

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Biotechnologie využití biomasy

Katedra: Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Vedoucí katedry: prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
POJIVA PRO PELETY Z BIOMASY**

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.

Autor bakalářské práce:

Pavel Bartoš

České Budějovice

2013

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel BARTOŠ**
Osobní číslo: **Z10508**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Biotechnologie využití biomasy**
Název tématu: **Pojiva pro pelety z biomasy**
Zadávající katedra: **Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií**

Zásady pro vypracování:

Pokud se v roce 2000 v celé EU prodalo necelých 600 tisíc tun dřevních pelet, v roce 2010 již objem obchodu přesáhl hodnotu 13 miliónů tun. Z toho byla téměř 1/4 dovezena ze Severní Ameriky. Pelety jsou vyráběny z dřevních nebo zemědělských zbytků silným stlačením, které se nazývá peletování. Kvalitní peleta má vlhkost 6-8 %. Při protlačování suroviny předsušené na 12-15 % matricí se uvolňuje velké množství tepla. Tím se sníží vlhkost budoucí pelety, ale "plastizuje" také základní pojivo - lignin. Rychlým ochlazením lignin zatuhne a peleta získá charakteristický pevný lesklý povrch. Při výrobě pelet z biomasy se využívají i jiná přírodní pojiva.

Při použití doporučené i další literatury vypracujte pod vedením vedoucího práce literární rešerši na téma: "Pojiva pro pelety z biomasy".

Bakalářskou práci vypracujte dle Opatření děkana č. 13 ze dne 18. 12. 2009.

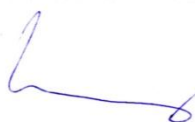
Rozsah grafických prací: tabulky, grafy, obrázky dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 40 - 50 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

Kužel S. a kol. (2010): Komplexní využití biomasy. ZF JU v Českých Budějovicích, 1. díl, 122 s.
Kužel S. a kol. (2008): Peletované biopalivo obsahující ovesné části a zařízení pro jeho výrobu. UV-18791, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 11. 8. 2008.
Kolář L. a kol. (2010): Peletizované nebo briketované biopalivo, kompozice pro jeho výrobu, způsob jeho výroby a použití nativní žitné mouky pro jeho výrobu. CZ-301951, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 30.06. 2010.
Kolář L. a kol. (2007): Peletizované nebo briketované biopalivo a kompozice a pojivo pro jeho výrobu. UV č. 17228, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 8. 2. 2007.
Kolář L. a kol. (2010): The method of treatment of iron-containing waterworks sludge and a mixture prepared by this method (Evropský patent, EP 1985590). European Patent Office 13.01. 2010 Munich.
Kolář L. a kol. (2009): Způsob zpracování železitých vodárenských kalů a směs připravená tímto způsobem. CZ-300446, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 10. 4. 2009.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.
Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

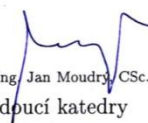
Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2013



Ing. Karel Suchý, Ph.D.
proděkan pověřený vedením ZF

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice
L.S.



prof. Ing. Jan Moudry, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2012

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne

.....
Pavel Bartoš

Poděkování:

Tímto si dovoluji poděkovat vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Stanislavu Kuželovi, CSc. za cenné rady, odborné připomínky a všestrannou pomoc při vypracování bakalářské práce i celém studiu. Dále děkuji za podporu rodině a přátelům.

Abstrakt

Pelety z biomasy představují vhodnou formu biopaliva pro spalování. Vyznačují se dobrými palivovými parametry, umožňují efektivní skladování, dopravu a manipulaci a automatický přívod paliva k topeništi. Výroba pelet je však poměrně složitý a energeticky náročný proces. Při výrobě je potřeba zajistit, aby množství vložené energie nebylo stejné nebo dokonce menší než získané. Pro zefektivnění výroby a zlepšení tepelně – mechanických vlastností lze využít přísady pojiv a aditiv. Použitím pojiv a aditiv lze dosáhnout zvýšení pevnosti, objemové hmotnosti, výhřevnosti a odolnosti vůči otěru, dále změny vlastností a množství popela, snížení nákladů na výrobu pelet, využití surovin samostatně obtížně spalitelných a nesnadno zpracovatelných peletováním i ovlivnění emisních parametrů při spalování. Mezi nejvýznamnější pojiva a aditiva s pozitivním efektem na pelety řadíme: lignin, škrob, melasu, glycerol, parafin a palmitin, karboxymethylcelulózu, vápenec, žitnou a kukuřičnou mouku, lignosulfonát a odpadní brambory.

Klíčová slova: biomasa, peletování, pelety, pojiva, aditiva

Abstract

Pellets from biomass represent an appropriate form of biofuel for combustion. They are characterized by good fuel parameters, they enable efficient storage, transport and handling, and automatic fuel supply to the combustion chamber. Pellet production is quite a complicated and energy-consuming process. During the production it is necessary to ensure that the amount of input energy was the same or even smaller than the energy obtained. To streamline the production and improve thermo-mechanical properties some binders and additives can be used. It is possible to increase the strength, density, calorific value and resistance to abrasion by using such binders and additives, in addition, you may achieve changes in characteristics and quantity of ash, decrease of the cost of pellets production, the use of materials which are separately difficult to burn and not easy to process by pelleting and affecting emission parameters during combustion. The most important binders and additives with a positive effect on pellets include: lignin, starch, molasses, glycerol, paraffin and palmitin, carboxymethyl cellulose, limestone, rye and corn flour, lignosulfonate and waste potatoes.

Key words: biomass, pelletisation, pellets, binders (binding agents), additives

OBSAH:

1	ÚVOD	9
2	BIOMASA	10
2.1	POPIS A ROZDĚLENÍ BIOMASY	10
2.1.1	<i>Dřevní biomasa</i>	11
2.1.1.1	Lesní a plantážové dřevo.....	11
2.1.1.2	Dřevozpracující průmysl, vedlejší produkty a zbytky.....	11
2.1.1.3	Použité dřevo.....	11
2.1.2	<i>Bylinná biomasa</i>	12
2.1.2.1	Zemědělská a zahradní bylina	12
2.1.2.2	Průmysl zpracovávající byliny, vedlejší produkty a zbytky.....	13
2.1.3	<i>Ovocná biomasa</i>	13
2.1.3.1	Sadové a zahradní ovoce.....	13
2.1.3.2	Průmysl zpracovávající ovoce, vedlejší produkty a zbytky	14
2.1.4	<i>Směsi a příměsi</i>	14
3	PELETY	15
3.1	POPIS PELET	15
3.2	ROZDĚLENÍ PELET	16
3.3	VLASTNOSTI PELET	16
3.3.1	<i>Chemicko-termické vlastnosti</i>	17
3.3.1.1	Obsah vody	17
3.3.1.2	Obsah popela.....	17
3.3.1.3	Tavitelnost popela.....	17
3.3.1.4	Obsah prchavé hořlaviny.....	18
3.3.1.5	Spalné teplo a výhřevnost	18
3.3.1.6	Stanovení obsahu síry a chloru.....	18
3.3.1.7	Stanovení dusíku, uhlíku a vodíku	19
3.3.1.8	Stanovení obsahu ostatních prvků.....	19
3.3.2	<i>Fyzikálně-mechanické vlastnosti</i>	20
3.3.2.1	Průměr a délka pelet.....	20
3.3.2.2	Stanovení sypné hmotnosti	20
3.3.2.3	Stanovení hustoty.....	20
3.3.2.4	Stanovení mechanické odolnosti.....	20
3.4	LEGISLATIVA V OBLASTI TOPNÝCH PELET	20

3.5	TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ NA SPALOVÁNÍ.....	22
3.6	TECHNOLOGIE VÝROBY PELET	22
3.6.1	<i>Přijem materiálu</i>	22
3.6.2	<i>Drcení a mletí</i>	23
3.6.3	<i>Sušení</i>	23
3.6.4	<i>Napařování</i>	24
3.6.5	<i>Peletovací lisy</i>	24
3.6.5.1	<i>Šroubový protlačecí stroj</i>	24
3.6.5.2	<i>Horizontální peletovací stroj s válcovými kladkami a maticí</i>	25
3.6.5.3	<i>Horizontální peletovací stroj s válcovou maticí a lisovacím rotorem</i>	26
3.6.5.4	<i>Horizontální peletovací stroj s ozubenými kolečky</i>	26
3.6.5.5	<i>Vertikální peletovací stroj s kuželovými kladkami a plochou maticí</i>	27
3.6.5.6	<i>Vertikální peletovací stroj s válcovými kladkami a plochou maticí</i> ..	28
3.6.5.7	<i>EcoTre systém</i>	28
3.7	CHLAZENÍ.....	29
3.8	BALENÍ A EXPEDICE.....	29
3.9	SKLADOVÁNÍ A TRANSPORT KE KOTLI	29
4	POJIVA A ADITIVA	30
4.1	LIGNIN	31
4.2	ŠKROB	34
4.3	KUKUŘIČNÁ A ŽITNÁ MOUKA.....	38
4.4	LIGNOSULFONÁT	39
4.5	MELASA.....	42
4.6	UHLIČITAN VÁPENATÝ A HOŘEČNATÝ, OXID VÁPENATÝ.....	43
4.7	HYDROXID SODNÝ	45
4.8	GLYCEROL.....	46
4.9	PARAFIN A PALMITIN.....	48
4.10	KARBOXYMETHYLCELULÓZA	49
4.11	BRAMBOROVÝ ODPAD	50
5	ZÁVĚR.....	52
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55

1 ÚVOD

S ohledem na možné vyčerpání fosilních energetických zdrojů stoupá zájem o alternativní zdroje energie. Jedním z těchto zdrojů je rostlinná biomasa. Při racionálním využívání se z ní stává trvale udržitelný a obnovitelný zdroj energie vhodný ke spalování či pro produkci řady chemických látek. Technicky nejjednodušší a od nepaměti známý způsob využití biomasy je právě spalování, sloužící v současné době pro získávání energie elektrické a tepelné. Biomasa se ovšem vyznačuje velkou různorodostí co do formy, vlhkosti, výhřevnosti, popelnatosti apod. a s tím spojené nároky na přepravu, skladování, zpracování i samotné spalování. Pro efektivní využití je proto vhodné biomasu před spalováním upravit do formy biopaliva vyhovující danému druhu biomasy nebo spalovacímu zařízení.

Touto formou mohou být pelety. Jejich malé rozměry a velká tvarová stálost umožňují jednoduchou manipulaci, vysoká hustota a výhřevnost snižují nároky na skladovací prostory, odolávají vůči atmosférické vlhkosti, nabízí téměř plně automatizovaný provoz spalování a účinnou regulaci výkonu kotle.

Výroba pelet představuje poměrně složitý a energeticky náročný proces. Usnadnění výroby nebo zlepšení vlastností pelet je možné dosáhnout přidáním pojiv a aditiv. Jednotlivá pojiva a aditiva ovlivňují různé vlastnosti a jejich chování se mění i s druhem biomasy a dalšími faktory.

Cílem této bakalářské práce je popsat současný stav používání pojiv a aditiv při peletování biomasy a uvést jejich vliv na parametry pelet.

2 BIOMASA

Pod pojmem biomasa se obecně vnímá veškerá organická hmota, rostlinného a živočišného původu. Biomasu rostlinného původu dále nazýváme fytomasou. Pro využití a zhodnocení biomasy k výrobě tepla a elektřiny spalováním se hodí nejlépe především biomasa rostlinná tedy fytomasa (PETŘÍKOVÁ, 2005).

2.1 Popis a rozdělení biomasy

Na rozdělení biomasy lze nahlížet z různých pohledů. Jeden pohled směřuje na zdroj vzniku a původ, druhý zohledňuje způsob energetického využití.

Základním způsobem rozdělujeme biomasu dle původu a vzniku na:

- fytomasu (rostlinná biomasa),
- dendromasu (dřevní biomasa),
- živočišnou biomasu,
- průmyslové a komunální odpady (komunální organické odpady, kaly z čistíren odpadních vod, odpady z potravinářských výrob).

Z pohledu energetického využití lze rozdělit biomasu do dvou skupin:

- biomasa vhodná pro spalování a zplyňování,
- biomasa vhodná pro anaerobní fermentaci.

První skupinu představují:

- odpady dřevozpracujícího průmyslu (piliny, hobliny, krajiny),
- sklizňové zbytky a zemědělské odpady (sláma, odpadní zrno),
- odpady lesního hospodářství (kůra, probírkové dřevo z prořezávek, klestí po mýtní těžbě),
- biomasa z údržby městské zeleně a břehových porostů,
- recyklovaná biomasa z dřevěných výrobků po ukončení jejich životnosti (vyřazené palety, stavební dřevo),
- biomasa trvalých travních porostů,
- záměrně pěstované energetické dřeviny a rostliny.

Tuto skupinu biomasy lze využít prostým spálením v kotlích vyrábějících teplotu nebo horkou vodu, případně páru. Dokonalejší způsob energetické přeměny biomasy představují různé formy zplyňování, díky kterým se organické části biomasy přemění v kvalitnější plynné nebo kapalné palivo. To lze následně využít v energetických zařízeních vyrábějících teplo nebo kogeneračně elektřinu a teplo.

Do druhé skupiny řadíme:

- komunální a průmyslové odpadní vody z čistíren odpadních vod,
- komunální a průmyslové odpady uložené na skládkách,
- exkrementy z chovu hospodářských zvířat, jateční odpady, odpady potravinářského průmyslu a cíleně pěstované rostliny.

Z této druhé skupiny je možné získat fermentačními procesy bioplyn a ten následně přeměnit na elektrickou energii kogenerační jednotkou nebo využít podobně jako zemní plyn (WEGER et al., 2003; MOTLÍK, VÁŇA, 2002).

Biomasu lze dále rozdělit podle ČSN EN 14961 na druhy, z jakých jsou vyráběna tuhá biopaliva. Jedná se o následující druhy biomasy:

- dřevní biomasa,
- bylinná biomasa,
- ovocná biomasa,
- směsi a příměsy, kdy směsi jsou záměrně smíchaná biopaliva a příměsy jsou nezáměrně smíchaná biopaliva.

2.1.1 Dřevní biomasa

2.1.1.1 Lesní a plantážové dřevo

Dřevo v této kategorii se upravuje pouze snížením velikosti částic, odkorněním, vysušením, zvlhčením. Zahrnuje dřevo z lesů, parků, plantáží a rychle rostoucí stromy.

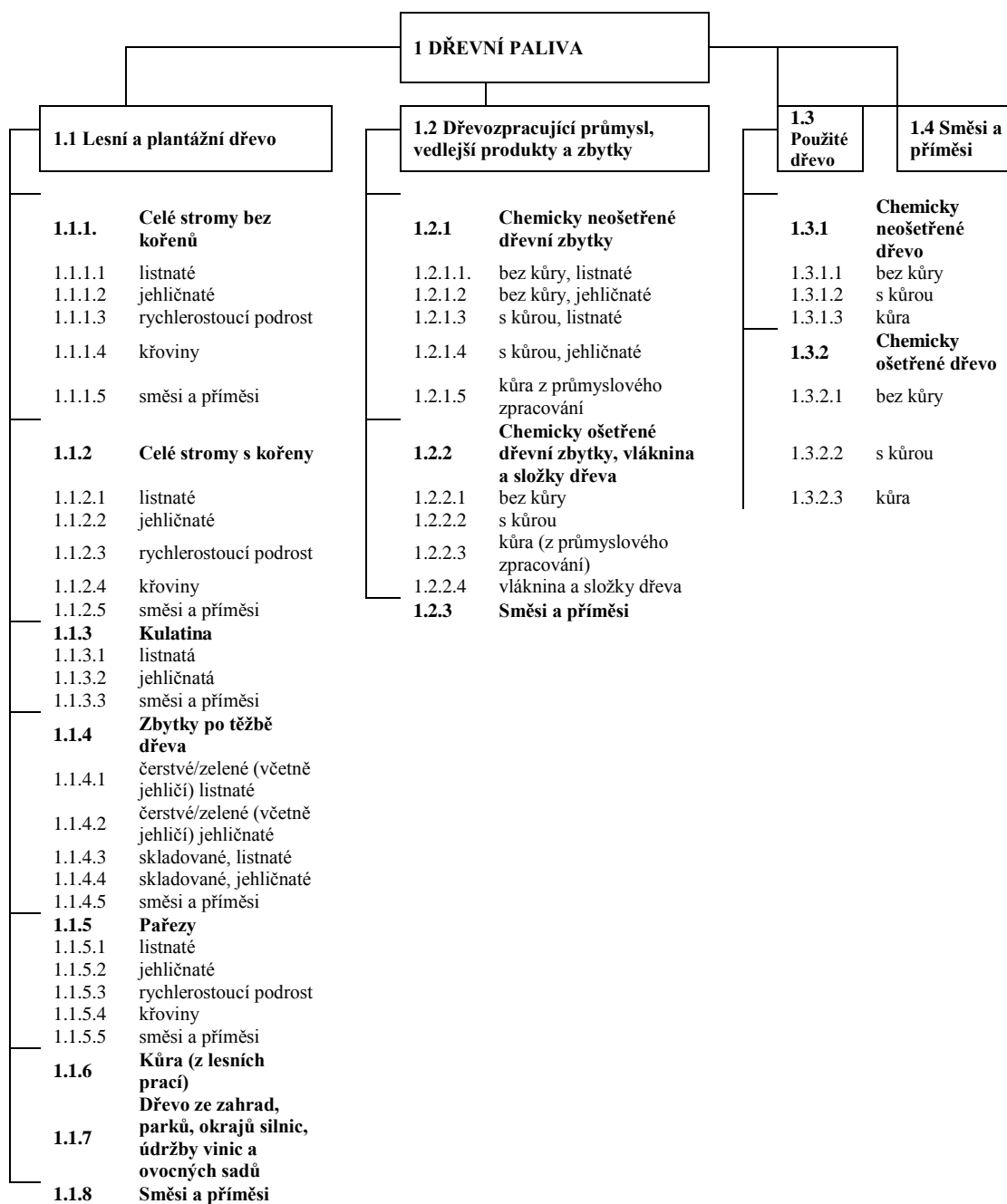
2.1.1.2 Dřevozpracující průmysl, vedlejší produkty a zbytky

Jsou jimi dřevní vedlejší produkty a dřevní zbytky z dřevozpracujícího průmyslu. Mohou to být chemicky neošetřené dřevní zbytky (zbytky z odkornění, řezání klád, snižování velikosti, tvarování stromů, lisování) nebo chemicky ošetřené dřevní zbytky, pokud neobsahují těžké kovy nebo halogenované organické sloučeniny z ošetření konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěrů.

2.1.1.3 Použité dřevo

Skupina zahrnuje dřevní odpad od zákazníků a společností. Používají se stejná kritéria jako pro dřevozpracující průmysl vedlejších produktů a zbytků, tj. použité dřevo nesmí obsahovat těžké kovy nebo halogenované organické sloučeniny z ošetření konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěrů.

Obr. 1 Klasifikační schéma dřevních paliv podle původu a zdrojů v souladu s ČSN EN 14961



2.1.2 Bylinná biomasa

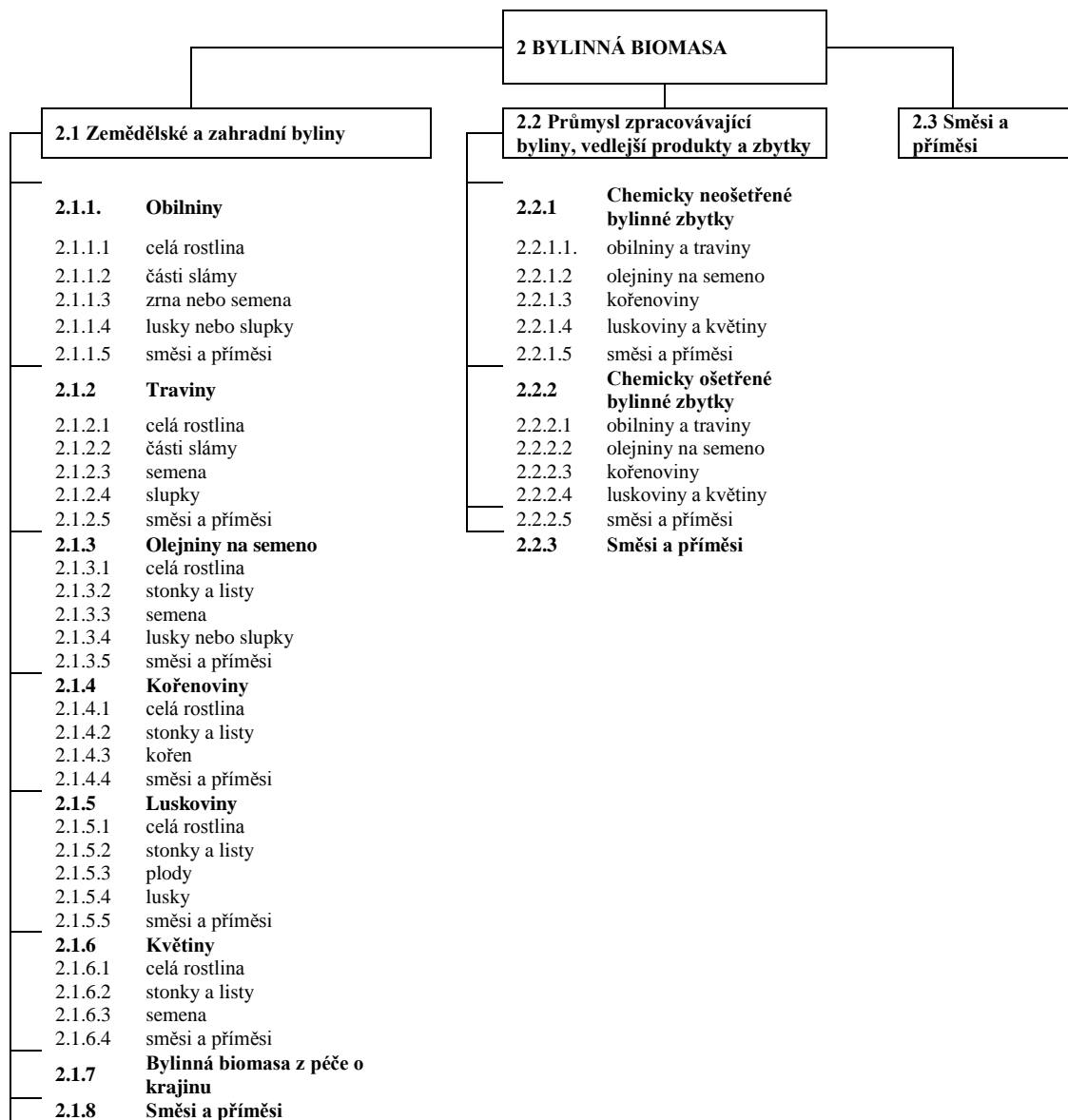
2.1.2.1 Zemědělská a zahradní bylina

Materiál pocházející přímo z pole, např. po skladování a upravený pouze snížením velikosti částic nebo sušením. Obnáší bylinný materiál ze zemědělských a zahradních polí a ze zahrad a parků.

2.1.2.2 Průmysl zpracovávající byliny, vedlejší produkty a zbytky

Zahrnuje bylinný materiál biomasy po průmyslové manipulaci a ošetření. Například zbytky z výroby cukru z cukrové řepy a zbytky z ječného sladu z výroby piva.

Obr. 2 Klasifikační schéma bylinné biomasy v souladu s ČSN EN 14961



2.1.3 Ovocná biomasa

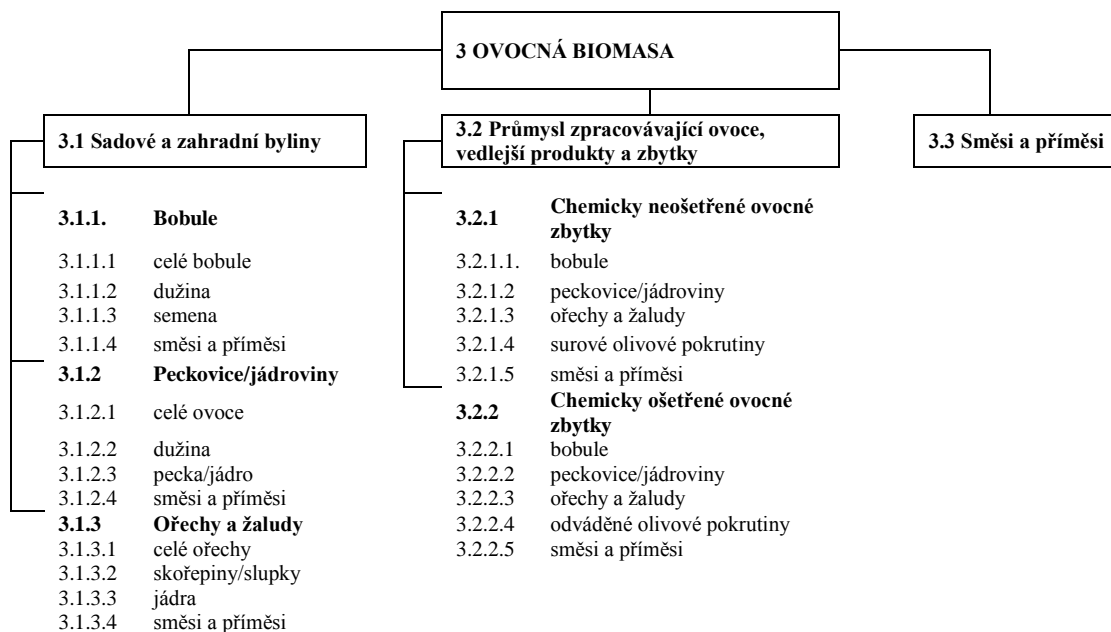
2.1.3.1 Sadové a zahradní ovoce

Zde je klasifikováno ovoce ze stromů a křovin a také plody z bylin, např. ovocná výsadba a réví.

2.1.3.2 Průmysl zpracovávající ovoce, vedlejší produkty a zbytky

Materiál ovocné biomasy, který zůstane po průmyslové manipulaci a ošetření. Například šroty z extrakce olejnin, pokrutiny, výlisky.

Obr. 3 Klasifikační schéma ovocné biomasy v souladu s ČSN EN 14961



2.1.4 Směsi a příměsi

Do této kategorie náleží směsi a příměsi z jednotlivých druhů dřevní, bylinné a ovocné biomasy. V případě, že je míchání úmyslné jedná se o směsi. Při neúmyslném přimíchání hovoříme o příměsi.

3 PELETY

3.1 Popis pelet

Slovo peleta pochází z francouzského pellet, v českém překladu sbalek. Tímto slovem byly v počátku označovány například rudné koncentráty ve formě malých kuliček. V angličtině se poté tento výraz začal používat pro výrobky vznikající lisováním sypkých materiálů do různých tvarů, třeba tablet. Technologie peletizace se v polovině minulého století rozšířila zejména pro výrobu sypkých krmných směsí. S počátkem ropné krize v sedmdesátých letech minulého století v Severní Americe vzniká lisováním pilin dřevní peleta, jako alternativa pro drahá fosilní paliva. Technologie výroby a vytápění dřevními peletami byla v USA vyvinuta firmou Whitfield. Počátky využívání pelet jako alternativního paliva sahají v Evropě do 80. let ve Švédsku, výraznější uplatnění dále v 90. letech v Rakousku. K největším světovým výrobcům pelet dnes patří Kanada, USA a Švédsko. S ohledem na množství dostupné potenciální suroviny těmito zemím začínají konkurovat také Rusko a Ukrajina. Mezi největší spotřebitele pelet v Evropě řadíme Německo, Rakousko, Švédsko, Dánsko, Belgie, Holandsko. Celosvětově se dále očekává zvýšená produkce pelet (LYČKA, 2011; ANDERT et al., 2006).

Pelety jsou granule kruhového průřezu o průměru 6-25 mm a délce do 50 mm. Jsou vyráběné výhradně z organického materiálu lisováním za vysokého tlaku na protlačovacích matricových lisech (KLOBUŠNÍK, 2003).

Obr. 4 Pelety z krmného šťovíku Rumex OK 2 (Rumex patientia) (PETŘÍKOVÁ, 2011)



Podle vyhlášky č. 477/2012 Sb. se pelety nazývají ušlechtilým palivem z cíleně pěstované biomasy, zbytkové biomasy ze zemědělské a lesní produkce a zbytkové biomasy ze zpracovatelského průmyslu.

Vyráběny jsou 2 druhy pelet. Dřevní pelety a pelety ze stébelnin.

Dřevní pelety jsou zpracované mechanicky velkým tlakem ze suché, čisté dřevní drti s obsahem vody 6-12 %, s malým podílem dřevního prachu, nejčastěji o průměru 6-20 mm a délkou 10-50 mm. Měrná objemová hmotnost 1000-1400 kg.m⁻³, výhřevnost 16,5-18,5 MJ.kg⁻¹. Obsah popele v sušině 0,5-1,1%.

Pelety stébelnin jsou lisované suché, drcené stébelniny (sláma obilnin, olejnin, travin, energetických bylin) s obsahem vody 8-15 %, s průměrem 6-20 mm a délkou obvykle 10-50 mm. Objemová měrná hmotnost 1000-1200 kg.m⁻³, výhřevnost 16,5-17,5 MJ.kg⁻¹ (ze slámy olejnin až 19 MJ.kg⁻¹). Obsah popele v sušině 5-6% (MALAŤÁK, VACULÍK, 2008).

3.2 Rozdělení pelet

Pelety je možné rozdělit podle následujícího přehledu na:

- **Dřevní:** vyráběné lisováním suché dřevní hmoty - pilin, kůry a dřevní štěpky, a dále se dělí na:
 - bílé-vyráběné z čisté dřevní hmoty, především z pilin,
 - tmavé-vyráběné z pilin společně s kůrou.
- **Alternativní** - vyráběné lisováním rostlin nebo jejich částí a dělí se na:
 - agropelety – vyráběné lisováním ze zemědělských komodit - energetických rostlin, řepkové slámy, obilné slámy, odpadů vznikajících při čištění obilnin a olejnin, sena, pokrutiny vznikající při lisování řepkového a slunečnicového oleje apod.,
 - ostatní - vyráběné lisováním různých, obvykle jinak obtížně využitelných materiálů např. drceného starého papíru, uhelného prachu, případně kombinovanými se zemědělskými komoditami (VERNER, 2007).

3.3 Vlastnosti pelet

Pro zajištění efektivního využití tuhých paliv a z hlediska udržení kvality výrobků z biomasy tj. pelet je nezbytné sledovat jejich kvalitu a složení. Pro tyto účely sledujeme vlastnosti fyzikálně-mechanické a chemicko-termické. Mezi

fyzikálně-mechanické ukazatele patří rozměry pelety, hustota, zrnitostní rozdělení, mechanická odolnost, pevnost v tlaku, sypná hmotnost a měrná objemová hmotnost. Chemicko-termické ukazatele představují prvkový rozbor (obsah síry, dusíku, vodíku, uhlíku, chlóru a kovů), prchavé hořlaviny, obsah popela a vody, spalného tepla, výhřevnost a tavitelnost popela (JEVIČ et al., 2008; KOTLÁNOVÁ, 2009).

Zkoušení biomasy resp. pelet se provádí podle norem ČSN EN, DIN, ÖNORM a jiných národních norem. Dále existují také Technické směrnice, vydávané Ministerstvem životního prostředí ČR, které zavádějí požadavky pro udělení ochranné známky „Ekologicky šetrný výrobek“ jmenovitě technická směrnice č. 55-2008 (KOTLÁNOVÁ, 2009).

Prvotním úkolem je zajištění správného odběru vzorku, aby nedošlo ke změně obsahu vlhkosti a k jeho kontaminaci. Odběr vzorku se provádějí dle normy pro vzorkování tuhých biopaliv ČSN EN 14778.

3.3.1 Chemicko-termické vlastnosti

3.3.1.1 Obsah vody

Obsah vody patří mezi nejdůležitější parametry. Ovlivňuje další důležitý parametr a to výhřevnost a dále také skladovatelnost. Obsah vody se stanoví jako podíl vody v procentech (%) na celkové hmotnosti vzorku pelet. Jedná se o sušení vzorku při 105 °C a následném zjištění úbytku hmotnosti vážením. Obsah vody v palivu se stanovuje jako celková voda podle ČSN EN 14774-1 až 3 (KOTLÁNOVÁ, 2009).

3.3.1.2 Obsah popela

Podstatou metody stanovení obsahu popela je spálení vzorku a jeho vyžihání do konstantní hmotnosti. Stanovení se provádí dle normy ČSN EN 14775. Z charakteru popela lze vyčíst vznik nánosů ve spalovacím prostoru a charakter popelovin. Z popela se dále stanovuje obsah prvků. Zjištěné množství prvků a těžkých kovů je důležité zejména z pohledu ochrany životního prostředí (KOTLÁNOVÁ, 2009).

3.3.1.3 Tavitelnost popela

Stanovení teploty tání popela určuje norma ČSN P CEN/TS 15370-1, část 1: Metoda stanovení charakteristických teplot.

Pro provoz topeniště na tuhá biopaliva je důležité znát teplotu tání popela. Je to taková teplota, při které dochází k roztavení veškerých složek popela. Toto tání probíhá v širokém teplotním rozmezí od 200 °C a výše s následnou změnou skupenství popela. Tato změna skupenství je charakteristická třemi teplotami:

- teplota počátku měknutí t_A (°C)
- teplota tání t_B (°C)
- teplota počátku tečení t_C (°C)

Teplota tání popela určuje, jaké by maximálně měly být spalovací teploty v topeništi, aby nedocházelo k poruchám ve funkci spalovacího zařízení. Jedná se zejména o roztavení popela na roštu a zalití mezer v roštu struskou, nalepování změkklých popelových částic na stěny ohniště, tvoření nánosů aj. (MALAŤÁK, VACULÍK, 2008).

3.3.1.4 Obsah prchavé hořlaviny

Prchavá hořlavina je množství plynné látky, uvolňující se z hořlaviny paliva za nepřístupu vzduchu při jeho zahřívání. Usnadňuje vzněcování paliva v ohništi a stabilizuje spalovací proces. Vysoký obsah prchavé hořlaviny ovlivňuje emise za situace, kdy v ohništi zcela nevyhoří a dochází k tvorbě sazí. Stanovení se provádí podle ČSN EN 15148. Vzorek se žíhá v peci bez přístupu vzduchu do vysoké teploty, kdy již všechna prchavá hořlavina ze zbytku po karbonizaci unikla (KOTLÁNOVÁ, 2009; MALAŤÁK, VACULÍK, 2008).

3.3.1.5 Spalné teplo a výhřevnost

Znalost hodnoty spalného tepla respektive výhřevnosti je nezbytná pro zjištění využitelnosti daného paliva při spalování. Spalné teplo je celkové množství tepla ze vzorku zcela suchého paliva po úplném spálení vzorku v kalorimetru a ochlazení spalin na výchozí teplotu. Výhřevnost paliva je celkové množství tepla ze vzorku paliva po úplném spálení za situace, kdy odpařená voda ze vzorku zůstává ve formě vodní páry společně se spalinami. Stanovuje se výpočtem ze spalného tepla zjištěného v kalorimetru odečtením výparného tepla vody. Stanovení spalného tepla se provádí dle normy ČSN EN 14918 (ANDERT et al., 2006; KOTLÁNOVÁ, 2010).

3.3.1.6 Stanovení obsahu síry a chloru

S ohledem na ochranu životního prostředí a spalovacího zařízení je účelné sledovat obsah síry a chloru. Při spalování se síra a chlór přeměňují na oxidy síry a

chloridy. Na kovových částech spalovacího zařízení se projevují korozivní účinky chlorovodíku při spolupůsobení s alkalickými kovy a SO₂. Zvýšený obsah Cl vede ke snížení teploty měknutí popela a obsah chloru se při spalování dále podílí na tvorbě polychlorovaných dibenzo-dioxinů/furanů. Stanovení obsahu síry a chloru se provádí podle ČSN EN 15289. Při tomto stanovení dochází nejprve k vyluhování vzorku spálením v kyslíkové bombě a absorpcí plynných složek v absorpčním roztoku nebo rozkladem vzorku v uzavřené nádobě. Samotné stanovení síry a chlórů se poté provádí iontovou chromatografií, indukčně vázanou plazmou, AOX – analyzátory nebo elementárními analyzátory (JEVIČ et al., 2008; KOTLÁNOVÁ, 2010).

3.3.1.7 Stanovení dusíku, uhlíku a vodíku

Obsažené množství N v tuhém palivu přímo působí na produkci NO_x, neboť N při spalování přechází prakticky zcela do plynné fáze. Emise CO₂ se obecně uvádějí jako neutrální, protože množství oxidu uhličitého vzniklé spálením biomasy, je biomasou absorbováno během růstu. Obsah CO ve spalinách signalizuje kvalitu spalovacího procesu s ohledem na nevhodnou konstrukci spalovacího zařízení nebo nesprávných spalovacích parametrech v podobě nedostatečného přívodu vzduchu. Stanovení dusíku, uhlíku a vodíku se provádí instrumentálními metodami podle ČSN EN 15104 (KOLONIČNÝ, 2010).

3.3.1.8 Stanovení obsahu ostatních prvků

Norma ČSN EN 15290 pro tuhá biopaliva uvádí stanovení hlavních prvků - Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na a Ti. Norma ČSN EN 15297 potom udává stanovení stopových prvků - As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V a Zn. Stanovení se provádí pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou (ICP/OES), hmotovou spektrometrií s indukčně vázanou plazmou (ICP/MS) nebo plamenovou atomovou absorpční spektrometrií (AAS). Přítomnost těžkých kovů v biopalivu se následně projeví obsahem těchto prvků v popílku a popelu, což má negativní vliv na životní prostředí. Zdrojem kontaminace mohou být konzervační chemikálie, barvy, minerální oleje a maziva, doprava apod. (KOTLÁNOVÁ, 2010).

3.3.2 Fyzikálně-mechanické vlastnosti

3.3.2.1 Průměr a délka pelet

Stanovení délky a průměru pelet se řídí normou ČSN EN 16127. Na délku a průměr se bere zřetel při volbě vhodného spalovacího zařízení, způsobu dopravy a skladování (LYČKA, 2011).

3.3.2.2 Stanovení sypné hmotnosti

Sypná hmotnost je vlastnost, která společně s výhřevností určuje hustotu energie akumulované v peletách. Z hodnot sypné hmotnosti lze vyčíst nároky požadované na prostor při transportu a skladování. Stanovuje se dle normy ČSN EN 15103, zjištěním hmotnosti po nasypání do normované nádoby (KOTLÁNOVÁ, 2010).

3.3.2.3 Stanovení hustoty

Pro ověření kvality pelet z hlediska procesu výroby, tedy použití správného tlaku a teploty při výrobě slouží stanovení hustoty. Podle ČSN EN 15150 se peleta umístí do nádoby s vodou a na základě vztlaku kapaliny se vypočítá hustota pelety (KOTLÁNOVÁ, 2010).

3.3.2.4 Stanovení mechanické odolnosti

Znalost mechanické odolnosti je důležitá s ohledem na možné poškození pelet při manipulaci a přepravě. Při nedostatečné pevnosti dochází k nežádoucímu odrolu a otěru pelet. Stanovit mechanickou odolnost lze dle ČSN EN 15210-1 nebo DIN 51731, DIN Plus a ÖNORM M7135. Hodnoty otěru podle rakouské normy ÖNORM M713 lze ověřit pomocí přístroje Ligno-tester. Pelety se zváží nejprve před testem, poté je 100 g pelet po dobu 1 min uvedeno proudem vzduchu do pohybu. Narážení o stěny přístroje a vzájemně o sebe dochází k otěru pelet. Po ukončení testu se pelety znovu zváží a sleduje se hmotnostní úbytek. Požadován je otěr do 2,3 %. Mechanická odolnost stanovená dle ČSN EN 15210 by neměla být menší než 90 % (SOUČKOVÁ, MOUDRÝ, 2005).

3.4 Legislativa v oblasti topných pelet

Pelety je nutné jako každý další produkt vyrábět v předem dané, specifikované a neměnné kvalitě a ta musí být popsána technickými normami. Čeští výrobci a dodavatelé pelet mohou využívat normy ČSN EN 14961 nebo přejímat platné evropské normy pro pelety. Jedná se například o německou normu DIN 51731 a DIN

plus nebo rakouskou normu ÖNORM M7135. Jednotlivé normy se odlišují především surovinou pro výrobu pelet, parametry pelet a zkušebními postupy viz tab. 1. Německé a rakouské normy se vztahují pouze na dřevěné palety, česká norma obsahuje také specifikace pro rostlinné, kůrové a jiné druhy pelet. Vlastnosti jsou rozděleny na normativní a informativní (STUPAVSKÝ, 2010).

Jistou alternativou může být také Technická směrnice č. 55–2008 (MŽP ČR) uvádějící požadavky pro propůjčení ochranné známky „Ekologicky šetrný výrobek“ pro rostlinné pelety a je součástí Národního programu označování ekologicky šetrných výrobků.

Tabulka 1 Porovnání norem DIN 51731, DIN plus, ÖNORM M7135, ČSN P CEN/TS 14961 a Technické směrnice č. 55 – 2008 (MŽP ČR) (STUPAVSKÝ, 2010)

Norma	Druh biomasy	DIN 51731	DINPlus	ÖNORM M 7135	ČSN P CEN/TS 14961	Směrnice č. 55-2008
		dřevní biomasa	dřevní pelety	dřevní pelety / kůrové pelety	dřevní a rostlinná biopaliva a jejich směsi	rostlinná biopaliva
Ukazatel	Jednotka	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Hodnota
Průměr pelety	mm	$4 \leq d < 10$	$4 \leq d < 10$	$4 \leq d < 10 / \geq d < 10$	5 druhů rozměrů od 6 mm do 25 mm	≤ 25
Délka pelety	mm	$\leq 5 \times d$	< 50	$\leq 5 \times D / \leq 5 \times D$	5 druhů rozměrů od $L \leq 5 \times$ průměr do $L \leq 4 \times$ průměr	-
Sypná hmotnost	kg/dm ³	$\geq 1,12$	$> 1,0 - 1,4$	$\geq 1,12 / \geq 1,12$	doporučení uvést při prodeji v obj. jednotkách	$\geq 1,12$
Obsah vody	% (m/m)	$\leq 10,0$	< 12	$\leq 10,0 / 18,0$	3 třídy	≤ 10
Obsah popela	% (m/m)	$\leq 0,5$	$< 1,5$	$\leq 0,50 / \leq 6,0$	5 tříd	≤ 6
Výhřevnost	MJ/kg	≥ 18	17,5 - 19,5	$\geq 18,0 / \geq 18,0$	doporučuje se uvést	≤ 16
Obsah síry	% (m/m)	$\leq 0,04$	$< 0,8$	$\leq 0,04 / \leq 0,08$	4 třídy	$\leq 0,15$
Obsah dusíku	% (m/m)	$\leq 0,3$	$< 0,3$	$\leq 0,30 / \leq 0,60$	5 tříd	$\leq 0,9$
Obsah chloru	% (m/m)	$\leq 0,02$	$< 0,03$	$\leq 0,02 / \leq 0,02$	4 třídy	$\leq 0,18$
Otěr	% (m/m)	2,3	0	$\leq 2,3 / \leq 2,3$	3 třídy	$\leq 2,3$
Pomocný lisovací prostředek	% (m/m)	2	0	$\leq 2 / \leq 2$	určit druh a obsah	≤ 6
Jemné částice	% (m/m)	-	-	-	3 třídy	-
Minimální doba skladovatelnosti	měsíce	-	-	-	≥ 6	≥ 6

3.5 Technologická zařízení na spalování

Technologická zařízení na spalování pelet můžeme obecně rozdělit podle druhu a způsobu použití na:

- peletová krbová kamna (tepl vzdušná, teplovodní nebo tepl vzdušná + teplovodní) pro rodinné domy
- peletové krbové vložky (tepl vzdušná, teplovodní nebo tepl vzdušná + teplovodní) pro rodinné domy
- peletové teplovodní kotle vhodné pro rodinné domy, bytové domy, provozovny a dílny
- kombinované teplovodní kotle na spalování dřeva a pelet vhodné pro rodinné domy, bytové domy, provozovny a dílny
- peletové hořáky pro různé typy kotlů pro rodinné domy, bytové domy a provozovny
- tepl vzdušné peletové kotle pro vytápění průmyslových staveb
- peletové kotle velkých výkonů pro velké výtopy, teplárny a průmyslové použití (KLOBUŠNÍK, 2003).

3.6 Technologie výroby pelet

Samotný proces peletování je používán cca 100 let v krmivářském průmyslu. Výrobní proces dává vzniknout zcela novému druhu paliva, které se vyznačuje dobrými palivářskými hodnotami, umožňuje efektivní skladování, dopravu a manipulaci a automatický přívod paliva k topeništi (ANDERT, SLADKÝ, ABRHAM, 2006) Jedná se však o poměrně složitý a energeticky náročný proces. Proto je k jeho přípravě a realizaci přistupovat se znalostí problému, aby vložené množství energie, zpravidla elektrické, nevedlo k získání stejného, nebo dokonce menšího množství energie tepelné (KOTT, 2010).

3.6.1 Příjem materiálu

Materiál ke zpracování (dřevo, zrniny, mlýnské produkty) se přijímá přes příjmové stoly, ve většině případů s příhrnovacím roštem, hydraulickým pohonem nebo s běžnými hrabicovými dopravníky. Poměrně náročnější je příjem balíků slámy a sena. Nejprve musí dojít k odprovázkování a následnému rozebrání balíků. Za pomoci rozdrůžovače s metačem se balík rozebere na jednotlivá stébla a tato se nadělí do délky asi 15 cm za vzniku řezanky. Metač dopraví řezanku do následného šrotovníku (KOTT, 2010).

3.6.2 Drcení a mletí

Velikost vstupních částic materiálu k peletizaci by neměla přesáhnout 1/5 průměru výsledných pelet. Čím je jemnější struktura materiálu ke granulaci, tím je lepší výsledná pevnost pelet. V souvislosti s povrchovou plochou částic, které se mají pojit, je výhodnější jemnější struktura materiálu a tím je dosahováno lepší výsledné pevnosti pelet (KOTT, 2010).

Pro úpravu dřevnaté biomasy lze využít drtící ústrojí kladivové, válcové, šnekové nebo nožové. Nejčastěji je pro jemnou desintegraci rostlinných surovin použité drtící ústrojí kladívkové. Jemná desintegrace je zpravidla řešena víceúrovňově pro eliminaci nerovnoměrné velikosti částic a snížení energetické náročnosti. Pomocí typu síta, tvarem a velikostí otvorů je nastavena maximální požadovaná velikost částic (SOUČEK, 2008).

3.6.3 Sušení

Surovina před lisováním musí být vysušena s ohledem na použitou technologii lisování na vlhkost 10-15 %. Například piliny ze surového dřeva mohou obsahovat 40-60 % vody a proto je nutné, je vysušit. K tomuto účelu složí různé typy sušáren.

Nejmodernější z technologií představují pásové sušárny. Na pásu v tenké vrstvě rozložené piliny postupují sušárnou, která je profukována horkým vzduchem. Vzduch je ohříván na teplotu 120 °C párou nebo horkou vodou přes výměníky. Rychlost posuvu pásu je dána vlhkostí pilin na výstupu. Tímto způsobem je získána výstupní surovina o stabilní vlhkosti nepoškozená vysokou teplotou.

Levnějším a proto používanějším typem sušáren jsou sušárny bubnové. Podstatou sušárny je rotující buben, do něhož jsou zpravidla z kotle na štěpku či piliny vháněné spaliny společně se vzduchem a surovina je postupně vysušována. Při použití tohoto typu sušáren je důležité dodržet teplotu vháněných spalin udržet pod 200 °C, aby nedocházelo ke ztrátám výhřevnosti sušené suroviny (LYČKA, 2011).

Energetickou náročnost a tedy i nákladnost sušení lze snížit rekuperací tepla z chlazení a z odpařené vody zpět do sušícího vzduchu (ANDERT et al., 2006).

V letním období je možnost využít k vysoušení štěpky přebytečné teplo z kogenerační jednotky bioplynové stanice. Vlhká štěpka je rozložena na podlaze s

rošty pro přívod vzduchu a ventilátor poté protlačuje přes vrstvu štěrky teplý vzduch (MURTINGER, BERANOVSKÝ, 2011).

Jednou z možností jak peletovat přímo vlhkou vstupní surovinu s vlhkostí až do 30 % je opakovaná peletizace. Materiál je opakovaně peletován, odsoušen a tříděn až na výstupní vlhkost cca 14 %. Tento proces byl již dříve využíván při granulaci krmiv a nyní se uplatňuje i při peletování dřeva (KOTT, 2010).

3.6.4 Napařování

Poslední operací před samotnou peletizací je zvlhčení nebo napaření vstupního materiálu. Jedná se pouze o povrchové navlhčení, nikoliv do hloubky materiálu. Tato povrchová vlhkost se následně odpaří při lisování a ochlazení pelet. Zvlhčení slouží k nabobtnání a uvolnění lepivých látek a různých silic z povrchu materiálu. Ideálním způsobem je napařování s použitím páry, kdy je zaručena lepší kvalita výsledných pelet i vyšší výkonnost lisu, a tím pádem snížení vynaložených nákladů (KOTT, 2010).

3.6.5 Peletovací lisy

Hlavním zařízením peletovacího procesu je protlačovací nebo-li matricový lis. Základními komponenty matricového lisu jsou rolny a matrice. Protlačovací matrice je vyrobena z ušlechtilé oceli a je opatřena soustavou otvorů. Průměr těchto otvorů závisí na zpracovávané surovině a definuje průměr výchozí pelety. Po matici se odvalují přítlačné rolny, které protlačují zpracovávaný materiál otvory matrice. Na vnější straně matrice jsou odřezávány vyčnívající pelety. Při tomto lisování vzniká značné množství tepla, uvolňující a změkčující v surovině obsažený lignin. Lignin případně jiné přidané pojivo zaručuje pevnost pelet (LYČKA, 2011).

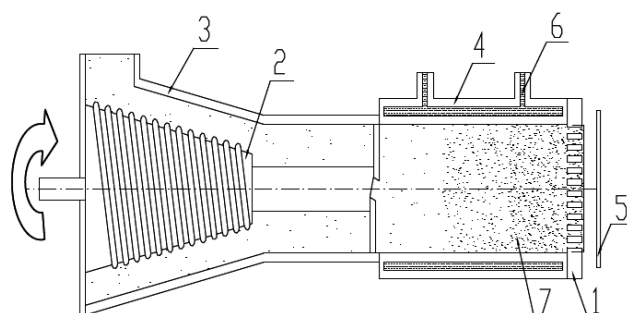
Existuje několik konstrukčních provedení lisů.

3.6.5.1 Šroubový protlačecí stroj

Toto zařízení představuje jednoduchou konstrukci a princip lisování. Šroubový podavač je současně i nástrojem lisování. Materiál dodává do lisovací komory a zároveň ho protlačuje. Materiál je přes kruhovou matici protlačován pod vysokým tlakem. Chladícím zařízením se stabilizuje teplota lisovací komory. Po dotyku s pevnou deskou se ulamují protlačované pelety. Výhody: plynulý chod, jednoduchá

výměna matrice i změna průměru pelet. Nevýhody: potřeba chladícího zařízení, nízký hodinový výkon (KOLONIČNÝ, HASE, 2011).

Obr. 5 Šroubový protlačecí stroj (KOLONIČNÝ, HASE, 2011)

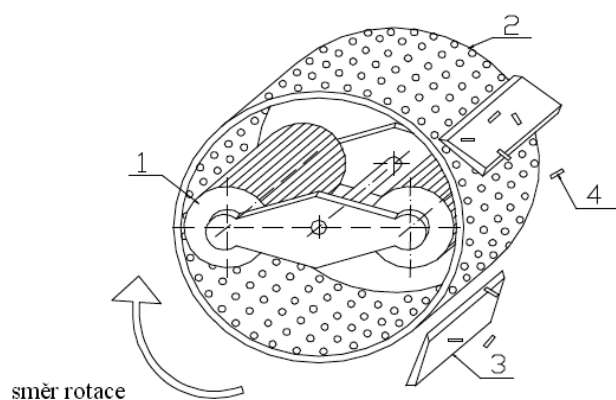


1 – matrice, 2 – šroubovice, 3 – komora, 4 – chladič, 5 – nůž, 6 – chladící médium, 7 – zpracovávaný materiál

3.6.5.2 Horizontální peletovací stroj s válcovými kladkami a matricí

V tomto stroji je materiál dodáván ve směru osy matrice. Matrice vykonává rotační pohyb, kterým je materiál promícháván. Válcové kladky jsou upevněny na neotočném unášeci a otáčejí se pouze kolem vlastní osy. Po průchodu matricí jsou pelety ořezávány noži, které jsou pevně ukotveny v rámu stroje. Matrice ani válce se při rotačním pohybu nedotýkají. Výhody: minimální opotřebování kladek a matrice. Nevýhody: nerovnoměrné dodávání materiálu pod obě kladky (KOLONIČNÝ, HASE, 2011).

Obr. 6 Horizontální peletovací stroj s válcovými kladkami a válcovou matricí (KOLONIČNÝ, HASE, 2011)

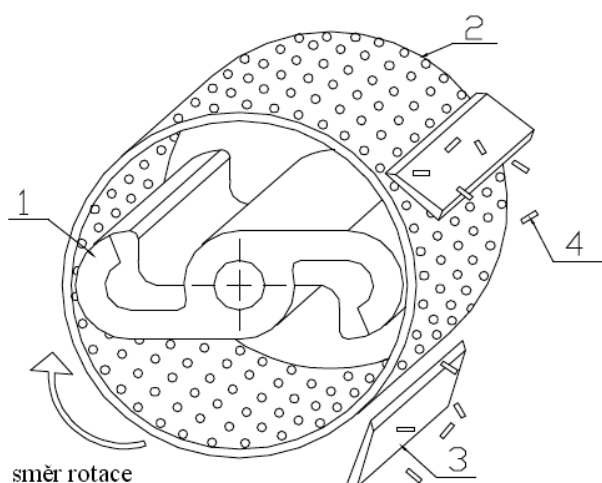


1 – lisovací kladky, 2 – ocelová matrice, 3 – nůž, 4 – pelety

3.6.5.3 Horizontální peletovací stroj s válcovou maticí a lisovacím rotorem

Konstrukce je podobná s předchozím strojem. Rozdíl je jen v odlišnosti vnitřního zařízení a kinematických poměrech. Otáčející se rotor lisuje materiál v komoře. Materiál je po protlačení přes otvory v matici odřezán noži, které jsou spojené s maticí a rotují v opačném směru jako rotor. Výhody: jednodušší konstrukce než u předchozího stroje. Nevýhody: vyšší tření mezi strojem a maticí – rychlejší opotřebení rotoru (KOLONIČNÝ, HASE, 2011).

Obr. 7 Horizontální peletovací stroj s válcovou maticí a lisovacím rotorem (KOLONIČNÝ, HASE, 2011)

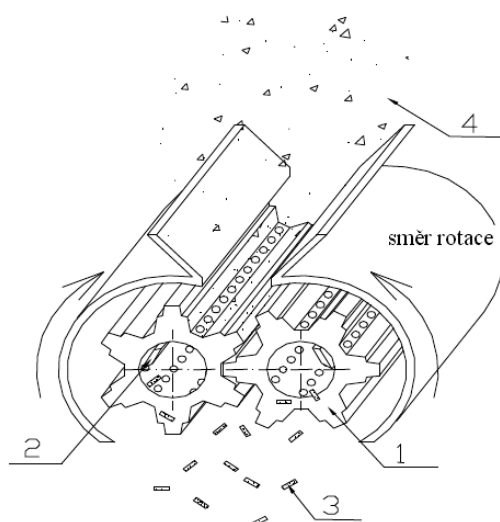


1 – lisovací rotor, 2 – ocelová matrice, 3 – nůž, 4 – pelety

3.6.5.4 Horizontální peletovací stroj s ozubenými kolečkami

Tento stroj se skládá z páru dutých válců, po obvodu ozubených, ve kterém jsou navrtány otvory. Přes tyto otvory je materiál protlačován dovnitř válců. V dutinách válců jsou uloženy nože, které řezou vylisované pelety. Výhody: jednoduché dávkování materiálu, nedochází k dotyku mezi kolečkami. Nevýhody: malý počet zubů je příčinou malého hodinového výkonu (KOLONIČNÝ, HASE, 2011).

Obr. 8 Horizontální peletovací stroj s ozubenými kolečkami (KOLONIČNÝ, HASE, 2011)

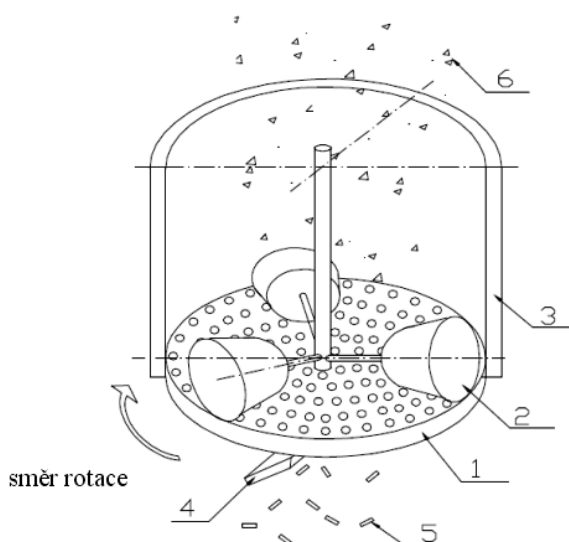


1 – ozubené kladky, 2 – nůž, 3 – pelety, 4 – lisované piliny

3.6.5.5 Vertikální peletovací stroj s kuželovými kladkami a plochou maticí

Peletování probíhá mezi třemi kladkami pootočenými o 120° a plochou kruhovou maticí. U tohoto stroje jsou použity kladky kuželového tvaru a tím je dosaženo jejich rovnoměrného opotřebení v celé délce. Kladky jsou uloženy na hřídelích bez pohonu. Výhody: rovnoměrné dávkování materiálu (KOLONIČNÝ, HASE, 2011).

Obr. 9 Vertikální peletovací stroj s kuželovými kladkami a plochou maticí (KOLONIČNÝ, HASE, 2011)

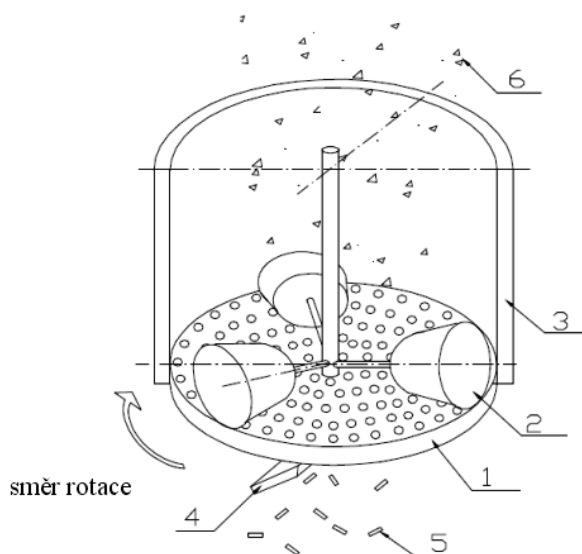


1 – plochá matice, 2 – kuželové kladky, 3 – lisovací komora, 4 – nůž, 5 – pelety, 6 – piliny

3.6.5.6 Vertikální peletovací stroj s válcovými kladkami a plochou maticí

Mezi dvěma nebo vícero válcovými kladkami uloženými na statických hřídelích a plochou kruhovou maticí s otvory požadovaného průměru dochází k peletování. Matrice je poháněna pomocí závitnice. Při dodávce shora se materiál rovnoměrně rozděluje po celé ploše matrice. Pod maticí jsou nože, které řezou pelety po jejich vylisování. Lisovací kladky jsou neustále přitlačovány k povrchu matrice. Výhody: rovnoměrné dávkování materiálu, dynamická vyváženost systému. Nevýhody: poměrně značné a nerovnoměrné opotřebení kladek (KOLONIČNÝ, HASE, 2011).

Obr. 10 Vertikální peletovací stroj s válcovými kladkami a plochou maticí (KOLONIČNÝ, HASE, 2011)

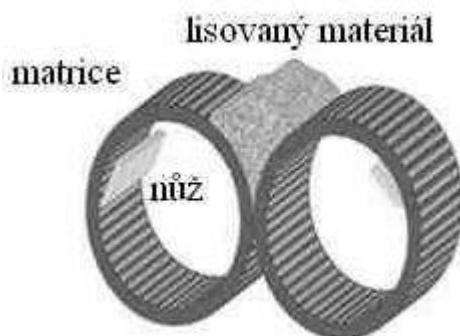


1 – plochá matrice, 2 – válcové kladky, 3 – lisovací komora, 4 – nůž, 5 – pelety, 6 – piliny

3.6.5.7 EcoTre systém

Dřevní hmota je v tomto systému zpracovávána do pelet ve dvou maticích válcovitého tvaru, které se pohybují proti sobě. Lisovaný materiál je při tom protlačován směrem dovnitř matic. Pro dosažení požadované tvrdosti pelet a snížení energetické náročnosti výroby je využívána setrvačná síla rotujících matic a speciálně upravený povrch matic. U lisů s větším výkonem je vhodné stroj doplnit o přitlačné válce (KOLONIČNÝ, HASE, 2011).

Obr. 11 EcoTre systém (KOLONIČNÝ, HASE, 2011)



3.7 Chlazení

Při lisování se pelety zahřívají na teplotu 90-120 °C. Pro dosažení potřebné pevnosti a zamezení odrolu je nutné je ihned ochladit. K tomuto účelu se používají protiproudé vzduchové chladiče (LYČKA, 2011).

3.8 Balení a expedice

Balení a expedice závisí na požadavku konkrétních zákazníků. Pro maloobchodatele jsou pelety obvykle baleny do pytlů o hmotnosti 15 kg nebo 25 kg. Větší množství je možné odebrat v tzv. big-bag vacích o hmotnosti 1000 kg. Pro velkoobchodatele typu centrálních kotelen se pelety dopravují volně ložené v cisternách (JANDAČKA et al., 2011).

3.9 Skladování a transport ke kotli

Pelety mají vhodný tvar a sypnou hmotnost pro skladování oproti ostatním tuhým palivům na bázi biomasy. Podmínkou pro dlouhodobé skladování je vytvoření suchého prostředí, aby nedocházelo k rozpadání nebo bobtnání pelet. S ohledem na sezónní ceny pelet je z ekonomického pohledu účelné vytvoření zásob nejlépe na celou topnou sezónu. Větší zásoby paliva je možné uskladnit ve skladu pelet, který lze řešit jako dřevěnou ohradu, podzemní nebo nadzemní nádrž, vybetonovaná jímka nebo pytlové silo z pružné tkaniny. Doplňování pelet do skladu se provádí vysypáním z transportních pytlů, korby nákladního auta nebo nafoukáním z cisteren hadicí pomocí stlačeného vzduchu (KLOBUŠNÍK, 2003).

Pro svůj tvar a snadnou manipulovatelnost lze pro pelety využít automatického systému dopravy do kotle respektive do topeniště. Dávkování pelet může být řešeno přes sběrnou hubici pneumatickým dopravníkem nebo šnekovým dopravníkem vynášejícím pelety ze sběrného žlabu (STUPAVSKÝ, HOLÝ, 2010).

4 POJIVA A ADITIVA

Výroba ušlechtilých paliv z biomasy musí splnit jistá energetická, ekonomická a environmentální kritéria. Důležité je zabezpečit určitý komfort a bezpečnost při využívání takového biopaliva. V neposlední řadě je také nutné dodržet normy kvality. Hlavní motivací pro použití pojiv a aditiv (přísad) při výrobě pelet je zefektivnění výroby a zlepšení tepelně – mechanických vlastností. Při nedostatečném obsahu hlavního pojiva ligninu, zejména nedřevní biomasy, lze použít různá anorganická a organická pojiva a aditiva. Dalším důvodem pro užití pojiv a aditiv může být ovlivnění emisí při spalování nebo potlačení negativních vlastností popela. Přídavek pojiv a aditiv sebou mnohdy přináší kromě pozitivních vlastností i nedostatky a proto je nutné jejich účinek zanalyzovat. Dále se pro ovlivnění vlastností pelet nabízí možnost vhodné kombinace více různých pojiv, kdy každé pojivo ovlivňuje jinou vlastnost.

Použitím pojiv a aditiv lze dosáhnout následujících výhod:

- zvýšení pevnosti, objemové hmotnosti a odolnosti vůči otěru,
- ochrany proti působení vlhkosti, plísní a hub,
- zvýšení výhřevnosti paliva,
- změny vlastností a množství popela,
- snížení nákladů na výrobu pelet,
- využití surovin samostatně obtížně spalitelných,
- využití materiálů nespalsitelných,
- ovlivnění emisních parametrů při spalování.

Mezi použitelná pojiva a aditiva s pozitivním efektem na pelety řadíme následující látky: lignin, škrob, melasa, glycerol, parafin a palmitin, karboxymethylcelulózu, NaOH, CaCO₃, MgCO₃, Na₂CO₃, močovinu, žitnou a kukuřičnou mouku, lignosulfonát, motorový olej, rostlinný olej, otruby a odpadní brambory (JANDAČKA et al., 2011; LYČKA, 2011).

V biomase zpracovávané na pelety se však přirozeně vyskytují složky, které je možné nazvat přírodními pojivy. Jsou jimi lignin, škrob, tuk a ve vodě rozpustné sacharidy. Úkolem při peletování je tato pojiva aktivovat a využít tak jejich pojivových schopností (KALIYAN, MOREY, 2009).

Aktivace (změkčení) přírodních pojiv nad teplotu skelného přechodu je důležitá pro trvalé slepení částic. Přírodní pojiva jsou aktivována pod vysokým tlakem, v přítomnosti vlhkosti (např. pro ve vodě rozpustné sacharidy) a v některých případech zvýšenou teplotou (např. lignin, bílkoviny, škrob a tuk). Po odstranění tlaku a ochlazení pojivo ztvdne a vytvoří pevné vazby mezi částicemi. Přítomnost pevných vazeb mezi částicemi prokázala mikroskopická analýza prováděná u pelet z kukuřičných posklizňových zbytků (*Zea mays*) a Prosa prutnatého (*Panicum virgatum*).

Obsah přírodních pojiv v kukuřici: bílkoviny 3,6 %, škrob 0,4 %, a tuk 0,7 %, ve vodě rozpustné sacharidy 7,9 %, lignin 8,8 %.

Obsah přírodních pojiv v prosu: bílkoviny 3,9 %, škrob 1,0 %, a tuk 0,9 %, ve vodě rozpustné sacharidy 2,2 %, lignin 9,2 % (KALIYAN, MOREY, 2010).

Teplota skelného přechodu tj. měknutí je u kukuřice a prosa průměrně 75 °C. Optimální podmínky pro peletování jsou tedy teploty větší nebo rovny 75 °C a vlhkost 8–15 % (KALIYAN, MOREY, 2009).

Díky přítomnosti těchto přirozených přírodních pojiv lze z posklizňových zbytků kukuřice a prosa vytvořit pelety o průměru 10 mm a objemové hmotnosti 528 až 610 kg/m³ (KALIYAN et al., 2009).

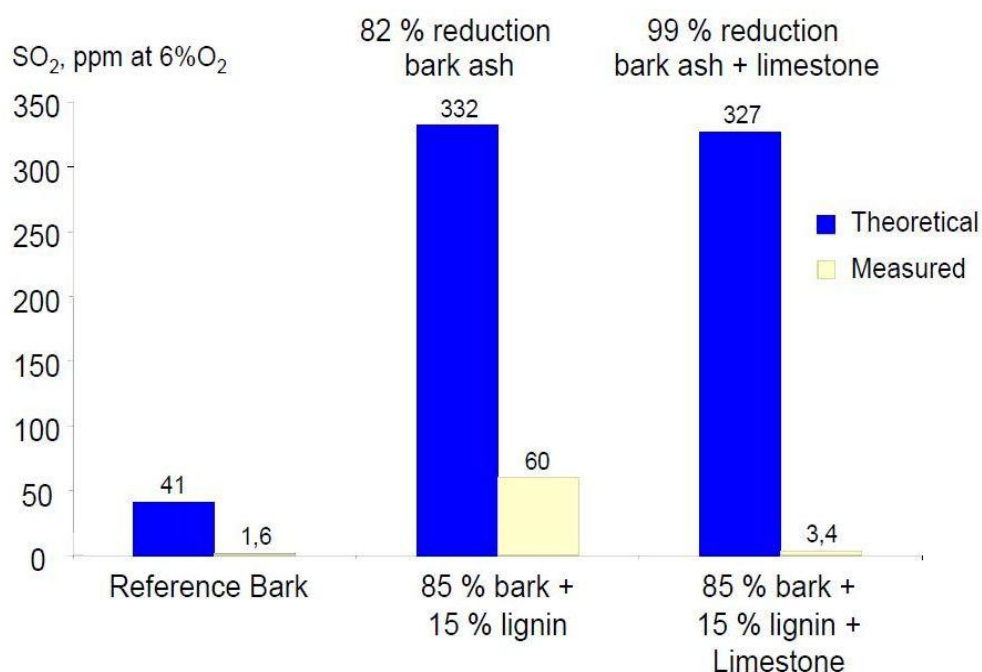
4.1 Lignin

Lignin je jednou ze tří hlavních stavebních složek rostlinných biomas. Chemicky je to aromatický prostorový heteropolymer fenylypropanových jednotek. Fenolická polymerní struktura činí z ligninu velmi obtížně biologicky rozložitelnou složku. Obsah ligninu v rostlinách se různí. Dřevo jehličnanů obsahuje 25–30 % hm., dřevo z listnatých stromů 18–25 % hm., sláma 14–17 % hm. (STRAKA et al., 2006).

Vlastnosti ligninu: výhřevnost 26-27 MJ/kg, hustota suchého práškového ligninu 630-720 kg/m³, obsah síry 2 – 3 %, obsah chlóru < 0,01 %, obsah popela 0,8 %.

Přídavek ligninu zvyšuje pevnost a hustotu pelet. Lignin je hydrofobní a proto pelety s přídavkem ligninu vykazují dobrou odolnost vůči vodě. Popel z pelet s přídavkem ligninu nevykazuje slinutí. Při spalování nedochází k ulpívání na stěnách tepelného zařízení, neprojevují se změny emisí NO_x , CO, HCl, ale zvyšují se emise SO_2 . Emise SO_2 je možné omezit přídavkem vápence viz graf 1. Se zvyšujícím se přídavkem ligninu se zvyšuje pevnost pelet a klesá podíl jemných částic. Lignin je možné využít jako pojivo pro pelety z materiálů, které dosud nebylo možné peletovat (TOMANI et al., 2011).

Graf 1 *Produkce emisí SO_2 při spalování čisté kůry, kůry s přídavkem ligninu a kůry s přídavkem ligninu a vápence (TOMANI et al., 2011)*



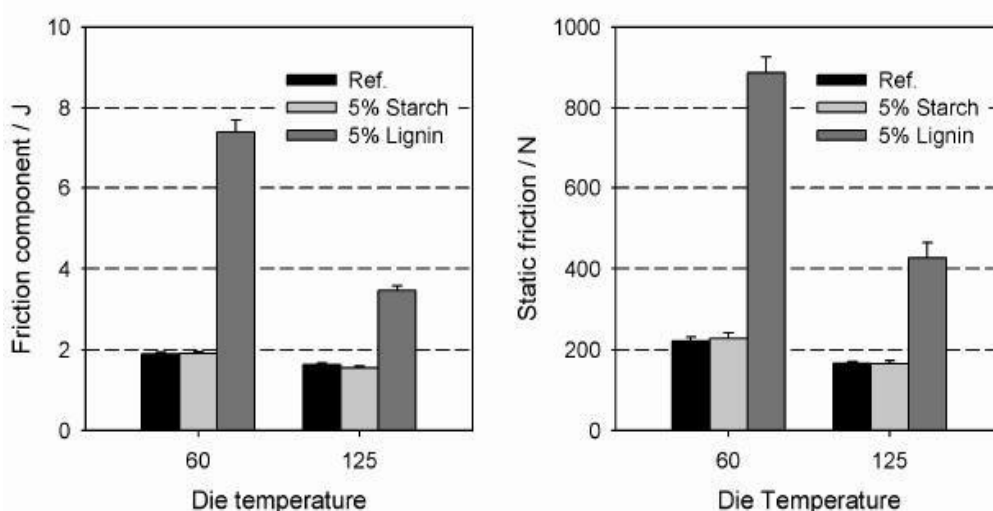
Zavedení nákladově efektivního způsobu získávání ligninu z odpadních výluhů papírenského průmyslu dává možnost, využít jej jako pojivo a přísadu při výrobě pelet. Pokusně byl zkoumán přídavek 5 % ligninu k dřevním pilinám. Cílem bylo ověřit třecí vlastnosti směsného materiálu a pevnost pelet při dvou různých teplotách (60 °C a 125 °C) peletování. Piliny pocházely z borovice s velikostí částic 1–4 mm a vlhkostí 11,3 %. Průměr otvorů v matici byl 8 mm a délka kanálku v matici 55 mm.

Pevnostní zkoušky pelet prokázaly, že lignin při obou teplotách zvyšuje pevnost pelet a dále, že tato pevnost je při teplotě 125 °C vyšší než při teplotě 60 °C. Vliv teploty působí na změkčení dřeva vyskytující se při teplotách nad teplotou skelného přechodu ligninu, čímž se snižuje viskozita ligninu a zvyšuje jeho přilnavost.

Dochází tak k menšímu zpětnému roztažení pelet po průchodu maticí a tedy k vyšší pevnosti pelet.

Lignin má významný vliv na tření pelet procházejících maticí. Tření se přidavkem ligninu obecně výrazně zvýšilo. Při teplotě 125 °C bylo tření nižší, než při teplotě 60 °C cca o 100 % viz graf 2 a tím se ukazuje, že tření způsobené přidavkem ligninu se minimalizuje při překročení teploty skelného přechodu ligninu. U referenčního vzorku samotných pilin však tento efekt nebyl pozorován. Síla potřebná k protlačení materiálu maticí se s přidavkem ligninu zvýšila o 15,4 %. Negativní vliv zvýšeného tření je možné potlačit zmenšením tloušťky matrice o 15 % a tím zkrátit dobu zdržení pelety v matici. Tímto způsobem by bylo možné vyrábět kvalitní pevné pelety (NIELSEN, 2009).

Graf 2 Vliv přidavku ligninu a škrobu na tření při teplotě 60 °C a 125 °C (NIELSEN, 2009)



Lignin s vlhkostí 5 % byl také pokusně testován jako pojivo pro slaměné pelety v přidavku 0,5 %, 2 % a 4 %. Sláma byla před peletováním napařena párou na 70 °C.

Výsledky pokusu ukázaly, že s rostoucím přidavkem ligninu se zmenšuje podíl jemných částic, ale rozdíl mezi 2 % a 4 % již nebyl patrný. Se zvyšujícím se přidavkem ligninu roste objemová hmotnost pelet z hodnoty 610 kg/m³ na 650 kg/m³ a také jejich délka. Množství přidávaného ligninu nepůsobí na změnu obsahu vody ve slaměných peletách. Pokusy dále ukázaly snížení produkce pelet o 13 %. Obsah popela čistého ligninu je 1,5 %. Obsah popela slaměných pelet bez přidavku ligninu byl 4,4–5,2 % a proto by se dalo očekávat mírné snížení obsahu popela u pelet

s přídavkem ligninu. Obsah popela však byl naopak mírně vyšší, což je spíše způsobeno změnami slámy (NIELSEN, 2009).

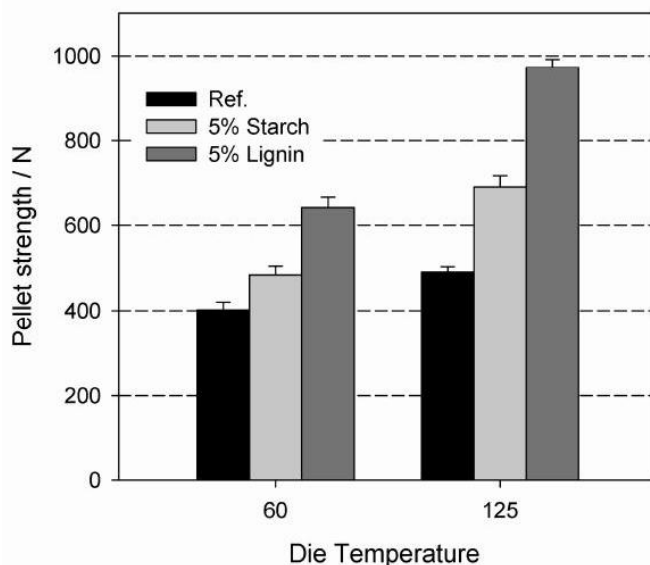
4.2 Škrob

Škrob je hlavní zásobní živinou rostlin a slouží jako pohotová zásoba glukosy. Škrobová zrna nebo škrobové granule jsou uloženy v nerozpustných micelách a mají druhově specifický, geneticky daný tvar a rozměry. Většina nativních škrobů je směsí amylosy a amylopektinu, přičemž u některých rostlin byly vyšlechtěny odrůdy s převahou amylosy (kukuřice, ječmen, rýže, brambory) a u voskových odrůd obilovin převládá amylopektin. Mezi hlavní zdroje škrobu patří brambory (*Solanum tuberosum*), pšenice (*Triticum aktivum*), žito (*Secale cereale*), ječmen (*Hordeum vulgare*), oves (*Avena sativa*), kukuřice (*Zea mays*), rýže (*Oryza sativa*), laskavec (*Amaranthus hypochondriacus*) a ve světě také topinambur (*Heliantus tuberosus*) nebo rostlina zvaná různě dle místa výskytu kasava, maniok, tapioka (*Manihot esculenta*). Obilná zrna obsahují 40 až 90 % škrobu v sušině a hlízy rostlin od 65 do 85 % (VELÍŠEK, 2002).

Při použití škrobu jako pojiva a aditiva se předpokládá snížení tření při protlačování materiálu matricí, čímž by se měl snížit elektrický příkon a opotřebení funkčních částí peletovacího lisu. Mělo by dojít ke zvýšení odolnosti pelet vůči otěru. Nepředpokládá se snížení výhřevnosti, neboť výhřevnost například kukuřičného škrobu je 17 MJ/kg. Dále se neočekává výrazná změna v produkci emisí, objemové hmotnosti a vlhkosti pelet (JANDAČKA et al., 2011).

Přídavek škrobu k dřevním peletám zvyšuje jejich pevnost. Tato pevnost se s rostoucí teplotou při peletování zvyšuje. Při teplotě 125 °C se tedy zvýšila více, než při teplotě 60 °C viz graf 3 (NIELSEN, 2009).

Graf 3 Pevnost pelet s přidavkem škrobu a ligninu při teplotě 60 °C a 125 °C (NIELSEN, 2009)



Použití škrobu jako pojiva a aditiva je možné nalézt v řadě různých případů.

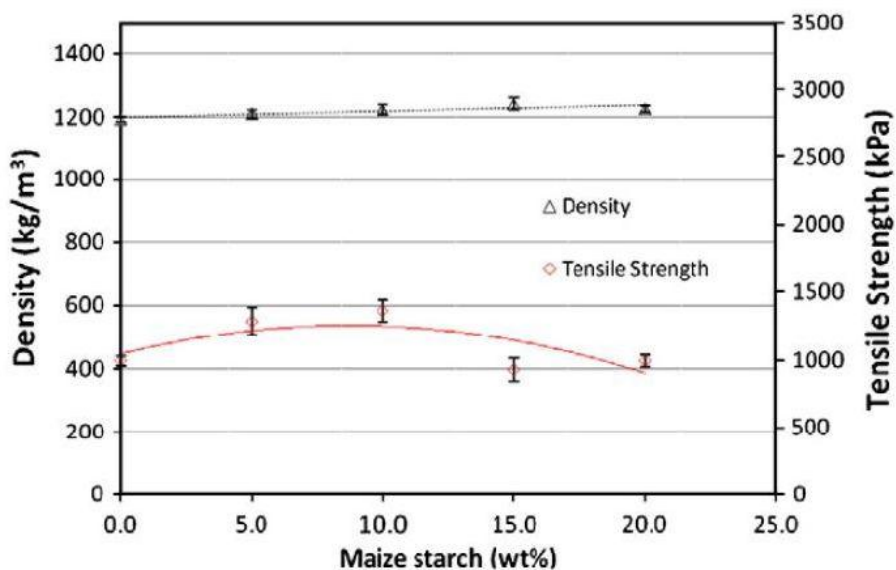
Indonésie je třetím největším producentem kakaových bobů na světě. Velké množství zbylých částí po odstranění kakaových bobů se nabízí využít jako zdroj energie. Surovina se suší a drtí na velikost částic menší než 1 mm. Následně je smíchána s pojivem (škrobem) v poměru 70:30 a peletována. Výhřevnost takto vzniklých pelet je kolem 17,0 MJ/kg (SYAMSIRO et al., 2012).

Peletování javorových, dubových a bukových listů přináší možnost zpracovat a spalovat jinak nevyužitelný odpad. Použité pojivo je v tomto případě bramborový škrob (2 % hm. a 4 % hm.) a žitná mouka (4 % hm.). Škrobová pojiva mají velmi pozitivní vliv na trvanlivost listových pelet. Výsledky pojivých účinků žitné mouky (4 % hm.) jsou srovnatelné s výsledky pojivých účinků bramborového škrobu při 2 % hm. Nejlepší výsledky odolnosti a otěru dosáhl bramborový škrob 4 % hm. Hodnoty otěru se snížily z rozmezí 10,4-12,6 % bez pojiva na hodnoty 1,3–3,0 % s pojivem. Mechanické vlastnosti listových pelet se ukazují být srovnatelné s peletami ze dřeva, ačkoli výhřevnost je nižší (cca 17 MJ/kg) a obsah popela je vyšší (cca 10 %) (STEGELMEIER, SCHMITT, KALTSCHMITT, 2011).

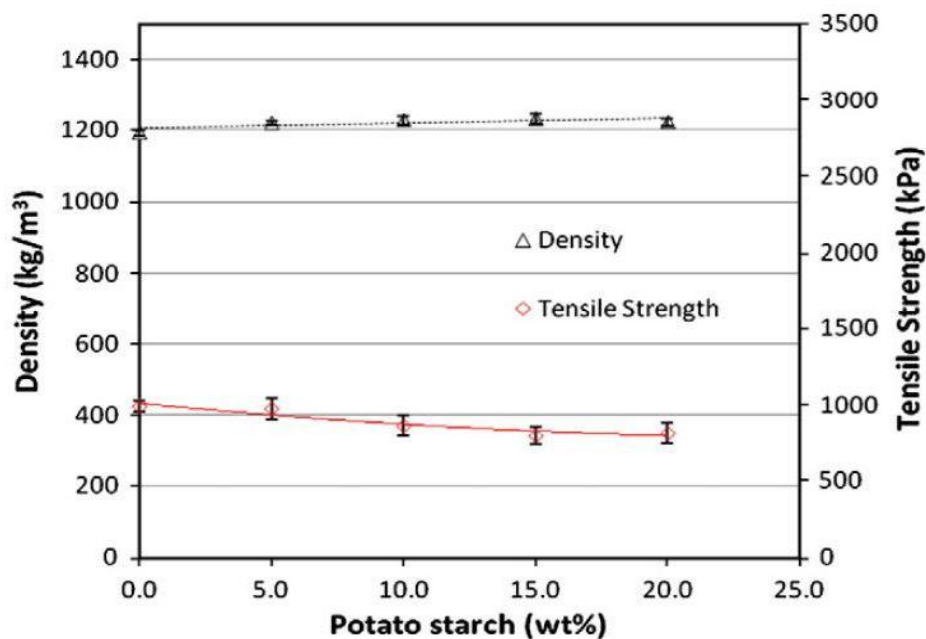
Škrob se také osvědčil jako pojivo při zpracování odpadních produktů z průmyslu palmového oleje. Zkoušena byla postupně tři organická pojiva. Jmenovitě kukuřičný škrob, škrob tapioka a bramborový škrob. Kukuřičný škrob byl

z pojiv nejúčinnější. Pevnost v tahu u pelet s kukuřičným škrobem vzrostla při 10 % hm. na hodnotu 1057 kPa z 930-1007 kPa viz graf 4. Škrob tapioka a bramborový škrob měl velmi malý vliv při nízkých koncentracích 5–10 % hm. Další přídavky až do 20 hm. % zhoršili kvalitu pelet, pokud jde o pevnost v tahu, i když hustota se mírně zvyšovala viz graf 5 a 6 (RAZUAN et al., 2011).

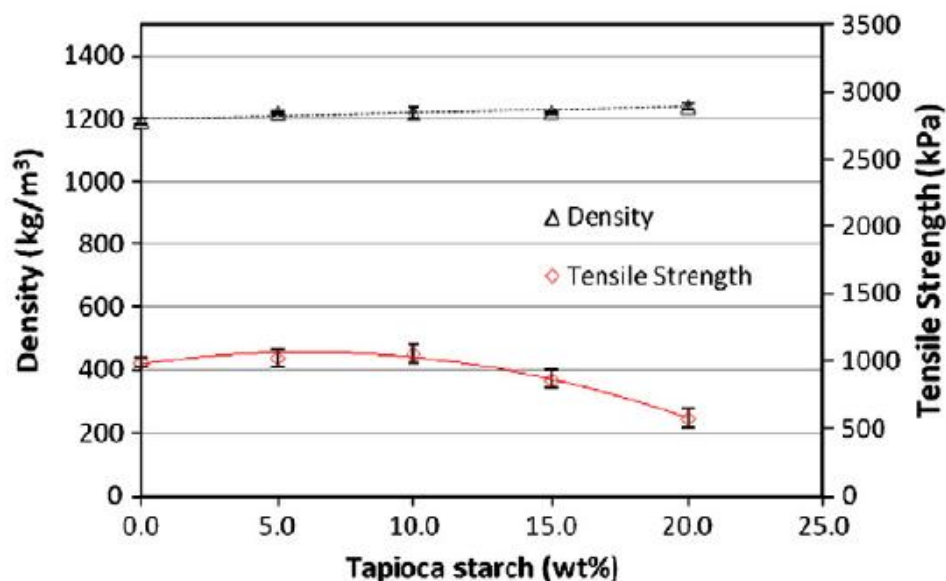
Graf 4 *Vliv kukuřičného škrobu na pevnost v tahu a hustotu pelet (RAZUAN et al., 2011)*



Graf 5 *Vliv bramborového škrobu na pevnost v tahu a hustotu pelet (RAZUAN et al., 2011)*



Graf 6 Vliv škrobu tapioka na pevnost v tahu a hustotu pelet (RAZUAN et al., 2011)



Zkoumán byl rovněž účinek různých druhů škrobů. Konkrétně nativní pšeničný škrob, nativní bramborový škrob, oxidovaný kukuřičný škrob a oxidovaný bramborový škrob. Výsledek ukázal, že škrob zvyšuje životnost pelet. Oxidované škroby zvýší trvanlivost více než nativní škroby a nejlepší výsledky byly získány přidáním oxidovaného kukuřičného škrobu. Trvanlivost se nezměnila ani během 7 měsíců skladování. Spotřeba energie přidáním škrobu klesá. Oxidovaný kukuřičný škrob ukázal i v tomto směru nejlepší výsledek. Přidáním 2,8 % oxidovaného kukuřičného škrobu byla průměrná spotřeba energie snížena o 14 % (STAHL et al., 2012).

Výsledky získané testováním pelet z biomasy topolu ukázaly, že pelety vykazují nízký obsah vlhkosti (8,3 %), vysoké objemové hmotnosti (730 kg/m^3) a mechanickou odolnost 97,6 % při velikosti částic 4 mm. Nicméně se ukazuje, že energie potřebná k peletizaci je vysoká a také, že proces stlačování provází vibrace a ucpávání matrice. Z tohoto důvodu byla použita jako přísada škrob v dávkách 2,5 %, 5 % a 7 %. Vlhkost na vstupu byla udržována v rozmezí 12,5–13 %, aby se zabránilo vzniku pelet s obsahem vody vyšším než 10 %. Přídavek 2,5 % škrobu prokázal snížení spotřeby měrné energie z 138 kWh/t na 79 kWh/t , což představuje snížení o 43 %, ale další navýšení již na spotřebu měrné energie nemělo vliv. Zachovány byly příznivé hodnoty objemové hmotnosti ($560\text{--}590 \text{ kg/m}^3$) a mechanické odolnosti (95,9–97,3 %) při vlhkosti pelet 9–9,9 % (MEDIIVILLA et al., 2012).

4.3 Kukuřičná a žitná mouka

Mouku získáváme mletím. Mletí je složitý proces, jehož cílem je co nejvíce oddělit obalové vrstvy zrna od endospermu a rozmělnit endosperm na jemné podíly. V několika technologických krocích probíhá vždy drtící operace s následným tříděním meliva. Mletí žitného zrna vyžaduje násilnější mletí, neboť má větší soudržnost obalových vrstev endospermu a jádro se hůře odděluje. Při zpracování kukuřice probíhá nejprve odklíčkování rozbitím zrna za sucha a následně získaná odklíčkováná kukuřičná drť se poté mele (PELIKÁN, SÁKOVÁ, 2001).

Kukuřice a žito jsou hlavními zdroji škrobu. Obsah v kukuřici je 65–75 %, u žita 52–57 %. Důležitými složkami žitné mouky jsou také arabinoxylany, které mají vysokou schopnost vázat vodu a v přítomnosti oxidačních činidel tvoří měkké a elastické gely (VELÍŠEK, 2002).

Kukuřičnou a žitnou mouku jako pojivo lze nalézt v následujících aplikacích.

Odvodněný sušený vodárenský kal z úpravené pitné vody představuje potenciální zdroj materiálu pro přípravu peletizovaného paliva. Společně s dřevěnými pilinami je vodárenský kal po předchozí analýze na obsah uhlíku míchán v takovém poměru, aby výsledná směs obsahovala alespoň 40 % hm. uhlíku a bylo dosaženo spalného tepla minimálně 16 MJ/kg. Suché dřevěné piliny jsou napuštěné oxidovadlem, které umožňuje lepší prohořívání paliva. Oxidovadlo je tvořeno 20 % roztokem KNO_3 v dávce 50 až 150 l na 100 kg pilin. Pojivo pro tuto směs tvoří modifikovaná kukuřičná mouka dispergovaná v roztoku obsahující hydroxid sodný, chlornan sodný, vápenné mléko a bakteriální α -amylázu a dále termoplastické činidlo v množství od 0,05 do 0,15 % hm., tvořené vodnou disperzí žitné mouky, přičemž doplňkem do 100 % je voda. Tyto příměsi zlepšují proces peletování a také odolnost proti otěru a pevnost pelet. Výhodou této směsi je energetické zhodnocení organické hmoty obsažené v železitých vodárenských kalech a dále v regeneraci čířící soli FeCl_3 , kterou je možné získat z popela vzniklého spálením pelet (KOLÁŘ et al., 2007; KOLÁŘ et al., 2009).

Další možností využití kukuřičné a žitné mouky jako pojiva je příprava pelet z víceletých píceň a z jetele lučního (*Trifolium pratense*). Desintegrováním biomasy travin, zejména víceletých píceň lze zpracovat hydrolýzou na cukerné roztoky pro výrobu bioetanolu nebo melasy. Značná část organické hmoty (10 až 30 %)

nepodlehne hydrolytickým procesům a je proto možné ji využít jako biopalivo ve formě pelet (KOLÁŘ et al., 2007).

Zbytek nadzemní hmoty jetele lučního též získáme při jeho zpracování pro izolaci fyziologicky cenných látek v biorařinarii nebo pro přípravu cukerných roztoků pro výrobu bioetanolu a krmiv (KOLÁŘ et al., 2011).

Pojivem pro pelety ze zbytkové biomasy jetele lučního z biorařinarii po enzymatické hydrolyze je kukuřičná mouka. Škrob kukuřičné mouky je mírně oxidován NaOH a NaClO a následně je enzymaticky hydrolyzován α -amylázou. Termoplastickou přísadou je žitná mouka, kdy 1 kg žitné mouky je rozmixován s 20 l horké vody. Horká směs žitné mouky a kukuřičného škrobu s obsahem sušiny 20 až 25 % se použije po naředění k peletizaci. Materiál je před vstupem do peletizačního lisu postřikán 6 % roztokem pojiva s dávkou 10 l na 100 kg jetelové hmoty. Vzniklé pelety obsahují 90 % hm. hmoty jetele lučního, 0,6 % hm. modifikované kukuřičné mouky, 0,6 % hm. žitné mouky a zbylou část do 100 % tvoří voda.

Desintegrovanou biomasu víceletých pícein v množství 60 až 98 % hm. je možné peletovat s pojivem z modifikované kukuřičné mouky v množství 0,5 až 1,5 % hm. a žitné mouky v rozsahu 0,05–0,15 % hm. Doplněk do 100 % hm. tvoří voda (KOLÁŘ et al., 2007).

Kombinací modifikované kukuřičné mouky a nativní žitné mouky vzniká velmi výhodné pojivo, které má vysoký stupeň retrogradace. Po vylisování a vychladnutí přechází do gelového stavu. Na rozdíl od běžných škrobů a škrobových mouček, kterých je nutné přidávat do pelet řádově desítky procent, postačí u kombinace kukuřičné a žitné mouky množství řádově jednotek procent. Retrogradovanou modifikovanou kukuřičnou moukou je biomasa spojována a nativní žitná mouka působí jako pomocný termoplastifikátor (KOLÁŘ et al., 2010).

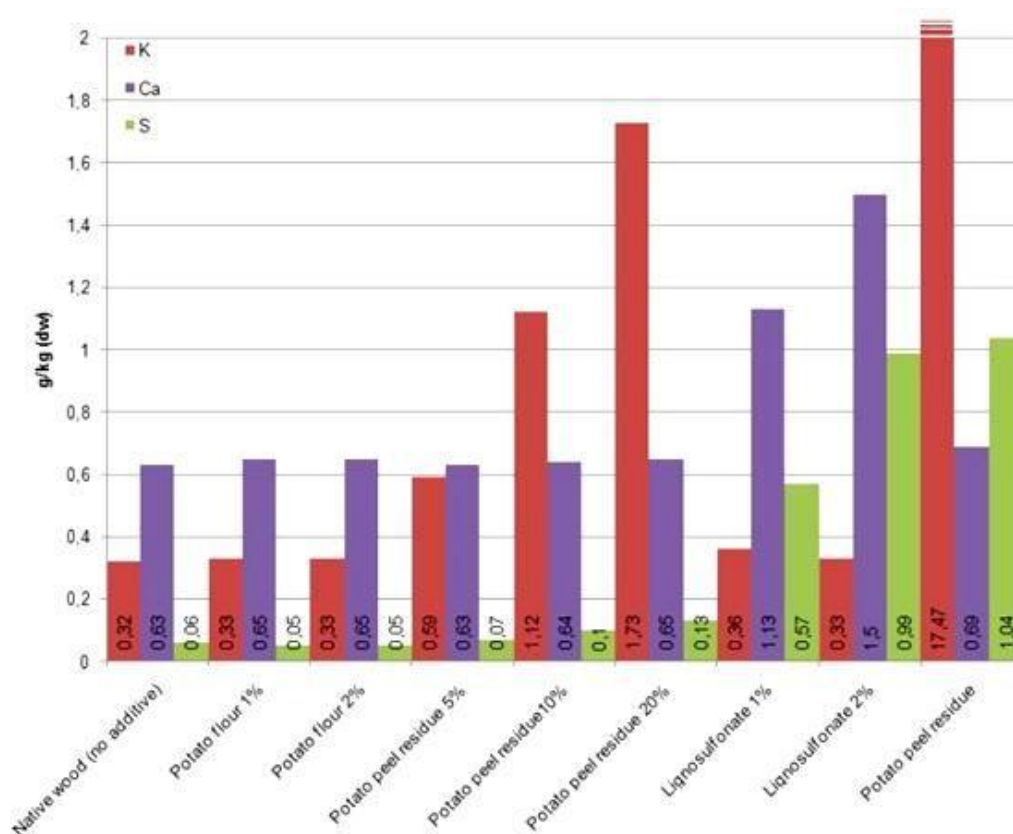
4.4 Lignosulfonát

Lignosulfonát je vedlejším produktem při sulfítové rozvláknování dřeva na buničinu. Používá se při výrobě betonu, cementu, sádrokartonu, pro vrty ropného a plynárenského průmyslu především pro jeho schopnost snižovat viskozitu.

Lignosulfonát byl použit jako pojivo v přídávku 1 a 2 % pro směs pilin a hoblin z borovice bez kůry namletou na částice o délce 6 mm. Lignosulfonát zvýšil rychlost výroby pelet. V porovnání s čistým dřevem to byl zvýšený výkon výroby pelet z 144

kg/h na 180 kg/h, což přináší úsporu energie a nákladů. Lignosulfonát měl pozitivní vliv na kompaktnost pelety, ale neměl významný vliv na hodnoty výhřevnosti. Lignosulfonát mírně zvyšuje obsah alkalických kovů, což by mohlo představovat problém s případnou korozí tepelného zařízení. Výrazně se zvyšuje obsah síry působící na zvýšení emisí SO_x viz graf 7. S ohledem na dodržení norem by bylo vhodné využívat lignosulfonát v příměsi ≤ 0,5 %. Při posuzování degradace u pelet obsahujících lignosulfonát nebyl zaznamenán žádný negativní vliv tohoto pojiva (KUOKKANEN et al., 2011).

Graf 7 Výsledky elementární analýzy draslíku, vápníku a síry u dřevních pelet, u pelet s přidavkem bramborové mouky, bramborových slupek a lignosulfonátu, a bramborových slupek (KUOKKANEN et al., 2011)



Topolové pelety byly také vyráběny s přidavkem lignosulfonátu v dávce 2,5 %, 5 % a 7 %. Přidavek lignosulfonátu opět prokázal snížení spotřeby měrné energie (z 138 kWh/t na 128-106 kWh/t) a navíc vykazoval lepší hodnoty objemové hmotnosti (610–650 kg/m³) a mechanické odolnosti (98,0–98,8 %) vůči škrobu viz tab. 2.

Tabulka 2 Vliv přidavku lignosulfonátu a škrobu na vlhkost, objemovou hmotnost, hustotu částic a mechanickou odolnost pelet (MEDIIVILLA et al., 2012)

Specific pelletisation surface: 5.6 cm ² /kW					
Die compression: 26 mm					
Milling size: 4 mm					
Dry additives (wt.%) (d.b.)		Physical characteristics			
Maize starch	Lignosulphonate	Moisture content (wt.%) (w.b.)	Bulk density (kg/m ³) (w.m.)	Particle density (kg/m ³) (w.m.)	Mechanical durability (wt.%) (w.m.)
2.5	0	9.9	570	970	95.9
5.0	0	9.8	560	960	97.3
7.0	0	9.0	590	1000	96.4
0	2.5	9.9	610	960	98.0
0	5.0	8.5	650	1080	98.8
0	7.0	9.5	620	1060	98.4

wt.%; weight %; d.b.: dry basis ; w.b.: wet basis; w.m.: wet matter.

Škrob však vykazuje nižší spotřebu měrné energie a proto byla zkoumána směs lignosulfonátu a škrobu jako příměs pro peletizaci viz tab. 3.

Tabulka 3 Vliv přidavku lignosulfonátu a škrobu na vlhkost pelet a spotřebu měrné energie (MEDIIVILLA et al., 2012)

Specific pelletisation surface: 5.6 cm ² /kW			
Die compression: 26 mm			
Milling size: 4 mm			
Dry additives (wt.%) (d.b.)		Moisture content at the inlet (wt.%) (w.b.)	Specific energy (kWh/dry t)
Maize starch	Lignosulphonate		
2.5	0	13.0	79
5.0	0	12.8	78
7.0	0	12.5	80
0	2.5	10.5	128
0	5.0	9.0	106
0	7.0	10.0	110

wt.%; weight %; d.b.: dry basis; w.b.: wet basis.

Přídavek směsi byl 2 % (1,05 % lignosulfonátu + 0,95 % škrobu), 3 % (1,06 % lignosulfonátu + 1,94 % škrobu), 4 % (1,06 % lignosulfonátu + 2,94 % škrobu) a 5 % (1,07 % lignosulfonátu + 3,93 % škrobu). Lignosulfonát obsahuje 6,3 % hm. síry a proto jeho obsah ve směsi byl volen tak, aby obsah síry v peletách nebyl vyšší než 0,1 % hm. Výsledky přidavku směsi lignosulfonátu a škrobu ukazuje tabulka 4 (MEDIAVILLA et al., 2012).

Tabulka 4 Vliv přidavku směsi lignosulfonátu a škrobu na vlhkost, objemovou hmotnost, hustotu částic a mechanickou odolnost pelet (MEDIAVILLA et al., 2012)

Specific pelletisation surface: 5.6 cm ² /kW					
Die compression: 26 mm					
Milling size: 4 mm					
Dry additives (wt.%) (d.b.)		Physical characteristics			
Maize starch	Lignosulphonate	Moisture content (wt.%) (w.b.)	Bulk density (kg/m ³) (w.m.)	Particle density (kg/m ³) (w.m.)	Mechanical durability (wt.%) (w.m.)
0.95	1.05	6.3	630	1070	93.2
1.94	1.06	8.4	600	1030	95.6
2.94	1.06	8.0	610	1100	97.1
3.93	1.07	7.2	610	1130	97.1

wt.%: weight %; d.b.: dry basis; w.b.: wet basis; w.m.: wet matter.

4.5 Melasa

Melasa je zbytkem po vycukření cukrové řepy nebo cukrové třtiny. Obsahuje ještě kolem 50 % hm. cukru a při výrobě představuje asi 5 % vedlejších produktů. Melasa se používá jako krmivo, je významnou surovinou pro výrobu droždí, etanolu, kyseliny mléčné, citronové, aminokyselin atd.

Melasa ve formě pojiva je uvedena u biopaliva na bázi slámy. Peletovaná směs obsahuje slámu s obsahem vody do 20 % a v hmotnostním podílu 75 až 98,9 %. Dále obsahuje spalitelné přísady v podílu 0,99 až 19 % hmotnostních a nespalitelné příměsi v podílu 0,01 až 20 % hmotnostních. Spalitelné přísady mohou tvořit samostatně nebo v kombinaci energetické rostliny, dřevo a stromová kůra s obsahem

vody maximálně 50 % hmotnostních. Melasa je přidávána v podílu 0,1 až 1 % hm. (HUTLA, BEJLEK, 2010).

Pro peletování skořápek palmy olejné (*Elaeis guineensis*) byla využita jako pojivo melasa v obsahu 15–25 %. Přídavek melasy se projevil ve zvýšené odolnosti a otěru pelet. Pokusy o peletizaci skořápek palmy olejné připravené bez přidání pojiva nebyly úspěšné (ARZOLA et al., 2012).

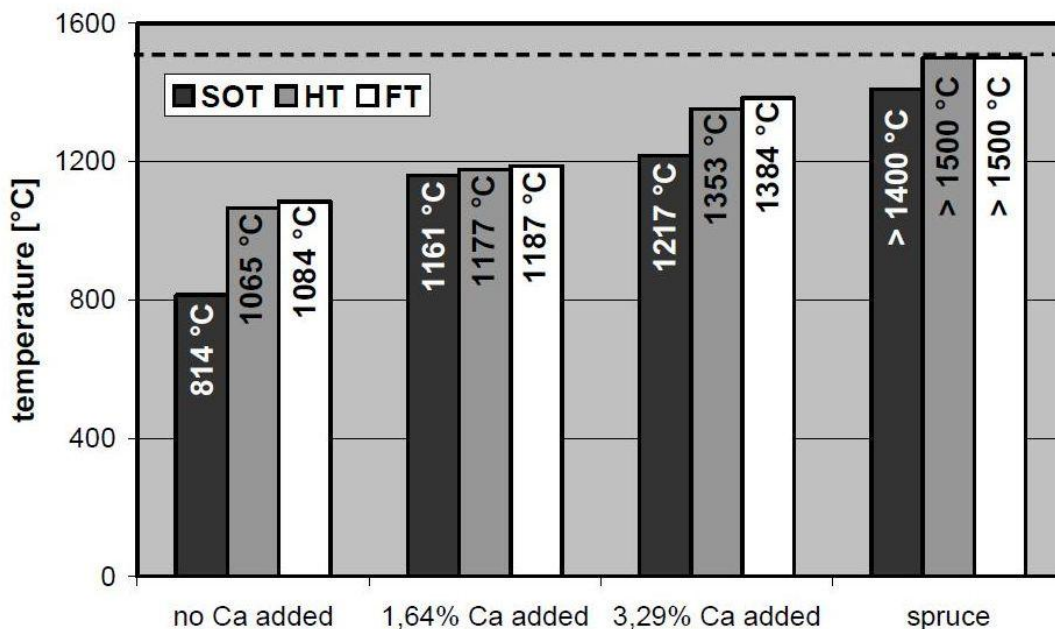
4.6 Uhličitan vápenatý a hořečnatý, oxid vápenatý

V přírodě se uhličitan vápenatý (CaCO_3) vyskytuje ve formě vápence, uhličitan hořečnatý (MgCO_3) jako nerost magnezit, případně v kombinaci uhličitan hořečnatovápennatý neboli dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Oxid vápenatý CaO je obvykle vyráběn tepelným rozkladem vápence. Přídavek vápence je znám již ze spalování uhlí s vyšším obsahem síry, kde se osvědčil pro snížení produkce SO_2 . Stejný efekt se očekává při spalování pelet s vyšším obsahem síry. Spálením vápence vzniká síran vápenatý CaSO_4 a proto se předpokládá zvýšená produkce popela. Je očekáváno nepatrné snížení výhřevnosti a otěru vzdornosti, nepatrné zvýšení objemové hmotnosti a odporu při protlačování materiálu maticí. Očekává se zvýšení teploty tání popela (JANDAČKA et al., 2011).

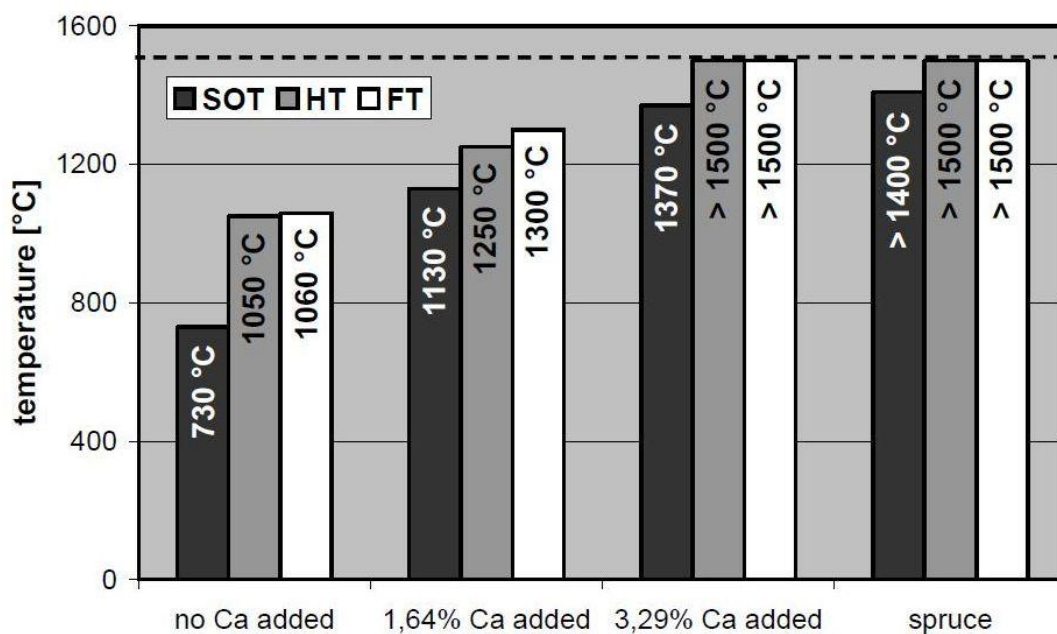
Přídavek uhličitanu vápenatého CaCO_3 , uhličitanu hořečnatého MgCO_3 a oxidu vápenatého CaO byl použit při peletování pšeničné a ječné slámy o obsahu aditiv 2,5 a 5 %. Objemová hmotnost pelet vyráběných ze slámy se pohybovala v rozsahu 650–700 kg/m^3 . Druh aditiva, ani množství nemá významný vliv na objemovou hmotnost pelet. Stejně tak v případě obsahu vody pelet, kdy byly zjištěny hodnoty 9–10 %. Hodnoty otěru pelet se pohybovaly v rozmezí od 3,8 do 7,9 %. Obsah popela ze slámy pelet se zvyšuje s množstvím přidaných aditiv. Obsah popela čisté slámy je 5,9 %. S přídavkem 2,5 % aditiv se zvyšuje na 7,5 %, s přídavkem 5 % aditiv se zvyšuje na hodnoty 9,2–9,6 %. Výhřevnost se snižuje se zvyšujícím se množstvím aditiv. Čistá peletovaná sláma má výhřevnost 18,1 MJ/kg, s přídavkem aditiv 2,5 % dosahuje hodnot 17,7 MJ/kg, s přídavkem aditiv 5 % dosahuje hodnot 17,0 MJ/kg. Přídavky minerálních prášků obsahující vápník a hořčík potvrdili zvýšení teploty tání popela u slaměných pelet, což je žádoucí efekt v boji proti struskování popela.

Teplota tání popela roste s rostoucím množstvím přidaného aditiva viz graf 8 a 9 (HASLINGER et al., 2004).

Graf 8 *Vliv přidavku oxidu vápenatého na teplotu tání popela pelet z pšeničné slámy (HASLINGER et al., 2004)*



Graf 9 *Vliv přidavku oxidu vápenatého na teplotu tání popela pelet z pšeničné slámy (HASLINGER et al., 2004)*



Použití uhličitanu vápenatého se osvědčilo při peletování odpadů průmyslu palmového oleje. Přídavek uhličitanu měl za následek výrazný nárůst v pevnosti v tahu a to až na hodnotu 1500 kPa pro 5 % hmotnostních vůči hodnotám 930 až 1007 kPa u pelet bez přídavku uhličitanu vápenatého (RAZUAN et al., 2011).

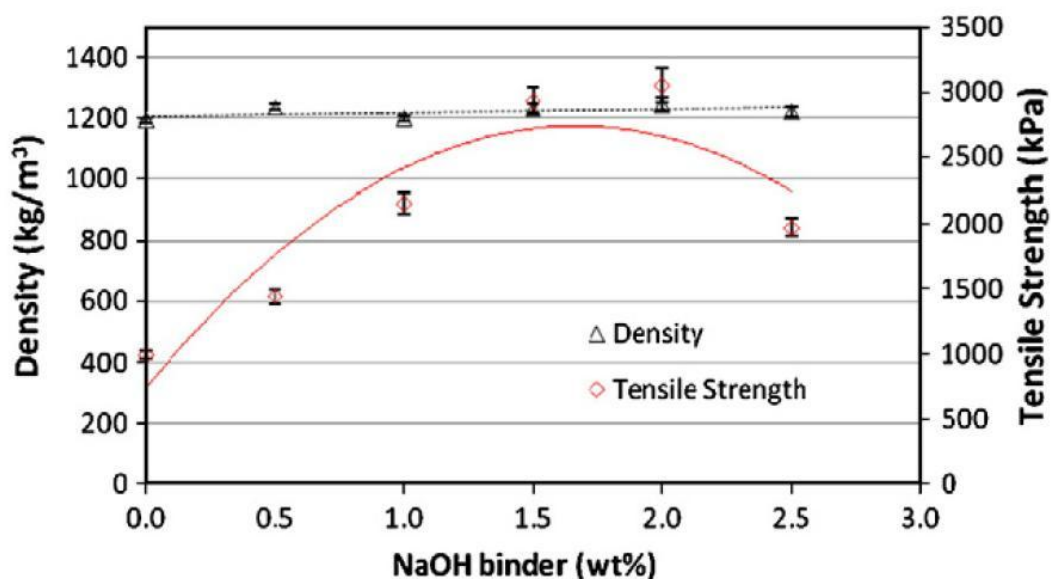
4.7 Hydroxid sodný

V současné době se hydroxid sodný vyrábí elektrolytickým rozkladem roztoku chloridu sodného NaCl (solanky) a má velice široké použití v chemickém průmyslu. Uplatňuje se při výrobě mýdel a povrchově aktivních látek, dalších sloučenin sodíku, v textilním průmyslu, v průmyslu celulózy a papíru, v hutnictví a hliníkárenství, ve vodárenství při úpravách pitné vody. V potravinářském průmyslu se užívá při zpracování tuků a olejů, v domácnostech se dá užít při čištění odpadních potrubí, v laboratořích se používá kalibrovaný roztok hydroxidu sodného jako titrační činidlo.

Průmysl palmového oleje vytváří velké množství odpadu, jako jsou skořápky, vlákna a vylisovaná dužina palmového jádra, které mohou být použity pro výrobu elektrické energie. Tento materiál byl pokusně peletován s různými pojivy. Nejpriznivější podmínky pro výrobu pelet byl tlak 64,38 MPa, teplota 80-100 ° C a vlhkost materiálu 7,9 %. Za těchto podmínek měli vzniklé pelety hustotu 1184-1226 kg/m³ a pevnost v tahu 930-1007 kPa.

Při tomto pokusu bylo použito jako jedno z anorganických pojiv hydroxid sodný (NaOH). Přídavek 0,5 % hm. NaOH vedl ke zvýšení pevnosti v tahu na 1441 kPa, přídavek 2 % hm. až na 3055 kPa viz graf 10. Další přídavky však již pevnost v tahu snížili až na 1968 kPa. Hydroxid sodný má schopnost vázat volné částice, čímž dojde ke zlepšení kvality pelet. Je však třeba poznamenat, že může způsobit problémy ve spalovacím systému. Vyšší koncentrace alkalických kovů v popelu mohou způsobit vznik strusky. Proto je důležité, aby množství hydroxidu sodného bylo tak nízké, jak je to jen možné při současném udržení kvality pelet (RAZUAN et al., 2011).

Graf 10 Vliv hydroxidu sodného na pevnost v tahu a hustotu pelet (RAZUAN et al., 2011)



4.8 Glycerol

Glycerol je vedlejším produktem při transesterifikaci řepkového oleje. Při tomto procesu vzniká methylester řepkového oleje, který se používá jako náhrada nafty. Uvádí se, že zpracováním 100 kg oleje získáme 10 kg glycerolu, což vzhledem k narůstající produkci řepkového oleje představuje nemalé množství vyprodukovaného glycerolu. Glycerol má široké uplatnění například v kosmetickém a potravinářském průmyslu, při výrobě plastických hmot, barev, výbušnin, nemrznoucích směsí apod.

Glycerol lze použít jako přísada při peletování u některých typů biopaliv. Byly provedeny studie za použití 1 % a 5 % příměsí různých typů glycerolu získaného alkalickou nebo kyselou esterifikací řepkového oleje. Vstupní surovinou bylo borovicové dřevo, chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*) a sláma.

Pelety byly uloženy po dobu 6 měsíců, během kterých byl studován příjem vlhkosti a výskyt plísní kvůli hygroskopické schopnosti glycerolu. Na konci skladování proběhl test trvanlivosti, zkoumány byly dále emise při spalování.

Příměs glycerolu v závislosti na surovině obecně vedla k nižší životnosti a výrazně nižší objemové hmotnosti. Při užití příměsí 1 % kyselého glycerolu pak byla trvanlivost stejná nebo mírně lepší.

Spotřeba energie pro peletování u paliva obsahující glycerol byla obecně snížena, což je způsobeno mazací schopností glycerolu.

S rostoucím obsahem glycerolu přirozeně rostl příjem vody během skladování. Významně se na příjem vlhkosti podílel již však samotný počáteční vyšší obsah vody. Celkový obsah vody vzrostl v rozmezí 4-7 %, což neohrozilo skladovatelnost. Plíseň nebyla nalezena v žádném pokusném vzorku pelet.

Trvanlivost se častěji zhoršila u pelet, které již na začátku vykazovali nižší odolnost a dále s vyšším obsahem glycerolu.

Hlavní problém s rostoucím přírůstkem glycerolu v palivech bylo stále větší množství částic ve spalinách během spalování. Nejvýznamnější byl obsah K v kouřových plynech a v popelu.

Například spalování borového dřeva s 1 % přidaného glycerolu zvýšilo hodnoty K ve spalinách na úroveň pozorovanou při spalování slámy, u které je znám právě zvýšený obsah K ve spalinách a v popelu. Je tedy pravděpodobné, že přídavek glycerolu může způsobovat problémy s korozí spalovacího zařízení i pro paliva, která normálně tyto problémy nemají. Naproti tomu u paliv, které obvykle vedou k takovým problémům, např. sláma, je pravděpodobné, že rozdíl bude málo zřetelný.

Ukazuje se, že glycerol z kyselé esterifikace řepkového oleje obsahující síru, může pravděpodobně zabránit uvolnění částic, a tím snížit riziko koroze spojené s alkalickými chloridy ve spalinách.

Předpokládané emise akroleinu byly pod limit detekce a u formaldehydu byly velmi nízké.

Snížení teploty tání po přidání glycerolu se projevilo u borového dřeva, ale také u chrastice rákosovité. Teplota tání popela u slámy nebyla ovlivněna vůbec.

Některé typy glycerolu mohou mít vysoký obsah jedovatého metanolu. Proto je důležité jej před použitím odstranit, aby nedošlo k požáru během dopravy a manipulace s glycerolem i při peletování.

Z obchodního hlediska je tedy přidávání glycerolu poněkud problematické. Je možné říci, že příměs glycerolu degraduje dobré palivo jako je dřevo s ohledem na získané hodnoty při spalování. U slámy se neprojevuje významné zlepšení vlastností v porovnání s čistým palivem a hodnota vložená do příměsi glycerolu je tak neefektivní (BERNESSON et al., 2011).

4.9 Parafin a palmitin

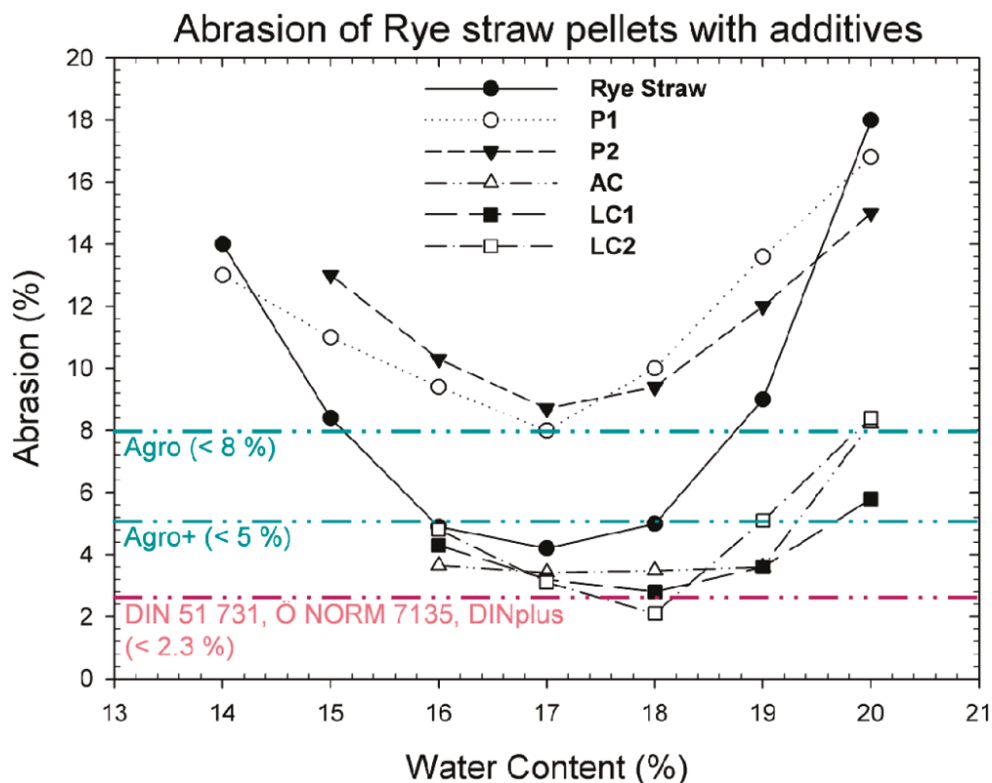
Parafin je amorfni směs vyšších nasycených alifatických uhlovodíků (alkanů). Je možné jej získat při destilaci ropy nebo z hnědouhelného dehtu. Vyznačuje se snadnou tavitelností a tvárností, je vodoodpudivý, má termoizolační vlastnosti a energetickou využitelnost. Používá se na výrobu svíček, v kosmetice, v lázeňství, na výrobu hydroizolačních a kluzných krémů a vosků, na impregnaci dřeva apod.

Palmitin je triacylglycerol palmitové kyseliny. Vyskytuje se ve většině tuků a olejů. Je to bílá krystalická pevná látka za normální teploty nerozpustná ve vodě, ale rozpustná v etanolu a éteru. Zahříváním společně s hydroxidy je možné připravit mýdlo.

Parafin a palmitin jsou biogenní přísady, které mají výrazně vyšší výhřevnost než rostlinné materiály. Výhřevnost parafinu je 48 MJ/kg a palmitinu 38,8 MJ/kg. Proto je možné je zařadit mezi aditiva zvyšující výhřevnost. Pokusně byla s těmito aditivy peletována žitná sláma s výhřevností 17,2 MJ/kg. Cílem pokusu bylo zvýšení výhřevnosti z 17,2 MJ/kg na 18,5 MJ/kg a vytvoření pelet o průměru 8 mm.

Sláma byla smíchána s aditivou přesně v poměru na předpokládanou výhřevnost 18,5 MJ/kg. Sláma 95,32 % : parafin 4,68 %, sláma 93,99 % : palmitin 6,01 %. Obsah vody ve slámě se pohyboval mezi 6,5–8,7 %. Před peletováním byla sláma dovlhčena na vstupní hodnotu 14–20 %, neboť u těchto hodnot je předpoklad pro dosažení nižšího oteřu a vyšší pevnosti pelet. Teplota při procesu peletování se pohybovala mezi 80 – 100 °C. Vzniklé pelety byly uloženy při teplotě 20 °C po dobu 14 dnů pro stabilizaci obsahu vody. Konečný obsah vody pelet se pohyboval mezi 8,3–10 %. Hustota pelet s příměsí parafinu nebo palmitinu byla 572 kg/m³, přičemž došlo ke zvýšení oproti hustotě 545 kg/m³ čisté slámy. Nejnižších hodnot oteřu bylo dosaženo při vlhkosti vstupního materiálu 17 %, nicméně i tak se hodnoty pohybovaly okolo 8 %, jak ukazuje graf 11. Obsah problematických prvků jako dusík, síra nebo chlor nebyl přísadou zvýšen (NARRA et al., 2010).

Graf 11 Vliv přidavku parafinu (křivka P1) a palmitinu(křivka P2) na otěr pelet (NARRA et al., 2010)



4.10 Karboxymethylcelulóza

Karboxymethylcelulóza (CMC) je derivátem celulózy. Syntetizuje se zásaditě katalyzovanou reakcí celulózy s kyselinou chloroctovou. CMC se používá v potravinářství k zahušťování a ke stabilizaci emulzí, přidává se například do lubrikantů, zubních past, projímadel, dietních tablet, vodou ředitelných nátěrových hmot, čisticích prostředků, výrobků z papíru, při těžbě ropy se používá jako složka vrtných kapalin, kde upravuje viskozitu a zadržuje vodu. Karboxymethylcelulóza je také používána ve formě sodné soli.

Pro pelety o délce 8 mm a průměr 4 mm vyrobené ze směsi borovicových a cypřišových pilin a hnědého uhlí bylo jako pojivo navržena sodná sůl karboxymethylcelulózy (CMC). Připraveno bylo zředěním CMC ve vodě s koncentracemi 2,5 g / l, 3,75 g / l a 5,0 g / l. Tato pojivo bylo vybráno pro svůj organický charakter a pro jeho nízkou hladinu toxických emisí při spalování. Sodná sůl karboxymethylcelulózy obsahuje velmi malé množství síry, a proto nezvyšuje její obsah ve spalinách. Se vzrůstající koncentrací CMC byla zaznamenána větší soudržnost mezi částicemi, větší odolnost proti otěru a větší objemová hmotnost

pelet. S ohledem na větší soudržnost mezi částicemi byl však současně pozorován zvýšený odpor materiálu při peletování. CMC při spalování vytváří významné množství popela a tím se zvyšuje obsah popela i u pelet (ALZATE et al., 2009).

4.11 Bramborový odpad

Bramborová dřeň vzniká jako odpad při výrobě bramborového škrobu. Často představuje vážný problém pro konkrétní zpracovatelský závod, neboť není dostatečný zájem zemědělců, použít bramborovou vlákninu jako hnojivo (ve formě kompostu) nebo plnidlo do krmiv. Nabízí se tedy možnost využít tuto surovinu jako palivo ve formě pelet, kdy přirozený vysoký obsah škrobu působí jako pojivo. Například společnost Pepees (Polsko) zpracuje ročně cca 150 000 tun brambor během bramborové kampaně, která trvá cca 90 dnů, což představuje odpad ve formě cca 22 500 tun vylisované bramborové dřeně s vlhkostí cca 80 % ekvivalentní cca 4500 t sušiny.

Pro zpracování tohoto materiálu představuje problém velmi vysoká vlhkost (nad 88 %). Vlhkost lze snížit odstředěním bramborové dřeně v odstředivce až na 40-45 % vlhkosti a tu následně peletovat. Vzniklé pelety se potom dosušují na vlhkost 15 %. Tento způsob získání pevného paliva z bramborové dřeně je levnější než sušení bramborové dřeně na vlhkost cca 20 % s následnou peletizací. Dalším způsobem jak překonat problém s vysokou vlhkostí bramborové dřeně je použití společně s materiály s nízkou vlhkostí např. piliny, sláma, otruby apod. Tento materiál je citlivý na peletování a proto je nutné udržovat teplotu procesu v rozsahu 60-70 °C. Hustota získaných pelet se pohybuje mezi 1105–1314 kg/m³ a vliv na ni má velikost částic. Snížení velikosti částic z 2,5 na 0,5 mm vede ke zvýšení hustoty pelet. Obsah popela po spálení činí 4,42 % a výhřevnost je 15,41 MJ / kg (OBIDZINSKI, 2012).

Další odpadní surovinu ze zpracování brambor využitelnou jako pojivo představují bramborové slupky případně bramborová mouka. Peletovaným materiálem byla směs pilin a hoblin z borovice bez kůry namletá na částice o délce 6 mm. Bramborová mouka (1 % a 2 %) a bramborové slupky (5 %, 10 %, 20 %) neměli významný vliv na hodnoty výhřevnosti. Bramborové slupky zvyšují obsah alkalických kovů (zejména draslíku) viz graf 7 výše. To může způsobit snížení teploty tání popela a také způsobit problém s případnou korozí tepelného zařízení. Se

zvyšujícím se přidavkem bramborových slupek stoupal obsah popela pelet (KUOKKANEN et al., 2011).

Bramborové slupky vykazují samy o sobě vysokou biologickou rozložitelnost. Studie prokázali, že u pelet na bázi dřeva s přidavkem bramborových slupek starších 3 měsíců však nedochází ke ztrátě hmoty ani mechanické trvanlivosti. Vysvětlením může být snížený obsah kyslíku v lisované peletě (KUOKKANEN et al., 2009).

Další alternativou výroby pelet jsou topné pelety vyráběné s přidavkem brambor rozdušených na částice o maximální velikosti 5 mm³ společně s nadrceným stonkem olejného lnu (*Linum usitatissimum*). Vznikající pelety mají průměr 6 mm a obsah vody maximálně 15 % hmotnostních. Podíl přísad v celkovém množství byl zkoušen v rozsahu 1 až 10 % hm. a tím je obsah škrobu v lisované směsi zvýšen o 0,5 až 5 % hm. Optimální podíl byl stanoven na 4 % hm. Sušina přidávané přísady se pohybuje v rozmezí 21,9 až 25 % hm. Materiál se před vstupem vlhčí na celkový obsah vody 20 až 25 % hm. Konečný obsah vody vzniklých pelet byl 8,2 % hm., výhřevnost 15,9 MJ/kg. Vzniklé topné pelety mají o 4 % lepší mechanickou odolnost oproti peletám bez přidavku brambor. Z emisního hlediska pelety s přidavkem vyhovují evropským normám a obsah škodlivin je stejný nebo nižší v porovnání s peletami bez přidavku brambor. Při lisování suroviny bez přidavku pojiva nedosahuje výrobní linka ani 60 % výkonnosti garantované výrobcem, s přidavkem se naopak zvýšila o 18 % (SOUČEK, 2011).

5 ZÁVĚR

Pelety představují jednu z vhodných forem úpravy biomasy na biopalivo. Vykazují dobré palivové vlastnosti, umožňují efektivní dopravu, manipulaci a skladování a automatický transport ze zásobníků do kotle respektive do topeniště. Pro zefektivnění výroby pelet a zlepšení tepelně – mechanických vlastností se v řadě případů využívají pojiva a aditiva.

Biomasa je velmi různorodý materiál a proto se přídavek pojiv a aditiv projevuje také často odlišně v závislosti na surovině, na přidávaném množství, teplotě, vlhkosti, velikosti částic a tlaku. Pozitivně se použití pojiv a aditiv projevuje zvýšením pevnosti, objemové hmotnosti, výhřevnosti, odolnosti vůči otěru, množstvím a charakterem popela, změnou emisních parametrů při spalování, snížením tření a tlaku při protlačování maticí a tím ke zrychlení výroby s nižšími náklady na energii. Dále použití pojiv a aditiv přináší možnost využívat suroviny samostatně obtížně spalitelné a nespolehlivě peletovatelné. Kromě pozitivního účinku může současně nastat také nežádoucí zhoršení jiných vlastností pelet. Některá pojiva a aditiva je vhodné přidávat společně, neboť mohou zlepšovat více vlastností pelet najednou, případně potlačovat negativní vlastnost jednoho z nich.

V biomase zpracovávané na pelety se některá pojiva vyskytují přirozeným způsobem a působí jako tzv. přírodní pojiva. Významný je obsah ligninu v dřevní hmotě. Škrob, tuk a ve vodě rozpustné sacharidy se vyskytují například v kukuřici a prosu. Bramborová dřeň obsahuje rovněž velké množství škrobu.

Obecně lze k jednotlivým přidávaným pojivům a aditivům uvést následující pozitivní a negativní dopady na pelety.

Dodatečně přidaný lignin zvyšuje pevnost, hustotu pelet a objemovou hmotnost, snižuje podíl jemných částic. Pelety s přídavkem ligninu vykazují dobrou odolnost vůči vodě. Při spalování se nezvyšují emise NO_x , CO, HCl, ale dochází ke zvýšení emisí SO_2 . Popel z pelet nemá tendence ke slinutí. Lignin je možné uplatnit jako pojivo u materiálů, které dosud nebylo možné peletovat. Negativním způsobem ovlivňuje tření pelet procházejících protlačovací maticí.

Přídavek škrobu zvyšuje pevnost, hustotu, životnost a trvanlivost pelet. Snižuje hodnoty otěru, tření a spotřebu energie. Umožňuje peletovat materiály, u kterých to není samostatně možné.

Lignosulfonát zvyšuje rychlost výroby pelet, objemovou hmotnost a mechanickou odolnost. Má pozitivní vliv na kompaktnost pelety. Snižuje potřebu energie při peletování. Přidání lignosulfonátu mírně zvyšuje obsah alkalických kovů, což by mohlo představovat problém s případnou korozí tepelného zařízení, výraznějším způsobem zvyšuje obsah síry působící na zvýšení emisí SO_x.

Přídavek melasy se projevuje ve zvýšené odolnosti a otěru pelet. Napomáhá vytvořit pelety z materiálů, které bez pojiva nelze peletovat.

Uhličitan vápenatý ve formě vápence, uhličitan hořečnatý jako nerost magnezit, případně uhličitan hořečnato-vápenatý neboli dolomit mají nejzásadnější pozitivní vliv na zvýšení teploty tání popela, což je žádoucí proti struskování popela. Přidání těchto látek přináší snížení výhřevnosti a zvýšení množství popela.

Hydroxid sodný má schopnost vázat volné částice a tím zlepšovat kvalitu pelet. Zvyšuje u pelet pevnost v tahu a množství alkalických kovů v popelu s možností vzniku strusky.

Glycerol díky své mazací schopnosti snižuje spotřebu energie při peletování. Negativně zvyšuje obsah K v kouřových plynech a v popelu. Snižuje trvanlivost a odolnost pelet a také objemovou hmotnost.

Parafin a palmitin jsou přísady, které mají schopnost zvyšovat výhřevnost, ale vykazují nižší odolnost a otěru vzdornost pelet.

Karboxymethylcelulóza u pelet přináší větší soudržnost mezi částicemi, větší odolnost proti otěru a větší objemovou hmotnost pelet. Větší soudržnost mezi částicemi však způsobuje zvýšený odpor materiálu při peletování. Dále také zvyšuje množství popela.

Odpadní produkty z brambor zvyšují v peletách obsah alkalických kovů (zejména draslíku), což může způsobit snížení teploty tání popela a také způsobit problém s případnou korozí tepelného zařízení. V negativním ohledu zvyšují množství popela pelet. Pelety s jejich přídavkem mají lepší mechanickou odolnost. Výrobní linka je při přídavku těchto produktů schopna pracovat s vyšším výkonem.

Kukuřičná mouka společně se žitnou zlepšují proces peletování, odolnost proti otěru a pevnost pelet. Dovolují zpracovávat na pelety materiál bez pojiv obtížně spojitelný.

Jednotlivá pojiva a aditiva sebou přináší přednosti i negativa. Jednoznačné vyjádření nebo doporučení nejlepšího pojiva a aditiva vzhledem k variabilitě v rámci celého procesu peletování není možné. Díky těmto skutečnostem je nutné každé pojivo a aditivum pro danou surovinu před zavedením do výroby vyzkoušet, aby bylo opravdovým přínosem. Ucelené a objektivní zhodnocení je také zkresleno faktem, že řada institucí zabývajících se výzkumem výroby pelet i samotní výrobci nejsou ochotni poskytnout informace o přidávaných pojivech a aditivech z důvodu ochrany svého know-how.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ALZATE, C.A.; CHEJNE, F.; VALDES, C.F.; BERRIO, A.; CRUZ J.D.L.; LONDONO, C.A.. CO-gasification of pelletized wood residues. *FUEL*. 2009, roč. 88, č. 3, s. 437-445. ISSN 00162361
2. ANDERT, David; SLADKÝ, Václav; ABRHAM, Zdeněk. *Energetické využití pevné biomasy*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006, 59 s. ISBN 80-868-8419-8.
3. ARZOLA, N.; GÓMEZ, A.; RINCÓN, S. The effects of moisture content, particle size and binding agent content on oil palm shell pellet quality parameters. *Ingenieria e Investigacion*. 2012, roč. 32, č. 1, 24 - 29. ISSN 01205609.
4. BERNESSON, Sven; ÖRBERG, Håkan; SAMUELSSON, Robert; THYREL, Mikael; HEDMAN, Björn; KALÉN, Gunnar. *Glycerin från omförestning av vegetabiliska oljor som tillsatsmedel - praktiska försök med pelletering och eldning av några biobränslen*. Uppsala: Institutionen för energi och teknik, Department of Energy and Technology, 2011. ISSN 1654-9406.
5. ČSN EN 14774-1. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 1: Celková voda - Referenční metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
6. ČSN EN 14774-2. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 2: Celková voda - Zjednodušená metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
7. ČSN EN 14774-3. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 3: Voda v analytickém vzorku pro obecný rozbor*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
8. ČSN EN 14775. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu popela*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
9. ČSN EN 14778. *Tuhá biopaliva - Vzorkování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
10. ČSN EN 14918. *Tuhá biopaliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

11. ČSN EN 14961-1. *Tuhá biopaliva - Specifikace a třídy paliv - Část 1: Obecné požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
12. ČSN EN 15103. *Tuhá biopaliva - Stanovení sypné hmotnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
13. ČSN EN 15104. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu celkového uhlíku, vodíku a dusíku - Instrumentální metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
14. ČSN EN 15148. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu prchavé hořlaviny*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
15. ČSN EN 15150. *Tuhá biopaliva - Stanovení hustoty částice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
16. ČSN EN 15210-1. *Tuhá biopaliva - Stanovení mechanické odolnosti pelet a briket - Část 1: Pelety*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
17. ČSN EN 15289. *Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu celkové síry a celkového chloru*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
18. ČSN EN 15290. *Tuhá biopaliva - Stanovení hlavních prvků - Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na a Ti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
19. ČSN EN 15297. *Tuhá biopaliva - Stanovení stopových prvků - As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V a Zn*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
20. ČSN EN 16127. *Tuhá biopaliva - Stanovení délky a průměru pelet*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
21. ČSN P CEN/TS 15370-1. *Tuhá biopaliva - Metoda pro stanovení teploty tání popela - Část 1: Metoda stanovení charakteristických teplot*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
22. HASLINGER, W.; EDER, G., WORGETTER, M.; SWAAIJ, W.P.M.V. Improvement of Straw Pellets Fuel Quality through Additives. *WORLD BIOMASS CONFERENCE -CD-ROM EDITION-*. 2004, s. 522-524.

23. HUTLA, Petr; BEJLEK, Václav. *Palivo na bázi slámy*. Česká republika. Patentový spis CZ-301605, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 22.3.2010
24. JANDAČKA, Josef; NOSEK, Radovan; PAPUČÍK, Štefan; HOLUBČÍK, Michal; ŽIDEK, Ladislav; HARANT, Ladislav; LENHART, Pavol. *Drevné pelety a aditiva*. Žilina : Juraj Štefuň-GEORG, 2011. str. 130. ISBN 978-80-89401-23-9.
25. JEVIČ, Petr; HUTLA, Petr; Šedivá, Zdeňka. *Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů: metodická příručka*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008, 132 s. ISBN 978-80-86884-42-4.
26. KALIYAN, N.; MOREY R.V. Densification characteristics of corn stover and switchgrass. *Transactions of the ASABE*. 2009, roč. 52, č. 3, 907 - 920. ISSN 21510032.
27. KALIYAN, N.; MOREY, R.V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *BIOMASS & BIOENERGY*. 2009, roč. 33, č. 3, s. 337-359. ISSN 09619534.
28. KALIYAN, N.; MOREY, R.V. Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from corn stover and switchgrass. *Bioresource Technology*. 2010, roč. 101, č. 3, 1082 - 1090. ISSN 09608524.
29. KALIYAN, N.; MOREY, R.V.; WHITE, M. D.; DOERING, A.. Roll Press Briquetting and Pelleting of Corn Stover and Switchgrass. *TRANSACTIONS-ASABE*. 2009, roč. 52, č. 2, s. 543-558.
30. KLOBUŠNÍK, Lubomír. *Pelety: palivo budoucnosti*. 1. vyd. České Budějovice: Sdružení Harmonie, 2003, 112 s. ISBN 80-239-1956-3.
31. KOLÁŘ, Ladislav; KUŽEL, Stanislav; POKORNÝ, Petr; PÍŠA, Jiří. *Peletizované nebo briketované biopalivo, a kompozice a pojivo pro jeho výrobu*. Česká republika. Užité vzor 17228, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 8.2.2007
32. KOLÁŘ, Ladislav; KUŽEL, Stanislav; POKORNÝ, Petr; PÍŠA, Jiří. *Peletizované nebo briketované biopalivo, kompozice pro jeho výrobu, způsob jeho výroby a použití nativní žitné mouky pro jeho výrobu*. Česká republika. Patentový spis 301951, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 30.6.2010.
33. KOLÁŘ, Ladislav; KUŽEL, Stanislav; BROUČEK, Josef; KLIMEŠ, František; PETERKA, Jiří. *Směs pro lisování peletizovaného nebo*

- briketovaného paliva na bázi dřevěných pilin*. Česká republika. Užité vzor 17653. Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 9.7.2007.
34. KOLÁŘ, Ladislav; KUŽEL, Stanislav; KLIMEŠ, František; POKORNÝ, Petr; PÍŠA, Jiří. *Způsob zpracování biomasy jetele lučního*. Česká republika. Patentový spis 302596. Úřad průmyslového vlastnictví Praha, Přihl.: 15. 6 2011.
35. KOLÁŘ, Ladislav; KUŽEL Stanislav; BROUČEK, Josef; KLIMEŠ, František; PETERKA, Jiří. *Způsob zpracování železitých vodárenských kalů a směs připravená tímto způsobem*. Česká republika. Patentový spis 300446, Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 10.4.2009
36. KOLONIČNÝ, Jan; HASE, Veronika. *Využití rostlinné biomasy v energetice: metodická příručka*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 150 s. ISBN 978-80-248-2541-0.
37. KOLONIČNÝ, Jan: Emise při spalování biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-06-07 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>>. ISSN: 1801-2655.
38. KOTLÁNOVÁ, Alice: Testování biomasy a výrobků z biomasy (pelet a briket) určených ke spalování. *Biom.cz* [online]. 2009-02-15 [cit. 2013-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/testovani-biomasy-a-vyrodku-z-biomasy-pelet-a-briket-urceny-ke-spalovani>>. ISSN: 1801-2655.
39. KOTLÁNOVÁ, Alice: Metody zkoušení fyzikálně-chemických vlastností tuhých biopaliv. *Biom.cz* [online]. 2010-06-30 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-zkouseni-fyzikalne-chemicky-vlastnosti-tuhych-biopaliv>>. ISSN: 1801-2655.
40. KOTT, Jiří: Výroba pelet z biomasy - technické a ekonomické aspekty. *Biom.cz* [online]. 2010-12-20 [cit. 2013-02-25]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyroba-pelet-z-biomasy-technicke-a-ekonomicke-aspekty>>. ISSN: 1801-2655.
41. KUOKKANEN, M.; KUOKKANEN, T.; POHJONEN, V. *The development of eco-efficient wood-based pellet production*. In: Paukkeri, A.; Ylä-Mella, J. and Pongrácz, E. (ed.) Energy research at the University of Oulu. Proceedings of the EnePro conference, 2009, University of Oulu, Finland. Kalevaprint, Oulu, ISBN 978-951-42-9154-8. str. 36-40.

42. KUOKKANEN, Matti; VILPPO, Teemu ; KUOKKANEN, Toivo; STOR, Tuomas; NIINIMÄKI, Jouko. Additives in wood pellet production-A pilot-scale study of binding agent usage. *BioResources*. 2011, roč. 6, č. 4, s. 4331-4355. ISSN 19302126.
43. TOMANI, Per; AXEGÅRD, Peter; BERGLIN, Niklas; NORDGREN, Daniel; BERGHEL, Jonas. *LignoBoost Kraft Lignin - A New Renewable Fuel and a Valuable Fuel Additive*. International Bioenergy&Bioproducts Conference, 14.-16.3.2011. Dostupné z WWW:
<http://www.tappi.org/content/Events/11BIOPRO/26.1Tomani.pdf>
44. LYČKA, Zdeněk. *Dřevní peleta aneb peleta mýtů zbavená*. 1. vyd. Krnov: LING Vydavatelství, 2011, 66 s. ISBN 978-80-904914-0-3.
45. MALAŤÁK, Jan; VACULÍK, Petr. *Biomasa pro výrobu energie*. 1.vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, 206 s. ISBN 978-80-213-1810-6.
46. MEDIAVILLA, I.; ESTEBAN, L.S.; FERNÁNDEZ, M.J.. Optimisation of pelletisation conditions for poplar energy crop. *Fuel Processing Technology*. 2012, roč. 104, 7 - 15. ISSN 03783820. DOI: 10.1016/j.fuproc.2012.05.031.
47. MOTLÍK, Jan, VÁŇA, Jaroslav: Biomasa pro energii (1) Zdroje. *Biom.cz* [online]. 2002-02-01 [cit. 2013-02-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-1-zdroje>>. ISSN: 1801-2655.
48. MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2011, 106 s. ISBN 978-80-251-2916-6.
49. NARRA, S.; TAO, Y.; GLASER, C.; GUSOVIUS, H.J.; AY, P. Increasing the calorific value of rye straw pellets with biogenous and fossil fuel additives. *Energy and Fuels*. 2010, roč. 24, č. 9, 5228 - 5234. ISSN 08870624. DOI: 10.1021/ef100823b.
50. NIELSEN, Niels Peter K. *Importance of raw material properties in wood pellet production - Effects of differences in wood properties for the energy requirements of pelletizing and the pellet quality*. 2009. Industrial PhD thesis. Univesity of Copenhagen, Faculty of Life Sciences, Forest & Landscape Denmark, 2009

51. OBIDZIŃSKI, S. Analysis of usability of potato pulp as solid fuel. *Fuel Processing Technology*. 2012, roč. 94, č. 1, 67 - 74. ISSN 03783820. DOI: 10.1016/j.fuproc.2011.10.012.
52. PELIKÁN, Miloš; SÁKOVÁ, Lenka. *Jakost a zpracování rostlinných produktů*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2001, str. 233. ISBN 80-7040-502-3.
53. PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Nedostatek biomasy . *Biom.cz* [online]. 2011-03-14 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nedostatek-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
54. PETŘÍKOVÁ, Vlasta. *Pěstování rostlin pro energetické účely*. [Česko: s.n.], 2005, 32 s. ISBN 80-239-5497-0.
55. RAZUAN, R.; FINNEY, K.N.; CHEN, Q.; SHARIFI, V.N.; SWITENBANK, J.. Pelletised fuel production from palm kernel cake. *Fuel Processing Technology*. 2011, roč. 92, č. 3, 609 - 615. ISSN 03783820. DOI: 10.1016/j.fuproc.2010.11.018.
56. SOUČEK, Jiří. *Drtiče, štěpkovače a řezačky pro úpravu rostlinné biomasy*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008, 58 s. ISBN 978-80-86884-31-8.
57. SOUČEK, Jiří. *Topná peleta*. Česká republika. Užité vzor 22376. Úřad průmyslového vlastnictví Praha, 20.6.2011
58. SOUČKOVÁ, Helena; MOUDRÝ, Jan. *Využití fytomasy pro energetické účely: sborník vědeckých publikací z mezinárodního semináře "Nepotravinářské využití fytomasy"*. České Budějovice : Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky, 2005. str. 53-58. ISBN 80-7040-833-2.
59. STÄHL, M.; BERGHEL, J.; FRODESON, S.; GRANSTRÖM, K.; RENSTRÖM, R. Effects on pellet properties and energy use when starch is added in the wood-fuel pelletizing process. *Energy and Fuels*. 2012, roč. 26, č. 3, 1937 - 1945. ISSN 08870624. DOI: 10.1021/ef201968r.
60. STEGELMEIER, Marina; SCHMITT, Verena; KALTSCHMITT, Martin. Pelletizing of autumn leaves—possibilities and limits. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2011, roč. 1, č. 3, s. 173-187. ISSN 21906815.

61. STRAKA, František a kol. *Bioplyn: příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha: GAS, 2006, 706 s. ISBN 80-7328-090-6.
62. STUPAVSKÝ, Vladimír: Kvalita pelet - certifikace a normy pro pelety. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kvalita-pelet-certifikace-a-normy-pro-pelety>>. ISSN: 1801-2655.
63. STUPAVSKÝ, Vladimír; HOLÝ, Tomáš: Skladování pelet a dalších tvarových biopaliv v rodinných domech. *Biom.cz* [online]. 2010-08-02 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/skladovani-pelet-a-dalsich-tvarovych-biopaliv-v-rodinnych-domech>>. ISSN: 1801-2655.
64. SYAMSIRO, M.; SAPTOADI, H.; TAMBUNAN, B.H.; PAMBUDI, N.A. A preliminary study on use of cocoa pod husk as a renewable source of energy in Indonesia. *ENERGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*. 2012, roč. 16, č. 1, s. 74-77. ISSN 09730826.
65. Topné pelety z bylinné fytohmoty. Technická směrnice č. 55 – 2008 s požadavky pro propůjčení ochranné známky „Ekologicky šetrný výrobek“. Praha, MŽP 2008. 4 s.
66. VELÍŠEK, Jan. *Chemie potravin 1*. 2. upr. vyd. Tábor: OSSIS, 2002, 331 s. ISBN 80-866-5903-8.
67. VERNER, Vladimír: Alternativní pelety. *Biom.cz* [online]. 2007-12-31 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/alternativni-pelety>>. ISSN: 1801-2655.
68. Vyhláška č. 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchování dokumentů. 20.12.2012
69. WEGER, Jan; HAVLÍČKOVÁ, Kamila. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie v krajině*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 2003, 51 s. ISBN 80-851-1632-4.