného dusíka a produktov spaľovania horľaviny, t.j. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub> a vodnej pary vzniknutej z vlhkosti paliva a vlhkosti vzduchu, popr. ďalších zložiek, väčšinou vo veľmi malom alebo stopovom množstve.

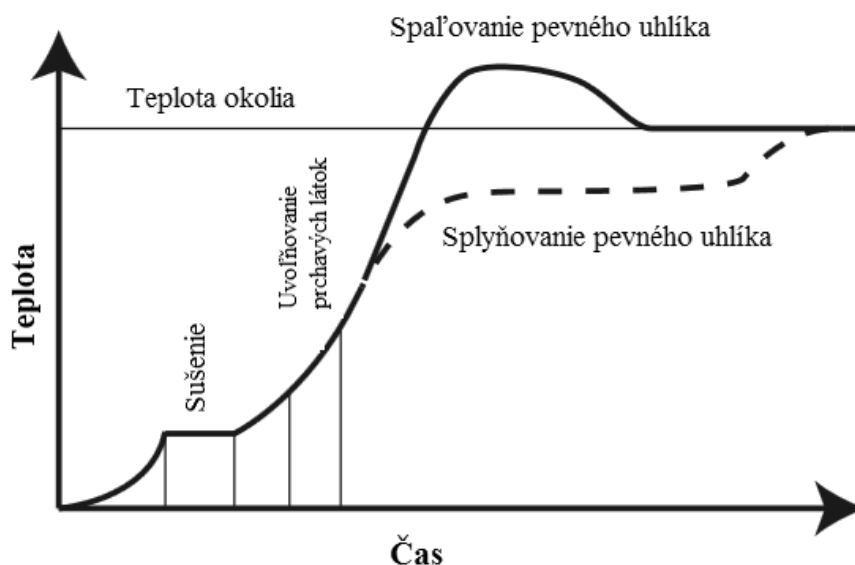
Jednotlivé spaľovacie rovnice je možné použiť pre výpočet stechiometrického (teoretického, resp. minimálneho) množstva kyslíka, poprípade vzduchu potrebného pre dokonalé spálenie 1 kg paliva.

### **1.3.1 Mechanizmus spaľovania pevného paliva**

Ak je častica pevného paliva vystavená horúcemu prúdiacemu plynu prejde tromi fázami úbytku hmotnosti: sušenie, uvoľňovanie prchavých látok a spaľovaniu pevného uhlíka alebo sušeniu, pyrolýzy a spaľovaniu pevného uhlíka, v závislosti na zložení okolitého plynu. Relatívny význam každého z týchto troch procesov je určený bezprostrednou analýzou paliva.

Napr. drevo má pomerne viac vlhkosti, viac prchavých látok a menej pevného uhlíka ako uhlie. Pre práškové palivové častice, sušenie, uvoľňovanie prchavých látok a k premene uhlíka dochádza postupne. Spaľovanie alebo splyňovanie pevného uhlíka trvá dlhšie ako uvoľňovanie prchavých látok alebo fázy sušenia. Tieto zásadné fázy premeny častice tuhého paliva v horúcom okolí sú znázornené na obr. Častica paliva je najskôr zohriata na teplotu odparovania a potom je teplota konštantná počas odparovania vlhkosti z dôvodu endotermického procesu.





Obr. 1-4 Princíp fázovej premeny malej častice pevného paliva v horúcom prostredí v závislosti na teplote a čase. Rozšírené sušenie a uvoľňovanie prchavých látok sú označené tenkými čiarami (SJAAK VAN LOO, 2008)

Po odstránení vlhkosti, teplota opäť stúpa a pri určitej teplote sa uvoľňujú prchavé látky, čo teplotu stále zvyšuje. Prchavé látky sa uvoľňujú, začína premena pevného uhlíka, čo má za následok vyššiu teplotu častice ako je teplota okolia, ak okolitý plyn obsahuje kyslík- spaľovanie pevného uhlíka, alebo na teplotu nižšiu ako je teplota okolia ak okolitý plyn obsahuje oxid uhoľnatý alebo vodnú paru bez kyslíka- splyňovanie pevného uhlíka.

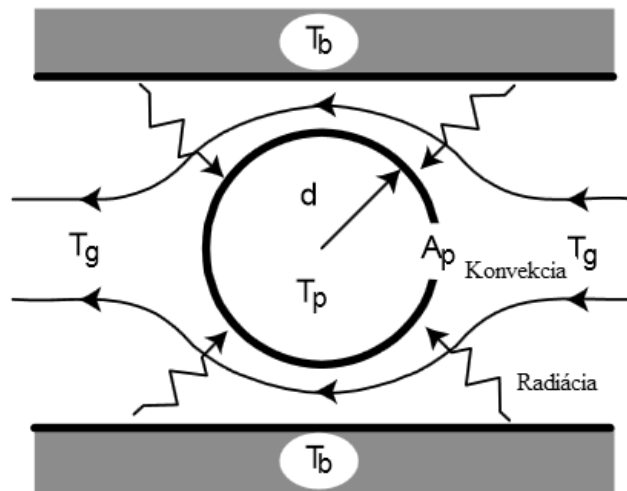
Pre veľké častice sa sušenie, uvoľňovanie prchavých látok a premena pevného uhlíka vyskytujú súčasne na rôznych miestach v častici. Avšak lokálne procesy prebiehajú postupne rovnakým spôsobom ako pre malé častice. Je pomerne jednoduché určiť či je častica malá alebo veľká z tepelného hľadiska, čo môže byť založené na tepelnom Biotovom čísle.

$$Bi_t = \frac{r_{car} h_{c,eff}}{k_{cs}} \quad (1-38)$$

kde:  $r_{car}$  je charakteristická dĺžka,  $h_{c,eff}$  je efektívny súčiniteľ prestupu tepla ( $h_{c,eff} = h_c + h_{rad}$ , kde  $h_c$  je konvektívny súčiniteľ prestupu tepla, ktorý sa určí z Nuseltovho čísla.  $Nu = h_c d / k_c$ ,  $h_{rad}$  je radiačný súčiniteľ prestupu tepla a  $k_{cs}$  je tepelná vodivosť častice.

### 1.3.2 Sušenie pevných palív

Vlhkosť v tuhých palivách môže existovať v dvoch formách ako voľná voda v póroch paliva vrátane povrchovej vlhkosti a ako viazaná voda, ktorá je adsorbovaná vnútornou pórovitou štruktúrou paliva. Drevo je pórovité, obsahuje voľnú aj viazanú vodu.



Obr. 1-5 Častica s charakteristickým priemerom  $d$  vystavená konvekčnému a radiačnému prenosu tepla (SJAAK VAN LOO, 2008)

Uvažované práškové drevo alebo uhoľná častica je zavedená do pece. Pri vstupe do prúdu plynu je teplo konvekčné a vyžarované do povrchu častice a vedené do častice. Pre práškovú časticu (o veľkosti  $100\mu\text{m}$ ), ktorá má veľmi malú dobu sušenia sa voda z častice rýchlo vyparuje pred uvoľnením prchavých látok. Neexistuje žiadny teplotný gradient v častici. Doba sušenia malej práškovej častice je čas potrebný k ohrevu častice do bodu vyparovania,  $t_1$ , a odstráneniu vody,  $t_2$ . Čas potrebný na ohriatie častice z počiatočnej teploty,  $T_0$ , do výparníka,  $T_e$ , je daný rýchlosťou ohrevu častice vyplývajúcej z merného tepla,  $c_p$ , násobku hmotnosti  $m$  suchého paliva s indexom  $d_f$  a vlhkosťou s indexom  $m$ , vydelené prepravovaným teplom na povrch častice,  $q$ .

$$t_1 = \int_{T_0}^{T_e} \frac{m_m c_{pm} + m_{df} c_{Rf}}{g} dT \quad (1-39)$$

Keď častica dosiahne výparné teplo všetko teplo transportované do povrchu častice sa použije na odparenie vlhkosti a čas potrebný na odparovanie sa vypočíta podľa vzťahu:

$$t_2 = \frac{m_m H_m}{q} \quad (1-40)$$

Tepelný tok na časticu  $q$  závisí od teploty pece  $T_b$  a okolitej teploty plynu obr.1-5. Predpokladá sa, že teplo je prevedené na časticu žiarením šedého telesa s emisivitou  $\epsilon_{rad}$ :

$$q = \epsilon_{rad} \sigma A (T_b^4 - T^4) + h_c^* A (T_g - T) \quad (1-41)$$

$h_c^*$  je konvektívny súčiniteľ prestupu tepla upravený pre plyny vystupujúce z častice:

$$\frac{h_c^*}{h_c} = \frac{\rho_g u_g c_p / h_c}{\exp(\rho_g u_g c_p / h_c) - 1} \quad (1-42)$$

$u_g$  je rýchlosť prúdiaceho plynu. Vyjadrením žiarenia pomocou súčiniteľa prestupu tepla a za predpokladu, že zadná teplota je rovnaká ako teplota plynu a zanedbaním účinku plynov vychádzajúcich z častice, môže byť rovnica....zjednodušená na tvar:

$$q = A(h_{rad} + h_c)(T_\infty - T) = Ah_{c,eff}(T_\infty - T) \quad (1-43)$$

Kde radiačný súčiniteľ prestupu tepla je:

$$h_{rad} = \epsilon_{rad} \sigma (T_\infty^4 - T^4) / (T_\infty - T) = \epsilon_{rad} \sigma (T_\infty^2 + T^2)(T_\infty + T) \quad (1-44)$$

Za predpokladu že efektívny súčiniteľ prestupu tepla je konštantný a že povrchová teplota je rovnaká ako teplota vyparovania  $T_e$ , dobu ohriatia palivovej častice môžeme získať integráciou rovnice (1-44). Celková doba sušenia je daná:

$$t_{dry} = t_1 + t_2 = -\frac{(m_m c_{pm} + m_{df} c_{pf})}{Ah_{c,eff}} \ln \left( \frac{T_\infty - T_e}{T_\infty - T_0} \right) + \frac{m_m H_m / (T_\infty - T_e)}{Ah_{c,eff}} \quad (1-45)$$

Kde  $m_m$  je počiatková vlhkosť v častici. Diferenciálne teplo zmáčania (to je teplo potrebné na uvoľnenie absorbovanej vody z povrchu) je asi 70 kJ/kg suchého paliva a je zanedbateľné v porovnaní s teplom odparovania vody 2400kJ/kg. Pre hodnotenie konvektívneho súčiniteľa prestupu tepla sa určí teplota častice:

$$T = \frac{T_e + T_g}{2} \quad (1-46)$$

Spolu s Nuseltovým číslom korelácie udáva konvekčný súčiniteľ prestupu tepla, napríklad:

$$Nu = \frac{h_{c0}d_{car}}{k_{cg}} = 2 + 0,6Re^{1/2}Sc^{1/3} \quad (1-47)$$

### 1.3.3 Uvoľňovanie prchavých látok z pevných palív

Pri sušení malej častice paliva alebo priestoru vo vnútri veľká častica je kompletná, teplota stúpa a pevné palivo sa začne rozkladať, uvoľňujú sa prchavé látky. Tento rozklad sa nazýva pyrolýza za prítomnosti kyslíka v okolí. Vzhľadom k tomu, že prchavé látky sa uvoľňujú cez póry pevnej látky vonkajší kyslík nemôže preniknúť do častice a preto uvoľňovanie prchavých látok je často označované ako pyrolýzna fáza. Miera uvoľňovania a vytvárania pyrolýznych produktov závisí na teplote a druhu paliva. Pyrolýzne produkty vznietenia a vytváranie plameňa okolo častice, zatiaľ čo kyslík difunduje do produktov. Toto spotrebuje všetok kyslík predtým ako sa dostane k povrchu častice a zabráni spaľovaniu pevného uhlíka. Plameň ohrieva časticu čo spôsobuje zvýšené uvoľňovanie prchavých látok.

Pre drevo, pyrolýza hemicelulózy je pri 225-325°C, celulózy pri 325-375°C a lignínu pri 300-500°C.

Najjednoduchší spôsob ako priblížiť rýchlosť uvoľňovania prchavých látok z pevného paliva je podľa prvého zákona globálnej reakcie:

$$\frac{dm_v}{dt} = -m_v R_v \quad (1-48)$$

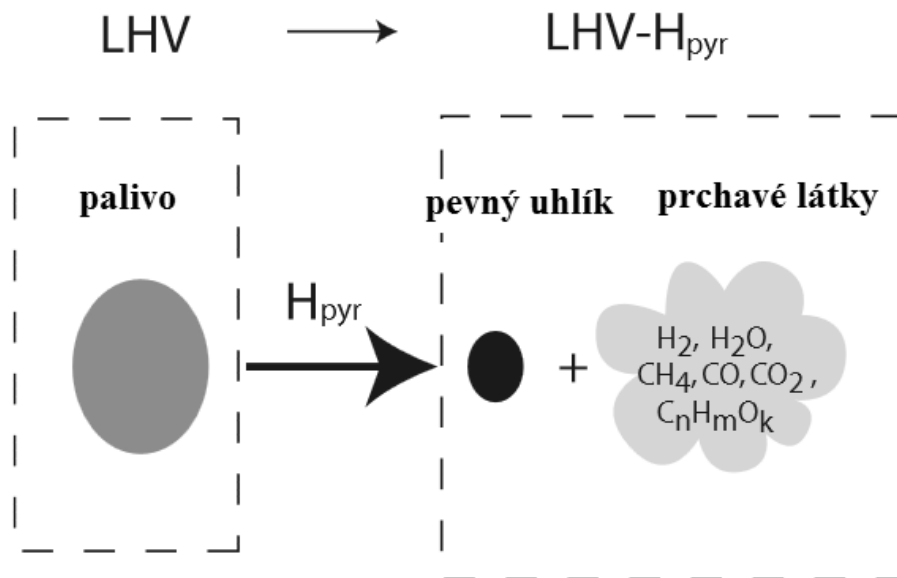
kde rýchlostná konštanta je  $R_v = k_{rv,0} \exp(-E/RT_p)$ , a kde  $v$  sa vzťahuje na prchavé látky a  $m_v = m - m_c - m_a$  (tj. hmotnosť prchavých látok sa rovná hmotnosti suchej častice mínus množstvá pevného uhlíka a popola).

V skutočnosti tuhé palivá ako uhlie a drevo sú komplexné zlúčeniny, ktoré prechádzajú mnohými reakciami keď sú vyhrievané a preto by mali byť zastúpené niekoľkými rýchlostnými rovnicami s príslušnými  $m_v$  a  $k_{rv,0}$ . Niektoré z týchto reakcií sú endotermické a niektoré z nich sú exotermické a prechádzajú rôznymi rýchlosťami.

Pre práškové drevené palivá s nízkym ohrevom v porovnaní s rýchlosťou uvoľňovania prchavých látok je Biotovo číslo malé  $Bi < 1$ . To znamená že zvyšujúca teplota týchto malých častíc riadi rýchlosť uvoľňovania prchavých látok. Pri dreve sa viac či menej všetky prchavé látky uvoľňujú pri teplote nižšej ako je 500°C. Ohrev

častice je popísaný teplom odovzdaným z okolia na povrch častice a teplom potrebným pre uvoľňovanie prchavých látok,  $H_v$  je malá hodnota častokrát sa rovná nule.

### Zloženie plynov odchádzajúcich počas uvoľňovania prchavých látok



Obr. 1-6 Uvoľňovanie prchavých látok z palivovej častice

(<http://web.abo.fi/institut/biofuelsGS->

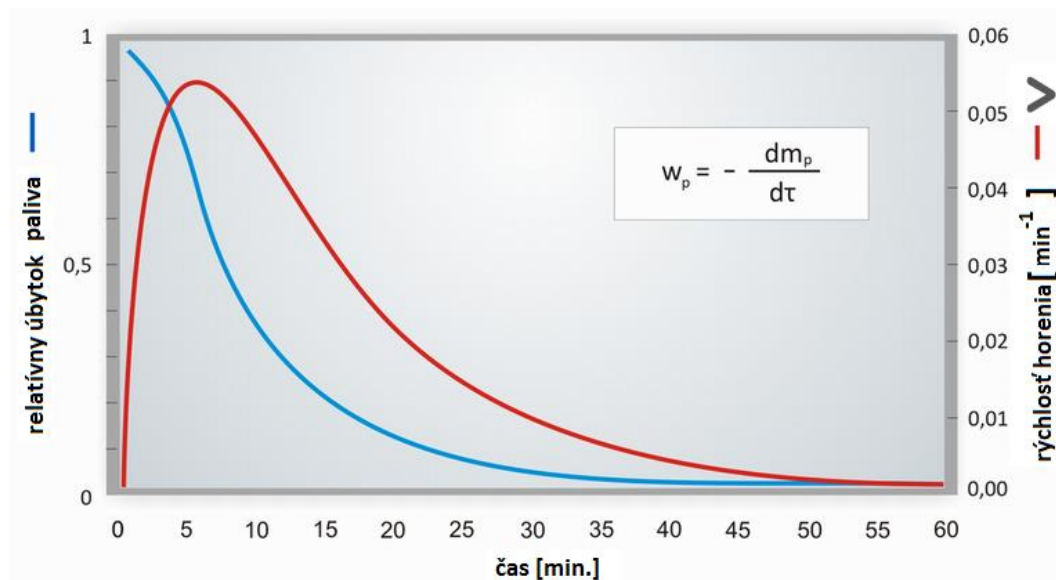
[2/Chalmers%20Thermal%20conversion/ThermalBiomassConversion.pdf](http://web.abo.fi/institut/biofuelsGS-2/Chalmers%20Thermal%20conversion/ThermalBiomassConversion.pdf))

Obmedzením spaľovacieho vzduchu z minimálne päťnásobku prebytku spaľovacieho vzduchu typického pre otvorené ohnisko na iba dvojnásobok výrazne zvyšuje praktickú spaľovaciu teplotu plameňa. Oxidačné reakcie horenia pri zvýšenej teplote prebiehajú rýchlejšie a tým aj dokonalejšie. Taktiež rovnomernejší prívod vzduchu cez rošt pod celú vrstvu horiaceho paliva (nielen po obvode) zlepšuje podmienky miešania. Táto skutočnosť je významná predovšetkým pre zlepšenie koncentračnej podmienky horenia, lebo časť spaľovacieho vzduchu privádzaná pod rošt umožní miešanie prchavej horľaviny so vzduchom v celej vrstve paliva, čím obmedzí termickú disociáciu za vzniku tuhej fázy uhlíka v prospech plynnej fázy. Praktický dôsledok je výrazne rýchlejší priebeh horenia homogénnej zmesi plynu oxidu uhoľnatého, vodíka a uhľovodíkov v zmesi so vzduchom, ktorá sa prejaví nižšou

svietivosťou plameňa a dokonalejším horením s vyššou účinnosťou a teplotou plameňa.

Vlhké a studené palivo nesmie byť prikladané na vrstvu paliva na rošt, lebo horiaca plynná zmes sa na studenom a vlhkom palive ochladí pod 500°C, čím sa spomalí rýchlosť reakcie, ktorá sa pri výraznejšom ochladení zastaví a plameň zhasne. Prchavá horľavina a oxid uhoľnatý uvoľňovaný horiacim palivom po ochladení studeným vlhkým priloženým palivom zhasne a skondenzuje na hmlovinu, ktorá sa v odťahu ohniska a komína s nižšou teplotou už nevznieti.

Regulácia potrebného v čase nerovnomerného množstva spaľovacieho vzduchu v opísanom mechanizme horenia dreva je veľmi náročná, pričom význam prebytku vzduchu je vo svojom dôsledku veľmi dôležitý. Zbytočne veľký prebytok vzduchu ochladzuje plameň, čím spomaľuje až zastavuje rýchlosť horenia. Pri nedostatku spaľovacieho vzduchu nemôže vôbec dôjsť k dokonalému spáleniu uvoľnenej prchavej horľaviny. (<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mechanismus-a-podminky-dokonalého-spalovani-biomasy>)

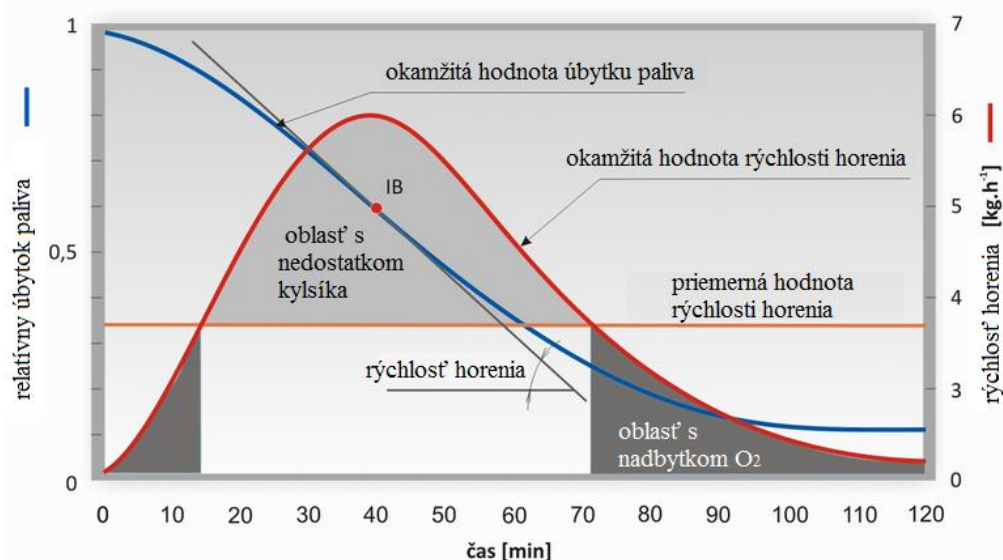


Obr. 1-7 Priebie vyhorievania paliva a rýchlosti horenia (<http://biom.cz>)

Na obr. 1-7 je uvedený typický priebeh krivky vyhorievania a z nej deriváciou v čase odvodený priebeh rýchlosti horenia. Je jasné, že čím je krivka vyhorievania strmšia, tým je väčšia rýchlosť horenia (rovnako ako aj tepelný výkon procesu) a tým

kratšia doba trvania jedného cyklu. V ideálnom prípade by bol úbytok horľaviny paliva v priebehu cyklu lineárny a odpovedala mu konštantná rýchlosť horenia. V takom prípade by bolo jednoduché zaistiť konštantný vzduchový režim a minimalizovať tak produkciu škodlivých látok. (<http://energetika.tzb-info.cz/8716-proces-horeni-kusoveho-dreva>)

Rýchlosť horenia tuhých látok nie je veličinou stálou, ale závisí na pomere povrchu k objemu tuhej látky, na vlhkosti, hustote, množstve horľaviny a na jednotku plochy, rýchlosti vetra, prístupu vzduchu a podobne. Čím má pevná látka väčší pomer povrchu k objemu, tým rýchlejšie sa vznieti a rýchlejšie zhorí. Vlhkosť pevných látok znižuje rýchlosť horenia. pre hustotu platí podmienka, že čím väčšia hustota tým menšia rýchlosť horenia.



Obr. 1-8 Rýchlosť horenia a vzduchový režim v kachliach (<http://biom.cz>)

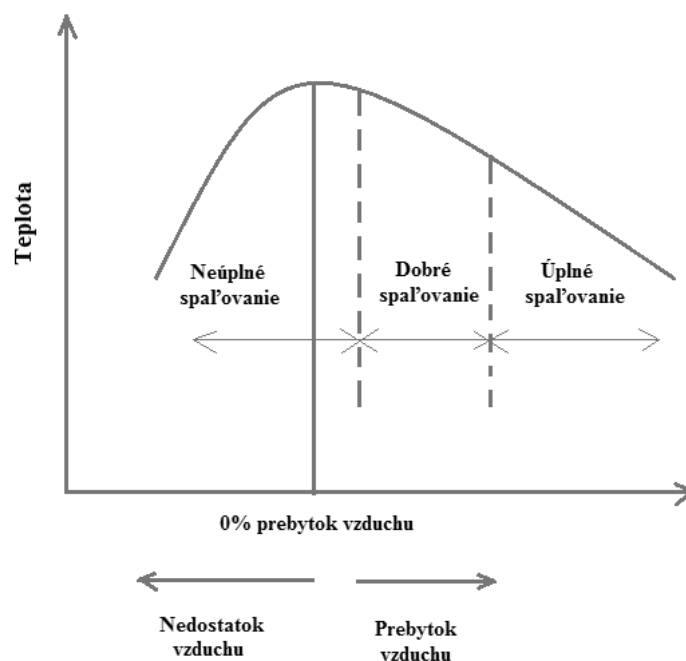
Na obr. 1-8 je znázornený vplyv priebehu rýchlosti horenia na vzduchový režim v ohnisku a produkciu škodlivín. Priebeh rýchlosti horenia paliva v období jedného cyklu, odvodený z krivky vyhorievania, predstavuje priebeh okamžitej spotreby spaľovacieho vzduchu v ohnisku. Regulácia prívodu vzduchu pre ohniská spaľujúce kusové drevo je obvyčajne vybavená jednoduchou ručnou reguláciou a dodávka vzduchu je viacmenej konštantná. Ak bude nastavená tak, aby pri požadovanom prebytku vzduchu odpovedala priemernej rýchlosti horenia, budú v priebehu cyklu existovať dve oblasti s nadbytkom vzduchu (na začiatku a na konci cyklu) a jedna oblasť s nedostatkom vzduchu v okolí inflexného bodu (IB) krivky vyhorievania a teda

maximálnou rýchlosťou horenia. Táto oblasť je charakterizovaná maximálnou produkciou spáliteľných škodlivín. Nastavením regulácie prívodu spaľovacieho vzduchu do ohniska na vhodne zvolený prebytok vzduchu možno rozsah oblasti s nedostatkom vzduchu minimalizovať, avšak za cenu zvýšenej komínovej straty a zníženia účinnosti.

(<http://energetika.tzb-info.cz/8716-proces-horeni-kusoveho-dreva>)

## 1.4 Množstvo spaľovacieho vzduchu

Regulácia spaľovacieho procesu v ohnisku riadením dodávky spaľovacieho vzduchu je prirodzeným a najjednoduchším spôsobom ako ovplyvňovať proces horenia.



Obr. 1-9 Teplota a spaľovací vzduch (<http://biom.cz>)

Stechiometrické množstvo spaľovacieho vzduchu je také množstvo vzduchu privedené do spaľovacieho priestoru kúreniska, pri ktorom sa všetok privedený kyslík v spaľovacom vzduchu spotrebuje na dokonalé spálenie paliva a v spalinách sa nenachádza žiadny kyslík. Uvedené množstvo spaľovacieho vzduchu sa označuje aj



pojmy: teoretické množstvo vzduchu, či minimálne množstvo vzduchu. Množstvo spaľovacieho vzduchu sa dá určiť dvojakým spôsobom:

- z chemického zloženia ( prvkového rozboru) paliva,
- z výhrevnosti spaľovaného paliva.

Privedením teoretického množstva spaľovacieho vzduchu do procesu spaľovania paliva v kúreniskách spaľovacích zariadení sa nezabezpečí homogénne spaľovanie paliva v celom priestore, a tým ani dokonalé vyhorenie paliva. Aby sa v spaľovacom priestore nevytvárali oblasti s nedostatkom spaľovacieho vzduchu skutočný proces spaľovania paliva je realizovaný s určitým nadbytkom spaľovacieho vzduchu ( $\lambda$ ). Skutočné množstvo spaľovacieho vzduchu ( $V_{VZS}^s$ ) potrebného pre spálenie dendromasy sa vypočíta na základe nameraného, alebo predpokladaného nadbytku vzduchu na konci kúreniska:

$$V_{VZS}^s = \lambda \cdot V_{VZS}^t \quad (1-49)$$

Stechiometrické (teoretické, minimálne) množstvo suchého spaľovacieho vzduchu potrebné na spálenie 1 kg paliva je možné určiť na základe vzťahov:

$$V_{VZS}^t = \frac{22,4}{0,21} \cdot \left[ \frac{C^r}{12} + \frac{H^r}{4} + \frac{N^r}{28} - \frac{O^r}{32} \right] \quad (1-50)$$

$$V_{VZS}^t = \frac{22,4}{0,21} \cdot \left[ \frac{C^{daf}}{12} + \frac{H^{daf}}{4} + \frac{N^{dafr}}{28} - \frac{O^{daf}}{32} \right] \cdot [1 - A^r - W^r] \quad (1-51)$$

$$V_{VZS}^t = \frac{1}{0,21} \cdot [1,87 \cdot C^{daf} + 5,6 \cdot H^{daf} + 0,8 \cdot N^{daf} - 0,7 \cdot O^{daf}] \cdot [1 - A^r - W^r] \quad (1-52)$$

Stechiometrické množstvo vzduchu pre spaľovanie drevnej hmoty s elementárnym chemickým zložením horľaviny:  $C^{daf} = 0,5$  [kg.kg<sup>-1</sup>],  $H^{daf} = 0,06$  [kg.kg<sup>-1</sup>],  $O^{daf} = 0,44$  [kg.kg<sup>-1</sup>], obsahu popolovín v dreve  $A^r = 0,01$  [kg.kg<sup>-1</sup>] v závislosti na relatívnej vlhkosti dreva uvádza tabuľka 1-5

Tab. 1-5 Stechiometrické množstvo spaľovacieho vzduchu pre spaľovanie dendromasy v závislosti na vlhkosti

Relatívna vlhkosť dreva $W^r$ [%]	Stechiometrické množstvo spaľovacieho vzduchu $V_{vzN}^t$ [ $m^3 \cdot kg^{-1}$ ]
0	4,539
10	4,081
20	3,623
30	3,164
40	2,705
50	2,247
60	1,788

Minimálne množstvo spaľovacieho vzduchu je také množstvo vzduchu, pri ktorom sa všetok privedený kyslík v spaľovacom vzduchu spotrebuje na dokonalé spálenie paliva, tzv. stechiometrické spaľovanie, t.j. v spalinách sa nenachádza žiadny voľný kyslík. Potrebné množstvo spaľovacieho vzduchu sa dá určiť dvojakým spôsobom:

- z chemického zloženia (prvkového rozboru) paliva,
- z výhrevnosti spaľovacieho paliva.

Výpočet množstva spaľovacieho vzduchu z chemického zloženia paliva je presnejší, avšak je závislý od presného prvkového rozboru paliva. Výpočet množstva vzduchu z výhrevnosti je približný, ale získané výsledky sú pre použitie v praxi vyhovujúce. Teoretické (minimálne) potrebné množstvo suchého spaľovacieho vzduchu je možné určiť na základe vzťahu

$$V_{vzs}^t = \frac{22,40}{0,21} \cdot \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \cdot (1,87 \cdot C + 5,6 \cdot H + 0,7 \cdot S - 0,7 \cdot O) \quad (1-53)$$

[(n)m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup>],

kde C, H, S, O sú pomerné hmotnostné množstvá uhlíka, vodíka, síry a kyslíka v spaľovanom palive ( $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). V prípade, že nepoznáme prvkový rozbor paliva, je možné určiť teoretické množstvo spaľovacieho vzduchu z empirického vzťahu

$$V_{vzs}^t = Q_i^f \cdot 0,245 + 0,5 \quad [(\text{n})\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}] \quad (1-54)$$

kde  $Q_i^f$  je výhrevnosť spaľovaného paliva [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ].

Pri spaľovacom procese prebiehajúcom v skutočných kúreniskách sa používa spaľovací vzduch, ktorý má určitú vlhkosť, t.j. nie je použitý suchý spaľovací vzduch. Z tohto dôvodu je potrebné do procesu spaľovania priviesť väčšie množstvo vlhkého vzduchu ( $V_{vzv}^t$ ), ktoré je dané vzťahom

$$V_{vzv}^t = V_{vzs}^t \cdot v_v = V_{vzs}^t \cdot \left( 1 + \frac{\varphi \cdot p''}{p_c - \varphi \cdot p''} \right) \quad [(\text{n})\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}] \quad (1-55)$$

kde  $\varphi$  je relatívna vlhkosť vzduchu [%],  $p''$  je parciálny tlak vodnej pary na medzi sýtosti pri teplote vzduchu  $t_{vz}$  [Pa],  $p_c$  je tlak vzduchu ( $p_c = p_{\text{bar}}$ ) [Pa] a  $v_v$  je súčiniteľ vyjadrujúci objemové množstvo vodnej pary obsiahnuté vo vzduchu (hodnota  $v_v$  je približne 1,04).

Závislosť parciálneho tlaku vodnej pary na medzi sýtosti od teploty vzduchu  $t_{vz}$  je daná vzťahom

$$p'' = 0,77 + 0,0092 \cdot t_{vz} + 0,0036 \cdot t_{vz}^2 \quad [\text{Pa}] \quad (1-56)$$

Pri praktických výpočtoch skutočnej spotreby spaľovacieho vzduchu sa vplyv vlhkosti môže zanedbať.

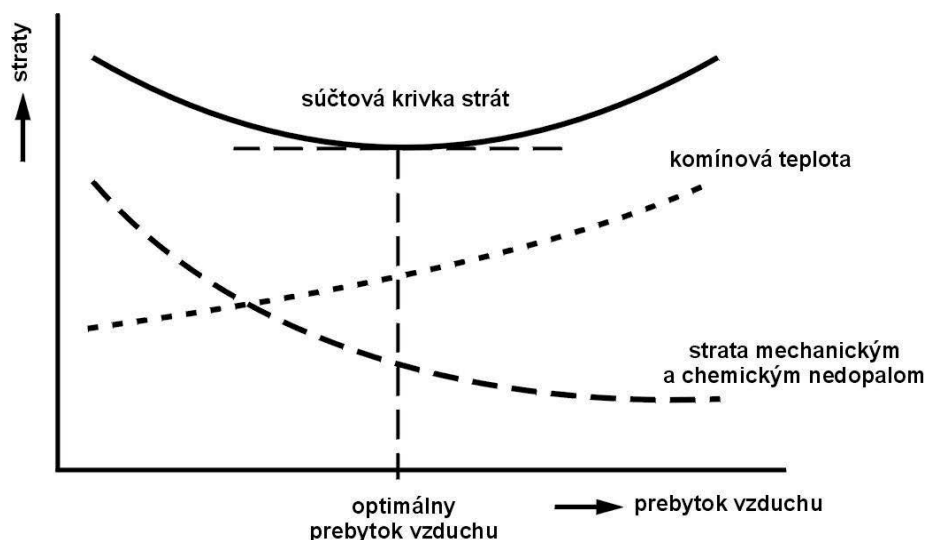
Privedením teoretického (minimálneho) množstva spaľovacieho vzduchu do procesu spaľovania v kúreniskách spaľovacích zariadení sa nezabezpečí homogénne spaľovanie paliva v celom priestore, a tým ani dokonalé spálenie paliva. Aby sa v spaľovacom priestore nevytvárali oblasti s nedostatkom spaľovacieho vzduchu je potrebné, aby palivo bolo spaľované s určitým prebytkom spaľovacieho vzduchu ( $\lambda$ ). V prípade, že sa nezabezpečí do procesu spaľovania určitý prebytok vzduchu, má to za následok únik horľaviny, tvorbu emisie a znižovanie účinnosti zdroja tepla. Skutočné

množstvo ( $V_{vzs}^s$ ) spaľovacieho vzduchu potrebného pre spálenie paliva sa vypočíta na základe buď zmeraného alebo predpokladaného prebytku vzduchu na konci ohniska

$$V_{vzs}^s = V_{vzs}^t \cdot \lambda \quad [(n)m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-57)$$

kde  $V_{vzs}^t$  je teoretické množstvo suchého vzduchu  $[(n)m^3 \cdot kg^{-1}]$  a  $\lambda$  je súčiniteľ prebytku vzduchu na konci ohniska [-].

Zvyšovanie prebytku spaľovacieho vzduchu má vplyv na zvýšenie množstva spalín a pokles teploty plameňa, ktorá má za dôsledok zníženie prechodu tepla zo strany spalín do teplotnosného média. Z tohto dôvodu je potrebné súčiniteľ prebytku vzduchu optimalizovať. Optimálna hodnota prebytku vzduchu sa určuje z minima súčtu tepelných strát závislých na prebytku spaľovacieho vzduchu zdroja tepla, t. j. tepelných strát citelným teplom (tzv. komínová strata) a tepelných strát mechanickým a chemickým nedopalom. Na obr. 1-10. je znázornená závislosť vyššie uvedených tepelných strát na prebytku spaľovacieho vzduchu. Minimum súčtovej krivky tepelných strát odpovedá optimálnej hodnote prebytku spaľovacieho vzduchu  $\lambda_{opt}$ . Optimálna hodnota prebytku spaľovacieho vzduchu je do značnej miery závislá najmä od výhrevnosti biomasy a teploty kúreniska. S ohľadom na minimálnu tvorbu a produkciu emisií je odporúčané realizovať spaľovanie dendromasy v intervale hodnôt  $\lambda = 1,5$  až 2,1.



Obr. 1.10 Závislosť tepelných strát zdroja tepla na prebytku spaľovacieho vzduchu (Jandačka, 2011)

Optimálne množstvo suchého spaľovacieho vzduchu je možné určiť na základe vzťahu

$$V_{vzs}^s = V_{vzs}^t \cdot \lambda_{opt}, \quad [(n)m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-58)$$

resp.

$$V_{vzs}^s = \lambda_{opt} \cdot \frac{22,40}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right) = \frac{\lambda_{opt}}{0,21} (1,87 C + 5,6 H + 0,7 S - 0,7 O) \quad (1-59)$$

[(n)m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup>].

Spaľovanie palív môže byť buď dokonalé alebo nedokonalé. Pri dokonalom spaľovaní sa všetky horľavé zložky spaľujú na oxid uhličitý a vodnú paru, pričom sa uvoľní maximálne množstvo tepla (dané výhrevnosťou paliva), ktoré je možné dosiahnuť spálením daného paliva. Dokonalé spaľovanie je podmienené dostatočným prístupom vzduchu k horľavým zložkám paliva.

Pri nedokonalom spaľovaní nedôjde k dostatočnému okysličeniu všetkých horľavých zložiek paliva, pričom vzniknú horľavé plyny, ktoré sú schopné pri určitých vhodných sekundárnych podmienkach uvoľňovať teplo. To znamená, že určité množstvo horľavých plynov sa dostáva do spalín.

Nedokonalé spaľovanie nastáva pri spaľovaní paliva s prebytkom spaľovacieho vzduchu  $\lambda \leq 1$ , resp.  $\lambda \leq \lambda_{opt}$ , kedy sa do procesu spaľovania privedie menšie množstvo vzduchu ako je potrebné pre dokonalé spaľovanie. Nedokonale spaľovanie je nežiaduce jednak s ohľadom na efektívnosť využitia paliva (vzniká tepelná strata chemickým nedopalom), resp. s ohľadom na tvorbu emisií (CO v spalínach).

S procesmi s nízkym prebytkom spaľovacieho vzduchu sa stretávame jednak v samotnom procese spaľovania biomasy (pozri kapitola vyššie) a jednak v niektorých technológiách, ktoré priamo tieto procesy využívajú. Jedná sa o procesy, ktoré sa nazývajú splyňovanie, resp. pyrolýza.

Pri procese splyňovania je súčiniteľ prebytku vzduchu  $\lambda < \lambda_1$ , ale zároveň  $\lambda > 0$ . Pri tomto procese nedochádza k oxidácii uhlíka na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), ale na oxid uhoľnatý (CO). Vzniknutý horľavý plyn sa môže v ďalšom technickom zariadení za prívodu kyslíka spaľovať. Pomocou splyňovania sa môže teda pretransformovať tuhé palivo na plynné, ktoré je možné s použitím vhodného technického zariadenia premeniť i na elektrickú energiu.

Pri pyrolýze sa realizuje rozklad biomasy vplyvom účinku tepla a vplyvom neprítomnosti vzduchu, t.j. súčiniteľ prebytku vzduchu je nulový  $\lambda_{opt} = 0$ . Výsledkom pyrolýzy je buď pyrolýzny plyn alebo drevené uhlie, resp. biouhlie.

Nadbytok spaľovacieho vzduchu  $\lambda$  je faktor ktorý protichodne vplýva na veľkosť komínovej straty kotla a veľkosť straty tepla únikom prchavej horľaviny spalinami z kotla. Zvyšovanie hodnoty nadbytku vzduchu spôsobuje vzrast objemu produkovaných vlhkých spalín, pokles teploty plameňa, zníženie intenzity prestupu tepla z vlhkých spalín do výmennej plochy kotla čo má za následok vzrast komínovej straty. Zvyšovanie hodnoty nadbytku spaľovacieho vzduchu prispieva k vytváraniu lepších podmienok pre horenie zložiek prchavej horľaviny, a tým k minimalizácii strát únikom prchavej horľaviny. (Dzurenda,2010)

Hlavné príčiny spaľovania s vyšším prebytkom vzduchu:

- Vzduch sa neprivádza ku každej časti v takom množstve, aké je potrebné na jej dokonalé spálenie - t.j. nerovnomerný prívod vzduchu ku všetkým časticiam paliva, čo sa najviac prejavuje u tuhých palív.
- Rýchlosť chemických reakcií, teda aj spaľovania je priamo úmerná koncentrácii reagujúcich zložiek. S priebehom oxidácie koncentrácia  $O_2$  klesá. Posledné percentá  $O_2$  v dôsledku nízkej koncentrácie by sa nevyužili na spaľovanie.
- Pri difúznom spaľovaní palív (plynné, kvapalné, ale predovšetkým tuhé) množstvo difundujúceho  $O_2$ , podľa Fickovho zákona je úmerné obsahu koncentrácie. Z toho dôvodu posledné percentá  $O_2$  by sa nezúčastnili reakcie (<http://www.metallurgy.tuomat.com/down/tthp/spalovaniepaliv.pdf>).

Optimálna hodnota nadbytku spaľovacieho vzduchu je do značnej miery závislá od výhrevnosti paliva a teploty kúreniska. S ohľadom na minimálnu tvorbu a produkciu emisií je odporúčané realizovať spaľovanie dendromasy s nadbytkom spaľovacieho vzduchu  $\lambda_{opt} = 2,1$ . (Dzurenda: energetické využitie dendromasy).

## 1.5 Množstvo spalín

Množstvo spalín, ktoré vzniknú spálením 1 kg paliva, sa vypočíta z objemového množstva jednotlivých plynných zložiek, z ktorých sa dymové plyny skladajú, t.j. oxid uhličitý ( $CO_2$ ), oxid siričitý ( $SO_2$ ), dusík ( $N_2$ ) a vodná para ( $H_2O$ ). Jednotlivé zložky

vznikajú oxidáciou horľaviny (C, S, H) a odparením vody. Množstvo dusíka je dané množstvom dusíka obsiahnutom v spaľovacom vzduchu, ako aj množstvom dusíka obsiahnutom v palive. Množstvo vody v spalinách je dané oxidáciou vodíka v palive a odparením vlhkosti z paliva. Pre celkové (skutočné) množstvo vlhkých spalín  $V_{snv}^s$ , je možné napísať

$$V_{snv}^s = V_{sns}^t + V_{H_2O} + V_{vz}^{pr} \quad [(n)m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-60)$$

kde  $V_{sns}^t$  je minimálne (teoretické) množstvo suchých spalín pri stechiometrickom spaľovaní  $[(n)m^3 \cdot kg^{-1}]$ ,  $V_{H_2O}$  je množstvo vodnej pary v spalinách  $[(n)m^3 \cdot kg^{-1}]$  a  $V_{vz}^{pr}$  je množstvo prebytočného vzduchu  $[(n)m^3 \cdot kg^{-1}]$ . Množstvo suchých spalín vzniknutých pri stechiometrickom spaľovaní (bez prebytku vzduchu) je možné určiť na základe vzťahu

$$V_{sns}^t = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} \quad [(n)m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-61)$$

pričom  $V_{CO_2}$  je množstvo oxidu uhličitého vzniknutého spálením uhlíku, ktoré je možné určiť z rovnice

$$V_{CO_2} = 22,4 \cdot \frac{C}{12} \quad [(n)m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-62)$$

$V_{SO_2}$  je množstvo oxidu siričitého vzniknutého spálením síry viazanej na horľavinu (*Pozn.* V biomase je množstvo síry zanedbateľné, t.j. pri spaľovaní biomasy sa môže táto zložka zanedbať) a určí sa zo vzťahu

$$V_{SO_2} = 22,4 \cdot \frac{S}{32} \quad [(n)m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-63)$$

$V_{N_2}$  je množstvo dusíka, ktorý prešiel do spalín z horľaviny (prvý člen) a objem dusíka, ktorý prešiel do spalín so spaľovacím vzduchom (druhý člen) a určí sa zo vzťahu

$$V_{N_2} = 22,4 \cdot \frac{N}{28} + \frac{79}{100} \cdot V_{vzs}^t \quad [(n)m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-64)$$

pričom C je pomerné hmotnostné množstvo uhlíka  $[kg \cdot kg^{-1}]$ , S je pomerné hmotnostné množstvo síry  $[kg \cdot kg^{-1}]$ , N je pomerné hmotnostné množstvo dusíka  $[kg \cdot kg^{-1}]$  a  $V_{vzs}^t$  je minimálny objem suchého spaľovacieho vzduchu  $[m^3 \cdot kg^{-1}]$ .

Dosadením rovníc (1-62), (1-63) a (1-64) do rovnice (1-61), prejde rovnica (1-61) do tvaru

$$V_{sns}^t = 22,4 \cdot \frac{C}{12} + 22,4 \cdot \frac{S}{32} + 22,4 \cdot \frac{N}{28} + 0,79 \cdot V_{vzs}^t =$$

$$= 1,867 \cdot C + 0,7 \cdot S + 0,8 \cdot N + 0,79 \cdot V_{vzs}^t, \quad [(n)m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-65)$$

Množstvo vodnej pary v spalinách  $V_{H_2O}$  je možné vypočítať na základe vzťahu

$$V_{H_2O} = V_H + V_W + V_V = 44,8 \cdot \frac{H}{4} + 22,4 \cdot \frac{W^r}{18} + \lambda \cdot (v_v - 1) \cdot V_{vzs}^t =$$

$$= 11,2 \cdot H + 1,24 \cdot W^r + \lambda \cdot (v_v - 1) \cdot V_{vzs}^t, \quad [(n)m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-66)$$

kde  $V_H$  je množstvo vodnej pary, ktorá vznikla spálením vodíka  $[(n)m^3 \cdot kg^{-1}]$ ,  $V_W$  je množstvo vodnej pary, ktorá vznikla sušením paliva o relatívnej vlhkosti  $W^r$   $[(n)m^3 \cdot kg^{-1}]$ ,  $V_V$  je množstvo vodnej pary obsiahnutej vo vlhkom spaľovacom vzduchu  $[(n)m^3 \cdot kg^{-1}]$  a  $W^r$  je relatívna vlhkosť paliva [%]. Objem prebytočného vzduchu  $V_{vzs}^{pr}$  sa určí zo skutočného a teoretického množstva vzduchu

$$V_{vzs}^{pr} = V_{vzs}^s - V_{vzs}^t = \lambda \cdot V_{vzs}^t - V_{vzs}^t = (\lambda - 1) \cdot V_{vzs}^t \quad [(n)m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-67)$$

Na základe predchádzajúcich vzťahov platí pre celkové (skutočné) množstvo vlhkých spalín  $V_{snv}^s$   $[(n)m^3 \cdot kg^{-1}]$  vzťah

$$V_{snv}^s = 1,867C + 0,7S + 0,8N + 11,2H + 1,24 \cdot W^r + (\lambda \cdot v_v - 0,21) \cdot V_{vzs}^t \quad (1-68)$$

Statické výpočty množstva spaľovacieho vzduchu a vzniknutých spalín sú realizované pre normálny stav plynu, t.j. teplotu  $t_0 = 0$  °C a tlak  $p_0 = 101\,325$  Pa. Prepočet normovaného množstva spalín  $V_{0s}$  na skutočný stav  $V_s$ , ktorý je daný teplotou spalín ( $t_s$ ) a tlakom spalín ( $p_s$ ) sa vypočíta na základe vzťahu

$$V_s = V_{0s} \cdot \frac{273 + t_s}{273 + t_0} \cdot \frac{p_0}{p_s} \quad [m^3 \cdot kg^{-1}] \quad (1-69)$$

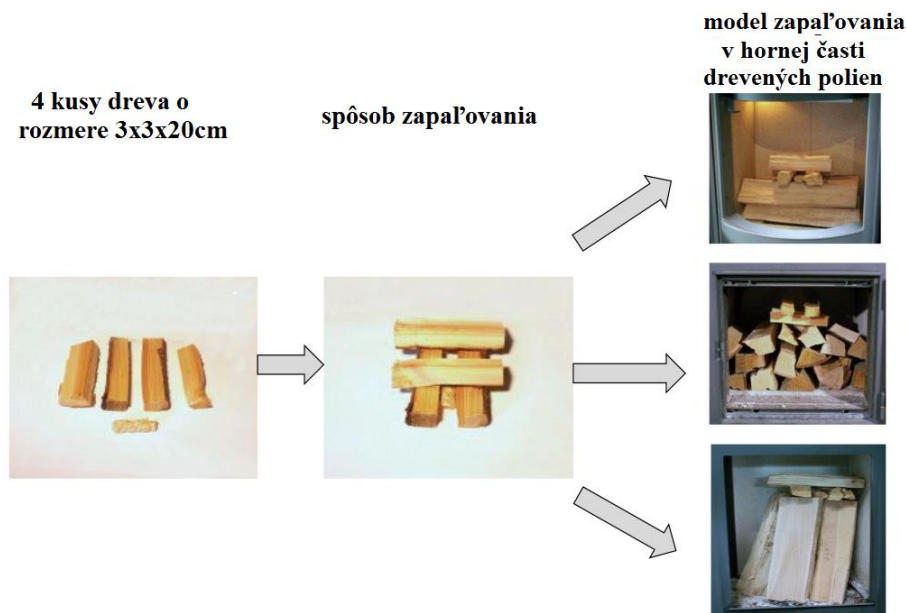
Prepočet normovaného množstva vzduchu  $V_{0vz}$  na skutočný stav  $V_{vz}$ , ktorý je daný teplotou vzduchu ( $t_{vz}$ ) a tlakom spalín ( $p_{vz}$ ) sa vypočíta na základe vzťahu



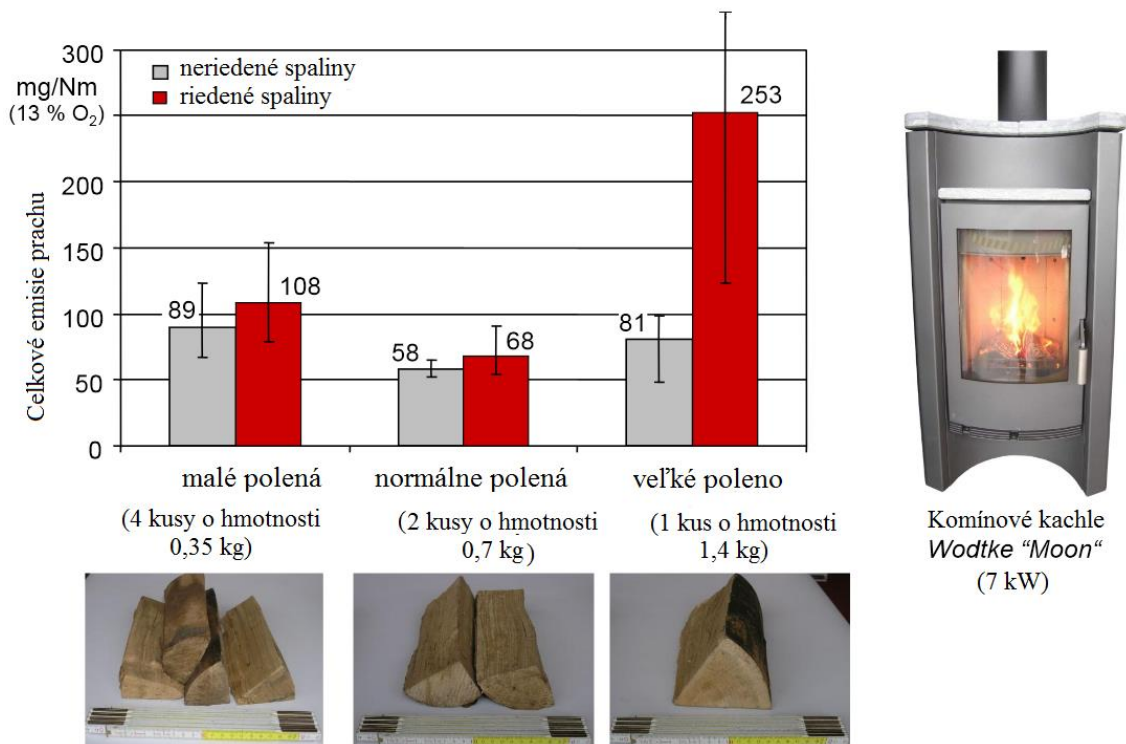
$$V_{VZ} = V_{OVZ} \cdot \frac{273 + t_{VZ}}{273 + t_0} \cdot \frac{p_0}{p_{VZ}} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (1-70)$$

### 1.5.1 Vplyv nakladania paliva na proces spaľovania

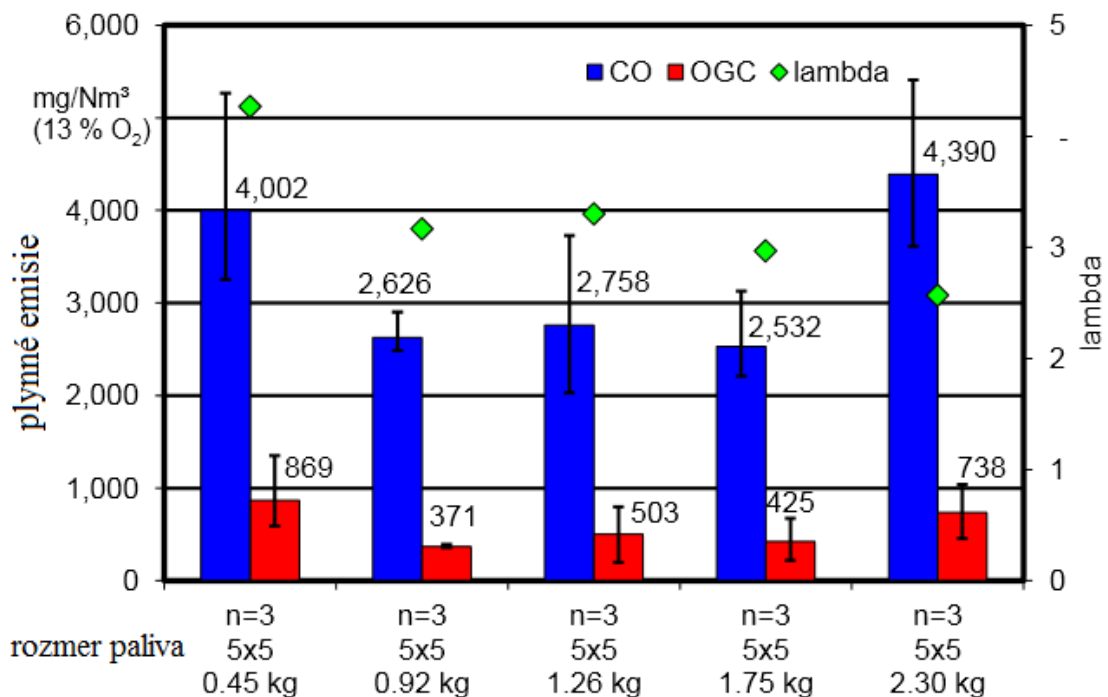
Na proces spaľovania má vplyv aj rozloženie spaľovaného paliva v kúrenisku, ale aj to v akej forme sa palivo dávkuje do zdroja tepla a spôsob zapalovania. Namerané výsledky zo štúdie, ktorá bola realizovaná v Technologickom centre pre obnoviteľné zdroje v Straubingu – Nemecko je na nasledujúcich obrázkoch.



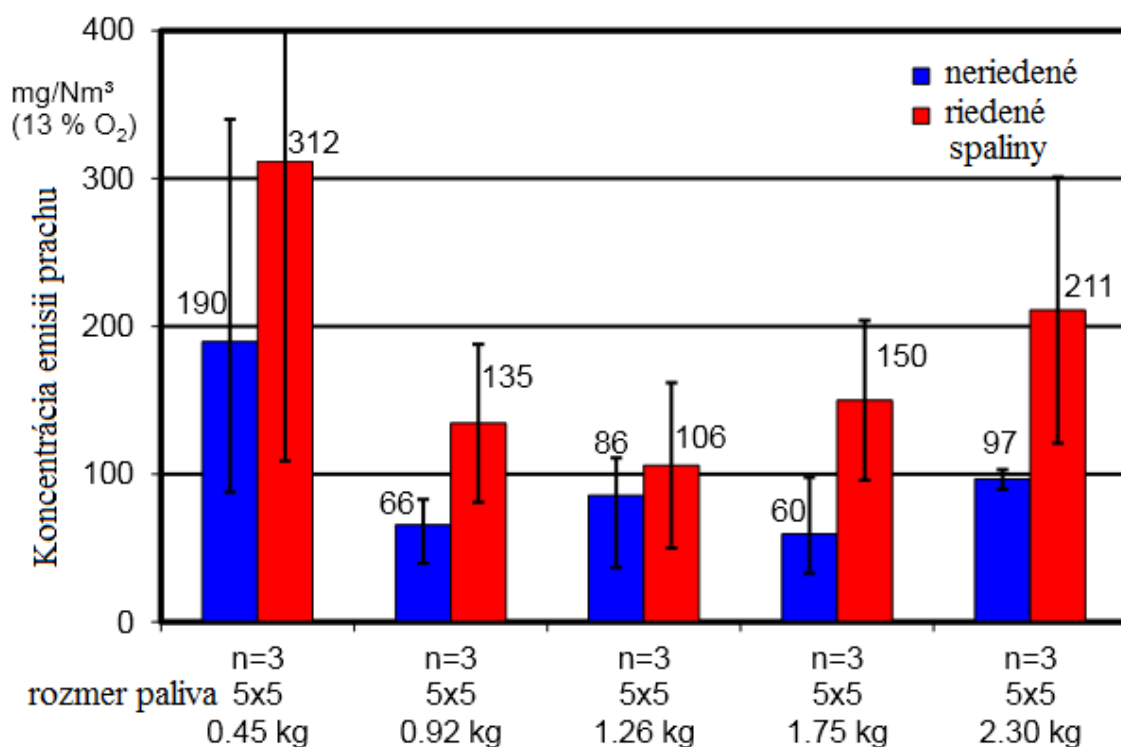
Obr. 1-13 Usporiadanie dreva v kachliach  
[http://www.ieabcc.nl/workshops/task32\\_Dublin\\_SSC/04%20Hartmann.pdf](http://www.ieabcc.nl/workshops/task32_Dublin_SSC/04%20Hartmann.pdf)



Obr. 1-14 Proces spaľovania v kachliach pri rôznych dávkach paliva ([http://www.ieabcc.nl/workshops/task32\\_Dublin\\_SSC/04%20Hartmann.pdf](http://www.ieabcc.nl/workshops/task32_Dublin_SSC/04%20Hartmann.pdf))



Obr. 1-15 Vplyv dávky paliva na plynné emisie ([http://www.ieabcc.nl/workshops/task32\\_Dublin\\_SSC/04%20Hartmann.pdf](http://www.ieabcc.nl/workshops/task32_Dublin_SSC/04%20Hartmann.pdf))



Obr.1-16 Vplyv dávky paliva na koncentráciu emisii prachu

([http://www.ieabcc.nl/workshops/task32\\_Dublin\\_SSC/04%20Hartmann.pdf](http://www.ieabcc.nl/workshops/task32_Dublin_SSC/04%20Hartmann.pdf))

Štúdia bola zameraná na analýzu spaľovacieho procesu v kachliach na biomasu. Hlavným parametrom, ktorý bol sledovaný bola dávka paliva a uloženie paliva v kachliach. Bolo realizovaných veľa meraní, z ktorých vyplýva, že dávka paliva má vplyv na koncentráciu plynných emisii aj emisii prachu.

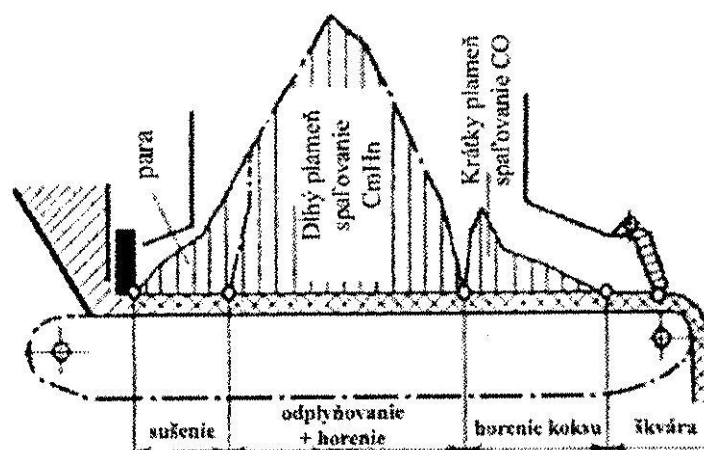
### 1.5.2 Kúreniská pre spaľovanie pevných palív

Kúrenisko je priestor, v ktorom sa spaľuje palivo. Jeho tvar, konštrukcia a spôsob prevádzky sa riadi druhom a vlastnosťami spaľovaného paliva. Kúreniská pre spaľovanie pevných palív podľa konštrukcie sa rozdeľujú na:

- roštové kúreniská, s ktorých sa spaľuje pevné palivo vo vrstve
- cyklónové kúreniská, v ktorých sa spaľuje pevné palivo rozomleté na prach.

Roštové kúreniská vývojovo patria k najstarším typom kúrenísk. Kusové alebo hrubozrnné palivo sa spaľuje počas pobytu na rošte. Spaľované palivo v roštovom kúrenisku, (obr. 1-17) prechádza nasledovnými fázami procesu spaľovania:

- ohrievanie a sušenie paliva pri teplote cca 120°C a odstraňovanie vody,
- termolýza paliva a odplyňovanie prchavej horľaviny dendromasy pri teplote nad 150°C
- horenie produktov prchavej horľaviny paliva,
- horenie tuhej horľaviny paliva,
- ochladzovanie tuhých zvyškov po spaľovaní paliva (popola).



Obr.1.17 Fázy spaľovania paliva na rošte (Černý, 1983)

Aby všetky horeuvedené fázy horenia dokonale prebehli, je potrebné časť uvoľneného tepla spaľovaním vrátiť do reakcie a tak umožniť spaľovanie ďalšieho paliva. Táto časť tepla, vzťahnutá na 1 kg paliva sa vyjadruje tzv. pomerným teplom vznietenia  $v$ :

$$v = \frac{q_{vzn}}{Q_n} = \frac{q_o + q_{výp} + q_z}{Q_n} = \frac{c_1(t' - t_o) + r.W + c_2(t_z - t')}{Q_n} \quad [-] \quad (1-71)$$

Kde:

$q_{vzn}$  - teplo vznietenia [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$q_0$  - teplo potrebného na ohrev vody do bodu varu [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$q_{vyp}$  - výparné teplo vody [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$q_z$  - teplo potrebné k ohrevu paliva na zápalnú teplotu [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$c_1$  - špecifická tepelná kapacita vody v paliva [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$t'$  - bod varu vody [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_0$  - teplota okolia [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$r$  - výparné teplo vody [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$W$  - obsah vody v palive [ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

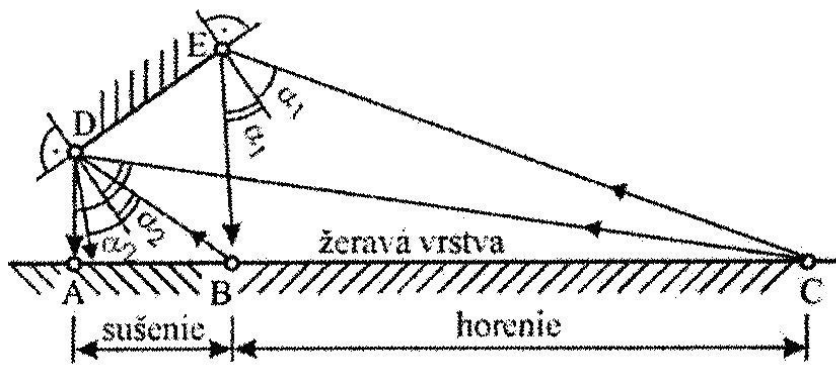
$c_2$  - špecifická tepelná kapacita paliva [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

$t_z$  - zápalná teplota paliva [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$Q_n$  - výhrevnosť paliva [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

Teplo vznietenia závisí na druhu paliva, špecifickej tepelnej kapacity paliva  $c_2$ , jeho zápalnej teploty  $t_z$ , obsahu vody  $W$ , teplote okolia  $t_0$ . Obsah vody v palivách zvyšuje hodnotu pomerného tepla vznietenia. Pomerné teplo vznietenia pre palivá akým sú: palivové vzduchosuché drevo, rašelina, lignit, či hnedé uhlie, má hodnotu  $v = 0,33$  až  $0,4$ . Uvedená hodnota v porovnaní s pomerným teplom vznietenia koksu, čierneho uhlia je približne dva krát vyššia.

Pri ohreve vrstvy paliva v zóne sušenia dôležitú funkciu zohráva predná klenby kúreniska obr. 1-18. sklon prednej klenby a súčiniteľ tepelnej pohltivosti sú volené tak, aby plocha horiacej vrstvy paliva mohla čo najviac odrážať sálavé teplo zo žeravej vrstvy do oblasti sušenia.

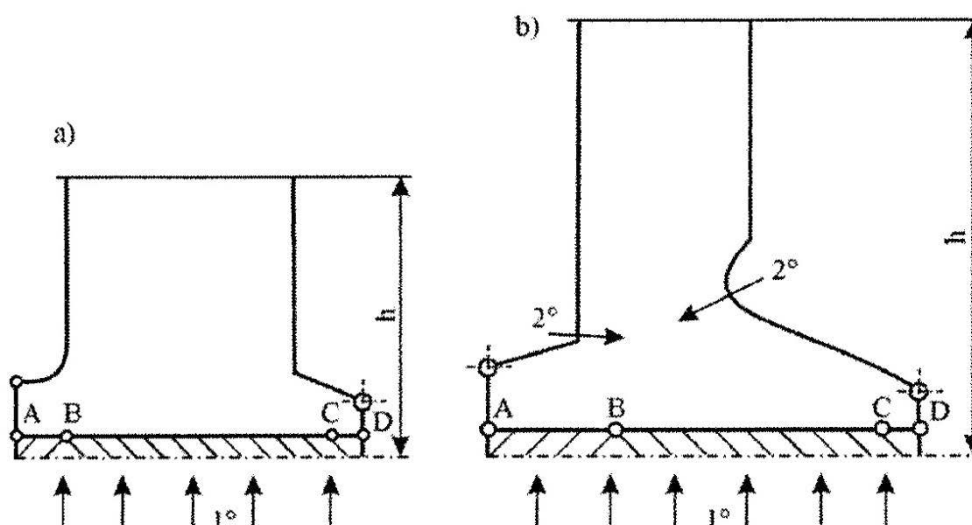


Obr. 1.18 Predná klenba kúreniska (Černý, 1983)

Horenie paliva v roštovom kúrenisku prebieha jednak vo vrstve paliva, ako aj nad jej povrchom (horenie produktov termického rozkladu paliva – prchavej horľaviny). Podiel horenia nad vrstvou je tým vyšší, čím vyšší je podiel prchavej horľaviny v palive. Palivové drevo a hnedé uhlie horia dlhým svietivým plameňom, ktorý vyplňuje priestor vysoko nad roštom antracit a koks horia krátkym, málo svietivým plameňom. Uvedené skutočnosti sa premietajú v **konštrukčných riešeniach a tvare** roštových **kúrenísk**:

- a) roštové kúreniská s jedným ohnisko horenia;
- b) roštové kúreniská s dvoma ohniskami horenia.

Rozdiel medzi koncepciami konštrukčných riešení kúrenísk je zrejмый z obr. 1.19. ak horiace produkty termického rozkladu paliva v spaľovacom priestore sa dostanú do styku s chladnou plochou (o teplote  $t < 450^{\circ}\text{C}$ ), dochádza k ich rozkladu na sodík a uhlík. Vodík je vysoko reaktívny a zhorí, avšak amorfný uhlík má vyššiu zápalnú teplotu a preto nezoxiduje, usadzuje sa na povrchu chladných plôch vo forme sadzí.



Obr. 1.19 Tvar roštového kúreniska pre spaľovanie: (Černý, 1983)

- a) paliva s nízkym podielom prchavej horľaviny
- b) paliva s vysokým obsahom prchavej horľaviny

Z porovnania tvaru kúrenísk pre spaľovanie koksu a čierneho uhlia (1.19.a) a kúreniska pre spaľovanie palivového dreva, rašeliny a hnedého uhlia (1.19.b) je zrejmé, že roštové kúrenisko pre spaľovanie koksu je podstatne nižšie (kratší plameň, nehrozí nebezpečie tvorby sadzí) a má kratšiu zadnú klenbu. Tento typ ohniska je vhodný pre palivá s malým obsahom prchavej horľaviny. Roštové kúrenisko pre palivá s vysokým obsahom prchavej horľaviny (hnedé uhlie, lignit, drevo) je kúrenisko s dvoma ohniskami horenia, je vyššie, spaľovací priestor pre horenie prchavej horľaviny tvarovo upravený tak, aby pre dlhý plameň bolo zabezpečené dobré premiešanie horľaviny so spaľovacím vzduchom. Tomu napomáha aj prívod sekundárneho ( $2^\circ$ ) vzduchu. Podiel primárneho ( $1^\circ$ ) vzduchu, ktorý sa privádza pod rošt do vrstvy, je tým menší, čím vyšší je obsah prchavej horľaviny v palive. Optimálne kúrenisko spĺňajúce kritéria energo-environmentálneho spaľovania dendromasy má byť:

- dostatočne veľké (projektované na horenie uvoľneného podielu cca 75 – 80 % prchavej horľaviny pri termickom rozklade paliva).

- projektované pre spaľovanie s prebytkom spaľovacieho vzduchu  $\lambda_{opt} = 1,5 - 2,1$  a členenie spaľovacieho vzduchu na primárny vzduch privádzaný pod rošt a sekundárny vzduch privádzaný do priestoru horenia prchavej horľaviny v pomere: 1:2,5.
- teplota v spaľovacom priestore horenia prchavej horľaviny v intervale: 800 – 950°C, maximálne  $t = 1150$  °C s dobou zdrže zložiek prchavej horľaviny v priestore  $T \geq 3$  sek.

### 1.5.3 Rošty pre spaľovanie palivového dreva

**Rošt** je kovová plocha s otvormi. Pozostáva z jednotlivých roštníc, oddelených pravidelnými medzerami pre prívod vzduchu a prepád popola. Roštová plocha je plocha roštu pokrytá palivom. Plocha medzier medzi roštnicami, sa nazýva svetlá alebo voľná roštová plocha. (Jandačka, 2011)

Rošt v roštovom kúrenisku spaľovacieho zariadenia plná nasledovné funkcie:

- vytvára a udržiava vrstvu paliva požadovanej hrúbky a priedušnosti, pri minimálnom prepade a úlete zrn paliva;
- zabezpečuje prívod spaľovacieho vzduchu do jednotlivých miest roštu tak, aby spaľovanie prebehlo s optimálnym súčiniteľom prebytkom vzduchu  $\lambda_{opt}$ ;
- umožňuje vysušenie paliva, ohrev a termický rozklad, dokonalé vyhorenie dreveného uhlia;
- odvádzanie pevných zvyškov po vyhorení organického podielu paliva;
- regulovanie procesu spaľovania podľa tepelného výkonu spaľovacieho zariadenia.

Špecifické tepelné zaťaženie roštovej plochy kúreniska pre spaľovanie dendromasy je:

$$q_R = (1,25 - 3,3) \cdot 10^6 \text{ [kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hod}^{-1}] \quad (1-72)$$

Veľkosť optimálnej roštovej plochy kúreniska kotla spaľujúceho dendromasu uvádza vzťah:



$$S_R = \frac{m_p \cdot Q_n}{q_R} \text{ [m}^2\text{]} \quad (1-73)$$

Kde:

$m_p$  - množstvo spáleného paliva za hodinu [kg.hod<sup>-1</sup>]

$Q_n$  - výhrevnosť paliva [kJ.hod<sup>-1</sup>]

$q_R$  - špecifická záťaž roštovej plochy [kJ.m<sup>-2</sup>.hod<sup>-1</sup>]

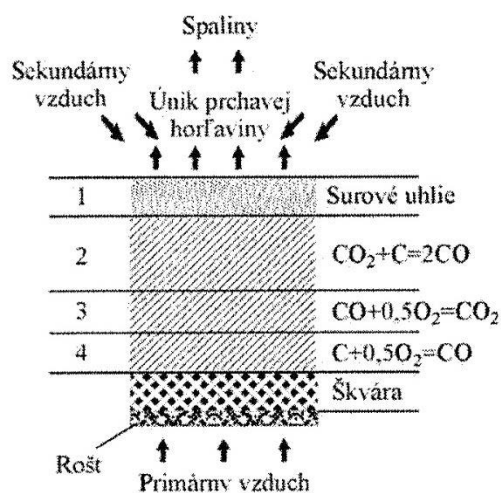
Roštové kúreniská podľa technického riešenia pohybu paliva v kúrenisku sa rozdeľujú do troch skupín:

1. pevné rošty;
2. šikmé rošty s občasným premiestňovaním paliva (stupňovité a presuvné);
3. pohyblivé rošty s neustálym premiestňovaním paliva, (pásové a reťazové).

### 1.5.3.1 Pevné rošty

Pevné rošty sú používané v kúreniskách malých spaľovacích zariadení. Kusové, alebo hrubozrnné palivo, bez prachových frakcií sa počas spaľovania na rošte nepohybuje. Palivo sa do kúreniska vkladá zhora na horiacu vrstvu, vid' obr. 1-20. Priložené palivo sa zapáľuje od plameňa a žeravého povrchu dreveného uhlia. Zápal pokračuje v smere prúdenia spalín a vzduchu zdola na hor (tzv. spodné zapálenie). Sušenie paliva a uvoľňovanie prchavých látok pri spaľovaní paliva prebieha takmer súčasne. Aby boli vytvorené optimálne podmienky pre dokonalé vyhorenie prchavej horľaviny, je potrebný prívod ďalšieho vzduchu (sekundárneho vzduchu) nad vrstvu paliva nachádzajúcu sa na rošte.

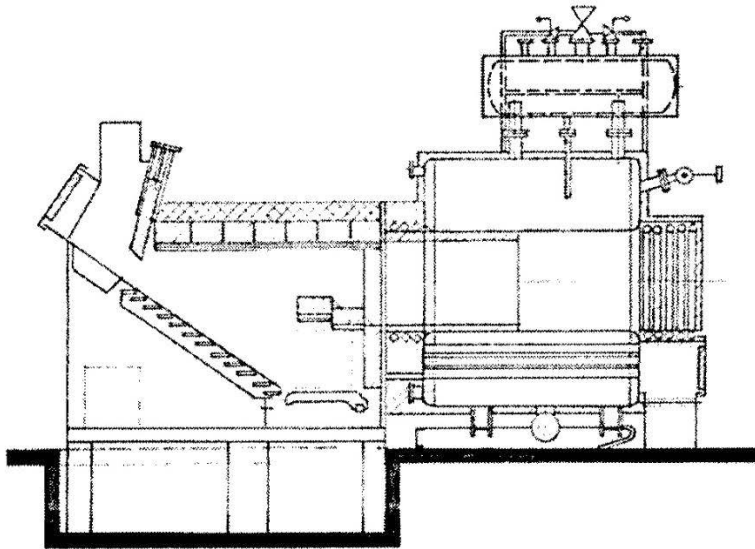
Pre spaľovanie paliva na tomto type roštu je tiež nevyhnutné pravidelné odstraňovanie popola a rovnomerné (pravidelné) prikladanie paliva na žeravý povrch horiaceho paliva v kúrenisku, čím sa udržiava rovnaká výška horiacej vrstvy. Uvedenými skutočnosťami sa zabezpečuje: rovnomerné horenie paliva, rovnomerné rozdelenie vzduchu po prierezovej ploche roštu, stabilný tepelný výkon kotla, minimálne tepelné straty.



Obr. 1.20 Spaľovanie paliva na pevnom rošte (<http://www.ieabcc.nl>)

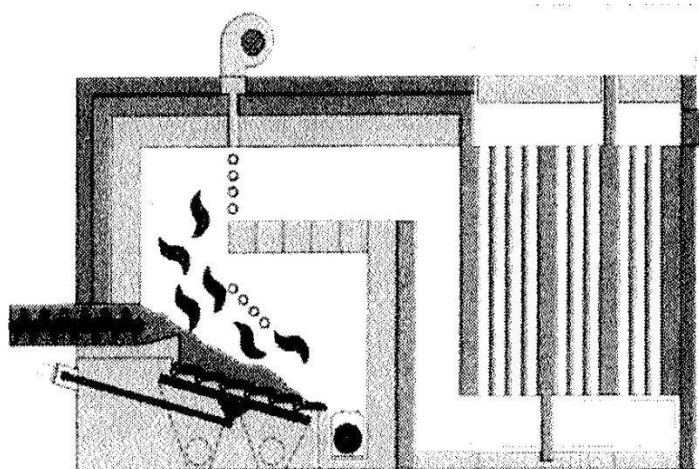
### 1.5.3.2 Šikmé rošty s občasným premiestňovaním paliva

Do skupiny šikmých roštov sa zahŕňajú: šikmé stupňovité rošty a šikmé presuvné rošty. Tieto rošty odstraňujú niektoré nedostatky pevných roštov: premiešavajú horiacu vrstvu paliva na rošte a znižujú prepád jemného paliva medzi roštnicami. Príkladom šikmého stupňovitého roštu je rošt na obr. 1.21 vyvinutý firmou Vihorlat a.s. Snina pre spaľovanie drobného kusového dreva, resp. lesnej štiepky. Pohyb paliva v kúrenisku sa deje gravitačným zasúvaním paliva po stupňovite usporiadaných roštniciach.



Obr. 1.21 Šikmý stupňovitý rošt KD 1160 parného kotla SARK vyrábaný firmou Vihorlat a.s. Snina (Černý, 1983)

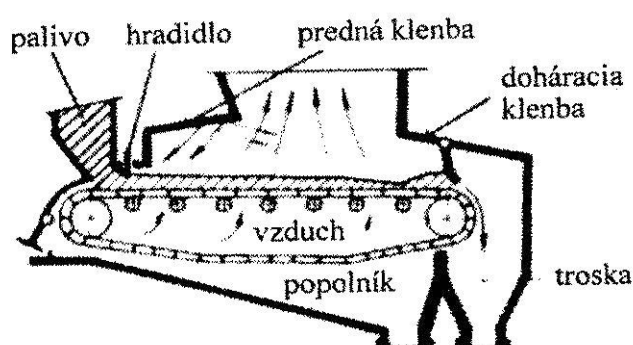
So stupňovitých roštov boli neskôr vyvinuté presuvné rošty, v ktorých prehrabávanie paliva a odvod škvary je čiastočne mechanizovaný. Presuvné rošty majú niektoré roštnice pohyblivé. Pohyb spodnej časti vrstvy paliva ležiaceho na rošte je realizované prostredníctvom pohyblivých roštníc pripojených na pákový systém (mechanizmus).



Obr. 1.22 Šikmý presuvný rošt pre spaľovanie energetickej štiepky teplovodného kotla firmy Tiba-Müller s.r.l. Castellamonte (Černý, 1983)

### 1.5.3.3 Pohyblivé rošty

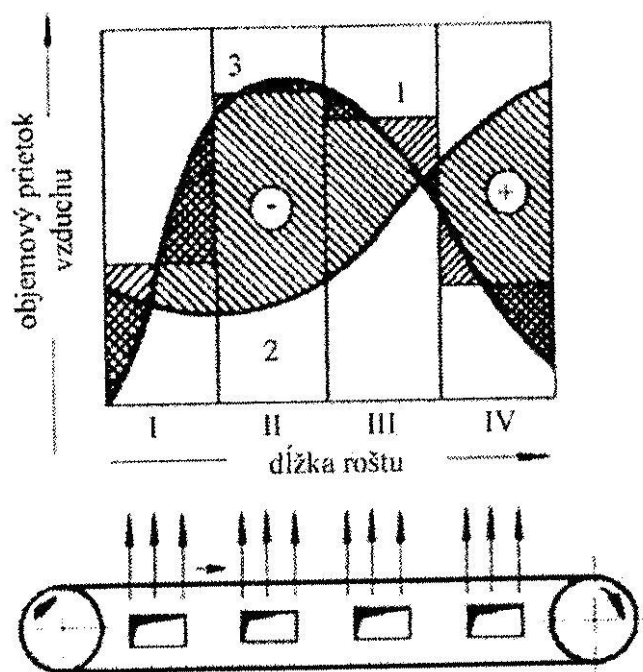
Snaha po zvýšení výkonu roštových kúrenísk viedla k vývoju kúrenísk sa spaľovaním paliva v pohyblivej vrstve. Pre tento spôsob spaľovania paliva bol vyvinutý reťazový rošt a neskôr pásový rošt. V oboch prípadoch sa jedná o pohyblivý, nekonečný pás. Reťazový rošt je tvorený roštnicami, ktoré tvoria články širokej Gallovej reťaze. Nevýhodou tohto typu roštu bolo a je to, že pri výmene prehorenej (poškodenej) roštnice bolo treba celý rošt rozobrať. Pásový rošt používa Gallovu reťaz len ako nosný element na vonkajších okrajoch plochy roštu. Reťaz neprichádza do styku s rozžeraveným palivom. Roštnice sú zasunuté do priečných nosníkov, ktoré sú privarené k reťazi. V oboch prípadoch je rošt tepelne namáhaný len v hornej časti, v spodnej časti je ochladený vstupujúcim spaľovacím vzduchom. Palivo sa pohybuje od zásobníka surového paliva až po výsytku popola. Rýchlosť pohybu roštu má zabezpečiť dokonalé vyhorenie paliva a volí sa podľa výšky vrstvy paliva na rošte.



Obr. 1.23 Schéma reťazového roštu (Černý, 1983)

Priebeh spaľovania na pohyblivom rošte je zrejmý z obr. 1.23. spaľovací vzduch u malých roštových ohnísk je nasávaný podtlakom v ohnisku. Pri vyššom výkone je spaľovací vzduch pod rošt roštového kúreniska dopravovaný vzduchovým ventilátorom. Potreba spaľovacieho vzduchu je však po dĺžke roštu rozdielna. Maximálne množstvo vzduchu je potrebné v oblasti odplynenia a horenia, vid' krivka 1 na obr. 1.24. Bez regulácie sa spaľovací vzduch rozdelí podľa aerodynamického odporu vrstvy práve opačne, vid' krivku 2. Tento rozdiel v spotrebe vzduchu sa

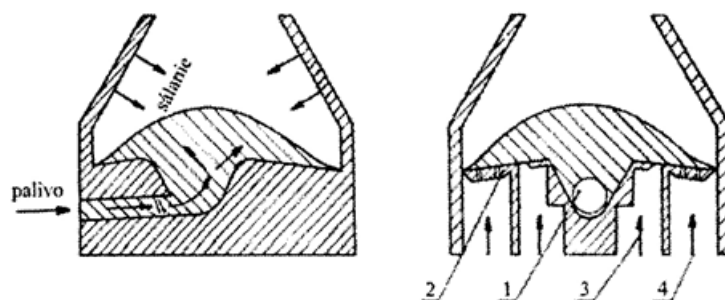
odstraňuje pásmovaním vzduchu, t.j. rozdelením prívodu primárneho vzduchu regulačnými klapkami do jednotlivých pásiem (kanálov) kúreniska, vid' úsečku 3. Každé pásmo je samostatne regulovateľné vzduchovou klapkou, ktorej nastavením sa reguluje potrebné množstvo spaľovacieho vzduchu do jednotlivých kanálov. Na začiatku roštu – v oblasti sušenia paliva, neprebiehajú oxidačné reakcie (palivo nehorí) spotreba spaľovacieho vzduchu je tu minimálna. Privádzaný vzduch v tomto pásme len napomáha sušeniu paliva odvodom vodnej pary. Najviac spaľovacieho vzduchu je dopravované do pásma II. A III. Značne škrtený je i prietok spaľovaného vzduchu do pásma IV. – dohorievacieho pásma, v ktorom horí tuhá horľavina (drevené uhlie).



Obr. 1.24 Rozdelenie spaľovacieho vzduchu v pásovom rošte (Černý, 1983)

#### 1.5.3.4 Rošty so spodným prívodom paliva

Na spaľovanie energetickej štiepky, či lesnej štiepky sa používajú i kúreniská so spodným prívodom paliva na rošt. Zrnité palivo je na rošt vytlačané závitkovým dopravníkom, pohyb paliva je súbežný s prívodom primárneho spaľovacieho vzduchu zo spodnej časti roštu.

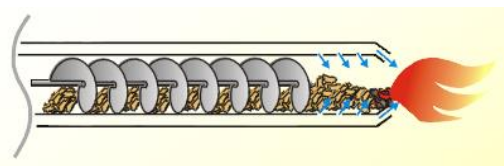


Obr. 1-25 Kúrenisko so spodným prívodom paliva (Doležal, 1965)

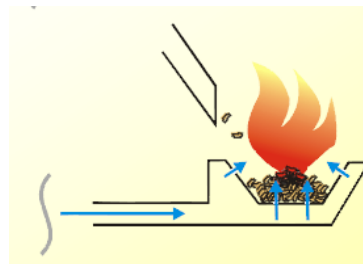
Typickým príkladom kúreniska so spodným prívodom paliva je kúrenisko Frömo (obr. 1-25) firmy Dahlen AB Saltsjöbaden (Švédsko) určené pre spaľovanie posekanej kôry, lesnej a energetickej štiepky s vyššou vlhkosťou. Palivo je do kúreniska dopravované skrutkovým podávačom (1) do stredu mierne šikmého roštu (2) umiestneného v spodnej časti kúreniska. Vytlačané palivo sa presýpa zo stredu do strán. Sálaním bočných klenieb je palivo intenzívne ohrievané a vysúšané. Sklon klenby zodpovedá synnému uhlu spaľovaného paliva, aby intenzita radiačného ohrevu paliva bola čo najväčšia. Optimalizované množstvo spaľovacieho vzduchu v závislosti na množstve privádzaného paliva sa dopravuje pod rošt, do strán komory, paliva na rošte v blízkosti stien kúreniska umožňuje ľahší prechod väčšieho množstva spaľovacieho vzduchu, ktorý sa nespotrebuje len v procese horenia paliva na rošte, ale hlavne v procesoch horenia prchavej horľaviny v priestore nad vrstvou paliva. Popol sa sústreďuje v priestore po bočných stranách roštu, odkiaľ sa odstraňuje.

## 1.6 Druh kúreniska malých zdrojov tepla

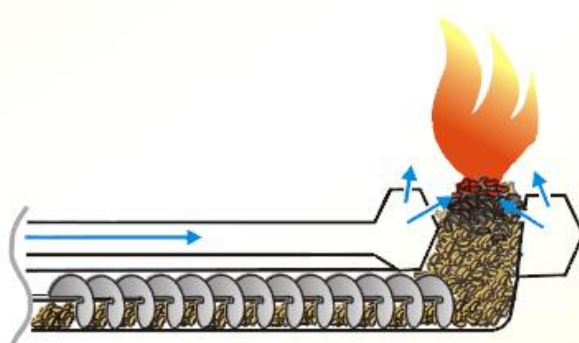
Pri ústrednom vykurovaní je zdrojom tepla – kotol spaľujúci palivo, ktorý je umiestnený v samostatnej tomuto účelu vyhradenej miestnosti. Z hľadiska konštrukcie kotla zohráva veľmi významnú úlohu kúrenisko. Jeho tvar, konštrukcia a spôsob prevádzky sa riadi druhom a vlastnosťami spaľovaného paliva.



Obr. 1-26 Kúrenisko s horizontálnym prívodom paliva



Obr. 1-27 Kúrenisko s vrchným prívodom paliva



Obr. 1-28 Kúrenisko so spodným prívodom paliva

(<http://www.bios-bioenergy.at/uploads/media/Presentation-Obernberger-StateOfTheArtParticulateEmissions-Graz-2008.pdf>)

Pri roštových kúreniskách prevažuje systém s pevným roštom. Roštové ohnisko slúži k spaľovaniu kusových tuhých palív v pokojnej vrstve tzv. filtračným spôsobom. Rýchlosť uvoľňovania tepla môže byť až  $4 \text{ MW/m}^2$  v dôsledku nízkeho množstva popola, čo je typické pre palivo z biomasy.

Základné funkcie roštu pri spaľovaní:

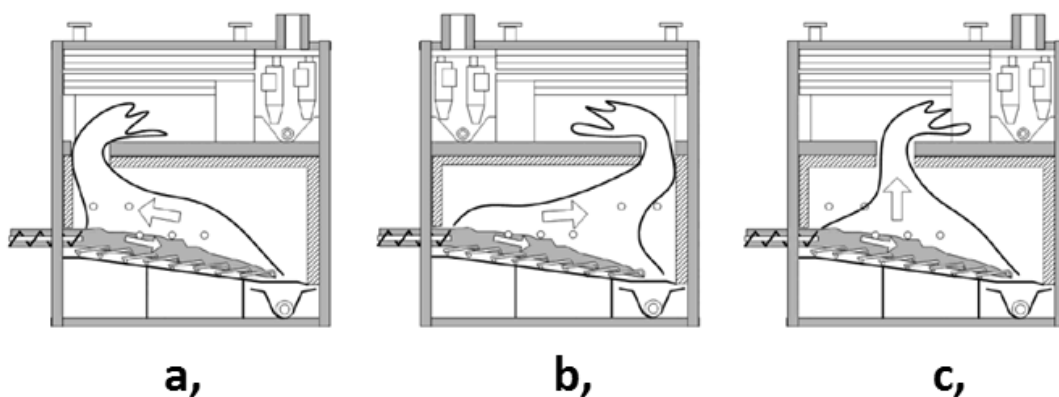
- Vytvárať a udržiavať vrstvu požadovanej hrúbky a priedušnosti
- Zaisťovať prívod spaľovacieho vzduchu do jednotlivých miest plochy
- Umožňovať postupné vysušovanie, zahriatie na zápalnú teplotu, horenie a dokonalé vyhorenie paliva
- Zaisťovať odvod tuhých zvyškov po spaľovaní
- Regulovať tepelný výkon podľa výkonnosti kotla

Základná časť roštu je roštnica. Plní funkciu nosníkov, na ktorých je uložená vrstva paliva. Za studena je ich namáhanie malé, ale pri prevádzke dochádza k opalu

a zníženiu pevnosti materiálu. Teplota roštíc je daná predovšetkým teplotami paliva, ktoré závisia na jeho vlastnostiach, výške a zľahnutia palivovej vrstvy, na prebytku vzduchu a jeho teplote. Najväčšie teploty nie sú na povrchu spaľovanej vrstvy, ale pod povrchom zhruba vo štvrtine hrúbky vrstvy. Čím je spaľovaná vrstva nižšia, tým viac v nej klesá rozdiel teplôt.

([http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=33447](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33447))

Na prívod paliva a spalín existujú tri systémy prevádzky na rošte spaľovacieho zariadenia:



Obr. 1-29 Klasifikácia roštových technológií spaľovania (a,- protiprúdne spaľovanie, b,- suprúdne spaľovanie, c,-krížové spaľovanie) (Doležal, 1965)

Protiprúdne spaľovanie je najvhodnejšie pre palivá s nízkou výhrevnosťou (mokrú kôru, štiepky, piliny). Vzhľadom k tomu, že horúce spaliny prechádzajú cez čerstvú a mokrú biomasu vstupujúcu do pece, sušenie a transport vodnej pary z palivového lôžka sa zvýši o konvekciu (okrem dominujúceho sálavého tepla do povrchu paliva). Tento systém si vyžaduje dobré premiešanie spalín a sekundárny vzduch v spaľovacej komore, aby sa zabránilo tvorbe zvlňených tokov obohatených o nespálené plyny vystupujúcich z kotla a zvyšovaniu emisií.

Suprúdne spaľovanie sa používa pre suché palivá ako odpadové drevo alebo slama, alebo v systémoch kde sa používa predhriaty primárny vzduch. Tento systém zvyšuje dobu zdržania nespálených plynov uvoľnených z palivového lôžka a môže zlepšiť zníženie emisií  $\text{NO}_x$  zvýšením kontaktu spalín s uhoľným lôžkom na spätnom rošte.



Křížové spaľovanie je kombináciou protiprúdného a suprúdného spaľovania a uplatňuje sa predovšetkým v spaľovacích zariadeniach s vertikálnymi sekundárnymi spaľovacími komorami. (SJA AK VAN LOO, 2008)

## **1.7 Zdroje tuhých palív v SR**

### **1.7.1 Uhlie**

Slovenské otvorené zásoby hnedého uhlia a lignitu sú v záverečnej fáze svojej exploatácie. Ťažia sa najmä zásoby v Hornonitrianskych baniach Prievidza, a.s., Prievidza (HBP, a.s.). Využívanie ložísk hnedého uhlia zaisťuje čiastočnú domácu energetickú sebestačnosť, vedie k stabilizácii národného hospodárstva a znižuje vysokú závislosť od dovozu drahých energetických surovín. (<https://www.energie-portal.sk>)

### **1.7.2 Biomasa – drevo**

Hlavným zdrojom biomasy na Slovensku je lesné hospodárstvo, kde je možné využiť časť vyťaženého dreva, ktoré je nevhodné pre použitie v drevospracujúcom priemysle a drevospracujúci priemysel, ktorý vo výrobnom procese produkuje odpady dreva vhodné na energetické využitie.

Výmera lesov SR predstavuje viac ako 2,17 milióna hektárov (ha), z toho lesné pozemky tvoria 1,9 milióna ha a nelesné pozemky 275 000 ha. Lesnatosť dosahuje 44,3 % územia krajiny. Najvyššiu lesnatosť má Žilinský kraj a najnižšiu Trnavský a Nitriansky kraj. V súčasnosti podniky lesného hospodárstva spotrebúvajú na energetické účely len asi 10 – 15 tisíc ton biomasy ročne. V súčasnosti je prezentované, že tuhé biopalivá majú neutrálnu uhlíkovú bilanciu. Vychádza zo správneho predpokladu, podľa ktorého množstvo CO<sub>2</sub> emitovaného do atmosféry spálením konkrétneho množstva rastlinnej biomasy sa rovná množstvu CO<sub>2</sub>, ktoré to isté množstvo rastlinnej biomasy odobralo z atmosféry počas svojho rastu. V ostatných

fázach životného cyklu tuhých biopalív totiž taktiež dochádza k produkcii CO<sub>2</sub> .  
(<https://www.energie-portal.sk>)

Skutočná ťažba dreva sa zvyšuje. Od roku 1990 sa zvýšila z 5,28 mil. m<sup>3</sup> na 9,86 mil. m<sup>3</sup> v roku 2010 a na 9,47 mil. m<sup>3</sup> v roku 2011, čo je nárast o 87 %, resp. 79 %. Rovnako ako v prípade zásob dreva a celkového bežného prírastku toto zvyšovanie súvisí s aktuálnym vekovým zložením lesov na Slovensku, v dôsledku čoho došlo aj k zvýšeniu ročnej plánovanej ťažby dreva z 5,16 mil. m<sup>3</sup> v roku 1990 na 8,22 mil. m<sup>3</sup> v roku 2010, t. j. o vyše 59 %. Z rozdielu medzi nárastom skutočnej a plánovanej ťažby dreva vidno, že dochádza k prekročovaniu plánovanej ťažby. Realizáciu plánovaných úmyselných výchovných a obnovných ťažieb dreva komplikujú náhodné (kalamitné) ťažby a zákonná povinnosť vlastníkov a obhospodarovateľov neodkladne spracovávať kalamitné drevo. Podiel náhodných ťažieb na celkových realizovaných ťažbách sa od roku 1990 pohybuje v rozpätí od 40 % do takmer 65 %. Alarmujúca je výška ihličnatých náhodných ťažieb, a to najmä smreka. Výskyt kalamít je závažným problémom lesného hospodárstva, ktorý narúša plánovité a trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov. Od roku 2004 sa situácia rapídne zhoršuje. Od začiatku 90-tych rokov sa objem spracovaného kalamitného dreva stonásobil a v porovnaní s rokom 2000 je v roku 2011 dvojnásobne vyšší. Od roku 2000 predstavuje prekročovanie ročnej plánovanej ťažby v priemere 18,1 %, za roky 2008 – 2010 to bolo až o 21,3 %. Taktiež podiel ťažby dreva z celkového bežného prírastku prekračuje súčasné ťažbové možnosti. V rokoch 2006 a 2007 bol tento ukazovateľ približne 71 % a v posledných troch rokoch kolíše okolo 80 %. Podľa strategickej prognózy vývoja ťažby dreva do roku 2035, s ohľadom na vývoj zásob dreva, vekové zloženie lesov a doterajšiu ťažbu dreva a jej štruktúru, by sa mal objem realizovaných celkových ťažieb dreva postupne zvyšovať až po predpokladanú kulmináciu okolo roku 2030. Objem obnovnej ťažby by sa mal zvyšovať, naopak pri výchovnej ťažbe sa predpokladá znižovanie jej objemu. Rastúcu tendenciu bude mať ťažba listnatého dreva, ktorá sa v ostatných rokoch, najmä v prípade buka, dubov a hraba realizovala len približne na úrovni 75 % ich plánovanej ťažby. Ťažba ihličnatého dreva 12 (najmä smreka) sa bude naopak znižovať kvôli jeho doterajšej vysokej ťažbe, každoročne prevyšujúcej úroveň únosnej ťažby, z dôvodu vysokého rozsahu náhodných (kalamitných) ťažieb v smrekových lesoch v ostatných pätnástich rokoch.  
(<https://www.energie-portal.sk>)

Vývoj produkcie lesnej palivovej biomasy po roku 1990 ovplyvňoval dopyt domácností po palivovom dreve a vlastníkov energetických zdrojov vyrábajúcich najmä teplo pre potreby bytov komunálnej sféry. Rozhodujúci vplyv malo aj zvyšovanie cien zemného plynu a uhlia pre domácnosti. Veľký rast dopytu vo vidieckych oblastiach spôsobil výrazné zvýšenie cien palivového dreva a jeho súčasná spotreba sa približuje k hraniciam produkčných možností lesného hospodárstva. Najmä u malých neštátnych vlastníkov lesov patria dodávky palivového dreva miestnemu obyvateľstvu k prioritám. Približne od roku 2005 je spotreba malospotrebiteľov relatívne ustálená a zvyšuje sa spotreba dreva u väčších producentov a spotrebiteľov tepla (teplárne, úrady, nemocnice, školy, atď.). (<https://slovak.statistics.sk>)

Stanovenie potenciálu lesnej dendromasy využiteľnej na energetické účely výrazne ovplyvňuje odbytová cena tzv. zameniteľných sortimentov a náklady na ich výrobu. Ide najmä o vlákňinové drevo používané v celulózo – papiernickom priemysle. Zaujímavé sú najmä oblasti s malým podielom guľatinového dreva, kde klasické výrobné postupy a dopravné náklady neumožňujú dosiahnutie primeranej ekonomickej efektívnosti. Riešením je výroba palivových štiepok pre odberateľov v spádovej oblasti produkcie paliva. Štiepkovaním korunových častí stromov možno dosiahnuť zužitkovanie aj doteraz nevyužívanej tenčiny a hrubiny korún stromov. Podľa predbežných odhadov možno takto využiť 20 až 30 % ročnej produkcie tenkého dreva, t.j. 600 – 900 tis. m<sup>3</sup>. ([siea.sk](http://siea.sk))

Najväčším producentom drevnej biomasy je drevospracujúci priemysel, ktorý vytvára 1265000 ton dreveného odpadu ročne. Z tohto množstva je 805000 ton odpadu, ktorý vzniká pri mechanickom spracovaní dreva a 460000 ton predstavuje čierny lúh, ktorý vzniká pri výrobe celulózy. Celková energetická hodnota využiteľného odpadu z drevospracujúceho priemyslu je 15862 TJ, z toho je 9421 TJ z mechanického spracovania dreva a 6440 TJ z čierneho lúhu. V súčasnosti sa časť dreveného odpadu z drevospracujúceho priemyslu, najmä drevené piliny, využívajú na výrobu drevených peliet a drevených briek. Drevené pelety sú vysoko komfortným homogénnym palivom, ktoré sa výborne skladuje a výborne sa ním reguluje vykurovanie. Komfort sa približuje vykurovaniu zemným plynom. Peleta je názov pre granulu kruhového prierezu s priemerom 6 alebo 8 mm a dĺžkou 30-40 mm. Vyrábajú sa z drevnej suroviny – pilín alebo hoblín tzv. peletizáciou, pri ktorej dochádza pri vysokej teplote (cca 120 °C) a vysokom tlaku lisuje to valcového tvaru bez pridania iných látok. Vstupná drevená

surovina má byť prírodný čistý materiál nezaťažovaný škodlivými látkami. Drevné brikety sú taktiež biopalivá lisované pri vyššej teplote a vyššom tlaku, pričom ich veľkosť je oproti drevným peletám väčšia. Výhodou drevných peliet a brikiet je garantovaná vysoká výhrevnosť, nízka vlhkosť, jednotné rozmery a fyzikálne vlastnosti, jednoduché skladovanie, ekologické spaľovanie a perspektívnosť do budúcnosti. Nevýhodou sú relatívne vysoké investičné a prevádzkové náklady na výrobu, vyššie náklady na spaľovacie zariadenia a vysoké požiadavky na skladovanie. (tzb-info.cz)

Perspektívny zdroj palivovej biomasy tvoria energetické porasty rýchlorastúcich drevín (topoľ, vrbá, agát, osika, jelša), jednoročných a viacročných energetických plodín. Energetické porasty možno zakladať na plochách nevhodných pre klasickú poľnohospodársku a lesnícku produkciu, na pôdach dočasne vylúčených z poľnohospodárskej výroby, pôdach kontaminovaných, vhodných len na produkciu pre nepotravinárske účely a tiež na zdevastovaných plochách v priemyselných aglomeráciách. Ďalšími zdrojmi paliva dendromasy sú zeleň v intravilánoch miest, obcí, brehové porasty, vetrolamy, stromoradia ciest, drewný komunálny odpad, porasty rastúce pod elektrickými vedeniami, drewné splaveniny riek a pod. Rýchlorastúce dreviny majú oproti energetickým lesom predovšetkým tú výhodu že doba medzi výsadbou a ťažbou je podstatne kratšia. Pohybuje sa medzi 2 - 5 rokmi a výsadba sa obnovuje až po 20 - 30 rokoch. Rýchlorastúce dreviny zároveň dokážu ročne vyprodukovať väčší objem biomasy na rovnakej ploche. Parametre, ktoré sú rozhodujúce pri výbere rýchlorastúcich drevín sú ich dostupnosť, vhodnosť pre daný typ pôdy i podnebia a potenciálny výťažok z hektára za rok (ton/ha/r). Výťažok je najdôležitejším ukazovateľom a pre vrby pestované v našich podmienkach môže dosiahnuť 15 ton suchej hmoty na hektár za rok. Prírastok niektorých vrby sa pohybuje od 2 do 3 metrov za rok (2 - 3 cm denne v letnom období). Pri určení vhodnej lokalizácie rýchlorastúcich drevín na poľnohospodárskej pôde sa vychádzalo z analýzy produkčného potenciálu BPEJ a typologicko-produkčných kategórií poľnohospodárskej pôdy. Zároveň sa rešpektovala podmienka nevyužívania primárnej poľnohospodárskej pôdy, ktorá je nevyhnutná pre zabezpečenie poľnohospodárskej produkcie Slovenska, pre pestovanie rýchlorastúcich drevín. Aplikovaný prístup bol založený na eliminácii náporu na najproduktívnejšie pôdy a stimulácii prípadných záujemcov o zapojenie doteraz viac-menej nevyužívaných plôch (najmä mimo LPIS) do systému racionálnejšieho využitia. (<https://www.energie-portal.sk>)

## **1.8 Emisie pri spaľovaní tuhých palív**

Znečisťovanie ovzdušia je dynamický jav. Jeho sledovanie je možné prevádzať dvojakým spôsobom :

- a)** prvý spočíva v zistení emisií a miera znečisťovania sa hodnotí na základe stanovenia úletu zo zdroja znečisťovania.
- b)** druhý je zisťovanie imisií, t.j. hodnotenie výsledného stavu znečisťovania ovzdušia na základe výsledkov meraní prevádzaných v rôznych miestach atmosféry.

### **1.8.1 Emisie**

Emisiami označujeme znečisťujúce látky v koncentrovanej podobe, tak ako vystupujú zo zdroja znečisťovania, v kotolni z komína a ich maximálna povolená koncentrácia je obmedzená podľa zákona o ovzduší a nadväzujúcimi predpismi tzv. emisné limity.

### **1.8.2 Imisie**

Imisie sú znečistené látky rozptýlené v ovzduší v tzv. prízemnej vrstve, tj. tam, kde sú obsahom ovzdušia, ktoré dýchame a najvyššie dovolené koncentrácie týchto látok sú opäť obmedzené zákonnou normou vo forme imisných limitov.

### **1.8.3 Znečisťujúce látky**

Práva a povinnosti pri ochrane ovzdušia pred vnášaním znečisťujúcich látok upravuje zákon č. 478/2002 Z.z. z 25. júna 2002 o ochrane ovzdušia.

Prípustnú úroveň znečisťovania ovzdušia určujú:

- a) emisné limity,
- b) všeobecné podmienky prevádzkovania,
- c) národné emisné stropy,
- d) emisné kvóty

Emisný limit je najvyššia prípustná miera vypúšťania znečisťujúcej látky do ovzdušia zo zdroja, zariadenia alebo z inej súčasti zdroja vyjadrená ako:

- a) hmotnostná koncentrácia alebo objemová koncentrácia znečisťujúcej látky v odpadových plynoch,
- b) hmotnostný tok znečisťujúcej látky za jednotku času,
- c) hmotnosť znečisťujúcej látky vzťahnutá na jednotku produkcie alebo výkonu,
- d) emisný stupeň,
- e) tmavosť dymu.

Emisný limit pre mobilné zdroje možno vyjadriť aj ako množstvo znečisťujúcej látky vzťahnuté na jednotku dĺžky alebo na definovaný test.

Národný emisný strop je maximálne množstvo znečisťujúcej látky alebo skupiny znečisťujúcich látok antropogénneho pôvodu vyjadrené v hmotnostných jednotkách, ktoré sa môžu v priebehu kalendárneho roka vypustiť do ovzdušia zo všetkých zdrojov na území Slovenskej republiky. Národné emisné stropy vychádzajú zo záväzných medzinárodných dokumentov na ochranu ovzdušia, ktorými je Slovenská republika viazaná. (Jandačka, 2015)

Znečisťujúce látky je možné rozdeliť podľa chemického zloženia, podľa ich škodlivosti, nebezpečnosti, rizikovosti, prípadne podľa toxicity. Vo všeobecnosti sú znečisťujúce látky rozdelené na dve hlavné skupiny, a to na *základné* znečisťujúce látky a *ostatné* znečisťujúce látky.

Medzi základné znečisťujúce látky patria:

- tuhé znečisťujúce látky
- oxid uhoľnatý
- oxidy dusíka
- oxid siričitý
- prachové látky

Ostatné znečisťujúce látky sú rozdelené do viacerých skupín a podskupín:

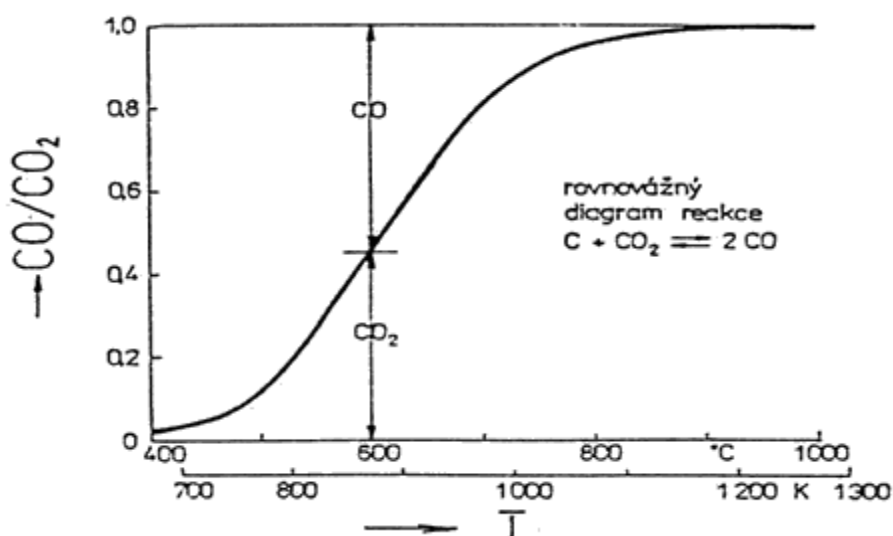
- látky s karcinogénnym účinkom (azbest, Co, Cd, Be, Ni, As ....)

- tuhé anorganické znečisťujúce látky (Hg, Se, antimón)
- anorganické znečisťujúce látky vo forme plynov a pár (HCl, HF, amoniak)
- organické plyny a pary (fenol, formaldehyd, toluén, acetón)
- plynné látky spôsobujúce skleníkový efekt (CO<sub>2</sub>, metán, N<sub>2</sub>O) [15]

## 1.8.4 Mechanizmus vzniku emisií a pôsobenie emisií

### 1.8.4.1 Oxid uhoľnatý - CO

Vznik oxidu uhoľnatého je spojený s nedokonalosťou spaľovacieho procesu, respektíve s neúplnou oxidáciou uhlíka „C“ (ako súčasť horľaviny paliva) na finálny produkt CO<sub>2</sub>. Príčiny tohto nedokonalého spálenia uhlíku sú v tom, že nie je dosiahnuté ideálne miešanie paliva a okysličovadla (nedostatočný prístup kyslíka k palivu), a v nedodržaní vhodných teplotných pomerov v pásme prebiehajúcich spaľovacích reakcií. Vplyv teploty na úplnosť konverzie CO na CO<sub>2</sub> (pri dostatočnom prístupe kyslíka v palive) je uvedený na obr. 1.30.



Obr.č. 1-30: - Rovnovážny diagram reakcie  $C + CO_2 \leftrightarrow 2 CO$  ( Dlouhý, 2007)

Emisný limit pre oxid uhoľnatý je pri spaľovacích procesoch veľmi prísny. Dôvodom nie je len snaha o čo najvyššie využitie chemicky viazaného tepla v palive, ale predovšetkým to, že nízka emisia CO zaručuje nízku emisiu uhlíkov C<sub>x</sub>H<sub>x</sub> ktoré pri spaľovaní tvoria hlavnú časť organických látok, a ktoré často patria medzi karcinogénne látky. (Jandačka, 2015)

Oxid uhoľnatý v tele človeka viaže v krvi krvné farbivo a spôsobuje preto pri vyšších dávkach smrť udusením, pretože zabraňuje funkcii krvi ako transportéru kyslíku v tele. Aj napriek tomu, pôsobenie oxidu uhoľnatého na ľudský organizmus je kvalifikované zo zdravotného hľadiska ako najmenej významné (najmenej poškodzujúce) zo všetkých znečisťujúcich látok z energetických zdrojov. Výraznou a nebezpečnou vlastnosťou CO sú široké medze zápalnosti a výbušnosti, ktoré sa pohybujú od 12,5 do 75% objemovej koncentrácie vo vzduchu. (Jandačka, 2015)

#### **1.8.4.2 Oxid siričitý SO<sub>2</sub>**

Pokiaľ je v palive obsiahnutá síra, môže sa vyskytovať v štyroch hlavných formách. Jedná sa o síru organickú, pyritickú, síranovú a v prípade plynov vo forme H<sub>2</sub>S (sírovodík). Iba síra síranová je v stabilnej oxidovanej forme a nie je zdrojom znečisťujúcej látky SO<sub>2</sub>. Ak nedôjde v priebehu spaľovacieho procesu k naviazaniu síry na vhodné typy látok (aditíva), oxiduje síra v palive na SO<sub>2</sub> a to tak, že z jedného kilogramu palivovej síry vzniknú 2 kilogramy SO<sub>2</sub>. Vedľajším účinkom vzniku SO<sub>2</sub> pri spaľovaní je výrazný rast teploty rosného bodu spalín oproti hodnote rosného bodu.

Vplyv SO<sub>2</sub> vo vonkajšom ovzduší je veľmi rozdielny. Za prítomnosti iónov kovov v ovzduší (napr. Fe<sup>++</sup> alebo Mn<sup>++</sup>) dochádza ku katalyzovanej oxidácii na SO<sub>3</sub>, bez ich prítomnosti k pomalšej oxidácii spôsobenej slnečným žiarením. Hydrolyzovaný SO<sub>3</sub> sa dostáva do pôdy z atmosféry ako kyslý dážď, nehydrolyzovaný sa môže dostať do pôdy formou tzv. suchej (časticovej) depozície ako (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Kyslé dažde zvyšujú kyslosť pôdy a povrchových vôd, čo je považované za jeden z dôvodov nižšej odolnosti vegetácie a miznutie niektorých živočíšnych druhov (napr. ryby v severských jazerách). (Jandačka, 2015)

#### **1.8.4.3 Oxidy dusíka**

Oxidy dusíka vznikajú tromi rôznymi spôsobmi. Jedná sa o tzv. okamžité oxidy dusíka vznikajúce v najvyšších teplotách v začiatkovej fáze horenia - ich podiel z celkovej emisie NO<sub>x</sub> je minimálny. Ďalšie sú oxidy dusíka termické, ktoré vznikajú v oblasti teplôt nad 1100°C z dusíka prítomného vo vzduchu a oxidy dusíka palivové, ktoré vznikajú v oblasti najnižších teplôt z dusíka obsiahnutého v horľavine paliva. Palivové oxidy dusíka sú obvykle veľmi významné pri vykurovacích olejoch - oleje s vysokým obsahom dusíka v palive nespĺňajú emisné limity do ovzdušia bez špeciálnych denitrifikačných technológií. Palivové oxidy dusíka sú nulové pri plyných



palivách, ktoré palivový dusík neobsahujú a pokiaľ ho obsahujú, chová sa z hľadiska emisie NO<sub>x</sub> rovnako ako dusík z okysličovadla, čiže zo vzduchu. (Horhaj, 1999)

Spaľovacími reakciami v ohniskách vznikajú tri rôzne oxidy dusíka a to N<sub>2</sub>O, NO a NO<sub>2</sub>, iba posledné dva sú zatiaľ považované za znečisťujúce látky.

**N<sub>2</sub>O** - oxid dusný alebo "rajský plyn" vzniká vo významnejšom množstve pri nízkoteplotnom spaľovaní a jeho pôsobenie je významné v súvislosti so skleníkovým efektom, kde patrí medzi najvplyvnejšie plyny, ktoré zabraňujú odrazu tepelnej energii od povrchu Zeme späť do vesmírneho priestoru.

**NO** - je bezfarebný, relatívne málo reaktívny plyn. Vo vonkajšom prostredí oxiduje na NO<sub>2</sub>. Vo vnútornom prostredí je oxidácie NO na NO<sub>2</sub> bez prítomnosti UV žiarenia a ozónu veľmi pomalá, omnoho pomalšia ako porovnateľná doba výmeny vzduchu. Z tohto dôvodu sú emisie NO vo vnútri budov považované za málo významné. NO je významnou znečisťujúcou látkou v stratosfére, pretože patrí vedľa chlóru a chlórovaných typov freónov k hlavným likvidátorom ozónovej vrstvy. Reakciou s ozónom vzniká NO<sub>2</sub> a bežný dvojatomárny kyslík (Jandačka, 2015)

**NO<sub>2</sub>** - je červenohnedý plyn, ktorého charakteristickú farbu je možné niekedy vidieť pri smogových situáciách. NO<sub>2</sub> je reaktívna silne oxidačná látka. Koncentrácia 0,5 až 1,5 ppm (1 až 3 mg.m<sup>-3</sup>) po dobu trvania 1 hodiny už spôsobuje dýchacie problémy.

Produkcia NO<sub>2</sub> je významná najmä zo zdrojov s tlakovým spaľovaním, tj. najmä zo spaľovacích motorov. Podiel NO<sub>2</sub> z celkových NO<sub>x</sub> pri atmosférických kotloch je prakticky zanedbateľný. Ako maximálny podiel je uvádzaných 5%, ale obvykle nedosahuje jeho podieľa ani 2%. NO<sub>2</sub> je jednou z látok, ktoré sa podieľajú na vzniku kyseliny dusičnej v atmosfére. Kyslé dažde sú dôsledkom spolupôsobenia oxidov síry a dusíka. Na rozdiel od väčšiny málorozpustných alebo nerozpustných síranov sú dusičnany väčšinou vodou rozpustné látky. (Jandačka, 2015)

#### **1.8.4.4 Tuhé znečisťujúce látky**

Sú častice, ktoré sú za teploty a tlaku v komíne, výduchu, výpusti alebo v mieste merania prítomné v odpadnom plyne v pevnom skupenstve. Dostávajú sa do ovzdušia ako emisie jednak z palív, ktoré obsahujú popoloviny, jednak ako sadze pri spaľovacích procesoch, pri ktorých dochádza k tvorbe amorfného uhlíka pri rýchlom

ochladienie horiacich častíc uhlíkov (tuhé paliva) alebo nezplynených uhlíkových reťazcov pri kvapalných palivách. Do ovzdušia sa však dostávajú aj vírením častíc usadených na zemskom povrchu (sekundárna prašnosť). K časticiam PM 10 zaraďujeme tie, v ktorých 50% častíc má aerodynamický parameter menší ako 10  $\mu\text{m}$

Z ohnísk spaľovacích zariadení na tuhé palivá sa do prúdu odchádzajúcich spalín dostáva z celkového obsahu popolovín v palive iba časť a to v závislosti na type spaľovacieho zariadenia. Minimálny podiel úletových popolovín je pri ohníkoch s pevnými alebo pásovými roštmi (do 15%) maximálna je pri granulačných, práškových a fluidných ohníkoch (až 90%). (Horhaj, 1999)

Prašné častice, sú zodpovedné za výskyt smogu. Kondenzácia vodných pár v mestskom prostredí je vďaka značnej prašnosti i exhaláciám o to jednoduchšia, zvlášť s ohľadom na fakt, že ráno, kedy sú všeobecné podmienky pre vznik hmly najpriaznivejšie, silnie dopravná špička a je zvýšená produkcia dymu z lokálnych vykurovacích zariadení. Rozlišujeme smog:

Londýnskeho typu, kedy produkty reakčných mechanizmov bývajú spravidla kyselina sírová, dusičná a chlorovodíková

fotochemický smog (Los Angeles - smog), ktorý však s hmlou nesúvisí, pretože je tvorený výhradne len škodlivými emisiami, ktoré produkuje doprava.

V našich podmienkach vzniká smog zmiešaného typu.

V súčasnej dobe sa hlavný význam kladie na zohľadnenie veľkosti častíc, ktorá je rozhodujúca pre prienik a depozíciu v dýchacom trakte. Účinok prachových častíc na organizmus je závislý na zložení, tvare a veľkosti častíc, ktoré ho tvoria. Čím je menšia je častica, tým je nebezpečnejšia. Väčšie častice (nad 100  $\mu\text{m}$ ) sedimentujú veľmi rýchlo a do dýchacích ciest sa prakticky nedostanú. Častice, ktorých veľkosť je medzi 100 -10  $\mu\text{m}$ , sú väčšinou zachytené v horných dýchacích cestách, častice menšie ako 10  $\mu\text{m}$  (PM 10) prenikajú do dolných partií dýchacích ciest a bývajú preto nazývané thorakálnymi časticami.

V ovzduší sa jemné častice zdržujú dni až týždne a vytvárajú viac či menej stabilný aerosol, ktorý môže byť transportovaný na veľké vzdialenosti. Tým dochádza k ich rozptýleniu na veľkom území. (Jandačka, 2015)

#### **1.8.4.5 Organické látky**

Medzi organické látky patrí celá rada uhľovodíkových zlúčenín od veľmi jednoduchých (metán, etán, pentán....), cez aromatické uhľovodíky, alifatické uhľovodíky, benzény až po vysoko nebezpečné polychlorované organické látky (niektoré z obvyklých fosílnych palív obsahujú chlór). Pretože pravdepodobnosť vzniku organických látok pri bežne používaných fosílnych palív je malá, postačuje emisná kontrola oxidu uhoľnatého CO, ktorá súčasne zaručuje prijateľne nízku tvorbu organických látok. Iba spaľovacie zariadenia pre drevo a biomasu ako najmladšie paliva s vysokým podielom prchavej horľaviny majú predpísané emisné limity pre organické látky. Zariadenia na spaľovanie dreva a najmä biomasy musia byť pre spaľovanie paliva s vysokým podielom prchavej horľaviny príslušne prispôbené. Z tohto dôvodu sú napr. v Nemecku a Rakúsku používané pre spaľovanie v najmenších ohniskách (pece, domové kotle) iba tzv. bezdymové palivá tj. palivá s minimálnym obsahom prchavej horľaviny. (Horbaj, 1999)

### **1.8.5 Negatívne účinky znečisťujúcich látok**

#### **1.8.5.1 Oxidy dusíka NO<sub>x</sub>**

Vznikajú pri spaľovacích procesoch, ich najvýznamnejšou zložkou sú oxid dusičitý a oxid dusnatý, ktorý je však nestály a mení sa na oxid dusičitý. Až 50% oxidu dusičitého pochádza z automobilovej dopravy, významným zdrojom je spaľovanie zemného plynu. Oxid dusičitý je dráždivý plyn, ktorý pôsobí na dýchacie cesty a spôsobuje ich zužovanie. Na vyššie koncentrácie oxidu dusičitého v ovzduší reagujú najmä astmatici a osoby s primárnym ochorením dýchacej sústavy. Citlivejší sú aj malé deti a starí ľudia. (Jandačka, 2015)

#### **1.8.5.2 Oxid uhoľnatý CO**

Oxid uhoľnatý je toxický plyn, ktorý vzniká pri nedokonalom spaľovaní a je súčasťou výfukových plynov motorových vozidiel. Jeho najvýznamnejším zdrojom pre človeka je však fajčenie. Je toxický a preniká do krvi dýchacím traktom, viaže sa na červené krvné farbivo za vzniku tzv. karboxylhemoglobínu, ktorý stráca schopnosť prenosu kyslíka. Následkom je znížený prívod kyslíka do tkanív. Organizmus však

dokáže tolerovať pomerne vysoké koncentrácie bez príznakov zdravotného poškodenia. Vysoké hodnoty karboxylhemoglobínu boli napr. zistené v krvi fajčiarov.

Koncentrácia 100 ppm ( $125 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) za dobu trvania 1 hodiny spôsobí (podľa Svetovej zdravotníckej organizácie WHO) 4% viazanie hemoglobínu v krvi a tým napr. kardiovaskulárne problémy, pričom už dvojnásobná hodnota ( $250 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) môže byť príčinou smrti. (Jandačka, 2015)

### **1.8.5.3 Prízemný ozón $\text{O}_3$**

Ozón (trojatómové molekuly kyslíka) je plyn veľmi dobre rozpustný vo vode, so silnými oxidačnými vlastnosťami, ktorý má akútne i chronické účinky na zdravie. Akútne účinky sa môžu pozorovať u citlivých osôb už od koncentrácií, ktoré prekračujú limitnú hodnotu (t.j.  $180 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) vo forme dráždenia očí, nosu a hrdla, pocitov tlaku na prsiach, kašľu a bolesti hlavy. U astmatikov môže vyvolávať záchvaty a príznaky z dráždenia dýchacích ciest. (Horbaj, 1999)

Chronické účinky je možné očakávať pri opakovanom a dlhodobom vystavovaní organizmu účinkom ozónu a môžu sa prejavovať zápalovými ochoreniami dýchacích ciest. K najcitlivejším skupinám populácie na ozón patria starí ľudia, osoby s ochoreniami dýchacej a srdcovo-cievnej sústavy, alergici a astmatici, veľmi malé deti a tehotné ženy.

### **1.8.5.4 Oxid siričitý $\text{SO}_2$**

Oxid siričitý je plyn, ktorý reaguje s vodnými parami za vzniku kyseliny. Jeho účinky na ľudský organizmus sa odvíjajú práve z tejto vlastnosti pôsobí dráždivo na dýchacie cesty a očné spojivky. Navyše jeho vdychovanie spôsobuje zužovanie priedušiek. Pri dlhodobom pôsobení vyšších koncentrácií na človeka bol zistený vyšší výskyt a dlhšie trvanie ochorení dýchacích ciest, najmä u detí.

Najcitlivejší sú na jeho pôsobenie alergici a osoby s ochoreniami dýchacej sústavy. Na zvýšené koncentrácie tohto plynu v ovzduší tiež reagujú veľmi malé deti, starí ľudia a tehotné ženy. Jeho zvýšené koncentrácie spravidla bývajú sprevádzané výskytom ďalších škodlivín, ako sú prach a oxidy síry. (Horbaj, 1999)

### **1.8.5.5 Tuhé znečisťujúce látky, $\text{PM}_{10}$ , $\text{PM}_{2,5}$**

Zdravotná významnosť prachu závisí od veľkosti častíc. Zatiaľ čo väčšie častice (nad  $10 \mu\text{m}$ ) môžu pôsobiť iba podráždenie horných dýchacích ciest, menšie častice

sa dostávajú až do dolných dýchacích ciest a častice s rozmerom pod 2,5  $\mu\text{m}$  môžu prestupovať do pľúcnych komôrok a buď sa usadzovať v pľúcach alebo aj prenikať do krvného obehu. Z tohto aspektu delíme ukazovateľ prašnosti na celkovú prašnosť (TSP), častice pod 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) a častice pod 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ).

V kategórii najjemnejších častíc PM 2,5 majú častice priemer menší ako 2,5  $\mu\text{m}$ . Vedci považujú častice PM 2,5 za príčinu najväčšieho poškodzovania ľudského zdravia. Usadzujú sa hlboko v pľúcach, blokujú reprodukciu buniek a pôsobia respiračné ochorenia. Frakcie PM 2,5 zvyšuje škodlivé účinky  $\text{SO}_2$  a tým stúpa i náchylnosť k chronickým ochoreniam respiračného traktu. Pomer suspendovaných častíc PM 2,5/ PM 10 je veľmi premenlivý a závisí na type smogu môže sa pohybovať v rozmedzí 30 až 60%.

Zvýšená prašnosť v ovzduší všeobecne pôsobí dráždivo na dýchacie cesty a spravidla sa vyskytuje spolu s ďalšími škodlivinami, ako sú oxid siričitý alebo oxidy dusíka. Z odborných zdravotníckych štúdií vyplynulo, že v lokalitách s vysokým a dlhodobým výskytom zvýšených koncentrácií malých prachových častíc v ovzduší sa zisťuje k zvýšená úmrtnosť obyvateľov na ochorenia dýchacej a srdcovo-cievnej sústavy. Za citlivé skupiny populácie sa považujú astmatici, osoby s ochoreniami dýchacej sústavy a srdcovo-cievnej sústavy, veľmi malé deti a starí ľudia.

Jedinou expozičnou cestou ako sa PM môžu dostávať do ľudského organizmu je inhalácia. Podľa toho, v akej časovej naviazanosti na expozícii dôjde k objektívnym známkam ochorení sú rozlišované účinky akútne, subchronické až chronické.

Poznatky o zdravotných účinkoch prašných častíc dnes vychádzajú predovšetkým z výsledkov epidemiologických štúdií z posledných 10 rokov, ktoré ukazujú na ovplyvnenie chorobnosti a úmrtnosti už pri veľmi nízkej úrovni, pričom nie je možné jasne určiť prahovú koncentráciu, ktorá by bola bez účinku. Je tiež zrejmé, že vhodnejším ukazovateľom prašných častíc vo vzťahu k zdraviu sú najmenšie frakcie

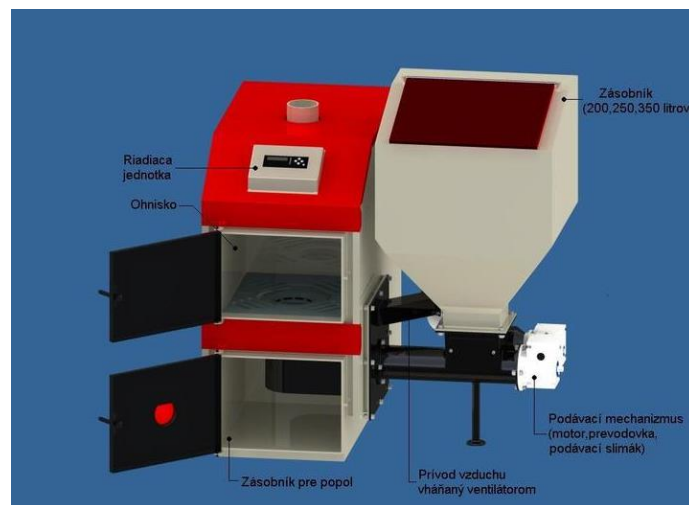
Vplyv znečistenia ovzdušia na zdravie býva zveličovaný. V súčasnej dobe sa odhaduje, že podiel životného, pracovného prostredia a vnútorného prostredia budov na zdravie predstavuje asi 15%, zdravotná starostlivosť asi 10%, genetický základ jedinca asi 20% a najväčší podiel 55% predstavuje spôsob života a socioekonomické faktory. Jedná sa najmä o nevhodnú stravu, fajčenie, alkohol, nízku pohybovú aktivitu,

psychické napätie a stres a ďalej potom životná úroveň, nezamestnanosť a rozvodovosť. (Jandačka, 2015)

## 1.9 Meranie na malom zdroji tepla

### 1.9.1 Meranie na kotly na spaľovanie peliet

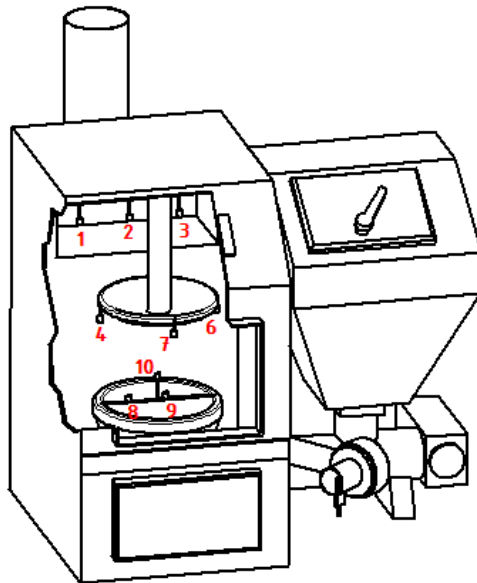
Pre potreby merania bol použitý kotol od firmy Kotle Lokca typ EKO-KARBON s menovitým výkonom 18 kW. Kotol je určený na spaľovanie uhlia definovanej veľkosti a peliet. Nákras je na obr. 1-31. Cieľom tohto merania je overenie teplôt v ohnisku pri spaľovaní peliet.



Obr. 1-31 Kotol Eko karbon úspor  
([www.kotlylokca.sk/Nakres-Eko-Karbon](http://www.kotlylokca.sk/Nakres-Eko-Karbon))

Kotol je dvojplášťový, s vodným výmenníkom tepla, je vybavený zásobníkom a automatickým podávačom paliva. V spaľovacej komore boli umiestnené snímače teploty podľa obr. 1-32. Termočlánky č. 1, 2 a 3 sú umiestnené pred vstupom do vodného výmenníka, ostatné sú umiestnené v ohnisku a nad spaľovacím roštom.

Počas spaľovania paliva sa okrem iných zaznamenávali nasledovné hodnoty: teplota okolia  $T_{ok}$  [°C], rýchlosť prívodu spaľovacieho vzduchu [m.s-1], teploty v spaľovacom priestore, komínový ťah [Pa] a teplota spalín  $T_{sp}$  [°C].



Obr. 1-32 Rozmiestnenie termočlánkov v spaľovacej komore

Tab. 1-6 Zaznamenané maximálne teploty počas merania

Termočlánok číslo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zaznamenaná maximálna teplota	598,8	603,1	596,1	666,7	854,1	616	390	698,6	770,7	778,6

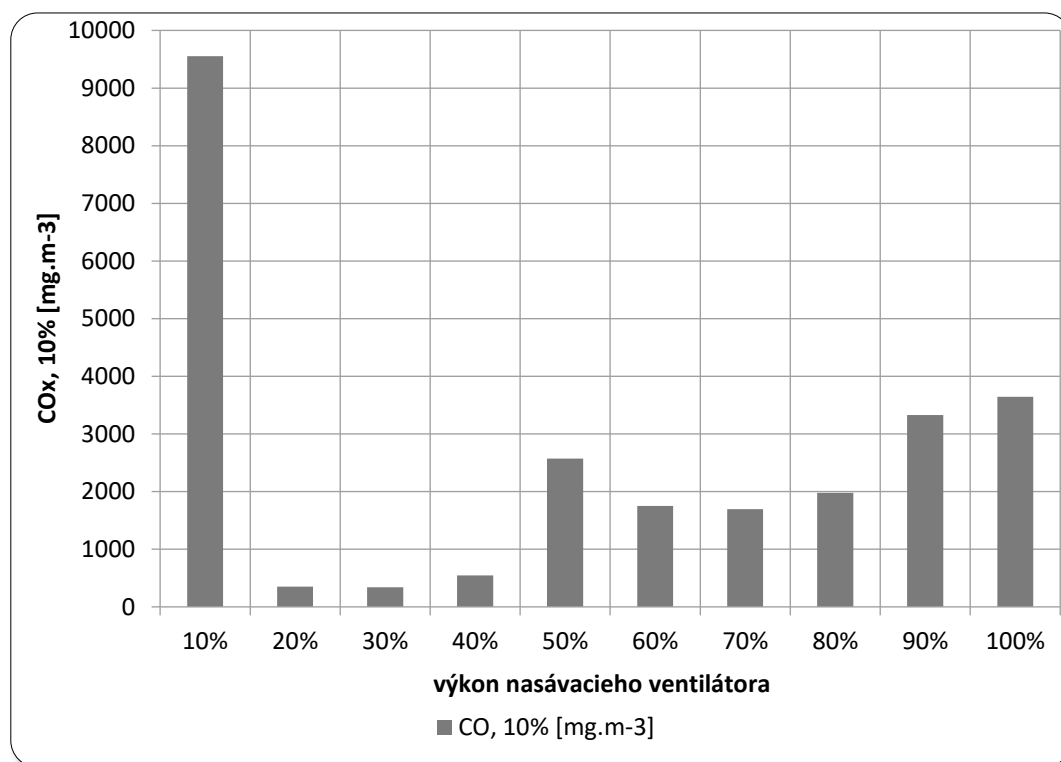
Na danom kotly bolo prevedené tiež iné meranie, pri ktorom sa sledoval vplyv výkonu sacieho ventilátora na potrubí primárneho vstupu vzduchu na procesy spaľovania v kotly. Pri tomto meraní boli okrem iného sledované aj teploty na termočlánkoch č. 4 až č. 7 umiestnené podľa obr. 1-32.

Tab. 1-7 Zaznamenané hodnoty počas merania

Výkon ventilátora	Teplota nasávaného vzduchu	Výkon kotla	Teplota na termočlánku č.4	Teplota na termočlánku č.5	Teplota na termočlánku č.6	Teplota na termočlánku č.7
	t0	Pkot	T4	T5	T6	T7
	[ °C ]	[kW]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
10%	23,85	16,29	662,69	670,17	572,58	728,62

20%	23,58	15,53	614,75	571,98	478,91	800,33
30%	25,97	15,31	582,72	584,91	526,91	747,52
40%	25,36	17,13	613,12	523,99	559,00	737,95
50%	24,12	15,98	494,91	581,36	504,84	750,09
60%	21,15	16,24	448,72	565,52	767,45	437,86
70%	24,20	16,46	449,05	547,37	701,12	443,39
80%	26,51	16,51	449,16	560,13	665,18	446,87
90%	24,60	14,95	445,42	415,17	692,11	377,38
100%	27,86	15,03	427,34	529,39	594,75	416,86

Pri takomto type merania je ale taktiež potrebné sledovať kvalitu spaľovania. Vzhľadom na markantný vplyv zmeny prietoku vzduchu určeného na spaľovanie sa sledovalo aj zloženie spalín. Na obr. 1-33 je zobrazený obsah CO v spalínách.



Obr. 1-33 Obsah CO v spalínách

Je zrejmé, že pri nedostatočnom prívode vzduchu do kotla je zvýšená produkcia emisií CO, čo charakterizuje nedokonalé spaľovanie. No i pri zvýšenej dodávke vzduchu, pri výkone ventilátora nad 80%, dochádza k postupnému nárastu emisií CO



do ovzdušia. Preto je potrebné pri každom zdroji tepla, ktorý je určený na spaľovanie biomasy, určiť a overiť potrebné množstvo vzduchu pre daný typ a režim spaľovania.

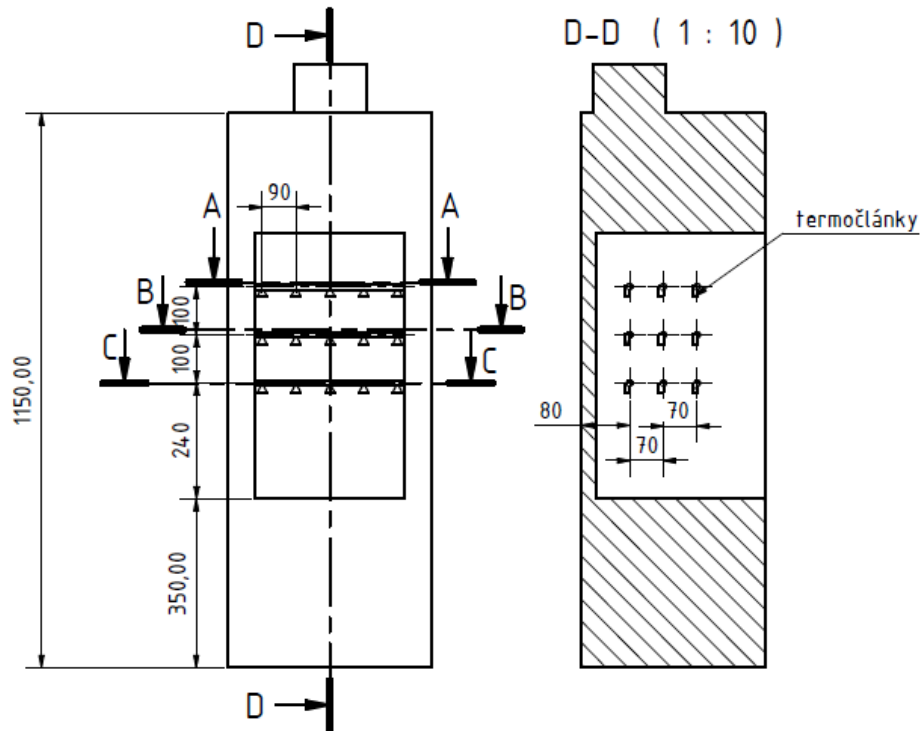
### 1.9.2 Meranie na krbových kachliach

Pri meraní boli ako zdroj tepla použité ocelové krbové kachle s menovitým výkonom 6 kW (obr. 1-34), určené na spaľovanie kusového dreva, pretože tvar kachlí a spaľovacej komory je tvarom veľmi podobný navrhovanému kotlu. Ako palivo sa použilo viacero druhov dreva. Cieľom tohto merania bolo zistenie teplotných polí v ohnisku pri spaľovaní.



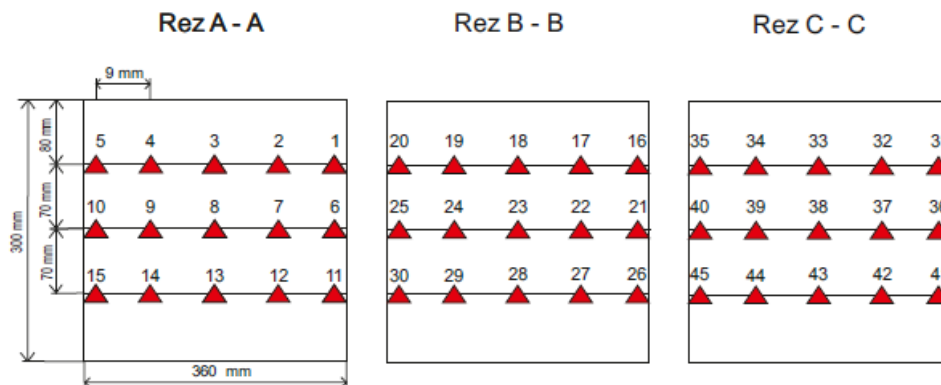
*Obr. 1-34 Krbové kachle na spaľovanie dreva*

Palivo bolo dávkované do kotla v hodinových intervaloch zakaždým o hmotnosti 1,5 kg. V spaľovacej komore sú rovnomerne rozmiestnené termočlánky vo viacerých radoch, ktoré merajú aktuálnu teplotu v danom mieste.



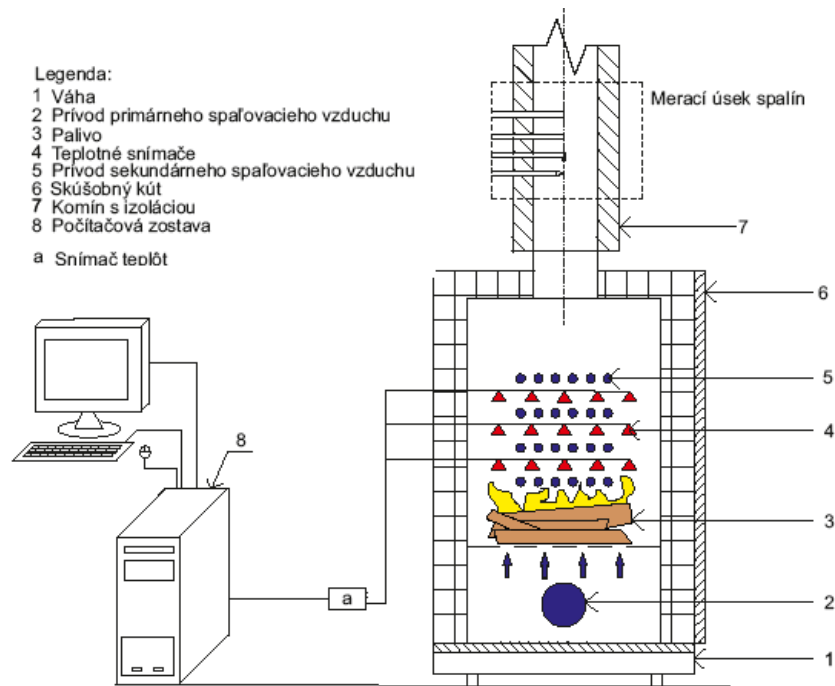
Obr. 1-35 Rozmiestnenie termočlánkov v spaľovacej komore

Rozmiestnenie termočlánkov je na obr. 1-35, 1-36 a na obr. 1-37 je schéma zapojenia meracieho zariadenia.



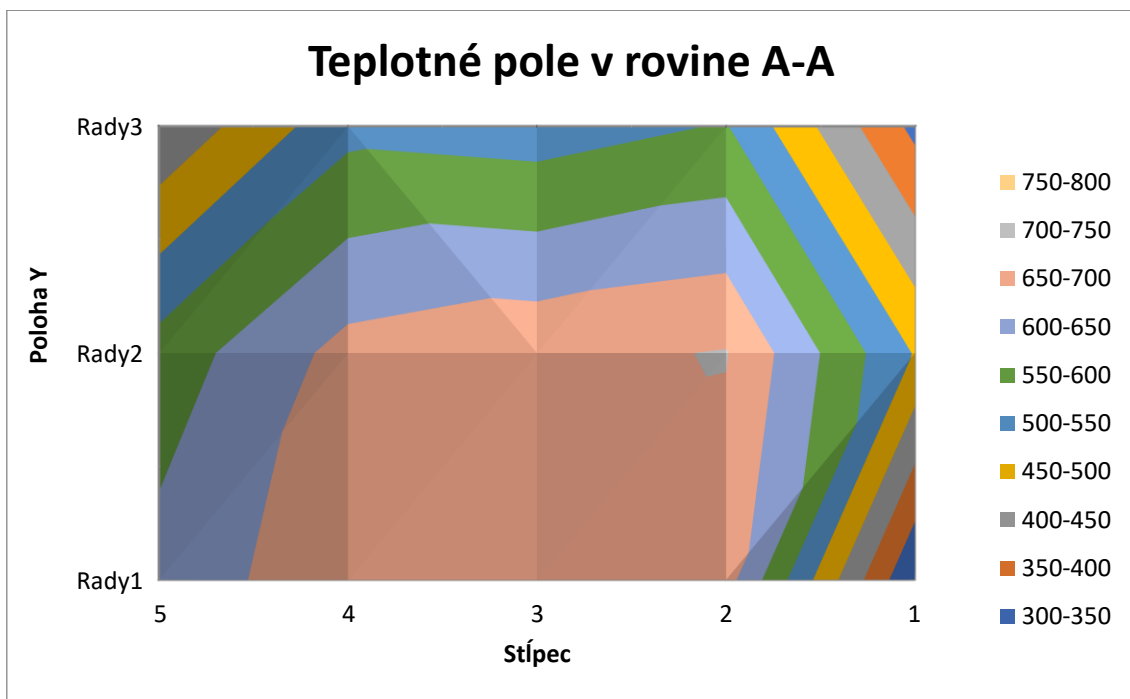
Obr. 1-36 Rozmiestnenie termočlánkov v spaľovacej komore

Počas spaľovania sa okrem iných zaznamenávali teplota okolia  $T_{ok}$  [°C], rýchlosť prívodu spaľovacieho vzduchu [m.s-1], teploty v spaľovacom priestore (45 teplomerov v 3 radoch), komínový ťah [Pa] a teplota spalín.



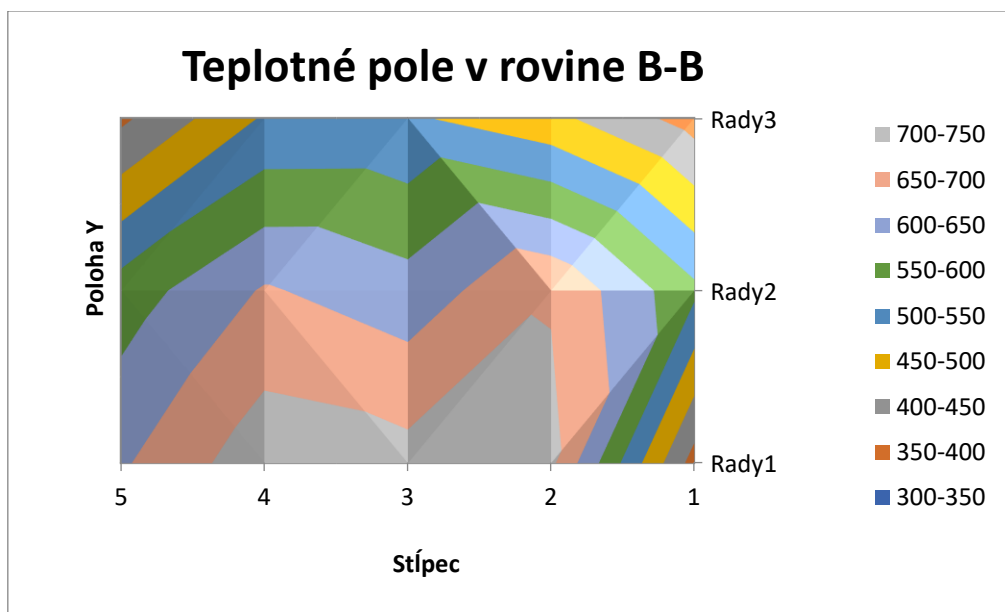
Obr. 1-37 Schéma zapojenia skúšobného zariadenia

Rozmiestnenie termočlánkov vo viacerých rovinách nad sebou umožnilo detailnejšie sledovanie teplôt v ohnisku prakticky v celom objeme krbových kachlí. Na základe nameraných hodnôt boli zostrojené nasledovné plošné grafy, ktoré ilustrujú rozloženie teplotných polí v troch rovinách.



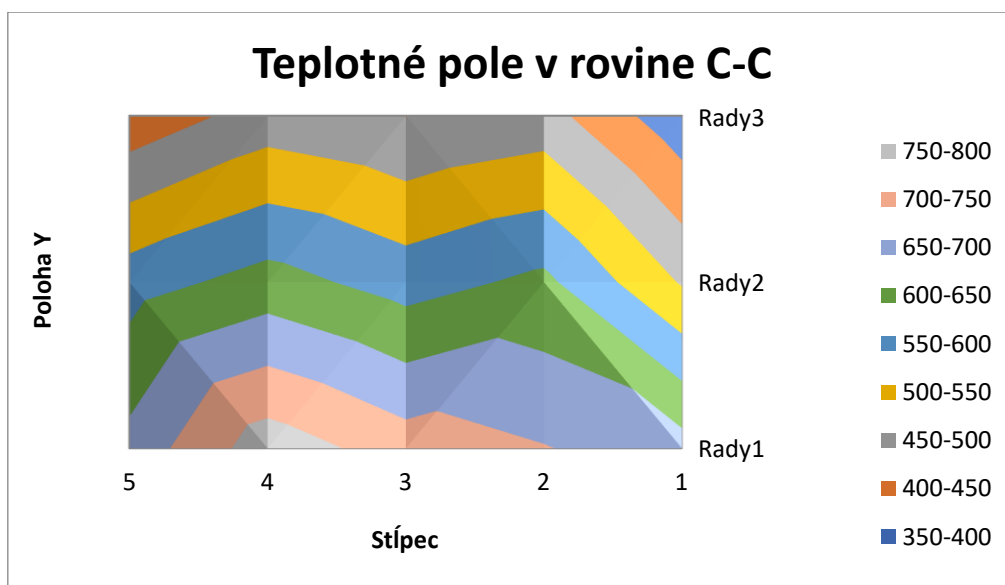
Obr. 1-38 Rozloženie teploty v ohnisku v rovine A

Umiestnenie termočlánkov je v 3 radoch a 5 stĺpcoch, teda bod na grafe v tretej rade a prvom stĺpci reprezentuje termočlánok č. 1. Obdobne sú potom zobrazené ostatné termočlánky.



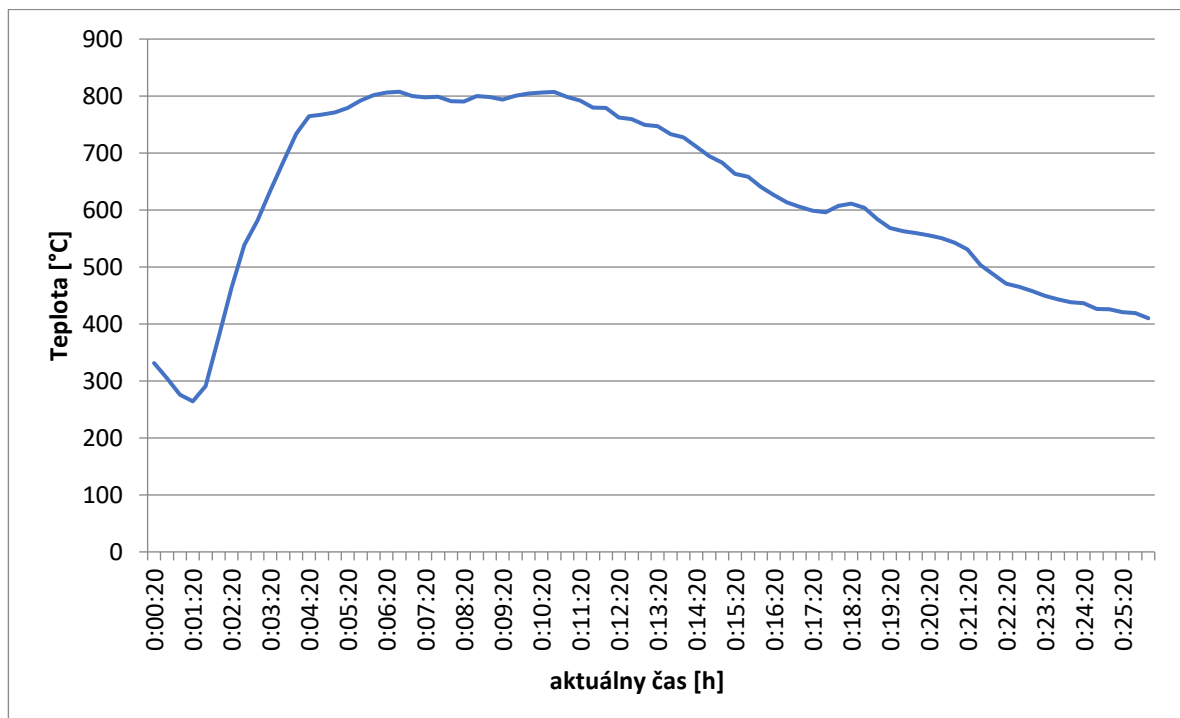
Obr. 1-39 Rozloženie teploty v ohnisku v rovine B

Rozsah teplôt a ich rozloženie v jednotlivých rovinách sa líši podľa uplynutého času od nakládky dreva. Na obr. 1-38 až 1-40 je zobrazená teplota v čase 10 minút po nakládke.



Obr. 1-40 Rozloženie teploty v ohnisku v rovine C

Nasledovne bola sledovaná najvyššia teplota dosiahnutá v spaľovacej komore. Táto bola zaznamenaná na termočlánku č. 32. Priebeh teploty je zobrazený na obr. 1-41.



Obr. 1-41 Aktuálna teplota na termočlánku počas merania

Graf ilustruje časový priebeh teploty po nakládke. Po krátkom poklese teploty po nakládke, vplyvom intenzívnejšej výmeny vzduchu v spaľovacej komore spôsobenej otvorením dvierok, nastane prudký nárast teploty. Počas nasledujúcich minút, kedy dochádza k rozkladu dreva a k intenzívnemu horeniu, presiahla aktuálne nameraná teplota 800°C, čo dostatočne potvrdilo zvolenú okrajovú podmienku teploty spalín pred vstupom do výmenníka 700°C.

## 1.10 Literatúra ku kapitole 1 Tuhé palivá

Černý V. a kol.: Parní kotle. Vydavateľstvo SNTL, Praha 1, 1983.

DZURENDA, L.2005.Spaľovanie dreva a kôry. Vydavateľstvo TU vo Zvolene. ISBN 80-228-1555-1.2005.124 strán

DZURENDA, L.- JANDAČKA, J. 2010. Energetické využitie dendromasy. Vydavateľstvo TU vo Zvolene.162 strán. ISBN 978-80-228-2082-0

DZURENDA, L.: Analýza emisií zo spaľovaní dendromasy. Správa pre riešitelský kolektív projektu (14310200004) Interreg IIIA ČR-SR, TÚ vo Zvolene 2007, 21 s.

FEDOROVÁ, I. - PILÁT, P. - JANDAČKA, J.: Výpočet a meranie obsahu emisií pri spaľovaní dreva. Energie z biomasy VI, zborník príspevků ze semináře, VŠB-TU Ostrava, 2007, s. 60-65, ISBN 978-80-248-1535-0

DLOUHÝ, T. Výpočty kotlů a spalínových výměníků. 3. vyd. Praha : ČVUT, 2007. 212 s. ISBN 978-80-01-03757-7

CHABADOVÁ, J., NOSEK, R., JANDAČKA, J.: Analýza vplyvu dávkovania paliva na výkonové a emisné parametre zdroja tepla na spaľovanie peliet, Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky; ročník 29, rok 2010, str. 81; ISBN 978-80-248-2244-0

JANDAČKA J. -MIKULÍK M. 2008c.116 strán. Ekologické aspekty spaľovania biomasy a fosílnych palív.2008.ISBN 978-80-969161-7-7

JANDAČKA, J.- MALCHO, M.- MIKULÍK, M. 2007d.Biomasa ako zdroj energie.241. strán. ISBN 978-80--969161-3-9

JANDAČKA, J.- MALCHO, M.- MIKULÍK, M. 2007e.Technológie pre prípravu a energetické využitie biomasy.222 strán. Vydavateľstvo a tlač: Jozef Bulejčík. ISBN 978-80-969595-3-2

JANDAČKA J. – SMATANOVÁ, H. – HOLUBČÍK, M. Technológie pre krby a krbové kachle. Vydavateľstvo a tlač: Juraj Štefuň – GEORG, Bajzova 11, 01001 Žilina.84 strán. ISBN978-80-89401-22-2

JANDAČKA J. a kol. Environmentálne a energetické aspekty spaľovania biomasy. Vydavateľstvo a tlač: Juraj Štefuň GEORG, Bajzova 11, 010 01 Žilina. 2011. 303 strán. ISBN 978-80-89401-40-6

JANDAČKA J. – HOLUBČÍK M. – JURKECHOVÁ J. Spaľovacie a splyňovacie kotly na pevné palivá pre domácnosti.prvé. Vydavateľstvo a tlač: Juraj Štefuň – GEORG, Bajzova 11, 010 01 Žilina.2011.104 strán.ISBN 978-80-89401-38-3

JELEMENSKÝ, K. 2011. Výmenníky tepla – princípy, výhody a nevýhody. In iDB Journal. ISSN 1338-3337, 2011.

SJAAK VAN LOO – JAAP KOPPEJAN. The handbook of biomass Combustion and CO-firing.Earthscan Ltd, Dunstan House.2008.442.ISBN 978-1-84971-104-3

ŠMÍD, V. 1988. Využití netradičních zdrojů energie ve vytápění. Praha: Dům techniky ČSVTS Praha, 136 s. 60 - 890 - 87 /3814 - 1049C/.

## 2. Tuhé alternatívne palivá

### 2.1 Rozdelenie alternatívnych palív

Najmä v posledných rokoch môžeme pozorovať okrem klasického využívania fosílnych palív tiež zvýšenú tendenciu využívania alternatívnych palív. Alternatívnymi palivami sú myslené najmä tuhé a kvapalné alternatívne palivá.

Medzi tuhé palivá sa radia:

- biopalivá
- tuhé alternatívne palivá (TAP)
- lokálne odpady
- zvyšky z poľnohospodárskej produkcie
- pelety atď.

Medzi kvapalné alternatívne palivá patria najmä odpadové oleje a pod. [1]



Obr. 2-1 Alternatívne palivá

Na úspore materiálov a energie, ale aj efektívnom nakladaní s obmedzenými prírodnými zdrojmi, je postavená koncepcia obehového hospodárstva (tzv. circular economy). Tá ráta s odpadom ako s cennou surovinou, ktorá šetrí neobnoviteľné zdroje, a rovnako je aj významným zdrojom energie. [2]

Z pohľadu životného prostredia je spaľovanie odpadu v špecializovaných prevádzkach lepšie ako jeho skládkovanie. Najlepšie je, keď vieme odpad recyklovať, znovu použiť a podporiť tým obehové hospodárstvo, čo je prvoradé. Existuje však taký odpad, ktorý sa nedá recyklovať a ktorý nevieme zhodnotiť účinnejšie ako energeticky. Potom zostane už len tretí najhorší variant, že ho dáme na skládku a necháme pre budúce generácie. To je najhoršie, čo môže byť.

Aj o tento argument sa opierajú niektoré spoločnosti, ktoré na Slovensku plánujú nové kapacity pre spaľovanie odpadu tak, že sa z neho bude vyrábať elektrina a teplo. Ich prevádzky by mali v budúcom desaťročí vyrásť v okresoch Šaľa či Prievidza. Mali by napraviť stav, kedy sa skládkuje vyše 50% komunálneho odpadu a energeticky sa ho zhodnocuje menej ako 10%.

Ďalším uvádzaným dôvodom je potreba vysporiadať sa s odpadom z recyklácie triedených odpadov ako napríklad plasty či bioodpady. Tie sa totiž nedajú recyklovať stopercentne.

Zisťovalo sa, ako je na tom Slovensko s kapacitami pre energetické zhodnocovanie odpadov. Aktuálne sú na úrovni 285 tisíc ton odpadu ročne. Po pripočítaní kapacity slovenských cementární je to až 605 tisíc ton ročne. Keby sa teoreticky využili všetky pre slovenský komunálny odpad, mohlo by sa ho dnes spaľovať 12%, s cementárňami až 27%. V roku 2035 by pritom podľa európskej legislatívy mala maximálna úroveň spaľovania odpadu dosahovať 25%.

Okrem aktuálnych 605 tisíc ton sa na Slovensku plánujú aj ďalšie kapacity v minimálnej hodnote 305 tisíc ton.

Využívanie týchto kapacít však závisí od viacerých faktorov - energetické zhodnocovanie priemyselného odpadu, ktoré odoberá kapacity pre komunálny odpad, kapacity pre spracovanie komunálneho odpadu, ktoré ho pripravia pre cementárne, dovoz zo a vývoz do zahraničia, ktorý môže zaťažiť alebo naopak odľahčiť miestne kapacity, výhodnosť skládkovania vo vzťahu k spaľovaniu odpadu a tiež celková produkcia odpadu na Slovensku. [3]

Dnes sa komunálny odpad energeticky zhodnocuje v spaľovniach v Bratislave, Košiciach a v slovenských cementárňach. Odvoz a likvidácia odpadu (OLO) v Bratislave má teoretickú ročnú kapacitu 135 tisíc ton, Kosit v Košiciach má približne 150 tisíc ton. To je spolu 285 tisíc ton odpadu.

V roku 2018 sa celkovo v Košiciach energeticky zhodnotilo 126 tisíc ton odpadu, z nich tvoril komunálny odpad 105 tisíc ton.



Tab. 2-1 Nakladanie s komunálnym odpadom na Slovensku v roku 2018 [3]

Skládkovaný odpad	1 239 000 ton	55%
Recyklovaný odpad	856 000 ton	38%
Energetický zhodnotený odpad	158 000 ton	7%
Celkovo vytvorený odpad	2 252 000 ton	100%

Zvyšok predstavoval zväčša odpad z priemyslu. Záujem priemyselných zákazníkov o energetické zhodnocovanie odpadu pritom v poslednom období enormne rastie najmä v Košickom regióne.

Z údajov za Zväz výrobcov cementu SR, vyplýva, že v slovenských cementárňach sa v roku 2018 využilo približne 340 000 ton odpadu. Z toho 272 000 ton predstavovalo tzv. „tuhé alternatívne palivo“ (solid recovered fuel), čo je technický termín pre palivo vyrobené z priemyselných a komunálnych odpadov. Zvyšok predstavovali iné odpady vhodné ako palivo, napríklad pneumatiky alebo mäsokostná múčka. Presné informácie o podiele komunálneho odpadu však neboli poskytnuté, keďže výrobu a dodávky alternatívnych palív zabezpečujú ich dodávatelia.

### 2.1.1 Rozširovanie kapacít cementární

Slovenskí ochranári sú proti budovaniu nových kapacít pre energetické zhodnocovanie odpadu. Pre organizáciu Centrum pre trvalo-udržateľné alternatívy (CEPTA) sú dôvodom práve kapacity slovenských cementární.

Odvola sa na publikáciu Zväzu výrobcov cementu SR, ktorá uvádza, že cementárne dokážu spaľovať ročne 320 tisíc ton odpadu. Túto kapacitu by po realizácii nevyhnutných investícií vedeli teoreticky zvýšiť až na 400 tisíc ton.

Tab. 2-2 Kapacity pre energetické zhodnotenie odpadu

Existujúce kapacity	Okres	Kapacita [tony]	Zhodnotený odpad 2018/ z toho zmesový
OLO	Bratislava	135 000	-/-
Kosit	Košice	150 000	126 000/105 000

CRH, Cemmac, Považská cementáreň	Malacky, Košice okolie, Ilava, Trenčín	320 000	272 000/?
Celkovo		605 000	
Dodatočné potenciálne kapacity			
Kosit	Košice	?	
CRH, Cemmac, Považská cementáreň	Malacky, Košice okolie, Ilava, Trenčín	80 000	
Ewia	Šaľa	130 000	
SLOR	Prešov	95 000	
Slovenské elektrárne	Prievidza	?	
Celkovo		>305 000	

400 000 ton je viac ako 32% z celkového množstva odpadu uloženého v roku 2018 na Slovensku na skládky (1 247 000 ton).

Každá slovenská cementáreň individuálne realizuje investičné aktivity s cieľom navýšiť využívanie alternatívnych palív, ako ekologickej náhrady fosílnych palív. Predpokladá sa, že v horizonte dvoch až troch rokov sa dosiahne táto kapacita. Samozrejme všetko závisí od vývoja stavebného priemyslu a iných faktorov.

### 2.1.2 Problém dovezeného odpadu

Ochranári z CEPTA však vidia problém vo využívaní cementárenských kapacít. Podľa nich sa v týchto slovenských cementárňach energeticky zhodnocuje predovšetkým dovážaný upravený odpad zo zahraničia, pretože na Slovensku je skládkovanie odpadov podstatne lacnejšie, čo treba zmeniť. Toto za problém považuje čoraz viac ľudí. Je preto potrebná legislatívna, ekonomická a technologická podpora pre využívanie existujúcich kapacít tak, aby sa nemuseli budovať nové. Cementárne uprednostňujú využívanie odpadu zo zahraničia, nakoľko Slovensko nemôže konkurovať zahraničiu v ponúkaných cenách za likvidáciu odpadu.

Hoci Zväz výrobcov cementu SR nevie, koľko z ním využívaného odpadu je zo zahraničia, čiastočne súhlasí s danými tvrdeniami. Alternatívne palivá musia dovážať aj zo zahraničia, nakoľko na Slovensku chýbajú dostatočné spracovateľské kapacity na úpravu odpadu a výrobu tuhých alternatívnych palív. Je to samozrejme škoda, lebo cementárne vedia pomôcť Slovensku v rozumnom využívaní odpadov a odklonu od skládkovania. Predpokladá sa, že hlavnou príčinou je aj to, že na Slovensku je stále výhodnejšie odpad skládkovať.

Napriek tomu, že zahraničný komunálny odpad sa mohol dovieť ako súčasť tuhého alternatívneho paliva pre cementárne, envirorezort neevidoval import komunálneho odpadu ako takého na Slovensko. Ak ide o odpad s kódom 20 03 01, teda zmesový komunálny odpad, uvádza sa, že v roku 2017 nebol tento druh odpadu cezhranične prepravený/vyvezený, dovezený z/na územie Slovenskej republiky.

### **2.1.3 Plány na nové prevádzky**

Okrem komunálneho odpadu sa teda dnes v slovenských spaľovniach a cementárňach energeticky zhodnocuje priemyselný odpad a možno aj zahraničný komunálny odpad. Možné spaľovanie importovaného odpadu je dôsledkom nedostatočných spracovateľských kapacít pre domáci komunálny odpad.

Aj z tohto dôvodu môžu na Slovensku vznikať plány pre nové zariadenia pre energetické využitie odpadov, ktoré majú navyše slúžiť miestnym potrebám a vyradiť skládkovanie.

Firma SLOR ohlásila zámer vybudovať novú prevádzku v obci Drienov v okrese Prešov. Mala by mať ročnú kapacitu 95 tisíc ton. Ďalšie zariadenie pripravuje pre rok 2025 firma Ewia, v ktorej portfóliu je aj košický Kosit. Na svojej webstránke hovorí Ewia o ročnej kapacite 130 000 ton.

Taktiež je zámer rozšíriť aj kapacitu existujúcej košickej spaľovne, hoci objem nie je bližšie špecifikovaný. Pridať treba už spomínaných dodatočných 80 tisíc ton v slovenských cementárňach.

#### **2.1.4 Spaľovanie odpadu v Novákoch**

Najnovšie sa ako reálna možnosť črtá tiež energetické zhodnocovanie komunálneho odpadu v Elektrárni Nováky. V roku 2023 sa totiž z rozhodnutia vlády ukončia dotácie pre spaľovanie domáceho hnedého uhlia a bude treba nahradiť dodávky tepla na hornej Nitre.

Slovenské elektrárne detailne analyzovali všetky dostupné možnosti výroby tepla a predstavili predstaviteľom samospráv a štátnej správy možné alternatívy. Navrhované riešenie musí zabezpečiť bezpečnú a spoľahlivú dodávku tepla za čo najlepšie ceny pre odberateľov a spĺňať najprísnejšie kritériá z pohľadu ochrany životného prostredia. Jedným z možných riešení je aj energetické zhodnocovanie odpadov, ktoré je bežné v vyspelých západných krajinách.

Ako príklad je možné uviesť Rakúsko, Švédsko, Fínsko, Holandsko či Dánsko, kde používajú najmodernejšie technológie a energetické zhodnocovanie odpadu chápu ako súčasť recyklácie a cirkulárnej ekonomiky.

#### **2.1.5 Lepšie ako lokálne kotle**

Zhodnocovanie komunálnych odpadov a udržanie centrálného zásobovania teplom v regióne musí spĺňať najprísnejšie environmentálne limity. Je rozhodne omnoho lepšie, ako rôzne lokálne zdroje vykurovania na tuhé palivá používané v domácnostiach, či malých lokálnych kotolniach, ktoré vzniknú, keby sa centrálny zdroj nerealizoval. Toto riešenie by zároveň pomohlo riešiť skládkovanie, čo je vážny environmentálny problém Slovenska. Komunálny odpad sa doteraz v nováckej uhoľnej elektrárni nespáľoval a využiť možno len infraštruktúru existujúceho areálu. Inak si toto riešenie vyžaduje investíciu do úplne novej, najmodernejšej technológie.

Výška investície do novej technológie na energetické zhodnocovanie odpadu by bola výrazne nižšia, ako aktuálna výška doplatku na spaľovanie domáceho hnedého uhlia (približne 100 miliónov eur ročne). Slovenské elektrárne realizujú detailnú technickú a ekonomickú analýzu viacerých možných riešení a priebežne komunikujú so zainteresovanými stranami, štátnymi a samosprávnymi orgánmi, zástupcami Európskej komisie, aj možnými partnermi.

### **2.1.6 Recyklácia ako negatívny faktor**

Popri priemyselnom odpade, cezhraničnom obchode s odpadom, spracovateľských kapacitách pre cementárne a výhodnosti skládkovania vplývajú na potrebu budúcich kapacít energetického zhodnocovania aj ďalšie faktory. Tými sú predchádzanie vzniku odpadu, recyklácia plastov a mechanicko-biologické spracovanie odpadu z kuchýň a záhrad.

Experti z CEPTA veria, že politika prechádzania vzniku odpadu môže potrebu nových spaľovní znížiť. Je možné očakávať skoré zavedenie preventívnych opatrení obehového hospodárstva cielených na znižovanie vzniku komunálnych odpadov, ako napríklad zálohové systémy, podporu centier opätovného použitia, osvetu a vzdelávanie, mechanicko-biologickú úpravu, domáce či komunitné kompostovanie a tak ďalej. To by malo vyústiť do poklesu tvorby celkového množstva komunálnych odpadov na Slovensku.

Zvyšujúca sa recyklácia však môže pôsobiť aj opačne. „S rastúcim množstvom vytriedeného odpadu z plastov rastie aj množstvo plastov, ktoré sa recyklovať nedajú. Systém je však nastavený tak, že výrobcovia nemajú motiváciu energetické zhodnotenie týchto plastov podporiť.

Rovnakým smerom pracuje faktor prichádzajúci z oblasti bioodpadu. Pri mechanicko-biologickom dotriedňovaní však vzniká odpad, ktorý nie je aplikovateľný na recykláciu, alebo kompostovanie.

### **2.1.7 Slovensko potrebuje analýzu**

INCIEN tvrdí, že je potrebné vedieť dáta, ktoré povedia koľko odpadu nám bude vznikať a na základe toho sa rozhodnúť či nám budú postačovať súčasné kapacity spaľovní a zariadení na energetické zhodnotenie odpadov.

Aktuálne Slovenská republika nemá možnosť zakázať dovoz odpadov, ak takýto dovoz spĺňa všetky požiadavky a samotný dovoz nie je priamo zakázaný. Aj z toho dôvodu envirorezort pripraví nový Program odpadového hospodárstva na obdobie rokov 2021 – 2025, v rámci ktorého sa bude realizovať analýza zameraná na túto problematiku.

Dnes sa preto nedá odpovedať na otázku, aké kapacity bude Slovensko potrebovať pre energetické zhodnocovanie odpadu v budúcnosti. Možno iba pomenovať faktory, ktoré to určia, aj to – vzhľadom na dostupné dáta – len v obmedzenej miere. [3]

Pre každého zodpovedného výrobcu cementu sú hodnoty trvalej udržateľnosti dôležité, preto neustále hľadá riešenia, ktoré redukovujú dopad výroby cementu na životné prostredie a eliminujú čerpanie prírodných zdrojov. Proces výroby cementu umožňuje jedinečné materiálové a energetické využitie odpadu. Popri fosílnom palive – uhlí – sa využíva aj palivo vyrobené z odpadu. Cementárske pece pracujú pri teplotách vyšších ako 1400 °C s dlhým zádržným časom spalín, čím dochádza k dokonalej likvidácii odpadu a maximálnemu využitiu energie a popolovín. Zostatkový popol je pritom zrecyklovaný a vďaka podobnému chemickému zloženiu nahrádza časť vstupnej suroviny (vápenca, ílu). Na rozdiel od spaľovni nemusí byť skládkovaný, ale stáva sa súčasťou výrobku (slinku). [2]

### **2.1.8 Čo sú to palivá vyrobené z odpadu?**

Tieto palivá sa vyrábajú z odpadov zodpovedajúcich technickým normám alebo iným legislatívnym špecifikáciám. Ich hlavným výrobným komponentom sú odpady, ktoré sú svojimi fyzicko-chemickými vlastnosťami a energetickým obsahom vhodné ako náhrada fosílnych palív. Niektoré z nich je možné využiť priamo (pneumatiky, mäsokostná múčka, odpadové oleje), iné zasa po predúprave (všeobecne nazývané SRF - palivo vyrobené z odpadu), u nás známe ako TAP (tuhé alternatívne palivo). [2]

### **2.1.9 Základné princípy zhodnocovania odpadov vo výrobe cementu**

Pri zhodnocovaní odpadov je rešpektovaná hierarchia nakladania s odpadom. Energeticky zhodnocovaný v cementárni môže byť len vtedy, ak neexistuje ekologickejší a ekonomicky vhodnejší spôsob jeho recyklácie.

Nedochádza k zvýšeniu emisií do ovzdušia ani k negatívnemu dopadu na životné prostredie alebo zdravie obyvateľstva. Cementáreň, ktorá využíva odpady, musí dodržiavať prísnejšie emisné limity, než pri používaní tradičných palív.

Kvalita vyrobeného cementu ostáva nekompromisne na najvyššej úrovni. Všetok vyrobený cement je striktné kontrolovaný. Tým je garantovaná jeho kvalita, bez ohľadu na to, či pri výrobe boli zhodnocované odpady alebo nie.

Plný súlad s legislatívou. Výrobná činnosť všetkých cementární spadá pod zákon o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania. [2]

### **2.1.9.1 Prečo odpadové palivá**

Výroba cementu patrí medzi energeticky náročné odvetvia. Na výrobu jednej tony slinku, čo je základná surovina pri výrobe cementu, je potrebných 3,3 GJ energie. Túto energiu získame zo 100 kg uhlia alebo z ekvivalentných 170 kg odpadového paliva TAP. [2]

Druhy odpadových palív využiteľných v cementárskom priemysle

- Tuhé palivo na báze ostatných odpadov (TAP):
  - o odpad z priemyslu a odpad podobný komunálnemu
  - o zmiešané plasty separované z komunálneho odpadu, odpady z dotriedňovania
  - o nerecyklovateľné odpady na báze textilu, papiera, plastov, dreva a kompozitných materiálov
- Opatrebované pneumatiky
- Opatrebované oleje, ropné kaly, vybrané druhy kvapalných odpadov
- Papierenské kaly, výmety z recyklácie papiera. [2]

### **2.1.10 Situácia v Európe a na Slovensku**

Každoročne sa v Európskej únii vyprodukuje 2, 5 mld. ton odpadu. Ambiciózne ciele balíka obehového hospodárstva<sup>1</sup> predpokladajú, že do roku 2035 klesne skládkovanie komunálneho odpadu na 10 % a že minimálne 65 % komunálneho odpadu sa bude recyklovať. Cieľom obehového hospodárstva má byť predovšetkým znižovanie zostatkového, nevyužiteľného odpadu. Avšak pokiaľ bude vznikáť nerecyklovateľný odpad, energetické využitie bude hrať nezastupiteľnú úlohu. Práve cementársky priemysel poskytuje už dnes svoje kapacity na riešenie tejto výzvy. V Európskej únii sa stupeň náhrady fosílnych palív v cementárňach pohybuje v priemere na 46 % (2019). Tieto čísla predstavujú 35 mil. ton alternatívnych palív a vedľajších produktov<sup>2</sup>. [2]

---

1 Európska komisia – [http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm)

2 Cembureau – <http://www.cembureau.eu>

Na Slovensku sa odpad nevyužíva tak, ako by sa mohol. Štatistiky z roku 2018 hovoria, že 55 % odpadov je stále skládkovaných. [2]

Slovenské cementárne vedia tejto situácii významne pomôcť. V súčasnosti zhodnocujú ročne viac než 350 tisíc ton odpadu. Túto kapacitu by po realizácii nevyhnutných investícií vedeli teoreticky zvýšiť až na 500 tisíc ton. [2]

V roku 2019 bol priemerný stupeň náhrady fosílnych palív na úrovni 61 % a tým slovenský cementársky priemysel nahradil viac než 200 tisíc ton uhlia. Nahradenie fosílnych palív odpadom prinieslo zníženie emisií CO<sub>2</sub> o 350 tisíc ton. [2]

Po vyše rok trvajúcim procese nakoniec Európska komisia schválila národný predpis pre stav konca odpadu (End of Waste = EoW), ktorý jej predložilo talianske ministerstvo životného prostredia a ochrany územia a mora ešte v auguste 2012. Schválením predpisu komisia de facto potvrdila, že tzv. SRF (Solid Refuse Fuel, označované aj RDF, na Slovensku známe skôr pod skratkou TAP = tuhé alternatívne palivo), ktoré je vyrobené z bežných odpadov prestáva byť "odpadom" a stáva sa klasickým palivom. [4]

Dôsledkom tohto rozhodnutia už TAP ako výsledok mechanicko-biologickej úpravy odpadov nie je odkázané len na klasické spaľovne či špeciálne "spoluspaľovanie", ale môže byť využité ako palivo v jestvujúcich elektrárnach (s tepelným výkonom nad 50 MW), či cementárniach (s kapacitou viac ako 500 t/deň). Samozrejme za dodržiavania ich emisných limitov a požiadaviek platnej národnej legislatívy.

Ako vyplýva z oznámenia TRIS č. 2012/480/I, Taliansko predložilo komisii na posúdenie ministerskú vyhlášku týkajúcu sa nariadenia upravujúceho end-of-waste kritériá pre tuhé alternatívne palivá (TAP). Vyhláška bola spracovaná so zreteľom na smernicu EPaR č. 2008/98/ES o odpade, najmä na jej článok 6 ods. 4 a tiež so zreteľom na nariadenie ApaR č. 1013/2006 zo 14. júna 2006 o preprave odpadu, najmä na jeho článok 28. [4]

Ako sa konštatuje v sprievodnom liste, tento návrh nariadenia predkladá talianske ministerstvo v rámci postupných krokov svojej politiky v oblasti životného prostredia, energie a priemyslu. Tieto opatrenia je potrebné realizovať s cieľom plniť záväzky v oblasti životného prostredia a energie na európskej aj medzinárodnej úrovni.



Prijatie návrhu nariadenia v tomto kontexte prispieva k podpore využívania alternatívnych palív, najmä v prípade tuhého alternatívneho paliva a výrobkov vyrobených z odpadu, ako je stanovené v článku 183 ods. c) zákona o životnom prostredí. [4]

Niektoré druhy tuhého alternatívneho paliva totiž v skutočnosti majú také charakteristiky, ktoré ich oprávňujú z hľadiska regulačných podmienok klasifikovať ako autentický palivový produkt t.j. **ako výrobok a nie ako odpad**. Z energetického pohľadu prispieva využitie odpadu na výrobu TAP aj k zníženiu spotreby prírodných zdrojov, podporuje trvalo udržateľné využívanie „prírodnej“ biomasy. Zároveň bráni narušeniu trhu s potravinárskymi výrobkami (obilniny, kukurica atď.) a trhu v niektorých výrobných oblastiach dôležitých pre národné hospodárstvo (papier, nábytok atď.) [4]

Tento prístup k odpadom súčasne redukuje závislosť od dovozu palív a prispieva k dosahovaniu cieľov stanovených v smernici 2009/28/ES. Návrh nariadenia v snahe dosiahnuť tento cieľ stanovuje špecifický právny režim inšpirovaný dvoma zásadami – zásadou vysokej úrovne ochrany životného prostredia a zásadou administratívneho zjednodušenia. [4]

Dokument predložený komisii sa skladá zo 17 článkov a je rozdelený do 5 kapitol a 4 príloh. Hneď na úvod sa konštatuje, že postup a metódy výroby a použitia palív TAP musia byť v súlade s výnosom č.152/2006 (Environmentálny kódex), bez ohrozenia zdravia ľudí a poškodenia životného prostredia, najmä bez vytvorenia rizika pre vody, vzduch, pôdu, faunu a flóru, bez vzniku hluku a zápachov a tiež bez poškodenia krajiny a miest mimoriadneho záujmu chránených súčasnými predpismi. [4]

Napríklad v článku 3 sa popisuje vymedzenie pojmov ako cementáreň, spaľovacia elektráreň, tuhé alternatívne palivo, šarža, používateľ atď. Z hľadiska odpadovej legislatívy je fundamentálnym článok č. 4 (zánik klasifikácie ako odpad): *"Na základe a podľa článku 184c legislatívneho výnosu č. 152 z 3. apríla 2006 sa pod šarža tuhého alternatívneho paliva (TAP) prestáva klasifikovať ako odpad pri vydaní vyhlásenia o zhode v súlade s ustanoveniami článku 8 ods. 2 tejto vyhlášky."* [4]

Dôležitý je aj článok č. 6, ktorý klasifikuje odpad, z ktorého je možné TAP vyrábať. V odseku 1 tohto článku sa uvádza: " *Bez toho, aby bol dotknutý odsek 3, možno na výrobu palív TAP použiť iba komunálny a zvláštny odpad, ktorý nie je nebezpečný.*" Odsek 3 tohto článku potom znie: " *Výroba palív TAP z odpadov, ktoré nie sú nebezpečné, vymenovaných v prílohe 2 nie je povolená. Možnosť použiť materiály, ktoré nie sú klasifikované ako odpad, sa nevylučuje, ak tieto materiály nie sú nebezpečné v zmysle nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008 zo 16. decembra 2008 o klasifikácii, označovaní a balení látok, o zmene, doplnení a zrušení smerníc 67/548/EHS a 1999/45/ES a o zmene a doplnení nariadenia (ES) 1907/2006.*" [4]

Príloha č.2 tohto predpisu, na ktorú sa uvedený článok odvoláva, obsahuje zoznam ostatných odpadov podľa európskeho katalógu odpadov, z ktorých je zakázané vyrábať TAP. Sem patria napr. všetky odpady označené posledným dvojčíslom 99 (odpady inak nešpecifikované). Ďalej zahŕňa táto príloha zoznam zakázaných odpadov pre výrobu TAP zo skupín 1,6,8,9,11,13,14 a 18. A tiež vybrané odpady z podskupín 10, 12,16,17 a 19. Nakoniec príloha vymenováva celkom 90 konkrétnych odpadov podľa ich katalógových čísel, z ktorých je zakázaná výroba TAP. [4]

Finálny dokument schválený EK obsahuje niektoré zmeny oproti pôvodne predloženému návrhu, ktoré však nie sú zásadného charakteru. Na základe tohto rozhodnutia EK už talianske Ministerstvo životného prostredia vydalo príslušný predpis, ktorým stanovuje podmienky výroby TAP ako aj legislatívne nastavuje EoW pre tento druh odpadu. Ako konštatuje český portál EnviWeb.cz, Taliansko tak využilo európsku odpadovú smernicu na racionálnu a zmysluplnú cestu:

Cesta, ktorú zvolilo Taliansko, je využitie európskej smernice o odpadoch ES 98/2008. Európska legislatíva stanovuje možnosť vybratia niektorých komodít z odpadového režimu za účelom ich efektívnejšieho surovinového a energetického využitia. A to za splnenia prísnych environmentálnych požiadaviek definovaných právnym predpisom, ktorý by stanovil konkrétne kvalitatívne kritéria. Takýto predpis môže vydať samotná EU. Pokiaľ však EU kritéria nestanoví na úrovni Spoločenstva, môžu tak urobiť i jednotlivé členské štáty. Takéto rozhodnutie však členský štát oznámi Komisii v súlade so smernicou 98/34/ES. Na základe tejto smernice musia členské

štáty oznámiť EK každý návrh technického predpisu ešte predtým, ako je schválený a implementovaný do národného práva. Počas schvaľovacieho predpisu môžu členské štáty, EK ako aj jednotliví podnikatelia zasielať svoje pripomienky k danému predpisu. Talianske nariadenie tak stanovuje konkrétne požiadavky na niektoré druhy alternatívnych palív z odpadov (TAP), pri splnení ktorých už potom prestávajú byť tieto palivá považované za odpady. Cieľom tohto predpisu je možnosť efektívne a tiež environmentálne bezpečne využívať palivo z odpadov v jestvujúcich energetických prevádzkach napr. typu elektrárni, teplárni či cementárni. [4]

Vzhľadom na to, že uvedený taliansky predpis schválila EK a jeho podstata vychádza z platnej európskej legislatívy a smernice o odpadoch je zrejmé, že podobný predpis by mohol byť vydaný aj v ČR. Podobné konštatovanie sa môže doplniť aj za Slovensko. V súvislosti so schválením uvedeného predpisu EK vychádzajú na povrch ešte niektoré ďalšie zaujímavé skutočnosti a nové fakty. Napríklad príspevok v časopise Odpadové hospodárstvo (11/2013) s popredným českým odborníkom na spaľovanie odpadov vo svetle nových skutočnosti tak trochu vyvracia konštatovanie, že MBU je slepá ulička vývoja odpadového hospodárstva. Schválený predpis totiž umožňuje využívať TAP ako palivo aj v jestvujúcich energetických zariadeniach bez nutnosti nových investičných nákladov pre špeciálne spaľovne vysoko výhrevnej frakcie. Samozrejme len za predpokladu, že sa českej alebo slovenskej odbornej verejnosti podarí prijať podobný technický predpis pre TAP na národnej úrovni. Precedens z Talianska ju už schválený EK. [4]

Ako už bolo konštatované, v súvislosti so schvaľovacím procesom tohto národného legislatívneho predpisu v súlade so smernicou 98/34/ES zaslali pripomienky k nej viaceré dotknuté strany. Mimoriadne zaujímavý prístup v tejto otázke zaujalo European Environmental Bureau (EEB). EEB predstavuje federáciu 140 ekologických organizácií. Na svojej internetovej stránke sa EEB charakterizuje ako "Hlas životného prostredia európskych občanov". Presadzuje environmentálnu spravodlivosť, trvalo udržateľný rozvoj a participatívnu demokraciu. Ich cieľom je zabezpečiť, aby EU zabezpečila zdravé životné podmienky a bohatstvo biodiverzity pre všetkých. [4]

EEB nesúhlasia s kritériami EoW, ktoré navrhuje Taliansko pre TAP, kedy sa z odpadu stáva výrobok/palivo. Tieto kritéria neberú do úvahy negatívne vplyvy na

životné prostredie, ako je požadované podľa rámcovej smernice i odpadoch v článku 6. Tento návrh talianskeho právneho predpisu môže spôsobiť ďalšie oneskorenie prijatia TAP na európskej úrovni a podkopať dôveryhodnosť európskej normy prijatej na tento účel v roku 2012. Preto vyzývajú EK, aby sa postavila proti tejto talianskej právnej úprave a dokončila prebiehajúci proces štúdie v rámci JRC (Joint Research Centre) na stanovenie EoW pre TAP. Toto je jediný spôsob, ako umožniť prijatie spoločnej pozície EU k tejto otázke. [4]

Pre úplnosť je potrebné ešte doplniť, že poslaním JRC je poskytovať vedeckú a technickú podporu pre tvorbu, rozvoj, realizáciu a monitorovanie politík EÚ. Ako služba Európskej komisie, funguje JRC ako referenčné centrum vedy a techniky pre Úniu. V rámci procesu tvorby politík, slúži spoločným záujmom členských štátov a je nezávislé od osobitných záujmov, či už súkromných alebo národných. [4]

TAP sú podskupinou širšej skupiny palív získaných z odpadu (RDF – refuse derived fuel) vyrábaných z bezpečných zložiek odpadu, ktoré sa líšia od „generického“ RDF tým, že ide o palivo, ktoré spĺňa požiadavky (tj klasifikáciu a špecifikáciu) definované národným alebo medzinárodným štandardom. Inými slovami, TAP je regulované a RDF (všeobecne) neregulované sekundárne palivo. Ďalším predpokladom je, že na výrobu TAP by sa mala použiť zložky nevhodné na opätovné použitie alebo efektívnu recykláciu materiálu. Pridaná hodnota TAP spočíva v tom, že je dobre charakterizovaný a známy svojimi vlastnosťami, technickými a environmentálnymi potrebami súvisiacimi so špecifickým využitím na regeneráciu energie, môže skutočne dopĺňať prioritu recyklácie odpadu na základe technológií spracovania, ktoré sú v súčasnosti k dispozícii na jej výrobu. Súlad s normou nebráni skutočnosti, že ďalší súlad TAP s inými alebo prísnejšími požiadavkami na kvalitu palivových vlastností by mohli byť dobrovoľne vyžadovaní koncovými používateľmi paliva (napr. Cementárne, elektrárne, splyňovacie zariadenia) prostredníctvom súkromného záväzku (špecifikácie) s výrobcom, aby dostali palivo, ktoré dobre vyhovuje ich vlastným ekonomickým/technologickým potrebám. [5]

TAP sa vyrábajú z individuálnych alebo zmiešaných častí komunálneho (MSW), komerčného (CW), priemyselného (IW) a stavebného a demolačného odpadu (CDW). Tieto prúdy zahŕňajú rôzne podiely odpadových frakcií a tiež vykazujú odlišné elementárne zloženie. Výrobcovia uplatňujú rôzne typy a stupne spracovania, ktoré

modifikujú vlastnosti prichádzajúceho odpadu a určujú dosiahnuteľný výnos z odchádzajúcich odpadových palív z kvantitatívneho aj kvalitatívneho hľadiska. Tieto úpravy sú často akýmsi mechanickým spracovaním (MT) alebo mechanicko-biologickým spracovaním (MBT). Je dôležité poznamenať, že TAP uvedené na trh (rovnako ako RDF) nikdy neidentifikujú jednoznačné palivo, ale palivá, ktorých vlastnosti (napr. zloženie, fyzikálno-chemické vlastnosti) sa môžu navzájom líšiť. Dosiahnutá úroveň kvality je dôsledkom pôvodu paliva (častí odpadu), výrobných procesov a samozrejme - ako hlavného faktora - kvality paliva požadovanej požiadavkou trhu (technologické, ekonomické a environmentálne požiadavky jeho konečného užívateľa).

Trhový dopyt po TAP zahŕňa v Európe a v ďalších krajinách zariadenia, ktoré spadajú do systému nakladania s odpadom (od zneškodňovania po operáciu energetického zhodnocovania) a energeticky náročné priemyselné odvetvia (napr. cementársky priemysel, tepelné elektrárne), pre ktoré použitie sekundárnych palív ako náhrady za fosílna palivá (napr. uhlie, pet-koks) znamená výhodu z hľadiska menšej závislosti od fosílnych palív a menšieho dopadu na životné prostredie. Lokálne využívajú ďalšie priemyselné zdroje energie z odpadu (EfW) potenciál sekundárnych palív (napr. v kombinácii s inými zložkami alebo zvyškami odpadu) a zaisťujú tak ekonomický prínos (pokrytie 2 vlastných energetických potrieb; predaj elektriny do národnej siete; prístup na ekonomickú podporu).

Energeticky náročné priemyselné odvetvia, ako sú cementárske a vápenné pece alebo uhoľné elektrárne, sú minimálne vo väčšine európskych krajín vyzdvihovalé ako hlavní očakávaní koneční užívatelia TAP.

Krajiny ako India a Čína, ktoré musia zvládnuť vysoké ročné množstvo odpadu a uspokojiť svoj vnútorný dopyt po energii, začali vyvíjať domáce systémy predúpravy na TAP. Stali sa tiež celkom dôsledným dovozcom TAP/RDF zo susedných produkčných krajín. Veľkým konečným užívateľom TAP by sa mohol stať pokračujúci intenzívny rast spaľovacieho priemyslu v Číne, ktorý sa, zameriava predovšetkým na použitie technológie prebublávania fluidným lôžkom (BFB).

Cezhraničná preprava TAP a RDF je významná aj v Európe. Napríklad Spojené kráľovstvo vyváža značné množstvá do krajín ako Nemecko, Holandsko a Švédsko.

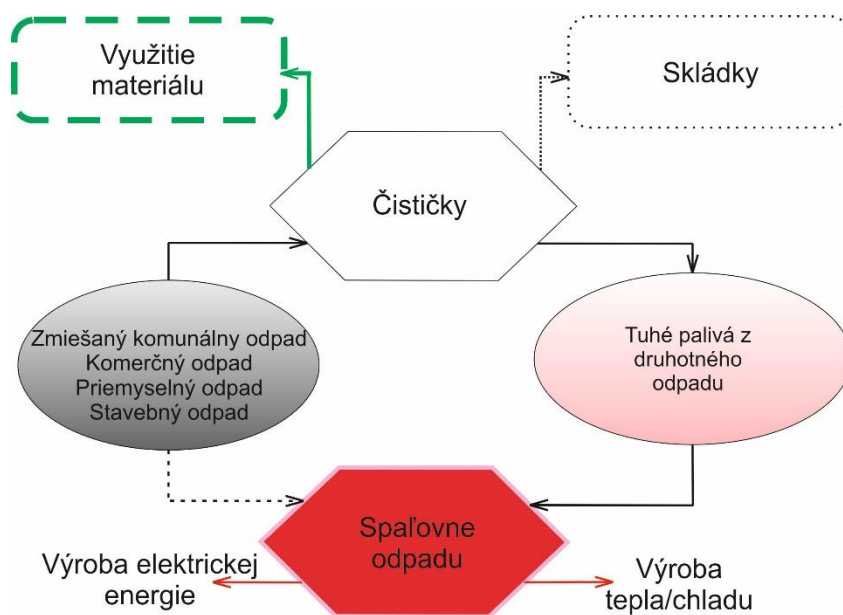
Obchod je riadený rôznymi faktormi, ale politika, kapacity spracovania odpadu a súčasné trhové ceny (vrátane faktorov ako dane) sú niektoré z hlavných dôvodov.

V rámci medzinárodnej organizácie pre normalizáciu (ISO) sa vyvíjajú normy pre TAP. Môže to byť dôležitý nástroj na zvýšenie dôvery v TAP ako druhoradé palivo a tým prekonanie niektorých trhových prekážok spôsobených chýbajúcim spoločným názvom a metódami na porovnanie určujúcim kvalitu. Súčasťou práce sú aj krajiny, kde je dnes použitie TAP/RDF dosť obmedzené.

Hierarchia odpadu jasne uznáva úlohu získavania energie z odpadu, a najmä odpadu z palív vyrobených procesmi, ktoré sa dopĺňajú s recykláciou materiálov; to znamená palivá, ktoré pochádzajú z odpadových tokov, ktoré nie sú vhodnejšie na opätovné použitie, prípravu na opätovné použitie alebo účinnú recykláciu materiálov. Tuhé alternatívne palivá (TAP) by splnili túto požiadavku a prispeli by k očakávanej zmene v surovine na výrobu energie z odpadu (zlepšenie recyklovateľnosti a opätovnej použiteľnosti zvyškov ako sú plasty, drevo, papier a biologicky odbúrateľný odpad) a smerom k energeticky najefektívnejšiemu systému premeny odpadu na energiu.

Ďalšou oblasťou, kde sa predpokladá rozvoj využívania TAP, je termochemická recyklácia odpadu. Tomu sa venuje veľká pozornosť a považuje sa za dôležitý stavebný kameň pre cirkulárnejšie hospodárstvo. V tomto prípade by TAP mohol hrať dôležitú úlohu nie ako tuhé alternatívne palivo, ale skôr ako tuhá regenerovaná surovina.

Energia z odpadu je široký pojem, ktorý identifikuje hodnotový reťazec zameraný na využitie energetického potenciálu odpadu prostredníctvom výroby elektriny alebo tepla v zariadeniach na výrobu energie z odpadu. V rámci tohto hodnotového reťazca sa môžu odpady dostať do spaľovní dvomi spôsobmi, ako je to schematicky znázornené na Obr. 2-2.



Obr. 2-2 Schematické znázornenie využívania energie z odpadu

Prvý spôsob je založený na priamom využití vzniknutého odpadu bez akejkoľvek predbežnej úpravy na výrobu energie. Spaľovanie je historicky spôsob, ktorý sa často používa ako likvidácia odpadu (ako alternatíva k skládkovaniu), ktorý sa časom stal možnosťou získavania elektrickej energie a tepelnej energie z odpadu. Napríklad v Európskej únii (EÚ-28) sa množstvo spáleného komunálneho odpadu od roku 1995 zvýšilo o 32 miliónov ton (Mton) a v roku 2015 predstavovalo 64 Mton [6] (v referenčnom období bolo celkové skládkovaný komunálny odpad klesol o 83 miliónov ton, zo 144 miliónov ton v roku 1995 na 61 miliónov ton v roku 2015). V Spojených štátoch [7] sa v roku 2015 vyprodukovalo asi 262,4 milióna ton tuhého komunálneho odpadu, z toho 33,6 milióna ton sa spaľovalo energetickým využitím v spaľovniach. Okrem toho sa recyklovalo 67,8 milióna ton, kompostovalo sa 23,4 milióna ton a na skládke sa 137,7 milióna ton. Celosvetovo [8] dosiahol v roku 2016 počet zariadení na spracovanie TKO (WtE) celkovo 1618 zariadení.

Podľa druhého spôsobu sa jednotlivé toky odpadu podrobujú predúprave v zariadeniach na mechanické čistenie resp. mechanicko-biologické čistenie. Takéto procesy spracovania, ktoré pripravujú tok zvyškového odpadu na zneškodnenie na skládkach prostredníctvom triedenia odpadu na materiálové zhodnotenie a na výrobu palív pochádzajúcich z odpadu, sú v niektorých krajinách široko implementované. V

týchto závodoch sa odpadové frakcie, ktoré sa nedajú ľahko recyklovať sú určené ako palivové frakcie na energetické zhodnotenie.

Sekundárne palivá na Obr. 2-2 sú viac alebo menej rafinované vzhľadom na prichádzajúci odpad, takže z hľadiska ekonomického (napr. výhrevnosť), technického (napr. forma a veľkosť častíc, obsah popola a vlhkosti, chemické vlastnosti) a dopadu na životné prostredie (napr. chemické vlastnosti; vlastnosti biomasy) umožňujú lepšie využitie potenciálu odpadu. To umožňuje ich použitie na iné energetické účely ako na bežné spaľovne odpadu.

V reakcii na rastúci dopyt na trhu sa výroba sekundárnych palív stala veľmi populárnou možnosťou odpadového hospodárstva v rôznych krajinách Európy. Na trhu s odpadmi existujú rôzni koncoví používatelia s rôznymi možnosťami na použitie:

- Spaľovne, ktoré chcú prejsť od zneškodňovania k energetickému zhodnocovaniu.

- Priemyselné odvetvia, ako je cementársky priemysel a uhoľné elektrárne, kde použitie sekundárnych palív nahrádza fosílna palivá (napr. uhlie, pet-koks). To prináša výhody v podobe menšej závislosti od fosílnych palív a menšieho vplyvu na životné prostredie.

- Lokálne iné priemyselné elektrárne využívajú potenciál sekundárnych palív (napr. pri spoločnom spaľovaní s inými typmi odpadu alebo zvyškami), čo zaisťuje ekonomický prínos. Ekonomické výhody by mohli predstavovať pokrytie vlastnej energetickej potreby; predaj elektriny do národnej siete a prístup k ekonomickým podpore, ako sú zelené certifikáty alebo iné stimuly na podporu obnoviteľných zdrojov energie (OZE).

- Neočakávaným predpokladaným konečným použitím je použitie odpadu na procesy termochemickej recyklácie. Môže to byť zamerané na premenu odpadu na kvapalné alebo plynné palivá, alebo na jeho premenu na platformové chemikálie, ktoré sa budú používať na výrobu nových výrobkov.

Vyrábané sekundárne palivá v praxi zahŕňajú veľkú skupinu palív, ktoré sa líšia pôvodom, zložením a kvalitou. Často sa všeobecne označujú ako palivo pochádzajúce



z odpadu, bez toho, aby boli dobre opísané zloženie, kvalita a parametre prostredia. Je to z dôvodu nedostatku požiadaviek na dodržiavanie presne definovaného nariadenia alebo normy. Napríklad Európska rada pre normalizáciu (CEN) sa vydala týmto smerom vývojom noriem [9], ktoré zavádzajú koncept „štandardizovaného“ sekundárneho paliva - tuhých regenerovaných palív - stanovením potreby výrobcami klasifikovať a špecifikovať palivo. Túto potrebu identifikovalo aj viac krajín mimo Európy a buď vytvorili svoje vlastné súbory noriem alebo prijali európske normy. Medzi hlavné hnacie sily vývoja noriem TAP patrilo vytvorenie dôvery v palivo, ako aj sprístupnenie spoločného a zdieľaného jazykového a analytického postupu pre vyrobené palivá uvedené na trh. Dôvera vo výrobok je zásadná, pokiaľ ide o aspekty, ako sú potenciálne vplyvy na zdravie ľudí a životné prostredie, vplyv na zariadenie elektrárne, riziká pre konečných používateľov a získanie súhlasu verejnosti a príslušných orgánov.

Hierarchia tvorby odpadu (Obr. 2-3) je v súčasnosti široko akceptovaným a sledovaným základným pilierom politik a právnych predpisov v oblasti nakladania s odpadom. Hierarchia vedie k dlhodobému a udržateľnému nakladaniu s odpadom a je v úzkej zhode s rovnako zdieľaným prechodom na obehové hospodárstvo a dekarbonizáciu priemyselných činností. Hierarchia odpadu definuje poradie priorít v odpadovom hospodárstve, ktorého cieľom je minimalizovať nepriaznivé účinky na životné prostredie a ľudské zdravie a optimalizovať efektívne využívanie zdrojov, pričom zdôrazňuje uprednostňované možnosti - predchádzanie vzniku odpadu, opätovné použitie a recykláciu. Likvidácia na skládkach resp. spaľovanie s malým alebo žiadnym energetickým využitím je najmenej priaznivou možnosťou.



Obr. 2-3 Hierarchia tvorby odpadu

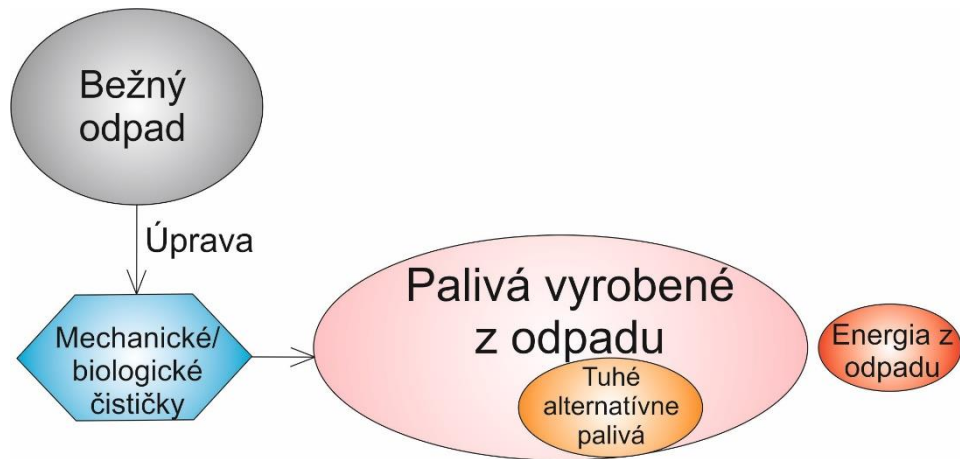
Podľa strategických rozhodnutí, napríklad akčný plán presadzovaný Európskou komisiou a rámec spoločných právnych predpisov o odpadovom hospodárstve (balík opatrení v oblasti obehového hospodárstva), uznávajú úlohu získavania energie z odpadu, a najmä na odpadové palivá vyrobené procesmi, ktoré v zásade dopĺňajú recykláciu odpadu. V praxi to znamená že získame palivá pochádzajúce z odpadových tokov, ktoré nie sú vhodnejšie na opätovné použitie, prípravu na opätovné použitie alebo účinnú recykláciu materiálov. [10]

Očakávajú sa zmeny v surovinách na výrobu energie z odpadu na základe cieľov recyklovateľnosti a opätovnej použiteľnosti, ktoré by mohli odkloniť zvyšky, ako sú plasty, drevo, papier a biologicky rozložiteľné odpady, od možností, ktoré sa v súčasnosti prijímajú na ich nakladanie s energetickým zhodnocovaním (spaľovanie alebo spoluspaľovanie). Minimalizácia odpadu bude mať tiež vplyv na suroviny dostupné na energetické zhodnotenie. [5]

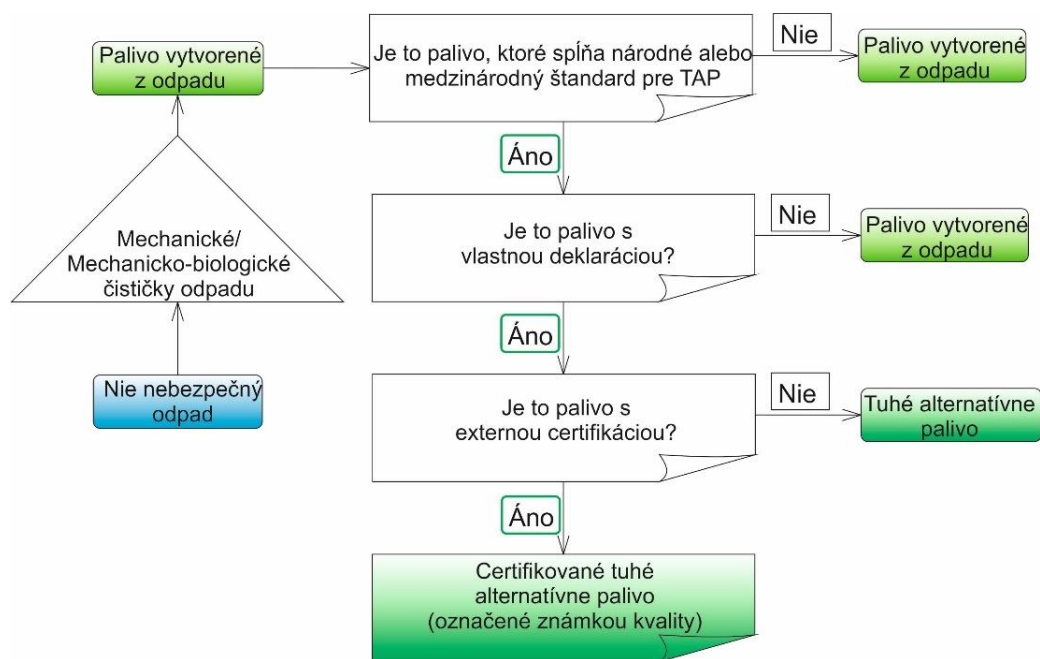
Sektor výroby energie z odpadu zameraný viac na spracovanie nerecyklovateľného odpadu je kritickým bodom, aby sa zabránilo potenciálnym ekonomickým stratám a prekážkam pri dosahovaní vyššej miery recyklácie.

## **2.2 Terminológia**

Tuhé palivá, ktoré sa vyrábajú spracovaním nejednoznačných tokov mono- alebo zmiešaného odpadu, aby sa stali vhodnou surovinou na energetické zhodnotenie, sa považujú za druhotné palivá. Nazývame ich ako palivo vytvorené z odpadu (Obr. 2-4). Toky odpadu odosielané do zariadení na výrobu energie z odpadu, ktoré vznikajú (napr. nepredčistený a netriedený odpad) uvedené na Obr. , sú preto z oblasti sekundárnych palív vylúčené.



Obr. 2-4 Hodnotový reťazec energetického zhodnocovania odpadov prostredníctvom výroby sekundárnych palív.



Obr.2-5 Schéma rozlišovania paliva vytvoreného z odpadu a tuhého alternatívneho paliva.

Obr.2-5 znázorňuje, že TAP sa môže ďalej stať certifikovaným TAP (s ochrannou známkou kvality), ak sa vyrába podľa definovaného postupu zabezpečenia kvality, aby sa reagovalo na dopyt na trhu (palivo s dobre definovanou kvalitou).

Vyššie uvedené nebráni skutočnosti, že súlad TAP s ďalšími alebo prísnejšími požiadavkami na kvalitu palivových vlastností môžu byť dobrovoľne požadované

koncovými používateľmi paliva (napr. cementárne, elektrárne, splyňovacie zariadenia) prostredníctvom súkromného záväzku (špecifikácie) s výrobcom, aby dostali palivo, ktoré dobre vyhovuje ich vlastným ekonomickým/technologickým potrebám. Za zmienku stojí, že použitie tohto dobrovoľného súkromného záväzku sa predpokladá v normách TAP, ako je napríklad EN 15359.

S TAP sa obchoduje a nakladá sa s nimi hlavne ako s odpadom. Môžu sa však stať palivovým produktom po všetkých stránkach v niektorých krajinách (napr. Taliansko, Rakúsko [ [11], [12]). Potom musí TAP spĺňať zákonom stanovené povinné požiadavky, ktoré umožňujú deklarovat' TAP ako koniec odpadu (Obr. 2-5), aby sa palivo už viac nepodliehalo právnym predpisom o odpade.

### **2.3 Pôvod, výrobné procesy a špecifické trhové požiadavky na kvalitu**

TAP môžu byť vyrábané lokálne z individuálnych alebo zmiešaných prúdov komunálneho, komerčného, priemyselného a stavebného a demolačného odpadu. Tieto typy zahŕňajú rozdielny podiel odpadových frakcií, ktorý ovplyvňuje ich elementárne zloženie. Ako orientačný odkaz sú tu uvedené niektoré výsledky štúdií vykonaných v závodoch, ktoré produkujú TAP z týchto odpadov.

Tab. 2-3 Výsledky pre prichádzajúce a odchádzajúce toky z mechanickej úpravovne odpadu - toky zmiešaného odpadu, TAP a iných spracovaných odpadov [13]

Zložka	Zmiešaný odpad [%]	TAP [%]	Zamietnutý materiál [%]	Železné kovy [%]	Neželezné kovy [%]	Ťažká frakcia [%]	Jemná frakcia [%]
Papier a kartón	24,5	300	8,6	1,2	1,4	0,4	5,4
Tvrdé plasty	12,0	13,0	16,0	2,3	1,6	6,4	2,8
Mäkké plasty	16,6	19,6	5,4	-	2,0	-	5,2
Textil	8,8	10,0	11,0	0,3	1,8	-	2,6
Drevo	6,5	8,2	4,5	2,0	-	3,0	3,8
Bio odpad	5,0	0,4	10,0	-	-	-	20,0
Guma	4,8	2,2	24,0	-	-	-	2,5
Kov	4,6	0,5	1,0	92,0	90,0	10,0	3,0
Pena	1,8	2,6	0,5	0,8	0,6	-	6,5
Sklo	3,2	0,7	7,8	-	-	-	22,2
Kameň	2,6	-	6,0	-	-	78,2	16,8
Jemná zložka	9,6	12,8	5,2	1,4	2,6	2,0	9,2

Tab. 2-4 Výsledky pre prichádzajúce a odchádzajúce toky z mechanickej úpravovne odpadu - toky zmiešaného odpadu, TAP a iných spracovaných odpadov [13]

Toky	Obsah vlhkosti [%]	Popol pri 550 °C [%]	Prchavý materiál [%]	Bio zložky [%]	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]	O [%]	Výhrevnosť prijatej zložky [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	Výhrevnosť v suchom stave [MJ.kg <sup>-1</sup> ]
Zmiešaný odpad	13,5	22,4	-	-	47,0	6,2	0,5	0,2	19,6	16,7	19,6
TAP	15,0	9,8	79,4	50,8	53,0	7,4	0,6	0,2	28,0	20,2	22,4
Zamietnutý materiál	26,8	32,5	-	-	40,3	5,2	0,9	0,5	16,3	12,0	16,8
Jemné frakcie	33,0	50,3	-	-	28,0	3,6	0,9	1,0	14,8	7,3	12,0
Ťažké frakcie	8,9	96,0	-	-	8,3	1,1	0,2	0,1	4,0	2,5	3,0

Tab. 2-5 Výsledky pre prichádzajúce a odchádzajúce toky z mechanickej úpravovne odpadu - toky komerčného a priemyselného odpadu (KPO), TAP a iných spracovaných odpadov [13]

Zložka	Komerčný a priemyselny odpad [%]	TAP [%]	Zamietnutý materiál [%]	Železné kovy [%]	Neželezné kovy [%]	Ťažká frakcia [%]	Jemná frakcia [%]
Papier a kartón	31,0	35,6	12,4	1,0	2,6	2,0	4,5
Tvrde plasty	14,6	16,5	14,0	1,2	2,8	3,5	2,6
Mäkké plasty	17,0	24,0	4,7	0,6	2,0	-	5,8
Textil	9,0	8,5	9,2	1,4	1,4	-	3,8

Drevo	6,8	6,4	4,0	3,6	0,4	4,6	5,6
Guma	2,6	1,0	6,8	0,2	0,8	4,5	0,8
Kov	6,4	0,8	3,2	92,0	88,0	16,0	0,8
Pena	1,0	1,2	0,2	-	0,6	-	4,5
Sklo	3,6	-	10,0	-	1,4	1,4	16,8
Kameň	3,0	-	18,5	-	-	66,2	28,2
Jemná zložka	5,0	6,0	17,0	-	-	1,8	26,6

Tab. 2-6 Výsledky pre prichádzajúce a odchádzajúce toky z mechanickej úpravovne odpadu - toky komerčného a priemyselného odpadu (KPO), TAP a iných spracovaných odpadov [13]

Toky	Obsah vlhkosti [%]	Popol pri 550°C [%]	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]	O [%]	Výhrev. prijatej zložky [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	Spalné teplo v suchom stave [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	Výhrev. v su-chom stave [MJ.kg <sup>-1</sup> ]
KPO	26,5	16,6	48,0	7,0	0,6	0,2	18,0	13,0	19,8	18,5
TAP	25,0	12,5	57,4	8,0	0,5	0,3	17,8	18,0	26,6	25,0
Zamietnutý materiál	26,0	23,0	41,0	5,8	1,0	0,3	20,8	11,6	18,8	16,6
Jemné frakcie	44,5	48,0	29,6	4,0	1,2	0,8	16,0	5,5	12,6	12,0
Zložky komerčného a priemyselného odpadu										
Papier a kartón	-	13,0	42,5	5,6	0,4	0,1	38,0	-	17,3	16,0
Tvrdé plasty	-	10,3	74,6	12,0	0,3	0,2	2,3	-	39,5	37,0
Mäkké plasty	-	6,0	74,4	11,4	0,3	0,1	5,0	-	37,4	35,0

Textil	-	10,4	57,4	7,6	1,8	0,24	21,3	-	26,5	24,8
Drevo	-	1,6	49,0	6,2	0,8	<0,02	42,2	-	20,0	18,6
Guma	-	23,0	48,0	5,2	1,0	0,5	14,3	-	21,0	20,0
Pena	-	5,0	62,5	8,4	4,0	0,1	19,8	-	290	27,3
Jemná zložka	-	54,4	26,8	3,5	1,3	1,0	22,6	-	10,6	9,8

Tab. 2-7 Výsledky pre prichádzajúce a odchádzajúce toky z mechanickej úpravovne odpadu - toky stavebného a búracieho odpadu, TAP a iných spracovaných odpadov [13]

Zložka	Stavebný odpad [%]	TAP [%]	Zamietnutý materiál [%]	Železné kovy [%]	Neželezné kovy [%]	Ťažká frakcia [%]	Jemná frakcia [%]
Papier a kartón	12,0	22,0	6,0	0,6	0,4	1,2	1,6
Tvrdé plasty	6,0	9,2	7,4	0,2	1,2	6,8	0,3
Mäkké plasty	3,6	6,8	1,2	-	0,4	-	0,6
Textil	3,8	6,0	3,4	0,2	0,6	-	0,6
Drevo	23,6	38,0	12,3	1,4	0,8	14,0	2,8
Guma	4,8	2,4	15,0	-	1,0	4,0	-
Kov	10,0	2,0	3,0	92,0	90,0	6,0	0,8
Pena	2,0	0,5	1,8	-	-	-	1,6
Sklo	3,4	0,6	11,6	-	-	-	10,0
Stavebný materiál	14,2	1,5	22,0	2,6	2,0	64,0	58,0



Jemná zložka	16,6	11,0	16,0	3,0	3,6	4,0	20,5
--------------	------	------	------	-----	-----	-----	------

Tab. 2-8 Výsledky pre prichádzajúce a odchádzajúce toky z mechanickej úpravovne odpadu - toky stavebného a búracieho odpadu, TAP a iných spracovaných odpadov [13]

Toky	Obsah vlhkosti [%]	Popol pri 550°C [%]	Prchavý materiál [%]	Bio zložky [%]	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]	O [%]	Výhrevnosť prijatej zložky [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	Výhrevnosť v suchom stave [MJ.kg <sup>-1</sup> ]
Stavebný odpad	14,0	46,8	-	-	30,0	4,0	0,5	0,7	17	9,8	11,0
TAP	16,5	9,0	76,6	66,7	50,0	6,4	1,0	0,3	31,6	18,0	20,0
Zamietnutý materiál	12,0	47,2	-	-	31,2	3,8	0,6	0,7	16,2	100	12,0
Jemné frakcie	23,6	78,8	-	-	12,0	1,3	0,4	2,8	4,8	2,5	4,0
Ťažké frakcie	10,4	65,6	-	-	20,0	2,6	0,5	0,3	13,2	6,5	7,6

Použitím rôznych procesov pri výrobe TAP sa menia podľa vlastností prichádzajúceho odpadu a zvolený proces určí dosiahnuteľný výťažok odchádzajúcich odpadových palív z kvantitatívneho aj kvalitatívneho hľadiska.

V zariadeniach na mechanické spracovanie sa na výrobu TAP môže použiť niekoľko operácií/triediacich techník. Môže to byť napríklad primárne drvenie, skríning, separácia magnetickým a vírivými prúdmi, pneumatická separácia, optické triedenie, infračervené triedenie a sekundárne drvenie. Účelom použitia rôznych triediacich techník je selektívne oddelenie inertného materiálu, kovov a zložiek vysoko chlórovaných/znečisťujúcich látok od vstupného odpadového materiálu do malých tokov, aby sa dosiahol vysoký výťažok TAP so špecifickými znakmi kvality.

znázorňuje príklad viacstupňového spracovania použitého v rakúskej čistiarni na výrobu TAP strednej (hrubého materiálu) a prémiovej (jemného materiálu) kvality pre cementové pece ako konečných užívateľov [14]. Vstupmi do procesu sú komerčný odpad, odpad z obalov, priemyselný odpad a predspracovaný domáci odpad. Obr. 2-6 zobrazuje stredne a vysoko kvalitné TAP získané v procese, zatiaľ čo Tab. 2-2 a Tab. 2-10 sumarizujú ich triedenie a chemické analýzy.



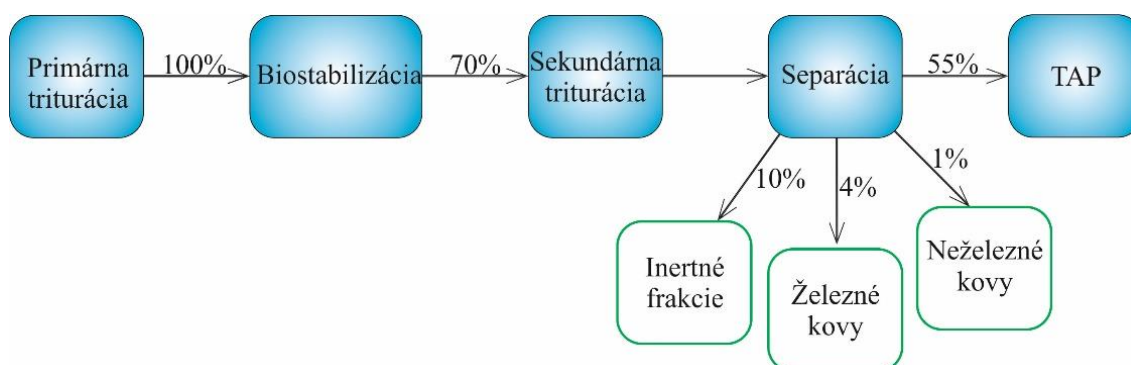
Obr. 2-6 Viacstupňová schéma spracovania prijatá v rakúskych čistiarniach na kombinovanú výrobu TAP strednej kvality (t. j. hrubého materiálu) a TAP prémiovej kvality (t. j. jemného materiálu)

Tab. 2-2 Výsledky analýzy manuálneho triedenia stredných a vysoko kvalitných TAP vyrobených podľa procesu úpravy uvedených na Obr.2-5 v porovnaní s výsledkami nízko kvalitných TAP [14]

Frakcia	TAP nízkej kvality [%]	TAP strednej kvality [%]	TAP vysokej kvality [%]
Papier, plast, kompozitný materiál, textil	35,6	56,2	52,4
Sklo, kovy, nebezpečný odpad	10,6	7,1	1,1
Jemné a organické frakcie	53,8	36,7	46,5

Tab. 2-10 Výsledky pre vybrané fyzikálno-chemické vlastnosti stredných a vysoko kvalitných TAP vyrobených v súlade s procesmi spracovania znázornenými na Obr. v porovnaní s výsledkami nízko kvalitných TAP. [Údaje z [14]]

Parameter	Jednotka	TAP nízka kvalita		TAP stredná kvalita		TAP nízka kvalita	
		medián	80%	medián	80%	medián	80%
Vlhkosť	%, prijaté	26,5	31,4	25,0	29,1	15,1	29,3
Výhrevnosť	MJ/kg, prijaté	8,9	10,3	15,5	16,8	19,3	22,8
	MJ/kg, suchý základ	14,3	15,7	21,2	21,4	25,0	26,6
Popol	%, prijaté	29,6	35,2	12,7	15,8	12,4	14,8
Cl	g/kg, suchý základ	9,2	12,3	10,8	22,2	13,8	17,1
S	g/kg, suchý základ	2,9	3,7	3,4	4,6	3,3	4,5
C	%, suchý základ	-	-	46,9	48,6	52,8	58,3
Emisný faktor CO <sub>2</sub>	g/MJ, suchý základ	-	-	34,5	41,3	43,2	55,7



Obr. 2-7 Schéma jednorúrovňového procesu použitého v talianskom závode spoločnosti Ecoprogetto na výrobu TAP používaného v elektrárni na uhlie. Obrázok z [15].

Príklad procesu mechanickej biologickej úpravy je znázornený na Obr. 2-7, ktorý sa týka výroby TAP z komunálneho odpadu s uhoľnými elektrárnami ako typickým konečným používateľom v Taliansku. [15]. V tomto prípade bolo prijaté ošetrenie založené na „procese s jedným tokom“, ktoré umožňuje vysokú premenu toku odpadu na TAP s ohľadom na klasickejší proces s dvoma cestami. Tento proces zahŕňa etapu biostabilizácie zameranú na zabezpečenie odvlhčovania pre biologický proces (bez spotreby energie alebo paliva na vykurovanie), sanitácie a stabilizácie

organických zlúčenín. Napríklad výrobok pochádzajúci z procesu znázorneného na Obr. 2-7 má stabilný obsah vlhkosti (max. 10–15%), zníženie hmotnosti (30% hmotnosti) a zvýšenie výhrevnosti (+35% vzhľadom na tok komunálneho odpadu). Obrázok 10 poskytuje schému separačného procesu použitého v danom závode MBT. TAP generovaný v procese je vo forme buničiny a vyžaduje sa jeho zahustenie, aby sa vytvoril konečný peletizovaný TAP zaslaný koncovému užívateľovi.

Pokiaľ ide o kvalitu TAP, niektoré príklady požiadaviek (t.j. typické hodnoty alebo limitné hodnoty), ktoré sa vyskytujú v dobrovoľných dohodách medzi výrobcami a konečnými užívateľmi, sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách.

*Tab. 2-11 Kvalitatívne požiadavky TAP stanovené v špecifikácii odsúhlasenej výrobcom a koncovým používateľom (uholná elektrárňa, 2016, Taliansko) [5].*

Parameter	Jednotka	Typická hodnota	Limitná hodnota
Popol	% suchý stav	≤ 20	≤ 20
Vlhkosť	% prijatej suroviny	≤ 15	≤ 15
Výhrevnosť	MJ/kg prijatej suroviny	Hodnota nastavená v zmysle normy EN 15539 pre požadovaný kód triedy	Hodnota nastavená v zmysle normy EN 15539 pre požadovaný kód triedy
Výhrevnosť	MJ/kg suchý stav	≥ 15	≥ 15
Cl	% suchý stav	Hodnota nastavená v zmysle normy EN 15539 pre požadovaný kód triedy	Hodnota nastavená v zmysle normy EN 15539 pre požadovaný kód triedy
Sb	mg/kg suchý stav	≤ 70	≤ 150
As	mg/kg suchý stav	≤ 9	≤ 15
Cd	mg/kg suchý stav	≤ 7	≤ 10
Cr	mg/kg	≤ 100	≤ 500

	suchý stav		
Co	mg/kg suchý stav	≤ 7,5	≤ 100
Cu	mg/kg suchý stav	≤ 1300	≤ 2000
Pb	mg/kg suchý stav	≤ 200	≤ 600
Mn	mg/kg suchý stav	≤ 400	≤ 600
Hg	mg/kg suchý stav	Hodnota nastavená v zmysle normy EN 15539 pre požadovaný kód triedy	Hodnota nastavená v zmysle normy EN 15539 pre požadovaný kód triedy
Ni	mg/kg suchý stav	≤ 40	≤ 200
Tl	mg/kg suchý stav	≤ 1	≤ 10
V	mg/kg suchý stav	≤ 7,5	≤ 150
Σ Ťažkých kovov	mg/kg suchý stav	Musí byť deklarované	Musí byť deklarované

Táto dohodnutá špecifikácia vyžaduje, aby TAP bol v súlade s UNI EN 15539 a talianskym UNI TR 11581. Súčet ťažkých kovov nezahŕňa Hg, Tl a Cd podľa EN 15539: 2011.

*Tab. 2-12 Kvalitatívne požiadavky TAP stanovené v špecifikácii odsúhlasenej výrobcom a konečnými užívateľmi (spaľovacie elektrárne a cementárske pece, 2016, Taliansko). [5].*

Parameter	Jednotka	Limitná hodnota min - max	
		min	max
Popol	% suchý stav	15	30
Vlhkosť	% prijatej suroviny	10	30

Výhrevnosť	kcal/kg prijatej suroviny	3583	9500
Cl	% suchý stav	0,6	1,5
S	% suchý stav	0,3	0,8
Pb (prchavý)	mg/kg suchý stav	100	200
Cr	mg/kg suchý stav	70	833
Cu (rozpustná)	mg/kg suchý stav	300	500
Mn	mg/kg suchý stav	217	500
Ni	mg/kg suchý stav	40	333
As	mg/kg suchý stav	9	15
PCB	mg/kg suchý stav	0,5	30
Zn	mg/kg suchý stav	500	1000
Co	mg/kg suchý stav	67	100
Cd	mg/kg suchý stav	27	33
Sn	mg/kg suchý stav	70	100
Sb	mg/kg suchý stav	20	267
Hg	mg/kg suchý stav	1,0	1,7
Tl	mg/kg suchý stav	3,3	10
V	mg/kg suchý stav	20	100
Cn	mg/kg suchý stav	2	2
F	mg/kg suchý stav	1000	1000
Be	mg/kg suchý stav	50	50
Ba	mg/kg suchý stav	200	200
Se	mg/kg suchý stav	5	5
Te	mg/kg suchý stav	10	10

Tab. 2-13 Požiadavky na kvalitu TAP stanovené v špecifikácii odsúhlasenej výrobcom a koncovým používateľom (cementársky priemysel, 2016, Taliansko). [5].

Parameter	Jednotka	Limit
Výhrevnosť	GJ/t prijatej suroviny	≥ 15
Cl	% suchý stav	1
S	% suchý stav	
Hg	mg/kg suchý stav	1

As	mg/kg suchý stav	5
Cd	mg/kg suchý stav	3
Cr	mg/kg suchý stav	100
Cu	mg/kg suchý stav	500
Pb	mg/kg suchý stav	240
Mn	mg/kg suchý stav	250
Ni	mg/kg suchý stav	30
Tl	mg/kg suchý stav	1
Co	mg/kg suchý stav	18
Sb	mg/kg suchý stav	50
V	mg/kg suchý stav	10
IPA	mg/kg suchý stav	30
PCB	mg/kg suchý stav	3
PCDD/PCDF	ng TE/kg Suchý stav	20

## 2.4 Literatúra ku kapitole 2 Tuhé alternatívne palivá

- 1] <https://www.alsglobal.sk/ostatne/analyzy-alternativnych-a-fosilnych-paliv>,  
[Online].
- [2] [https://crhslovakia.com/wp-content/uploads/2020/05/18625\\_ZVC-Brochure-Odpadove-paliva-05\\_20-01.pdf](https://crhslovakia.com/wp-content/uploads/2020/05/18625_ZVC-Brochure-Odpadove-paliva-05_20-01.pdf), [Online].
- [3] <https://euractiv.sk/section/obehova-ekonomika/news/potrebuje-slovensko-nove-spalovne-komunalneho-odpadu-zavisi-to-od-priemyslu-aj-dovozu/>, [Online].
- [4] <https://www.odpady-portal.sk/Dokument/101847/tuhe-alternativne-palivo-ma-konecne-zelenu.aspx>, [Online].
- [5] <https://task36.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/4/2020/05/Trends-in-use-of-solid-recovered-fuels-Main-Report-Task36.pdf>, [Online].



- [6] „[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics),” [Online]. [Cit. 8 február 2021].
- [7] „<https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling>,” [Online].
- [8] „<https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-018-0297-7>,” [Online].
- [9] *EN 15539:2011. Solid recovered fuels – Classification and specification.*
- [10] „<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0032&from=en>,” [Online]. [Cit. 12 február 2021].
- [11] „[https://ec.europa.eu/environment/archives/waste/reporting/pdf/Final\\_Implementation\\_Report\\_2013\\_2015\\_WFD.pdf](https://ec.europa.eu/environment/archives/waste/reporting/pdf/Final_Implementation_Report_2013_2015_WFD.pdf),” [Online]. [Cit. 15 marec 2021].
- [12] „<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:72167:en>,” [Online]. [Cit. 17 marec 2021].
- [13] H. J. H. M. K. J. Nasrullah M. Vianikka P., „Elemental balance of SRF production process: solid recovered fuel produced from construction and demolition waste,” *Fuel*, 2015.
- [14] L. K. P. R. Sarc R., „Manufacturing of Solid Recovered Fuels (SRF) for Energy Recovery Processes,” *Waste Management*, zv. 6, 2016.
- [15] R. M., „Production of SRF for co-combustion in coal fired power plants,” rev. *SRF Workshop*, Fusina, Italy, 2013.
- [16] „<https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/05/Trends-in-use-of-solid-recovered-fuels-Main-Report-Task36.pdf>,” [Online].

### 3. Kvapalné palivá

Vo všeobecnosti sa za palivá, či už plynné, kvapalné alebo tuhé, pokladajú také látky, pri ktorých chemickej reakcii (oxidácii) sa uvoľňuje teplo, ktoré sme schopní využiť. Na palivá pre priemyselné účely sú kladené určité špecifické požiadavky:

- aby boli k dispozícii v požadovanom množstve a kvalite,
- ich získavanie, prípadne výroba musí byť hospodársky únosná,
- nevyžadovali zložitú prípravu k spaľovaniu,
- aby ich použitie čo najmenej narušovalo ekologickú rovnováhu,
- z hospodárskeho hľadiska boli lacné,
- obsahovali čo najmenej nespáliteľných zložiek,
- skladovateľnosť bez podstatnej zmeny vlastností,
- aby boli schopné so vzduchom vytvoriť takú zápalnú zmes, ktorá zanechá po zhorení čo najmenej mechanicky alebo chemicky škodlivých látok,
- maximálny obsah aktívnych látok, ktoré uvoľňujú teplo,
- minimálny obsah pasívnych látok, alebo látok, ktoré spaľovanie sťažujú,
- dobrá výhrevnosť, zápalnosť, vyhovujúce rozpätie zmiešavacieho pomeru palivo/vzduch, dobrá odparivosť, a pod.
- dostatočná rýchlosť spaľovania, vhodná teplota zapálenia, resp. samovznietenia,...

Kvapalné palivá delíme na dve základné skupiny:

- konvenčné – pôvodom z ropy a uhlia,
- nekonvenčné – alternatívne, pôvodom napríklad z biomasy, vznikajúce spracovaním odpadov a pod.

Prednosti kvapalných palív oproti tuhým palivám:

- vysoká výhrevnosť,
- možnosť doceliť vysokú teplotu spaľovania,
- vyššia účinnosť spaľovacieho zariadenia (prebytok vzduchu 1,06 – 1,1) a možnosť použitia kondenzačnej techniky,
- dobré riadenie spaľovania – väčší regulačný rozsah kotlov (20 – 100 %),
- menšie investičné a prevádzkové náklady,

- spaľovanie prakticky bez zvyšku – nízky obsah popolovín,
- menšie emisie škodlivín,
- výhodné skladovanie a doprava.

Hlavné druhy kvapalných palív:

- vykurovacie oleje (najpoužívanejšie v energetike), sú rozdelené podľa hmotností a priebehu destilačnej krivky:
  - extraľahký,
  - ľahký,
  - stredný,
  - ťažký,
  - decht,
- benzín – automobilové a letecké benzíny, sú používané najmä v doprave, v energetike ako palivá pre záložné zdroje, motorgenerátory a pod.
- nafta – používaná najmä v doprave, v energetike ako palivá pre záložné zdroje, motorgenerátory a pod., prípadne ako štartovacie palivo pre veľké zdroje tepla, vlastnosťami je motorová nafta podobná ľahkému vykurovaciemu oleju,
- petrolej,
- palivá z rastlinných olejov a živočíšnych tukov,
- alkoholy,
- a iné.

### 3.1 Kvapalné palivá – vlastnosti a charakteristiky

**Chemické zloženie** – najvýznamnejšia vlastnosť každého paliva, má vplyv na výhrevnosť, spaľovacie teploty, spotrebu spaľovacieho vzduchu, množstvo a zloženie vznikajúcich spalín a pod. Pre kvapalné palivá sa chemické zloženie určuje:

- elementárnou analýzou – určenie percentuálneho hmotnostného podielu prvkov v horľavine,
- technickou analýzou – téglíková skúška – odvážená vzorka paliva, odobratá podľa noriem, sa v téglíku suší pri teplote 105°C, následným odvážením sa zistí obsah vlhkosti  $W$ , potom sa ohrieva bez prístupu vzduchu na teplotu 850°C, čím sa zistí obsah prchavej horľaviny  $V$ , vyžíhaním za prístupu vzduchu sa zistí obsah koksu, resp. uhlíka a zvyšok je popol  $A$ .

**Spaľovacie teplo**  $Q_s$ ,  $H_s$  [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , zriedkavo  $\text{kJ}\cdot\text{l}^{-1}$ ] (horná výhrevnosť, hrubá výhrevnosť, spaľné teplo) je definované ako množstvo tepla, ktoré sa vyvinie dokonalým spálením jednotkového množstva paliva (kg) pri stálom tlaku  $p_0 = 101\,325$  Pa, vodná para vzniknutá pri spaľovaní je skondenzovaná. Pre kvapalné palivá je jednotkové množstvo jeden kilogram, zriedkavo jeden liter.

Spaľovacie teplo sa vzťahuje na teplotu okolia a určuje sa priamym meraním v kalorimetri (Kalorimeter: prístroj na meranie merného tepla látok alebo tepelného množstva premeneného pri chemických a fyzikálnych procesoch), alebo na základe elementárnej analýzy (ak poznáme presné chemické zloženie paliva a z chemických tabuliek množstvo energie uvoľnenej oxidáciou každej z nich).

**Výhrevnosť**  $Q_n$  [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , zriedkavo  $\text{kJ}\cdot\text{l}^{-1}$ ] (dolná výhrevnosť, čistá výhrevnosť) je definovaná ako množstvo tepla, ktoré sa vyvinie dokonalým spálením jednotkového množstva paliva; (kg), zmenšené o výparné teplo vody, ktoré vzniklo spálením vodíka, prípadne uhlíkov obsahujúcich v palive a vody, ktorú palivo obsahovalo už pred spálením.

Vzťah medzi spaľovacím teplom  $Q_s$  a výhrevnosťou  $Q_n$ :

$$Q_n = Q_s - r \cdot m_{H_2O} \quad (3-1)$$

kde:

$r$  – výparné teplo vody; [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$m_{H_2O}$  – množstvo vody, ktoré vzniklo spálením vodíkatých zložiek paliva a vody obsiahnutej v palive pred spálením, pripadajúce na jednotkové množstvo paliva; [ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

Na stanovenie výhrevnosti tuhých a kvapalných palív sa používa kalorimeter s kalorimetrickou bombou. Analyzovaná vzorka, umiestnená v spaľovacom tégliku sa spaľuje v kyslíkovej atmosfére pod tlakom, pričom na zapálenie slúži zapaľovací drôtik. Vzrast teploty v kalorimetrickej nádobe sa meria teplomerom. Z nameraných hodnôt sa stanoví spaľovacie teplo paliva [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ].

V technickej praxi sa výhrevnosť palív často stanovuje výpočtom zo známeho elementárneho zloženia paliva. Základom pre takýto výpočet sú tepelné zafarbenia chemických reakcií spaľovania. Tepelné zafarbenie chemických reakcií :

- $C + O_2 = CO_2 + 33900 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- $2H_2 + O_2 = 2H_2O + 142000 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- $S + O_2 = SO_2 + 9253 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- $CO + 0,5O_2 = CO_2 + 10170 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O + 39700 \text{ kJ.m}^{-3}$

Zloženie tuhých a kvapalných palív býva udané v hmotnostných percentách jednotlivých zložiek chemickej analýzy (C, H, O, N, S, W, A) alebo technickej analýzy (C, V, W, A). Chemické zloženie plyných palív sa udáva v objemových percentách jednotlivých plyných zložiek (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, ...).

**Tab. 3-1** Porovnanie spaľovacieho tepla a výhrevnosti rôznych kvapalných palív

Palivo	Spalné teplo [kJ.kg <sup>-1</sup> ]	Spalné teplo [kJ.l <sup>-1</sup> ] (20°C)	Výhrevnosť [kJ.kg <sup>-1</sup> ]	Výhrevnosť [kJ.l <sup>-1</sup> ] (20°C)
Benzín	47 300	33 580 (l)	42 000 – 43 500	31 000 – 32 900
Motorová nafta	44 800	38 100 (l)	42 500	35 600
Metanol	22 884	18 120 (l)	19 900	15 900
Etanol	29 847	23 550 (l)	28 865	22 774
Propanol	33 600	26 700 (l)	30 680	
Butanol	37 334	30 230 (l)	33 075	

**Bod vzplanutia** alebo tiež teplota vzplanutia (flash point) – je najnižšia teplota, pri ktorej sa pri tlaku 0,1 MPa nad hladinou kvapalného paliva tvoria pary v dostačujúcom množstve, aby tie pri priblížení plameňa vzplanuli a hneď zhasli (horenie môže trvať maximálne 5 sekúnd), podľa tejto teploty sa stanovuje spodná medza výbušnosti, z ktorej sú odvodené štyri triedy nebezpečnosti kvapalných palív (podľa vyhl. 96/2004 Z.z., príloha 1):

- I. teplota vzplanutia do 21 °C
- II. teplota vzplanutia 21 –55 °C
- III. teplota vzplanutia 55 –100 °C
- IV. teplota vzplanutia nad 100 °C

Teplota vzplanutia je hodnotená presne stanovenou skúškou. Téglik s kvapalnou horľavinou sa riadne zahrieva, pričom sa k hladine každé 2°C priblíži predpísaným spôsobom plameň, až kým sa nad hladinou neobjaví krátke horenie. Získané hodnoty teploty z dvoch meraní sa spriemerujú, pričom skúška prebehla správne, ak rozdiely v jednom laboratóriu, vykonané na jednej vzorke, s jedným pracovníkom sa nelíšia o viac ako 8°C, alebo v dvoch rôznych laboratóriách je rozdiel menší ako 17°C. [1] Ak skúška prebehla za iného ako atmosférického tlaku, ale v rozsahu od 98,0 kPa do 104,7 kPa, tak sa teplota vzplanutia prepočíta podľa vzťahu:

$$t_c = t_0 + 0,25 \cdot (101,3 - p) \quad (3-2)$$

kde  $t_c$  v °C je bod vzplanutia korigovaný na štandardný atmosférický tlak 101,3 kPa,  $t_0$  v °C je teplota nameraná pri atmosférickom tlaku okolia  $p$  (kPa).

**Bod horenia** alebo tiež teplota horenia (fire point) – je najnižšia teplota, pri ktorej horľavá kvapalina (zahrievaná v predpísanom prístroji za stanovených podmienok skúšky) vyvinie tak veľa pár, že zmes týchto pár so vzduchom (tvoriaca sa nad hladinou tejto kvapaliny) po priblížení iniciačného zdroja (najčastejšie plameňa) vzplanie a horí bez prerušenia najmenej 5 sekúnd. Je to teda teplota, kedy pri priblížení plameňa pary nad kvapalným palivom vzplanú a horia stabilným plameňom, pretože z paliva sa už odparuje dostatočné množstvo nových pár, táto teplota je približne o 60°C vyššia ako teplota vzplanutia.

Teplota horenia je hodnotená presne stanovenou skúškou – bod horenia v otvorenom tégliku podľa Clevelanda – najnižšia teplota skúšobnej vzorky korigovaná na atmosférický tlak 101,3 kPa, pri ktorej výpary použitím skúšobného plameňa vzplanú a horenie pri určených podmienkach skúšky trvá najmenej 5 sekúnd.

**Bod vznietenia** alebo tiež teplota samovznietenia – je najnižšia teplota, pri ktorej sa kvapalné palivo samo vznieti bez priblíženia plameňa (150 – 600 °C), alebo tiež definovaná ako najnižšia teplota horúceho povrchu, pri ktorej sa optimálna zmes plynov alebo pár danej látky so vzduchom na predpísanom zariadení pri predpísanom pracovnom postupe vznieti. Teplota vznietenia je závislá na koncentrácií a tlaku kyslíka. V atmosfére čistého kyslíka sa teplota vznietenia znižuje. Niektoré chemické

látky majú teplotu vznietenia aj menšiu ako 100 °C, bežne je však teplota vznietenia najčastejšie sa vyskytujúcich plynov a pár horľavých kvapalín vyššia ako 150 °C alebo aj 250 °C.

**Tab.3- 3** Tabuľka vybraných hodnôt teploty vzplanutia a teplôt samovznietenia

<b>Materiál</b>	<b>Teplota vzplanutia [°C]</b>	<b>Teplota vznietenia [°C]</b>
Benzín automobilový	- 24	220
Etylalkohol	13	426
Maslo 82 %	320	370
Nafta motorová	60	250
Papier novinový	227	407
Polykarbonát (PC)	460	570
Riedidlo S6001	13	265

Teplota vznietenia je kritériom pre zaradenie látok do teplotných tried podľa STN 33 0371. Podľa teploty vznietenia sa určujú teplotné triedy látok:

- T1 nad 450 °C
- T2 300 –450 °C
- T3 200 –300 °C
- T4 135 –200 °C
- T5 100 –135 °C
- T6 85 –100 °C

**Biologická rozložiteľnosť** – závisí od chemického zloženia kvapalného paliva. Biologická rozložiteľnosť paliva je v podstate jeho rozklad pôsobením mikroorganizmov v prírodnom prostredí, má zásadný vplyv na skladovateľnosť paliva a na bezpečnosť.

**Viskozita** – poznáme dynamickú viskozitu [ $\text{Ns}\cdot\text{m}^{-2}$ ] a kinematickú viskozitu [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ]. Viskozita kvapalných palív (najmä olejov) sa mení s teplotou. Nízka viskozita zhoršuje mazacie vlastnosti vykurovacích olejov (mazanie vysokotlakového palivového čerpadla), zvyšuje prienik oleja do skrine palivového čerpadla. Naproti tomu sa menej viskózne palivo lepšie rozprašuje. Palivá s vyššou viskozitou sa horšie

vznecujú a majú sklon k nedokonalému spaľovaniu.

**Bod tuhnutia** – teplota, pri ktorej kvapalné palivá tuhnú, závisí na chemickom zložení a viskozite paliva (18 – 40 °C).

**Bod tečenia** – teplota, pri ktorej začína kvapalné palivo tečť (o cca 50 °C vyššia ako teplota tuhnutia).

**Obsah vody** – normy pripúšťajú 0,5 až 1 % obsahu vody podľa druhu paliva (zrážanie vody zo vzdušnej vlhkosti na stenách cisterny a počas skladovania, obsah vody spôsobuje penenie vykurovacieho oleja a nafty,...), obsah vody má vplyv na viskozitu kvapalného paliva, mazacie vlastnosti, a pod.

**Obsah síry** – je nežiadúci, zvyšuje rosný bod spalín a má vplyv na nízkoteplotnú koróziu.

**MESG** (MaximalExperimentalSafeGap, teda maximálna experimentálna bezpečná špara) – je definovaná štrbina dĺžky 25 mm oddeľujúca dva objemy s optimálnou výbušnou koncentráciou danej látky, ktorej šírka ešte neumožňuje prenos výbuchu z jednej strany na druhú. Má výrazný vplyv na ochranné systémy na zabránenie prenosu výbuchu a plameňa.

**Medza zápalnosti** (výbušnosti) – poznáme hornú (HMZ, MHZ) a dolnú (DMZ, MDZ), udáva pomer (koncentráciu) paliva a okysličovadla (kyslík, vzduch), kedy sa vytvára zápalná (výbušná) zmes.

- 4 % – 15 % – zemný plyn (resp. metán) – dokonale premiešaná zmes zemného plynu je pri 20 % koncentrácii plynu už nevýbušná (ale pozor, nedokonale premiešaná zmes výbušná byť môže!),
- 1,5 % – 80 % – acetylén,
- 4 % – 75 % – vodík,
- 0,6 % – 8 % – benzín – je výbušný aj pri veľmi nízkych koncentráciách
- 15 % – 30 % – amoniak – čpavok je výbušný až pri veľmi vysokých koncentráciách, ktoré sú akútne životu nebezpečné.



## 3.2 Ropa

Ropa je horľavá, mastná svetložltá až čierna viskózna olejovitá kvapalina tvorená zmesou uhľovodíkov, najmä alkánov, nafténov a aj arénov [26] a polárnych zlúčenín (živice, asfaltény a iné) [1]. Najmä anglická literatúra dodáva, že ropa môže byť okrem kvapalného skupenstva aj plynná alebo tuhá [13], ale bežne sa takto označuje iba kvapalná ropa. Je to zmes plyných, kvapalných a tuhých uhľovodíkov.



**Obr. 3-1** Ropa - čierne zlato

Ropa je dôležitou nerastnou surovinou a významnou ekonomickou komoditou. Neupravená ropa sa priamo ako palivo používa len veľmi zriedka (v minulosti napr. pre svietenie v jednoduchých lampách). Hodnota ropy stúpa po chemickej úprave, kedy sa z nej vyrábajú kvapalné palivá, rozpúšťadlá a mazadlá, je základnou surovinou petrochemického priemyslu. Ropa predstavuje 40 % dnešných primárnych zdrojov energie pre energetiku a dopravu, ale je aj zdrojom pre chemický priemysel, napríklad pre výrobu plastov, hnojív a pod.

O jej vzniku sa vedú rôzne dohady a teórie (anorganická teória – Mendelejev, organická teória), ale pravdepodobne vznikla rozkladom zvyškov uhynutých živočíchov a rastlín. Nachádza sa vo vrchných vrstvách zemskej kôry, kde je väčšinou viazaná na usadené horniny najčastejšie v oblasti kontinentálnych šelfov. Náleziská ropy (rezervoáre) sa najčastejšie nachádzajú pod nepriepustnými vrstvami, v hĺbkach až do 8 km pod zemským povrchom. Ropa pri ťažbe:

- prirodzene vyviera na povrch pod tlakom – ťažba samotokom,
- čerpá sa z vrtov na pevnine a morskom dne,
- vyskytuje sa v iných horninách, ktoré sa ťazia – ropné (dechtové) piesky, bridlice.

Ropa sa vyskytuje spoločne so zemným plynom a vodou. Z hľadiska slovenskej legislatívy je zaradená medzi vyhradené suroviny [20].

Medzi základné technologické charakteristiky ropy patrí hustota stanovená pri teplote 20 °C a atmosférickom tlaku, s korekciou na teplotu 4 °C (kvôli zmenám hustoty vody). V závislosti od obsahu rozpustených látok sa hustota pohybuje v rozmedzí:

- od 0,61 – 0,85 kg.m<sup>-3</sup> pre ľahké ropy,
- 0,85 – 0,93 kg.m<sup>-3</sup> pre stredne ťažké,
- až 0,93 – 1,05 a viac kg.m<sup>-3</sup> pre veľmi ťažké ropy [1].

V anglickej terminológii sa zvyknú používať štandardy ASTM – jednotky stupne API (American Petroleum Institute), ktoré určujú hmotnosť 1 ml ropy pri teplote 15,56 °C (výpočet: 1°API = 141,5 / hustota ropy v g.cm<sup>-3</sup> – 131,5) [12].

**Tab. 3-4** Príklad klasifikácie ropy podľa hustoty a porovnanie hodnôt v jednotkách SI sústavy so stupňami API ASTM systému. [4]

Typ ropy	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]	°API
Ľahká ropa	< 0,85	> 34
Stredne ťažká	0,85 až 0,93	34 až 20
Ťažká ropa	> 0,93	< 20

Obsah rozpustených látok má vplyv na spôsob jej spracovania. Ľahké ropy sú väčšinou svetlé, ťažké ropy tmavé. Farba ropy je však značne premenlivá od hnedočervenej, čiernej po žltozelenú až bezfarebnú. Index lomu ropy je 1,39 až 1,60. Má tiež fluorescenčné vlastnosti, ktoré prezrádzajú prítomnosť aromatických uhľovodíkov a jej zrelosť. Výhrevnosť ropy sa pohybuje v rozmedzí 43 – 47 MJ.kg<sup>-1</sup> [12].

Z hľadiska chemického zloženia je ropa heterogénna zmes kvapalných, tuhých a plyných uhľovodíkových a neuhľovodíkových zložiek. V rope sa rozpúšťajú takmer všetky tuhé uhľovodíky a tuky. Vo všeobecnosti možno povedať, že z chemického zloženia je tvorená približne 80 – 85 % uhlíka, 10 – 15 % vodíka, 0,5 – 6 % síry a zvyšok tvorí dusík (v stopových množstvách aj kovy). Presné chemické zloženie je závislé od miesta ťažby – teda od ložiska.

Ropa je zmesou okolo 10 000 rôznych zlúčenín, z ktorých nadpolovičnú väčšinu predstavujú kvapalné uhľovodíky (tvoria asi 80 – 90 % objemu ropy) a iné neuhlíkaté

organické zlúčeniny (4 – 5 %), hlavne obsahujúce síru (okolo štvrtiny zlúčenín), dusíkaté látky (pod 0,1 %), oxidy a tiež organické molekuly obsahujúce kovy (hlavne vanád a nikel). Medzi ostatné zložky ropy patria rozpustené organické plyny (C<sub>1</sub> – C<sub>4</sub>), ktoré tvoria desatiny až 4 % objemu. Obsah vody je taktiež variabilný od stopového množstva až po 10 %. Zastúpenie minerálnych solí hlavne chloridov sa pohybuje od 0,1 – 4 000 mg/l ale môže byť i vyššie. Ropa tiež obsahuje roztoky solí, organických kyselín a iných látok. Mechanickú prímies môžu tvoriť častice ílových minerálov, piesku alebo vápenca. Organické častice pevnej fázy sú označované ako bitúmeny alebo asfalt, zatiaľ čo označenie parafín sa používa pre uhľovodíky s reťazcom nad C<sub>17</sub>.

Uhľovodíky tvoriace ropu možno rozdeliť do troch základných skupín [12][13]:

- parafíny a alkány – nasýtené uhľovodíky s jednoduchou alebo viacnásobnou väzbou, bez cyklickej štruktúry,
- cykloparafíny – (naftény alebo alicyklické uhľovodíky) obsahujúce prvky cyklickej štruktúry,
- arény (aromatické uhľovodíky – s benzénovým jadrom),
- asfaltény, živice a ďalšie odolné látky s veľkou molekulovou hmotnosťou, tvoriace ťažkú frakciu.

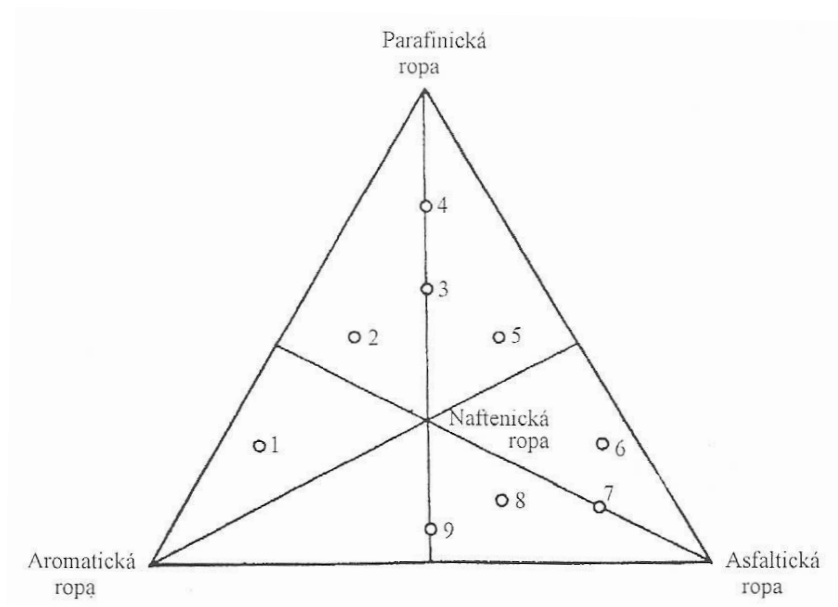
Na základe týchto základných skupín možno ropy deliť na [4]:

- intermediálne aromatické, vznikajúce v redukčnom morskom prostredí,
- nafténicko-parafinické a parafinické (cykloparafinické), najčastejšie spájané s deltovým a nemorským prostredím vzniku.

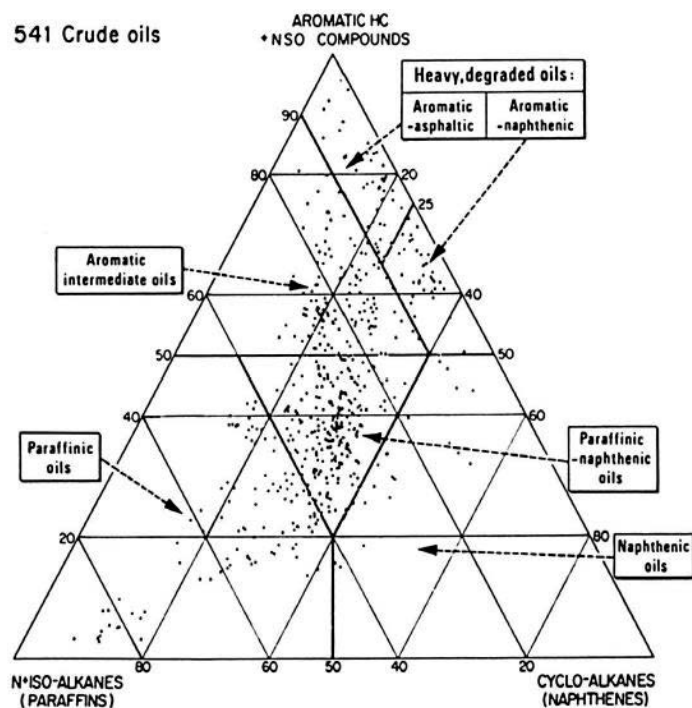
Podľa iných literárnych zdrojov možno ropu deliť do troch základných skupín podľa prevládajúcich uhľovodíkov, ktoré určujú jej rôzne fyzikálne a chemické vlastnosti [3]:

- Metánové (parafínové, alánové) – sú tvorené prevažne nasýtenými acyklickými uhľovodíkmi, ako sú metán, etán, propán, bután, pentán, hexán atď. Nasýtené acyklické uhľovodíky s počtom atómov uhlíka od 1 do 4 sú plyny, od 5 do 20 sú kvapaliny a uhľovodíky s počtom atómov uhlíka nad 20 sú tuhé látky označované ako parafíny.
- Nafténové (cykloalkánové) ropy sú tvorené cyklickými nasýtenými uhľovodíkmi.
- Aromatické ropy obsahujú aromatické uhľovodíky ako sú napr. benzén, toluén, xylén.

Obrázky nižšie (Obr. 3-3, Obr. 3-4) ukazujú dva príklady trojuholníkových klasifikačných diagramov pre hodnotenie ropy. Obr. 3-3 ukazuje zloženie a zastúpenie deviatich druhov rôp podľa pôvodu ložiska. Obr. 3-4 ukazuje zloženie šiestich druhov rôp, trojuholníkový diagram je založený na analýze 541 vzoriek rôznych rôp.



**Obr. 3-3** Príklad trojuholníkového diagramu používaného pre klasifikáciu ropy [1]. 1 – Borneo, 2 – Rumunsko, 3 – Baku, 4 – Pensylvánia, 5 – Mid Continent,, 6 – Mexiko, 7 – Gulf Gost, 8 – Groznyj, 9 – Japonsko.



**Obr. 3-4** Trojuholníkový klasifikačný diagram pre ropu (Tissot a Welte 1984). [4]

Hodnotenie a klasifikácia ropy je komplexný proces, ale z vyššie uvedených skutočností možno vyvodit' záver o zjednodušenom spôsobe hodnotenia ropy podľa najdôležitejších ukazovateľov. Klasifikácia a hodnotenie ropy:

- Obsah síry:
  - málo sírne (bezsírne) < 0,2 hm. %
  - nízko sírne 0,2 – 0,5 hm. %
  - sírne 0,5 – 3 hm. %
  - veľmi sírne > 3 hm. %
- Hustota:
  - ľahká ropa – obsahuje viac benzínových produktov – na palivá,
  - ťažká ropa – obsahuje viac asfaltov a olejových produktov
- Podľa dominujúcich uhľovodíkov:
  - parafinická,
  - alkánická,
  - cyklánická,
  - aromatická
- Hodnotenie podľa destilačného zvyšku: či je parafinického alebo asfaltového pôvodu.

Klasifikácia a hodnotenie ropy (z pohľadu svetových trhov):

- zmiešaná ropa **Brent**, zahrňujúca 15 druhov ropy z nálezísk v Severnom mori. Za cenu tohto typu ropy sa väčšinou predáva ropa z Európy, Afriky a Blízkeho východu určená pre spotrebu na západe.
- **West Texas Intermediate** (WTI), za ktorej cenu sa predáva severoamerická ropa.
- **Dubai**, za ktorej cenu sa predáva blízkovýchodná ropa určená pre ázijsko-pacifickú oblasť.
- **Tapis** (z Malajzie), za ktorej cenu sa predáva ľahká ropa z Ďalekého východu.
- **Minas** (z Indonézie), za ktorej cenu sa predáva ťažká ropa z Ďalekého východu.
- **OPEC** zahŕňajúci druhy:
  - Arab Light (Saudská Arábia),
  - Bonny Light (Nigéria),
  - Fateh (Spojené arabské emiráty),
  - Isthmus (Mexiko, nepatrí do OPECu),

- Minas (Indonézia),
- Saharan Blend (Alžírsko),
- Tia Juana Light (Venezuela).

### 3.2.1 Vznik ropy

Vznik ropy je veľmi komplikovaný súbor procesov prebiehajúcich vo veľkých hĺbkach dlhé obdobia, čo sťažuje ich pozorovanie a napodobenie v laboratórnych podmienkach. V minulosti sa názory na vznik ropy rozchádzali. Jej vznik sa pokúšali vysvetliť dve navzájom si odporujúce teórie – anorganická a organická. Organický pôvod presadzoval pôvod ropy z organickej hmoty (tzv. biogénny pôvod) a druhý, ktorý obhajoval jej anorganický pôvod. Dnes je známe, že väčšina ropy vzniká hlavne rozkladom planktonických organizmov bez prístupu kyslíka [14], teda biogénne, čo bolo potvrdené geochemickým výskumom izotopov uhlíka.

**Anorganická teória** (Mendelejev) – táto teória tvrdí, že ropa vznikla pôsobením prehriatej pary na karbidy ťažkých kovov v časoch, keď sa vyskytovali blízko zemského povrchu. V prospech tejto teórie svedčí jednak laboratórna príprava pevných, kvapalných a plyných uhľovodíkov z karbidov uránu, lantánu aj céru, a jednak neustály únik metánu z vnútra Zeme v niektorých oblastiach.

**Organická teória** – táto teória tvrdí, že ropa vznikla rozkladom obrovského množstva odumretých tiel drobných organizmov za priaznivých podmienok (vysoký tlak, určitá teplota, bez prístupu vzduchu). Rozklad prebiehal postupne v krokoch: 1. kerogén, 2. živica, 3. ropa a zemný plyn. V prospech tejto teórie svedčia zistenia, že mladšia ropa sa veľkou relatívnou molárnou hmotnosťou, zvýšeným obsahom kyslíka, síry a dusíka a veľkým obsahom asfaltu približuje pôvodnému organickému materiálu. Čím je ropa staršia, tým je ľahšia, obsahuje menej asfaltu a viac uhľovodíkov. Ako dôkazy biogénneho pôvodu ropy sa taktiež uvádzajú aj rovnaké pomery n-alkánov a izo-alkánov, rovnaké izoméry, optická aktivita (ľavotočivosť), zhodný pomer  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  atď.

### 3.2.2 Výskyt a ťažba ropy

Niekedy existovali lokality, kde ropa prirodzene vytekala na zemský povrch, dnes sú ekonomicky nevyužiteľné. V dnešnej dobe sú takéto ropné pramene na území Slovenska napríklad na Kysuciach – Korniansky ropný prameň (Obr. 3-5), vo svete

napr. v Kalifornii. Dnes sa ropa získava najmä pomocou vrtov z hlbšie sa nachádzajúcich ložísk umiestnených v ropných pasciach. Väčšinou sa v nálezisku spoločne s ropou nachádza aj zemný plyn a voda, ktoré sú pod tlakom. Spočiatku možno ropa prúdi z ložiska pod tlakom, alebo pomaly vyteká (zemný plyn je zdrojom potrebného tlaku). Takýto spôsob získavania ropy sa nazýva primárny spôsob ťažby. Zvyčajne je možné takto získať približne 20 % ropy obsiahnutej v nálezisku.



**Obr. 3-5** Korniansky ropný prameň

Postupne však klesá tlak až do bodu, kedy je potrebné pristúpiť k sekundárnemu spôsobu ťažby, ako napríklad čerpanie ropy pomocou čerpadiel, alebo udržiavanie ložiskového tlaku injektážou buď spätným pumpovaním zemného plynu, vzduchu, vody, prípadne CO<sub>2</sub>. Primárnymi a sekundárnymi metódami je celkovo možné vyťažiť 25 – 35 % celkového množstva ropy obsiahnutej v nálezisku.

Ak už ani sekundárne metódy nestačia na udržanie produkcie a ak je ťažba ešte stále ekonomická (čo závisí od aktuálnej ceny ropy na svetových trhoch, jej kvality a výšky ťažobných nákladov) nastupujú terciárne metódy ťažby, ktorých princípom je zníženie viskozity zostávajúcej ropy, väčšinou injektážou horúcej vodnej pary alebo detergentov, niekedy sa ropa tiež zohrieva zapálením časti ropného ložiska. Terciárne metódy dovoľujú vyťažiť ďalších 5 – 15 % ropy v nálezisku.



**Obr. 3-6** Ťažba ropy na pevnine

Ak sa ropa nachádza obsiahnutá v nejakej inej nerastnej surovine, napríklad v ropných pieskoch, takýto materiál s obsiahnutou ropou sa ťaží v povrchových baniach. Ropné (dechtové) piesky sú zmesi ílu, piesku, vody a bitúmenov. Sú to v podstate piesky alebo pieskovce nasýtené ropnými látkami – súhrnne nazývané bitúmeny. Ťažba prebieha v povrchových baniach, vyťažený materiál sa drví a mieša s horúcou vodou a získané bitúmeny sa usádzajú na povrchu (spôsobuje to rozdiel hustôt bitúmenov a vody). Vo všeobecnosti možno povedať, že takáto ťažba je ekonomicky nákladnejšia ako ťažba pomocou vrtov, preto je závislá na aktuálnej cene ropy na svetových trhoch. Pre získanie jedného barelu ropy je nutné spracovať približne 2 tony ropných pieskov. Najrozsiahléjšie náleziská sú v kanadskej provincii Alberta a vo Venezuele.



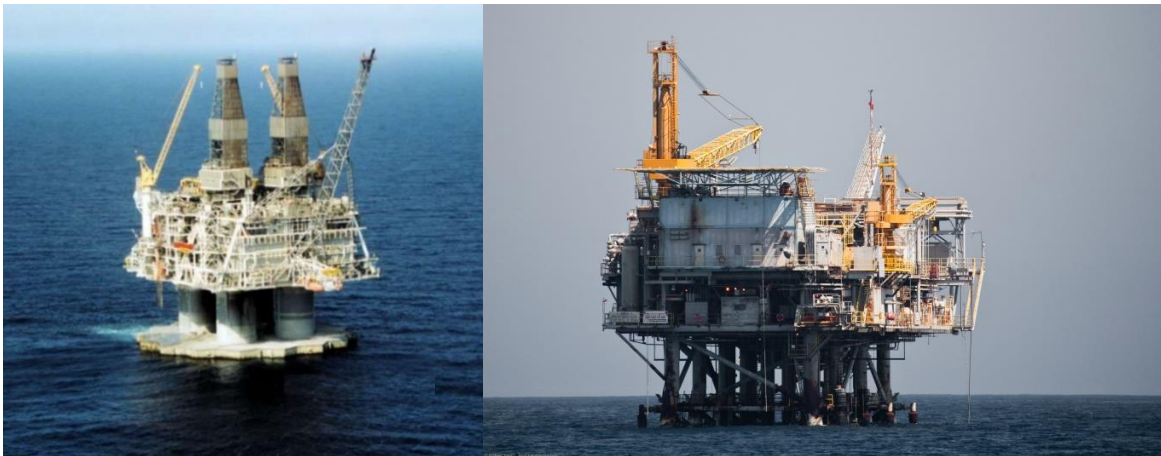


Obr. 3-7 Náleziská ropných (dechtových) pieskov v Kanade. [29]

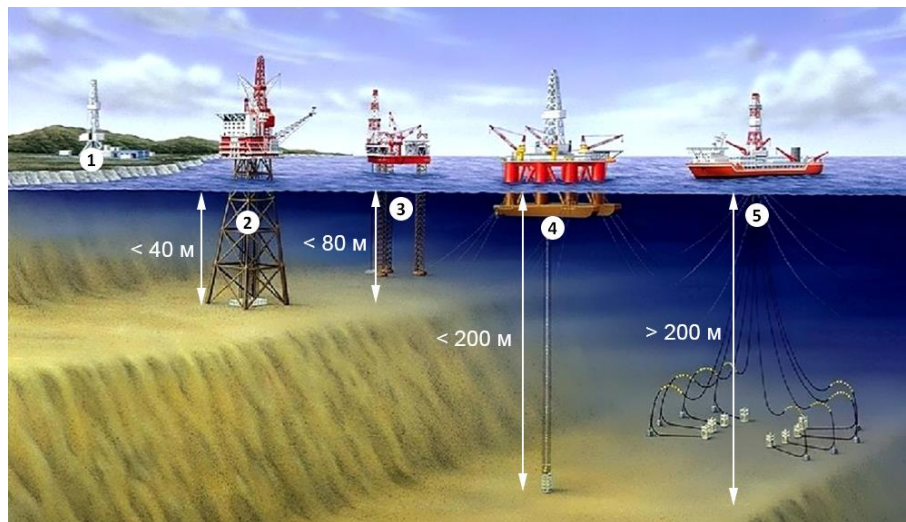


Obr. 3-8 Ťažba a spracovanie ropných pieskov

Väčšina ropy sa ťaží na pevnine – asi 3/4 celkovej produkcie. Nárast cien ropy po ropnej kríze v 70. rokoch 20. storočia umožnil ťažobným spoločnostiam vykonávať nákladnejšiu ťažbu v oblastiach plytkých morských ťelfov, odkiaľ dnes pochádza približne 1/4 ropy a 1/5 plynu. Ťažba a najmä vrtanie na morskom dne je však 6 až 7 krát nákladnejšie ako na pevnine [12].



**Obr. 9** Ťažba ropy na mori. [28]



**Obr. 3-10** Spôsoby ťažby ropy na morskom dne: 1 – ťikmé vrty na pobreží, 2 – stacionárne platformy, 3 – plávajúce platformy s podporou, 4 – plávajúce platformy kotvené o morské dno, napr. typ TLP, 5 – vrtné a ťažobné plavidlo.

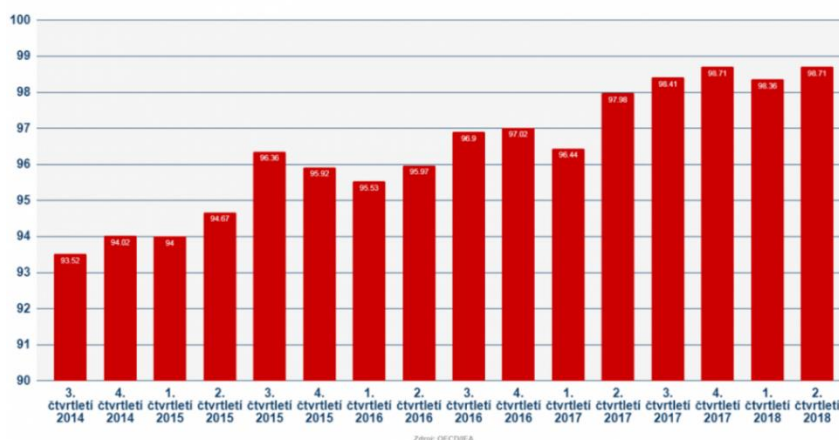
Najväčšie množstvo overených zásob ropy sa nachádza v Arabských krajinách, v Saudskej Arábii, Iraku a v Kuvajte (nachádza sa tu približne 2/3 celkových známych zásob). Významné zásoby sa nachádzajú v Rusku, najmä na Sibíri, v USA a vo Venezuele, v Kanade sú významné náleziská ropných pieskov, na africkom kontinente sa ropa vyskytuje hlavne v Líbyi a Nigérii. V Európe sú najvýznamnejšie ložiská pod

morským dnom pri pobreží Nórska a Veľkej Británie. Prehľad najväčších producentov ropy za rok 2020 je spracovaný v nasledujúcej tabuľke.

**Tab.3- 5** Producenti ropy (za rok 2020). [21]

Krajina	Ročná ťažba [milión ton/rok]	Podiel na ročnej svetovej produkcii [%]
Saudská Arábia	540	13,12
Rusko	525	12,75
USA	440	10,69
Čína	208	5,05
Kanada	193	4,69
Kuvajt	165	4,01
Venezuela	155	3,76
Spojené arabské emiráty	153	3,72
Irak	153	3,72
Irán	151	3,67
Zvyšok sveta	1434	34,83

Celosvetová denná kapacita ťažby ropy sa za posledných 50 rokov takmer zdvojnásobila (dnes skoro 100 miliónov barelov denne, takmer 60 % z tejto produkcie smeruje do sektoru dopravy), ročne narastá požiadavka na ťažbu o takmer 1,5 %. Nárast dennej spotreby ropy ilustruje aj Obr. 3-11.



**Obr. 3-11** Svetový dopyt po rope (v miliónoch barelov denne). [21]

Na Slovensku sa taktiež ťažila ropa, v Gbeloch na Záhorí sa ťažilo menej ako

100 000 ton ročne vysokokvalitnej ropy, ktorá obsahovala veľmi malo sírnych zlúčenín. V dnešnej dobe je Slovensko už len spracovateľom ropy, ktorá k nám prúdi z Ruskej federácie ropovodom Družba, na Slovensku sa ročne spracuje asi 5,5 mil. ton ropy. Začiatky prieskumu a ťažby ropy na Slovensku sú spájané s menom Ján Medlena, ktorý v roku 1913 využíval výrony ropného plynu na vykurovanie svojho domu jednoduchým spôsobom. Výbuch primitívneho zariadenia upozornil štátne orgány na možnú prítomnosť ropy a následný geologický vrt potvrdil ropu v hĺbke 163 až 168 m. Prvá sonda mala značnú výdatnosť 15 ton ropy za deň. Do konca 1. svetovej vojny sa vyťažilo 29 362 ton ropy.

Po vzniku 1. ČSR pokračovali prieskumné činnosti a rozvoj ťažby ropy. Medzivojnové obdobie bolo turbulentné a ovplyvňované svetovou hospodárskou krízou, odbytovými problémami v rafinériách. V rokoch 1919 - 1938 vyťažili v Gbeloch 214 205 ton ropy, čo predstavovalo 71 % z ropy vyťaženej na celom území ČSR. Produkcia zemného plynu dosahovala denne 2 - 3 tis. m<sup>3</sup> a využívala sa na doťažovanie ložísk.

Vojnové obdobie Slovenského štátu znamenalo prechod riadenia ťažby do prenájmu nemeckej spoločnosti DEA a z pochopiteľných dôvodov zdvojnásobenie ťažby ropy. Súčasťou tohto úsilia bola aj modernizácia vrtných prác. V povojnovom období sa ťažobné prevádzky museli vysporiadať s odvezením technologických zariadení. Konsolidácia bola rýchla a postupne začala rásť produkcia z nových ložísk až na úroveň 80 tisíc ton ropy ročne. Od 50. rokov významne rástla aj ťažba a využívanie zemného plynu a kondenzátov. V 60. rokoch došlo k recesii prieskumnej činnosti a nadväzne aj produkcie. V 70. rokoch sa začali budovať podzemné zásobníky na prebytky zemného plynu na strategické skladovanie, čo je aj v súčasnosti dôležité pre energetickú bezpečnosť. Na Slovensku sa súvrstvia obsahujúce ropu nachádzajú v Záhorskej nížine, kde sú viazané na Viedenskú panvu. Ďalšou oblasťou s náleziskami ropy je Panónska panva na východnom Slovensku s ložiskami v oblasti Senného, Stretavy a Ptrukše. Výskyty ropy sú ďalej známe i z rozhrania Centrálnokarpatskej paleogénnej panvy a bradlového pásma v Spišsko-šarišskom medzihorí, kde sa nachádza ložisko Lipany. Ropa bola nájdená aj na viacerých miestach vo flyšovom pásme (potvrdené vrtmi) napr. Miková na východnom Slovensku, známy prirodzený výver v Korní na Kysuciach.

Ročne zo záhorských vrtov v súčasnosti vyprodukuje 56 000 ton ropy, 10 500 ton gazolínu a 254 miliónov kubických metrov zemného plynu. Množstvo ropy ťaženej

na Slovensku nikdy nepostačovalo potrebám a ropa musela byť nakupovaná v zahraničí.

Rozvoj priemyslu v 19. storočí si vyžadoval využívanie nových zdrojov energie. Popri uhlí sa po začatí ťažby ropy v USA začal veľký rozvoj ťažby a neskôr aj spracovania ropy. V začiatkoch bol podstatný záujem o petrolej na svietenie a benzín. História spracovania ropy na Slovensku sa začala písať skôr ako jej ťažba. Začiatok je spojený so vznikom spoločnosti Apollo, ktorá vznikla v roku 1895 a v roku 1896 postavila a začala prevádzkovať rafinériu v Bratislave.

Rafinéria Apollo prešla počas svojej histórie obdobiami veľkého rozvoja, musela prekonať medzivojnovú krízu, nemeckú správu počas vojnových rokov i tragické a ničivé bombardovanie na konci 2. svetovej vojny v roku 1944. V povojnových rokoch ešte pracovala, ale veľký rozvoj spracovania ropy nastal až po rozhodnutí vybudovať nový závod Slovnaft v inej lokalite Bratislavy a po zabezpečení trvalého zdroja ropy z vtedajšieho ZSSR.

V roku 1936 bola založená Štátna rafinéria minerálnych olejov v Dobovej pri Banskej Bystrici, produkovať začala v roku 1938. Na konci vojny bola silne poškodená spojeneckým bombardovaním. Po vojne vznikla spoločnosť Petrochema, ktorá spracovávala najmä slovenskú nízkosírnu ropu.

Najväčší rozvoj spracovania ropy na Slovensku je spojený s vybudovaním rafinérskych a neskôr petrochemických kapacít v Slovnafte Bratislava v 60. až 80. rokoch 20. storočia. Po roku 1989 vznikla akciová spoločnosť Slovnaft, ktorá sa veľkými investíciami zmodernizovala na jednu z najmodernejších rafinérií Európy so súčasnou kapacitou 6 mil. ton ropy ročne [27].

### 3.2.3 Spracovanie ropy

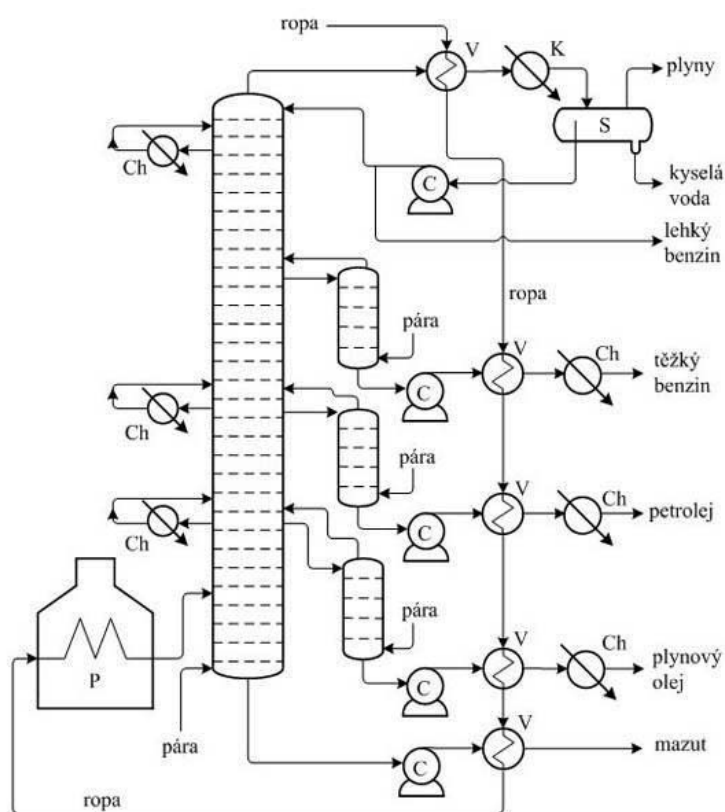
Ropa sa spracováva v rafinériách. Základom spracovania je frakčná destilácia (atmosférická a vákuová), pri ktorej sa oddeľujú jednotlivé skupiny uhľovodíkov podľa ich bodu varu.

**Atmosférická destilácia** – získavajú sa plynné uhľovodíky (metán, etán, propán, bután), benzín, petrolej a plynový olej (frakcie v rozmedzí teplôt 50 – 360 °C), po atmosférickej destilácii ostáva destilačný zvyšok – mazut.

Frakcie:

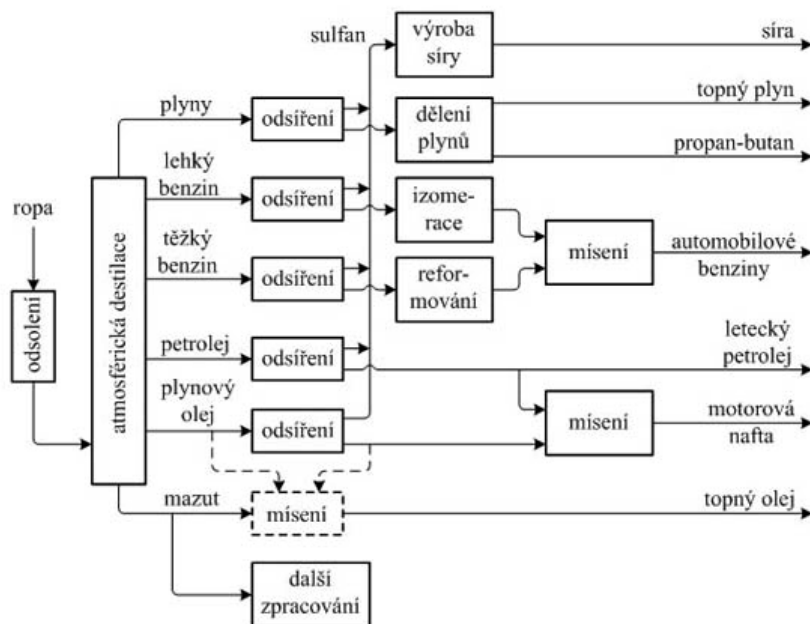
- Propán, bután: 30 – 70 °C, C<sub>5-7</sub>.

- Benzín (15 – 30 %): 40 – 200 °C, C<sub>6-10</sub> – ten sa potom v ďalšej kolóne delí na frakcie: ľahký (C<sub>5</sub> – C<sub>7</sub>), stredný (C<sub>6</sub> – C<sub>8</sub>) a ťažký benzín (reformovaním sa z neho vyrába automobilový benzín) (C<sub>7</sub> – C<sub>10</sub>).
- Petrolej (10 – 15 %): 150 – 300 °C, C<sub>10-15</sub> – letecký benzín.
- Plynový olej (15 – 25 %): 200 – 300 °C, C<sub>10-20</sub> – motorová nafta.
- Mazut (40 – 45 %): postupuje ďalej do vákuovej destilačnej kolóny.



**Obr. 3-12** Schéma atmosférickej destilačnej kolóny pre spracovanie ropy [23]. C – čerpadlo, S – separátor, K – kondenzátor, P – rúrková pec, V – výmenník tepla, CH – chladič.

Produkty atmosférickej destilácie, teda frakčnej destilácie pri atmosférickom tlaku, ktorá prebieha v jednej alebo viacerých kolónach, sú teda obvykle rafinárske plyny, ľahký benzín, ťažký benzín, petrolej, plynový olej a ako destilačný zvyšok mazut. Schematické znázornenie produktov je uvedené na nasledujúcom obrázku.



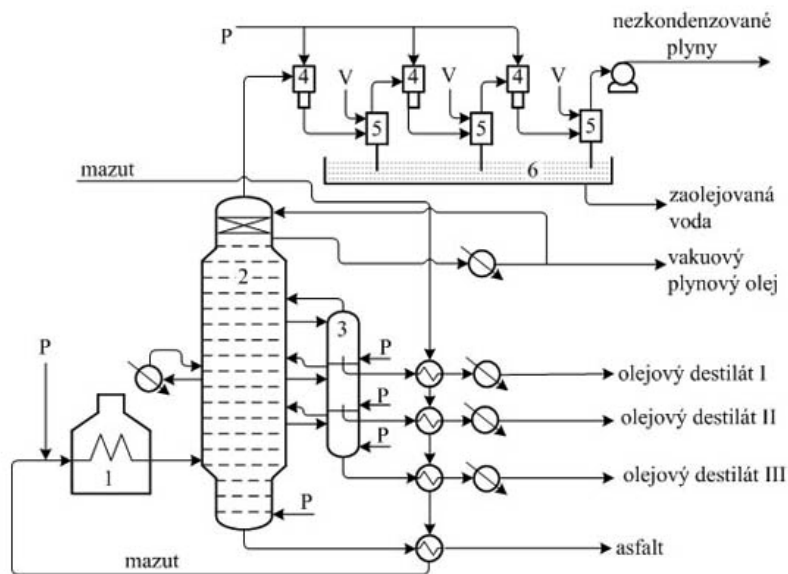
**Obr. 3-13** Schéma spracovania frakcií z atmosférickej destilácie. [23]

Jednotlivé destiláty sa väčšinou najskôr pomocou hydrogenačnej rafinácie odsírujú a vznikajúci sulfán sa v tzv. Clausových jednotkách spracováva na síru. Rafinérské plyny sa rozdeľujú na vykurovacie plyny a na propán a bután. V prípade ľahkého benzínu sa väčšinou pomocou izomerizácie zvýši jeho oktánové číslo a potom sa používa ako zložka do automobilového benzínu. Ťažký benzin je vedený najskôr na jednotku reformovania, kde dochádza taktiež k zvýšeniu oktánového čísla a následne pokračuje na jednotku, kde dochádza k miešaniu automobilových benzínov.

Petrolej je používaný ako pohonná hmota pre letecké motory alebo ako zložka do motorovej nafty. Hlavnou zložkou motorovej nafty je plynový olej. Mazut, ktorý je získavaný ako zvyšok z destilačného procesu, sa niekedy používa priamo alebo po úprave vlastností (hlavne bodu tuhnutia) ako ťažký vykurovací olej. Úprava vlastností je docielená prídavkom ľahšej frakcie, ktorou môže byť odsírený alebo neodsírený plynový olej. Väčšinou je však mazut ďalej spracovávaný vákuovou destiláciou.

**Vákuová destilácia** – Mazut, ktorý je zvyšok z atmosférickej destilácie ropy (teplota varu zložiek je nad 300 °C) sa ďalej spracováva vo vákuovej destilačnej kolóne. Vákuovou rektifikáciou sa z mazutu vydestiluje 50 až 60 % olejových frakcií. Pri vákuovej destilácii sa pracuje so zníženým tlakom 5 – 7 kPa na hlave kolóny (niektoré literárne zdroje udávajú hodnotu tlaku 2 – 10 kPa). Horúci mazut odťahovaný

zo spodku atmosférickej kolóny sa čerpadlom nastrekuje cez rúrkovú pec do vákuovej kolóny, kam vstupuje s teplotou okolo 400 °C. Z hlavy kolóny odchádzajú pary vákuového plynového oleja (VPO) spolu s vodnou parou. Bočnými odťahmi sa odvádzajú 2 až 3 olejové frakcie. Destilačný zvyšok je ďalej spracovaný hydrogenačnými rozkladnými procesmi na ľahšie uhľovodíky alebo oxidačnými na asfalt, ktorý sa po úprave používa ako cestný, alebo izolačný asfalt. Vákuová kolóna má typicky menší počet destilačných poschodí a väčší priemer, čo je dané tým, že objem pár pri nižšom tlaku je väčší ako pri atmosférickom tlaku. Znížením pracovného tlaku vo vákuovej destilačnej kolóne sa znižuje aj bod varu prítomných zlúčenín a preto je možné z mazutu pri teplotách do 360 – 400 °C vydestilovať ďalšie frakcie bez ich termického rozkladu. Schéma vákuovej destilácie je zobrazená na nasledujúcom obrázku.



**Obr. 3-14** Schéma vákuovej destilácie mazutu [23]. 1 – rúrková pec, 2 – vákuová kolóna, 3 – bočné odťahy (kolónky), 4 – parný ejektor, 5 – barometrický kondenzátor, 6 – hydraulická uzávierka, P – para, V – chladiaca voda.

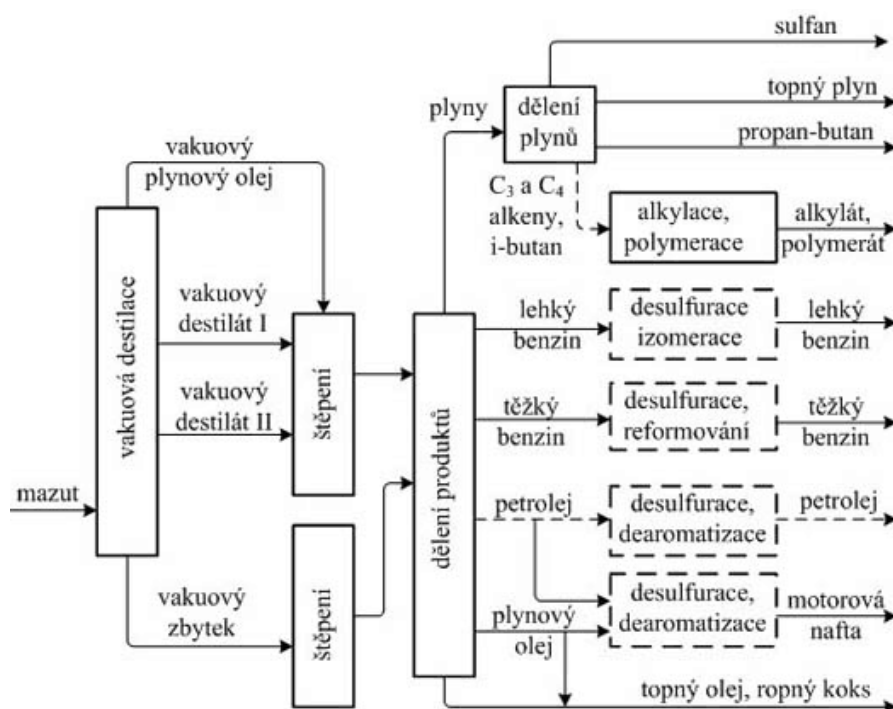
Výstupom vákuovej destilácie sú obvykle dva až tri bočné destiláty, vákuový plynový olej a neskondenzované plyny. Spodkom vákuovej kolóny je odčerpávaný vákuový zvyšok – asfalt. Vákuové destiláty a zvyšky sú premieňané na pohonné hmoty pomocou štiepných procesov (krakovanie). Vákuové destiláty sú najčastejšie štiepené pomocou fluidného katalytického krakovania, niekedy sa používa tiež hydrokrakovanie. Vákuové zvyšky sú štiepené pomocou tzv. visbreakingu alebo



koksovaním.

Vákuové zvyšky je možné po zmiešaní s ľahšími frakciami používať ako ťažké vykurovacie oleje, ďalej je z nich možné vyrábať vodík potrebný pre hydrorafinačné a hydrokrakovacie procesy. Môžu byť použité taktiež na výrobu cestných a iných asfaltov.

Hlavnými produktmi štiepných procesov sú obvykle frakcie využiteľné pri výrobe motorových a iných palív. Schematický diagram spracovania vákuových destilátov a zvyškov na palivá je znázornený na obrázku nižšie.



**Obr. 3-15** Príklad blokovej schémy spracovania mazutu v palivárskej rafinérii so štiepnymi procesmi. [23]

Ako už bolo spomenuté, v súčasnej dobe je hlavné využitie produktov spracovania ropy v oblasti energetiky a dopravy. Nasledujúca tabuľka ukazuje porovnanie hlavnej vlastnosti palív pre energetiku – výhrevnosti.

**Tab. 3-6** Porovnanie výhrevnosti produktov spracovania ropy.

Palivo	Spalné teplo [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	Výhrevnosť [MJ.kg <sup>-1</sup> ]
Benzín	46,5 – 48,14	43,12 – 44,79
Petrolej	46,05 – 46,89	43,02 – 43,96

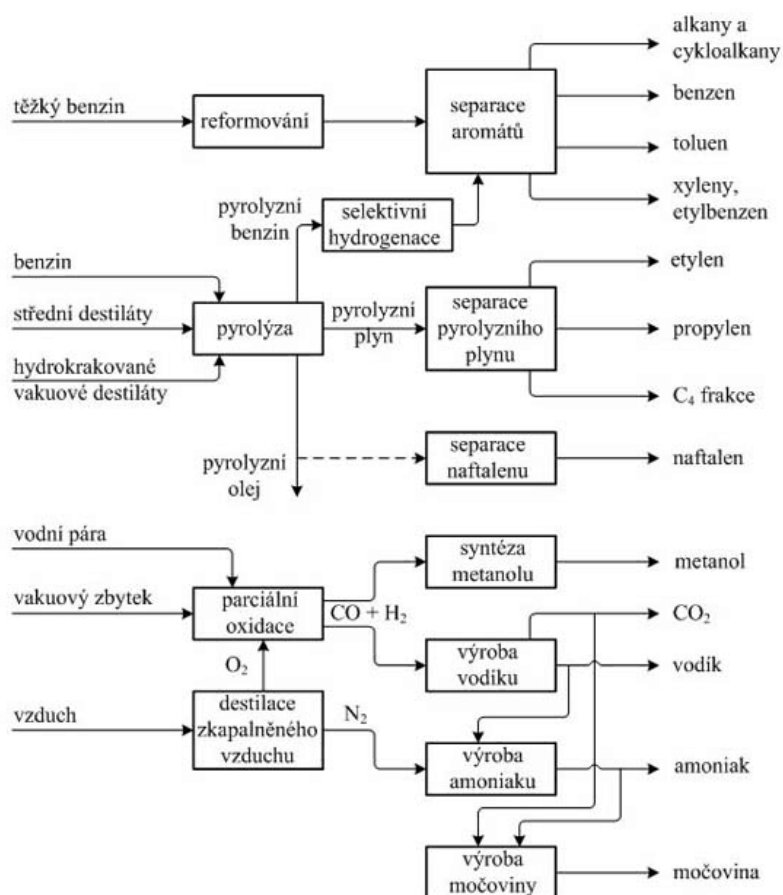
Motorová nafta	43,96 – 46,05	41,14 – 43,12
Mazut	41,83 – 46,05	41,44 – 44,79
Ropa	41,83 – 48,56	41,44 – 45,00
Decht	38,09 – 39,77	36,84 – 38,51

Ďalším typom spracovania ropných frakcií je produkcia petrochemikálií. Základnými petrochemickými produktami sú:

- alkény (etylén, propylén, butény,...) a diény,
- aromatické zlúčeniny (benzén, toluén,...),
- syntézny plyn a vodík.

Petrochemické závody odoberajú z rafinérií niektoré frakcie, z ktorých následne vyrábajú organické aj anorganické chemikálie. Z dôvodu zníženia dopravných nákladov bývajú tieto závody často súčasťou alebo aspoň v blízkosti rafinérií.

Zjednodušená bloková schéma spracovania ropných frakcií na základné druhy petrochemikálií je zobrazená na nasledujúcom obrázku.



**Obr. 3-16** Bloková schéma spracovania ropných frakcií. [23]

### 3.3 Vykurovacie oleje

Vykurovacie oleje sú najpoužívanejším ropným kvapalným palivom v energetike (najmä v západnej Európe). Vykurovacie oleje sú produkty spracovania ropy, dechtov, priameho spracovania uhlia a horľavých bridlíc. Je to zmes uhľovodíkov, ktoré v energetických zariadeniach dosahujú čisté spaľovanie, najmä vďaka kontinuálnemu horeniu.

Vykurovací olej sa ľahko vznecuje, čo je prospešná vlastnosť pre dokonalé spaľovanie, ale nebezpečná vlastnosť najmä z pohľadu skladovania a predhrievania pred spaľovaním (na zníženie viskozity). Teplota tuhnutia závisí najmä od obsahu parafínu (niekedy býva len 25°C), čo ovplyvňuje ich čerpatelnosť a prípravu palivovej zmesi. Čerpatelnosť olejov – ich hustota a viskozita závisia od teploty, preto je častokrát nutný predohrev olejov na teplotu 50 – 80 °C. Vykurovacie oleje sa používajú buď ako hlavné samostatné palivá, alebo ako nabiehajúce palivo pre kotly na tuhé palivá, na stabilizáciu spaľovania ťažšie spáliteľných palív, v zdrojoch ktoré slúžia na vykryvanie špičiek potrieb tepla – dobré dynamické vlastnosti energetických zariadení na vykurovací olej.

Rozdelenie vykurovacích olejov:

- extra ľahký – vykurovacia nafta (zafarbená) – použitie v rozprašovacích horákoch,
- ľahký – použitie v rozprašovacích a odparovacích horákoch,
- stredný – použitie v odparovacích horákoch,
- ťažký – mazut – ťažko zapáliteľný (vysoká teplota odparovania a zapálenia),
- decht – ťažko zapáliteľný, horí s vysokou teplotou plameňa.

Vykurovacie oleje majú vo všeobecnosti veľmi vysokú výhrevnosť, základné vlastnosti a približné podiely chemických zložiek olejov ukazuje nasledujúca tabuľka.

**Tab. 3-7** Vlastnosti a zloženie vykurovacích olejov

Druh oleja	Hustota [kg.m <sup>-3</sup> ]	Zloženie					Výhrevnosť Qi [MJ.kg <sup>-1</sup> ]
		%					
		C	H	O	N	S	
Extraľahký	0,84	85,9	13,0	0,4	-	0,7	42,7
Ľahký	0,88	85,5	12,5	0,8	-	1,2	42,3

Stredný	0,92	85,3	11,6	0,6	-	2,5	40,8
Ťažký	0,97	84,0	11,0	1,1	0,4	3,5	40,2
Decht	1,05	89,0	6,5	1,7	1,2	0,8	37,7

Súhrn všetkých technicky významných vlastností vykurovacích olejov pre energetiku spolu s príslušnou normou pre skúšobnú metódu sú ukázané na nasledujúcom obrázku.

Vlastnosť	Skúšobná metóda
Hustota pri 20°C	STN EN ISO 3675; STN EN ISO 12185
Destilačná skúška	STN EN ISO 3405
Viskozita pri 40°C	STN EN ISO 3104
Viskozita pri 80°C	STN EN ISO 3104
Viskozita pri 100°C	STN EN ISO 3104
Viskozita pri 150°C	STN EN ISO 3104
Bod tekutosti	STN ISO 3016; ASTM D 97
Bod tuhnutia	STN 65 6072
Bod vzplanutia PM	STN EN ISO 2719
Bod vzplanutia podľa Clevelanda	STN EN 22592
Obsah síry	ASTM D 1552
Obsah vody	STN 65 0330; STN 65 6062
Mechanické nečistoty	STN 65 6080
Uhlíkový zvyšok	STN EN ISO 10370; STN 65 6210; ASTM D 189
Obsah popola	STN EN ISO 6245
Kyseliny a zásady rozpustné vo vode	STN 65 6071
Výhrevnosť	STN 65 6169

Vlastnosť	Skúšobná metóda
Hustota	STN EN ISO 3838
Vákuová destilácia	STN 65 6208
Obsah dusíka	ASTM D 5762
Vanád	ASTM D 5185 (modifikovaná metóda)
Nikel	ASTM D 5185 (modifikovaná metóda)
Železo	ASTM D 5185 (modifikovaná metóda)
Meď	ASTM D 5185 (modifikovaná metóda)
Sodík	ASTM D 5185 (modifikovaná metóda)
Obsah asfalténov	STN 65 6073
Obsah uhlíka, vodíka	ASTM D 5291

**Obr. 3-17** Súhrn technicky významných vlastností vykurovacích olejov. [28]

**Tab.3-8** Kvalitatívne ukazovatele pre ľahký vykurovací olej [28].

Kvalitatívne ukazovatele		Požadovaná hodnota	Skúšobná metóda
Hustota pri 20 °C, kg/m <sup>3</sup>	Max.	910	STN EN ISO 12185
Kinematická viskozita pri 40 °C, mm <sup>2</sup> /s		3,2 - 18	STN EN ISO 3104 AC
Bod vzplanutia v uzavretom téglíku, °C	Min.	66	STN EN ISO 2719
Obsah síry, % hm.	Max.	1,0	STN EN ISO 8754
Obsah vody, % hm.	Max.	0,5	ASTM E 203
Obsah mechanických nečistôt, % hm.	Max.	0,1	STN 65 6080
Predestilované množstvo do 350 °C, % obj.	Min.	20,0	STN EN ISO 3405
Conradsonov karbonizačný zvyšok (MCRT), % hm.	Max.	0,5	STN EN ISO 10370
Bod tuhnutia, °C			STN 65 6072
Letné obdobie (1.4.-30.9.)	Max.	10	
Zimné obdobie (1.10.-31.3.)	Max.	-5	
Výhrevnosť, MJ/kg	Min.	41,0	STN 65 6169

**Tab.3- 9** Kvalitatívne ukazovatele pre ťažký vykurovací olej [28].

Parametre	Jednotka	Skúšobná metóda	Požadovaná hodnota
Hustota pri 20 °C	kg/m <sup>3</sup>	STN EN ISO 12185	Max. 1050
Kinematická viskozita pri 100 °C	mm <sup>2</sup> /s	STN EN ISO 3104	Max. 76
Obsah mechanických nečistôt	% (m/m)	STN 65 6080	Max. 0,5
Obsah vody	% (m/m)	ASTM E 203	Max. 0,5
Obsah síry	% (m/m)	STN EN ISO 8754	Max. 1,0
Bod vzplanutia v otvorenom téglíku	°C	STN EN ISO 2592	Min. 101
Bod tuhnutia	°C	STN 65 6072	Max. 20
Uhlíkový zvyšok	% (m/m)	STN EN ISO 10370	Max. 17
Výhrevnosť	MJ/kg	STN 65 6169	Min. 39,9

### 3.3.1 Automobilový benzín

Najčastejšie použitie benzínu je v sektore dopravy. Okrem dopravy sa benzín v energetike využíva ako palivo pre motorgeneragátory, záložné zdroje a kogeneračné jednotky a štartovacie palivo pre veľké zdroje tepla. Zapaľovanie zmesi benzínu so vzduchom je najčastejšie iskrou.

Hlavné vlastnosti automobilového benzínu:

- chemická formulácia – približne  $C_xH_{1,8x}$
- prevažujúce uhľovodíky –  $C_4$  až  $C_{10}$
- rozmedzie destilačných teplôt 30 – 210 °C
- hustota 720 až 775  $kg \cdot m^{-3}$  (pri 15 °C)
- výhrevnosť 42,0 až 43,5  $MJ \cdot kg^{-1}$ , 31,0 až 32,9  $MJ/liter$
- teplota vznietenia 450 °C
- oktánové číslo VM 91 – 100 (získované výskumnou metódou – VM)
- oktánové číslo MM 82 – 90 (získované motorovou metódou – MM)
- $\lambda$  stechiometrického pomeru (vzduch/palivo) 14,7
- bod varu 30 – 210 °C, výparné teplo 290  $kJ \cdot kg^{-1}$
- medza horľavosti 0,7 – 7,0 hm.%
- iniciačná energia 90 – 150  $MJ/kmol$ , iniciačná energia iskry 0,24 MJ
- obsah uhlíka 85,5 hm.%, obsah vodíka 14,5 hm.%, obsah kyslíka až 2,7 hm.%
- tlak pár 45 – 90 kPa, bod tuhnutia pod -45°C, bod vzplanutia pod -30°C

Schválené druhy:

- Normal – BA-91 (OČ VM min.91)
- Super – BA-95 (OČ VM min.95)
- Super Plus – BA-98 (OČ VM min.98)
- Special – BA-91 (OČ VM min.91) – obsahuje prísadu AVSRA (zabraňuje rýchlemu opotrebeniu netvrdených sediel výfukových ventilov – staršie motory), označený oranžovou farbou.

Prvé tri typy majú komerčný názov Natural, nie sú farebne upravené (obvykle žlté odtiene), benzíny nadštandardnej kvality sú prifarbené (napr. modré).

Podľa Smernice Európskeho parlamentu a Rady musia v dnešnej dobe automobilové benzíny obsahovať určitý podiel biozložky, v prípade benzínov sú to biozložky na základe alkoholov, pridáva sa bioetanol, alebo etyl-terc-butyl-éter (ETBE). Podiel

biozložky postupne narastá, do januára 2020 to bolo 5 %, po januári 2020 je to 10 % biozložky (10 % podielu biozložky je hraničná hodnota, v prípade vyššieho podielu je nutnosť upraviť nastavenie spaľovacieho motora, vymeniť komponenty, ktoré biozložka rozleptáva). Označenie pre benzín sa skladá z písmena E (bioEtanol) a maximálneho percentuálneho obsahu bioetanolu v kruhu. Symbol E5 označuje benzín s maximálne 5% objemom biopaliva. Symbol E10 označuje benzín, ktorý obsahuje od 5 % do 10 % objemu biopaliva. Palivá štandardnej kvality obsahujú biozložku v podobe bioetanolu a palivá prémiovej kvality obsahujú ETBE.

**Oktánové číslo** (OČ) benzínu udáva vlastnosť paliva – odolnosť voči klopavému spaľovaniu (niekedy nesprávne označovanému detonačnému, pri vysokých teplotách a tlakoch dochádza k samovoľnému zapáleniu paliva), čím je vyššie, tým je palivo odolnejšie. Oktánové číslo závisí od uhľovodíkov, ktoré sa v benzíne vyskytujú, napr. OČ n-alkánov so zvyšujúcim sa počtom uhlíkov v molekule prudko klesá, metán OČ vyššie než 100, heptán OČ 0. Rozvetvovanie reťazcov uhľovodíkov OČ zvyšuje, hlavne ak je rozvetvenie viacnásobné.

Oktánové číslo sa zisťuje porovnávaním na skúšobnom zariadení (motor CFR s posuvným valcom) s referenčným palivom. Oktánové číslo paliva odpovedá percentuálnemu objemovému podielu čistého izooktánu ( $C_8H_{18}$  – OČ 100) v zmesi s n-heptánom ( $C_7H_{16}$  – OČ 0), ktoré sa na skúšobnom zariadení začína klopavo (detonačne) spaľovať pri rovnakom kompresnom pomere ako porovnávané palivo. Z vyššie uvedeného vyplýva, že experimentálne je možné zistiť OČ maximálne do hodnoty 100, vyššie hodnoty sa získavajú interpoláciou.

Oktánové číslo sa zisťuje:

- **Výskumnou metódou** OČVM – pri 600 otáčkach za minútu, stálom predstihu zapalovania  $13^\circ$  a teplote nasávanej zmesi  $52^\circ C$ . Je vhodné pre popis správania sa pri nízkych otáčkach.
- **Motorovou metódou** OČMM – pri 900 otáčkach za minútu, automaticky regulovanom predstihu zapalovania v rozsahu  $19 - 26^\circ$  a teplote nasávanej zmesi  $149^\circ C$ . Popisuje hlavne správanie sa pri prevádzke vo vyšších teplotách.

Skúšobné zariadenie je motor CFR F1/F2 (splňa normy ASTM D2699: Štandardná testovacia metóda pre výskum oktánového čísla paliva pre zážihové motory, ASTM D2700: Štandardná skúšobná metóda pre motorové oktánové číslo paliva pre zážihové motory, IP 236: Stanovenie klopavých charakteristík motorových

a leteckých palív – motorová metóda, IP 237: Stanovenie klopných charakteristík motorového paliva – výskumná metóda) (Obr. 3-18):

- Posúvaním valca v smere pohybu piesta je možné meniť kompresný pomer od 4,6 do 15:1
- Vrtanie valca 82,6 mm
- Zdvih 114,3 mm
- Sací objem 610 cm<sup>3</sup>
- Postup skúšky EN 25 164, EN 25 163



**Obr. 3-18** Motor CFR pre stanovenie oktánového čísla výskumnou a motorovou metódou. [21]

Základné procesné spôsoby zvyšovania oktánového čísla:

- Reformovanie – premena uhľovodíkov s malým oktánovým číslom, tj. N-alkánov a cyklánov na vysokooktánové aromáty. Produkt reformovania, tzv. reformát, má oktánové číslo až nad 100.
- Katalytické krakovanie – tepelné štiepenie ropných frakcií s vyšším bodom varu pri teplotách nad 500 °C za prítomnosti katalyzátora za vzniku prevažne nenasýtených a aromatických uhľovodíkov. Moderné jednotky fluidného



katalytického krakovania (FCC) pracujú s unášaným katalyzátorom cirkulujúcim medzi reaktorovou a regeneračnou časťou jednotky, produktom je benzín s pomerne vysokým oktánovým číslom pozdĺž celej destilačnej krivky.

- Izomerizácia – katalytický proces, pri ktorom vznikajú z nízkooktánových n-alkánov s piatimi a šiestimi uhlíkmi rozvetvené izoméry s veľkým oktánovým číslom.
- Alkylácia – syntéza vysokooktánových izo-alkánov, tzv. alkylátu. Alkylát sa vyrába reakciou alkánov s alkénmi.

Prísady do automobilových benzínov:

- Pridávané do benzínu už počas výroby aby zlacňovali výrobný proces, aby bolo s nižšími nákladmi dosiahnutých vlastností vyžadovaných normou:
  - v minulosti to boli najmä prísady na báze olova (organokovové zlúčeniny) – zvýšenie OČ, v minulosti nazývané antidetonátory (tetraetylolovo, tetrametylolovo),
  - dnes najmä antioxidanty (inhibítory oxidácie), deaktivátory kovov (najmä medi) a protikorózne prísady (oddelenie vody) a protizamrzacie prísady (alkoholy a ketóny).
- Pridávané pred distribúciou alebo tesne pred použitím.
- Detergentná zložka – látka s čistiacim účinkom (čistota sacieho ventilu, palivových dýz, karburátoru i sacieho potrubia).
- Prísady na zvýšenie oktánového čísla.
- Prísady na zvýšenie mazivostných vlastností benzínu – spolu s benzínom sa dostáva do olejového filmu na stenu valca – výrazne znižuje trenie.
- Prísada AVSRA (Anti Valve Seat Recession Additive) – proti zatĺkaniu sediel výfukového ventilu – staršie motory – obsahuje draselnú soľ kyseliny alkylsulfojantárovej.

### 3.3.2 Motorová nafta

Najčastejšie použitie motorovej nafty je v sektore dopravy. Okrem dopravy sa nafta v energetike využíva ako palivo pre motorgeneragátory, záložné zdroje a kogeneračné jednotky, štartovacie palivo pre veľké zdroje tepla a palivo pre „olejové horáky“. Zapaľovanie zmesi motorovej nafty so spaľovacím vzduchom je najčastejšie:

- v spaľovacích motoroch teplom, ktoré vzniká kompresiou,
- v olejových horákoch elektrickou iskrou alebo žeravým povrchom.

Hlavné vlastnosti motorovej nafty:

- chemická formulácia – približne  $C_xH_{1,9x}$
- prevažujúce uhľovodíky –  $C_{10}$  až  $C_{22}$
- hustota 800 až 845  $kg \cdot m^{-3}$  (pri 15 °C)
- výhrevnosť 42,5  $MJ \cdot kg^{-1}$ , 35,6  $MJ/liter$
- teplota vznietenia 250 °C
- cetánové číslo nad 51
- $\lambda$  stechiometrického pomeru (vzduch/palivo) 14,6
- bod varu 160 – 360 °C, výparné teplo 180  $kJ \cdot kg^{-1}$
- medza horľavosti 0,6 – 6,5 hm. %
- iniciačná energia 45  $MJ/kmol$
- obsah uhlíka 86,0 hm. %, obsah vodíka 14,0 hm. %, obsah kyslíka až 0,6 hm. %
- tlak pár pod 1 kPa, bod tuhnutia 0 až -32 °C, bod vzplanutia nad 55 °C

Schválené druhy:

- Motorová nafta
  - Letná nafta (15. apríl – 30. september, filtrovateľnosť do 0 °C)
  - Prechodná (1. marec – 14. apríl, 1. október – 15. november, filtrovateľnosť do -10 °C)
  - Zimná nafta (16. november – 28./29. február, filtrovateľnosť do -20 °C)
  - Arktická (podľa potreby, v našich podmienkach filtrovateľnosť až do -32 °C)
- Motorová nafta s nižšou spotrebnou daňou, napríklad pre poľnohospodárske stroje, býva farebne odlišená (napr. červená, farbivo ostáva v palivovej nádrži a palivovom systéme ešte dlho po použití takejto nafty)
- Vykurovacia nafta (solventná, farebne odlišená od motorovej nafty, platí sa za ňu nižšia spotrebná daň)

Motorová nafta sa vyrába najmä z dvoch zložiek – petrolejová frakcia (destilácia 160 – 260 °C) a plynový olej (destilácia 250 – 360 °C) – atmosférická destilácia

Podľa Smernice Európskeho parlamentu a Rady musí v dnešnej dobe motorová nafta obsahovať určitý podiel biozložky, sú to biozložky na základe esterov masných kyselín

(u nás označované ako MERO – metyl ester rastlinného oleja – najčastejšie repkového, inak povedané bionafta, v angličtine označované ako FAME – Fat Acid Methyl Ester). Po januári 2020 sa označenie motorovej nafty skladá z písmena B (bio zložka (FAME) a maximálneho percentuálneho obsahu biopaliva v štvorci. Označenie B7 znamená motorovú naftu s maximálne 7 % podielom biozložky.

**Cetánové číslo (CČ)** charakterizuje dĺžku prietahu vznietenia (čas, ktorý uplynie od okamihu vstreknutia čiastočky paliva do dostatočne zahriateho vzduchu po okamih, keď začne čiastočka horieť, prietah vznietenia trvá 1 až 4 ms, resp. v piestových spaľovacích motoroch 15 - 25 ° otočenia kľukového hriadeľa.). Čím je cetánové číslo vyššie, tým je prietah vznietenia kratší (spaľovací motor môže byť „rýchlobežnejší“). Cetánové číslo závisí od uhľovodíkov, ktoré sa v nafte vyskytujú, napr. CČ n-alkánov s 13 a viac uhlíkmi sú vysoké, rozvetvenie alkánov CČ výrazne znižuje rovnako ako vytvorenie kruhových molekúl. Cetánové číslo paliva je rovné percentuálnemu objemovému podielu cetánu ( $C_{16}H_{34}$  – CČ 100) v zmesi s alfametylnaftalínom ( $C_{11}H_{10}$  – CČ 0), ktorá má na skúšobnom zariadení rovnaký prietah vznietenia ako porovnávané palivo. Pre rýchlobežné motory sa odporúčajú palivá s cetánovým číslom 40 až 55.

Cetánový index sa počíta z hustoty a z teplôt, pri ktorých sa predestilovalo 10%, 50% a 90% skúšobného paliva.

Skúšobné zariadenie pre určenie cetánového čísla je motor CFR F5 (spĺňa normy ASTM D613 – Štandardná testovacia metóda pre cetánové číslo motorovej nafty, IP 41 – Ropné produkty – Stanovenie kvality vznietenia motorovej nafty – motorová metóda, EN ISO 5165 – Ropné produkty – Stanovenie kvality vznietenia motorovej nafty – motorová metóda) (Obr. 3-19), slúži pre stanovenie cetánového čísla v rozmedzí 15 až 100. Princíp metódy pre stanovenie cetánového čísla je zmena kompresného pomeru zmenou objemu spaľovacieho priestoru. Objem valca je korelovaný k predstihu a oneskoreniu zapálenia zmesi, ktorý môže byť priamo korelovaný k špecifickej hodnote cetánového čísla. Teda v tomto teste je rôzny kompresný pomer pre skúšobnú vzorku a referenčné palivo so známym cetánovým číslom na stanovenie oneskorenia zapálenia paliva. Kompresný pomer vzorky je ohraničený pomermi u týchto dvoch referenčných palív. Cetánové číslo vzorky paliva je určené odhadom medzi dvomi bodmi referenčného paliva.

Podmienky určovania cetánového čísla motorovou metódou podľa normy

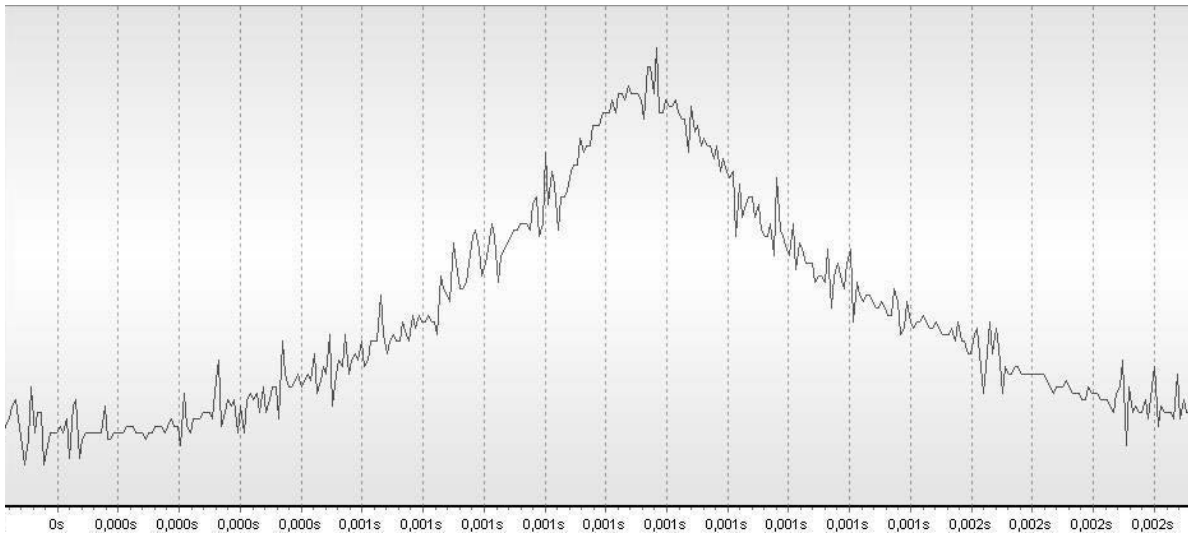
ASTM D613:

- otáčky motora za minútu –  $900 \pm 1 \%$
- časovanie vstreku –  $13^\circ$  pred hornou úvraťou piestu (BTDC – Before Top Dead Center)
- teplota chladiacej vody  $100^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$
- teplota oleja  $57^\circ\text{C} \pm 8^\circ\text{C}$
- tlak oleja 172 – 207 kPa
- teplota nasávaného vzduchu  $66^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$

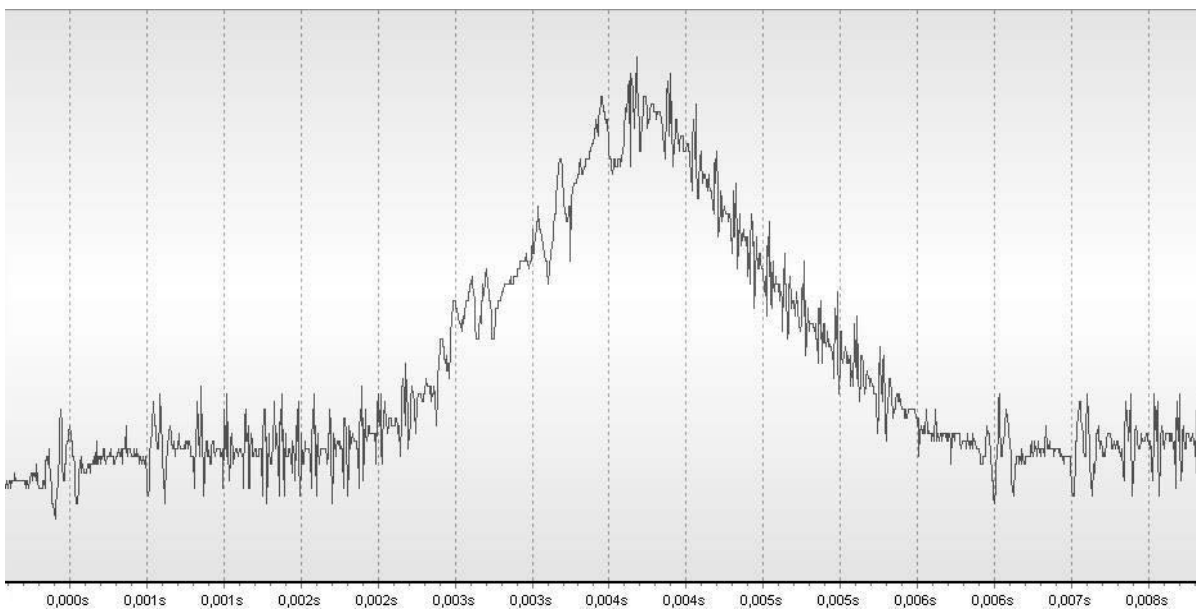


**Obr. 3-19** Motor CFR pre stanovovanie cetánového čísla. [21]

Ako už bolo spomenuté vyššie, cetánové číslo má súvis s prietahom vznietenia vstreknutého paliva do spaľovacieho priestoru. Prietah vznietenia sa pri sledovaní priebehu tlaku v spaľovacom priestore prejaví jeho poklesom (palivo sa začne odparovať, na čo spotrebovávajú teplo z komprimovaného vzduchu, pokles teploty sa prejaví poklesom tlaku). Obrázky nižšie porovnávajú priebeh tlaku v spaľovacom priestore vznetového motora pri použití štandardnej motorovej nafty a zmesi štandardnej motorovej nafty s hydrogenátom repkového oleja. Obe palivá boli spaľované s rovnakým časovaním vstreku (približne  $10^\circ$  pred hornou úvraťou), pri rovnakých otáčkach motora. Zmena zloženia paliva sa prejavila rozdielnym priebehom spaľovacieho tlaku a skrátením prietahu vznietenia.



**Obr. 3-20** Priebeh tlaku v spaľovacom priestore - štandardná motorová nafta



**Obr. 3-21** Priebeh tlaku v spaľovacom priestore - štandardná motorová nafta hydrogenát repkového oleja

Prísady do motorovej nafty:

- Pridávané do nafty už počas výroby aby zlacňovali výrobný proces, aby bolo s nižšími nákladmi dosiahnutých vlastností vyžadovaných normou
  - Modifikátory kryštalickej štruktúry parafínov (ovplyvňujú nízkoteplotné vlastnosti) – pridávanie petrolejovej frakcie.
  - Antioxidanty a prísady potláčajúce tvorbu usadenín v naftě pri skladovaní (detergentné prísady).

- Prísady na zlepšenie cetánového čísla (nitráty a peroxidy).
- Prísady do zimnej a arktickej nafty – prísady na zlepšenie mazivosti.
- Prísada na zlepšenie elektrickej vodivosti – antistatická prísada – bezpečnostné dôvody (nitráty polymérov, sírne zlúčeniny – 2-5 mg/l)
- Pridávané pred distribúciou alebo tesne pred použitím.
- Mazivostná prísada – estery mastných a karboxylových kyselín.
- Baktericídne (zabíjajú baktérie) a bakteriostatické (potláčajú reprodukciu baktérií) prísady – potlačenie bakteriálneho rozkladu nafty.
- Deemulgátory – na odstránenie disperzie vody.
- Protikorózne prísady, protipenivostné prísady.

### 3.3.3 Kvapalné biopalivá

V dnešnej dobe pri snahe docieľiť uhlíkovú neutralitu sa dostávajú do popredia biopalivá. Biopalivá sú alternatívne palivá, ktoré sú vyrábané na báze rastlinných, prípadne živočíšnych zdrojov. Biopalivá, ale vo všeobecnosti všetky alternatívne palivá možno rozdeliť do dvoch základných skupín:

- palivá priamo nahrádzajúce konvenčné kvapalné palivá v energetike a doprave,
- palivá vyrobené aspoň čiastočne na inej než fosílnej báze, ktoré sa používajú ako prísady do klasických palív.

Za alternatívne kvapalné palivá priamo nahrádzajúce klasické kvapalné palivá možno považovať napríklad:

- etanol (čistý etanol, označovaný ako E100),
- biometanol,
- neupravené rastlinné oleje (pomerné malé uplatnenie),
- estery mastných kyselín z rastlinných prípadne živočíšnych tukov (hlavne metyestery).

Za alternatívne kvapalné palivá vyrobené aspoň čiastočne na inej než fosílnej báze možno považovať napríklad:

- metanol v zmesi s konvenčným palivom,
- etanol v zmesi s konvenčným palivom
- étery, prevažne typu MTBE, ETBE, TAME, TAEE v zmesi s konvenčným palivom,

- estery (prevažne metylestery) mastných kyselín pripravené reesterifikáciou rastlinných olejov, prípadne aj živočíšnych tukov (FAME, VOME, MERO, EERO) v zmesi s konvenčným palivom.

Dôvody používania biopalív:

- Zníženie emisií skleníkových plynov, snaha o uhlíkovú neutralitu – Kjótsky protokol, Parížsky dohovor, nariadenia EÚ a pod.
- Znižujúce sa zásoby fosílnych palív = narastajúca cena ropy.
- Zvýšenie rozmanitosti zdrojov energie.
- Oživenie hospodárstva – využívanie poľnohospodárskej pôdy.

Biopalivá I. generácie:

- V dnešnej dobe sa využívajú len ako nízko percentuálne zmesi s konvenčnými palivami
- Bionafta (konkurencieschopná od ceny ropy 59,9 €/barel)
- Bioalkoholy – bioetanol, biometanol (konkurencieschopný od ceny ropy 90 €/barel)

Biopalivá II. generácie:

- Spracovanie ligno-celulózy (Švédsko, Dánsko, Španielsko)
- Fischer-Tropschova metóda na výrobu bionafty, bio-DME (dimetyléter) (Nemecko, Švédsko)

Nasledujúca tabuľka udáva porovnanie energetických obsahov rovnakého množstva rôznych palív, konvenčných aj alternatívnych. Rozdielna výhrevnosť jednotlivých druhov palív pri podmienke dodržania nominálneho výkonu energetického zdroja má vplyv na spotrebu paliva.

**Tab. 3-10** Porovnanie energetických obsahov rovnakého množstva rôznych palív. [5]

<b>Druh paliva</b>	<b>Energetický obsah</b> [%]
Motorová nafta	100
Repkový olej	97
Metylester repkového oleja (MERO)	92

Benzín	91
Etanol	58
Metanol	44

### 3.3.4 Bionafta (MERO)

Bionafta má podobné využitie ako štandardná motorová nafta, buď ako primárne palivo (zariadenia využívajúce bionaftu musia byť upravené z dôvodu poškodzovania gumových súčastí), ale v dnešnej dobe skôr ako biozložka štandardnej motorovej nafty.

Bionaftu, označovanú ako MERO (v angličtine FAME) tvoria estery mastných kyselín živočíšneho a rastlinného pôvodu. Rastlinné oleje sú chemicky triglyceridy mastných kyselín, v rafinovanej forme používané ako jedlé oleje. Majú malú prchavosť a pomerne vysokú viskozitu, preto nie sú priamo vhodné pre vznetové motory. Na úpravu ich vlastností je používaná preesterifikácia (niekedy označovaná ako transesterifikácia, reesterifikácia), čo je výroba chemicky jednoduchších metylesterov.

Bionafta I. generácie:

- 100 % metylesterov
- Energetická hodnota (výhrevnosť) 37,5 MJ/kg (oproti motorovej nafte 42,5 MJ/kg)
- Rozleptanie, bobtnanie a korózia horákových a motorových súčastí vyrobených z klasickej gummy – preto je potrebná ich výmena za nitril-kaučukové alebo fluór-kaučukové
- Zahusťovanie motorového oleja
- Zvýšená dymivosť, zlá filtrovateľnosť pri nízkych teplotách

Bionafta II. generácie:

- Zachovanie pozitívnych vlastností a odstránenie nedostatkov I. generácie
- Obsahuje minimálne 30 % metylesterov rastlinných olejov, zvyšná časť 70 % tvorená látkami minerálneho pôvodu – ropné – zmesná motorová nafta.

V porovnaní s motorovou naftou má bionafta viaceré výhody:

- výroba neprodukuje takmer žiadne škodlivé odpady a je prakticky ekologicky nezávadná,
- je miešateľná s motorovou naftou, má približne rovnaké cetánové číslo ako motorová nafta,



- energetická bilancia je lepšia ako pri alkoholových palivách,
- výhrevnosť je podobná ako pri motorovej naftě – výkon spaľovacieho motora alebo horáku je približne rovnaký ako pri klasickej motorovej naftě,
- neobsahuje takmer žiadnu síru čo následne znamená menej SO<sub>2</sub> v spalinách, spaliny zvyčajne obsahujú aj menej CO (o 10 – 12 %), prchavých uhľovodíkov (o 10 – 35 %) a pevných častíc (o 24 – 36 %), teda spaľovanie bionafty má menší ekologický vplyv.

Samozrejme, že použitie bionafty má aj určité nevýhody:

- agresivita k náterom a gumovým tesneniam,
- nutnosť používať špeciálne tesnenia a motorové oleje,
- výhrevnosť je závislá na podiele metylesteru (vyšší podiel metylesteru = vyššia výhrevnosť),
- v zime nevhodná do regiónov, kde teplota klesá pod –12 °C (nutnosť neustáleho vyhrievania palivovej nádrže),
- častokrát sú pre produkciu biopalív využívané poľnohospodárske pôdy, ktoré by mohli slúžiť na významnejšie účely.

Ako už bolo spomenuté vyššie, základom pre výrobu MERO je najčastejšie repkový olej. Rastlinné oleje je možné taktiež použiť priamo ako palivo, avšak je to náročnejšie (napr. pri automobilových spaľovacích motoroch je nutnosť použiť tzv. dvojpaliivový systém). Nasledujúca tabuľka ukazuje priebeh destilácie pre motorovú naftu, neupravený rastlinný olej a MERO. Ako je vidieť, začiatok destilácie je pre motorovú naftu a neupravený repkový olej na približne rovnakej teplote, pre MERO je to približne dvojnásobná teplota. Pri neupravenom repkovom oleji náhle po prekročení teploty približne 260 °C nastáva tepelný rozklad a predestilovaných bolo iba 18 %. Koniec destilácie pre motorovú naftu a MERO je pri predestilovaní 98 % na teplote 370, resp. 350 °C.

**Tab. 3-11** Destilačný priebeh motorovej nafty, repkového oleja a MERO, podľa normy IP 123-68, ASTM D 86-67, pri atmosférickom tlaku. [5]

<b>Oddestilovaná frakcia [% obj.]</b>	<b>Motorová nafta [°C]</b>	<b>Repkový olej [°C]</b>	<b>MERO [°C]</b>
Začiatok destilácie	163	160	321
10	204	256	336

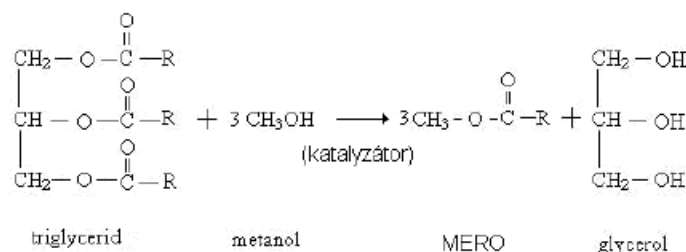
		nastáva tepelný rozklad	
50	271		337
90	343		342
Koniec destilácie	370		350
Predestilované %	98 %	18 %	98 %

Princíp chemickej reakcie pri preesterifikácii je znázornený na obrázku nižšie. Výroba metylesterov repkového oleja (FAME):

- Vstupné produkty: repkový olej a metanol
- Použitie katalyzátora: hydroxidy alkalických kovov (sodný, draselný)
- Po reakcii je nutné odstrániť glycerín, prebytočný metanol a zvyšky katalyzátora + vedľajšie reakčné produkty (glyceridy)
- Defosforizácia repkového oleja – odstránenie fosforu – enzymatickou cestou

Výroba etylesterov repkového oleja:

- podobne ako predchádzajúci spôsob, avšak namiesto metanolu je použitý etanol,
- je to náročnejšia technologická operácia,
- výhodou je, že rastlinný olej aj lieh (etanol) sú z obnoviteľných zdrojov (bio).



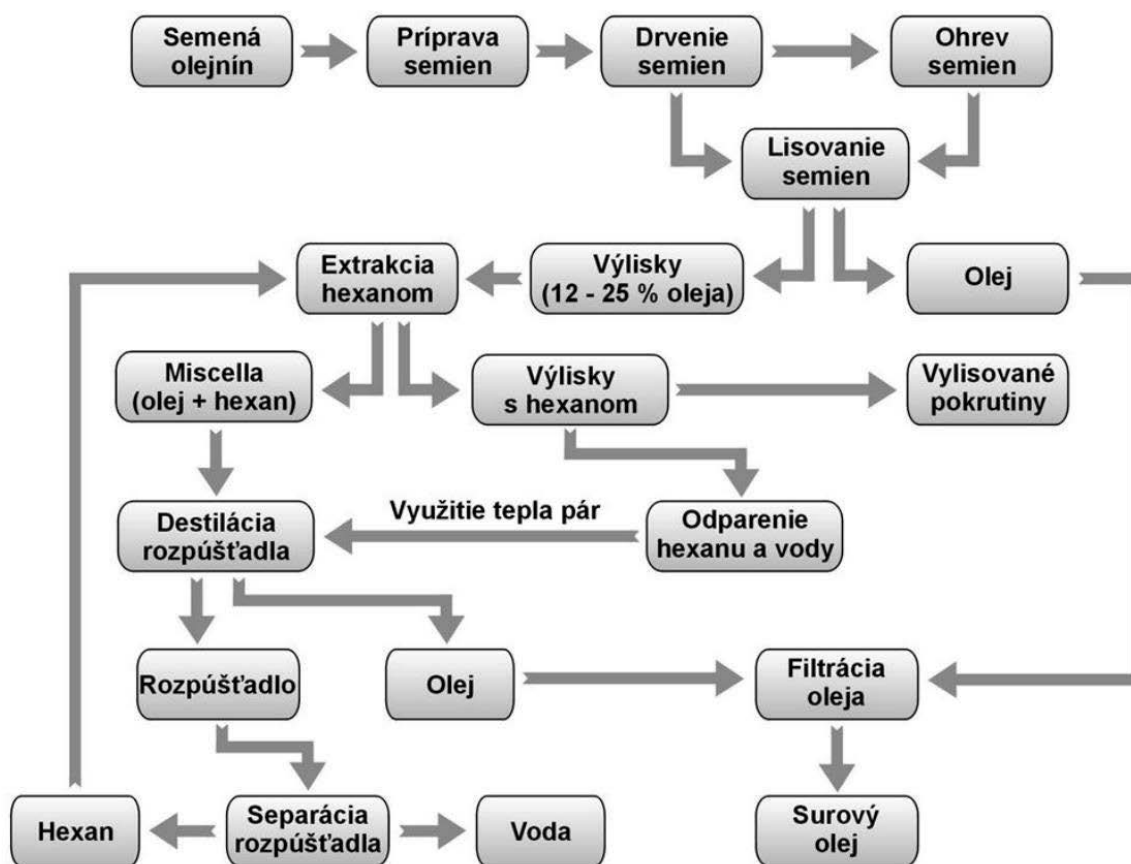
### Obr. 3-22 Preesterifikácia

Hlavnou vstupnou surovinou pre výrobu bionafty je rastlinný olej, ktorý je možné získavať zo semien olejnatých rastlín dvoma spôsobmi:

- systém predlisovanie – dolisovanie (Obr. 3-23)
- systém predlisovanie – extrakcia (pomocou rozpúšťadla, napr. hexán) (Obr. 3-24)



Obr. 3-23 Systém predlisovanie – dolisovanie



Obr. 3-24 Systém predlisovanie – extrakcia

Metylestery a etylestery pre výrobu bionafty je možné vyrábať z rôznych druhov rastlinných olejov (palmový, repkový, slnečnicový, ľanový,...) a živočíšnych tukov. Dôležitá je ich dostupnosť v danom regióne, na palivá by sa mali spracovávať len prebytky poľnohospodárskej produkcie, prípadne by sa mala na produkciu využívať inak nevyužiteľná pôda, poľnohospodárska pôda by mala slúžiť v prvom rade na pokrytie požiadaviek obyvateľstva na stravu. Nasledujúce tabuľky porovnávajú charakteristické vlastnosti a chemické zloženie metylesterov rôznych rastlinných

olejov a motorovej nafty. Výhrevnosť metylesterov sa približuje výhrevnosti nafty (použitie biopalív má za následok buď nižší výkon energetických zariadení, alebo pri zachovaní rovnakého výkonu vyššiu spotrebu biopalív), metylestery majú vyššiu hustotu a viskozitu ako motorová nafta (problematickejšie čerpanie, tvorba palivovej zmesi s pod.). Z chemického zloženia je významné si povšimnúť, že biopalivá majú významný podiel obsahu kyslíka, okolo 10 %.

**Tab. 3-12** Vlastnosti metylesterov rastlinných olejov

Metylester rastlinného oleja	Hustota pri 16°C	Viskozita pri 40°C	Energetický obsah	Cetánové číslo
	kg.m <sup>-3</sup>	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	MJ.l <sup>-1</sup>	--
Palmový	874	4,40	32,4	63 – 70
Repkový	882	4,20	32,8	51 – 60
Slnečnicový	885	4,00	32,8	61,20
Ľanový	891	3,70	33,0	52,50
Motorová nafta	835	2,31	35,5	> 51

**Tab. 3-13** Chemické zloženie metylesterov rastlinných olejov

Metylester rastlinného oleja	C	H	O	S
	%	%	%	%
Palmový	76,3	12,4	11,3	-
Repkový	77,2	12,0	10,8	< 0,01
Slnečnicový	77,2	11,9	10,9	-
Ľanový	77,5	11,6	10,9	-
Motorová nafta	86,5	13,4	0,00	0,17

Vedľajším produktom spracovania semien olejní sú výlisky, ktoré sa vyznačujú vysokým obsahom bielkovín (30 až 45 %) a preto sa využívajú ako bielkovinové krmivo. S rastúcou spotrebou olejní na výrobu biopalív sa vytvára prebytok produkcie výliskov a preto je potrebné pre túto odpadovú surovinu hľadať iné využitie, napr. surovinu pre výrobu peliet a brikiet.

**Rafinácia surových olejov:** Pretože vylisované surové oleje nie sú vhodné na okamžité použitie, z dôvodu, že obsahujú rad komponentov netukového charakteru, musia nasledovať ďalšie úpravy, vedúce k odstráneniu týchto sprievodných nežiaducich a v olejoch nerozpustných látok. Medzi nerozpustné látky patria hlavne mechanické nečistoty, minerálne látky, čiastočky semien, buničitých tkanív, bielkovín, sacharidov a taktiež voda (obsah v oleji do 1 %), spôsobujúca vyžrážanie pôvodne rozpustných zložiek v oleji.

Technologické operácie vedúce k zušľachtovaniu olejov sa nazývajú rafinácia (čistenie). Táto sa uskutočňuje vo viacerých krokoch:

- odslizovanie – odstránenie nerozpustných látok,
- neutralizácia – odstránenie voľných mastných kyselín,
- sušenie – odstránenie vody,
- filtrácia – odstránenie častíc väčších ako 1  $\mu\text{m}$
- bielenie – odstránenie farebných látok,
- dezodorizácia – odstránenie pachov.

Fyzikálna rafinácia surových olejov je jednoduchší proces, v ktorom sa surový olej po vylisovaní zbaví slizových látok a vybieli sa. Následne sa z neho pomocou pary odstránia voľné mastné kyseliny, pachy a prchavé zložky v jednom kroku. Olej sa ohreje na teplotu až 270 °C a potom sa rafinuje prúdením cez rad vrstiev proti prúdu ostrej pary. Výhody fyzikálneho postupu:

- vyššia výťažnosť,
- nižšie náklady,
- menšie množstvo použitých chemikálií, ...

Nevýhody fyzikálnej rafinácie v porovnaní s chemickou je nižšia akosť výsledného produktu (čo pri použití olejov na palivá nie je výraznejší problém).

Aby bolo možné získané rastlinné oleje použiť v bežných spaľovacích motoroch a horákoch, je nutné ich upravovať rafinačnými procesmi nazývanými esterifikácia a preesterifikácia, pri ktorých sa znižuje viskozita olejov.

- Esterifikácia – reakcia medzi kyselinou a alkoholom, ktorá vedie k vzniku esteru, pričom sa uvoľňuje voda. Esterifikácia je chemická reakcia, pri ktorej mastné kyseliny reagujú s bezvodým metanol. Proces sa uskutočňuje pri teplotách nad 110 °C za prítomnosti napr.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (kyslé katalyzátory) a normálneho alebo zvýšeného tlaku.
- Preesterifikácia – uskutočňuje sa v rôznych technologických modifikáciách, kedy bezvodý metanol reaguje s olejom za prítomnosti alkalických katalyzátorov (napr.  $\text{NaOH}$ ), pri normálnej alebo zvýšenej teplote. Po preesterifikácii vzniknú dve nemiešateľné fázy.
  - Esterová fáza – tá sa neutralizuje, premýva a zbavuje metanolu a vody, čím sa získava metylester.

- Glycerolová fáza – odstráni sa metanol a získava sa surový glycerol a mastné kyseliny.
- Po filtrácii je koncentrácia metylesterov mastných kyselín olejov približne 98 %.

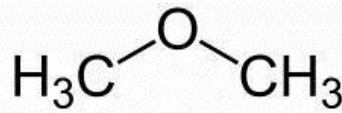
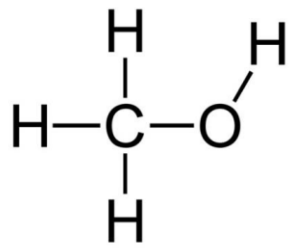
### 3.3.5 Bioalkoholy

Alkoholy a ich étery majú nahrádzať najmä automobilové benzíny, majú iné zloženie, ale podobné fyzikálne a chemické vlastnosti ako automobilový benzín. Bioalkoholy sa dajú spaľovať priamo, alebo ako zmesi s benzínom (čo je dnes aj využívané, do 10 % bioalkoholovej zložky). Pridávanie do benzínu zvyšuje jeho oktánové číslo (odolnosť voči klopavému spaľovaniu), obsahujú kyslík – zlepšujú spaľovanie (zníženie obsahu niektorých škodlivých látok v spalinách). V súčasnosti sú využívané najmä:

- Bioalkoholy I. generácie:
  - bioetanol
  - biometanol
- Bioalkoholy II. generácie:
  - MTBE –metyl-terc-butyl-éter (reakcia izobuténu a metanolu)
  - ETBE –etyl-terc-butyl-éter (reakcia izobuténu a etanolu)

**Biometanol, dimetyléter (DME):** bežne sa získavajú zo zemného plynu, ale metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) je možné vyrobiť aj z biomasy a niektorých ďalších fosílnych palív – uhliá, alebo syntézou  $\text{CO}$  a  $\text{H}_2$  (nutné je použiť selektívny katalyzátor, vysoký tlak a nízku teplotu), pri použití biomasy sa využíva termochemický proces podobný Fischer-Tropschovej metóde, zo zemného plynu je možné vyrobiť metanol parným reformingom alebo parciálnou oxidáciou.

Metanol (kvapalina, veľmi toxická) je náhrada benzínu, dimetyléter je náhrada motorovej nafty. Z jednej tony suchej biomasy je možné vyrobiť 700 litrov metanolu. Metanol môže byť primiešavaný do automobilového benzínu v množstve 10 až 20 % bez nutnosti úpravy nastavenia spaľovacieho motora. V Číne sú napríklad používané palivá a označením M10 (10 % metanolu) a M85 (85 % metanolu) v tisíckach vozidiel. Dimetyléter – DME ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) má podobné vlastnosti ako LPG, pri izbovej teplote je v plynnom skupenstve (teda pri teplote nad  $-25\text{ }^\circ\text{C}$  alebo pod tlakom 5 barov) ale tlakom niekoľkých atmosfér dochádza k jeho skvapalneniu.



**Obr. 3-25** Metanol (vpravo), dimetyléter (vľavo). [30]

Výhody použitia metanolu v energetike a doprave:

- široký potenciál vstupných surovín,
- vyššie oktánové číslo ako benzín (približne 105) z čoho vyplýva možnosť vyššej kompresie, čo má priaznivý vplyv na zvyšovanie účinnosti spaľovacieho motora,
- vysoká výhrevnosť a nižšia teplota horenia,
- menej prchavý ako benzín (bezpečnejší z pohľadu výbušnosti), rozpustný vo vode (bezpečnejší z pohľadu ekologických havárií).

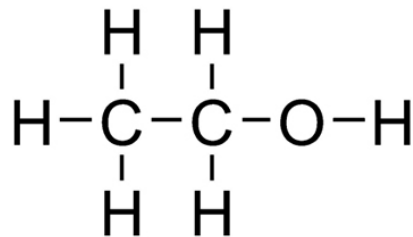
Medzi nevýhody použitia metanolu patria:

- veľmi toxický, vstrebáva sa aj pokožkou,
- rýchlejšia korózia kovových materiálov,
- detergentný účinok – odstraňuje oleje,
- negatívny vplyv na plasty,
- horí neviditeľným plameňom (pridaním 15% benzínu sa plameň stáva viditeľným),
- zlé zapaľovanie a štartovateľnosť pri teplotách pod bodom mrazu.



**Obr. 3-26** Nákladný automobil Volvo BioDME Truck. [25]

**Bioetanol:** je to alkohol vyrobený najčastejšie kvasením, výhrevnosť 27,2 MJ.kg<sup>-1</sup>, označenie C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O, CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-OH. Bioetanol bol jedným z prvých palív, ktoré sa využívalo v automobilových motoroch vôbec, vo väčšej miere sa využíval počas druhej svetovej vojny v Nemecku, Brazílii, na Filipínach a v Spojených Štátoch. V povojnovom období sa ropné produkty stali cenovo výhodnejšími a dostupnejšími, preto došlo k útlmu použitia bioetanolu ako paliva.



Obr. 3-27 Etanol. [30]

Alkoholové kvasenie:

- pôsobenie enzýmov mikrobiálnej bunky,
- prebieha prevažne bez prístupu vzduchu (anaeróbne).

Vstupné suroviny (rastliny s väčším obsahom škrobu a sacharidov):

- obilniny,
- kukurica,
- cukrová repa,
- cukrová trstina,
- celulóza – drevo.

Škrob (obilniny) a celulóza (drevo) nie sú na rozdiel od cukru (cukrová repa) priamo skvasiteľné, pôsobením enzýmov sa musia najskôr previesť na jednoduchšie skvasiteľné sacharidy.

Výhody použitia etanolu v energetike a doprave:

- vyrába sa z obnoviteľných surovín, široký potenciál vstupných surovín,
- spaľovanie buď priamo, alebo ako zmes s benzínom (do 10 % etanolu – bez nutnosti úpravy spaľovacieho motora),
- energetická bilancia pri výrobe etanolu je približne polovičná v porovnaní s MERO, avšak z jedného hektára je možné získať viac litrov paliva (približne 4 755 litrov) ako v prípade MERO (1 400 litrov)
- vyššie oktánové číslo (približne 106) ako benzín z čoho vyplýva možnosť vyššej kompresie, čo má priaznivý vplyv na zvyšovanie účinnosti spaľovacieho motora,



- je dokonalejšie spaľovaný v motore, zaručuje vyšší výkon a otáčky motora, celkovo vykazuje nižšie emisie v spalinách (napr. menšie množstvo produkovaných emisií CO<sub>2</sub>)
- podpora miestnych poľnohospodárov,
- znižuje závislosť krajiny od dodávateľov ropy.

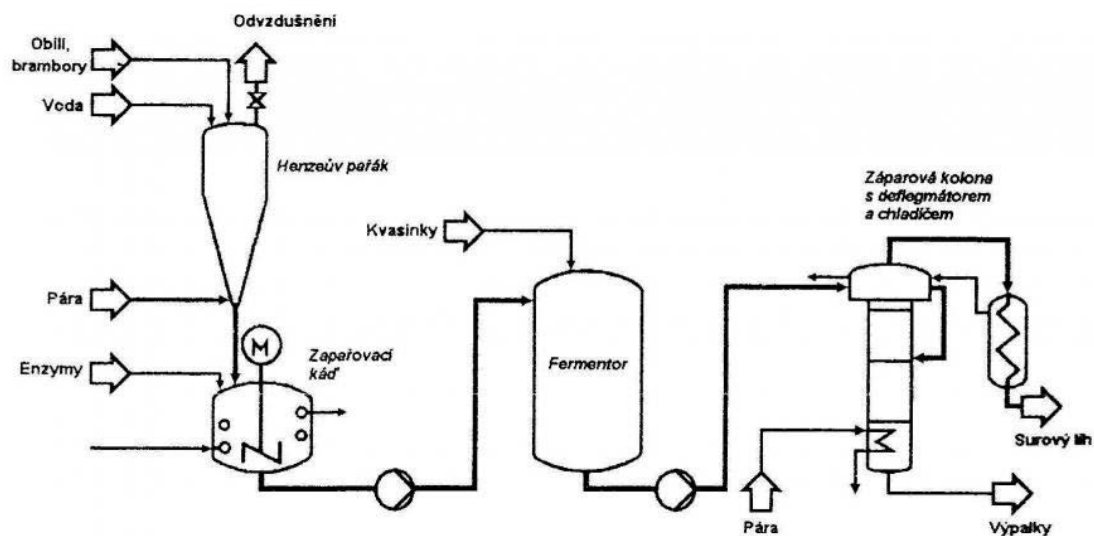
Medzi nevýhody použitia etanolu patria:

- používanie veľkého množstva hnojív, znečisťovanie životného prostredia,
- korózia kovových materiálov,
- detergentný účinok,
- degradácia plastov,
- horšia zápalnosť zmesi pri nízkych teplotách,
- vyššia spotreba – nižšia energetická hustota etanolu v porovnaní s konvenčnými palivami.

Zavedenie bioetanolu ako paliva, ktoré by malo v dnešnej dobe plne nahradiť konvenčné palivá nie je jednoduché, pozitívny príklad je Brazília, ktorá v roku 1973 úspešne zaviedla etanolový program (proalcool), Krajina je významný producent cukru (najmä z cukrovej trstiny), dôvodom pre zavedenie etanolového programu boli okrem iného aj klesajúce ceny cukru a narastajúca cena ropy na svetových trhoch. Ročná produkcia etanolu v Brazílii dosahuje 12 miliárd litrov (50 % celosvetovej produkcie tohto paliva).

**Tab. 3-14** Produkcia etanolu z rôznych poľnohospodárskych plodín

Plodina	Výťažok etanolu	Výnos	Produkcia etanolu	Produkcia etanolu
	liter/t	t/ha	liter/ha	t/ha
Pšenica	370	5 – 6	1850 – 2220	1,4 – 1,8
Cukrová repa	80	35 – 45	2800 – 3600	2,3 – 2,9
Zemiaky	100	20 – 30	2000 – 3000	1,5 – 2,4
Topinambur	77	30	2310	1,9
Kukurica	386	34 – 45	13124 – 17370	10,6 – 14,1
Jačmeň	368	4,2	1520	1,2
Raž	355	3,6	1280	1,0
Ovos	334	3,4	1135	0,9

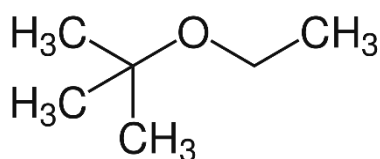


**Obr. 3-28** Schéma výrobného procesu etanolu [23]

**ETBE** etyl-terc-butyl-éter ( $C_6H_{14}O$ ) sa používa ako oxidačná prísada do benzínu, pričom zvyšuje jeho oktánové číslo (oktánové číslo ETBE je 118) a zlepšuje jeho spaľovacie vlastnosti. V praxi to znamená možnosť zvýšenia účinnosti spaľovacieho motora. ETBE sa vyrába reakciou etanolu s iso-buténom (ten je získavaný z fosílnych zdrojov, najčastejšie so zemného plynu, inovácie v oblasti získavania iso-buténu postupne vedú k jeho získavaniu z obnoviteľných zdrojov, napr. technológiou Global Bioenergies) za prítomnosti kyslého katalyzátora a vyššej teploty, je to ekologické palivo vyrobené na báze bioetanolu. V súčasnosti EÚ povoľuje maximálne množstvo ETBE v benzíne do 22 % - pre benzín s označením E10 a 17,24 hmotnostného % v benzíne E5 (najčastejšie sa používa pre prémiové palivá, nemá nepriaznivé vplyvy ako pridávanie bioetanolu, najmä neviaže vodu a vytvorená zmes je stála, časom nedochádza k oddeleniu jednotlivých zložiek).

Výhody použitia ETBE v energetike a doprave:

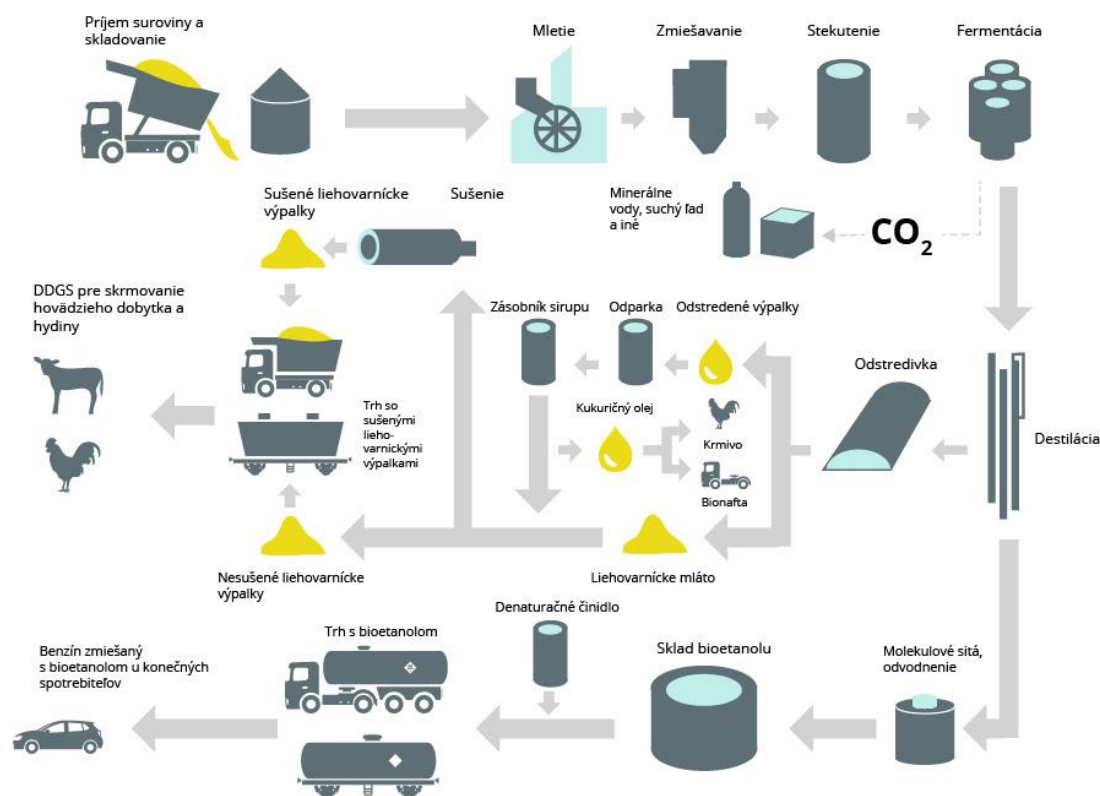
- znižuje tvorbu  $CO_2$  a emisií výfukových plynov,
- má vyššiu výhrevnosť a nižší tlak pár,
- je lepšie miešateľný s benzínom za tvorby stabilnej zmesi.



**Obr. 3-29** ETBE. [30]

Proces výroby ETBE pripomína proces výroby MTBE (metyl-terc-butyl-éter).

MTBE sa bežne vyrába v ropných rafinériách, ale tiež v závodoch, ktoré vyrábajú priemyselné organické chemikálie, a to predovšetkým reakciou izobuténu s metanolom za prítomnosti kyslého ionomeničového katalyzátora pri teplote 38 - 93 °C a tlaku 0,8 – 1,3 MPa. Môže sa tiež vyrobiť z metanolu, tert-butyl alkoholu (TBA) a diazometánu (Európska komisia, 2002). Pri výrobe ETBE sa namiesto východiskového metanolu používa etanol.



Obr. 3-30 Schéma výrobného procesu etanolu

### 3.3.6 Spaľovanie kvapalných palív v energetických zariadeniach

Spaľovanie kvapalných palív nastáva v plynnej fáze. Preto za účelom inicializovať a udržať správnu chemickú zmes kvapalné palivo - vzduch, sú pre palivo nevyhnutné špecifické prípravné kroky. Kontinuálny prúd kvapalného paliva prúdiaceho v rámci niekoľkých milisekúnd musí byť:

- správne redukovaný za účelom rýchleho miešania so vzduchom,
- priestorovo správne rozmiestnený s dostatočnou hybnosťou pre miešanie paliva so vzduchom,
- dostatočne zohriaty a odparovaný za účelom rozniecovania a horenia.

Horák spaľujúci kvapalné palivo, ako napríklad vykurovací olej, je mechanický

stroj s kontinuálnym horením, používaný na prípravu paliva pre spaľovanie vo vykurovaní, ako napríklad kotly, pece a ohrievače vody. Horák kombinuje kvapalné palivo s určitým množstvom vzduchu potrebného pre horenie, obyčajne vo forme spreja a túto zmes dodáva do bodu, kde nastáva zapálenie.

Palivová zmes kvapalné palivo – vzduch môže byť vopred pripravená (premix) alebo sa môže pripravovať difúzne. Použitie horákov spaľujúcich vopred pripravenú zmes je veľmi obmedzené, možno použiť len veľmi prchavé palivá ako napríklad nafta, benzín alebo kerosén.

Kvapalné palivo vstupuje do horáka, kde nastáva jeho atomizovanie, rozbitie vstupujúceho kvapalného prúdu na kvapôčky tvoriace jemnú hmlu. Veľkosť kvapôčok je niekoľko mikrometrov, aby sa palivo dobre miešalo, bolo rýchlo obklopené spaľovacím vzduchom za vytvorenia horľavej zmesi, nastávalo rýchle vyparovanie a zapálenie. Palivo je pre horenie pripravené buď odparovaním alebo atomizovaním. Tieto dve metódy prípravy palivovej zmesi paliva a vzduchu sú používané v štyroch základných typoch horákov na kvapalné palivá používaných v komerčnom, priemyselnom a obytnom vykurovaní. Predstavitelia štyroch základných typov sú:

- horák s mechanickým atomizovaním,
- horák s atomizovaním pomocou plynu,
- odparovací typ (panvový typ) horáku,
- rotačný typ horáku.

Ich výber a použitie závisí na kapitálových a prevádzkových nákladoch, ich maximálnej kapacite ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ ), škále požadovaných operačných pomerov (pomer menovitého a minimálneho použiteľného výkonu) a želaného tvaru plameňa.

Minimálne energetické vstupy požadované pre atomizovanie sú stanovené viskozitou paliva v bode atomizovania. Na charakterizovanie požiadaviek na rozprašovač sa najčastejšie používa kinematická viskozita.

Vzduch potrebný pre spaľovanie je do horáka dodávaný dvomi rozdielnymi spôsobmi:

- privádzaný spolu s palivom alebo zároveň s palivom ako primárny vzduch,
- privádzaný do zóny plameňa alebo do zóny po spaľovaní za plameň ako sekundárny vzduch.

Relatívne množstvo primárneho vzduchu k sekundárnemu vzduchu je stanovené podmienkami spaľovania, ako aj zvláštnosťami individuálneho návrhu horáka.

Po zapálení je teplo pre horiace kvapôčky dodávané plameňom a obklopujúcimi nahriatymi povrchni. Proces horenia má súvis s rozprašovačom kvapalného paliva alebo geometriou otvoru dýzy, čistotou, ako aj s tlakom, viskozitou a povrchovým napätím kvapalného paliva. Kvapky horia difúznym plameňom. Odparovanie nastane na povrchu kvapky, zanechajúc tak častice uhlíka, ktoré horia svietivým plameňom. Tento proces rozkladu je ďalej skomplikovaný tvarom oblaku rozstrekovaného paliva, ktorý je ako následok plnenia horáka vzduchom. Tvar a veľkosť plameňa ovplyvňuje účinnosť spaľovania. Proces závisí od kvapalného paliva, návrhu horáka, množstva dodávaného vzduchu a režimu jeho distribúcie. Kompletnejšia diskusia o atomizovaní kvapalného paliva a fyzike horenia kvapiek si vyžaduje diskusiu o mechanike prúdenia a prestupe tepla.

### **3.3.7 Atomizácia kvapalných palív**

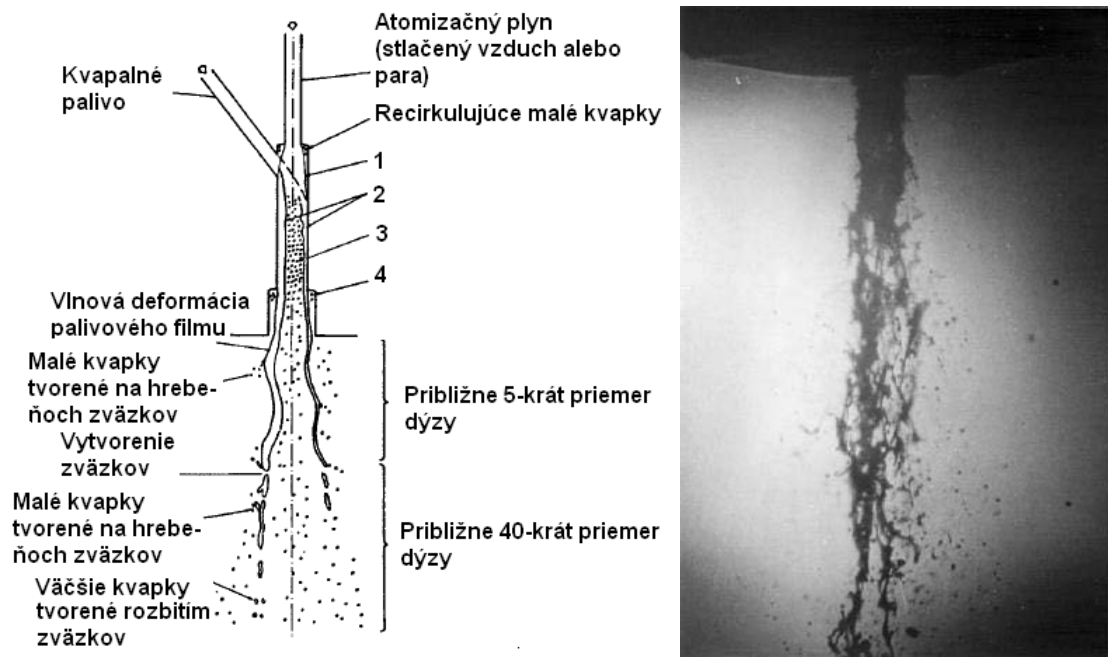
Kvapalné palivá horia turbulentným difúznym plameňom a potrebujú rozstrekovanie kvapiek na zvýšenie plochy povrchu, ktorý bude k dispozícii pre kyslík a miešanie kvapiek so spaľovacím vzduchom.

Atomizácia je dôležitá, pretože počiatočná veľkosť kvapôčky určí plochu povrchu dostupnú pre miešanie so vzduchom a odtiaľ je získaný časový úsek potrebný pre spálenie kvapky. Difúzia kyslíka závisí na ploche povrchu, ale požiadavka na množstvo vzduchu je závislá na hmotnosti kvapôčky. A pretože plocha povrchu je závislá na priemere na druhú a hmotnosť na priemere na tretiu, z toho vyplýva, že väčšia kvapka horí dlhšiu dobu.

Vplyv veľkosti kvapky ovplyvňuje dobu horenia tak, že pre odparovanie kvapky je doba horenia úmerná štvorcu počiatočného priemeru kvapky. Z toho vyplýva, že veľkosť kvapky a spôsob, akým je rozptýlená od priestoru kriticky ovplyvňuje výkon horáka, pretože počiatočná veľkosť kvapky veľkou mierou ovplyvní dobu horenia.

Základný mechanizmus atomizovania je ukázaný na obrázku 2.1. Aj keď tento špecifický príklad ukazuje dvojtekutinové atomizovanie (atomizovanie kvapalného paliva pomocou atomizačného plynu), základný mechanizmus je obdobný pre väčšinu atomizérov. Kvapalné palivo je sformované do tenkého pohybujúceho sa filmu, ktorý prechádza cez dýzu (mechanický spôsob atomizovania) alebo interakciou s plynom s vysokou rýchlosťou, obyčajne vzduchom alebo parou (dvojtekutinové atomizovanie). Olejový film je potom vystavený posúvajúcej sile a spoločne s okolitou atmosférou

začne film tvoriť vlny. Malé kvapky sú sformované v hrebeňoch z týchto vln. Film je potom rozbitý do zväzkov, ktoré sú následne rozbité do väčších kvapiek. Veľkosť týchto väčších kvapiek je podmienená hrúbkou počiatočného filmu, hrubší počiatočný film znamená väčšie finálne kvapky.



**Obr. 3-31** Mechanizmus tvorenia spreja paliva z typického atomizéra (Mullinger a Chigier, 1974) [8]. 1 – expanzia prúdu plynu, 2 – palivo vytvára na stene film okolo atomizačného plynu, 3 – sformovanie kvapiek paliva v prúde atomizačného plynu, 4 – v tejto oblasti sú kvapky vťahované späť do dýzy ako dôsledok recirkulácie atomizačného plynu, vytvárajú sa väčšie kvapky, ktoré sú potom emitované.

Procesom atomizácie kvapalného paliva a tvorby zmesi palivo - vzduch sa zaoberali mnohí vedci. Calvert [9] považoval atomizačný proces za taký, kde je objemový tok znížený na kritickú hodnotu Weberovho čísla. Navrhol, aby táto hranica bola 12  $We$ . Weberovo číslo ( $We$ ) je bezrozmerný pomer hybnej sily k sile povrchového napätia danej vzťahom:

$$N_{We} = \frac{\rho_g V_r^2 d}{2\sigma} \quad (3-3)$$

kde:  $\rho_g$  - hustota plynu

$V_r$  - relatívna rýchlosť prúdu plynu ku kvapke

$d$  - priemer kvapky  
 $\sigma$  - povrchové napätie

Murty [9] poznamenal užitočnosť nasledovnej hornej hranice funkcie na popis distribúcie (symetricky okolo osi  $y = 0$ ) objemu kvapôčky v prúde rozstrekaného paliva z dýzy:

$$\frac{dV}{dy} = \frac{\delta}{\sqrt{\pi}} e^{-\delta^2 y^2} \quad (3-4)$$

kde:  $V$  - objem podielu kvapiek s priemerom  $x$

$y = \ln\left[\frac{ax}{x_m - x}\right]$  s  $a$ , ktoré je získané experimentálne,  $a = 0,8803$

$x_m$  - maximálny priemer kvapky

$\sigma$  - miera deviácie, je získaná experimentálne,  $\sigma = 0,8739$

Daná súmernosť okolo osi  $y = 0$  a skutočnosť, že stredný objemový priemer ( $x_{mvd}$  = priemer korešpondujúci s 50% celkového objemu kvapôčky) korešponduje s hodnotou  $x$  v  $y = 0$ , preto máme [9]:

$$x_{mvd} = \frac{x_m}{1+a} = \frac{x_m}{1,8803} \quad (3-5)$$

Pre nájdenie  $x_{mvd}$ , nahradíme maximálny priemer kvapky z nasledovného vyjadrenia daného [9]:

$$\frac{x_m}{D} = 57 \left[ \frac{\rho v D}{\mu} \right]^{-0,48} \left[ \frac{\mu v}{\sigma} \right]^{-0,18} \quad (3-6)$$

kde:  $\rho$  - hustota rozstreknutej kvapaliny [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$\mu$  - absolútna viskozita rozstreknutej kvapaliny [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]

$\sigma$  - povrchové napätie rozstreknutej kvapaliny [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]

$v$  - rýchlosť kvapky v ústí dýzy [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

$D$  - priemer otvoru dýzy [m]

Z tejto korelácie môžeme odhadnúť Sauterov stredný priemer (veľkosť povrchu

stredného priemeru) ako 85 % z  $x_{mvd}$ .

### 3.3.8 Dôležitosť veľkosti kvapiek

Veľkosť kvapiek je väčšinou v rádoch mikrónov ( $10^{-6}$  m). Väčšina atomizérov však produkuje rôznu škálu veľkostí kvapiek, najmenšie sú o veľkosti niekoľko mikrónov v priemere a najväčšie okolo 100 až 1000 mikrónov. Veľkosť kvapiek je dôležitá, pretože ovplyvňuje dĺžku plameňa a rýchlosť uvoľňovania tepla v spaľovacej komore. Významné ťažkosti nastávajú pri charakterizovaní rozstrekovačov a distribúcii častôčiek. Pre uľahčenie sú merané priemery kvapiek, typicky 5 – 10 mikrónov, ktoré môžu byť zakreslené do histogramu, ale toto nie je vhodná cesta pre porovnávanie výkonu atomizérov, ani pre určenie priemernej alebo hlavnej veľkosti kvapiek. Priemerná veľkosť kvapiek nie je veľmi významná z pohľadu predpovedania zapálenia, pretože veľmi veľký počet malých kvapiek ovplyvní aritmetický priemer k relatívne spodnej hodnote, čo nie vždy korešponduje s realitou. Napríklad, rozstrekovač s veľkým počtom častôčiek väčších než 200 mikrónov môže mať aritmetický priemer len 60 mikrónov. Na prekonanie týchto problémov pri porovnávaní atomizérov sú často používané priemery založené na hmotnosti častôčiek, alebo na ich ploche povrchu, napríklad Sauterov stredný priemer (*SMD* – Sauter Mean Diameter). *SMD* je podiel priemeru kvapky, ktorý je ekvivalentný úplnej hmote spreja, k úplnej ploche povrchu. Sauterov stredný priemer je zvyčajne používaný v empirických vyjadreniach na predpovedanie výkonu atomizéra a rovnako pre hodnotenie rozloženia častôčiek [8]:

$$SMD = \frac{\sum (\Delta N_i) d_i^3}{\sum (\Delta N_i) d_i^2} \quad (3-7)$$

kde:  $d_i$  - priemerný priemer kvapiek v čiastkovom pásme

$\Delta N_i$  - frakčný počet kvapiek v čiastkovom pásme  $d_i$

Dôležitosť rozloženia kvapiek už bola spomenutá, ale žiaľ je relatívne zložitá merať veľkosť kvapiek rozstrekovaného paliva. Charakteristiky atomizéra sú jedným z najdôležitejších faktorov pri posudzovaní výkonu horáka na kvapalné palivo a veľké kvapky môžu zapríčiniť mnoho problémov pre používateľa. Problémy sú slabá kvalita palivovej zmesi a zvýšená spotreba paliva, spolu s nadbytočnými emisiami pevných



častíc, zložité zapaľovanie a štartovanie horáka a slabá stabilita plameňa.

### **Sekundárne atomizovanie**

Sekundárne atomizovanie zahŕňa privedenie prchavej, nestálej zložky do prúdu paliva. Keď sú kvapôčky zmesi zahrievané, vtedy keď vstúpia do spaľovacieho priestoru, prchavé zložky prudko vzplanú. Náhle uvoľnenie pár rozbije kvapôčku a týmto spôsobom sa zlepšuje atomizovanie. Zlepšené atomizovanie môže byť obzvlášť užitočné, keď je palivo neobvykle viskózne, obsahuje pevné častice alebo keď výkon dýzy je degradovaný opotrebením alebo upchávaním.

Táto technika bola skúšaná v testoch atomizovania a horenia [9]. Skúšané palivo bol vykurovací olej č.2. Použité prísady (legujúce látky) a ich bod varu boli dichlómetán (39 °C), akrylonitril (79 °C), benzén (80 °C), izopropanol (82 °C) a benzalchlorid (205 °C). Tieto reprezentovali široký okruh výparnosti oproti vykurovaciemu oleju č.2 (210 – 260 °C). Bolo zistené, že nárast sekundárneho atomizovania nemal súvis len s bodom varu prísadovej látky, ale intenzita sekundárneho atomizovania bola tiež závislá na koncentrácii prísadovej látky. Izopropanol dosahoval najväčšie skvalitnenie atomizovania v najnižšej koncentrácii v základnom palive. Pre väčšinu prísadových látok, sekundárne atomizovanie bolo aktívne len v koncentrácii nad 2 %. Izopropanol dosahoval zlepšenie už pri 0,5 % koncentrácii.

### **Prúdenie v spaľovacom priestore**

V palivových horákoch a v rámci pecí je často používané vírenie na modifikovanie prúdových charakteristík. Pretože intenzívne recirkulácie vo vírivých prúdoch (spáliteľné plyny idú späť smerom k horáku) a rotácia zaisťuje skrátenie plameňa. Recirkulácia a efekt skrátenia plameňa môže byť využívaný na zvýšenie zdržného času po spaľovaní.

**Axiálny horák** – v týchto jednotkách je horák namontovaný zväčša v osi spaľovacieho priestoru. Takéto jednotky sa jednoducho navrhujú a konštruujú, hoci sú relatívne neefektívne vo využití spaľovacieho priestoru. Pre tieto systémy sú vhodné nižšia spaľovacia rýchlosť a uvoľňovanie tepla. V podstate sú tieto jednotky v jednoduchosti vybavené horúcim žiaruvzdorným puzdrom, v ktorom horí palivo a dohárajú spaliny pre zníženie koncentrácie škodlivín. V návrhu by mala byť venovaná špeciálna starostlivosť realizácií dobrej úrovne turbulencie na zaistenie toho,

aby bol zužitkovaný veľký podiel zo spaľovacieho priestoru. Za týmto účelom je na mieste použiť vysokotlakovú sekundárnu vzduchovú dýzu. Pozornosť by mala byť venovaná hodnoteniu pravdepodobnej dĺžky plameňov, aby sme sa vyhli dopadu plameňa na stenu spaľovacej komory.

**Axiálny vírivý horák** – rýchlosti v axiálnych symetrických vírivých horákoch môžu byť definované v zmysle troch komponentov. Axiálna rýchlosť  $\bar{u}$  je zložka paralelná s osou dýzy, radiálna rýchlosť  $\bar{v}$  je rýchlosť smerom k alebo smerom preč od osi a  $\bar{w}$  je rýchlosť tangenciálna k sústrednej kružnici s osou.

Intenzita vírenia je charakterizovaná použitím vírového čísla  $N_s$ , ktoré je definované ako bezrozmerný pomer uhlového momentu hybnosti prúdu  $\dot{L}_0$  k lineárnej hybnosti  $\dot{G}_0$  [9]:

$$\dot{L}_0 = 2\pi\rho_0 \int_0^{r_0} (\bar{u} \cdot \bar{w}) r^2 dr \quad (3-8)$$

$$\dot{G}_0 = 2\pi \int_0^{r_0} (p + \rho\bar{u}^2) r dr \quad (3-9)$$

$$N_s = \frac{2\dot{L}_0}{\dot{G}_0 \cdot d_0} \quad (3-10)$$

Vírové čísla z typických horákov sú obyčajne v rozsahu od 0,6 do 2,5. Vírivý horák môže byť postavený v niekoľkých rozdielnych konfiguráciách, s priamymi alebo profilovanými stabilizátormi, s tangenciálnym vstupom s radiálnymi stabilizátormi, so špirálovým typom tangenciálneho vstupu. Tieto systémy hoci geometricky rozdielne, vedú k obdobným prúdovým schémam.

Vznikne tak veľká toroidná zóna recirkulácie, ktorá je vytvorená vo výstupe z horáka, zaberá až 75% výstupného priemeru, kde bude recirkulovaného až do 80 % počiatočného prúdu.

Kinetická energia turbulencie je daná [9]:

$$E_k = \frac{\bar{u}^{\prime 2} + \bar{w}^{\prime 2} + \bar{v}^{\prime 2}}{\bar{u}_0^2} \quad (3-11)$$

Vírivý prúd vykazuje trojrozmernú, časovo závislú nestabilitu nazývanú procesné jadro víru, ktoré môže viesť ku generovaniu tónového hluku spaľovania alebo viesť k vyfúknutiu plameňa a iným nestabilitám.

Axiálny reverzný prúd (iniciovaný pre  $N_s$  väčšie ako 0,6) je v skutočnosti

neturbulentný a má veľkosť  $Mr$ . Prítomnosť palivovej dýzy alebo iného zdroja nevírivého axiálneho prúdenia môže redukovať axiálny reverzný prúd o 50 %. Tvar spätnej prúdovej zóny je závislý od typu víriča. Kompaktnejší, menší objem zóny sa vytvorí s tangenciálnymi vstupnými víričmi a dlhšia tenšia zóna sa vytvorí s lopatkovými víričmi. Preto tangenciálne vtokové víriče majú väčšie spätné prietokové rýchlosti a strmšie rýchlostné gradienty (intenzívnejšia turbulencia a z toho vyplývajúce miešanie paliva so vzduchom) [9].

Pri obzvlášť vysokých  $Ns$  vzniká tiež druhá recirkulačná zóna pri stene. Hmotnostný tok tejto vonkajšej recirkulácie môže byť väčší alebo menší než centrálna zóna. Vzťah medzi stratou tlaku a  $Ns$  je závislý na návrhu víriča, aj keď vo všetkých prípadoch koeficient straty tlaku narastá so stúpajúcim  $Ns$ .

Pri reálnej prevádzke horáka majú procesy spaľovania (obzvlášť objemová expanzia) veľký vplyv na vírivé prúdenie. Zmena hustoty vyvolaná spaľovaním spôsobuje zväčšenie počiatočného šírenia prúdu. Parameter vírenia  $Ns$  má tendenciu klesať kvôli spaľovaniu, ktoré zvyšuje axiálnu hybnosť prúdu.

**Cyklónová spaľovacie komora** – druhý typ vírivých spaľovacích komôr je cyklónová spaľovacia komora, kde vzduch a palivo vstupujú tangenciálne do veľkej, obyčajne valcovej komory a spaliny odchádzajú cez centrálnu umiestnený výstupný otvor na jednom konci. Tieto spaľovacie komory sú často používané pre spaľovanie materiálov, ktoré sú bežne považované za ťažko efektívne spáliteľné, ako napríklad navlhnutý rastlinný odpad, vysoko popolnaté a hnedé uhlie, antracit a vysoko sírnaté druhy olejov. Existujú dva hlavné typy takýchto komôr. Prvá (typ A) má dva alebo viac tangenciálnych vstupov navrchu valcovej komory, s výstupom spalín cez otvor na dne a je obyčajne používaná pre palivá s vyššou výhrevnosťou, kde odstraňovanie trosky a generovaného popola nie sú vážnymi problémami. Druhá (typ B) má jeden až štyri tangenciálne vstupy navrchu, regulovaný výstup navrchu spaľovacej komory, výstup trosky naspodku a je používaná pre palivá s vysokou popolnatosťou.

Vírové číslo ( $N_{SC}$ ) pre takéto systémy, predpokladá rovnaký výstupný rýchlostný profil, môže súvisieť s rozmerovými parametrami [9]:

$$N_{SC} = \frac{\pi d_e d_c}{4A_t} \quad (3-12)$$

kde:  $d_e$  - priemer výstupného hrdla,

$d_c$  - priemer spaľovacej komory,

$A_t$  - plocha tangenciálneho vstupu.

Vo všeobecnosti platí, spaľovacie komory typu A obyčajne pracujú s  $N_{sc}$  od 2 do 11, pomer dĺžky spaľovacej komory ku priemeru spaľovacej komory  $L_i/d_e$  býva od 1 do 3 a pomer priemerov výstupného hrdla k priemeru spaľovacej komory  $d_e/d_c$  sa pohybuje od 0,4 do 0,7. Spaľovacie komory typu B obyčajne pracujú s  $N_{sc}$  od 8 do 20,  $L_i/d_e$  od 1 do 1,25 a  $d_e/d_c$  od 0,4 do 0,5. Pri takomto  $N_{sc}$  sa dosahuje veľmi veľkého zdržného času a väčšina procesov horenia sa odohráva vo vnútri komory [9].

Účinnosť generovania vírenia v cyklónových spaľovacích komorách je obyčajne v rozsahu 4 až 15 %, v porovnaní s účinnosťami dosahovanými vo vírivých horákoch 70 % až 80 %. Zvýšenie účinnosti vírenia pre cyklónové komory sa dosahuje experimentálnym striedaním konštrukčných parametrov, ktoré majú vplyv na účinnosť.

**Čas potrebný na miešanie a zdržná doba** – pri spaľovaní je dôležité dosiahnutie dostatočne vysokej teploty na podnietenie rýchlej intenzívnej reakcie oxidácie, vysoký stupeň miešania s okysličovadlom a dosť dlhý zdržný čas pre dôkladné prehorenie zmesi.

Nezoxidovaná časť zmesi, ako zostatok celkovej reakcie, môže byť uhasená ešte pred ukončením reakčného procesu alebo sa nezreagovaná časť zmesi nachádzala v tých častiach komorových plynov, ktoré nikdy nedosiahli prijateľné podmienky pre horenie. To mohlo byť spôsobené chladnutím komorových plynov na studených stenách spaľovacej komory, nadbytočným zriedením zmesi alebo prenikaním falošného vzduchu dovnútra s chladiacim účinkom, slabé miešanie so spaľovacím vzduchom a z toho vyplývajúca pomalšia reakcia pyrolýzy atď. Preto pre dosiahnutie vysokej účinnosti rozkladu je tak dôležitá teplota, zdržný čas (vypočítaný z objemu spaľovacej komory a priemerného prietoku plynu komorou) a koncentrácia kyslíka v prúde. Veľkú dôležitosť majú obmedzenia teploty, času a distribučných funkcií kyslíka, podiel prúdu, ktorý prechádza teplotami pod teplotou zapálenia, substechiometrické koncentrácie kyslíka atď. Z uvedeného vyplýva, že pre dosiahnutie vysokej účinnosti spaľovania je treba poznať distribučné funkcie času, teploty a koncentrácie oxidovadla, ktoré charakterizujú správanie sa systému.

**Utlmenie** (tiež označované ako turn-down pomer) je pomer menovitého výkonu k minimálnemu použiteľnému výkonu horáka. Pre väčšinu horákov sa požaduje, aby pracovali v určitej škále tepelného výkonu a to znamená v určitej škále rýchlosti prietoku paliva, pretože máloktorý horák sa používa pri stálom plnom zaťažení. Výkon a účinnosť spaľovania horákov na kvapalné palivo sa zhoršuje pri zmene

prevádzkových podmienok, spôsobených redukováním energie pre miešanie paliva so vzduchom, čo je dôsledok nižšej rýchlosti prúdenia vzduchu. Vznikajú väčšie kvapky paliva vyplývajúce z horšej atomizácie, obzvlášť tam, kde sú použité jednotuché typy tlakových atomizérov. Pri niektorých atomizéroch sa so zmenou pracovných podmienok tiež zmení uhol lúča vstrekaného paliva. Keď je požadované veľké utlmenie (väčšie ako 2:1), je obzvlášť dôležité to, aby bol výkon atomizéra prijateľný cez celý prevádzkový rozsah.

### **3.3.9 Horák odparovacieho typu**

Výhodami olejového horáka odparovacieho (panvového) typu sú jeho nízke prevádzkové náklady. Spomedzi všetkých typov je najmenej nákladný pri použití, ale má limitované výhrevné aplikácie. Jeho použitie je aktuálne len v malých štruktúrach umiestnených v miernych klimatických podmienkach. Odparovacie horáky môžu byť rozdelené do troch nasledovných typov:

- panvové horáky s prirodzeným ťahom,
- panvové horáky s umelým (núteným) ťahom,
- prírubové horáky.

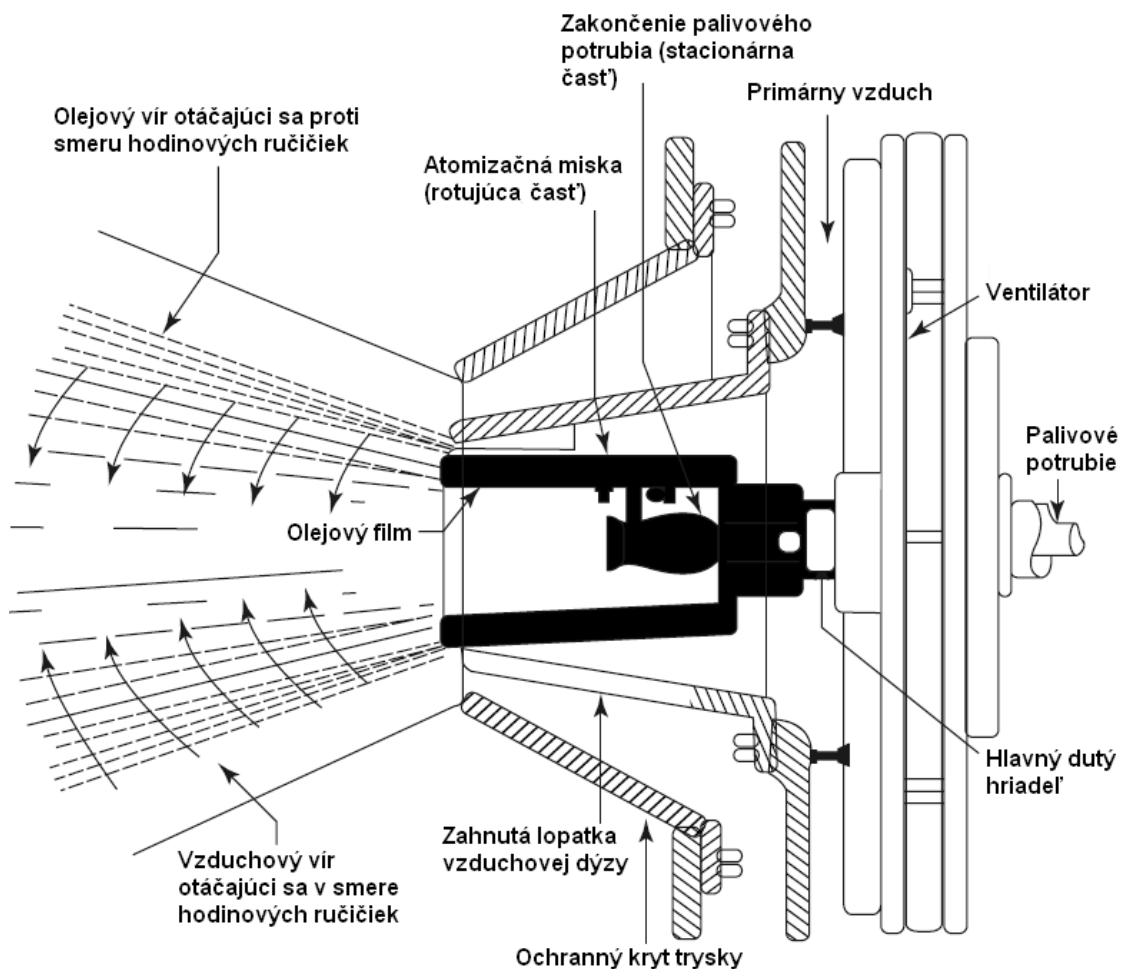
### **3.3.10 Horák rotačného typu**

Rotačné olejové horáky sú zvyčajne použité vo vykurovacích systémoch komerčných alebo priemyselných budov, aj keď môžu byť a bývali používané pre obytné vykurovacie aplikácie. Pre vykurovacie účely sú k dispozícii nasledovné typy rotačných olejových horákov:

- vertikálny rotačný horák,
- horizontálny rotačný horák (Obr. 3-32),
- rotačný horák so stenovým plameňom,

Rotačný miskový horák je schopný použitia s množstvom rozdielnych kvapalných palív bez vyžadovanej modifikácie hlavného horáka. Kvapalné palivo je podávané cez dutý hriadeľ do zúženého konca otvorenej misky, ktorá sa otáča rýchlosťou 4000 – 6000 otáčok za minútu okolo svojej osi. Olejový film sa posúva pozdĺž povrchu misky a je odstrekaný cez široký koniec okraja misky odstredivou silou vo forme olejových kvapôčok. Olejové kvapôčky sú emitované z otáčajúcej sa misky, sú rozbité do hmly a po zrážke s prúdom primárneho vzduchu s vysokou

rýchlosťou smerujú osovo okolo misky. Ventilátor alebo oddelený kompresor poskytuje prúd vzduchu s vysokou rýchlosťou, ktorý tvaruje vytvorený film paliva do kužela. Výhody atomizovania pomocou rotačného miskového horáka sú, že pomer menovitého výkonu k minimálnemu použiteľnému výkonu je až do 5:1, schopnosť zvládnuť prípravu vysoko viskózných palív a hospodárna prevádzka v režime s predohrevom paliva.



**Obr. 3-32** Horizontálny rotačný horák [1]

Palivo dodávané do horáku nemusí byť pod vysokým tlakom, čo je ideálne pri aplikáciách, kde sa spaľuje kvapalný odpad, ktorý obsahuje veľký podiel pevných častíc. Viskozitu paliva nie je potrebné veľmi znižovať. Tvar plameňa z horáka rotačného typu sa podobá na plameň z horáka rozprašovacieho typu, ale má trochu vyššiu rýchlosť horenia, pretože časť spaľovacieho vzduchu je dodávaná spolu s prúdom paliva. Hlavnou nevýhodou rotačného miskového horáka je jeho väčšia náchylnosť k zanášaniam sadzami.

### 3.3.11 Horák s atomizovaním pomocou plynu

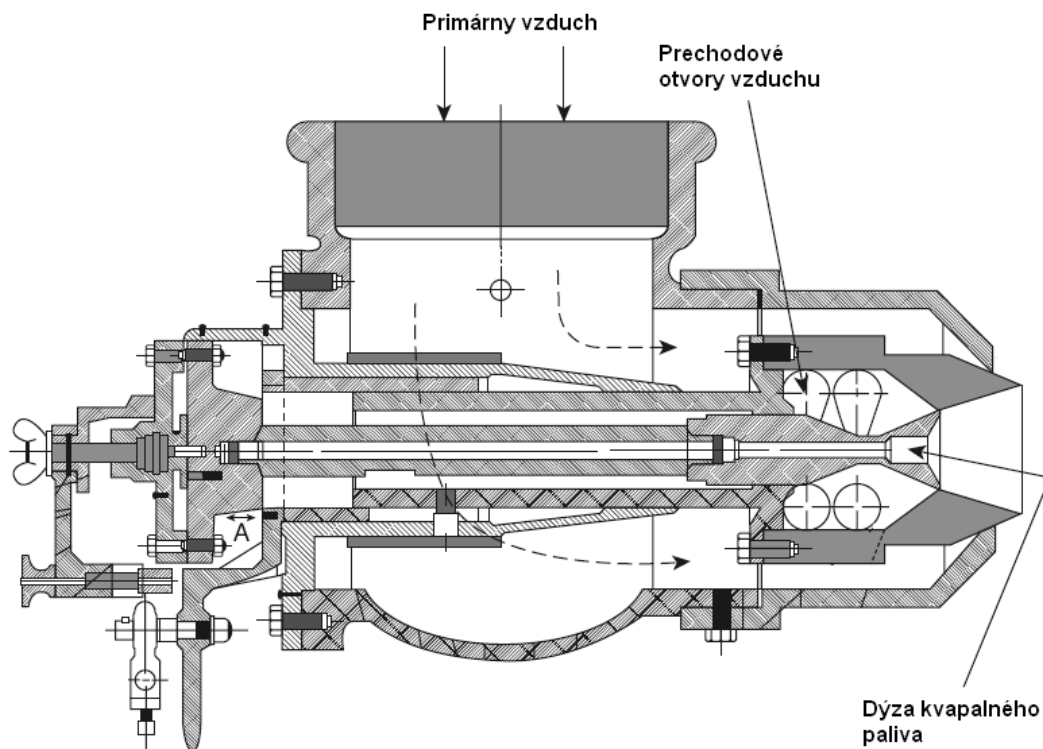
Tento typ atomizovania sa tiež nazýva ako dvojtekutinové atomizovanie (twin fluid), princíp jeho činnosti bol ukázaný na Obr. 3-31. Jednou tekutinou je kvapalné palivo a druhou je atomizačný plyn, čo môže byť stlačený vzduch alebo para, ktoré poskytujú energiu pre atomizovanie kvapalného paliva. Preto je dostupná energia nezávislá od rýchlosti toku kvapalného paliva a veľkosť kvapiek je viac stála v celom prevádzkovom rozsahu horáka. Atomizovanie pomocou odparovania paliva vyplýva zo šmykového efektu vysokorýchlostného prúdu pôsobiaceho na tekuté palivo. Atomizovanie nastáva prostredníctvom výmeny hybnosti medzi dvoma prúdmi, paliva a vzduchu alebo parami. Pre veľkú väčšinu dvojtekutinových aplikácií v nízkych, stredných alebo vysokých tlakoch je atomizujúca tekutina vzduch. Pre vysoko viskózne palivá a zvyškové palivové oleje sú prednostné atomizačné tekutiny pary, pretože okrem toho dodávajú aj teplo a tlak. Parné atomizovanie redukuje teplotu plameňa. Výhoda atomizovania tekutinami oproti mechanickému atomizovaniu obsahuje zvýšený turn-down pomer 10:1, zatiaľ čo hlavná nevýhoda je cena a zložitosť dodávky atomizujúcej tekutiny pod tlakom.

Podľa tlaku atomizačnej tekutiny tieto horáky delíme na:

- horáky nízkotlaké,
- horáky stredotlaké,
- horáky vysokotaké.

#### Horáky nízkotlaké

Príklad takéhoto horáka je ukázaný na Obr. 3-33. Tieto horáky vyžadujú vzduch o tlaku 3,5 až 35 kPa, obvykle dodávaný dúchadlami [8]. Minimálne požiadavky tlaku vzduchu a energetické náklady na atomizovanie sú stanovené viskozitou atomizovanej tekutiny. Ťažké vykurovacie oleje s vysokou viskozitou vyžadujú vzduch s tlakom cez 10 kPa, zatiaľ čo palivá s nízkou viskozitou môžu byť atomizované aj pri tlaku 3,5 kPa. Utlmenie pre tieto horáky je v rozsahu od 3:1 až po 6:1. V týchto horákoch sa ako atomizačné médium používa výhradne stlačený vzduch. Vzduch dosahuje prietok medzi 2,8 až 7,3 m<sup>3</sup> na liter paliva. Výsledný plameň je pomerne krátky. Pre čistý palivový olej je už okolo 40 % zo stechiometrického množstva vzduchu dôkladne premiešaného s rozprášeným palivom, skôr ako zmes vstúpi do spaľovacej komory.

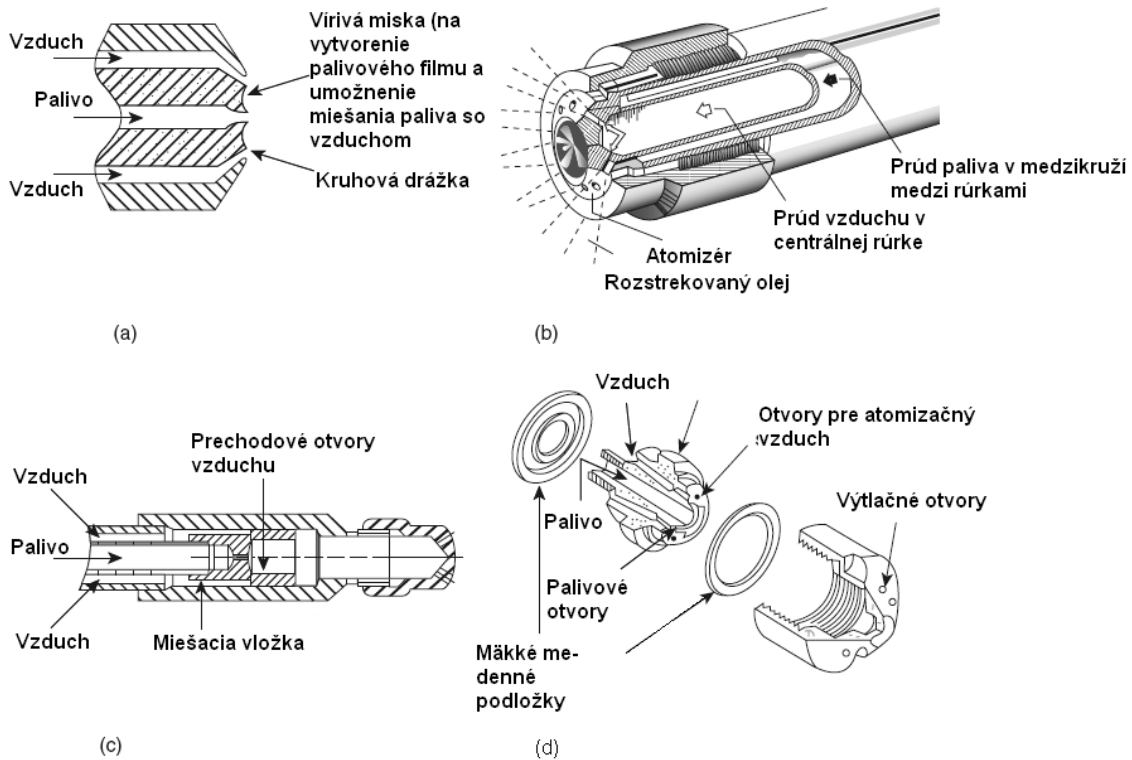


**Obr. 3-33** Nízkotlaký horák (NA-Stordy Combustion Ltd.). [8]

### Horáky stredotlaké

Príklad atomizéra zo stredotlakého horáka je ukázaný na Obr. 3-34 a). Tento typ taktiež častejšie používa ako atomizačné médium vzduch. Ten je obvykle dodávaný dúchadlom pri tlakoch v rozsahu 100 až 120 kPa. Tieto atomizéry boli veľmi populárne v minulosti, ale ako aj nízkotlakový typ, dnes už nie sú také populárne, pretože významnú časť energie spotrebuje dúchadlo. Atomizačný výkon môže byť zvýšený, ale rozloženie a veľkosť kvapiek sú príliš hrubé pre prevádzku s vysokými výkonmi.





**Obr. 3-34** Príklady stredotlakého a vysokotlakých atomizérov [8]. a) stredotlaký atomizér, b) vysokotlaký atomizér s Y - dýzou (Hamworthy Combustion Engineering Ltd.), c) Vysokohybnostný atomizér (Hamworthy Combustion Engineering Ltd.), d) Vysokotlaký atomizér so spoločnou zmiešavacou komôrkou (FCT Combustion Pty)

### Horáky vysokotlaké

Tieto horáky vyžadujú pre vysokotlaké atomizovanie vzduch alebo paru pri tlakoch väčších ako 0,2 MPa a často až 1 MPa [8]. Rozsah spotreby vzduchu na atomizovanie je 0,6 až 1,6 m<sup>3</sup> vzduchu na jeden liter paliva. Je vyžadovaný predohrev paliva odpadným teplom na zníženie jeho viskozity, aby sa uľahčila práca palivového čerpadla. Všeobecne, horáky s vysokotlakovým atomizovaním vykazujú nízke utlmenie (3:1 až 4:1) a spotrebúvajú značnú energiu na kompresiu vzduchu. Pretože len malý zlomok zo stechiometrického množstva vzduchu je zmiešaný s vychádzajúcim rozprášeným palivom, plamene z týchto horákov sú relatívne dlhé. Pri spaľovaní vysoko karbónových smôl a dechtov, pridaním pary, bolo dosiahnuté redukovanie tendencie vzniku sadzí. Toto vyplýva z vylepšenej koncentrácie hydroxilových radikálov, ktoré pôsobia ako intenzívne okysličovadlá s nenasýtenými radikálmi uhlíka, ktoré sú predchodcami sadzí.

Tri hlavné typy vysokotlakých atomizérov sú ukázané na Obr. 3-34 b), c), d). Obr. 3-

34 b) ukazuje atomizér s dýzou tvaru Y, Obr. 3-34 c) atomizér s vysokou hybnosťou, Obr. 3-34 d) vysokovýkonný atomizér so spoločnou zmiešavacou komôrkou.

Hlavnou výhodou atomizéra s dýzou tvaru Y je jeho nízka spotreba pary (približne 0,1 kg pary na 1 kg paliva) alebo vzduchu, ale vyžaduje palivo s nízkou viskozitou a použitie suchej pary. Nevýhodou dýzy tvaru Y je asymetrický výstup paliva, ktorý vytvára prúd väčších kvapiek na strane priliehajúcej k vstupnému otvoru paliva.

Atomizér s vysokou hybnosťou je relatívne tolerantný k nízkej kvalite pary a k väčšej viskozite oleja, ale má vysokú spotrebu pary (približne 1kg pary na 1 kg paliva).

Atomizér so spoločnou zmiešavacou komôrkou a s viacnásobnými parnými a palivovými vstupnými otvormi eliminuje asymetriu dýzy tvaru Y. Tento atomizér taktiež požaduje suchú paru a nízkoviskozitné palivo a spotrebuje približne 0,25 kg pary na 1 kg paliva, ale produkuje kvapky s o mnoho menšou veľkosťou než iné atomizéry.

Dvojtektinové atomizéry musia byť nastavené na daný prúdový pomer a každá tekutina musí byť kontrolovaná separátne. Zvyčajne sa meria a kontroluje prúd paliva pri nastavení atomizačnej tekutiny na konštantný tlak alebo nastavenou na relatívny diferenciálny tlak k tlaku paliva.

Široká škála konštrukčných návrhov dvojtektinových atomizérov spôsobuje problémy pri predvídaní veľkosti produkovaných kvapiek. Následkom toho vznikali vyjadrenia pre veľkosť kvapiek, ktoré môžu byť aplikované len na limitovanú škálu atomizérov. Napríklad, Wigg-ova rovnica (1964), ktorá bola vyvinutá pre interné miešanie vzduchu vysokopečných atomizérov s vysokými pomermi vzduch - palivo, môže byť aplikovaná na konvenčný typ Y-dýzy, ako aj pre atomizéry, pre ktoré bola pôvodne vyvinutá [8].

$$D_{md} = \frac{200\nu^{0,5}Q^{0,1}\left(1 + \frac{Q}{A}\right)^{0,5}h^{0,1}\sigma^{0,2}}{\rho^{0,3}V} \quad (3-13)$$

kde:  $D_{md}$  - stredný hmotnostný priemer spreja [ $\mu\text{m}$ ],

$\nu$  - viskozita paliva [cSt],

$Q$  - prietoková rýchlosť paliva [ $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ ],

$A$  – prietoková rýchlosť vzduchu [ $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ ],

$h$  – výška medzikružia pre vzduch [cm],

$\sigma$  – povrchové napätie paliva [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ],

$\rho$  – hustota atomizačnej tekutiny v bode miešania [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ],

$V$  – relatívna rýchlosť atomizačnej tekutiny k rýchlosti paliva.

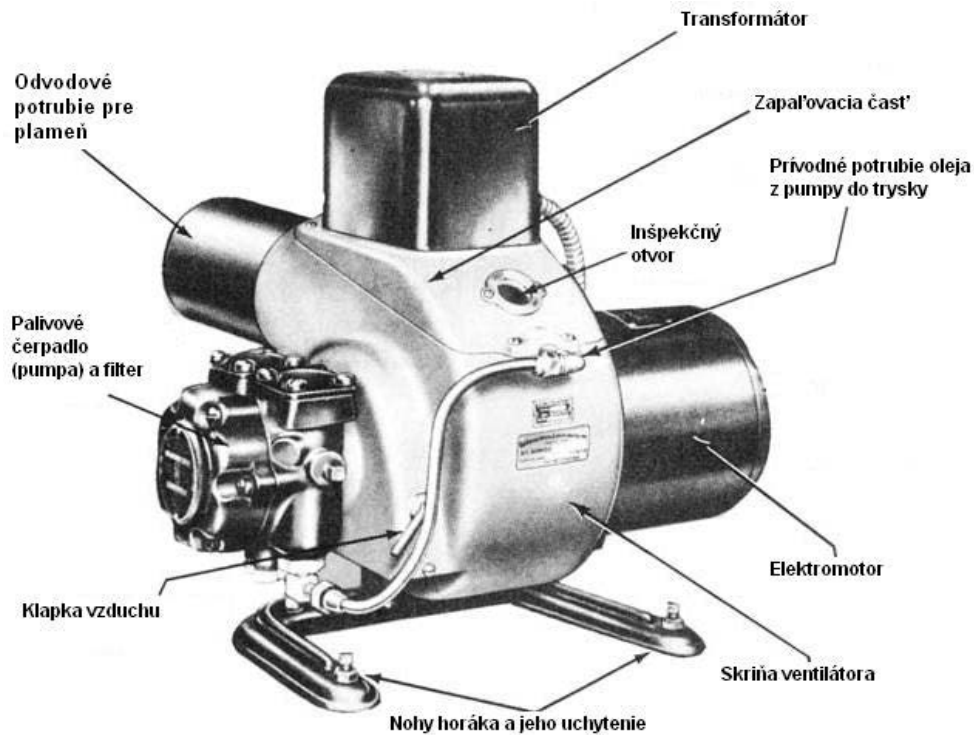
Toto vyjadrenie ukazuje, že viskozita oleja, pomer atomizujúcej tekutiny a paliva, hustoty atomizujúcej tekutiny a jej relatívna rýchlosť k rýchlosti paliva, všetky tieto ukazovatele majú významný vplyv na veľkosť kvapiek. Rovnica naznačuje, že efekt geometrie je malý, reprezentovaný  $h$ . Avšak prakticky, vplyv geometrie atomizéra je dôležitý, pretože tiež ovplyvňuje kritické premenné veličiny ako hustota atomizačnej tekutiny a relatívna rýchlosť.

### 3.3.12 Horák rozprašovacieho typu

Atomizovanie mechanickými prostriedkami využíva rozstrek kvapôčiek paliva produkovaný pumpovaním palivového oleja cez dýzu. Atomizované palivo z dýzy zvyčajne vychádza ako dutý kužeľ, ktorý sa potom mieša so vzduchom a horí. Výstup je kontrolovaný tlakom a viskozitou paliva, ktorá je závislá na teplote. Pomer menovitého výkonu k minimálnemu použiteľnému výkonu s jednoduchými tlakovými prúdovými horákmi je nízky (približne 2:1), čo znamená, že účinnosť atomizácie prudko klesá, keď horák pracuje mimo návrhového pásma. Modifikované horáky môžu dosahovať turn-down pomery aj väčšie ako 2:1.

Rozprašovací typ atomizačného olejového horáka je dostupný buď ako nízkotlaký alebo ako vysokotlaký typ (Obr. 3-35). Vysokotlaký typ je častejšie používaný. Plameň z týchto horákov je zvyčajne krátky s malou rýchlosťou, pretože všetok vzduch pre spaľovanie je poskytovaný sekundárnymi prostriedkami a je potrebný väčší spaľovací priestor. Ich investičné náklady sú väčšie, ale ďalšie prevádzkové náklady sú nízke. Výhodou týchto atomizérov je ich jednoduchosť. Pri spaľovaní palív s obsahom pevných častíc treba posúdiť problémy spojené s opotrebením a upchávaním otvorov dýz.

Rozprašovací typ olejového horáka s vysokotlakovým atomizovaním je tiež nazývaný ako rozstrekovací alebo atomizačný horák, pretože rozstrekuje palivový olej namiesto jeho odparovania. Je tiež označovaný ako tlakový olejový horák, pretože olej je prinútený pod tlakom prechádzať cez špeciálny rozprašovač – atomizačnú dýzu. Tekuté palivo je rozbité do malých tekutých čiastočiek alebo kvapiek.

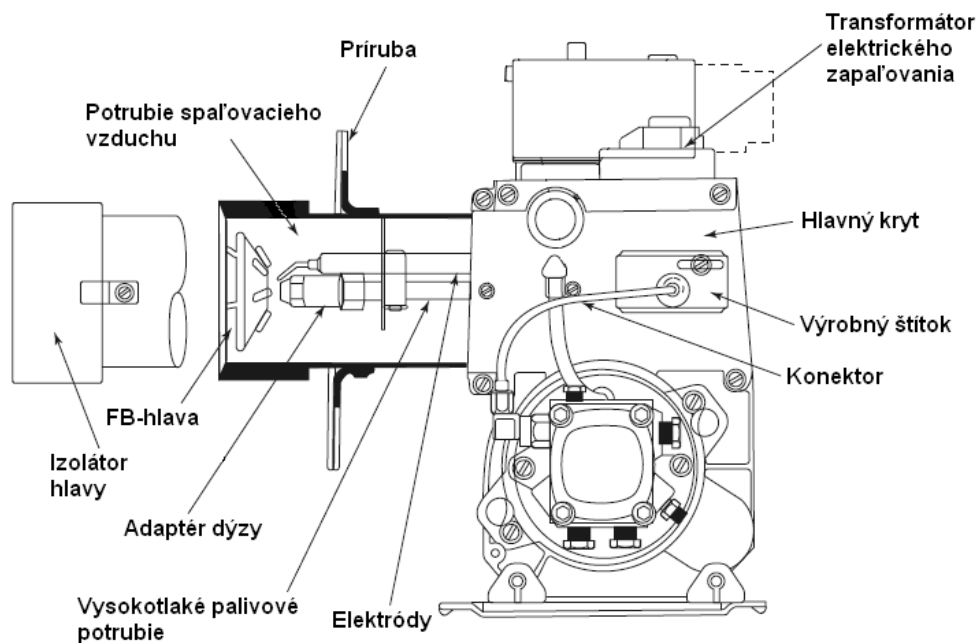


**Obr. 3-35** Hlavné časti olejového horáka rozprašovacieho typu (S.T.Johnson Company) [1]

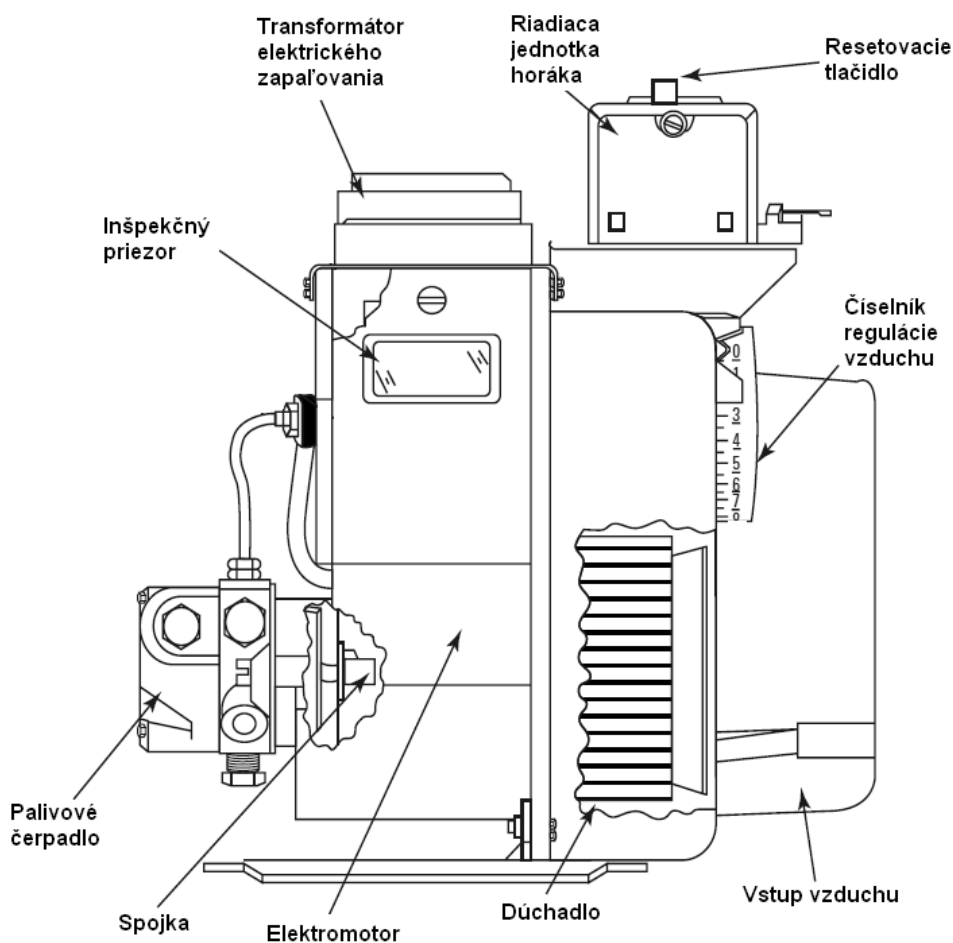
### Konštrukčné detaily

Hlavné komponenty a časti olejového horáka rozprašovacieho typu s vysokotlakovým atomizovaním používaným v obytných a ľahkých komerčných olejových systémoch vykurovania sú ilustrované na obrázku 3-36 a 3-37. Konštrukčné detaily vysokotlakových olejových horákov môžu byť v rôznych vyhotoveniach a modeloch odlišné, ale celkový dizajn týchto horákov je štandardizovaný. Komponenty a časti typického vysokotlakového olejového horáka môžu byť rozdelené do týchto kategórií:

- Ovládanie horáka
- Hlavná bezpečnostná kontrola
- Rozprašovacia sústava
- Zapaľovací transformátor
- Motor a spojka horáka
- Palivová pumpa
- Dúchadlo vzduchu pre spaľovanie



**Obr. 3-36** Typický olejový horák rozprašovacieho typu (bočný pohľad), (Lennox Industries Inc.). [1]

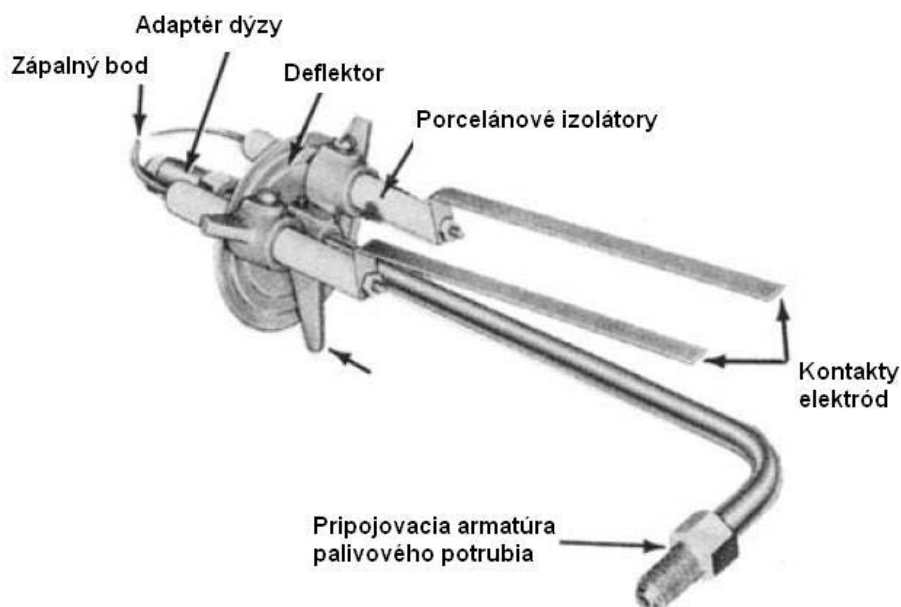


**Obr. 3-37** Typický olejový horák rozprašovacieho typu (pohľad spredu), (Lennox Industries Inc.). [1]

**Ovládanie horáka** je funkčné riadiace centrum horáka. Pôsobí v spojení s primárnou reguláciou a bimetalickým snímačom teploty. Keď izbový termostat požaduje teplo, zápalný cyklus sa začína. Ovládanie horáka zapne horák, až keď CAD člen detekuje (preukáže) plameň. Ovládanie vypne horák, ak CAD člen zlyhá pri dokázaní ohňa alebo ak bimetalický snímač zistí teplotu príliš vysokú pre bezpečnú prevádzku.

**Hlavná bezpečnostná kontrola** je automatické bezpečnostné zariadenie navrhnuté tak, aby zastavilo tok palivového oleja v horáku, ak by zlyhalo zapaľovanie plameňa alebo nastalo jeho zhasnutie. Moderné vykurovacie pece a kotly spaľujúce olej, používajú CAD člen ako primárnu reguláciu na zisťovanie plameňa. Staršie typy boli vybavené komínovým detektorom. CAD člen je nainštalovaný vo vnútri horáka za inšpekčným okienkom a starší typ býval umiestnený v komíne.

**Rozprašovacia sústava** olejového horáka pozostáva z dýzy, elektród a potrubného pripojenia na palivové čerpadlo (Obr. 3-38). Dýza horáka mení palivový olej do podoby, ktorá môže byť spaľovaná v spaľovacej komore. Dosahuje to núteným prechodom oleja pod tlakom cez malý otvor na konci dýzy. Atomizovaný palivový olej je zapálený iskrou z elektród.

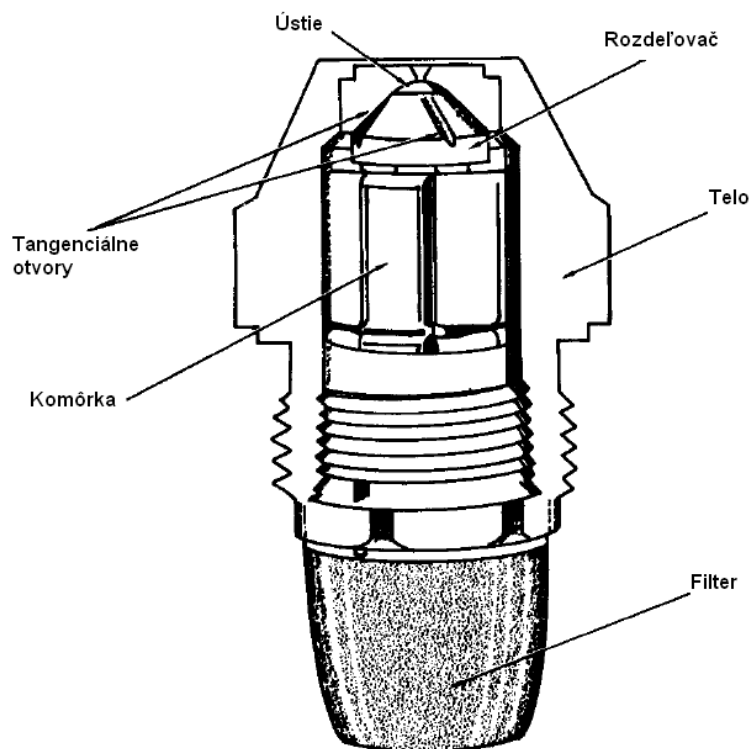


**Obr. 3-38** Rozprašovacia sústava (Wayne Home Equipment Co., Inc.). [1]

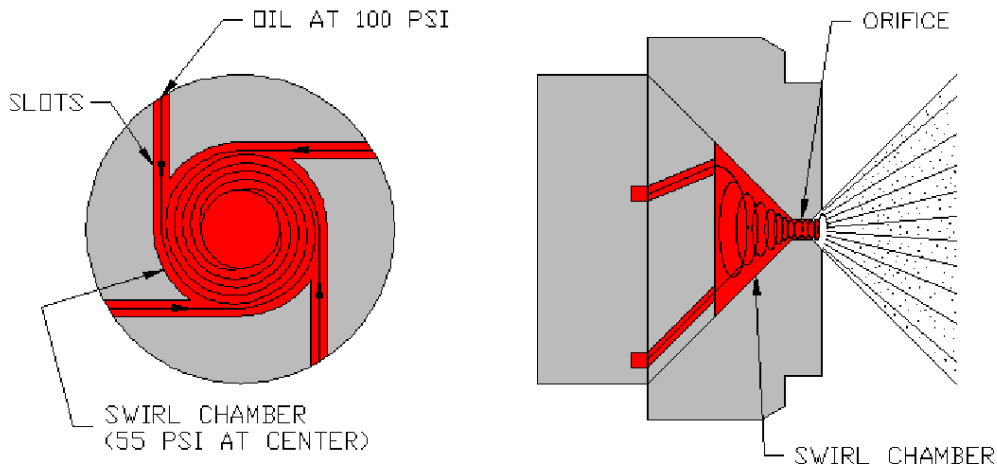
Najdôležitejším komponentom podieľajúcim sa na príprave palivovej zmesi je dýza horáka. Musí dodávať fixné množstvo paliva do spaľovacej komory a dodržať rovnaký tvar lúča vstrekovanej paliva. Uhol a tvar lúča vstrekovanej paliva musí

byť vhodný pre špecifické požiadavky horáka. Dýza horáka atomizuje palivo (rozkladá ho na extrémne malé kvapôčky) tak, aby mohlo nastať rýchlejšie odparovanie nutné pre horenie. Časti typickej dýzy (Obr. 3-39) sú:

- 1) ústie,
- 2) vírivá komôrka,
- 3) doska s ústím,
- 4) telo,
- 5) tangenciálne otvory,
- 6) rozdeľovač,
- 7) komôrka,
- 8) filter.



**Obr. 3-39** Detail horákovej dýzy (Wayne Home Equipment Co., Inc.). [1]



**Obr. 3-40** Princíp práce palivovej dýzy. [10]

Palivo prúdi pod tlakom do dýzy, kde je tlak premieňaný na rýchlostnú energiu vo vírivej komôrke prechádzaním cez súbor tangenciálnych otvorov. Odstredivá sila spôsobená vnútri vírivej komôrky tlačí palivo proti stenám komôrky, vytvára tak v strede vzduchové jadro. Nakoniec palivo opúšťa dýzu cez otvor na jej vrchole v lúči kužeľového tvaru. Môžu sa vytvoriť dva základné typy kužeľov:

- 1) Dutý kužeľ
- 2) Plný kužeľ

Lúč v tvare dutého kužeľa (výrobcami označovaný ako „typ A“), ukázaný na Obr. 3-41 a) je odporúčaný pre použitie v menších horákoch. Ako je vidieť na a), vyznačujú sa koncentráciou kvapiek paliva všade okolo vonkajšieho okraja rozstrekovaného paliva. Nie je tu žiadny alebo malý výskyt kvapiek paliva v centre kužeľa. Hlavnou výhodou dutého kužeľa je stabilnejší tvar a uhol vystrekovaného lúča paliva pri nepriaznivých podmienkach.

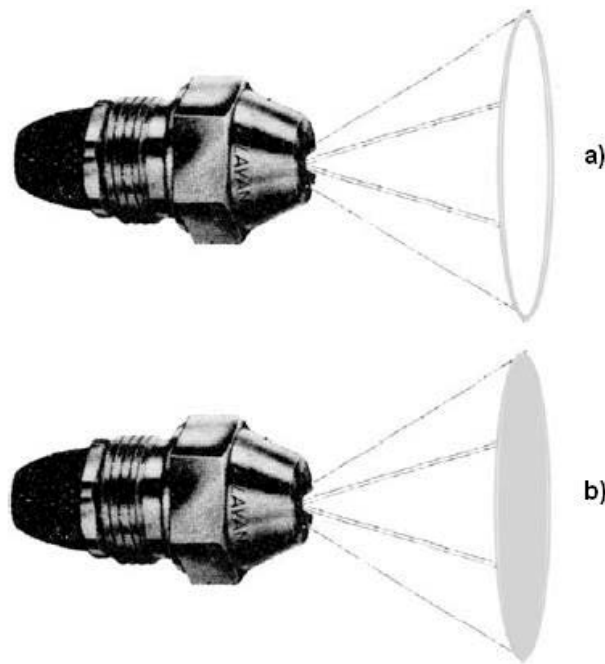
Plný kužeľ (výrobcami označovaný ako „typ B“), ukázaný na Obr. 3-41 b), je charakterizovaný rovnakou alebo skoro rovnakou distribúciou kvapiek paliva v celom kuželi rozstrekovaného paliva. Dýzy produkujúce tento tvar kužeľa sú obzvlášť odporúčané pre hladké zapálenie v olejových horákoch spaľujúcich väčšie množstvo paliva. Sú tiež odporúčané všade tam, kde je požadovaný dlhý plameň.

Dýzy olejových horákov sú taktiež charakterizované na základe uhlu lúča rozstrekovaného paliva (Obr. 3-43). Uhol lúča rozstrekovaného paliva sa vzťahuje na vrcholový uhol kužeľa lúča a tento uhol máva obvykle rozsah od 30° do 90°. Výber uhla bude závisieť od požiadaviek horáka na vzduch a od tvaru a veľkosti spaľovacej komory. Napríklad, uhly lúča rozstrekovaného paliva od 70° do 90° sú odporúčané pre

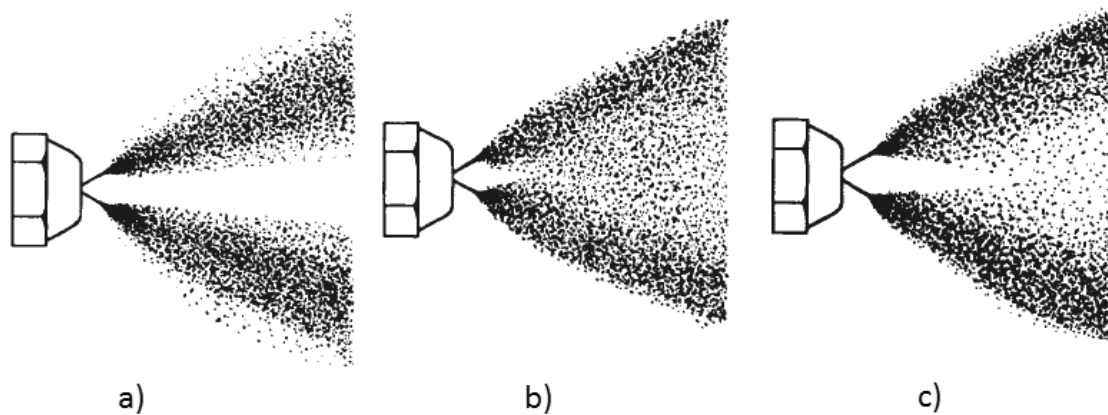


oblé alebo štvorcové spaľovacie komory a uhly od 30° do 60° sú odporúčané pre dlhé, úzke komory.

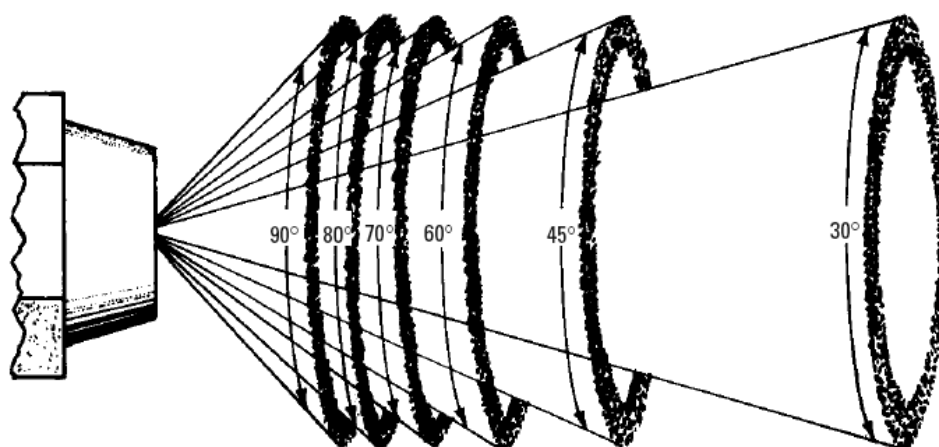
Výrobcovia palivových dýz tiež poskytujú špeciálne druhy dýz pre špeciálne použitie. Poskytujú prechod medzi plným a dutým kužeľom, hovorí sa im poloplné kužele (Danfoss), alebo tiež kužele tvaru W (Delavan) (Obr. 3-42 c). Pri nižších prietokoch paliva majú sklon tvoriť skôr dutý kužeľ a pri vyšších prietokoch majú sklon tvoriť skôr plný kužeľ. Špeciálnym typom dýz sú dýzy pre horáky, ktoré produkujú nízke emisie NO<sub>x</sub> (low NO<sub>x</sub>). Jednou z takýchto dýz je aj palivová dýza Danfoss LN použiteľná v menších horákoch. Dýza má špeciálnu charakteristiku atomizovania, distribúcie kvapiek paliva a najmä veľkosť kvapiek. Dýza tvorí špeciálny dutý kužeľ rozstrekovaného paliva s nepatrne väčšími kvapkami v strede lúča.



**Obr. 3-41** Tvary kužeľov lúčov rozstrekovaného paliva (Wayne Home Equipment Co., Inc.) [1]. a) dutý kužeľ, b) plný kužeľ.



**Obr. 3-42** Tvary kužeľov lúčov rozstrekovaného paliva. [15]



**Obr. 3-43** Variácie uhla lúča rozstrekovaného paliva (Wayne Home Equipment Co., Inc.) [1].

Prúd paliva cez dýzu atomizéra je daný modifikovanou Bernoulliho rovnicou [8]:

$$Q = k_1 \cdot d_0^2 \cdot p^{0,5} \quad (3-14)$$

kde:  $Q$  - prietok paliva cez dýzu [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  
 $d_0$  - priemer výstupného otvoru [mm],  
 $p$  - tlak dodávaného paliva [Pa],  
 $k_1$  – konštanta.

V priemyselnej oblasti je bežné spojenie konštanty  $k_1$  a priemeru výstupného otvoru  $d_0$  do jednej konštanty, ktorá charakterizuje atomizér. Táto konštanta je známa

ako prúdové číslo (flow number -  $FN$ ) [8]:

$$FN = \frac{Q}{p^{0,5}} \quad (3-15)$$

Prúdové číslo závisí na veľkom počte faktorov spojených s geometriou a je bežne extrapolované empirickou zmenou mierky z obdobných návrhov alebo stanovené experimentálne.

Veľkosť kvapiek produkovaných tlakovým dýzovým atomizérom je silne závislá na viskozite paliva a povrchovom napätí. Radcliff vyvinul empirické vyjadrenie pre odhad Sauterovho stredného priemeru ( $SMD$  - Stauer mean diameter) [8]:

$$SMD = 7,3\sigma^{0,6} \nu^{0,2} m^{0,25} \Delta p^{-0,4} \quad (3-16)$$

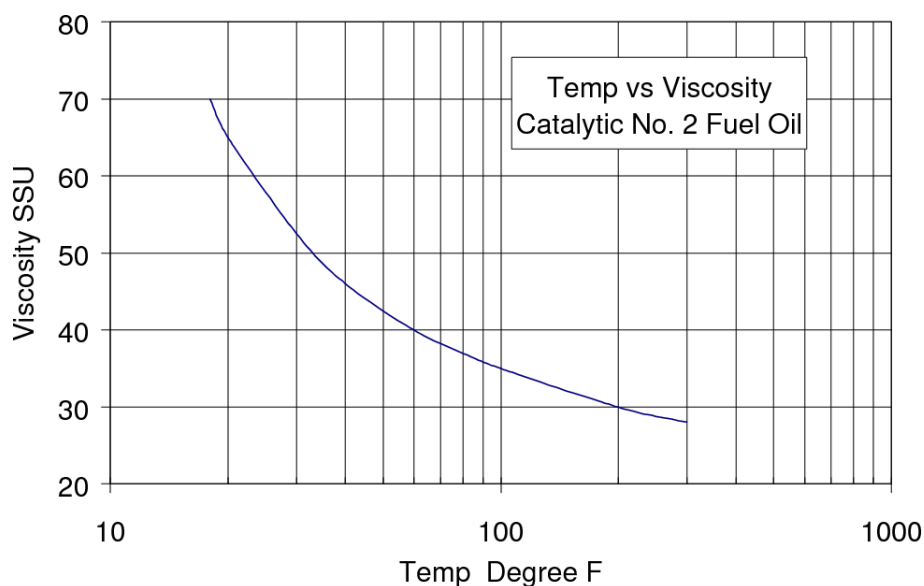
kde:  $\sigma$  – povrchové napätie [ $N \cdot m^{-1}$ ],

$\nu$  – viskozita paliva [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ],

$m$  – hmotnostný prietok [ $kg \cdot s^{-1}$ ],

$\Delta p$  – diferenčná strata tlaku naprieč atomizérom [Pa].

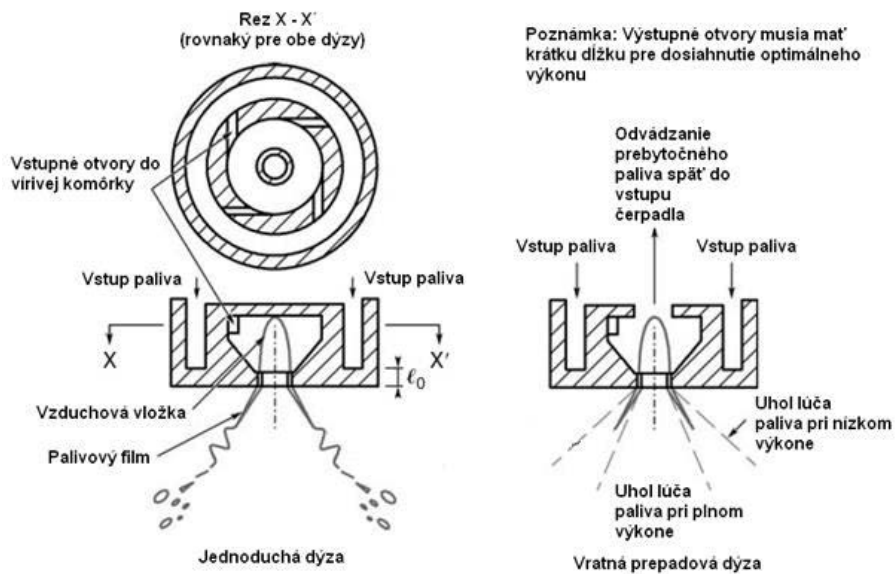
Rovnica naznačuje, že pre hociktorý atomizér má viskozita paliva najväčší vplyv na veľkosť kvapky a viskozita by mala byť v rozsahu 15 až  $20 \cdot 10^{-6} m^2 \cdot s^{-1}$ . Minimálne energetické vstupy požadované pre atomizovanie sú dané viskozitou paliva v bode atomizovania. Atomizéry navrhnuté pre vysokotlakovú prevádzku, to znamená pre malé  $FN$  a malý priemer otvoru, produkujú kvapky menšej veľkosti a naopak nízkotlakové atomizéry s veľkými otvormi a vysokým  $FN$  produkujú veľmi veľké kvapky.



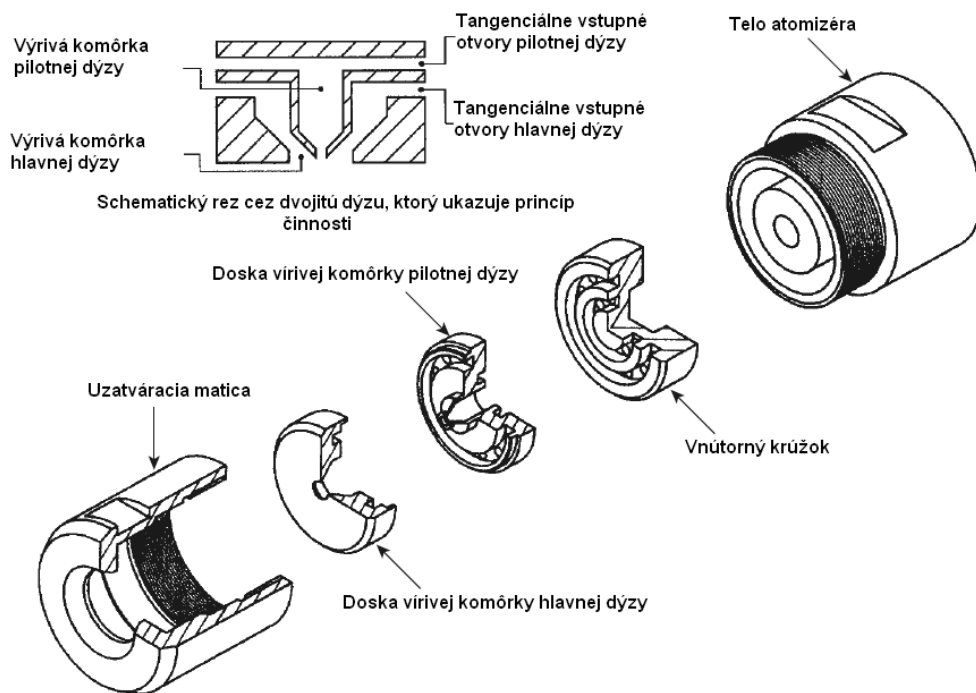
**Obr. 3-44** Príklad závislosti viskozity vykurovacieho oleja od jeho teploty. [10]

Pretože pri znižovaní výkonu horáka tlak oleja rýchlo klesá, veľkosť kvapiek významne narastá, čo je ilustrované na Obr. 3-47. Dôvod pre tento efekt je, že pri znižovaní výkonu klesá aj tlak paliva, výstupná rýchlosť paliva taktiež poklesne a palivový film sa zahustí. Pre odstránenie tohto problému môžu byť použité špeciálne typy dýz, ktoré zvyšujú pomer utlmenia horáka. Príklad takejto dýzy je vratná prepadová dýza ukázaná na Obr. vpravo. Tento návrh udržuje konštantný prúd výstupného filmu paliva použitím vírovej komôrky. Utlmenie je dosiahnuté vracaním nadbytočného paliva do nádrže cez spätnú vírivú komôrku, keď horák pracuje s malým prietokom. Nevýhodou tohto riešenia je nárast uhla lúča vstrekovaného paliva, keď horák pracuje pri malom zaťažení a to spôsobuje ťažkosti s prispôbením spaľovacieho vzduchu geometrii dýzy pri určitých aplikáciách.

Ďalšia cesta dosiahnutia možnosti vysokého utlmenia pri dodržaní konštantného uhla lúča vstrekovaného paliva, je dvojité (duplex) dýza, ktorá efektívne spája dve dýzy v rámci jednej kompaktnej jednotky (Obr. 3-45). Vnútoraná dýza, zvyčajne nazývaná pilotná, má nízku kapacitu, obyčajne 25 až 30 % plného výkonu horáka, zatiaľ čo vonkajšia alebo hlavná dýza dosahuje 70 až 75 % plného výkonu. Maximálny výkon sa dosahuje použitím oboch dýz, zatiaľ čo pri malom zaťažení pracuje len pilotná dýza, stredné výkony sa dosahujú rôznymi kombináciami pilotnej a hlavnej dýzy, ktoré môžu pracovať spolu alebo samostatne.



**Obr. 3-44** Schematické znázornenie jednoduchej a vratnej prepádovej dýzy. [8]



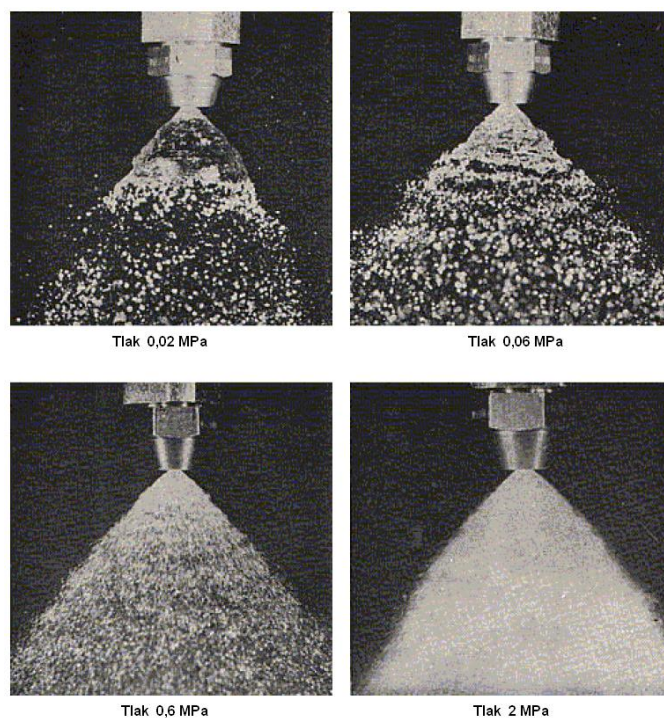
**Obr. 3-45** Schéma a rozvinutý pohľad na dvojitú dýzu. [8]

Ďalšou komplikáciou pri tvorbe palivovej zmesi je štart a vypnutie horáka. Pri štarte nie je v palivovej sústave dostatočný tlak, čo spôsobuje tvorbu veľkých kvapiek paliva, čo má za následok zníženie pravdepodobnosti zapálenia zmesi a vysokú tvorbu sadzí v dôsledku nedokonalého spaľovania. Pri vypínaní horáka, keď sa palivové čerpadlo a ventilátor vypnú, nastáva prudký pokles tlaku paliva a nedostatok vzduchu pre spaľovanie. Pokles tlaku paliva má vplyv na tvorbu veľkých kvapiek a nedostatok

vzduchu spôsobí nedokonalé spálenie rozstrekovaného paliva. Výsledkom je stav podobný ako pri štarte horáka. Spôsoby ako odstrániť tieto problémy sú použitie automatického solenoidového ventilu za čerpadlom alebo použitie špeciálnych dýz. Vysokú kvalitu spaľovania a konštantné podmienky pre prácu palivovej dýzy poskytuje patentovaná technológia spoločnosti DELAVAN. Jedná sa o dýzu so systémom Delavan ProTek™. Táto dýza poskytuje značné zníženie nespálených podielov, ktoré vznikajú pri nedokonalom spaľovaní pri štarte a vypínaní horáka. Dýza má v sebe ventil s pružinou, ktorý otvára a zatvára prietok paliva do dýzy. Predpätím pružiny sa nastavuje tlak paliva pri ktorom sa ventil otvorí a zatvorí. Ventil sa otvára, až keď je tlak paliva dostatočný na to, aby nastalo účinné atomizovanie. Pri poklese tlaku pružina okamžite zatvára ventil a tým minimalizuje dostreky paliva pri vypínaní horáka. Na obrázku 3-46 je vidieť rez dýzou takéhoto typu.



**Obr. 3-46** Rez dýzou Delavan ProTek™ [15]



**Obr. 3-47** Vplyv tlaku paliva na jeho rozprašovanie. [10]

**Zapaľovací transformátor** produkuje napätie používané elektródami na zapálenie palivového oleja. Tento typ transformátora je navrhnutý na to, aby zvýšil napätie z vysokonapäťového okruhu (230 V prípadne 110 V striedavého napätia) až na veľmi vysokých 14000 V, požadovaných k rozničeniu palivového oleja.

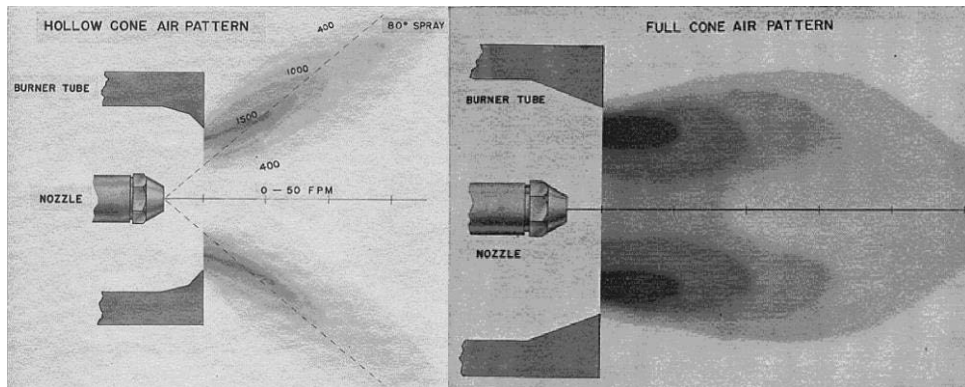
**Motor horáka a spojka** – ako je ukázané na Obr. 3-37, motor horáka je umiestnený na pravej strane zostavy olejového horáka. Hnací hriadeľ motora horáka je pripojený k palivovému čerpadlu a dúchadlu spaľovacieho vzduchu spojkou, pretože je hnacím agregátom pre oboje tieto jednotky. Motor horáka je tiež niekedy nazývaný motor olejovej pumpy alebo motor pumpy, pretože je pripojený k palivovej pumpe a riadi jej činnosť.

**Palivové čerpadlo** (tiež nazývané olejová pumpa alebo palivová jednotka) je použitá na čerpanie palivového oleja zo zásobníka (nádrže) a dodáva ho pod vysokým tlakom do rozprašovacej sústavy. Vysoké tlaky paliva a relatívne malé otvory sú nutné pre účinné atomizovanie. Bežný tlak v palivovej sústave býva 3,5 MPa a vyšší, pri použití ťažkého vykurovacieho oleja vo veľkých horákoch. Palivové čerpadlo je poháňané motorom horáka cez spojkou a je umiestnené na ľavej strane olejového horáka (Obr. 3-37).

**Dúchadlo spaľovacieho vzduchu** je taktiež poháňané motorom horáka cez spojkou. Je umiestnené medzi motorom horáka a palivovým čerpadlom. Jeho funkciou je privádzať požadované množstvo vzduchu pre proces spaľovania. Množstvo vzduchu môže byť ručne nastavené mierkovým nastavovačom vzduchu alebo vzduchovou klapkou umiestnenou medzi kolesom dúchadla a prírodným vzduchovým hrdlom. V závislosti na výrobcovi olejového horáka, dúchadlo je tiež niekedy nazývané ako dúchacie koleso, motorový ventilátor horáka alebo plniace dúchadlo.

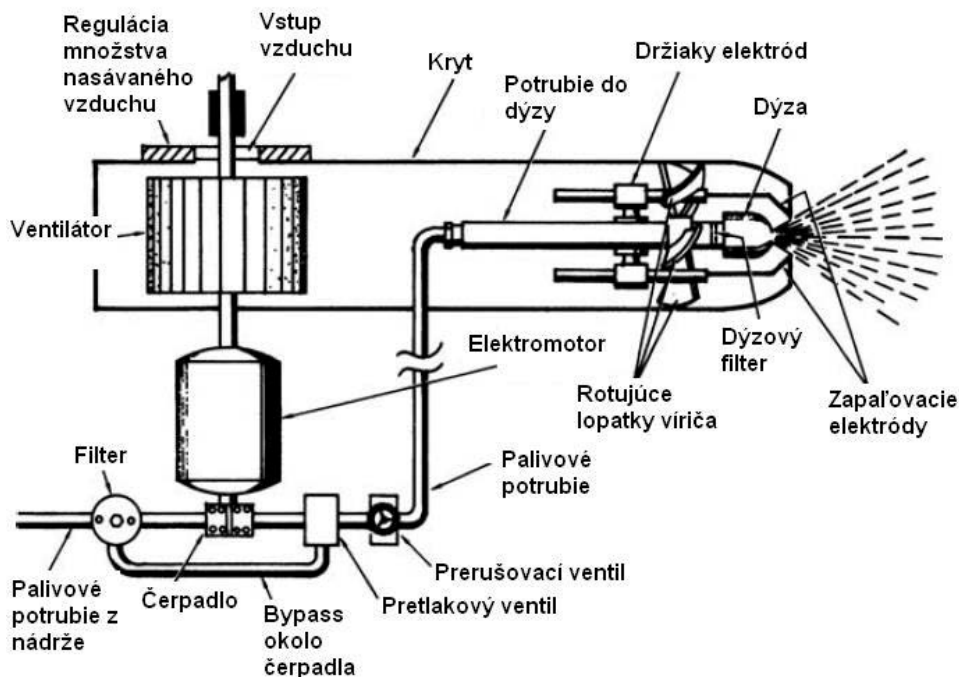
Konštrukcia ventilátora pozostáva zo (klietkového ochranného bubna) série lopatiek alebo čepelí upevnených na okraji kolesa. Tieto lopatky sú sklonené dopredu takým spôsobom, aby poskytovali maximálny výtlak vzduchu. Charakteristika práce vzduchového systému je jednoduchá. Ventilátor nasáva vzduch do skrine ventilátora a tlačí ho cez sacie potrubie a vírič do spaľovacej komory. Pretože vzduch je tlačný prostredníctvom lopatiek, pohyb vzduchu je vírivý. Tento pohyb napomáha vytvárať dokonalejšiu zmes paliva a vzduchu, čo má za následok lepšie spaľovanie. Rovnako ako tvar lúča rozstrekovaného paliva, aj tvar prúdu spaľovacieho vzduchu môže tvoriť dutý alebo plný kužeľ, tak ako je ukázané na Obr. 3-48. Voľba závisí od používaného paliva a palivovej dýzy, na potrebe spaľovacieho vzduchu a veľkosti spaľovacej

komory.



**Obr. 3-48** Tvar prúdu spaľovacieho vzduchu. [10]. Vpravo – dutý kužeľ, vľavo – plný kužeľ.

**Princíp činnosti** rozprašovacieho olejového horáka s vysokotlakovým atomizovaním je schematicky znázornený na Obr. 3-49. Palivový olej je nasávaný cez filter zo zásobovacej nádrže palivovým čerpadlom. Olej je pod tlakom prinútený pretekať cez otvory palivovej dýzy. Veľkosť tlaku požadovaného k pumpovaniu palivového oleja cez potrubie a dýzu, závisí na veľkosti, kapacite horáka a od účelu za ktorým je horák použitý. Napríklad, olejové horáky použité v obytných vykurovacích aplikáciách vyžadujú tlak 0,5 až 0,8 MPa zatiaľ čo komerčné a priemyslové horáky vyžadujú tlak 0,7 až 2 MPa.



**Obr. 3-49** Schéma olejového horáka. [1]



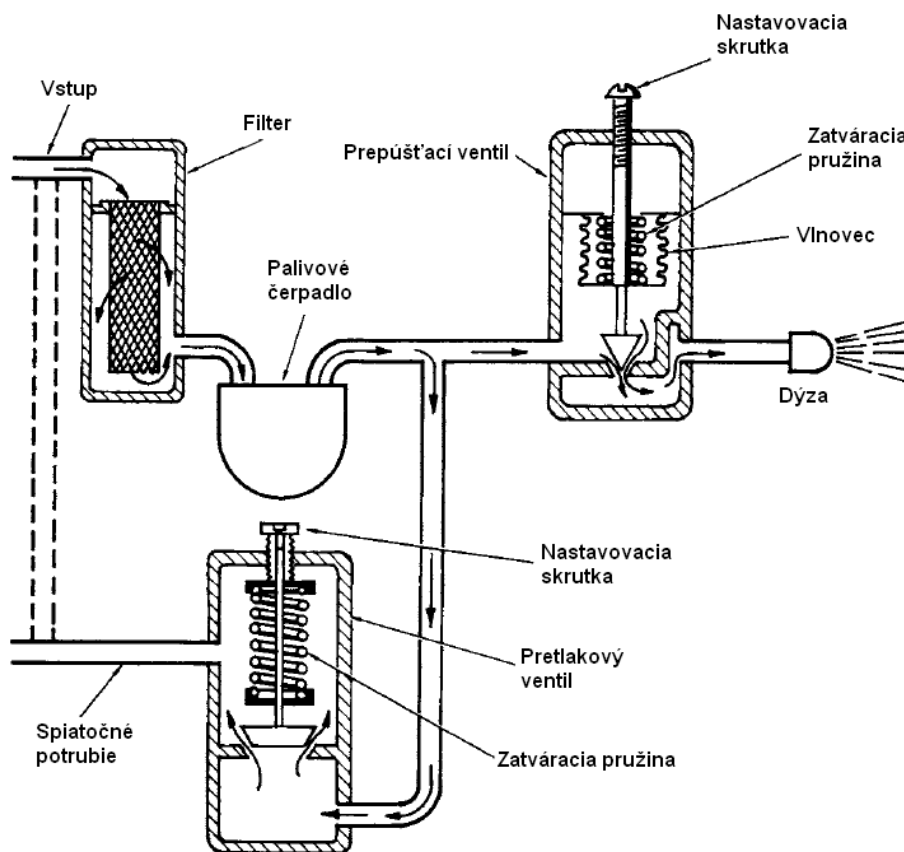
Keď palivový olej prejde cez dýzu, je rozbitý a rozstrekovaný do veľmi jemnej hmly. Prívod vzduchu je zabezpečený cez vtokové hrdlo vzduchu a jeho množstvo je regulované otváraním alebo zatváraním škrtiacej klapky v hrdle. Vzduch je dúchadlom vháňaný do rúrovej časti obalu horáka. Následne tento vzduch prechádza cez súbor lopatiek víriča a mieša sa s rozstrekovaným olejom. Vírič dáva prúdu vzduchu točivý pohyb pred tým, než dosiahne rozstrekovač oleja a vytvára sa tak lepšia zmes paliva so vzduchom.

Zapálenie palivovej zmesi nastáva prostredníctvom elektród, ktoré produkujú iskru vždy na začiatku každej operačnej periódy. Energiu pre iskru poskytujú transformátor, ktorý mení striedavý prúd a zvyšuje jeho napätie.

Horák je spúšťaný zopnutím okruhu elektromotora, napríklad pomocou automatickej regulácie izbovej teploty. Keď je okruh elektromotora zopnutý, motor začne otáčať ventilátor a pumpu. Súčasne transformátor elektrického zapalovania produkuje iskru na elektródach pripravených zapáliť zmes paliva a vzduchu.

Palivové čerpadlo nasáva palivový olej z nádrže cez filter na olejovom potrubí. Prúd je kontrolovaný prepúšťacím ventilom, ktorý zabráni prichádzať oleju do dýzy, pokiaľ nedosahuje dostatočne vysoký tlak, dosť vysoký na to, aby nastalo účinné rozstrekovanie oleja. Pretože čerpadlo horáka pumpuje olej omnoho rýchlejšie, než môže vychádzať cez otvory dýzy, tlak oleja medzi čerpadlom a dýzou narastá veľmi rýchlo. Keď tlak narastie nad normálny prevádzkový tlak, otvorí sa pretlakový ventil a umožní nadbytočnému oleju pretiecť obtokovou líniou (bypass-om) do vstupu alebo pretiecť cez druhé alebo spätné vedenie do zásobovacej nádrže. Pretlakový ventil tiež udržuje olej v správnom prevádzkovom tlaku.

Keď sa olejový horák vypína (motor horáka sa zastaví), tlak oleja rýchlo poklesne pod prevádzkový tlak a pretlakový ventil sa uzavrie. Plameň pokračuje v horení, až kým tlak neklesne pod nastavenie prepúšťacieho ventilu.



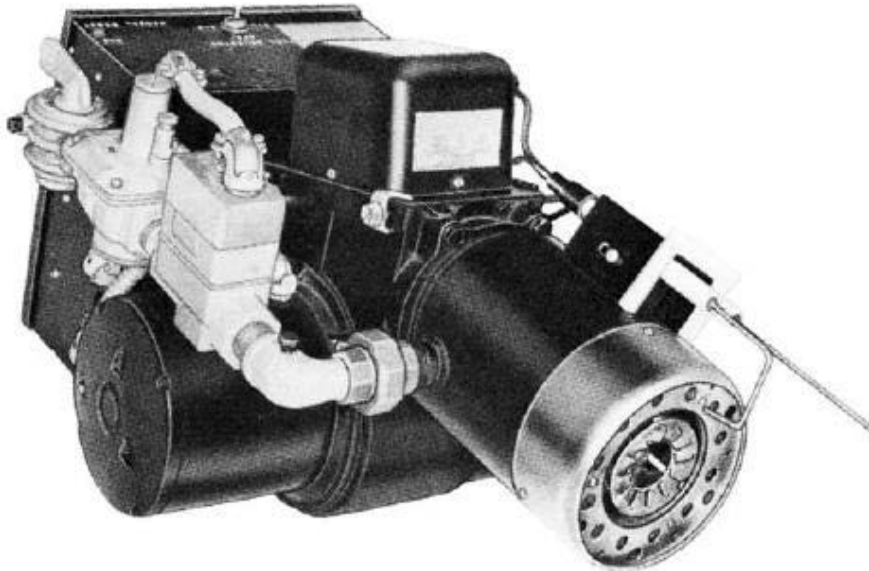
**Obr. 3-50** Schematické znázornenie zariadenia prepúšťacieho a pretlakového ventilu. [1]

Prepúšťací a pretlakový (regulačný) ventil môžu byť buď dve oddelené jednotky alebo kombinované do jednej kompaktnej valcovej jednotky. Obr. 3-50 ukazuje základné časti a usporiadanie dvojventilového zariadenia. Prepúšťací ihlový ventil je s pružinou vnútri vlnovca, pretlakový ventil je s nechránenou pružinou. Pružina prepúšťacieho ventilu pôsobí proti tlaku oleja na čelnú plochu vlnovca a má tendenciu zatvoriť ventil. Pružina pretlakového ventilu pôsobí proti tlaku oleja, ktorý pôsobí na spodnej strane tanierového ventilu a má tendenciu otvoriť ventil. Keď sa čerpadlo spúšťa, tlak v potrubí vzrastá v závislosti na nastavení pružiny, pôsobenie tlaku oleja na hlavu vlnovca prekoná odpor pružiny a spôsobí tým otvorenie prepúšťacieho ventilu. Keď čerpadlo pracuje dlhšiu dobu a dodáva väčšie množstvo oleja ako môže pretiecť dýzou, tlak oleja rýchlo narastá až prekoná odpor pružiny pretlakového ventilu a spôsobí jeho otvorenie. Toto umožňuje nadbytočnému oleju obtokom sa vrátiť späť do nádrže.

### **Kombinácia olejových a plynových horákov**

Niektoré olejové horáky sú schopné spaľovať kvapalné palivo aj plyn. Nazývajú

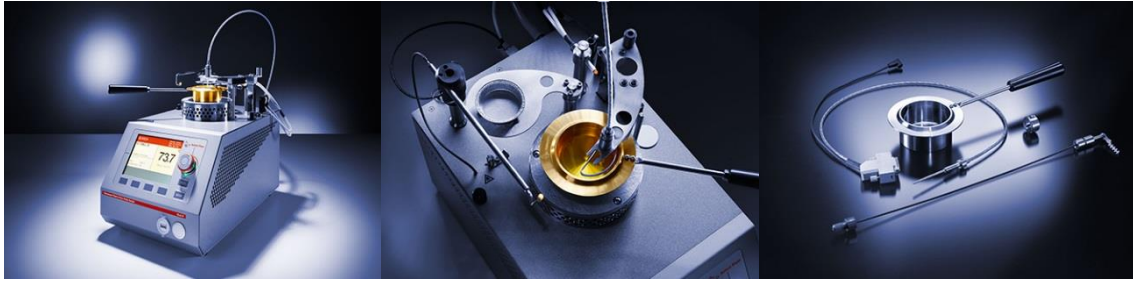
sa dvojpališové a umožňujú použitie týchto palív oddelene alebo súčasne v rovnakom horáku. Toto je obzvlášť výhodné v oblastiach, kde býva k dispozícii lacný plyn. Kombinácia plynového a olejového horáka je ilustrovaná na obrázku 3-51, obsahuje nezávislé zapáľovanie a riadiace systémy pre plyn a olej.



**Obr. 3-51** Dvojpališový horák olej – plyn (Wayne Home Equipment Co., Inc.). [1]

### **3.3.13 Skúška podľa Clevelanda**

Skúška pre stanovenie teploty bodu vzplanutia a bodu horenia. Podstata skúšky: Skúšobná vzorka sa naleje do skúšobného téglíku do určenej výšky hladiny, najskôr sa teplota skúšanej vzorky zvyšuje rýchlo a neskôr sa zvyšuje pomaly konštantnou rýchlosťou až po dosiahnutie bodu vzplanutia, resp. bodu horenia. Pri skúšobných teplotách sa prechádza malým skúšobným plamienkom ponad téglík s vzorkou. Najnižšia teplota, pri ktorej aplikácia skúšobného plamienku spôsobí zapálenie pár nad hladinou skúšobnej vzorky, sa považuje za bod vzplanutia pri atmosférickom tlaku okolia. Takto získaná teplota bodu vzplanutia je následne prepočítaná na štandardný tlak a po zaokrúhlení ba celé číslo v stupňoch Celzia je výsledok uvádzaný ako bod vzplanutia (resp. bod horenia).



**Obr. 3-52** Prístroj pre stanovenie bodu vzplanutia a horenia podľa Clevelanda CLA 5 [21]

### Skúšobný postup

Priebeh skúšky môže byť vykonaný skúšobným pracovníkom manuálne, alebo automatizovane napr. na prístroji aký je ukázaný na 3-52. Princiipiálne je ale postup skúšky rovnaký:

1. Zmeria sa a zaznamená atmosférický tlak okolia a teplota v laboratóriu.
2. Skúšobný téglík sa naplní skúšanou horľavou kvapalinou po rysku a umiestni sa na zahrievaciu plochu prístroja. Skúšobný téglík sa nesmie plniť na prístroji.
3. Teplomér alebo termočlánok sa upevní na stojan a vloží tak, aby bol umiestnený v strede medzi osou téglíku a stenou téglíku. Banka alebo teleso termočlánku musí byť 6 mm nad dnom skúšobného téglíku (teplomér sa spustí na dno téglíku a vytiahne sa o 6 mm – odmeriame pravítkom)
4. Zapáli sa skúšobný plynový horák a veľkosť plameňa sa nastaví na priemer cca 4 mm (3,2 až 4,8 mm).
5. Pomocou otočného ovládača na prístroji sa nastaví intenzita ohrevu skúšobného téglíku. Hodnota intenzity nesmie byť vyššia ako 30 %.
6. Intenzita ohrevu sa nastavuje tak, aby sa teplota skúšobnej vzorky zvyšovala najskôr rýchlo, tzn. 14 až 17 °C/min. Keď je dosiahnutá teplota cca 56 °C pod očakávaným bodom vzplanutia, intenzita ohrevu sa zníži tak, aby rýchlosť nárastu teploty bola 5 až 6 °C/min. Táto rýchlosť nárastu sa udržuje až po vzplanutie vzorky.
7. Pri teplote nižšej aspoň o 23 °C pod očakávaným bodom vzplanutia sa začne s aplikáciou skúšobného plameňa vždy pri náraste teploty skúšobnej vzorky o 2 °C.

8. Skúšobným plameňom sa pohybuje v jednom smere cez stred skúšobného téglíku rovnomerne neprerušovaným pohybom po dobu cca jednej sekundy. Pri následnej aplikácii je skúšobný plameň vedený v opačnom smere.
9. Ako zistený bod vzplanutia za atmosférického tlaku okolia sa zaznamená teplota skúšobnej vzorky odčítaná na teplomere v dobe, kedy aplikácia skúšobného plameňa spôsobí, že sa pary skúšobnej vzorky zapália a plameň sa rozšíri po povrchu kvapaliny.
10. Vzplanutie sa nesmie zameniť s namodravým svetelným javom (haló) občas obklopujúcim skúšobný plameň pri aplikácii pred skutočným vzplanutím.
11. Vzplanutie sa nesmie zameniť s horením, kedy sa pary zapália a ustálene horia. V prípade horenia sa skúšobný téglík čo najrýchlejšie prikryje krytom, ktorý sa ponechá na téglíku do uhasenia plameňa.
12. Po ukončení stanovovania sa zastaví plynový horák a ohrev téglíku.
13. Pred ďalším stanovovaním napr. novej vzorky sa prístroj ponechá minimálne 10 min. vychladnúť. Skúšobný téglík musí byť vychladený minimálne na teplotu o 56 °C nižšiu než je očakávaný bod vzplanutia novej vzorky. Vychladnutý skúšobný téglík sa neumýva, ale očistí sa papierovou utierkou.

### **Platnosť výsledku skúšky**

Výsledok skúšky nie je platný, keď teplota, pri ktorej je vzplanutie pozorované, nie je minimálne o 18 °C vyššia ako teplota prvej aplikácie skúšobného plameňa. Správnosť nameranej hodnoty musí byť potvrdená opakovaným meraním a namerané hodnoty teploty sa nesmú líšiť o viac ako 2 °C. Pre stanovenie teploty bodu vzplanutia sa použije priemer oboch hodnôt.

### **3.4 Literatúra ku kapitole 3 kvapalné palivá**

- [1] BRUMBAUGH, J.E.: *Audel HVAC Fundamentals, Volume 2, Heating System Components, Gas and Oil Burners, and Automatic Controls, 4<sup>TH</sup> Edition*. Wiley, 2004.
- [2] JIROUŠ, F.: *Efektivní spalování paliv*. ČSZE, 2013.
- [3] KLENOVČANOVÁ, A., IMRIŠ, I.: *Zdroje a premeny energie*. Strojnícka fakulta TU v Košiciach, 2006.
- [4] LINTNEROVÁ, O.: *Geológia kaustobiolitov. Uhlie a uhľovodíky*. UK Bratislava, 2009.

- [5] LÁBAJ, J., KAPJOR, A., PAPUČÍK, Š.: *Alternatívne palivá pre energetiku a dopravu*. Edis UNIZA, 2010.
- [6] LÁBAJ, J.: *Spaľovanie a plameň*. Knižné centrum v Žiline, 2002.
- [7] MATĚJOVSKÝ, V.: *Automobilová paliva*. Grada Publishing, 2005.
- [8] MULLINGER, P., JENKINS, B.: *Industrial and Process Furnaces. Principles, Design and Operation*. Elsevier, 2008.
- [9] NIESSEN, W.R.: *Combustion and Incineration Processes, Third Edition, Revised and Expanded*. CRC Press, 2002.
- [10] OLSON, E.O.: *Fuel Nozzles for Oil Burners. Technical Aspects of Applications*. Delavan Inc. 2009.
- [11] PINKA, J.: *Technológia vŕtania na mori a na pevnine*. FPP F BERG TU Košice, 2015.
- [12] ROJKOVIČ, I., LINTNEROVÁ, O., UHLÍK, P., KRAUS, I.: *Nerastné suroviny*. Univerzita Komenského, Bratislava, 2006.
- [13] SPEIGHT, J.G.: *The chemistry and technology of petroleum. 4th Edition*, CRC Press, Boca Raton, 2006.
- [14] VLADÁR, J. a kol.: *Encyklopédia Slovenska. V. zväzok R – Š. Veda*. Bratislava, 1981.
- [15] Delavan Catalog, 2010.
- [16] STN EN ISO 2592 – Ropa a príbuzné výrobky. Stanovenie bodu vzplanutia a bodu horenia. Metóda v otvorenom tégliku podľa Clevelanda (ISO 2592: 2017) – popis zariadenia, popis skúšky, tolerancia reprodukovateľnosti
- [17] STN 65 0201 – Horľavé kvapaliny. Prevádzky a sklady
- [18] STN 33 0371/Z1 – Nevýbušné elektrické zariadenia. Výbušné zmesi. Klasifikácia a metódy skúšok.
- [19] Vyhláška vyhl. 96/2004 Z.z. SR - Triedy nebezpečnosti horľavých kvapalín
- [20] Zákon č. 44/1988 Z.z. SR – Banský zákon. O ochrane využítí nerastného bohatstva
- [21] <https://cfrengines.com>
- [22] <https://ct24.ceskatelevize.cz>
- [23] <https://oenegetice.cz>

- [24] [www.anton-paar.com](http://www.anton-paar.com)
- [25] <https://www.etipbioenergy.eu>
- [26] [www.geology.cz](http://www.geology.cz) – online geologická encyklopedie
- [27] [www.petroleum.sk](http://www.petroleum.sk)
- [28] [www.slovnaft.sk](http://www.slovnaft.sk)
- [29] [www.sme.sk](http://www.sme.sk)
- [30] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

## 4. Plynné palivá

Plynné palivá sú z väčšej časti zmesi, ktoré sa za technicko - ekonomicky a hygienicky prijateľných podmienok v rámci bezpečnosti dajú spaľovať so vzduchom alebo kyslíkom, pričom sa získava teplo.

Tieto horľavé plyny sa bežne nachádzajú v prírode (zemný plyn, bioplyn) alebo vznikajú pri rôznych technologických procesoch buď cielene (propán, bután, vodík) alebo ako odpad, ktorý možno ďalej energeticky využiť.

### 4.1 Vlastnosti plynných palív

#### 4.1.1 Zloženie

Málo plynných palív je takých, že obsahujú len jednu zložku a ak je to zmes, málokedy obsahuje len zložky, ktoré sú horľavé. Nehorľavými zložkami tzv. balastnými sú hlavne inertné plyny, ktoré sa nijako oxidačnej reakcie nezúčastňujú alebo len veľmi obmedzene, napr. dusík a  $\text{CO}_2$ . Plyny môžu obsahovať aj nečistoty (prach, vodu, sírovodík), ktoré môžu ovplyvňovať kvalitu horenia.

#### 4.1.2 Spalné teplo

Je množstvo energie, ktoré sa uvoľní pri dokonalom spálení jednotkového množstva plynného paliva pri normálnom tlaku (101 325 Pa) a teplote paliva, na ktorú sa následne schladia aj spaliny, pričom vlhkosť v spalinách skondenzuje. Spalné teplo sa udáva v  $\text{kJ.kmol}^{-1}$ ,  $\text{kJ.kg}^{-1}$  alebo v  $\text{kJ.m}^{-3}$

#### 4.1.3 Výhrevnosť

Je množstvo tepla obsiahnutého v palive, čiže spalné teplo, ale zmenšené o výparné resp. kondenzačné teplo vody, ktoré vzniklo pri spaľovaní.



Spalné teplo niektorých plynných, hlavne prírodných zmesí nie je stále rovnaké, ale musí sa pohybovať v presne stanovených hraniciach, aby nebola ohrozená bezpečnosť zariadení spaľujúcich plynné palivá ako aj bezpečnosť dodávky tepla pre rôzne technológie, resp. vykurovanie a ohrev TV.

Niektoré technológie dokážu využívať iba výhrevnosť, nakoľko pracujú spoľahlivo len so suchými spalinami.

#### 4.1.4 Výbušnosť

Na to, aby bola zmes plynu a okysličovadla (vzduchu) výbušná, musí byť zabezpečená podmienka určitého pomeru vzduchu a plynu, ktorá sa je ohraničená najnižším pomerom plynu a vzduchu a najvyšším pomerom vzduchu a plynu. Tento interval je ohraničený dolnou a hornou medzou výbušnosti, udávanej v objemových percentách. Stechiometrický pomer sa nachádza medzi týmito dvoma medzami

Dolná medza výbušnosti - pod túto hranicu nie je možné zmes zapáliť iskrou, žeraviacou elektródou, ani priblížením plameňa.

Horná medza výbušnosti – nad túto hranicu nie je možné inicializovať plameň vonkajším zdrojom tepla napr. iskrou, žeraviacou elektródou alebo plameňom. Nad hornou medzou výbušnosti môže zmes horieť len vtedy, ak je vopred predohriata.

Čím je interval medzi hornou a dolnou medzou výbušnosti väčší, tým je technicky jednoduchšie zmes zapáliť, avšak stúpa aj jeho nebezpečnosť, čo sa týka nechceného zapálenia – výbuchu.

**Tab.4-1:** Medze výbušnosti podľa STN 38 5509

Plyn	Dolná medza výbušnosti v %	Horná medza výbušnosti v %
Metán	5,00	15,00
Etán	3,00	12,50
Propán	2,12	9,35
Bután	1,86	8,41
Vodík	4,00	72,40
Oxid uhoľnatý	12,50	74,20

Podľa povahy šírenia oxidačnej reakcie rozoznávame tieto typy:

Horenie – reakcia, kedy je napr. výtoková rýchlosť plynu z horáka rovná rýchlosti horenia (rýchlosť je v  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ )

Explozívne horenie, explózia – reakcia s rýchlosťou v  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , prejavuje sa zvukom, ale nemá ešte ničivé účinky (napr. na voľnom priestranstve až po reakciu s rýchlosťou do  $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  s ničivými účinkami)

Detonácia - reakcia s rýchlosťou nad  $1000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , prebieha iba v uzavretých priestoroch, napr. v potrubí

#### 4.1.5 Jedovatosť

Jedovaté sú všetky palivá, ktoré obsahujú oxid uhoľnatý CO. Jeho jedovatosť spočíva v tom, že CO sa ľahšie viaže na hemoglobín (prenášač kyslíka do buniek), ako kyslík. Pri dýchaní CO potom klesá schopnosť krvi viazať kyslík, resp. ju môže až stratiť a nastáva smrť. Ako prvé odumierajú mozgové bunky a proces je už nezvratný.

**Tab. 4-2:** Koncentrácie CO a ich dôsledky na ľudské zdravie [2]

Koncentrácia CO v ovzduší v %	Vplyv na ľudské zdravie
0,003%	Bezpečná a prípustná koncentrácia pri dlhodobom pobyte
0,05%	Bolesti hlavy a podráždenosť
0,1%	Silné bolesti hlavy a závraty
0,25%	Bezvedomie a smrť

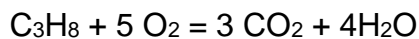
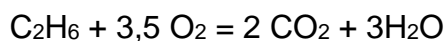
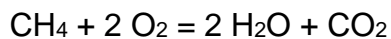
Z tohto dôvodu sú nebezpečné palivá, ktoré obsahujú viac ako 5% CO, pretože rýchlo dokážu pri únikoch zvýšiť koncentráciu CO nad prípustnú hranicu. Keďže sa vyrábala v plynárňach svietylyn, ktorého obsah CO bol 15%, v niektorých krajinách sa detoxikoval na hranicu 5% z dôvodu mnohých otráv. [2]

Palivá obsahujúce CO: svietylyn, koksárenský plyn, drevoplyn a iné.

## 4.2 Spaľovanie plynných palív

### 4.2.1 Spaľovacie rovnice

Spaľovacie rovnice sú stechiometrické rovnice, kde na ľavej strane sú reaktanty a na pravej strane rovnice sú produkty. Je v nich zachovaný zákon zachovania hmotnosti, čiže hmotnosť reaktantov sa rovná hmotnosti produktov. Z týchto rovníc vieme vypočítať teoretické množstvo kyslíka potrebného na dokonalé spálenie paliva. Vychádzame z teórie, že zmes je dokonale premiešaná a ku každej molekule paliva sa dostane práve potrebné množstvo kyslíka.



Vo všeobecnosti platí rovnica pre základné uhľovodíky:



Pričom:

m – množstvo atómov uhlíka

n – množstvo atómov vodíka v plyne

$m + \frac{n}{4}$  množstvo kyslíka potrebného na úplné spálenie

Teoretické množstvo vzduchu pre dokonalé spálenie paliva je pre:

Zemný plyn                      9,6 – 10,1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

propán                              24,0 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>

bután  $30,0 \text{ m}^3/\text{m}^3$

[2]

#### 4.2.2 Prebytok spaľovacieho vzduchu

Keďže stechiometrické množstvo kyslíka pre dané palivo a dokonale premiešaná zápalná zmes je čisto teoretická, je nutné pre dokonalé spálenie zmesi navýšiť množstvo kyslíka, resp. vzduchu. Keďže vieme, že vzduch obsahuje 21% kyslíka, vieme si vypočítať, koľko je pre spálenie zmesi potrebného spaľovacieho vzduchu.

Treba poznamenať, že z ekonomických dôvodov je vhodnejšie mať prebytok vzduchu, ako mať v spalinách chemický nedopal. To znamená, že viac energie získame ak zohrievame určitý nadstechiometrický objem vzduchu v reakcii navyše, akoby mala reakcia prebehnúť nedokonalým horením.

Pri zemnom plyne sa používa prebytok vzduchu 1,15 až 1,25, t.j. 15 až 25% prebytočného vzduchu. [1]

### 4.3 Rozdelenie plynných palív

#### 4.3.1 Podľa spalného tepla

- Plyny so spalným teplom  $Q_s < 16,8 \text{ MJ.m}^{-3}$  – plyny nízkovýhrevné
  - vysokopecný plyn  $Q_s = 3,4 - 6,2 \text{ MJ.m}^{-3}$
  - nízkotlaké generátorové plyny  $Q_s = 3,6 - 12 \text{ MJ.m}^{-3}$
  - tlakový energetický plyn (hnedouhoľný)  $Q_s = 15,9 - 16,7 \text{ MJ.m}^{-3}$
  - vodík  $Q_s = 12,7 \text{ MJ.m}^{-3}$
- Plyny so spalným teplom  $Q_s = 16,8 - 20 \text{ MJ.m}^{-3}$  – plyny stredne výhrevné
  - svietiplyn  $Q_s = 16,8 - 18,5 \text{ MJ.m}^{-3}$
  - koksárenský plyn  $Q_s = 18,9 - 19,9 \text{ MJ.m}^{-3}$
- Plyny so spalným teplom  $Q_s > 20 - 50 \text{ MJ.m}^{-3}$  – plyny veľmi výhrevné
  - zemný plyn  $Q_s = \text{min. } 38,1 \text{ MJ.m}^{-3}$
  - plyn vyrobený karbonizáciou  $Q_s = 17,6 - 37,5 \text{ MJ.m}^{-3}$

- bioplyn, kalový plyn  $Q_s = 23 \text{ MJ.m}^{-3}$
- Plyny s  $Q_s > 80 \text{ MJ.m}^{-3}$  – plyny vysokovýhrevné
  - propán  $Q_s = 101 \text{ MJ.m}^{-3}$
  - propán – bután  $Q_s = 99 - 115,1 \text{ MJ.m}^{-3}$
  - bután  $Q_s = 133,9 \text{ MJ.m}^{-3}$

Pričom  $Q_s$  je spalné teplo.

[1]

## 4.3.2 Podľa vzniku

### 4.3.2.1 Prírodné plyny

#### 4.3.2.1.1 Zemný plyn H a L

Zemný plyn je najpoužívanejšie plynné palivo. SR patrí medzi najplynofikovanejšie krajiny Európy. Jeho hlavnou zložkou je metán, obvykle 88 - 99,8%.

Zemný plyn rozdeľujeme do dvoch skupín:

- Zemný plyn L – má vysoký podiel dusíka a má nižšie spalné teplo ako zemný plyn H. Jeho najväčšie náleziská sú v Holandsku, ale používa sa aj v okolitých krajinách. Nálezisk tohto druhu plynu je viacej, ale nemajú veľký význam
- Zemný plyn H – má naopak nízky podiel inertných zložiek a ich obsah je pod 5%. Tento plyn sa používa aj u nás a pochádza z Ruska, Nórska, Severnej Afriky (Alžírsko, Tunisko a Líbie) a Veľkej Británie.

Je nejedovatý, nedýchateľný, bez zápachu, jeho spaľovanie je čisté bez tuhých zvyškov, oxidov dusíka, oxidu siričitého a podiel CO v spalinách pri nastavení dobrého horenia je zanedbateľný.

V podstate je zemný plyn akýkoľvek plyn uzatvorený v zemských útrobách.

Ložiská sú buď čisto plynové alebo sa vyskytuje súčasne s ropou a nachádza sa v hĺbkach od 30 do 8000m. Môže sa nachádzať aj v trhlínach a poréznych

horninách, ohraničených vodou alebo nepriepustnými vrstvami a takisto v bridliciach – tzv. bridlicový plyn.

Najväčšie zásoby sú v Rusku, Kanade, USA, Iráne. Slovensko má len zanedbateľné zásoby.

Preprava:

- potrubná – od náleziska až po spotrebu
- skvapalňuje sa (LNG) v skvapalňovacích staniciach a prepravuje sa v kvapalnej forme do splyňovacích staníc loďnou dopravou.

Potrubná preprava sa skladá z tranzitných plynovodov zásobujúcich jednotlivé štáty a z distribučnej siete, do ktorej sa dostáva plyn cez vnútroštátne prepúšťacie stanice. Medzi štátmi sú odovzdávacie stanice.

Uskladnenie:

Podzemné zásobníky – využívajú sa (napr. u nás) vyťažené náleziská ropy a zemného plynu alebo podzemných zásobníkov, kde je porézna štruktúra oddelená vodou alebo nepriepustnými vrstvami. Zásobníky sa používajú hlavne na vyrovnanie sezónnej nerovnomernosti objemu, ale aj na vyrovnávanie špičkových odberov.

#### **4.3.2.2 Odpadné plyny**

##### **4.3.2.2.1 Degazačný banský plyn**

- je plyn, ktorý sa uvoľňuje v baniach pri banskej činnosti- ťažbe uhlia
- využíva sa na energetické účely a ak je jeho energetický obsah nízky mieša sa so zemným plynom

##### **4.3.2.2.2 Vysokopecný plyn**

- Je odpadným produktom pri výrobe surového železa

- má nízky energetický obsah cca 4MJ/ m<sup>3</sup>, horľavou zložkou je hlavne oxid uhoľnatý, ktorého podiel je do 30% a vodík cca 10%, preto sa na zvýšenie výhrevnosti niekedy mieša z inými výhrevnejšími plynmi
- vzhľadom na vysoký obsah CO je jedovatý a tým veľmi nebezpečný
- má vysoký obsah nehorľavej zložky, hlavne dusíka
- používa sa na energetické účely v mieste vzniku, čiže nebýva distribuovaný na väčšie vzdialenosti

#### 4.3.2.2.3 Koksárenský plyn

- vzniká ako odpadný plyn pri výrobe koksu z čierneho ulia.
- je zmesou vodíka, metánu a oxidu uhoľnatého a z toho dôvodu je jedovatý. Obsahuje aj iné balastné zložky a nečistoty, ktoré sa z plynu odstraňujú.
- používa sa aj ako zdroj vodíka
- spotrebúva sa v priemysle ako plynné palivo

### 4.3.2.3 Umelé plyny

Spomenuté sú tie najznámejšie

#### 4.3.2.3.1 Bioplyn

- Je výsledkom anaeróbnej fermentácie – činnosti fermentačných baktérií a je tvorený metánom a CO<sub>2</sub>. Na jeho produkciu slúžia bioplynové stanice, v ktorých sa ako vstupná surovina používa hnojovica a odpady z poľnohospodárstva.

Výrobu bioplynu možno rozdeliť na 4 fázy:

- hydrolýza
- acidogenéza
- acetogenéza
- metanogenéza

V prírode vzniká rozkladom biologického materiálu :

- V prirodzených prostrediach: močiare, sedimenty, tráviace ústrojenstvo prežúvavcov
- Poľnohospodárstvo: hnojiská a čiastočne v kompostéroch, ak nie je zabezpečené prevzdušnenie substrátu
- Odpadové hospodárstvo: skládky odpadov (skládkový plyn), anaeróbne čistiarne odpadových vôd, bioplynové stanice

Známy je napr. bahenný plyn uvoľňujúci sa pri rozklade organických látok v močiach.

#### 4.3.2.3.2 Propán, Bután,

- Patria medzi veľmi vysoko výhrevné plyny a ich nesmiernou výhodou je ľahké skvapalnenie pri bežných teplotách
- Vznikajú pri krakovaní ropy a olejov
- Tým, že je kvapalnú, ľahko sa prepravuje a distribuuje v prenosných nádobách
- Má široké použitie, či už v priemysle , ale aj v domácnostiach na varenie, pečenie, či grilovanie
- Čistý propán sa používa na vykurovanie budov, kde nie je možné sa pripojiť na distribučnú sieť zemného plynu
- Vo veľkej miere sa používa ako palivo do motorových vozidiel, ako alternatíva ku benzínu, pričom má vyššie oktánové číslo a jeho cena je voči benzínu priaznivejšia
- Jeho veľkou nevýhodou je to, že je 2 krát ťažší ako vzduch a pri únikoch je ťažko vyvetrateľný z priestorov pod úrovňou terénu – to obmedzuje jeho použitie napr. v pivniciach a automobily používajúce LPG majú zakázaný vjazd do podzemných parkovísk.

#### 4.3.2.3.3 Svietiplyn

- Je u nás najstarší z umelo vyrábaných plynných palív.



- Vyrábala sa v plynárňach splynovaním čierneho uhlia a bol pôvodne určený na svietenie. Neskôr našiel svoje využitie aj na vykurovanie a ohrev teplej vody a na pohon absorpčných chladničiek.
- Neskôr sa začala jeho výroba zo zemného plynu a tlakovým splynovaním hnedého uhlia a z benzínu
- Hlavnými zložkami sú vodík, metán a oxid uhoľnatý
- Je približne 2 krát ľahší ako vzduch, jedovatý, s pomerne veľkým rozmedzím výbušnosti. Má charakteristický zápach po skazených vajciach, pretože sa vyrábala aj s palív, ktoré obsahovali síru. Ak nezapáchal, tak sa odorizoval. [2]

#### 4.3.2.3.4 Syntézny plyn

Označuje sa aj názvami ako synplyn alebo syngas a obsahuje prevažne vodík a oxid uhoľnatý, ale môže obsahovať aj dusík, či oxid uhličitý.

- Týmto názvom nemožno nazvať konkrétne palivo, pretože má rôzny pomer vyššie spomenutých plynov, resp. dusík a oxid uhličitý obsahovať nemusí vôbec.
- Používa sa hlavne ako medziprodukt na výrobu čpavku a metanolu, ale aj vyšších alkoholov atď.

#### 4.3.2.3.5 Drevoplyn

- Vzniká splyňovaním drevnej hmoty a to čiastočnou oxidáciou
- Vzniknutá zmes obsahuje zhruba polovicu dusíka a zhruba 30% oxidu uhoľnatého 10 až 25% vodíka a zanedbateľné množstvo metánu. Zvyšok tvorí CO<sub>2</sub> .
- Zloženie drevoplynu je závislé od mnohých faktorov ako je vlhkosť paliva, použité drevo atď.
- Zmes ľahko zapáliteľná, keďže hlavnou horľavou zložkou je vodík a oxid uhoľnatý, ktoré majú oba širokú medzu zápalnosti.

#### **4.4 Literatúra ku kapitole 4 Plynné palivá**

[1] Plynárenská príručka, ISBN 80-902339-6-1, , Gas s.r.o., Praha 1997

[2] Jozef Kucbel, Plynárenské a plynové odberné zariadenia, ALFA Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava 1986

## 5. Bezpečnosť dodávok palív

Bezpečnosť dodávok palív je úzko spätá s energetickou bezpečnosťou, resp. energetickou sebestačnosťou. Ako dobre vieme, Slovenská republika je závislá hlavne na dodávkach tekutých a plyných fosílnych palív. V týchto skriptách sme sa zaoberali palivami, z ktorých získavame teplo oxidáciou, čiže horením, teda nehovoríme o jadrovom palive, aj keď tu je situácia veľmi podobná.

Ropa a zemný plyn sa síce nachádzajú aj na území nášho štátu, ale v zanedbateľnej miere. Bezpečnosť dodávok týchto palív je závislá od politických zmlúv, dohôd a v nemalej miere od politickej situácie, resp. politickej stability krajín, cez ktoré líniové stavby ako sú ropovody a plynovody prechádzajú. Plynovú krízu sme zažili na "vlastnej koži", keď prestal prúdiť plyn v tranzitnom plynovode, pritom problém nebol medzi odberateľskou krajinou a dodávateľskou krajinou, ale medzi krajinou pre nás tranzitnou a dodávateľskou. Preto sa stále pracuje na diverzifikácii zdrojov a sú navrhnuté, resp. aj zrealizované nové trasy plynovodov a ropovodov do Európy. Príkladom je plynovod Nord Stream, ktorý je už v prevádzke a stále sa rozširuje, kde je plynovod vedený priamo z Ruska do Nemecka pod hladinou Baltského mora, práve preto, aby sa zabránilo vedeniu plynovodu cez tretiu krajinu. Ďalšími spôsobmi sú doprava plynu v kvapalnom stave zo zámoria do Európy. Iné projekty stroskotali hlavne na nestabilite a politických nezhodách s tranzitnými krajinami. Slovensko je týmto aj tak stále závislé od potrubnej dopravy cez tretie krajiny. Podobne je to aj s ropovodmi. Preto bol dobudovaný ropovod Adria až na územie SR, aby malo Slovensko prístup aj k rope dovážanej z Jadranského prístavu Omišalj.

Diverzifikácia zdrojov prebieha v oblasti plynárenstva napr. výrobou bioplynu. Z bioplynu je možné vyrábať tzv. biometán, čo je vlastne bioplyn očistený od oxidu uhličitého a ostatných nežiadúcich prímiesí, z ekvivalentným zložením ako zemný plyn. Takýmto spôsobom môžu ísť bioplynové stanice na plný výkon v letných mesiacoch a nie je potrebné bioplyn okamžite spotrebovať, ale je ho možné vtláčať do plynárenskej distribučnej siete.

V oblasti diverzifikácie kvapalných zdrojov je potenciál vyrábať kvapalné palivá z odpadov pyrolýznym spôsobom. V súčasnosti prebieha zdokonaľovanie tohto spôsobu výroby kvapalných palív, avšak palivá z pyrolýzy sú momentálne nie dostatočne kvalitné, aby ich bolo možné použiť ako náhradu konvenčných palív

v bežných zariadeniach, zatiaľ iba v na to určených zariadeniach. Avšak výskum aj v tejto oblasti je veľmi intenzívny a veríme, že situácia sa zlepší aj tu.

Kvapalné biopalivá sa už používajú v prijateľnej miere, avšak, tie takisto nedokážu pokryť potrebu a nie je zatiaľ možné ich používať samostatne v bežných zariadeniach.

V oblasti tuhých palív je na tom Slovensko omnoho lepšie, pretože sa na našom území vyskytujú zdroje hnedého uhlia a čo sa týka biomasy sme druhou najzalesnenejšou krajinou EU. Bohaté zdroje hnedého a čierneho uhlia sa nachádzajú aj v susedných krajinách, z ktorými máme historicky dlhodobú dobrú spoluprácu a navyše sme s Maďarskom, Českom a Poľskom vo Vyšegrátskej skupine, čiže aliancii štyroch krajín strednej Európy. Biomasa je zdroj paliva, ktorý je dostupný na celom území nášho štátu. Zalesnené oblasti sú lokálnymi zdrojmi dendromasy. V oblastiach, ktoré nie sú veľmi zalesnené, prebieha intenzívne poľnohospodárstvo, ktoré je takisto veľmi dobrým zdrojom fytomasy.

Ing. Marek Patsch, PhD.

doc. Ing. Peter Ďurčanský, PhD.

Ing. Alexander Čaja, PhD.

Ing. Peter Pilát, PhD.

## **Palivá pre spaľovanie v energetických strojach a zariadeniach**

**Náklad:** 50 výtlačkov, vydanie prvé

222 strán, 100 obrázkov, 36 tabuliek, 9 AH

**Vydavateľstvo a tlač:** Cofin, a.s.

**Nepredajné**

ISBN 978-80-973466-9-0

Za obsah publikácie zodpovedajú autori. Informácie nie sú oficiálnym stanoviskom Európskej únie ani ďalších donorov.

Publikácia a jej časti môžu byť reprodukované len so súhlasom autorov.