



Agronomická
fakulta



Termochemická konverze biomasy

Mendelova
univerzita
v Brně



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Cíle

- Seznámit studenty s teorií spalovacích a zplyňovacích procesů, popsat vlastnosti paliva a zařízení určené ke spalování a zplyňování

Klíčová slova

- Spalování, biomasa, zplyňování

1. Úvod

Termochemickou konverzí se obecně rozumí rozklad materiálu na bázi uhlíku pomocí vysokých teplot. Je využíváno několik způsobů termochemické konverze:

- Spalování
- Zplyňování
- Pyrolýza

V následující kapitole bude probrán pouze proces spalování a proces zplyňování. Proces pyrolýzy bude probrán v samostatné kapitole.

2. Teorie spalování biomasy

Hoření částice pevného paliva se liší od hoření plynných nebo kapalných paliv. Tyto odlišnosti jsou především dány tím, že u pevných paliv musí nejdříve proběhnout ohřev částice, poté odpaření vlhkosti a odplynění, a na závěr musí proběhnout heterogenní reakce mezi kyslíkem a pevným povrchem uhlíku.

Proces hoření částice pevného paliva se skládá z těchto dějů:

- ohřev částice,
- odpaření vlhkosti,
- uvolnění prchavé hořlaviny,
- hoření prchavé hořlaviny,
- hoření uhlíku,

2. Teorie spalování biomasy

Příčemž hlavní úlohu při hoření pevného paliva (a tím i při hoření biomasy) má hoření uhlíku. Je to způsobeno tím, že uhlík je primární součástí pevného paliva a v prvkovém složení zaujímá majoritní podíl. Čím je vyšší tento podíl, tím je i vyšší výhřevnost paliva. Proto z tuhých paliv mají největší výhřevnost antracity, kde tento podíl může přesáhnout 90 % hmoty. U dřeva se podíl uhlíku v palivu pohybuje kolem 50 %. Hoření uhlíku je velmi důležité pro celkový proces spalování. Hoření uhlíku totiž zaujímá až 90 % celkové doby, která je zapotřebí pro hoření částice. Pro dokonalé vyhoření uhlíku je velmi důležité vhodné nastavení přívodu vzduchu a vhodná konstrukce topeniště kotle.

2. Teorie spalování biomasy

2.1 Hoření uhlíku

Hoření uhlíku je heterogenní chemická reakce mezi pevným povrchem uhlíku a kyslíkem. Rozhodujícím jsou však i fyzikální děje související s transportem kyslíku k povrchu uhlíku (turbulentní a molekulární difuze). Základní teorie heterogenního hoření uhlíkové částice vychází z těchto zjednodušujících předpokladů:

- koncentrace kyslíku na celém povrchu částice je stejná,
- rychlost reakce je úměrná koncentraci kyslíku na povrchu,
- reakce probíhá na povrchu uhlíku a výsledkem jsou konečné produkty (bez meziproductů).

2. Teorie spalování biomasy

2.1 Hoření uhlíku

Tyto zjednodušující předpoklady dávají najevo, že hoření uhlíku bude záviset především na dvou dějích. Jedná se o přívod kyslíku (ve vzduchu) k povrchu uhlíku a rychlosti samotné reakce na povrchu uhlíku.

Jako rychlost chemické reakce můžeme označit hmotnostní tok kyslíku, který je vztažen na jednotku plochy za jednotku času. V tomto případě bude tedy platit:

$$m_{O_2} = k \cdot C^S_{O_2} \quad [\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

k ...konstanta rychlosti chemické reakce

$C^S_{O_2}$...koncentrace kyslíku na povrchu částice

2. Teorie spalování biomasy

2.1 Hoření uhlíku

Rychlost hoření je závislá na vlastnostech paliva a na fyzikálních podmínkách. Mezi rozhodující patří koncentrace kyslíku na povrchu, teplota a tlak. Zvláště výrazná je závislost rychlosti hoření na teplotě, kterou popisuje Arrheniův zákon.

2. Teorie spalování biomasy

2.1 Kinetické a difúzní spalování

Hoření paliva je složitý děj, který si můžeme představit jako fyzikální a chemické děje, probíhající konečnou rychlostí. Mezi fyzikální procesy patří především směšování paliva a okysličovadla, tepelná příprava hořlavé směsi pro vzplanutí, rychlost proudění směsi atd. Hoření paliva je v podstatě bouřlivé okysličování a jedná se o chemický děj. Tyto děje probíhají konečnou rychlostí, jak bylo uvedeno, a potřebují určitý čas na svůj průběh.

2. Teorie spalování biomasy

2.1 Kinetické a difúzní spalování

Součet těchto časů dává celkovou dobu hoření. Pro celkovou dobu bude platit:

$$\tau_c = \tau_f + \tau_{ch} \quad [s]$$

$$\tau_f \dots \text{doba průběhu fyzikálních dějů} \quad [s]$$

$$\tau_{ch} \dots \text{doba průběhu chemických dějů} \quad [s]$$

Pro celkovou dobu hoření může být rozhodující buď fyzikální nebo chemická část děje. Nejpomalejší děj (nejdelší doba průběhu) rozděluje hoření na kinetické a difuzní.

2. Teorie spalování biomasy

2.1 Kinetické a difúzní spalování

Kinetické hoření probíhá tehdy, když doba fyzikální části procesu je menší než doba nutná pro průběh hoření.

$$\tau_f \ll \tau_{ch} \quad [\text{s}]$$

a platí

$$\tau_c \approx \tau_{ch} \quad [\text{s}]$$

Z výše uvedeného vztahu vyplývá, že celková doba hoření je určována dobou průběhu chemické reakce. Řídicími zákony budou zákony kinetiky chemických reakcí. Rozhodující pro rychlost průběhu kinetického hoření budou vlastnosti paliva (aktivační energie), teplota, tlak a koncentrace reagujících látek.

2. Teorie spalování biomasy

2.1 Kinetické a difúzní spalování

Zabezpečit kinetický průběh spalování není jednoduché. Z praktického hlediska se o kinetický způsob hoření jedná při předem smíšené homogenní hořlavé směsi plynného paliva a okysličovadla.

Difúzní hoření probíhá v případě, kdy fyzikální část je časově mnohonásobně větší než čas nutný pro vlastní chemickou reakci. Platí tedy:

$$\tau_f \gg \tau_{ch} \quad [s]$$

a platí

$$\tau_c \approx \tau_f \quad [s]$$

2. Teorie spalování biomasy

2.1 Kinetické a difúzní spalování

Celková doba hoření je omezena průběhem fyzikálních dějů. U hoření se jedná především o směšování paliva a okysličovadla. Vlastní chemická reakce má velmi rychlý průběh. Protože rychlý průběh reakce hoření je zabezpečen při vysoké teplotě, což je zajištěno u většiny typů ohnišť, spalujeme u většiny typů ohnišť difúzním způsobem. Difúzní hoření se řídí především zákony transformace hmoty, zákony difuze. Rozhodující nejsou v tomto případě ani tak vlastnosti paliva, případně teplota v ohništi, ale rychlost proudění nebo charakter proudění spalovacího vzduchu, zda se jedná o laminární či turbulentní proudění, velikost reagujícího povrchu u heterogenních reakcí, tvar částice paliva apod. Při difúzním hoření zpravidla palivo a okysličovadlo jsou do prostoru hoření přiváděny odděleně. Nejprve musí dojít k smísení paliva a okysličovadla, k ohřevu hořlavé směsi, zapálení a pak vlastnímu hoření.

2. Teorie spalování biomasy

2.2 Rychlost hoření uhlíku v difúzní a kinetické oblasti

U pevných paliv je rychlost hoření závislá na vlastnostech paliva a na fyzikálních podmínkách. Mezi rozhodující patří koncentrace kyslíku na povrchu, teplota a tlak. Zvláště výrazná je závislost rychlosti na teplotě (zákon Arrheniův). V oblasti nízkých teplot je rychlost chemické reakce malá a spotřeba kyslíku mnohem menší než je transportováno difúzí. Rychlost hoření je tedy určována rychlostí chemické reakce a nezávisí na přívodu kyslíku. Tato oblast heterogenního hoření se nazývá kinetickou oblastí. V oblasti vysokých teplot je kinetické hoření uskutečnitelné v těch případech, kdy kyslíku je takových přebytek, že zaručuje dokonalý průběh hoření. Prakticky tento požadavek lze zabezpečit zvýšením rychlosti proudu vzduchu a zjemněním mletím. Tím docílíme zvětšení povrchu uhlíku a dostatek kyslíku pro chemickou reakci.

2. Teorie spalování biomasy

2.2 Rychlost hoření uhlíku v difúzní a kinetické oblasti

Při jisté teplotě bude rychlost chemické reakce stejná jako rychlost přívodu kyslíku. V této oblasti bude tedy rychlost hoření záviset jak na rychlosti chemické reakce, tak na rychlosti přívodu kyslíku. Tato oblast se nazývá oblast přechodová.

Při heterogenním hoření se nastaví dynamická rovnováha mezi chemickou reakcí, tj. spotřebou kyslíku a mezi difúzním přívodem kyslíku tak, aby odpovídal určité koncentraci na povrchu uhlíku. Tato koncentrace bude závislá na rychlostech těchto dvou procesů. Při vyšší rychlosti transportu kyslíku se bude koncentrace na periferii proudu blížit koncentraci uvnitř proudu a při vyšší rychlosti chemické reakce bude koncentrace kyslíku na povrchu uhlíku klesat. Při zvětšení rychlosti proudu a při jemnějším mletí se proces hoření přesouvá do kinetické oblasti a růst teploty přesouvá hoření do difúzní oblasti. Zda proces hoření bude probíhat v dané oblasti buď kinetické, přechodové či difúzní závisí od konkrétních podmínek.

2. Teorie spalování biomasy

2.3 Chemické reakce hoření uhlíku

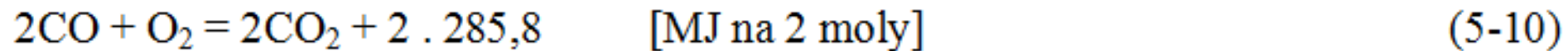
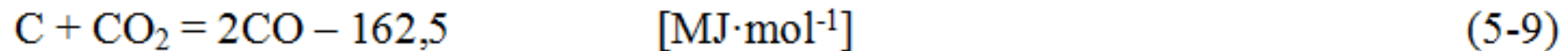
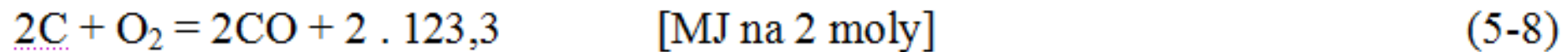
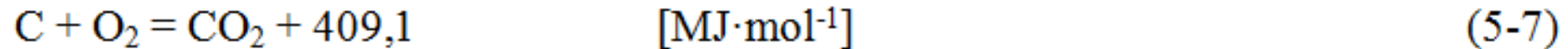
Průběh chemické reakce hoření uhlíku je velmi složitou záležitostí, která ještě není zcela prozkoumána. Z důvodů značně komplikovaných fyzikálních a chemických dějů nelze jednoznačně stanovit, zda produkty jsou výsledky prvotních chemických reakcí nebo jsou tyto produkty výsledky druhotných reakcí.

Současný názor na průběh vlastní reakce vychází z představy, že kyslík z okolního prostředí je adsorbován na povrchu uhlíku. Při chemické reakci mezi kyslíkem a uhlíkem jsou vytvářeny složité komplexy C_xO_y , které se rozpadají na CO_2 a CO . Rychlost rozpadu je silně závislá na teplotě a prakticky odpovídá Arrheniovu zákonu. CO_2 a CO jsou pokládány za prvotní produkty hoření. Poměr CO / CO_2 silně vzrůstá se zvyšováním teploty.

2. Teorie spalování biomasy

2.3 Chemické reakce hoření uhlíku

Vzhledem k tomu, že uhlík též reaguje s CO_2 při určitých teplotách, je možno hoření uhlíku formálně charakterizovat uvedenými vztahy:



2. Teorie spalování biomasy

2.4 Emise při spalování dřevěných paliv

Při spalování biomasy jsou vlivem fyzikálních dějů a termochemických reakcí do ovzduší uvolňovány znečišťující látky. Množství těchto látek je dáno typem paliva, druhem spalovacího zařízení, případně spalovacím režimem. Mezi významné složky znečišťujících látek patří:

- organické látky (např. vyšší uhlovodíky, dehty apod.),
- oxid uhelnatý (CO),
- oxid uhličitý (CO₂),
- oxid siřičitý (SO₂),
- oxidy dusíku (NO, NO₂, N₂O),
- tuhé znečišťující látky (TZL).

Mezi minoritní složky patří:

- polychlorované dibenzodioxiny/furany (PCDD/F),
- polychlorované bifenyly (PCB),
- chlorovodík (HCl).

2. Teorie spalování biomasy

2.4 Emise při spalování dřevěných paliv

Oxid uhelnatý je produktem nedokonalého spalování buď vinou nedostatečného přísunu spalovacího vzduchu, nebo nedostatečnou teplotou spalování. Vyšší koncentrace CO lze očekávat zejména u malých zdrojů, kde není zajištěná vhodná distribuce spalovacího vzduchu. Organické látky, jako jsou vyšší uhlovodíky či dehty, jsou taktéž produktem nedokonalého spalování. Oxid siřičitý je do spalin uvolňován jako produkt oxidace síry v palivu. Vzhledem k velmi nízkému obsahu síry u dřeva ($0,02 - 0,3 \%_{\text{hm}}$) nejsou emise oxidu siřičitého při spalování dřeva problematické. Oxidy dusíku mohou vznikat více mechanismy, avšak pro spalování dřeva při teplotách $700 - 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ je převažujícím mechanismem vznik oxidu dusíku z palivově vázaného dusíku.

2. Teorie spalování biomasy

2.4 Emise při spalování dřevěných paliv

I když množství oxidu dusíku vznikající přirozenou cestou (bakteriologická činnost v zemi, vulkanická činnost, elektrické výboje atd.) je podstatně vyšší (okolo 1000 miliónu Mg za rok) oproti množství oxidu dusíku vytvořeného činností člověka (přibližně 100 miliónu Mg za rok), není toto množství v souhrnu zanedbatelné. Obsah vázaného dusíku ve dřevě (0,2 – 1 %_{hm}) je však poměrně nízký, a proto i zde s tvorbou oxidů dusíků nevzniká žádný problém. Tvorba tuhých znečišťujících látek je dána jak vlastnostmi paliva, tak typem ohniště a u malých zdrojů je možné jejich tvorbu omezit pouze volbou vhodného paliva. U větších zařízení se pak používá odloučení tuhých částic ze spalin. Tvorba tuhých znečišťujících látek je značně závislá na dostatečném přívodu spalovacího vzduchu, dostatečné teplotě spalování, homogenizaci spalin a dostatečné době zdržení nedohořelé prchavé hořlaviny ve spalovacím prostoru.

2. Teorie spalování biomasy

2.4 Emise při spalování dřevěných paliv

Emise PCDD/F jsou závislé především na technologii spalování. Na kotelnách, kde je dávkování paliva a spalování řízeno automatickou regulací s kyslíkovou lambda sondou a kde dochází k dokonalému odloučení tuhých částic ze spalin, byly emise PCDD zjištěny v intervalu 0,01 – 0,18 ng TEQ na m³. Na kotelnách s tepelným výkonem nižším než 100 kW, které nebyly vybaveny výše uvedeným standardem, nebo kde biopalivo obsahovalo více než 2000 mg.kg⁻¹ chloru (sláma, seno) byly zjištěny hodnoty 0,8 – 5,7 ng TEQ na m³.

Podobně jako emise PCDD/F jsou emise HCl závislé na technologii spalování a na obsahu Cl v daném palivu. Při spalování dřevěných paliv jsou emise poměrně nízké, např. při spalování smrkové štěpky vzniká 0,9 mg·m⁻³ chlorovodíku.

2. Teorie spalování biomasy

2.5 Distribuce vzduchu ve spalovacím zařízení

Pro zdárný průběh hoření je nutné zajistit dostatečný přívod okysličovadla do spalovacího prostoru. V praxi bývá nejčastějším okysličovadlem vzduch. Při dokonalém spalování, kdy součinitel přebytku vzduchu se rovná jedné, dochází k oxidaci uhlíku pouze na oxid uhličitý. Praktické spalování tuhých a kapalných paliv nemůže však probíhat s přívodem pouze teoretického množství spalovacího vzduchu. Takové spalování by nebylo dokonalé, neboť nelze docílit, aby všechny částice kyslíku se setkaly s částicemi hořlavých látek. Proto se přivádí do ohniště větší množství vzduchu než teoretické. Toto označujeme jako spalování s přebytkem vzduchu. Je tím větší, čím hůře dochází ve spalovacím zařízení k mísení paliva a okysličovadla a čím obtížněji se palivo spaluje např. vlivem velkého obsahu popelovin.

2. Teorie spalování biomasy

2.5 Distribuce vzduchu ve spalovacím zařízení

Při spalování tuhých paliv na roštu se okysličovadlo do spalovacího prostoru distribuuje několika způsoby. První způsob je distribuce okysličovadla skrze rošt, jedná se o tzv. primární přívod vzduchu. Dalším způsobem je přívod vzduchu sekundární, případně terciární. Při sekundárním přívodu okysličovadla je okysličovadlo distribuováno pomocí výdechů, které jsou umístěny po stranách spalovacího prostoru, a to přibližně do výšky vrstvy paliva. Terciární přívod okysličovadla je potom zpravidla umístěn v oblasti hoření prchavých hořlavin, přičemž velmi důležitá je teplota vzduchu při distribuci do spalovacího prostoru. Při nízkých teplotách může totiž docházet k ochlazování plamene a tím ke zhoršení spalovacího procesu.

3. Vlastnosti paliva

3.1 Obsah prchavé hořlaviny v palivu

Oproti ušlechtilým klasickým palivům (uhlí, koks) má biomasa vysoký podíl prchavé hořlaviny. Při spalování na roštu se nejprve prchavá hořlavina z paliva uvolňuje ve formě uhlovodíků (při teplotách 200 až 500 °C) a potom nastává hoření neodplyněného zbytku. Uvolněná prchavá hořlavina částečně vyhořívá v oblasti nad roštem a její zbytek postupuje spolu se spalinami kotlem do pásma nižších teplot. Pokud hořící uhlovodíky prchavé hořlaviny v podobě mohutného plamene přijdou do styku s chladnou výhřevnou plochou (tsteny < 450 °C), ochladí se a dochází k jejich rozkladu na H₂ a C, přičemž vzniklý amorfní uhlík má vyšší zápalnou teplotu, nevyhoří a ukládá se na výhřevných plochách v podobě sazí.

3. Vlastnosti paliva

3.1 Obsah prchavé hořlaviny v palivu

Proto je nutné kotle na biomasu konstrukčně uzpůsobit a na vhodném místě dávkovat do zařízení sekundární, případně terciární vzduch, aby došlo ke kvalitnímu spálení veškeré hořlaviny. Obecně platí, že čím více prchavé hořlaviny palivo obsahuje, tím větší je poměr součtu množství sekundárního a terciárního vzduchu k množství vzduchu primárního.

Informativní hodnoty obsahu prchavé hořlaviny v palivu jsou uvedeny v následující tabulce.

Palivo	Rašelina	Řepková sláma	Dřevní hmota	Obilní sláma
$V_{daf} (\%_{hm})$	cca 70	80 až 86	80 až 86	až 88

3. Vlastnosti paliva

3.2 Obsah a vlastnosti popelovin v palivu

Biopaliva se vyznačují nízkým obsahem popelovin. Z tohoto důvodu mají kotle na biomasu méně složitou soustavu na jejich odvod než kotle na paliva klasická, kde tvoří popeloviny až 40 % (lignit). V případě menších zařízení bývá odvod popelovin i diskontinuální. Tato výhoda je ovšem poněkud snížena tím, že oproti uhlí má popel biomasy méně příznivé vlastnosti. Pro snadné porovnání je vhodné uvádět obsah popela vztažený na bezvodý stav. Například dřevní hmota obsahuje v bezvodém stavu 0,3 až 2 %_{hm} popelovin, přičemž kůra může mít i několikanásobně vyšší obsah popelovin než čistá dřevní hmota.

3. Vlastnosti paliva

3.2 Obsah a vlastnosti popelovin v palivu

Složení a vlastnosti popela mohou do značné míry ovlivnit bezporuchový chod a životnost kotle. Pro návrh a provoz kotlů jsou nejdůležitější charakteristické teploty popelovin a obsah alkalických kovů. Charakteristické teploty popelovin jsou

- teplota měknutí T_A [°C],
- teplota tavení T_B [°C],
- teplota tečení T_C [°C].

Dřevní hmota má v porovnání s jinými biopalivy charakteristické teploty poměrně vysoké, $T_A = 1160$ °C, $T_B = 1340$ °C, $T_C = 1350$ °C. Naproti tomu teplota měknutí popela T_A u rašeliny, řepkové slámy, případně obilné slámy je nižší o 300 až 400 °C. Výjimku tvoří šťovík, kde je tato teplota oproti dřevní hmotě vyšší o cca 150 °C. Charakteristické teploty popelovin pro vybraná paliva jsou uvedeny v následující tabulce.

3. Vlastnosti paliva

3.2 Obsah a vlastnosti popelovin v palivu

Palivo	Rašelina	Řepková sláma	Dřevní hmota	Šťovík	Obilní sláma
T_A [°C]	900	750	1160	1306	830
T_B [°C]	x	x	1340	>1500	850 – 900
T_C [°C]	x	x	1350	>1500	850 – 900

Charakteristické teploty popela

3. Vlastnosti paliva

3.2 Obsah a vlastnosti popelovin v palivu

Charakteristické teploty popelovin mohou být zjišťovány v oxidační, poloredukční, nebo redukční atmosféře. Teploty stanovené v oxidační atmosféře mohou být i o desítky až stovky stupňů vyšší než teploty zjištěné v atmosféře redukční.

Z výše uvedeného je patrné, že zejména při spalování slámy (obilní, řepková) vzniknou potíže se spékáním popelovin a zalepováním stěn spalovací komory. Praktické zkušenosti ze spalovacích zařízení poukazují na nebezpečí zanesení spalovací komory sklovitou hmotou, kterou běžnými prostředky prakticky nelze odstranit.

3. Vlastnosti paliva

3.2 Obsah a vlastnosti popelovin v palivu

Spalovací komoru kotle je tedy nutno konstrukčně přizpůsobit tak, aby byl plamen co nejlépe a nejdříve vychlazen pod teplotu T_A . Toho lze dosáhnout použitím dostatečně velké spalovací komory, vhodným pásmováním vzduchu a vyšším přebytkem vzduchu, nebo recirkulací spalin. Zajištění vyššího přebytku vzduchu je technicky jednodušší, avšak toto opatření zvětšuje komínovou ztrátu. Recirkulace spalin je naopak konstrukčně náročnější, ale co do míry využití primárního paliva o něco úspornější opatření – nutno počítat s náklady na provoz recirkulačního ventilátoru.

3. Vlastnosti paliva

3.3 Obsah vody v palivu

Obsah vody v palivu je významnou veličinou jak pro kvalitu samotného spalovacího procesu, tak pro dopravní charakteristiky paliva, především u zařízení používajících šnekových dopravníků. Zvláště jedná-li se o biomasu s jemnou granulometrií, bývá vysoká vlhkost příčinou tvorby slepených shluků, které jsou obtížně rozrušitelné, vytváří klenby a brání tak plynulému dávkování paliva. Tento jev je zejména patrný u malých zařízení, kde i lokální – u velkého zařízení nevýznamné – slepence mohou ucpat celý dopravní systém. Při spalování snižuje vysoký obsah vody v palivu jeho výhřevnost, neboť se významná část energie spotřebuje pro její odpaření. Vyšší obsah vody také znesnadňuje proces hoření, což se projeví zvýšeným obsahem CO a uhlovodíkových sloučenin ve spalinách.

3. Vlastnosti paliva

3.3 Obsah vody v palivu

Obsah vody v biomase se pohybuje v širokém rozmezí od surového stavu (dřevo $W_{rel} = 55 \%_{hm}$, kůra i $W_{rel} = 65 \%_{hm}$) po stav vysušený (obvykle $W_{rel} > 10 \%_{hm}$). U stébelnatých paliv závisí vlhkost na stavu dozrávání a klimatických podmínkách v období sklizně.

Při spalování biomasy musí nejdříve dojít k jejímu vysušení. Sušení vlhkých materiálů je však podmíněné porušením vazby vlhkosti se sušinou, na co je potřebná určitá energie – vazbová energie. Podle velikosti vazbové energie je rozdělená vazba vlhkosti se sušinou do třech hlavních skupin

- chemická vazba,
- fyzikálně-chemická vazba,
- fyzikálně mechanická vazba.

3. Vlastnosti paliva

3.3 Obsah vody v palivu

Při chemické vazbě je voda vázána ve formě hydroxylových iontů a ve formě krystalohydrátů. Tvoří součást sušiny materiálu. Do fyzikálně-chemické vazby patří adsorpční vazba, osmotická vazba a strukturální vazba. Fyzikálně-mechanicky vázaná voda potom zahrnuje vodu vázanou v kapilárách a adhezní vodu.

3. Vlastnosti paliva

3.4 Výhřevnost paliva

Vzhledem k nepatrné závislosti hustoty dřevní substance na druhu dřeva, kterou považujeme za téměř konstantní, se výhřevnost dřeva pohybuje v rozmezí 18 až 19 MJ·kg⁻¹ (sušina). Výjimkou jsou dřeva bohatá na pryskyřice a další hořlavé doprovodné látky. Vlastní výhřevnost je v závislosti na vlhkosti dřeva snižována spotřebovaným výparným teplem na odpaření vody z dřeva. V následující tabulce jsou znázorněné výhřevnosti různých druhů dřev při různé vlhkosti.

3. Vlastnosti paliva

3.4 Výhřevnost paliva

Dřevo	Výhřevnost dřeva při dané vlhkosti [MJ·kg⁻¹]		
	0 %	15 %	60 %
Smrk	17,9	13,4	-
Borovice	18,7	14,5	10,6
Bříza	19,9	15,8	-
Dub	17,0	14,5	-
Buk	17,6	15,4	-
Borka (kůra)	-	19,0	10,5

*Výhřevnost dřeva a kůry v závislosti na
druhu a vlhkosti dřeva*

3. Vlastnosti paliva

3.5 Složení paliva

Mezi hlavní elementární prvky paliva se řadí především hmotnostní podíl uhlíku, vodíku, kyslíku a dusíku. Přičemž hlavním nositelem energie je uhlík, v menší míře potom vodík. Z následující tabulky je patrné, že oproti klasickým tuhým palivům, jako je například koks či černé uhlí, má dřevo poměrně nízký obsah uhlíku. U dřeva se většinou pohybuje kolem 50 %, kdežto u černého uhlí se tato hodnota pohybuje kolem 90 % a u hnědého uhlí potom v rozmezí 50 – 80 %. Oproti klasickým palivům má však dřevnatá biomasa výhodu v tom, že má nulový či velmi nízký obsah síry (zlomek v porovnání s obsahem síry v uhlí).

3. Vlastnosti paliva

3.5 Složení paliva

Dřevo	Prvky (%)			
	C	H	O	N
Smrk	50,3 – 51,4	6,1 – 6,3	41,6 – 43,1	0,1 – 0,9
Jedle	50,4 – 51,3	5,9 – 6,0	43,4 – 44,0	0,1 – 0,8
Borovice	49,5 – 49,6	6,4	44,0 – 44,4	0,9
Dub	49,4 – 50,6	6,1 – 6,2	41,8 – 44,5	1,2
Buk	48,5 – 50,9	6,1 – 6,3	42,1 – 45,2	0,12 – 0,9

Elementární složení dřeva

3. Vlastnosti paliva

3.5 Granulometrie

Z geometrického hlediska může mít palivo pocházející z biomasy mnoho forem. Co se týká dřevin, jsou k dispozici většinou ve formě polen, štěpky, briket, pelet, drcených větví, různých odpadních odřezků, případně pilin či hoblin. V případě zemědělských odpadů nebo cíleně pěstovaných energetických bylin to může být například řezanka.

Při konstrukci kotle je nutno uzpůsobit dopravní systém i spalovací komoru daným rozměrům a tvaru paliva.

Z hlediska konstrukce spalovací komory je nutno znát předem rozměry paliva, aby mohla být vhodně navržena soustava přívodu spalovacího vzduchu.

3. Vlastnosti paliva

3.6 Distribuce velikosti částic

Velikost částic je jednou z nejdůležitějších fyzikálních vlastností pevných látek, které jsou využívány v mnoha oborech lidské činnosti, jako například ve stavebnictví, odpadovém hospodářství, metalurgii, při výrobě paliv, atd. Piliny a hobliny vznikají často jako odpad ze zpracování dřeva. Velmi perspektivní je využití tohoto odpadu jako paliva a to přímo v místě, kde tento odpad vznikl. Podniky, které se zpracováním dřeva zabývají se tak mohou stát energeticky soběstačnými. Pro správnou konstrukci spalovacích zařízení je však nutné specifikovat základní fyzikální parametry paliva. Jak již bylo výše uvedeno, jedním z nejdůležitějších fyzikálních parametrů je velikost částic a jejich distribuce v daném vzorku. Správně určená distribuce velikosti částic tak může napomoci k efektivnějšímu návrhu spalovacích prostor pro tento druh paliva.

3. Vlastnosti paliva

3.6 Distribuce velikosti částic

Řada různě složitých metod, jejichž cílem je stanovení velikosti částic (prosévání, mikroskopie, atd.), byla popsána v literatuře. Použití různých metod pro zjištění velikosti částic můžeme získat dosti odlišné výsledky. To jaká metoda bude použita, závisí především na charakteristice posuzovaného materiálu.

Výsledek analýzy velikosti rozdělení částic může být vyjádřen různými způsoby. Například podle průměru částic, resp. jmenovité velikosti ok síta nebo velikostí rozdělení částic, v gramech, v hmotnostním podílu každé frakce (diferenciální distribuci, jako kumulativní procento velikosti částic pod danou hodnotou – podsítné – a jako kumulativní procento velikosti nad danou hodnotu – nadsítné), atd.

3. Vlastnosti paliva

3.6 Distribuce velikosti částic

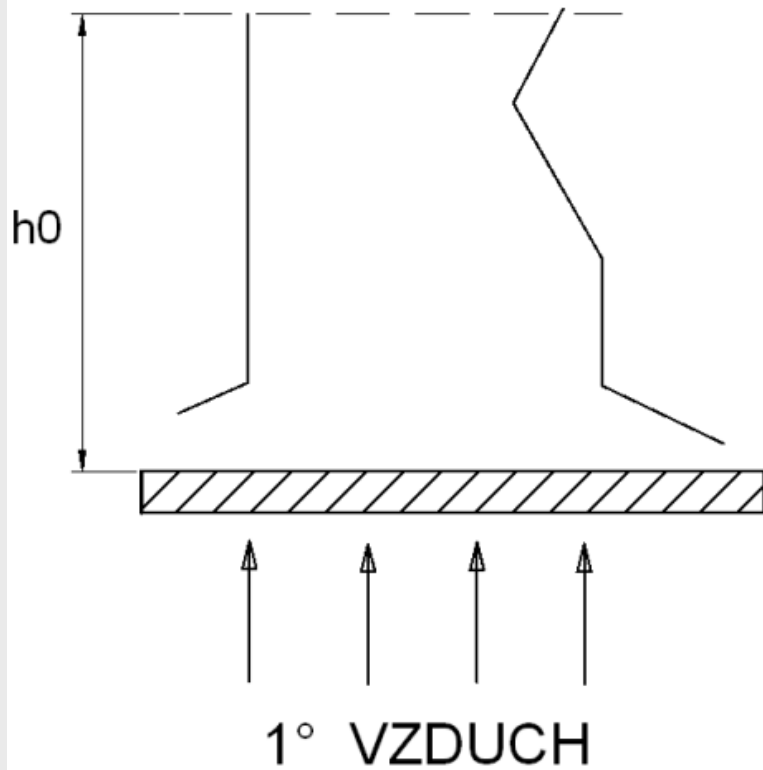
Mezi nejčastější metody, které se používají pro statistické rozdělení částic paliva, je metoda podle Rosin-Rammlera nebo metoda podle Gates-Gaudina-Schumanna. Mezi další statistické metody používané pro tento účel můžeme řadit například Weibullovo rozdělení.

4. Zařízení na spalování biomasy

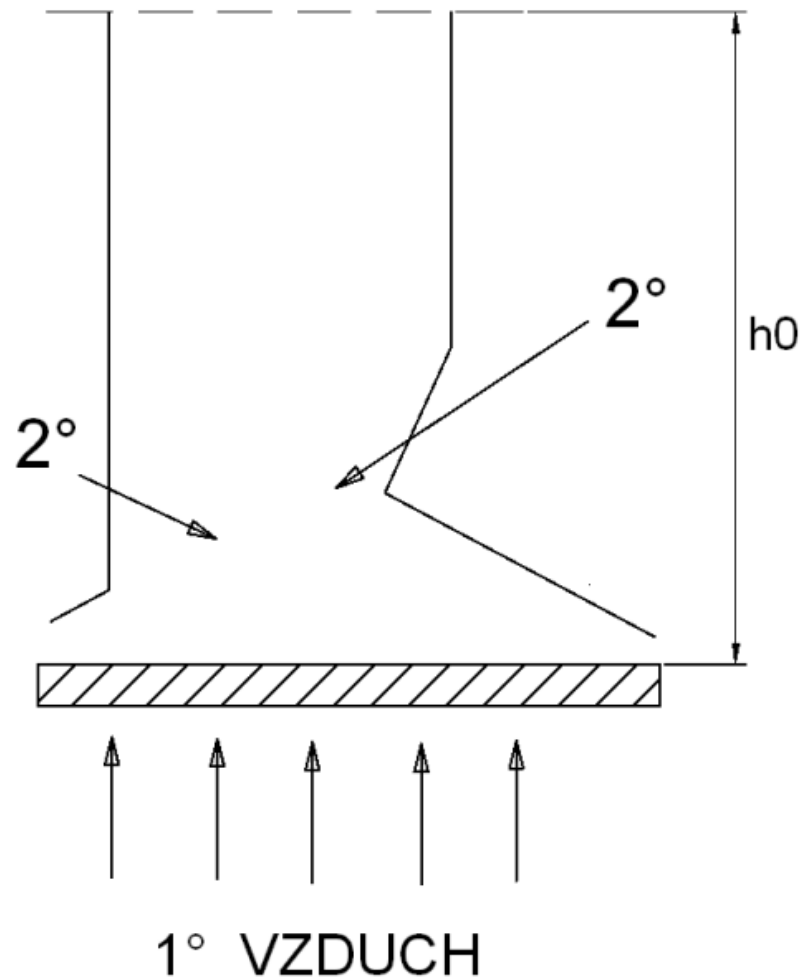
- Pro spalování biomasy se převážně využívají kotle roštové. Spalování u roštových ohnišť probíhá jednak ve vrstvě na roštu, jednak v prostoru nad vrstvou paliva. Podíl hoření nad vrstvou paliva je tím větší, čím vyšší je obsah prchavé hořlaviny. Z tohoto pohledu rozeznáváme dvě základní konstrukční koncepce:
 - roštové ohniště s jedním ohniskem hoření
 - roštové ohniště s dvěma ohnisky hoření

Na následujícím obrázku je uvedena základní koncepce roštových ohnišť. Ohniště typu *a*) jsou vhodná pro pevná paliva s malým obsahem prchavé hořlaviny. Ohniště jsou nižší (h_0) oproti typu *b*), který je vhodný pro paliva s větším obsahem prchavé hořlaviny.

a)



b)



Základní koncepce roštových ohnišť

4. Zařízení na spalování biomasy

Tato ohniště bývají seškrčená, aby při delším plameni bylo zajištěno promísení prchavé hořlaviny se vzduchem. Tomu se napomáhá přivedením sekundárního vzduchu nad rošt. Jeho podíl je tím větší, čím je vyšší obsah prchavé hořlaviny. Vyšší obsah prchavé hořlaviny je převážně u biomasy, kde se používá sekundární, někdy i terciární vzduch. Naproti tomu velmi nízký podíl prchavé hořlaviny je u černého uhlí, kde u jakostního černého uhlí vystačíme pouze s primárním přívodem spalovacího vzduchu.

4. Zařízení na spalování biomasy

Základní součástí roštových ohnišť je rošt, který má následující funkce:

- podpírá kusové palivo a umožňuje vytvoření vrstvy požadované tloušťky a prodyšnosti,
- umožňuje postupné vysušení paliva, jeho zahřátí na zápalnou teplotu a hoření,
- zajišťuje přívod spalovacího vzduchu tak, aby spalování probíhalo při optimálním přebytku vzduchu,
- zajišťuje shromažďování a odvod tuhých zbytků po spálení z ohniště,
- umožňuje regulaci výkonu ohniště a tím i regulaci zatížení kotle.

Palivo na roštu prochází těmito charakteristickými fázemi:

- sušení, během něhož se uhlí ohřívá a vypuzuje se z něho povrchová a hygroskopická voda,
- odplyňování
- hoření prchavé hořlaviny a zápal vrstvy tuhé hořlaviny,
- dohořívání tuhé fáze a chladnutí tuhých zbytků.

4. Zařízení na spalování biomasy

Z celkové roštové plochy slouží k uvolňování tepla z paliva jen tzv. účinná plocha roštu, která se skládá z oblasti, kde dochází k odplynění a samotnému hoření. Zbývající část plochy roštu je pomocná, neboť slouží k přípravě paliva pro zapálení a k dohořívání. Snahou konstruktérů je, aby poměr účinné plochy k celkové ploše byl co nejvyšší. Tento poměr bude tím větší, čím menší bude obsah vody ve spalovaném palivu a čím vyšší bude teplota spalovaného vzduchu.

Praktickým důsledkem vyššího obsahu vody v palivu je snižování výkonu kotle a to z toho důvodu, že se zvětšuje plocha roštu, na níž dochází k sušení paliva.

4. Zařízení na spalování biomasy

4.1 Druhy roštů

Podle způsobu přemísťování paliva v roštovém ohništi rozeznáváme:

- rošty s nehybnou vrstvou paliva (pevné rošty),
- rošty s občasným přemísťováním paliva (rošty stupňové a přesuvné),

Rošty s trvalým přemísťováním paliva (rošty pásové a řetězové).

4. Zařízení na spalování biomasy

4.1 Druhy roštů

Pevné rovinné rošty s nehybnou vrstvou paliva:

V současné době se tento typ roštů zachoval především u malých domácích kotlů na lokální vytápění a to především z důvodu relativně nízkých pořizovacích nákladů. Rošty jsou složeny z bezrozdávových roštnic se spodním dmýcháním spalovacího vzduchu (o přetlaku přibližně 500 – 600 Pa). Tento typ roštů má velkou tepelnou ztrátu ve škváře, úletu, případně i propadu.

4. Zařízení na spalování biomasy

4.1 Druhy roštů

Rošty s občasným přemístováním paliva

Patří sem rošty například s výkyvnými roštnicemi. Občasným pravidelným či nepravidelným pohybem roštnice s úhlem výkyvu 20 – 25 % dochází k rozrušování spečené škváry a obracení paliva. Podle polohy se mohou tyto rošty dělit na vodorovné nebo šikmé.

4. Zařízení na spalování biomasy

4.1 Druhy roštů

Řetězové a pásové rošty s trvalým přemístováním paliva:

Jedná se o nekonečný pás, jehož horní plocha, na které spočívá vrstva paliva, tvoří rošt. Řetězový rošt je tvořen roštnicemi, které jsou články masivního Gallova řetězu. Pásový rošt má roštnice upevněny na příčných tyčích, které jsou unášeny dvěma postraními řetězy. V obou případech je rošt tepelně namáhán pouze v horní části, zatímco ve spodní části je chlazen. Z tohoto důvodu lze zde použít i výhřevnější palivo, aniž by docházelo k opalu roštnic.

4. Zařízení na spalování biomasy

4.2 Fluidní kotle

Dalším perspektivním řešením může být fluidní spalování paliva. Principem procesu je spalování paliva ve fluidní vrstvě, tj. ve vzosu. Do spalovacího prostoru je vháněn vzduch, který jednotlivé částice paliva dostane do vzosu a vytvoří disperzní systém. Velkou výhodou je, že měrná plocha částic je výrazně vyšší nežli u ostatních typů spalování. Tím je paliva mnohem intenzivněji okysličováno a zároveň i účinnost spalování je vyšší. Nevýhodou tohoto druhu spalování jsou vysoké nároky na velikost částic a jejich strukturu, která by měla být stejnorodá. Z tohoto požadavku také plynou vysoké nároky na úpravu paliva, které jsou často energeticky náročné.

4. Zařízení na spalování biomasy

4.2 Fluidní kotle

Fluidní spalování se tedy využívá spíše u zdrojů z vyšším výkonem (v řádů desítek až stovek megawatt). Pomocí fluidního kotle se spaluje čistá biomasa v teplárenském provozu v Hodoníně, kde elektrický výkon příslušného fluidního kotle dosahuje hodnoty 30 MW. Další způsob využívání energetického potenciálu biomasy je tzv. spoluspalování biomasy ve fluidních kotlích. Spoluspalování se například využívá v teplárenském provozu v Poříčí u Trutnova.

4. Zařízení na spalování biomasy

4.3 Možnosti využití tepla ze spalování biomasy

Elektrárna

Elektrárna je zařízení pouze na výrobu elektrické energie, vzniklé teplo se maří v chladících věžích. Některé elektrárenské provozy byly předělány postupem času na provozy teplárenské.

Teplárna

Teplárenské provozy jsou určeny pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Jak již bylo uvedeno výše, teplárenské provozy jsou využívány pro spalování či spoluspalování biomasy.

4. Zařízení na spalování biomasy

4.3 Možnosti využití tepla ze spalování biomasy

Výtopna

Výtopny jsou zařízení, které jsou určeny výhradně pro výrobu tepla. Může se jednat například i o vytápění domácností či malých provozů. Zde je teplo převážně využíváno k ohřevu teplé užitkové vody nebo pro ohřev vody do teplovodního topení. Biomasa má široké využití v domácích topeništích a patří mezi nejčastěji používanou alternativu k fosilním palivům.

5. Zplyňování

Zplyňování na rozdíl od spalování probíhá za podstechiometrického množství kyslíku. Aby oxidační reakce uhlíku proběhla pouze na oxid uhelnatý podle následující rovnice:



Reakce $2 \text{H}_2 + \text{O}_2$ musí být zcela potlačena. Teplota při zplyňování se pohybuje přibližně v rozmezí 1000 – 1500 °C. V praxi samozřejmě dochází v malém množství i k reakcím, kdy vzniká i CO_2 a voda. Produktem je syntézní plyn, což je převážně směs $\text{CO} + \text{H}_2$, který je možné využít materiálově nebo k výrobě energie. Při zplyňování se používá při reakci buď kyslík, nebo vzduch obohacený kyslíkem na 90 % a více.

5. Zplyňování

Zplyňování na rozdíl od spalování probíhá za podstechiometrického množství kyslíku. Aby oxidační reakce uhlíku proběhla pouze na oxid uhelnatý podle následující rovnice:



Reakce $2 \text{H}_2 + \text{O}_2$ musí být zcela potlačena. Teplota při zplyňování se pohybuje přibližně v rozmezí 1000 – 1500 °C. V praxi samozřejmě dochází v malém množství i k reakcím, kdy vzniká i CO_2 a voda. Produktem je syntézní plyn, což je převážně směs $\text{CO} + \text{H}_2$, který je možné využít materiálově nebo k výrobě energie. Při zplyňování se používá při reakci buď kyslík, nebo vzduch obohacený kyslíkem na 90 % a více.

5. Zplyňování

Cílem je vyloučení dusíku ze vzduchu, protože dusík tvoří s ohledem na materiálové i energetické využití syntézního plynu nežádoucí složku. V případě zplyňování se vzniklý syntézní plyn podrobuje čištění ještě před vlastním užitím. S ohledem na „redukční“ atmosféru mají nežádoucí složky vzniklé z přítomných prvků jiný charakter než při spalování, např. ze síry vzniká sirovodík, a je rovněž značně potlačena tvorba vyšších uhlíkatých látek s kyslíkem.

Proces se skládá z několika základních pochodů: sušení, odplynění prchavých podílů hořlaviny, redukce a oxidace. Tyto jednotlivé dílčí procesy mohou probíhat buďto postupně – v sesuvných generátorech, či souběžně – ve fluidních a hořákových generátorech.

5. Zplyňování

Teplo je do procesu dodáváno přímo, tj. částečným spalováním biomasy v reaktoru (jedná se o tzv. autotermní zplyňování), anebo nepřímo – přísunem tepla zvenku, tzv. alotermní zplyňování. Přísun tepla pro alotermní zplyňování může být zajištěn následovně:

- transportem tepla teplosměnnou plochou,
- transportem tepla obsaženého v inertním materiálu,
- např. cirkulací fluidní vrstvy,
- vstupními materiály, tj. předehřátým zplyňovacím médiem, palivem či plynem pro pneumatický transport.

5. Zplyňování

5.1 Syntézní plyn

Syntézní plyn se skládá z hlavních složek, jimiž jsou výhřevné permanentní plyny (CO , H_2 a CH_4), balastní permanentní plyny (CO_2 a N_2) a samozřejmě vodní pára. Dále plyn tvoří vedlejší složky a tuhé znečišťující látky (dehet, popeloviny, nedopal) a sloučeniny S, Cl, N aj. Složení plynu nelze generalizovat, protože je závislé na fyzikálně-chemických vlastnostech tuhého paliva, na typu zplyňovacího reaktoru a na provozních podmínkách generátoru. Příkladem je složení plynu z fluidního zplyňování dřevní biomasy různými zplyňovacími tekutinami – vzduchem, vodní parou a paro-kyslíkovou směsí. Hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Parametr	Jednotka	Zplyňování vzduchem (autotermní)	Zplyňování parou (alotermní)	Zplyňování paro- kyslíkovou směsí (autotermní)
Výhřevnost	[MJ·m _N ⁻³]	4–6	12–14	12–15
H₂	[%]	11–16	35–40	25–30
CO	[%]	13–18	25–30	30–35
CO₂	[%]	12–16	20–25	23–28
CH₄	[%]	3–6	9–11	8–10
N₂	[%]	45–60	<1	<1

Hlavní složky plynu ze zplyňování dendromasy

5. Zplyňování

5.2 Zplyňovací reaktory

Reaktor se sesuvným ložem (moving bed reactor)

Jak je z názvu patrné, reaktor dostal svoje jméno podle toku materiálu uvnitř reaktoru. Nicméně někteří autoři poukazují na to, že pohyb materiálu je pomalý a nazývají tento typ reaktoru reaktor s pevným ložem. Existují dva typy reaktoru se sesuvným (pohyblivým) ložem:

- protiproudý reaktor
- souproudý reaktor
- reaktory s křížovým tokem

5. Zplyňování

5.2 Zplyňovací reaktory

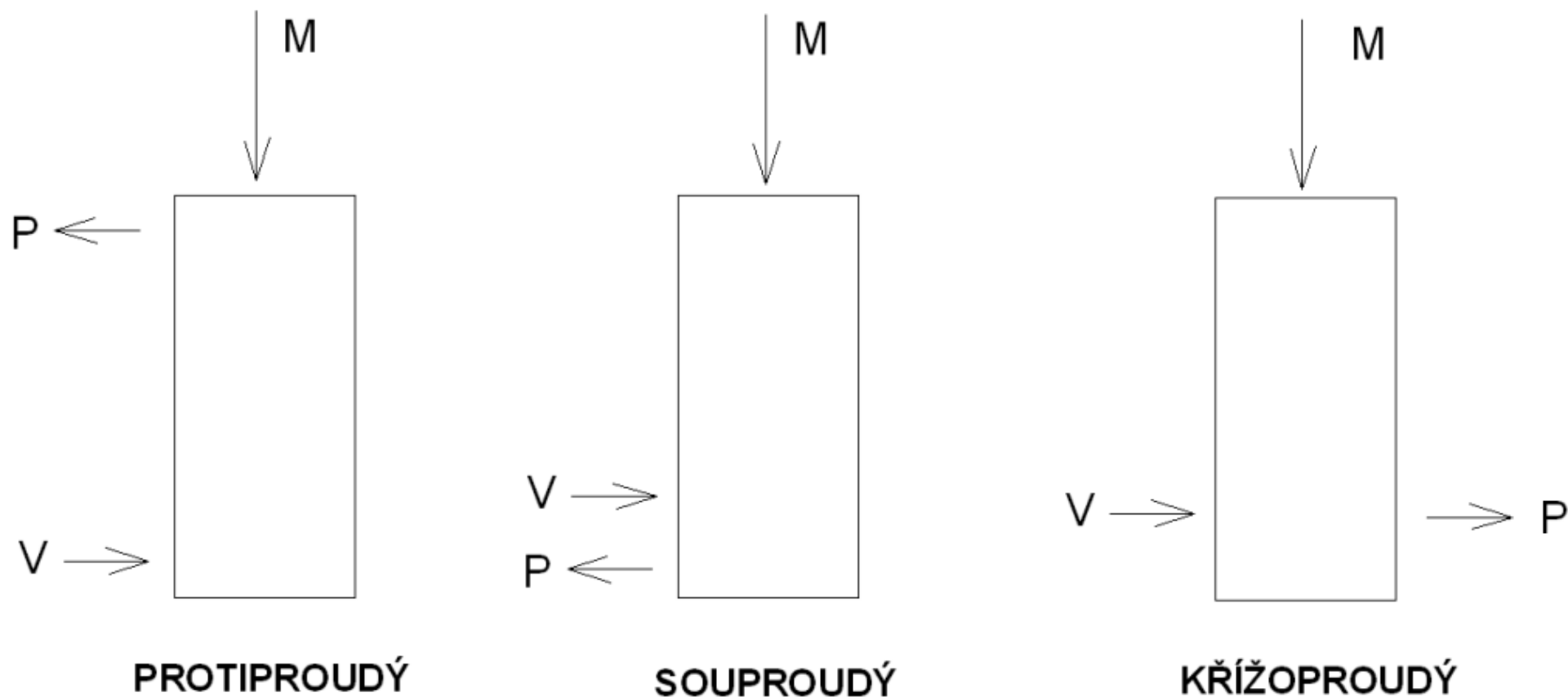
V protiproudých reaktorech je reaktor plněn palivem z horní části. Zplyňovací prostředek (vzduch, kyslík, pára nebo jejich směs) se mírně zahřeje a vstupuje do zplyňovače přes rošt umístěný ve dně reaktoru, přičemž zplyňovací prostředek proudí v protisměru toku paliva. U těchto typů reaktorů se často objevují problémy s klenbováním vrstvy paliva, což vede k tvorbě plynu o proměnlivém složení. Jsou provozovány v autotermním režimu a produkují většinou nízkovýhřevný plyn. Jejich výhodou je relativně jednoduchá konstrukce a robustnost, nevýhodou pak omezení ve výkonu a požadavky na palivo o granulometrii 5–100 mm a homogenním tvaru a složení, aby bylo klenbování paliva omezeno na minimum.

5. Zplyňování

5.2 Zplyňovací reaktory

V souproudém reaktoru je palivo také většinou přiváděno z horní části reaktoru. Zplyňovací prostředek (většinou vzduch) proudí z jedné strany reaktoru a mísí se s produkty zplyňovacího procesu. V tomto momentu se plyny a pevné látky (popel a různé meziprodukty) pohybují v reaktoru paralelně – dochází k souproudu.

Reaktory s křížovým tokem se potom vyznačují tím, že zplyňovací prostředek proudí kolmo k dávkovanému palivu. Nákresy jednotlivých typů jsou zobrazeny na následujícím obrázku.



*Schématické zobrazení různých typů
technologí zplyňování v sesuvném loži*

(V – vzduch, P – plyn, M – materiál)

5. Zplyňování

5.2 Zplyňovací reaktory

Reaktory s fluidním ložem

Princip je stejný jako v případě fluidních kotlů. Zplyňovací prostředek proudí skrze vrstvu zrnitého materiálu (v případě biomasy je to většinou písek o určité zrnitosti), přičemž rychlost zplyňovacího prostředku je taková, že částice biomasy se dostávají do vznosu. Celá vrstva má potom podobné vlastnosti jako kapalina.

Reaktory s fluidním ložem obvykle pracují při teplotách 800 – 1000 °C , aby se zabránilo zpékání popela. Výhodou této technologie je, že obvykle nemají problémy spojené s vysokým obsahem popela.

5. Zplyňování

5.2 Zplyňovací reaktory

Dalšími výhodami je, že dochází k rychlému promíchávání fluidní vrstvy a umožňuje zplyňování různých druhů paliv. Dochází také k rovnoměrné distribuci tepla v reaktoru a intenzivnímu přestupu tepla. Tyto vlastnosti umožňují dimenzovat fluidní generátory i na větší objemy a zpracovávat palivo s proměnlivou vlhkostí, variabilním složením a s vyšším obsahem popela. Jedná se o reaktory technologicky pokročilé z důvodu jejich rozsáhlého použití pro spalovací procesy.

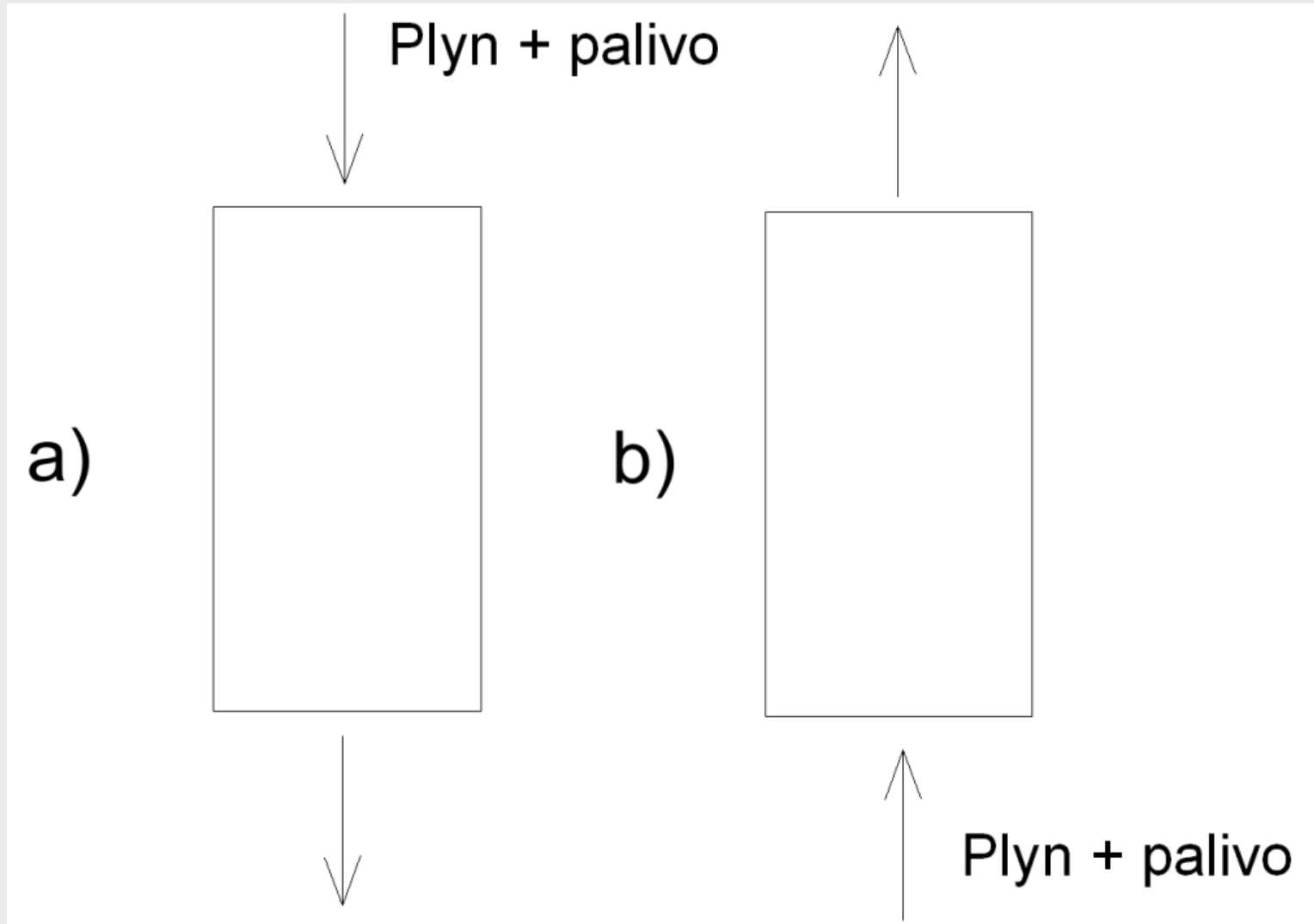
5. Zplyňování

5.2 Zplyňovací reaktory

Reaktory pro zplyňování v unášené vrstvě

Tento typ reaktorů je využíván v tzv. integrovaných kombinovaných cyklech zplyňování (IGCC). Teploty v těchto reaktorech dosahují až 1400 °C a tlaku mezi 20 a 70 bar.

Práškové palivo vstupuje do reaktoru společně se zplyňovacím prostředkem, přičemž velikost částic paliva by měla být menší než 75 μm. Palivo může být také promícháno s vodou. Tato suspenze je potom vhodnější pro vstřikování do reaktoru, zvláště pod vysokým tlakem. Rychlost proudícího plynu (zplyňující prostředek) je dostatečně vysoká na to, aby došlo k pohybu částic. Pokud do reaktoru je dávkovaná suspenze, tak jeho objem musí být o něco větší než „suchá“ verze reaktoru. Důvodem je, že uvnitř reaktoru dochází k odpařování vody. Tento typ reaktoru také ke svému provozu spotřebuje o 20 % více kyslíku než v „suché“ verzi. Schématický nákres reaktoru je uveden na následujícím obrázku.



Schematický náčrt reaktoru pro zplyňování v unášené vrstvě

a) s dolním tokem, b) s horním tokem

5. Zplyňování

5.2 Zplyňovací reaktory

Reaktory s duálním fluidním ložem

Tento typ reaktoru se používá pro výrobu syntézního plynu s vyšší výhřevností, než může být dosaženo reaktorem s jedním fluidním ložem. Technologie se skládá ze dvou reaktorů:

- první reaktor má funkci zplyňovacího reaktoru, který je ohříván pískem nebo jiným horkým inertním materiálem z druhého reaktoru
- v druhém reaktoru dochází ke spalování zbytků z prvního reaktoru

Nejúspěšnější koncept duálního fluidního reaktoru v Evropě je tzv. reaktor s rychlou vnitřní cirkulací fluidního lože FICFB – Fast Internal Circulating Fluidized Bed. Proces FICFB fyzicky odděluje zplyňovací a spalovací reakce, aby byl získán plyn s velmi nízkým obsahem dusíku. Biomasa vstupuje do prvního zplyňovacího reaktoru, kde je vysušena, odplyněna, a přeměněna na CO, CO₂, CH₄, H₂, vodní páru a dehty.

5. Zplyňování

5.2 Zplyňovací reaktory

Zároveň probíhají reakce s vodní parou. Zplyňovací a spalovací prostor je propojen svodkou, kterou je transportován materiál fluidní vrstvy se zbytky uhlíku do spalovacího prostoru, kde je téměř všechn zbyvající uhlík spálen. Ohřátý materiál fluidní vrstvy je oddělen od spalin na cyklónu a dávkován přes fluidní sifón zpět do zplyňovací části. Potřebné teplo k ohřátí fluidní vrstvy je získáno spálením zbytku uhlíku a regulováno částečnou recirkulací vyrobeného energetického plynu do spalovací části nebo přidáním dalšího paliva. Ve zplyňovací části je fluidačním médiem vodní pára a ve spalovací části vzduch. Teplo potřebné ke zplynění biomasy v prvním reaktoru je procesu dodáváno cirkulací materiálu fluidní vrstvy ze spalovací části a přes společnou teplosměnnou plochu spalovací a zplyňovací části.

5. Zplyňování

5.2 Zplyňovací reaktory

Plazmové zplyňování

Tato technologie se dá principálně využít pro městský komunální odpad, ale i jiný odpad jako například papír, plasty, sklo, kovy, textil, dřevo, gumu a pod. Plazma je obecně plyn, v kterém alespoň část atomů nebo molekul je částečně nebo zcela ionizován. Plazma vznikne pomocí elektrického výboje uvnitř plynu. Vzniklá plazma dosahuje vysokých teplot, kde jsou jednotlivé ionizované molekuly vstupního materiálu přetvářeny na syntézní plyn. Zároveň však dochází k tání anorganických složek jako například sklo, kovy, silikáty apod. a dochází tak ke vzniku strusky. Proces plazmového zplyňování může dosahovat teplot v rozmezí 2000 až 30000 °C. V současné době existují technologie, kde plazmové zplyňování s fluidním zplyňováním jsou zařazeny v sérii, nicméně je nutné podotknout, že vše je zatím v oblasti výzkumu.

5. Zplyňování

5.3 Čištění syntézního plynu

Kromě syntézního plynu během zplyňování vznikají další nežádoucí látky. Jedná se o pevné částice, dehet, alkálie, sloučeniny síry (H_2S , COS , CS_2 a organické sloučeniny), dusíku (NH_3 a HCN), halogenů a jiné. Zastoupení nečistot v plynu je závislé na technologii zplyňování a na složení biomasy. Nároky na čistotu plynu se liší dle jeho následné aplikace.

Obecně existují dva základní přístupy k čištění plynu, které se vzájemně doplňují. Jedná se o tzv. primární opatření a sekundární opatření. Primární opatření jsou metody týkající se samotného procesu zplyňování, které se uplatňují přímo v generátoru. Jsou to např. volba vhodného zplyňovacího média, vhodné teploty zplyňování, vhodného tlaku zplyňování atd. U fluidních generátorů se také naskýtá možnost ovlivňovat kvalitu generátorového plynu použitím katalyzátorů ve fluidním loži.

5. Zplyňování

5.3 Čištění syntézního plynu

Sekundárními opatřeními je rozuměno použití návazných technologií, jako jsou např. cyklóny, filtry, mokré vypírky (skrubry), katalytické reaktory a jiné. V rámci sekundárního čištění se dají rozlišit dva základní přístupy k čištění plynu: nízkoteplotní a vysokoteplotní čištění. Nízkoteplotní čištění v sobě zahrnuje kontakt plynu s kapalinou, tedy olejem anebo vodou. Plyn bývá ochlazen až pod bod varu těchto kapalin. Pro některé aplikace musí být ale plyn následně znovu zahřát na vyšší teplotu. Aby nemusel být plyn nejdříve ochlazován a následně opět zahříván, čímž dochází ke ztrátám exergie plynu, je možné použít vysokoteplotní čištění plynu, při kterém jsou jednotlivé nečistoty odstraňovány pomocí sorpčních a katalytických metod za vyšších teplot.

5. Zplyňování

5.4 Využití syntézního plynu

Využitelnost generátorového plynu závisí primárně na jeho kvalitě, tj. výhřevnosti, obsahu využitelných složek a na jeho čistotě. Z hlediska energetického obsahu lze generátorový plyn dělit na nízko-energetický plyn a středně-energetický plyn. Nízko-výhřevný (chudý) plyn o výhřevnosti $2,5 - 8,0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ z autotermního zplyňování vzduchem bývá nejčastěji využíván pro průmyslový otop nebo je spolu-spalován za účelem kombinované výroby tepla a elektrické energie. Jeho využitelnost pro náročnější aplikace je omezená. Středně-výhřevný plyn o výhřevnosti $>10 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ z autotermního zplyňování paro-kyslíkovou směsí nebo z alotermního zplyňování vodní párou může být použit pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie s vyšší účinností než za použití nízko-výhřevného plynu.

5. Zplyňování

5.4 Využití syntézního plynu

Středně výhřevný plyn bývá použit i jako syntézní plyn využitelný v syntézních procesech při produkci rozličných chemikálií, či transportních paliv. Syntézní plyn mívá navíc upraven poměr jednotlivých složek (CO a H₂) v závislosti na konkrétní aplikaci.

Elektrickou energii a teplo je možné vyrábět z energetického plynu v tepelných strojích, tj. v plynovém motoru a plynové turbíně, nebo v palivových člancích.

5. Zplyňování

5.4 Využití syntézního plynu

Možnost využití v jednotlivých zařízeních závisí primárně na čistotě a tlaku plynu. Při použití plynového motoru jsou na čistotu plynu kladeny výrazně nižší požadavky než při použití plynové turbíny nebo vysokoteplotního palivového článku. Různé způsoby využití plynu ze zplyňování jsou technologicky a ekonomicky vhodné pro určité výkonové měřítko. V současné době jsou komerčně využívány technologie na spalování syntézního plynu v plynovém motoru. Využití syntézního plynu v plynových turbínách nebo ve vysokoteplotních palivových článcích je v současné době ve fázi testování a výzkumu.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



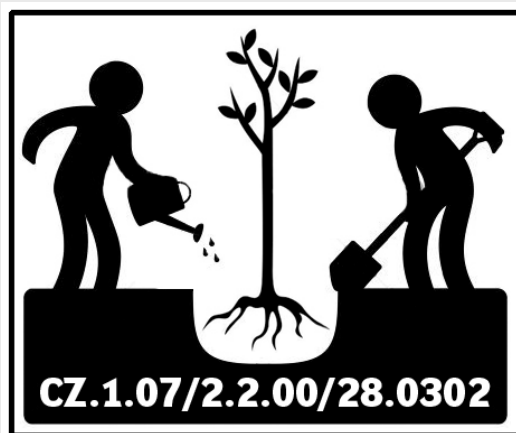
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Tato publikace je spolufinancována z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky.

Byla vydána za podpory projektu OP VK CZ.1.07/2.2.00/28.0302 Inovace studijních programů AF a ZF MENDELU směřující k vytvoření mezioborové integrace.