

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE**

2123602

**ENERGETICKÉ A EMISNÉ ASPEKTY VYUŽITIA
BIOMASY NA VÝROBU TEPLA**

2011

Bc. Miloš Brunovský

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE**

**ENERGETICKÉ A EMISNÉ ASPEKTY VYUŽITIA
BIOMASY NA VÝROBU TEPLA**

Diplomová práca

Študijný program:	Poľnohospodárska technika
Študijný odbor:	4112800 Poľnohospodárska a lesnícka technika
Školiace pracovisko:	Katedra výrobnjej techniky
Školiteľ:	doc. Ing. Rudolf Opáth, CSc

Nitra 2011

Bc. Miloš Brunovský

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Miloš Brunovský vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Energetické a emisné aspekty využitia biomasy na výrobu tepla“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 15. marca 2010

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce, doc. Ing. Rudolfovi Opáthovi, CSc., za cenné rady a podnety, ktoré mi poskytoval počas tvorby tejto práce.

Abstrakt

Práca poskytuje prehľad o možnostiach využitia biomasy na výrobu tepelnej energie. Cieľom práce bolo zistiť vlastnosti vybraných druhov biomasy využiteľných na výrobu tepla priamym spaľovaním. Stanoviť obsah popola, horľaviny a určiť plynné emisie vzniknuté pri spaľovaní peliet. Obsah horľaviny a popola bol určený pomocou gravimetrickej pece. Sušina slamy skúmaných obilnín priemerne obsahovala 6,14 % popola a 94,42 % horľaviny. V práci sú ďalej uvedené priemerné hodnoty spalín vznikajúcich pri spaľovaní peliet vyrobených z pšeničnej slamy odrody Kalas a energetická účinnosť kotla Rojek KTP 25m.. Tieto údaje boli určené pomocou meracieho prístroja TESTO 330-1 LL.

Kľúčové slová: biomasa, sušina, horľavina, popol, emisie

Abstract

Work presents survey about option of utilization biomass upon production thermic energy. Objective the works has been find out facilities chosen type biomass available on production heat straight forward burning. Determine percentage of ash, flammable matters and to determine gaseous emissions of arose at the point of fired pellet. Contents flammable matters and ash be intended by gravimetric stove. Solids straw surveyed cereal average 6,14 % ash and 94,42 % flammable matters. At work further are they mentioned average attributes slept emergent at the point of fired pellet made from wheat straw type Kalas and energetic effectiveness boiler Rojek KTP 25m.. Aunts poop were to be assigned by measuring accuracy device TESTO 330- 1 LL.

Key words: biomass, solids, inflammable, ash, emission

Obsah

Obsah	5
Zoznam skratiek a značiek.....	6
Úvod	7
1 Súčasný stav riešenia problematiky doma a v zahraničí.....	8
1.1 Biomasa	8
1.2 Zdroje biomasy na výrobu tepla	12
1.3 Tuhé ušľachtilé biopalivá	15
1.4 Technológie výroby energie z biomasy.....	17
1.4.1 Priame spaľovanie biomasy	18
1.4.2 Splynovanie.....	19
1.4.3 Pyrolýza	20
1.4.4 Alkoholové kvasenie.....	21
1.4.5 Anaeróbna fermentácia	21
1.5 Zariadenia na spaľovanie biomasy	21
1.6 Účinnosť kotlov a emisie zo spaľovania biomasy.....	23
2 Cieľ práce.....	29
3 Metodika práce a metódy skúmania	30
3.1 Gravimetrické určenie podielu vlhkosti, horľaviny a popola v pšeničnej slame.....	30
3.2 Určenie plynných emisií spaľovania pšeničnej slamy.....	34
4 Výsledky práce	37
4.1 Gravimetrické určenie podielu vlhkosti, horľaviny a popola v pšeničnej slame.....	37
4.2 Určenie plynných emisií spaľovania pšeničnej slamy.....	39
5 Diskusia	47
Záver	48
Zoznam použitej literatúry	49

Zoznam skratiek a značiek

ppm	parts per million je jednotka pre vyjadrenie nízkyh koncentrácií. Vyjadruje počet častíc látky na 1 milión ostatných častíc.
CO	oxid uhoľnatý
CO ₂	oxid uhličité
NO	oxid dusnatý
NO _x	celkový oxid dusíka
SO ₂	oxid siričité
TZL	tuhé znečisťujúce látky
TOC	organické plyny a pary vyjadrené ako celkový organický uhlík
TS	teplota spalín, °C
TV	teplota vzduchu, °C
λ	nadbytok vzduchu, -
η_k	účinnosť kotla, %
Q	tepelný výkon, kW
Q _B	tepelný príkon, kW
Q _N	menovitý tepelný výkon, kW
Q _S	spaľovacie teplo, MJ·kg ⁻¹

Úvod

Spotreba energie v Európe neustále narastá. Rovnako stúpa aj globálny dopyt po energii, keďže rozvojové krajiny, ako Čína, India, sa stávajú významnými hospodárskymi mocnosťami. Je veľmi pravdepodobné, že cena energie, hlavne u fosílnych palív bude naďalej rásť. V súčasnosti nám energiu z viac ako 85 % poskytujú vyčerpatel'né fosílné palivá, najmä ropa, uhlie a zemný plyn. Známe a využiteľné zásoby ropy síce vydržia najmenej 40 rokov, no nebude možné udržať súčasnú rýchlosť ťažby, lebo všetky veľké ropné polia boli objavené v 60. a 70. rokoch uplynulého storočia. Ceny ropy pravdepodobne už dlhodobo významne neklesnú.

V rozvojových krajinách sa biomasa využíva hlavne na vykurovanie, kde tvorí hlavný zdroj paliva. V rozvinutých krajinách je biomasa dôležitým zdrojom energie vo forme tepla, elektriky, tekutých palív. V USA biomasa pokrýva viac ako 4 % a vo Švédsku až 14 % celkovej spotreby energie.

V súčasnosti sa u biomasy okrem energetického a ekonomického hľadiska čoraz viac kladie dôraz na environmentálne aspekty palív. Pri spaľovaní biomasy sa uvoľňujú oxidy uhlíka, dusíka a síry, ktoré majú nežiaduce účinky na životné prostredie. Preto je dôležité neustále skvalitňovať technologický postup spaľovania biomasy.

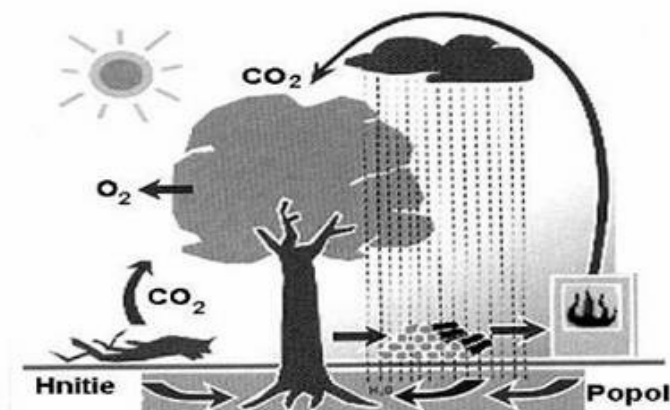
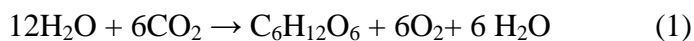
Rastúce ceny fosílnych palív, globálne otepľovanie, vyčerpávajúce sa energetické zdroje, politická nestabilita regiónov, v ktorých sa nachádzajú kľúčové náleziská ropy, zemného plynu a uránovej rudy a z toho vyplývajúca energetická závislosť. To všetko sú hrozby, ktoré nás nútia postupne prehodnotiť energetickú politiku a zamerať sa na čistejšie, bezpečnejšie, udržateľnejšie obnoviteľné zdroje energie.

1 Súčasný stav riešenia problematiky doma a v zahraničí

1.1 Biomasa

Podľa Nariadenia Vlády SR č. 246 z 19.4.2006 je biomasa biologicky rozložiteľná frakcia výrobkov, odpadov a zvyškov z poľnohospodárstva, rastlinné a živočíšne látky z lesníctva a príbuzných odvetví alebo biologicky rozložiteľná frakcia priemyselného a komunálneho odpadu.

Biomasa vzniká pri fotosyntéze (obr. 1). Tento jav je popísaný v dokumente biomasa (2002). Z oxidu uhličitého a vody za prítomnosti a spolupôsobení enzýmov, chlorofylu a svetelnej energie vzniká glukóza a kyslík. Z chemického hľadiska sa fotosyntéza vyjadruje rovnicou:



Obr. 1

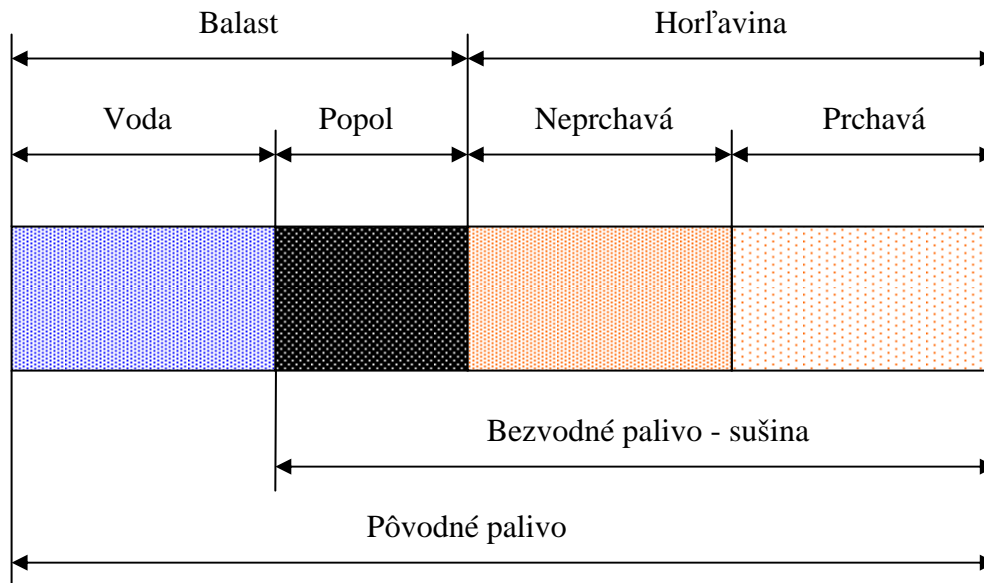
Kolobeh CO₂.

(Biomasa, 2002)

Chemické zloženie biomasy dokumentuje Petříková (2007). Rastliny obsahujú priemerne asi 25 % lignínu a 75 % uhľovodíkov alebo cukrov. Uhľovodíková zložka pozostáva z molekúl cukrov spojených do dlhých reťazcov polymérov. Dve významné zložky uhľovodíkov sú celulóza a hemicelulóza.

Celulóza je rastlinný polysacharid, ktorý je obsiahnutý v stenách rastlinných buniek. Hemicelulóza je polysacharid, od celulózy sa líši nižšou relatívnou molekulovou hmotnosťou a menším stupňom kryštalického podielu.

Tuhé palivá dokumentuje Jandačka J. a kol. (2007). Pozostávajú z horľaviny a balastu (obr.2). Horľavinu tvoria aktívne látky (uhlík, vodík, síra) a pasívne látky (kyslík a dusík). Pri oxidácii aktívnych látok sa uvoľňuje teplo. Balast tvorí popol a voda. Je to nežiaduca zložka paliva pretože znižuje spalné teplo aj výhrevnosť. Popol vzniká v dôsledku reakcií minerálnych látok prítomných v biomase.



Obr. 2

Zloženie tuhých palív.

(Jandačka J. a kol., 2007)

Spalné teplo

Norma STN ISO 1928 definuje spalné teplo Q_s ako množstvo tepla uvoľnené úplným spálením jednotkového množstva paliva v kyslíku v kalorimetrickej tlakovej nádrži za predpísaných podmienok. Predpokladá sa, že splodiny horenia sa skladajú z plynného O, N, CO_2 , SO_2 , vody v kvapalnom stave (v rovnováhe s parou), nasýtenej CO_2 za reakčných podmienok v tlakovej nádrži a popola v tuhom stave.

Výhrevnosť

Výhrevnosť Q_i je množstvo tepla uvoľnené úplným spálením jednotkového množstva paliva v kyslíku v kalorimetrickej tlakovej nádrži za predpísaných

podmienok. Predpokladá sa, že splodiny horenia sa skladajú z plynného O, N, CO₂, SO₂ a vody v plynnom stave. Výhrevnosť vypočítame podľa rovnice 2. Od spálneho tepla Q_s odčítame výparné teplo vody Q_v.

$$Q_i = Q_s - 2,453 * (w + 9 * H_2), \text{ MJ.kg}^{-1} \quad (2)$$

kde:

Q_s - spálne teplo, MJ.kg⁻¹,

w - relatívna vlhkosť paliva, kg.kg⁻¹,

H₂ - obsah vodíka v palive, kg.kg⁻¹.

Vzhľadom na rôzne formy biomasy je aj energia v nej obsiahnutá rôzna. Výhrevnosť rôznych druhov palív je uvedená v tabuľke 1. (Jandačka J. a kol. 2007). U suchých rastlín s obsahom vlhkosti 15 až 20% sa pohybuje od 14 MJ.kg⁻¹ po 18,5 MJ.kg⁻¹. Suchá biomasa preto môže byť z pohľadu energetického obsahu porovnávaná s uhlím, ktoré má výhrevnosť 10 až 20 MJ.kg⁻¹ pre hnedé uhlie a okolo 30 MJ.kg⁻¹ pre čierne uhlie. V čase zberu však biomasa obsahuje značné množstvo vody, ktoré sa pohybuje od 8 do 20 % pre slamu, po 30 až 60 % pre drevo. Obsah vody v hnojovici, z ktorej sa získava bioplyn je 75 až 90 %. Na druhej strane obsah vody v uhlí sa pohybuje na úrovni 2 až 12 %. Z tohto dôvodu je energia biomasy v čase zberu zvyčajne nižšia ako v prípade uhlia.

Obsah popola

Norma STN ISO 1171 definuje celkový obsah popola ako hmotnosť anorganického zvyšku, ktorý zostáva po spálení paliva za stanovených podmienok, vyjadrený ako percento hmotnosti sušiny paliva. Obsah popola u rôznych materiálov je uvedený v tabuľke 1.

V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty obsahu popola energeticky využiteľných materiálov podľa Magu J. a kol. (2008) a v tabuľke 3 podľa Pepicha Š. (2009).

Tab. 1**Výhrevnost', spalné teplo a obsah popola.**

(Jandačka J. a kol., 2007)

Palivo	Výhrevnost', MJ.g ⁻¹	Spalné teplo, MJ.kg ⁻¹	Obsah popola, %
Smrekové drevo s kôrou	18,8	20,2	0,6
Bukové drevo s kôrou	18,4	19,7	0,5
Topoľové drevo - krátke výhonky	18,5	19,8	1,8
Vfbové drevo - krátke výhonky	18,4	19,7	2,0
Pšeničná slama	17,2	18,5	5,7
Tritikale slama	17,1	18,3	5,9
Jačmenná slama	17,5	18,5	4,8
Repková slama	17,1	18,1	6,2
Pšeničné zrno so slamou	17,1	18,7	4,1
Tritikale zrno so slamou	17,0	18,4	4,4
Zrno pšenice	17,0	18,4	2,7
Zrno tritikale	16,9	18,2	2,1
Ozdobnica čínska	17,6	19,1	3,9

Tab. 2**Obsah popola.**

(Maga J. a kol., 2008)

Palivo	Obsah popola, %
Jačmenná slama	5,7
Pšeničná slama	5,7
Repková slama	6,9
Topinambur	11,4
Semeno repky	3,1
Zrno pšenice	1,6

Tab. 3**Obsah popola.**

(Pepich Š., 2009)

Palivo	Obsah popola, %
Jačmenná slama	7,5
Pšeničná slama	5,2
Repková slama	7,2
Krídlatka	4,1
Semeno repky	3,1
Zrno pšenice	1,6

Touto problematikou sa zaoberali aj Hutla P. a Mazancová J. (2009) ktorí uvádzajú, že pelety vyrobené z obilnej slamy obsahujú 6,33 % a pelety z repkovej slamy 5,64 % popola.

1.2 Zdroje biomasy na výrobu tepla

Biomasu, tak ako rozpracoval Pastorek et al. (2004), vhodnú pre energetické účely môžeme rozčleniť nasledovne:

- fytohmota s vysokým obsahom lignocelulózy,
- fytohmota olejnatých plodín,
- fytohmota s vysokým obsahom škrobu a cukru,
- organické odpady a vedľajšie produkty živočíšneho pôvodu,
- zmes rôznych organických odpadov.

Podľa obsahu vody rozlišujeme dva typy pevnej biomasy (Maga J. a kol. 2008):

- suché typy (pelety, brikety, slama, suchý ekologický drevený odpad, suchá drevená štiepka),
- mokré typy (lesná drevená štiepka, mokrý ekologický odpad, piliny, kôra).

Podľa normy STN EN 303-5 sa tuhé palivá delia na biogenické a fosílné. Biogenické ďalej rozdeľujeme nasledovne:

A – drevo z kmeňov s obsahom vody $w < 25 \%$,

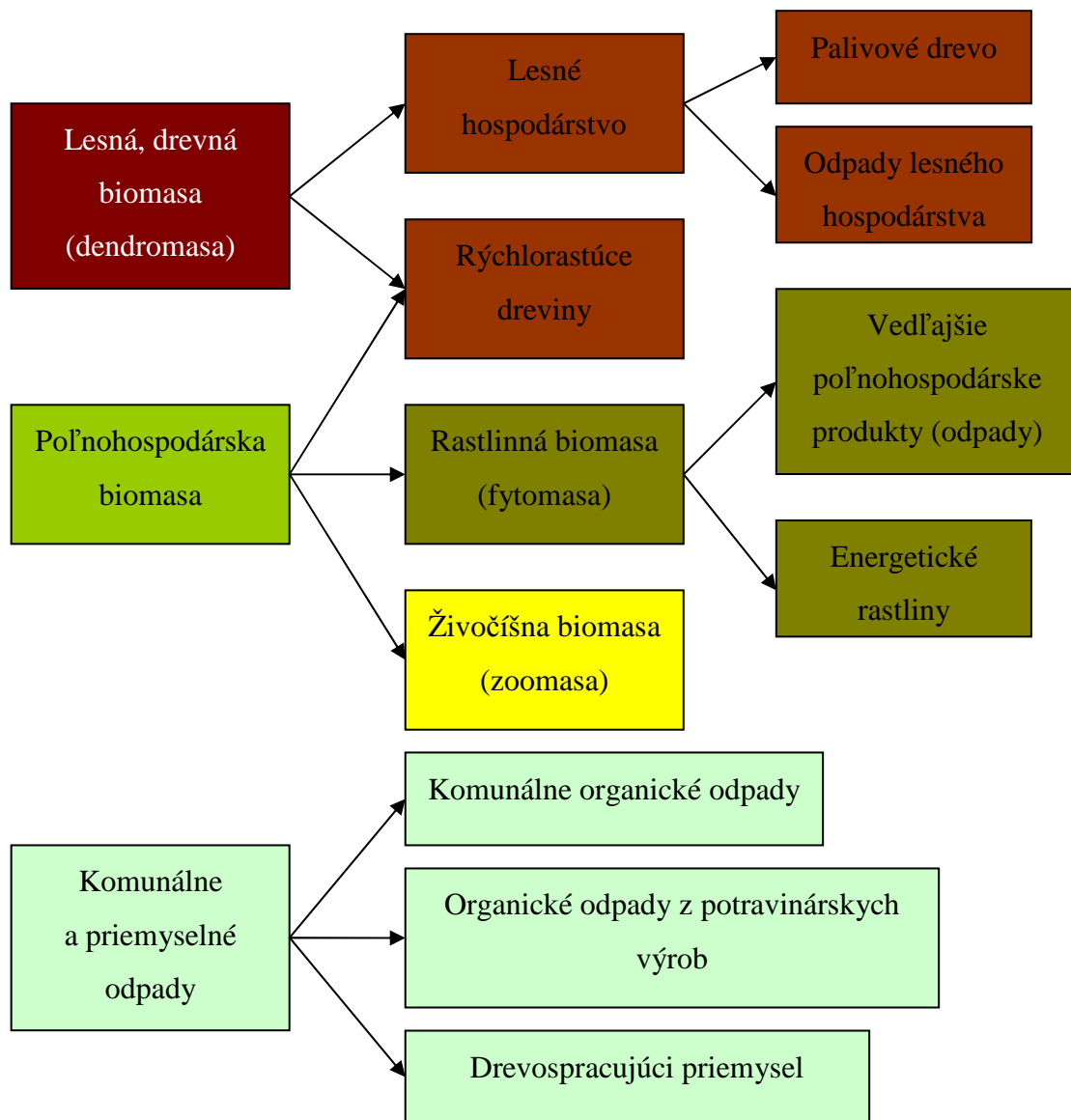
B1 – drevné triesky (drevo štiepané strojom s maximálnou dĺžkou do 15 cm) s obsahom vody od $w > 15 \%$ po $w < 35 \%$,

B2 – drevné triesky ako v B1 s obsahom vody $w > 35 \%$,

C – lisované drevo (brikety a pelety bez spojivového materiálu, vyrobené z dreva alebo kôry),

D – piliny s obsahom vody od $w > 20 \%$ po $w < 50 \%$.

Zdroje vzniku biomasy a ich členenie, tak ako rozpracoval Jandačka J. a kol. (2007) sú uvedené na obrázku 3.



Obr. 3

Zdroje biomasy a ich členenie.

(Jandačka J. a kol. ,2007)

1.3 Tuhé ušľachtilé biopalivá

Brikety

Brikety sú vyrobené usušením a lisovaním z odpadovej biomasy drvením, bez chemických prísad. Podľa Magu et al. (2008) je vhodné pre energetické účely briketovať lignocelulózne materiály rastlinného pôvodu, predovšetkým drevo, obilnú slamu, slamu stebelnatých energetických plodín, papier, alebo zmesi týchto biomateriálov. Brikety majú hustotu 1200 kg.m^{-3} , výhrevnosť 19 MJ.kg^{-1} a obsah popola 0,5 %.

Pelety

Pelety sú vyrobené z biomasy rastlín alebo drevín, odpadového materiálu ako sú piliny, hobliny, pričom hmota určená na výrobu peliet musí byť usušená rozdrvená. Podľa Maga J. a kol. (2008) majú obsah vlhkosti asi 8 až 10 %, hustotu 1000 kg.m^{-3} a výhrevnosť 20 MJ.kg^{-1} .

Štiepky

K vzniku štiepky dochádza ak nôž štiepkovačky vniká do dreva takmer kolmo na smer jeho vlákien. Štiepky vznikajú pri štiepkovaní drevných odpadov, napr. tenčiny z preriedovania porastov alebo konárov. Sú odpadovým produktom drevárskeho priemyslu.

Keďže v slovenských technických normách nie sú žiadne ktoré by popisovali požiadavky na peletky, v Európe sú prijateľné rakúske normy ÖNORM M 7135, ÖNORM M 7136 a ÖNORM M 7137 a nemecká norma DIN 51 731 .

Podľa normy ÖNORM M 7135 a DIN 51 731 tuhé ušľachtilé biopalivá z dendromasy a fytomasy musia spĺňať špecifické požiadavky uvedené v tabuľke 4 .

Tab. 4**Požiadavky na tuhé ušľachtilé biopalivá z dendromasy a fytomasy.**

(ÖNORM M 7135 a DIN 51 731)

Ukazovateľ	Jednotka	Hraničná hodnota	
		dendromasa	fytomasa
výhrevnosť	MJ/kg	> 18	> 18
celková voda	%	<10	<10
celková siera	%	< 0,04	< 0,25
obsah popola	%	< 0,5	< 6
dusík	%	< 0,3	< 3
chlór	%	< 0,02	< 0,1
arzén	mg/kg	< 0,8	< 1,1
kadmium	mg/kg	< 0,5	< 0,5
chróm	mg/kg	< 8	< 8
meď	mg/kg	< 5	< 7
olovo	mg/kg	< 10	< 10
zinok	mg/kg	< 100	< 100
hustota	kg/dm ³	>1,12	>1,12
sypná hustota	kg/dm ³	>0,500	>0,500
objem aditív (lisovacích prísad)	%	< 2	< 2
oter	%	< 2,3	< 2,3
mechanická odolnosť	%	≥ 97,5	≥ 97,5

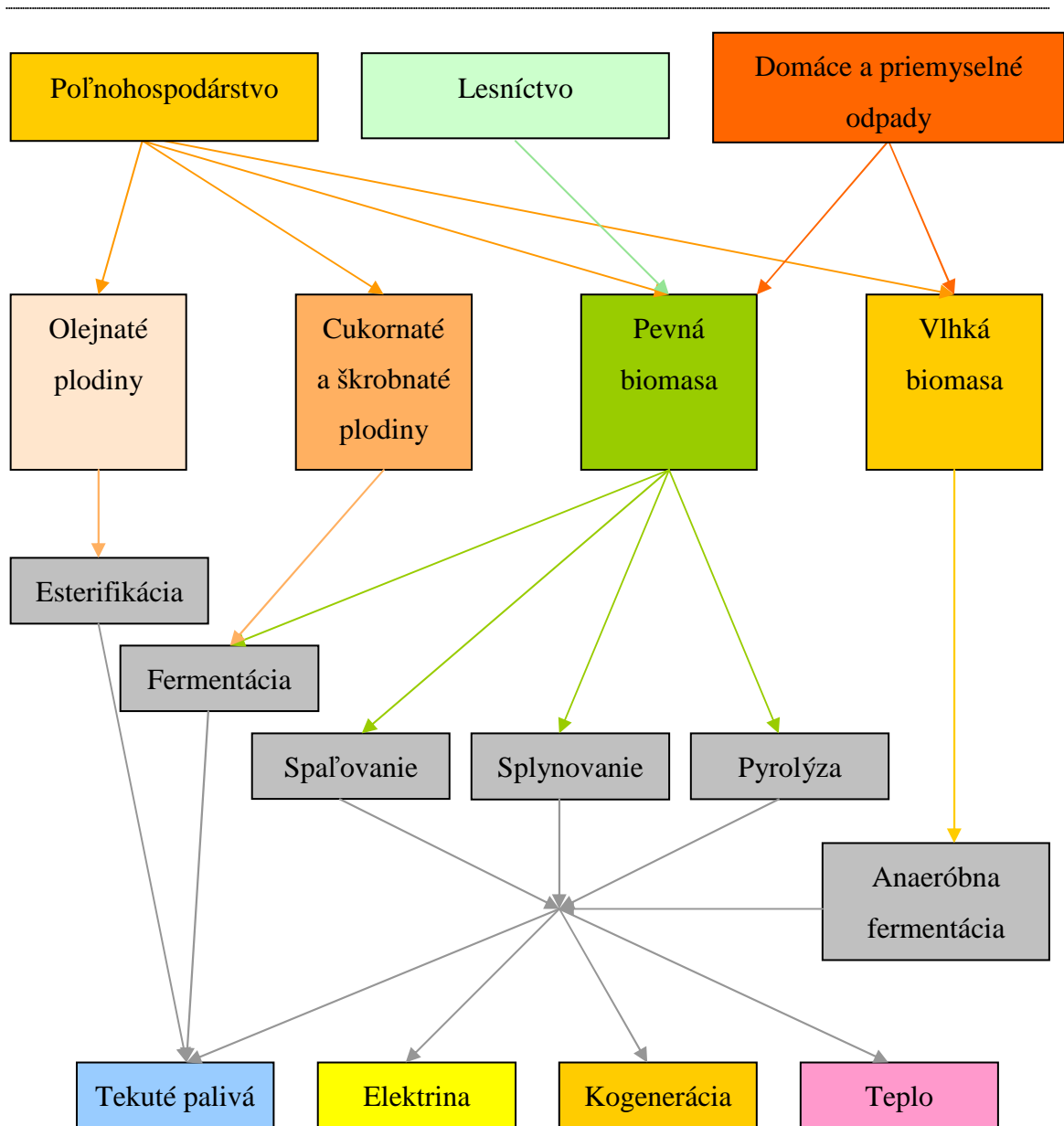
1.4 Technológie výroby energie z biomasy

Podľa princípu konverzie energie je možné definovať niekoľko spôsobov spracovania biomasy, ako dokumentuje Maga J. a kol. (2008) ide o:

- Biologická konverzia - bioplyn, skládkový plyn, kalový plyn, etanol.
- Termická konverzia - drevoplyn, drevné uhlie.
- Fyzikálna konverzia - štiepky, pelety, brikety.
- Chemická konverzia - metanol, bionafta.
- Priama výroba elektriny – elektrina.

Podľa Jandačku J. a kol. (2007) je možné energiu z biomasy získať troma spôsobmi:

1. Termochemická premena biomasy:
 - spaľovanie,
 - splynovanie,
 - pyrolýza.
2. Biochemická premena biomasy:
 - alkoholové kvasenie,
 - Metánové kvasenie.
3. Fyzikálnochemická premena biomasy.



Obr. 4

Spôsoby konverzie biomasy.

(Biomasa, 2002)

1.4.1 Priame spaľovanie biomasy

Podľa Hančarovej (1986) najstarším a najbežnejším spôsobom energetického využitia biomasy je jej priame spaľovanie. Spaľovacie zariadenia sa konštruujú v rôznych výkonoch, pričom sú schopné spaľovať akékoľvek biomasové palivá od dreva po komunálny odpad. Ekonomický význam má hlavne spaľovanie dreva a slamy. Produktom spaľovacieho procesu je teplo, ktoré sa môže využívať

na vykurovanie objektov, ohrev vody alebo na výrobu vodnej pary s následným pohonom elektrogenerátora a výrobou elektriny. Vedľajším produktom spaľovania je drevené uhlie, ktoré udržiava proces horenia.

Proces spaľovania je termochemická reakcia, kde pri teplote vyššej ako 660 °C prichádza k rozkladu organického materiálu na horľavé plyny a ďalšie látky. Ich následnou oxidáciou sa uvoľňuje tepelná energia, oxid uhličitý a voda.

Spaľovací proces v biomase prebieha v týchto fázach:

1. Fáza sušenia: odstraňuje sa vlhkosť z paliva.
2. Fáza pyrolýzy: organický materiál sa rozkladá na horľavé plyny, destilačné produkty a zuhoľnatený zvyšok.
3. Fáza spaľovania plynnej zložky: vznikajúci plyn sa mieša atmosférickým vzduchom a horí pri vysokej teplote.
4. Fáza spaľovania tuhých zložiek: zuhoľnatený zvyšok horí na rošte a za prístupu dostatočného množstva kyslíka vytvára oxid uhoľnatý. Ten následne oxiduje na oxid uhličitý. Nezhorený zvyšok tvorí popol.

1.4.2 Splynovanie

Získať energiu z biomasy možno aj procesom splynovania, ako dokumentuje Maga J. a kol. (2008). K splynovaniu dochádza pri zahrievaní rastlinného paliva, fytomasy alebo dendromasy za obmedzeného prístupu vzduchu. Splynovanie sa uskutočňuje v nasledovných zónach kotla:

- v prvej zóne dochádza k vysúšaniu a následnému splynovaniu biomasy. Výsledkom je drevený plyn, zmes plynov obsahujúcich nehorľavé plyny N_2 , CO_2 a horľavé plyny CO , H_2 , CH_4 . Na rošte ostáva drevené uhlie, ktoré podporuje proces horenia,
- v druhej zóne horí drevený plyn na dýze s prívodom predhriateho sekundárneho vzduchu. Plyn horí a dohorieva v nechladenom spaľovacom priestore,
- v tretej zóne horúce splodiny horenia odovzdávajú teplo vode alebo vzduchu vo výmenku tepla.

Splynujúci proces v biomase prebieha v týchto fázach:

1. Fáza sušenia: odstraňuje sa vlhkosť z paliva.
2. Fáza pyrolýzy: organický materiál sa za malého prístupu vzduchu rozkladá na horľavé plyny, destilačné produkty a zuhoľnatený zvyšok.
3. Fáza spaľovania plynnej zložky: vznikajúci plyn sa mieša s predhriatym atmosférickým vzduchom a horí pri vysokej teplote.
4. Fáza spaľovania tuhých zložiek: zuhoľnatený zvyšok horí a tvorí popol.

1.4.3 Pyrolýza

Pyrolýzu dokumentuje Maga J. a kol. (2008). Pyrolýza je jednoduchý a pravdepodobne najstarší spôsob úpravy biomasy na palivo vyššej kvality, tzv. drevné uhlie. Na jeho výrobu je okrem dreva možné využiť aj iné suroviny napr. slamu. Pyrolýza spočíva v zohrievaní biomasy (ktorá je často rozdrvená a dodávaná do reaktora) v neprítomnosti vzduchu na teplotu 300 až 500 °C, až do doby pokiaľ všetky prchavé látky z nej neuniknú. Zvyšok, drevné uhlie je palivo, ktoré má takmer dvojnásobnú energetickú hustotu v porovnaní so vstupnou surovinou a navyše lepšie horí (horí pri vyššej teplote). V mnohých krajinách sveta sa dnes vyrába drevené uhlie pyrolýzou dreva. V závislosti na obsahu vlhkosti a účinnosti procesu je potrebných asi 4 až 10 ton dreva na výrobu jednej tony drevného uhlia.

Pyrolýza môže prebiehať aj v prítomnosti malého množstva vzduchu (splyňovanie), vody (parné splyňovanie) alebo vodíka (hydrogenácia). Nielen drevné uhlie, ale aj iné produkty pyrolýzy majú značný energetický význam. Moderné pyrolytické systémy sú schopné zhromažďovať prchavé produkty vznikajúce pri tomto procese. Jedným z veľmi užitočných produktov môže byť napr. metán, vhodný na výrobu elektriny v plynových turbínach. Kvapalné produkty pyrolýzy majú potenciál podobný ropе avšak obsahujú niektoré kyseliny, a musia byť preto pred použitím upravené. Rýchla pyrolýza dreva pri teplote 800-900 °C vedie k produkcii len 10 % drevného uhlia a až 60% materiálu sa mení na energeticky hodnotné palivo, plyn bohatý na vodík a oxid uhoľnatý.

1.4.4 Alkoholové kvasenie

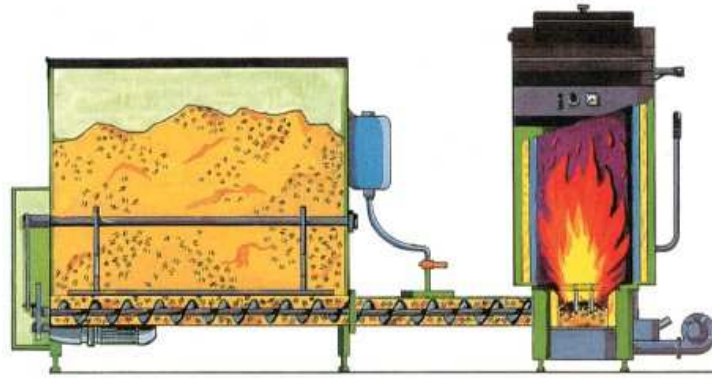
Alkoholové kvasenie (fermentácia) je spôsob výroby etanolu (etylalkoholu) z biomasy. Je to biologický proces, pri ktorom sa cukry menia pôsobením mikroorganizmov (kvasnice) na alkohol - etanol resp. metanol. Etanol je veľmi kvalitné kvapalné palivo, ktoré podobne ako metanol je možné využiť ako náhradu za benzín v motorových vozidlách. Na výrobu etanolu ale aj metanolu sa ako vhodné suroviny dajú využiť viaceré rastliny napr. obilie, zemiaky, kukurica, cukrová trstina, cukrová repa, ovocie a iné plodiny. Najlepšou surovinou sa ukazuje cukrová trstina resp. melasa vznikajúca po extrakcii šťavy z nej. Inými vhodnými surovinami sú zemiaky alebo obilniny. Cukry je možné vyrobiť aj z celulózy (dreva), avšak proces je komplikovanejší. Celulóza sa najskôr pomelie a potom zmieša s horúcou kyselinou. Po 30 hodinách kaša obsahuje asi 6-10 % alkoholu, ktorý je možné získať destiláciou. Vzhľadom na to, že použitá surovina sa nepremení celá na biopalivo, vznikajú pri tomto procese cenné vedľajšie produkty, ktoré môžu nahradiť bielkovinové krmivá.

1.4.5 Anaeróbna fermentácia

Anaeróbna fermentácia (Hančarová, 1986) prebieha v prostredí bez prítomnosti vzduchu. K anaeróbnemu rozkladu sa využívajú dve skupiny baktérii, kyselinotvorné a metánotvorné. Produkujú plyn zložený z 50 % až 75 % metánu CH_4 , oxidu uhličitého CO_2 a ďalších plynov.

1.5 Zariadenia na spaľovanie biomasy

Technické zariadenie na priame spaľovanie biomasy dokumentujú (Hančarová, D. 1986; Maga J. a kol. 2008) V princípe sa skladá z dvoch hlavných častí, z vlastného kotlového zariadenia, v ktorom sa palivo spaľuje, a zo systému dopravníkov, ktoré dopravujú palivo do kotla a odoberajú z neho nespálené zvyšky (popol). Vo vnútornom priestore kotla sa nachádza stupňovitý rošt, na ktorom sa palivo vysúša a dochádza k jeho splyňovaniu a horeniu. Nezhorené časti sa vo forme popola odvádzajú zo spodnej časti roštu dopravnými systémami do popolového kontajnera, ktorý sa odváža nákladnými autami. Na prívod vzduchu na optimálne spaľovanie slúžia primárne a sekundárne priechodové systémy umiestnené v kotlovom zariadení.



Obr. 5
Kotol na priame spaľovanie biomasy.
(Biomasa, 2002)

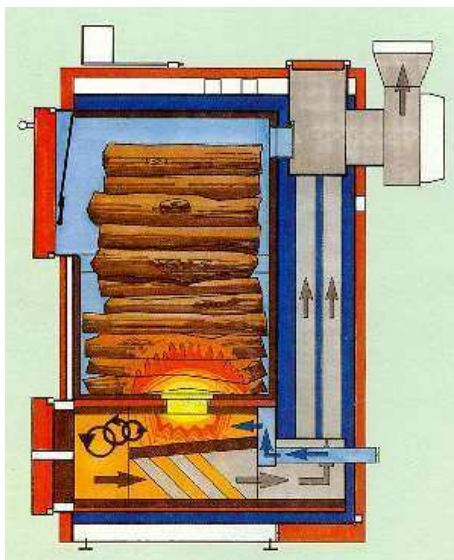
Podľa Hančarovej (1986), najjednoduchšie kotly na drevo tzv. prehorievacie kotle pracujú na podobnom princípe ako klasické pece na drevo. Ich usporiadanie je také, že vzduch vniká zo spodku kotla a prechádza hore cez palivo. V takomto prípade drevo prehorieva veľmi rýchlo a plyny nezhoria úplne, pretože teplota kotla je relatívne nízka. Väčšina plynov uniká do komína a spolu s ňou aj užitočná energia. Plyny majú tiež veľmi malý priestor na odovzdanie svojej energie inému médiu napr. vode. Takéto kotle zväčša nie sú vhodné na spaľovanie dreva, pretože ich účinnosť je nízka, približne 50 %.

Kotly so spodným horením sa líšia od prehorievacích kotlov. Vzduch sa neprivádza naraz k celému objemu paliva, ale len k jeho časti, pričom horí len spodná vrstva dreva. Zvyšok dreva sa vysušuje a pomaly sa z neho uvoľňujú plyny. Pridaním dodatočného vzduchu priamo do plameňa dochádza k horeniu plynov. V moderných kotloch tohto typu je spaľovacia komora z keramiky, ktorá je dobrým izolátorom a udržuje teplo vo vnútri komory. Tým sa dosahuje vysoká teplota spaľovania a účinnejšie horenie. Bežná účinnosť takýchto kotlov je asi 65 až 75 %.

Splyňovacie kotly sú konštruované tak, aby pri horení paliva dochádzalo k pyrolytickej destilácii, pri ktorej sa všetky spáliteľné zložky paliva splyňujú. Spaľovanie prebieha trojstupňovým procesom v jednotlivých zónach kotla:

1. zóna - vysušovanie a splyňovanie drevnej hmoty,
2. zóna - horenie drevného plynu na tryske s prívodom predohriateho sekundárneho vzduchu,
3. zóna - dohorievanie v nechladenom spaľovacom priestore.

Účinnosť spaľovania v takýchto kotloch býva 90 %. Spaľovací priestor vrátane trysky je vyrobený zo žiaruvzdorných materiálov.



Obr. 6

Kotol so splyňovaním.

(Biomasa, 2002)

1.6 Účinnosť kotlov a emisie zo spaľovania biomasy

Podľa vyhlášky Ministerstva životného prostredia č. 338/2009 sa stacionárne zariadenia na spaľovanie tuhých palív rozdeľujú podľa ich celkového menovitého príkonu na malé – do 300 kW, stredné – od 0,3 do 50 MW a veľké - nad 50 MW.

V kotloch s menovitým tepelným príkonom do 300 kW sa môže spaľovať len čisté nekontaminované prírodné drevo mechanicky upravené podľa požiadaviek výrobcu kotla (napríklad kusové drevo, brikety, štiepky, pelety), prípadne iná prírodná biomasa upravená na palivo podľa výrobcu kotla, (napríklad slama, trstina).

V norme STN EN 303-5 sú uvedené požiadavky na účinnosť a emisné limity pre kotle s tepelným príkonom do 300 kW. Kotle sa na základe minimálnej účinnosti η_k rozdeľujú do 3 tried podľa vzťahov (4),(5),(6). Rovnice sú graficky vyjadrené na obrázku 7. Emisné limity pre jednotlivé triedy sú uvedené v tabuľke 5. Účinnosť kotla η_k je pomer užitočného tepelného výkonu k tepelnému príkonu.

Účinnosť kotla η_k

$$\eta_k = \frac{Q}{Q_b} * 100, \% \quad (3)$$

Trieda 1.

$$\eta_k = 67 + 6 \log Q_N, \% \quad (4)$$

Trieda 2.

$$\eta_k = 57 + 6 \log Q_N, \% \quad (5)$$

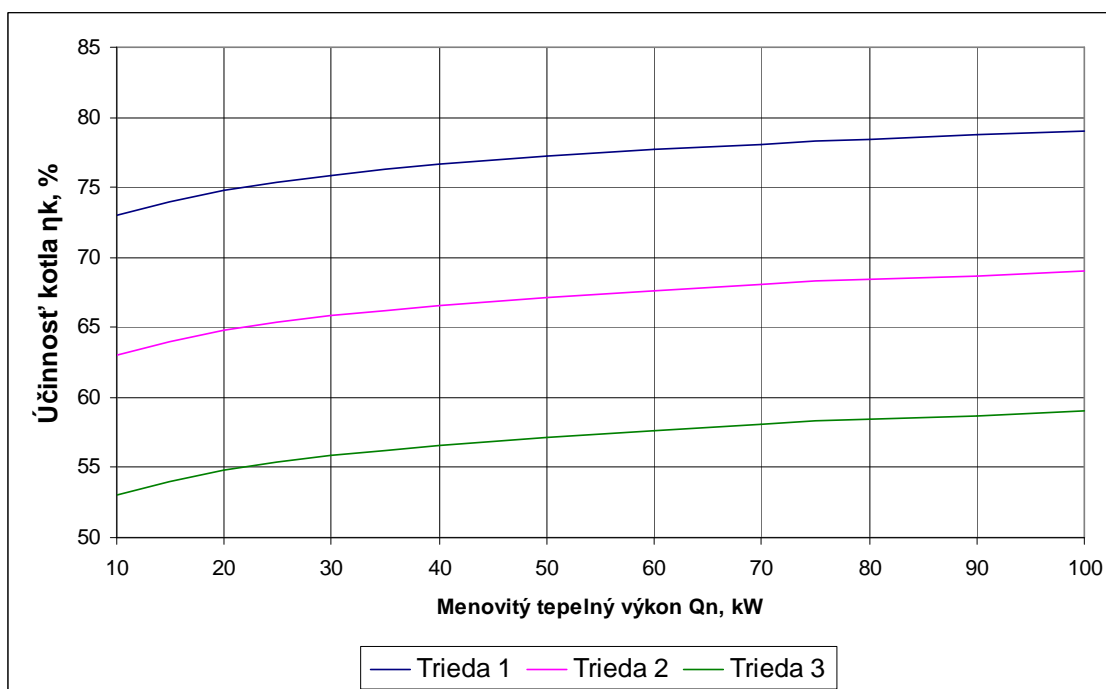
Trieda 3.

$$\eta_k = 47 + 6 \log Q_N, \% \quad (6)$$

kde: Q – Tepelný výkon, kW, - užitočné teplo dodané do vody v kotle za jednotku času.

Q_B – Tepelný príkon, kW, - množstvo tepla za jednotku času vstupujúce do vykurovacieho kotla v palive.

Q_N – Menovitý tepelný výkon, kW, - maximálny kontinuálny výkon uvedený výrobcom.



Obr. 7

Minimálna účinnosť kotla.

Tab. 5**Emisné limity pre zariadenia s menovitým tepelným výkonom do 300 kW.**

(STN EN 303-5)

Dodávanie paliva	Menovitý tepelný výkon Q_n , kW	Emisný limit, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$								
		CO			TOC			TZL		
		1.tr.	2.tr.	3..tr	1.tr.	2.tr.	3..tr	1.tr.	2.tr.	3..tr
ručné	do 50	25000	8000	5000	2000	300	150	200	180	150
	50 až 150	12500	5000	2500	1500	200	100	200	180	150
	150 až 300	12500	2000	1200	1500	200	100	200	180	150
automatické	do 50	15000	5000	3000	1750	200	100	200	180	150
	50 až 150	12500	4500	2500	1250	150	80	200	180	150
	150 až 300	12500	2000	1200	1250	150	80	200	180	150

V tabuľke 6 sú uvedené požiadavky na tmavosť dymu pre zariadenia s menovitým tepelným príkonom do 300 kW spaľujúce tuhé palivá podľa vyhlášky Ministerstva životného prostredia č. 338/2009.

Tab. 6**Požiadavky na tmavosť dymu.**

(Vyhlášky Ministerstva životného prostredia č. 338/2009)

Prevádzkový stav	Emisný limit	Doba
Bežná prevádzka	2. stupeň podľa Ringelmana	-
Rozkurovanie zo studeného stavu	3.stupeň podľa Ringelmana alebo 60 % opacity	najviac 3 hodiny
Odstavovanie		najviac 30 minút

V kotloch s menovitým tepelným príkonom 300 kW a vyšším možno biomasu spaľovať, len ak spĺňajú emisné limity podľa vyhlášky Ministerstva životného prostredia č. 338/2009. V tabuľke 7 sú uvedené emisné limity pre stacionárne zariadenia uvedené do prevádzky do 27. novembra 2003. Emisné limity pre zariadenia uvedené do prevádzky od 27. novembra 2003 sú uvedené v tabuľke 8.

Tab. 7

**Emisné limity pre zariadenia s menovitým tepelným výkonom nad 300 kW
uvedené do prevádzky do 27. novembra 2003.**

(Vyhlášky Ministerstva životného prostredia č. 338/2009)

Menovitý tepelný príkon, MW	Emisný limit, mg.m ⁻³				
	TZL	SO ₂	NO _x	CO	TOC
0,3 až 1	250	-	650	850	100
1 až 2,5	250	-	650	850	50
2,5 až 7	150	-	650	850	50
7 až 50	150	-	650	250	50
50 až 100	100	200	600	250	50
100 až 500	100	200	600	250	50
nad 500	50	200	600	250	50

Tab. 8

**Emisné limity pre zariadenia s menovitým tepelným výkonom nad 300 kW
uvedené do prevádzky od 27. novembra 2003.**

(Vyhlášky Ministerstva životného prostredia č. 338/2009)

Menovitý tepelný príkonn, MW	Emisný limit, mg.m ⁻³				
	TZL	SO ₂	NO _x	CO	TOC
0,3 až 2,5	150, 250 ¹⁾	-	650	850	50, 100 ¹⁾
2,5 až 7	150, 250 ¹⁾	-	650	850	50
7 až 50	150	-	650	250	50
50 až 100	50	850	400	250	50
100 až 300	30	200	300	250	50
nad 300	30	200	200	250	50

¹⁾ Platí pre zariadenia uvedené do prevádzky do 31. augusta 2009

Ešek T. (2009) udáva priemerné hodnoty emisií zo spaľovania tuhých palív u kotla v Želiezovciach s tepelným výkonom 2 MW, ktoré sú uvedené v tabuľke 9. Touto problematikou sa zaoberali aj Vitázek I., Tirol J. (2009), ktorý udávajú priemerné hodnoty emisií pri spaľovaní dendromasy uvedené v tabuľke 10.

Tab. 9

Priemerné hodnoty emisií pri spaľovaní tuhých palív.

(Ešek T., 2009)

Palivo	Znečisťujúca látka, mg.m ⁻³			
	TZL	NO _x	CO	TOC
Pšeničná slama	188	312	331	7
Repková slama	208	231	754	6,2
Seno	214	327	496	6,5

Tab. 10 priemerné hodnoty emisií pri spaľovaní dendromasy.

(Vitázek I., Tirol J., 2009)

Teplota vzduchu, °C	Teplota spalín, °C	Účinnosť spaľovania, %	λ	O ₂ , %	CO ₂ , %	CO, ppm	NO _x , ppm	NO, ppm
17,4	147,58	89,21	2,2897	11,24	9,4372	9,29	160,69	153,09

2 Cieľ práce

Cieľom diplomovej práce je spracovať prehľad o súčasnom stave riešenia problematiky. Zistiť vlastnosti vybraných druhov biomasy využiteľných na výrobu tepla priamym spaľovaním. Stanoviť obsah horľaviny, popola pomocou gravimetrickej pece. Analyzovať plynné emisie zo spaľovania pšeničnej slamy.

3 Metodika práce a metódy skúmania

Na splnenie cieľa práce sme použili nasledovný metodický postup.

3.1 Gravimetrické určenie podielu vlhkosti, horľaviny a popola v pšeničnej slame

Gravimetrická pec umožňuje ohrev vzoriek na teplotu 1100°C pri súčasnom zaznamenávaní hmotnosti návažky. V peci je teda možné určovať podiel vlhkosti, horľaviny a balastu (popola). Vlhkosť je určovaná podľa normy STN 441377, pričom sa vzorka ohreje na teplotu 105 až 110°C a suší sa pokiaľ rozdiel hmotností medzi dvoma po sebe nasledujúcimi meraniami v čase kroku 30 minút nevykazujú hmotnostný rozdiel menší ako 0,1%. Popol sa určuje podľa normy STN ISO 1171, pričom sa vzorka žíha na teplote 815°C ±10°C. Výsledný podiel horľaviny je možné odčítať z gravimetrického záznamu, resp. vypočítať zo vzťahu:

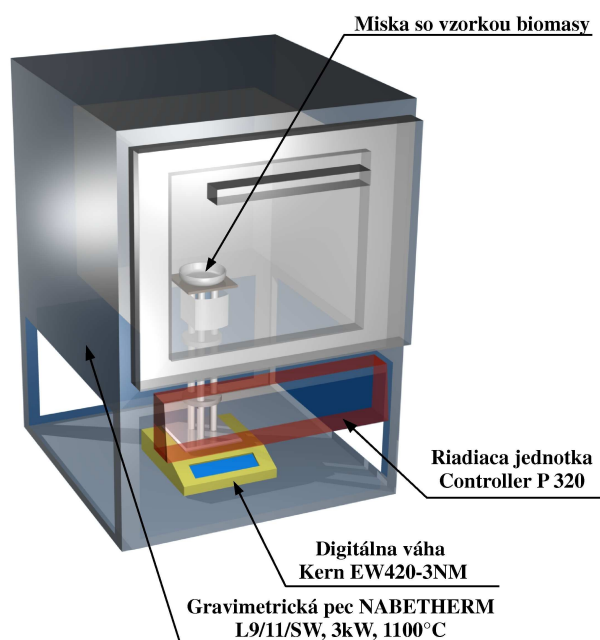
$$h^r = 1 - (A^r + W^r) \quad (7)$$

kde h^r je podiel horľaviny v pôvodnej vzorke (-),

A^r - podiel popola v pôvodnej vzorke (-),

W^r - podiel vlhkosti v pôvodnej vzorke (-).

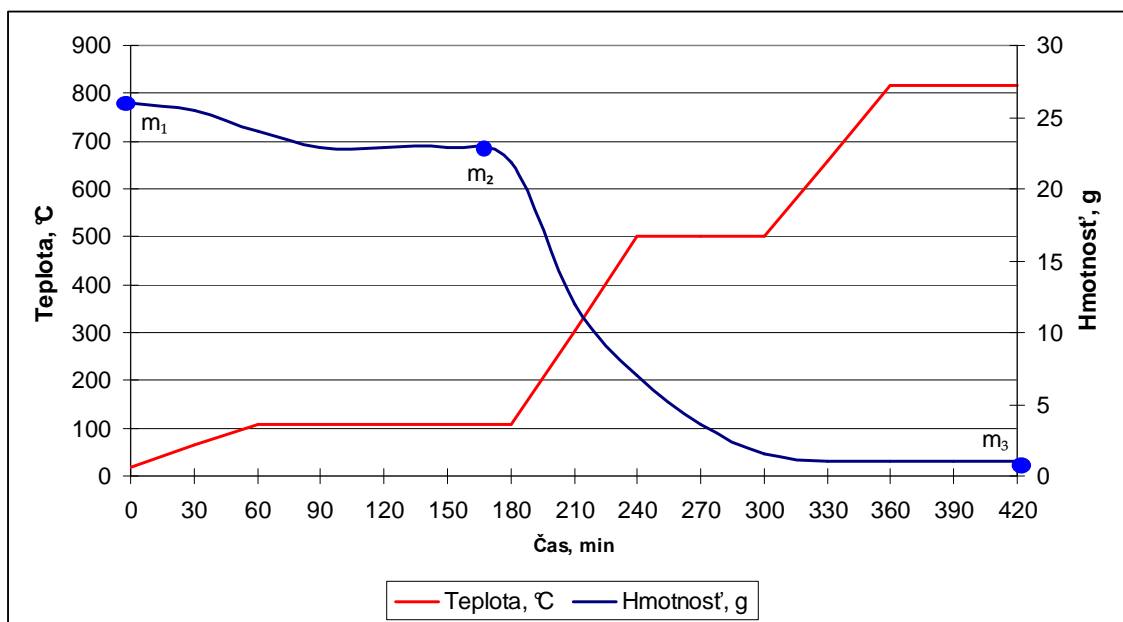
Na merania bola použitá gravimetrická pec Nabetherm L9/11/SW (obr. 8) s výkonom elektrického výhrevného telesa 3,0 kW. Táto gravimetrická pec je vybavená riadiacou jednotkou Controller P 320 a digitálnou váhou Kern ew 420-3NM s presnosťou merania ± 0,001 g. Pec umožňuje ohrev analyzovaných vzoriek na teplotu 1100 °C pri súčasnom zaznamenávaní hmotnosti vzorky. Takto riešená gravimetrická pec umožňuje zistiť podiel vlhkosti, horľaviny a popola v tuhých palivách.



Obr. 8

Gravimetrická pec NABETHERM L9/11/SW.

Pri meraniach a vyhodnocovaní výsledkov sme postupovali nasledovne. Vzorku analyzovaného paliva uloženú v keramickej miske sme po odvážení umiestnili do gravimetrickej pece. Na riadiacej jednotke sme nastavili teploty a čas ich pôsobenia na skúmanú vzorku paliva podľa obrázka 9 a tabuľky 11.



Obr. 9

Gravimetrický záznam s nastavenými teplotami a časmi ich pôsobenia.

m_1 – pôvodná hmotnosť vzorky, m_2 – hmotnosť vzorky po vysušení,

m_3 – hmotnosť popola

Tab. 11

Teploty použité pri gravimetrických meraniach.

Časový úsek	Čas pôsobenia nastavenej teploty, min	Teplota, °C
1	60	20 – 107
2	120	107
3	60	107 - 500
4	60	500
5	60	500 - 815
6	60	815

Podiely vlhkosti, popola a horľaviny v pôvodných vzorkách skúmaných palív sme vypočítali podľa nasledovných vzťahov:

- podiel vlhkosti :

$$W^r = \frac{m_1 - m_2}{m_1} , - \quad (8)$$

- podiel popola:

$$A^r = \frac{m_3}{m_1} , - \quad (9)$$

- podiel horľaviny:

$$h^r = \frac{m_2 - m_3}{m_1} , - \quad (10)$$

alebo:

$$h^r = 1 - (A^r + W^r) , - \quad (11)$$

kde: m_1 - pôvodná hmotnosť vzorky, g

m_2 - hmotnosť sušiny, g

m_3 - hmotnosť popola, g

Zo získaných výsledkov sme vypočítali podiely popola a horľaviny v sušine podľa nasledovných vzťahov:

- podiel popola v sušine:

$$p_{ps} = \frac{m_3}{m_2} , - \quad (12)$$

- podiel horľaviny v sušine:

$$p_{hs} = \frac{m_4}{m_2} , - \quad (13)$$

kde: m_4 - hmotnosť horľaviny, g

pričom:

$$m_4 = m_2 - m_3 , g \quad (14)$$

3.2 Určenie plynných emisií spaľovania pšeničnej slamy

Spaľované pelety boli vyrobené zo pšeničnej slamy odrody Kalas. Na spaľovanie peliet bol použitý teplovodný kotol Rojek KTP 25 m vybavený automatickým horákom s kontinuálnym prísunom paliva zo zásobníka (obr.10). Výrobca udáva menovitý výkon kotla 25 kW, minimálny výkon 15 kW, vodný objem kotla 109 l a potrebný komínový ťah 12 Pa. Trieda kotla podľa STN EN 303-5 je 1 s účinnosťou 75%. Na obr. 11 je znázornené zapojenie kotla do vykurovacieho systému.

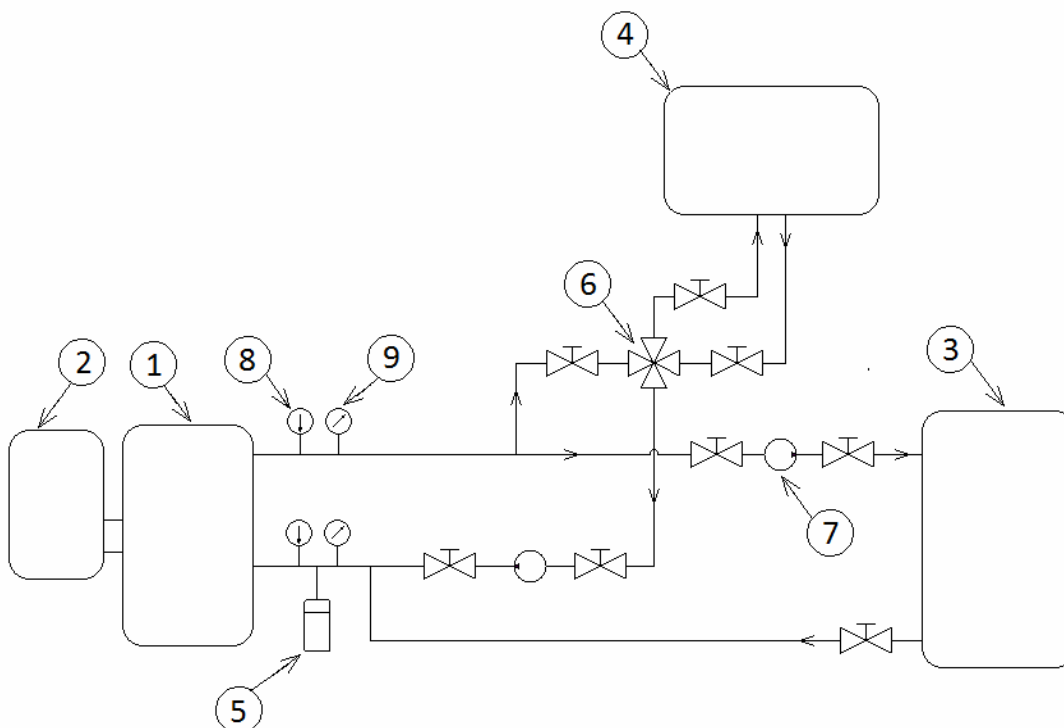
Boli uskutočnené tri merania. Postup meraní bol nasledovný:

1. Rozkúrime kotol, pokiaľ teplota vody na výstupe kotla nedosiahne 60 °C. Štvorcestný ventil je v polohe uzavretého okruhu.
2. Keď teplota vody na výstupe kotla dosiahne 60 °C, prepne štvorcestný ventil do takej polohy, aby časť vody pretiekla z kotla do akumuláčnej nádrže a do kotla natiekla voda z akumuláčnej nádrže z izbovou teplotou, čo spôsobí pokles teploty vody na výstupe z kotla.
3. Po 3 minútach prepne štvorcestný ventil naspäť do polohy uzavretého okruhu a teplota vody na výstupe kotla začne stúpať. Každú minútu zaznamenávame údaje o spalinách z meracieho prístroja, ako aj teplotu vody na výstupe kotla pokiaľ nedosiahne 60 °C.



Obr. 10

Kotol Rojek KTP 25m.



Obr. 11

Zapojenie kotla do vykurovacieho systému.

- 1 - kotol, 2 - zásobník peliet, 3 – akumuláčná nádrž, 4 – tepelný výmenník,
 5 – expanzná nádoba, 6 – štvorcestný ventil, 7 – obehové čerpadlo, 8 – teplomer,
 9 – manometer.

Na meranie emisií bol použitý merací prístroj TESTO 330-1 LL (obr. 12), pomocou ktorého je možné merať okamžitý stav a zloženie spalín. Prístroj umožňuje merať CO, CO₂, NO, NO_x, O₂, účinnosť, prebytok vzduchu, teplotu vonkajšieho vzduchu, teplotu spalín, relatívnu vlhkosť spalín a ďalšie veličiny. Výhodou prístroja je možnosť uloženia nameraných hodnôt do vstavanej pamäte prístroja alebo komunikácia s PC s možnosťou exportovať údaje nameraných veličín priamo do MS Excelu. Na obr. 13 je zobrazené miesto merania.



Obr. 12

Merací prístroj TESTO 330-1 LL.



Obr. 13

Miesto merania.

4 Výsledky práce

4.1 Gravimetrické určenie podielu vlhkosti, horľaviny a popola v pšeničnej slame

Hodnoty skúmaných vzoriek zistené Gravimetrickou analýzou palív sú uvedené v tabuľke 12. V tabuľke 13 sú uvedené výsledky meraní skúmaných vzoriek slamy. Priemerný obsah popola v sušine slamy skúmaných obilnín bol 6,14 % a priemerný obsah horľaviny 94,92 %. V sušine slamy repky olejnej Catania sme, v porovnaní so slamou obilnín, zistili vyšší obsah popola, ktorý bol 9,20 % , pričom obsah horľaviny v sušine tvoril 90,80 %.

Tab. 12

Gravimetricky namerané hmotnosti skúmaných vzoriek slamy.

Parameter	Palivo				
	slama pšenice Balada	slama pšenice Kalas	slama jarného jačmeňa MAL 2	slama repky olejnej Catania	slama ozimného jačmeňa Luran
Pôvodná hmotnosť vzorky m_1 , g	26,1765	27,6316	28,7500	28,2353	28,1944
Hmotnosť sušiny m_2 , g	24,1176	25,2632	26,4063	25,5882	26,1111
Hmotnosť popola m_3 , g	1,1765	1,5789	1,7188	2,3529	1,8055

Tab. 13

Spracované výsledky gravimetrickej analýzy skúmaných vzoriek slamy.

Parameter	Palivo				
	slama pšenice Balada	slama pšenice Kalas	slama jarného jačmeňa MAL 2	slama ozimného jačmeňa Luran	slama repky olejnej Catania
Podiel vlhkosti v pôvodnej vzorke W^r, -	0,0787	0,0857	0,0815	0,0739	0,0938
Podiel popola v pôvodnej vzorke A^r, -	0,0449	0,0571	0,0598	0,0640	0,0833
Podiel horľaviny v pôvodnej vzorke h^r, -	0,8764	0,8571	0,8587	0,8621	0,8229
Hmotnosť horľaviny m_4, g	22,9411	23,6843	24,6842	24,3056	23,2353
Podiel popola v sušine pps, -	0,0488	0,0625	0,0651	0,0691	0,0920
Podiel horľaviny v sušine phs, -	0,9512	0,9375	0,9771	0,9309	0,9080

4.2 Určenie plynných emisií spaľovania pšeničnej slamy

Teplota vody na výstupe z kotla a hodnoty emisií zistené meracím prístrojom TESTO 330-1 LL sú uvedené v tabuľke 14,15,16. V tabuľke 17 sú uvedené priemerné hodnoty meraní.

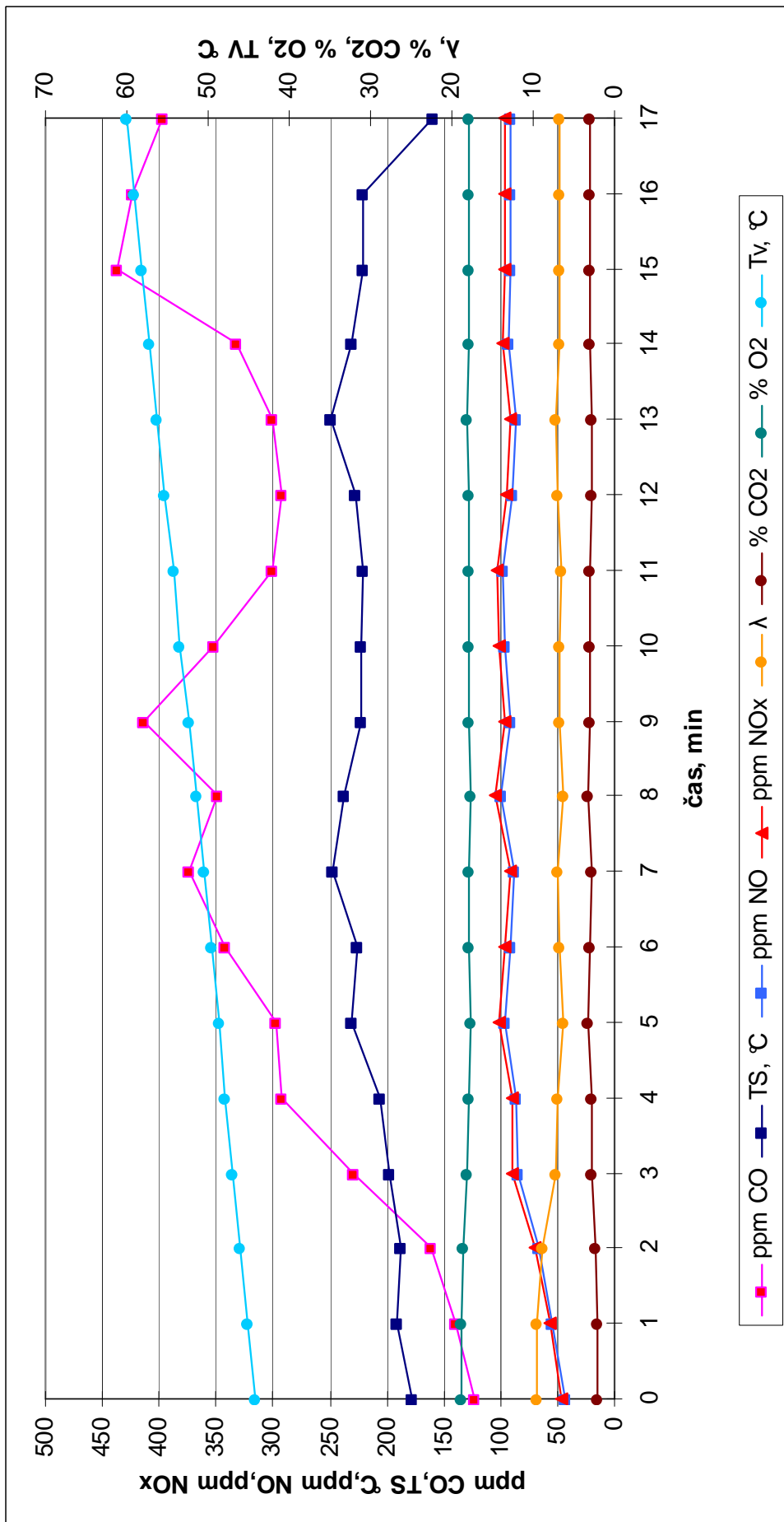
Maximálna hodnota oxidu uhoľnatého bola 423 ppm a priemerne sa pohybovala na úrovni 298,84 ppm. Celkový oxid dusíka bol maximálne 103 ppm a priemerne 92,3 ppm. Maximálna teplota spalín bola 248,6 a priemerná 220,58.

Výrobca kotla udáva minimálnu účinnosť kotla 75 %, no pri meraniach kotol pri spaľovaní peliet dosahoval nízku účinnosť, priemerne 48,09%. To bolo spôsobené tým, že v komíne kotla chýbala klapka, čo malo za následok veľký komínový ťah a veľký odvod tepla komínom.

Tab. 14

Zloženie spalín z horenia peliet zo pšeničnej slamy odrody Kalas – meranie 1.

Čas, min.	Koncentrácia					Preby- tok kyslí- ka λ , -	Účin- nosť η , %	Komí- nová strata q_A , %	Teplo- ta spalín, °C	Teplota vody na výstupe z kotla, °C
	CO, ppm	CO ₂ , %	NO, ppm	NO _x , ppm	O ₂ , %					
0	123	2,13	44	46	18,8	9,55	45,6	54,4	177,7	44,3
1	139	2,13	54	57	18,8	9,55	40,9	59,1	191,2	45,2
2	161	2,32	66	69	18,6	8,75	46,9	53,1	188,0	46
3	229	2,80	85	89	18,1	7,24	53,4	46,6	198,0	46,9
4	292	2,90	86	90	18,0	7,00	52,9	47,1	206,3	47,8
5	297	3,19	96	101	17,7	6,36	51,4	48,6	231,0	48,6
6	342	3,00	91	96	17,9	6,77	49,5	50,5	226,2	49,5
7	373	2,90	88	92	18,0	7,00	42,4	57,6	247,2	50,5
8	349	3,19	100	105	17,7	6,36	49,9	50,1	237,4	51,5
9	414	3,00	92	97	17,9	6,77	50,3	49,7	223,0	52,4
10	352	3,00	96	101	17,9	6,77	50,6	49,4	221,9	53,4
11	301	3,09	98	103	17,8	6,56	52,3	47,7	221,1	54,3
12	292	2,90	90	94	18,0	7,00	47,5	52,5	227,7	55,3
13	301	2,80	87	91	18,1	7,24	40,2	59,8	248,6	56,3
14	332	3,00	93	98	17,9	6,77	48,5	51,5	230,4	57,2
15	437	3,00	91	96	17,9	6,77	50,8	49,2	221,2	58,2
16	423	3,00	92	97	17,9	6,77	50,9	49,1	220,9	59,1
17	397	3,00	92	97	17,9	6,77	66,1	33,9	159,3	60,1
\bar{x}	308,56	2,85	85,61	89,94	18,05	7,22	49,45	50,55	215,39	52,03



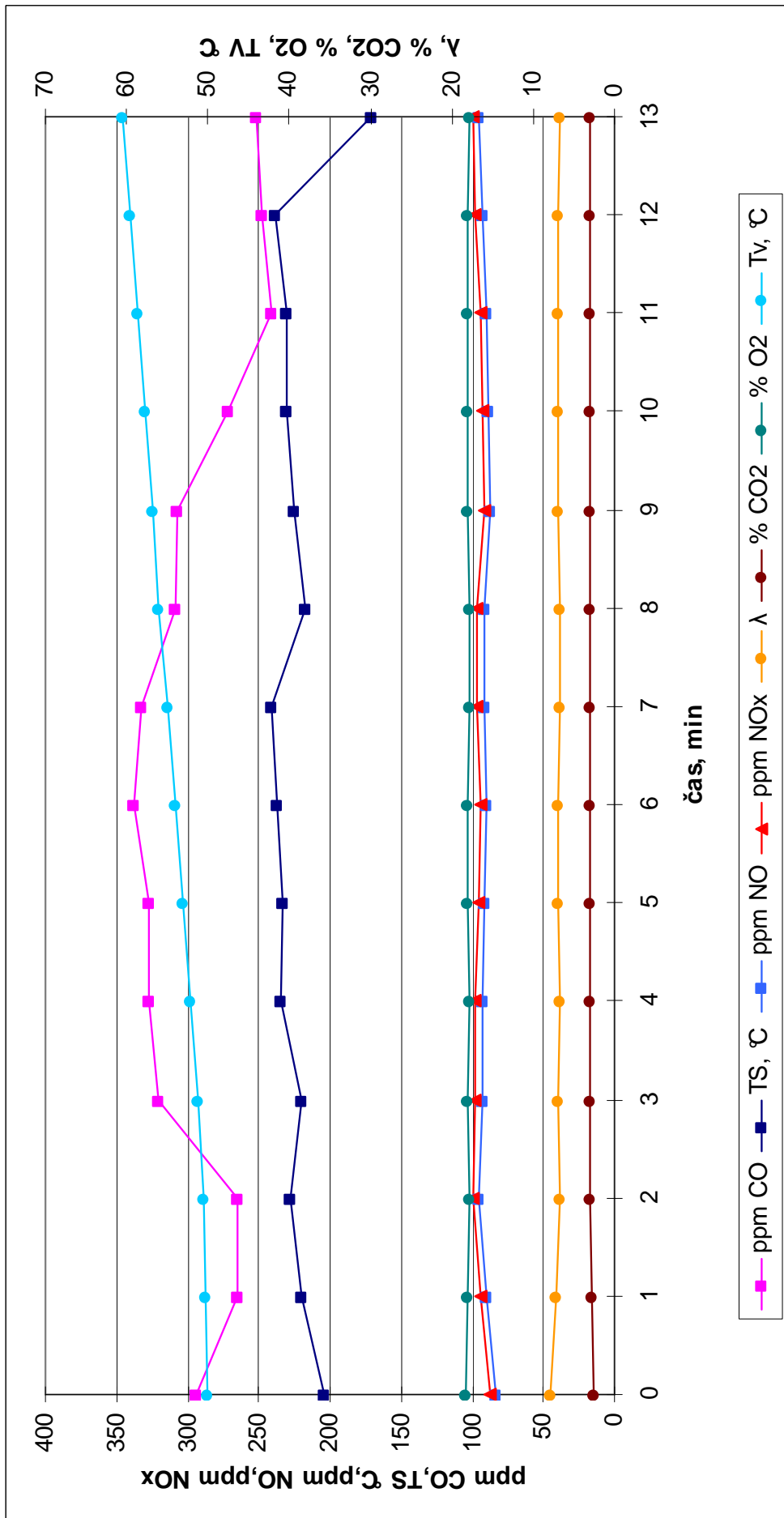
Obr. 14

Zloženie spalín z horenia peliet – meranie 1

Tab. 15

Zloženie spalín z horenia peliet zo pšeničnej slamy odrody Kalas – meranie 2.

Čas, min.	Koncentrácia					Preby- tok kyslí- ka λ , -	Účin- nosť η , %	Komí- nová strata q_A , %	Teplo- ta spalín, °C	Teplota vody na výstupe z kotla, °C
	CO, ppm	CO ₂ , %	NO, ppm	NO _x , ppm	O ₂ %					
0	294	2,61	83	87	18,3	7,78	48,3	51,7	204,6	50,1
1	265	2,80	90	94	18,1	7,24	47,8	52,2	219,8	50,2
2	265	3,00	95	100	17,9	6,77	49,3	50,7	227,4	50,6
3	320	2,90	93	98	18,0	7,00	49,5	50,5	219,7	51,3
4	327	3,00	93	98	17,9	6,77	47,7	52,3	233,9	52,2
5	327	2,90	91	96	18,0	7,00	46,2	53,8	233,1	53,1
6	338	2,90	90	94	18,0	7,00	45,3	54,7	236,7	54,0
7	333	3,00	92	97	17,9	6,77	46,0	54,0	240,8	55,0
8	308	3,00	92	97	17,9	6,77	51,8	48,2	217,3	56,0
9	307	2,90	88	92	18,0	7,00	48,1	51,9	225,8	56,9
10	272	2,90	89	93	18,0	7,00	46,9	53,1	230,5	57,8
11	241	2,90	90	94	18,0	7,00	46,8	53,2	231,1	58,6
12	248	2,90	93	98	18,0	7,00	44,7	55,3	238,9	59,6
13	251	3,00	95	100	17,9	6,77	63,5	36,5	170,3	60,5
\bar{x}	292,57	2,91	91	95,57	17,99	6,99	48,71	51,29	223,56	54,71



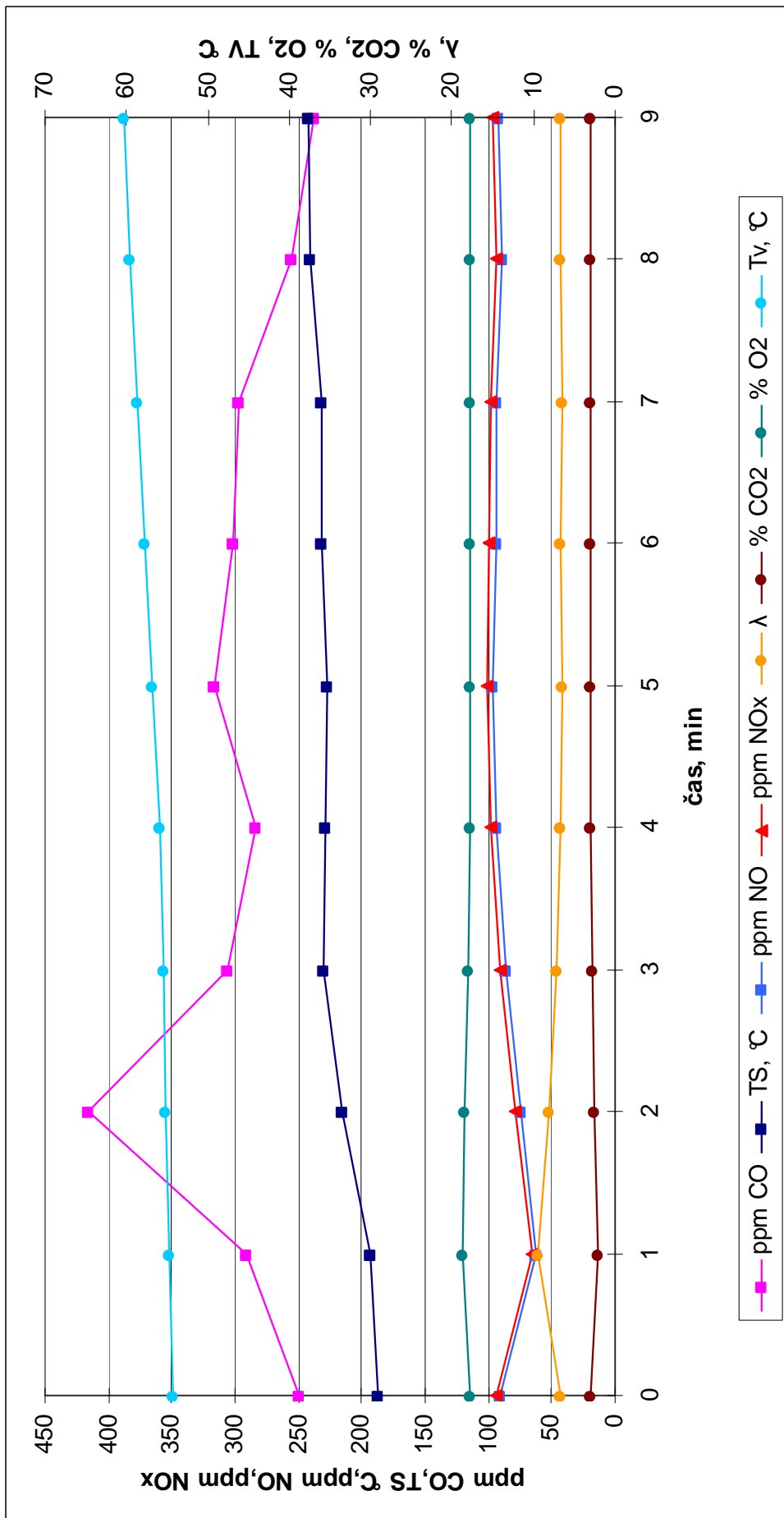
Obr. 15

Zloženie spalín z horenia peliet – meranie 2

Tab. 16

Zloženie spalín z horenia peliet zo pšeničnej slamy odrody Kalas – meranie 3.

Čas, min.	Koncentrácia					Preby- tok kyslí- ka λ , -	Účin- nosť η , %	Komí- nová strata q_A , %	Teplo- ta spalín, °C	Teplota vody na výstupe z kotla, °C
	CO, ppm	CO ₂ , %	NO, ppm	NO _x , ppm	O ₂ , %					
0	249	3,00	90	94	17,9	6,77	40,5	59,5	187,1	54,2
1	291	2,13	62	65	18,8	9,55	41,9	58,1	193,3	54,8
2	416	2,51	75	79	18,4	8,08	43,0	57,0	215,8	55,2
3	306	2,80	86	90	18,1	7,24	45,1	54,9	230,6	55,5
4	283	3,00	93	98	17,9	6,77	49,2	50,8	228,2	55,9
5	317	3,09	96	101	17,8	6,56	51,0	49,0	227,4	56,9
6	301	3,00	94	99	17,9	6,77	48,2	51,8	232,1	57,8
7	297	3,09	93	98	17,8	6,56	49,9	50,1	232,1	58,7
8	256	3,00	89	93	17,9	6,77	46,3	53,7	240,0	59,5
9	238	3,00	92	97	17,9	6,77	46,0	54,0	241,4	60,4
\bar{X}	295,4	2,86	87	91,4	18,04	7,18	46,11	53,89	222,8	56,89



Obr. 16
 Zloženie spalín z horenia peliet – meranie 3

Tab. 17

Zloženie spalín z horenia peliet zo pšeničnej slamy odrody Kalas – priemerné hodnoty.

Číslo mera- nia	Koncentrácia					Preby- tok kyslí- ka λ , -	Účin- nosť η , %	Komí- nová strata q_A , %	Teplo- ta spalín, °C
	CO, ppm	CO ₂ , %	NO, ppm	NO _x , ppm	O ₂ , %				
1	308,56	2,85	85,61	89,94	18,05	7,22	49,45	50,55	215,39
2	292,57	2,91	91	95,57	17,99	6,99	48,71	51,29	223,56
3	295,4	2,86	87	91,4	18,04	7,18	46,11	53,89	222,8
\bar{X}	298,84	2,87	87,87	92,3	18,03	7,13	48,09	51,91	220,58

5 Diskusia

Obsahy popola v nami skúmaných materiáloch sa približujú k výsledkom zisteným inými autormi. Jandačka J. a kol. (2007), Magu J. a kol. (2008) udávajú obsah popola v pšeničnej slame 5,7 % a Pepich Š. (2009) udáva 5,2 %. U jačmennej slamy Jandačka J. a kol. (2007) udáva 4,8% popola a Pepich Š. (2009) udáva 7,5 % popola. Priemerný obsah popola v sušine slamy nami skúmaných obilnín bol 6,14 % a priemerný obsah horľaviny 94,92 %. Rozdielnosť výsledkov sa dá zdôvodniť odrodovými rozdielmi skúmaných rastlín, rozdielnosťou agrotechniky a tiež aj rôznymi makroklimatickými podmienkami, v ktorých boli skúmané rastliny pestované.

Pri spaľovaní peliet zo pšeničnej slamy odrody Kalas boli priemerné hodnoty emisií 298,84 ppm CO a 92,3 ppm NO_x. Vitáček I., Tirol J. (2009) udávajú že pri spaľovaní dendromasy vzniká 9,29 ppm CO a 160,69 ppm NO_x. Z toho vyplýva že pri spaľovaní peliet zo pšeničnej slamy sa oproti spaľovaniu dendromasy uvoľní menej NO_x, no omnoho viac sa uvoľní CO. Ešek T. (2009) udáva, že pri spaľovaní pšeničnej slamy vzniká 331 ppm CO a 312 ppm NO_x. Norma STN EN 303-5 udáva u kotlov 1.triedy s výkonom do 300 kW emisný limit 25000 ppm CO, čo je mnohonásobne viac ako sme namerali my. Rozdielne hodnoty mohli byť spôsobené inou odrodou slamy alebo rozdielnou agrotechnikou, prípadne tým že v komíne kotla chýbala klapka čo malo za následok veľký ťah komína a splodiny sa rozptýlili vo väčšom množstve vzduchu. Chýbajúca klapka mala vplyv aj na účinnosť kotla, ktorá dosahovala priemerne 48,09 %. Výrobca kotla udáva minimálnu účinnosť kotla 75 %.

Záver

V súčasnosti je biomasa považovaná za dôležitý zdroj obnoviteľnej energie. Využitím biomasy je možné vyrábať teplo, elektrinu, kombinovane teplo aj elektrinu a tiež plynné a tekuté palivá pre dopravu.

Práca poskytuje prehľad o možnostiach využitia biomasy na výrobu tepelnej energie. Úvod naznačuje problematiku súčasných fosílnych palív a ich pôsobenie na životné prostredie. Ďalšia časť práce popisuje zdroje biomasy, ktoré sa v súčasnosti používajú, spôsob ich spracovania a prehľad zariadení a systémov slúžiacich na výrobu tepla z biomasy . V práci sme stanovili obsah popola a horľaviny u vybraných druhov obilnín. V závere práce sme sa venovali energetickej účinnosti kotla a emisiám vznikajúcim pri spaľovaní peliet vyrobených zo pšeničnej slamy odrody Kalas.

Výhody využívania biomasy ako zdroja obnoviteľnej energie pre energetické účely sú nasledovné: vysoká účinnosť kotlov, nízke hodnoty emisií NO_x , CO, neutralita biomasy z hľadiska emisií CO_2 , pretože sa pri jej spaľovaní uvoľní iba toľko CO_2 , koľko rastlina počas svojho rastu prijala.

Zoznam použitej literatúry

HANČAROVÁ, D. 1986. Využití biomasy k energetickým účelům, Praha: ÚVTIZ, 1986, 67 s.,

HUTLA, P. - MAZANCOVÁ, J. 2009. Tuhá biopaliva z místních zdrojů. In: *Energie 21*, č. 1/2009, s. 12-15, ISSN 1803-0394

EŠEK, T. 2009. *Kotolňa na spaľovanie slamy v Želiezovciach*. In: *Agrobioenergia* č. 2/2009, s.5-7, ISSN 1336-9660

JANDAČKA, Jozef – MALCHO, Milan – MIKULÍK, Marian. 2007. *Biomasa ako zdroj energie*. 1.vyd. Žilina: Juraj Štefuň – GEORG, 2007. 241s., ISBN 978-80-969161-4-6

MAGA, J., NOZDROVICKÝ, L., PEPICH, Š., MARHAVÝ, Ľ., HAJDU, Š. 2008. *Komplexný model využitia biomasy na energetické účely*. Nitra: SPU, 2008, 182 s., ISBN 978-80-0029-3

PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVIČ.P. 2004. *Biomasa, obnoviteľný zdroj energie*. Praha: FCC Public s.r.o.,2004, 288 s., ISBN 80-86534-06-5

PEPICH, Š. 2009. *Využitie popola z biomasy ako hnojiva*. In: *Agrobioenergia* č. 3/2009, s.15-17, ISSN 1336-9660

PETŘÍKOVÁ, V. 2007. *Biomasa, alternatívne palivo z hľadiska chemického zloženia* [online] [cit.2010-3-12]. Dostupné na:

<http://www.ozeport.sk/1doc/Biomasa%20alter.%20palivo-1.pdf>

VITÁZEK, I., TIROL, J. 2009. *K problematike spaľovania biomasy*. In: *Agrobioenergia* č. 2/2009, s.14-17, ISSN 1336-9660

Vyhlasška č. 338/2009 Zb. Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky z 23. júla 2009, ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona o ovzduší

STN ISO 1171 (44 1378) Tuhé palivá. Stanovenie popola. Vydané 1.8.2003

STN ISO 1928 (44 1352) Tuhé palivá, stanovenie spalného tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výkonnosti

STN 44 1377 Tuhé palivá. Stanovenie obsahu vody. Vydané 1.12.1978

STN EN 303-5 Vykurovacie kotly na tuhé palivá dodávané ručne a automaticky s menovitým výkonom do 300 kW

DIN 51 731 Skúšky tuhého paliva – lisované drevo – požiadavky a skúšky

ÖNORM M 7135 Lisované drevo a lisovaná kôra v prirodzenom stave – peletky
a brikety – požiadavky a špecifikácia skúšok

Biomasa. [online] 2002. Dostupné na:

<http://www.seps.sk/zp/fond/2002/biomasa/biomasa.html>.