

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Studijní program: B4106 Zemědělství
Studijní obor: Dopravní a manipulační prostředky
Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky
Vedoucí katedry: doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**NAVRHNĚTE A PROVĚŘTE MOŽNOSTI VÝROBY PELET
PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ZE SUCHÉ TRAVNÍ HMOTY
NEBO SLÁMY**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Frolík, CSc.
Autor bakalářské práce: Jan Pícha
Rok vydání: 2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan PÍCHA**
Osobní číslo: **Z09843**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační prostředky**
Název tématu: **Navrhněte a prověřte možnosti výroby pelet pro energetické využití ze suché travní hmoty nebo slámy.**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je navrhnout a posoudit možnosti výroby pelet ze suché travní hmoty nebo slámy ve stacionárních i mobilních linkách provozovaných sezónně i celoročně.

1. Zdroje výchozí suroviny, výnosový potenciál a její vlastnosti.
2. Technologické postupy výroby a parametry vyrobených pelet.
3. Mechanické a fyzikální vlastnosti získaného produktu.
4. Navrhněte technologické linky pro sezónní i celoroční produkci pelet.
5. Posuďte a porovnejte různé způsoby uskladnění a případnou potřebu ošetření během skladovacího procesu.
6. Sestavte modelovou linku na výrobu a skladování pelet.

obrázky, fotografie dle potřeby

30 - 50 stran

tištěná

Andrt, D., Sladký, V., Abrahám, Z.: Energetické využití pevné biomasy. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, 2006. ISBN 80-86884-19-8; Sladký, V.: Příprava paliva z biomasy. ÚZPI, Praha, 1995. ISSN 0862-3562; Chmelík, K.: Zpracování fytomasy pro energetické účely. In: Sborník vědeckého semináře Ekologické aspekty využití a výroby energie v zemědělství, Techagro 96, ČZU, 1996. ISBN 80-213-0272-0.

Ing. Josef Frolík, CSc.

Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2012**

děkan

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH:
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**
studijní oddělení
Studentská 13 (1)
370 05 České Budějovice

doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.

vedoucí / katedry

V Českých Budějovicích dne 22. března 2011

Prohlášení autora

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Josefa Frolíka, CSc., 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

.....
Podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Josefu Frolíkovi, CSc. za cenné rady a připomínky a odborné konzultace při vytvoření této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu po celou dobu studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce obsahuje a podává přehled možných technologií na výrobu pelet a jejich výrobní cestu od suroviny až po expedici konečnému zákazníkovi. Zabývá se popisem vlastností, úpravou a zpracováním biomasy do formy tuhého tvarovaného biopaliva. Obsahuje přehled požadavků na kvalitu pelet a metody zpracování suroviny za účelem dosažení žádané kvality pelet. Je zde vytvořen návrh mobilní i stacionární technologické linky na výrobu pelet. Součástí práce je ekonomická rozvaha výroby pelet.

Klíčová slova: peletování, mechanismy zhutňování, pelety, zpracování biomasy, výrobní linka pelet

Abstract

This bachelor thesis contains a review of possible technologies for the production of pellets and the means of production from raw material to final customer. This thesis describes the characteristics, treatment and processing of biomass into a form shaped solid biofuels. It contains an overview of the requirements for pellets quality and methods of processing materials in order to achieve the desired quality of pellets. There is created proposal mobile and stationary technological line for production of pellets. This thesis has shaped economic production pellets.

Keywords: pelleting, compaction mechanisms, pellets, biomass processing, production line pellets

Úvod	1
1. Zdroje výchozí suroviny, výnosový potenciál a její vlastnosti	2
1.1. Produkce biomasy	2
1.1.1. Obilná sláma	2
1.1.2. Řepková sláma	3
1.1.3. Trvalé travní porosty	4
1.1.3.1. Krmný šťovík – Rumex OK 2	5
1.1.3.2. Psineček veliký (Rožnovský)	5
1.1.3.3. Ovsík vyvýšený (Rožnovský)	6
1.2. Vlastnosti biomasy	6
1.2.1. Fyzikální vlastnosti	6
1.2.2. Mechanické úpravy biomasy pro energetické využití	8
2. Technologické postupy výroby a parametry vyrobených pelet.	9
2.1. Podpora ekologických pelet	9
2.2. Mechanizace pro sklizeň bylinné biomasy pro termochemické využití	10
2.3. Balíkovací lisy pro úpravu slámy	11
2.4. Peletizační linka	11
2.4.1. Dopravník slaměných balíků	13
2.4.2. Rozdružovač balíků	13
2.4.3. Drtiče	14
2.4.4. Úprava nadrcené biomasy	14
2.5. Peletizační lisy	15
2.5.1. Lisy s talířovou vertikální matricí	16
2.5.2. Lisy s horizontální talířovou matricí	16
2.5.3. Lisy s prstencovou horizontální matricí	17
2.5.4. Lisy s prstencovou vertikální matricí	18
2.5.5. Matrice	18
2.5.6. Rozměry tvářecích kanálků a jejich tvar v matrici	19
2.5.7. Rolny	21
2.6. Chlazení a třídění pelet	21
2.7. Balení a expedice pelet	22
2.7.1. Způsob distribuce	23
2.8. Parametry vyrobených pelet	24

3. Vlastnosti tuhých biopaliv vyrobených ze slámy a píce	27
3.1. Chemicko-termické ukazatele	27
3.1.1. Vlhkost.....	27
3.1.2. Spalné teplo.....	28
3.1.3. Výhřevnost.....	28
3.1.4. Teplota deformace popela, teplota měknutí, tání a tečení	29
3.1.5. Chemické rozborý pelet	29
3.1.5.1. Chlor (Cl).....	30
3.1.5.2. Dusík (N)	30
3.1.5.3. Síra (S).....	31
3.1.5.4. Draslík (K).....	31
3.1.5.5. Vápník (Ca), hořčík (Mg), fosfor (P)	32
3.1.5.6. Těžké kovy	32
3.2. Fyzikálně-mechanické ukazatele	33
3.2.1. Geometrie výlisku.....	33
3.2.2. Mechanická odolnost	33
3.2.3. Pevnost v tlaku.....	34
3.2.4. Měrná hmotnost	34
4. Uskladnění pelet.....	35
4.1. Sklad ve výrobně pelet	35
4.2. Skladování pelet v rodinných domech	36
4.2.1. Stanovení optimálního objemu skladu.....	36
4.2.2. Skladovací systémy.....	37
4.2.2.1. Skladování ve vyspádaných skladech	37
4.2.2.2. Skladování v textilním silu	38
4.2.2.3. Plnicí přípojky pro naskladnění pelet	39
4.2.2.4. Bezpečnostní podmínky skladu pelet	40
4.3. Zkouška skladování pelet	41
5. Návrh mobilní linky na výrobu pelet.....	43
5.1. Výhody a nevýhody mobilní granulační linky	44
6. Návrh stacionární technologické linky pro sezónní i celoroční výrobu pelet ..	45
6.1. Příprava výchozí suroviny.....	45
6.1.1. Příjem výchozí suroviny	46

6.1.2.	Rozdružovač balíků	46
6.1.3.	Drtič stébelnin.....	47
6.1.4.	Míchací zařízení.....	48
6.1.5.	Zásobník na homogenizovanou směs	48
6.1.6.	Doprava materiálu.....	49
6.2.	Granulovací lis	50
6.2.1.	Matrice a rolny	51
6.3.	Chlazení a třízení pelet.....	51
6.3.1.	Odlučovač prachových částic	52
6.3.2.	Skladování a expedice vyrobených pelet.....	53
6.4.	Elektronické řízení linky	53
6.5.	Produkce pelet navržené linky	53
6.6.	Energetická náročnost a výtěžnost navržené linky	53
7.	Ekonomická hlediska stacionární modelové linky na výrobu pelet.....	54
7.1.	Náklady na pořízení peletizační linky.....	54
7.1.1.	Dotace na pořízení peletizační linky.....	56
7.2.	Náklady na provoz	56
7.3.	Výnosy podniku	57
7.3.1.	Výhody navržené linky.....	57
7.3.2.	Nevýhody navržené linky	57
Závěr		58
Seznam použité literatury		59

Úvod

Energie jsou již řadu let v lidském životě neodmyslitelnou součástí jeho komfortu na zemi. Jsou to hlavně energie tepelné, světelné a elektrické. Člověk v dnešní době by si jen těžko dokázal představit život bez tohoto pohodlí, avšak dnes některé energie jsou získávány z neobnovitelných zdrojů, které bychom mohli nahradit zdroji obnovitelnými.

V poslední době se stále více mluví o obnovitelných zdrojích energie a to i v souvislosti se zemědělským odpadem, biologickým odpadem z domácností a podniků ale i využitím zemědělských ploch pro pěstování energetických rostlin, které nejsou využity pro výživu lidí nebo zvířat. Získání energie ze zbytků rostlin můžeme provést více způsoby, já jsem se zaměřil na získání energie pomocí spalování biomasy.

Z hlediska zpracování biomasy je největší problém nízká měrná hmotnost suchého materiálu a její nekompaktnost. Při spalování neupravené biomasy dochází k nedokonalému hoření a spékání popelovin. Tyto vlastnosti způsobují, že je biomasa v surovém stavu náročná na manipulaci, skladování je značně neefektivní a spalování je neekologické. Tyto negativní vlastnosti se odstraňují pomocí lisování do balíků, nebo ještě lépe vysokotlakým lisováním do pelet či briket.

Národní i evropská politika se zabývá rozšířením využití biomasy. V dnešní době jsou evropské dotační programy na pořízení nových peletizačních lisů a také byly programy na podporu pořízení nových kotlů na spalování biomasy. Cílem těchto programů je minimalizovat využití neobnovitelných zdrojů a zajistit co možná největší využití zemědělských odpadů.

1. Zdroje výchozí suroviny, výnosový potenciál a její vlastnosti

1.1. Produkce biomasy

Ve světě se pro energetické účely využívá asi 2 miliardy tun biomasy, to pokrývá zhruba asi 10% celkové světové potřeby primární energie. Výnosy kulturních rostlin se u nás pohybují okolo $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suché hmoty u porostů křídlatky japonské (*Reynoutria japonica*) je to až $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ za rok, k těmto hodnotám se přibližují některé druhy rychle rostoucích šťovíků a rákosovitých travin. U rychle rostoucích topolů japonských a některých druhů vrb se dosahuje $10\text{--}15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ v sušině. Sláma řepky dosahuje produkce $6\text{--}7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ někdy i více, ale jelikož současné sklizňové technologie způsobují vysoké sklizňové ztráty, dosahují výnosy slámy pouze $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Sláma z obilnin se v ČR využívá k energetickým účelům asi z 25%, dosahuje výnosnosti okolo $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, v závislosti na sklizňových ztrátách (výška strniště, drť, propad). Potenciál využívání fytopaliv v ČR uvádí tabulka 1.1. (Andert, Sladký, Abraham, 2006)

Tabulka 1.1: Možný potenciál pevných biopaliv v ČR, úroveň 2005 až 2010

Palivo	Zdroj	Množství ($\text{t} \cdot \text{r}^{-1}$)
Dřevo	40% lení těžby, zpracovatelský odpad	2 600 000
Sláma obilovin (400 000 ha)	25% ploch – ($4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	1 600 000
Sláma řepky (300 000 ha)	100% ploch – ($3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	900 000
Traviny (400 000 ha)	20% ploch – ($2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	800 000
Celkem (současný stav)		5 900 000
Využitelný domovní odpad, dřevní šrot, papír, obaly	Města i venkov ČR	6 000 000
Energetické rostliny (po roce 2010) (400 000 ha)	Až $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$	4 000 000
Fytopaliva po roce 2010	Přibližně celkem	16 000 000

1.1.1. Obilná sláma

Obiloviny zaujímají v ČR 51,5 % plochy zemědělské půdy. V roce 2000 byly sklizeny obiloviny z celkové plochy 1 580 000 ha a při uvažovaném průměrném výnosu 4 tuny slámy z hektaru bylo dosaženo celostátní produkce 6 324 000 t slámy. Největší množství slámy je vyprodukováno v jihomoravském a středočeském regionu.

Při výhřevnosti slámy $14,4 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$ a roční produkci cca 6 000 000 tun, uvažované v dlouhodobém horizontu, a účinnosti spalování 80 %, je teoreticky možno z vyprodukované slámy získat 69 120 TJ energie. Tato hodnota reprezentuje teoretický potenciál energetického využití slámy.

Celkový výnos slámy není možno v plné míře využít. Z celkového množství vyprodukované obilní slámy lze pro nezemědělské (např. energetické) využití uvažovat maximálně 20 - 30 %. Zbývající sláma zůstává v zemědělských podnicích ke krmení a na stelivo, část slámy zůstává na polích k zaorání. Využitelný potenciál obilní slámy při 30% využití 1 800 000 tun slámy ročně s uvažovanou výhřevností $14,4 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$ je 25 920 TJ (Motlík, Váňa, 2002).

1.1.2. Řepková sláma

Řepka olejná patří z hlediska agroenergetiky k významným plodinám. Oproti obilní slámě, u které se počítá s výhřevností $14,0 - 14,4 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$, má řepková sláma vyšší výhřevnost 15 až $17,5 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$. Od roku 1989 se výměra sklizňové plochy řepky v České republice zdvojnásobila. Na výši hektarových výnosů řepky olejné má vliv průběh počasí během zimy, zvláště dlouhotrvající zima má zásadní vliv na přezimování porostů. Dalším významným faktorem je stav včelstev a jejich rozptýlení po krajině. Nepřízeň počasí a snížení stavu včelstev snižuje opylení řepky olejné a tím výnosy této plodiny.

Narůstající spotřeba semene řepky olejné pro potravinářské a nepotravinářské (produkce bionafty) účely a efektivní zhodnocení na trhu umožňuje rozšiřování osevních ploch, ale za předpokladu dodržení zásad řádné agrotechniky a časového odstupu pro pěstování řepky ozimé. Podle těchto zásad je možné řepku olejnou pěstovat až do 12,5 % maximálního zastoupení na orné půdě a v běžném osevním postupu s minimálně čtyřletým časovým intervalem. Výnos řepkové slámy se v ideálním případě pohybuje kolem $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, což by v ideálním případě, tj. při 100 % využití slámy a osevní ploše 270 000 ha, přineslo roční produkci 1 080 000 tun slámy. Při výhřevnosti řepkové slámy $15 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$ je využitelný potenciál vyprodukované řepkové slámy 16 200 TJ. Vzhledem k tomu, že část slámy je zaorávána a řepka je pěstována i v oblastech, kde jsou dosahovány nižší výnosy slámy a vzhledem k různým dalším překážkám, souvisejícím s nutností dopravovat slámu na místo využití, ochotou zemědělců a zemědělských podniků poskytovat část vyprodukované slámy atd., bude možno

využít 60 % vyprodukované řepkové slámy. Při osevní ploše řepky 270 000 ha tak činí využitelný potenciál řepkové slámy 648 000 tun, tj. 9 800 TJ (Motlík, Váňa, 2002).

1.1.3. Trvalé travní porosty

V současnosti jsou aktuální také otázky spojené s uplatněním biomasy trvalých travních porostů, jejichž výměra vzrostla od roku 1990 o 145 000 ha a celková rozloha se blíží 1 mil. hektarů. Trvalé travní porosty představují ve středoevropských podmínkách významný krajinný prvek i prvek soustavy hospodaření na půdě. Setrvání travních porostů je podmíněno jejich pravidelným využíváním a obhospodařováním, bez něhož by se většina luk a pastvin postupnou regresivní sukcesí přeměnila v lesní společenstvo. Cílené obhospodařování travních porostů je proto nutné k zachování celkové diverzity a k udržení jejich nezastupitelných funkcí v krajině. (Mrkvička, Veselá, 2001) Využití této biomasy pro účely produkce pelet, briket nebo bioplynu může pozitivně přispět k udržení kvalitního stavu trvalých travních porostů v naší krajině.

V dnešní době je však také významný pokles chovaného skotu a to až o 60%. Výměra trvalých travních porostů na jednotku stavu skotu se tím zvýšila na trojnásobek stavu v roce 1990. Zároveň s poklesem stavu skotu došlo k výraznému nárůstu užitkovosti skotu a v současných krmných dávkách se tedy snižuje možnost píceinářského využití produkce z travních porostů. (Abrham, Kovářová, 2007)

Tabulka 1.2: Vývoj výměry trvalých travních porostů a stavu skotu (czso.cz)

Rok	Výměra TTP (tis. ha)	Stavy skotu (tis. ks)	Výměra TP na 100 ks skotu (ha)
1990	833	3506	23,8
1995	902	2030	44,4
2000	961	1574	61,1
2005	974	1397	69,7
2010	986	1349	73,3

Průměrný hektarový výnos trvalých travních porostů byl v roce 2006 3,14 t sena na 1 ha a celková produkce tedy představuje více jak 3 mil. tun. Pokud mají trvalé travní porosty plnit mimoprodukční ekologické funkce v tvorbě a ochraně krajiny a životního prostředí, musí být zajištěno jejich pravidelné sečení. Je to i jedna

z podmínek EU, která vydává obrovské částky na programy, které zajišťují údržbu kulturní krajiny v zemích západní Evropy. Odhaduje se, že z celkové produkce lze minimálně 1 mil. tun využít pro energetické nebo surovinové účely.

Dalším významným zdrojem obdobné biomasy je produkce z narůstající plochy travních porostů na orné půdě, které vznikají v rámci agroenvironmentálních opatření podporovaných dotacemi v rámci Horizontálního plánu rozvoje venkova (zpomalení odtoku vody zatravněním orné půdy, tvorba travnatých pásů na svažitých půdách, biopásky apod.). V poslední době rovněž narůstá množství zbytkové a odpadní biomasy z údržby krajiny a veřejné zeleně v obcích a městech. (Abrham, Kovářová, 2007)

1.1.3.1. Krmný šťovík – Rumex OK 2

Krmný šťovík je vytrvalá plodina, vyšlechtěná na Ukrajině ke krmivářským účelům. V ČR je ale známý především jako netradiční plodina pro energetické využití, zejména ve formě pevné biomasy v suchém stavu pro vytápění budov. Hlavní výhodou Rumexu OK 2 je jeho vytrvalost, čímž se šetří náklady na každoroční orbu a další základní agrotechnické zásahy. Každoročně brzy z jara obrůstá a ochrání tak dokonale půdu proti vodní erozi. Je vhodný zvláště do svažitých pozemků i chladnějších oblastí, neboť je také velmi tolerantní vůči mrazu. Výnosy suché hmoty Rumexu OK 2 závisí především na dodržování správného způsobu ošetřování i na intenzitě hnojení, resp. na úrodnosti půdy. Proto se výnosy suché biomasy mohou i významněji lišit, a to od 5 až 8 t·ha⁻¹, ale na úrodné hluboké hnědozemní půdě byly získány výnosy až 9 – 10 t·ha⁻¹. Vzhledem k tomu, že produkce Rumexu OK 2 se získává každoročně, má tato energetická plodina značné výhody oproti některým cíleně pěstovaným rostlinám, neboť zajistí kvalitní biomasu rychle, tj. hned od druhého roku po založení porostu. Spalné teplo této plodiny je 19,17 MJ·kg⁻¹. (Petříková, 2008)

1.1.3.2. Psineček veliký (Rožnovský)

Nejvyšší výnos sušiny byl zaznamenán u sklizně v srpnu. Výnos sušiny měl vzrůstající tendenci od května (4,55 t·ha⁻¹ varianta hnojeno), do srpna (11,12 t·ha⁻¹ varianta hnojeno). Při sklizni v září došlo ke snížení výnosu na 10,13 t·ha⁻¹ sušiny ve hnojené variantě. Na základě těchto výsledků můžeme u psinečku doporučit sklizeň na biomasu ve sklizňové zralosti sklizně semene v průběhu srpna a do jednoho měsíce po této sklizni kdy ještě nedochází k razantnímu snížení výnosu. Z výsledků měření na kotli LIN-KA bylo vypočítáno spalné teplo 18 MJ·kg⁻¹.

1.1.3.3. Ovsík vyvýšený (Rožnovský)

Ovsík vyvýšený Rožnovský dosáhl nejvyšší výnosový potenciál sušiny v termínu sklizně ve sklizňové zralosti na semeno, a to v červnu. Výnos sušiny v červnu $7,92 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ve hnojené variantě byl nejvyšší ze všech jeho sklizní. V červenci, srpnu a září došlo již k snížení výnosu sušiny ve hnojené variantě. Na základě těchto výsledků lze doporučit sklizeň ovsíku vyvýšeného na biomasu v době sklizňové zralosti semene a to v červnu. Z výsledků měření na kotli LIN-KA bylo vypočítáno spalné teplo $16,4 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. (Andert, Juchelková, Frydrych, 2007)

1.2. Vlastnosti biomasy

1.2.1. Fyzikální vlastnosti

Pokud budeme považovat biomasu za palivo, můžeme ji hodnotit podle stejných fyzikálních a chemických kritérií jako běžná tuhá paliva. Těmi kritérii jsou: výhřevnost, spalné teplo, měrná hmotnost, údaje z hrubého rozboru (zjišťuje se výhřevnost a hmotnostní obsah vody, popela a prchavého podílu v %), údaje z prvkového rozboru (zjišťuje se hmotnostní obsah prvků: C, H, S, N, O₂ popřípadě Cl a F, v %) a údaje o vlastnostech popelovin (teploty spékání, měknutí, tání a tečení)

Biomasa má několik vlastností, kterými se liší od běžně užívaných paliv. Jednou z nejdůležitějších vlastností je proměnný a často vysoký obsah vody. Biomasu je třeba vysušit při skladování, jinak spotřebuje při spalování velký podíl spalného tepla a tím se snižuje její výhřevnost, což může způsobit nestabilitu spalování. Spalování vlhkého paliva snižuje účinnost kotle a může zkracovat jeho životnost. Typickou výhřevnost a obsah vody vybraných druhů biomasy lze nalézt v tabulce 1.3. (Janásek, 2005)

Tabulka 1.3: Výhřevnost biomasy v závislosti na obsahu vody

Druh	Výhřevnost	Při vlhkosti
	($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	(% hm)
Sláma obilní	15,46	10,00
Sláma řepková	15,90	5,56
Slaměné pelety	15,46	10,00
Psineček veliký	18,66	10,00
Krmný šťovík	17,89	12,00

Biomasa obsahuje poměrně hodně prchavé hořlaviny, která hoří v horních partiích spalovací komory, kam je třeba přivést sekundární vzduch a zajistit jeho dobré promíchání s plynným podílem. Prchlivý podíl se pohybuje od 70 do 85%.

Některé druhy biomasy mají nízký bod měknutí popelovin (800°C až 900°C), je proto nebezpečí nalepování a spékání popelovin na roštu či keramických tělesech ve spalovací komoře. Tuto vlastnost způsobuje velký podíl sloučenin alkalických kovů. Spékání popelovin lze do jisté míry zabránit slisováním výchozí suroviny pomocí peletování. (Moskalík, Baláš, Lysí, Bogdálek, 2008)

Toto neplatí u krmného šťovíku, protože teplota spékání t_s - 1191 °C, teplota počátku deformace t_A - 1306 °C a teplota tání t_B - nad 1500 °C, těchto teplot se při spalování v běžných kotlích nedosahuje a proto nevytváří na stěnách kotle sklovité nánosy.

Další charakteristický znak biomasy je její prvkové složení. Biomasa obecně má cca 50% C, 43% O, a 6% H v hořlavině. Biomasa téměř neobsahuje síru, v některých případech však obsahuje chlór, flór, draslík a těžké kovy. Tyto prvky nepříznivě působí na životní prostředí, některé z nich mohou způsobovat korozi částí kotle. Výsledky rozborů různých typů biomasy jsou uvedeny souhrnně v tabulce 1.4.

(Ochodek, Koloničný, Janásek, 2006)

Tabulka 1.4 :Výsledky rozborů biomasy

C	H	O	N	P	K
40-46	cca 6	40-44	1-5	0,05-0,8	0,3-5
Na	S	Ca	Si	Mg	B
0,02-0,5	0,05-0,8	0,3-5	0,05-3	0,05-1	0,005-0,01
Cl	Cu	Fe	Mn	Zn	
0,02-1	0,0002-0,002	0,005-0,1	0,002-0,03	0,001-0,01	

Oproti uhlí, má biomasa poměrně nízkou měrnou hmotnost. Díky různorodosti forem biomasy, může mít různou měrnou hmotnost i jeden druh biomasy. Většinou se uvádí hmotnost na přesněji definovanou objemovou jednotku, jakou je plný metr, prostorový metr či prostorový metr sypaný. (Ochodek, Koloničný, Janásek, 2006)

1.2.2. Mechanické úpravy biomasy pro energetické využití

Pro zvýšení měrné hmotnosti a snadnější manipulaci a logistiku bývá biomasa lisována do balíků, které se liší svým tvarem a velikostí. Takto upravena biomasa je vhodná jako palivo do zdrojů centrálního vytápění. Progresivněji lze lisovat stébelniny do briket, či pelet. Ke tvorbě briket či pelet dochází při lisování materiálu vhodné zrnitosti za vysokého tlaku a teploty, kdy lignin obsažený v pletivech plastifikuje a přejímá funkci pojiva. Přitom dochází k objemové redukci vstupního materiálu v poměru cca 12:1. Měrné hmotnosti a hmotnosti jednoho kusu jsou uvedena v tabulce 1.5. (Andert, Sladký, Abraham, 2006)

Tabulka 1.5: Objemové hmotnosti paliv z biomasy

Stav paliva	Měrná hmotnost (kg·m ⁻³)	Hmotnost kusu (kg)	Způsob manipulace
Sláma řezaná	40-60	0,0	Mechanicky
Nízkotlaké balíky	60-80	5	Ručně i mechanicky
Vysokotlaké balíky	80-120	10	Ručně i mechanicky
Obří balíky válcové	60-90	350	Jen mechanicky
Obří balíky kvádrové	80-160	400	Jen mechanicky
Brikety	350-600	0,5-1	Ručně i mechanicky
Pelety, granule	300-550	0,01	Ručně i mechanicky

2. Technologické postupy výroby a parametry vyrobených pelet.

2.1.Podpora ekologických pelet

Ve státech EU roste podpora využívání obnovitelných zdrojů energie a snižování závislosti společnosti na fosilních zdrojích. V některých zemích nelze více využívat jejich přirozené přírodní podmínky k využití energie vody, větru, země. Zde se může uplatnit zejména využití biomasy, která je při vhodném způsobu využití zdrojem s velkým energetickým potenciálem.

V České republice je podpora využívání biomasy řešena zejména regulací výkupních cen elektrické energie a tzv. uhlíkových kreditů. Důsledkem tohoto systému často dochází k neekonomickému a neekologickému využití. Jako nevhodné řešení se jeví velké zdroje, spolu spalující biomasu a hnědé uhlí, případně kogenerační zdroje pro výrobu dotované elektrické energie, kde je teplo mařeno. Velké zdroje jsou nevhodné zejména z důvodu velké vzdálenosti zařízení od zdroje biomasy, která je dopravována převážně silniční dopravou a kde vzniká značné množství emisí, především z fosilních zdrojů. Mnohem perspektivnější se ukazuje podpora menších zdrojů pro vytápění.

Biomasa je vhodná zejména k využití v regionu, kde se nachází, narostla zde nebo zde je zdroj druhotných surovin z výroby. Vhodná je zejména k vytápění několika desítek rodinných domů, bytových domů a společenských objektů (škol, domů pro seniory, úřadů atd.). Procesu spalování předchází nutná homogenizace pro kotle středních a vyšších výkonů formou lisování do balíků a pro malé lokální zdroje (domovní kotle) do pelet. Tyto pelety, označované jako „alternativní pelety“, představují palivo, které by se mohlo za určitých okolností stát významným zdroje obnovitelné energie.

Pelety jsou palivem, které je dnes již normalizováno ČSN EN 14961 částí 1,2 a 6. Na trhu je již širší výběr typů kotlů, hořáků a zařízení pro plně automatický režim spalování. (Klobušník, 2003)

2.2. Mechanizace pro sklizeň bylinné biomasy pro termochemické využití

Sklízení bylinné biomasy je možné rozdělit do dvou typů:

- jednofázové – využívá se celé rostliny, není možné oddělit části rostliny a využít je na jiné účely,
- vícefázové – v první fázi jsou rostliny posekány a zbaveny semene, takto přetrvávají v řádcích na polích; ve druhé fázi jsou rostliny sklizeny z pole vhodnou technologií a ve formě balíků odváženy k dalšímu zpracování.

Obecně platí, že pro sklizeň bylinné biomasy určené pro energetické využití, lze užít širokou škálu technologických postupů, které se používají pro sklizeň a úpravu plodin určených pro potravinářské, krmivářské nebo průmyslové účely. Na obrázku 2.1 je znázorněno schéma sklizení slámy. (Ochodek, Koloničný, Branc, 2007)



Obrázek 2.1: schéma sklizně stébelnin

Sekačky – K sekání bylin se nejčastěji používají bubnové a diskové sekačky. Princip spočívá v rotaci bubnu nebo disku, který je osazen noži.

Řezačky – slouží pro sklizeň biomasy ve formě řezanky.

Žací mlátičky – žací mlátičky jsou stroje pro sklizeň zrna obilovin, olejnin nebo luštěnin. Typy pro jednotlivé plodiny se samozřejmě liší.

Shrnovače – slouží ke shrnování proschlé slámy do řádku.

Svinovací lisy – slouží pro lisování slámy a sena, podle výstupního tvaru dělíme na lisy na válcové balíky a lisy na hranolové balíky.

(Ochodek, Koloničný, Branc, 2007)

2.3. Balíkovací lisy pro úpravu slámy

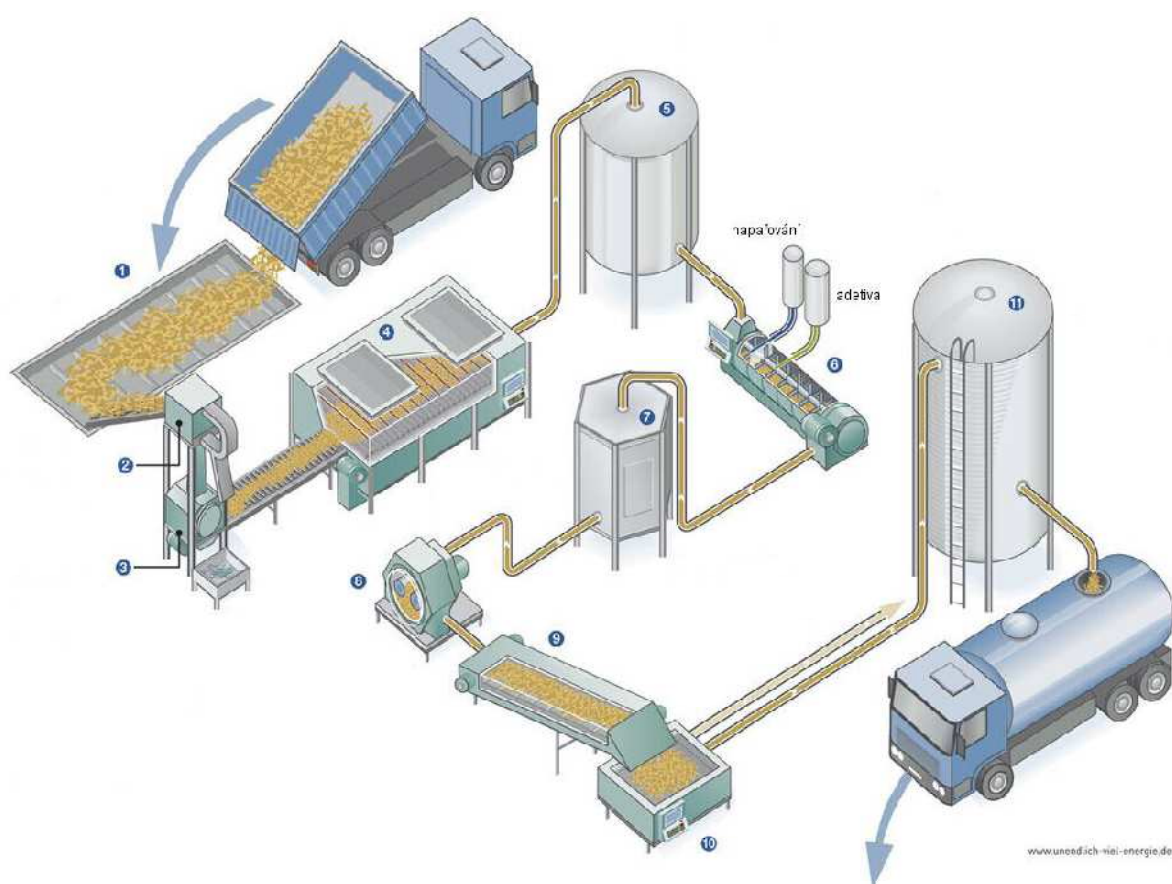
Lisy na válcové balíky mají svinovací komoru s konstantním nebo proměnným objemem a lisují balíky šířky 1,2 m a průměru od 0,9 m do 1,5m. Lisovací komoru lisu s konstantním objemem tvoří 6 až 13 formovacích válců. Lisy s proměnným objemem používají pásové lisovací komory, kde na pohonných válcích je upevněn lisovací pás. Lisy váží do provázku, ale je možné je doplnit o vázání do sítě.

Princip lisu na hranolové balíky je odlišný. Řezací ústrojí má až 25 nožů, které je možné rozestavit tak, aby se přizpůsobili požadavkům a podmínkám sbíraného materiálu samotné lisování se děje pístem v lisovací komoře, který má okolo 40 zdvihů za minutu. Tyto rychlosti zaručují vysokou průchodnost materiálu při vyrovnaném a kultivovaném chodu lisu. (Ochodek, Koloničný, Branc, 2007)

2.4. Peletizační linka

Výroba pelet z biomasy je poměrně složitý a energeticky náročný proces. Proto se k jeho přípravě a realizaci musí přistupovat se znalostí problému, aby nedocházelo k výrobě nekvalitních výsledných pelet. Rozdílné vlastnosti vstupní suroviny si vyžadují zkušenosti a znalosti linky, na výslednou kvalitu má vliv řada faktorů jak během procesu peletování, tak i vlastnosti vstupního materiálu. Jedná se zejména o vlhkost, tlak, velikost částic materiálu, případně napařování a přidání pojiv. Obsluha reaguje na vlhkost materiálu, velikost částic případně a jak a kdy dávkovat pojiva a maziva.

Linka na výrobu pelet je složena z různých technologických úseků, které na sebe logicky navazují. Příjem a příprava suroviny – drcení – sušení – lisování – chlazení a balení. Jednotlivé sekce jsou vzájemně kompatibilní a současně variabilní. Celá linka i jednotlivé sekce je možné přizpůsobit požadavkům vstupní suroviny, výkonnosti i expedici. Na obrázku 2.2 je schéma peletizační linky. (Jansa, 2011)



Obrázek 2.2: skladba peletizační linky (unendlich-viel-energie)

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| 1. Pásový dopravník | 7. Homogenizační silo |
| 2. Oddělovač kovu a kamenů | 8. Lis |
| 3. Tlukadlový drtič | 9. Chladič |
| 4. Sušička | 10. Třídící síto |
| 5. Silo | 11. Skladovací silo |
| 6. Vlhčení a dávkování aditiv | |

Technologické části lze přidávat podle vlastností vstupní suroviny. Například linky na výrobu pelet ze sena, slámy a energetických bylin, které jsou na poli kompaktny do balíků, jsou osazeny především dopravníkem pro přepravu balíků, rozdužovačem balíků a drtičem slámy.

2.4.1. Dopravník slaměných balíků

Výroba pelet začíná příjmem výchozí suroviny, v našem případě stébelnin, ať už řepkové či obilné slámy, nebo píce pro energetické účely. Surovina je nejčastěji přijímána ve formě kompaktních balíků. K dopravě balíků do peletizačního procesu využíváme buď příjmové stoly, nebo jako v našem případě dopravníky, ať už pásové, hrabicové nebo řetězové. Dopravníky jsou poháněné elektromotorem a jejich rychlost posuvu je ovládaná frekvenčním měničem. Na obrázku 2.3 je možno vidět řetězový dopravník na balíky od firmy ATEA Praha s.r.o.



Obrázek 2.3: Dopravník balíků

2.4.2. Rozdružovač balíků

Rozdružovač balíků je zařízení pro rozrušení na jednotlivá stébla slámy, sena nebo energetických bylin. Pro peletizační linky se používají stacionární rozdružovače balíků na elektropohon. Pro malovýrobu je možné použít běžnou zemědělskou verzi rozdružovače s metačem například KRUK, při použití tohoto stroje odpadá potřeba dopravníků na balíky. Vyústění metače musíme napojit do následného drtiče slámy. Rozdružování balíků vykonávají nejčastěji dva bubny, na kterých jsou umístěny nože, velikost vkládací komory rozdružovače musí odpovídat nebo být větší než velikost vkládaných balíků. Na obrázku 2.4 je stacionární rozdružovač od firmy ATEA Praha s.r.o. a na obrázku 2.5 je mobilní rozdružovač KRUK.



Obrázek 2.4: Stacionární rozdružovač



Obrázek 2.5: Mobilní rozdružovač

2.4.3. Drtiče

Drcení probíhá zpravidla v kladívkových drtičích. Velikost drtě je regulována hrubostí síta ve spodní části drtiče a před granulací by neměla přesahovat 1/5 průměru finálních pelet. Velká hrubost částic zvyšuje opotřebení lisu a například u slámy, způsobuje během granulace výrobou tzv. „slaměnek“. Jsou to naježené pelety s trvanlivostí přibližně 10 dnů. Pro výrobu i výslednou vysokou kvalitu pelet je výhodnější jemnější struktura materiálu před granulací, tím se zlepší výsledná pevnost pelet, klesá i nutnost přidávání pojiv. S drcením se zvětšují povrchové plochy částic, které se pojí. Obvykle se proto šrotuje na sítích s otvory o velikosti 4 – 6 mm. (Kott, 2009)

2.4.4. Úprava nadrcené biomasy

Vlhčení vodou: Studenou vodu je třeba přidávat po delším časovém odstupu, její působení je mnohem pomalejší. Navlhčením se aktivuje lignin obsažený v materiálu. Vlhkost výsledné směsi před granulací by neměla přesáhnout 15%, kvůli výsledné pevnosti hotových pelet.

Napařování: Přivádění páry je vhodné provádět blíže před granulací, jelikož je intenzivní a pomáhá aktivovat lignin, který je obsažen v materiálu. Napařování ovlivňuje kvalitu výsledných pelet, zvyšuje výkonnost a životnost lisu, a to při mírném zvýšení nákladů přípravu páry.

Míchací zařízení peletizační linky může také zahrnovat směšovací komoru pro přidávání aditiv.

Vhodnější se jeví napařování díky lepší aktivaci ligninu obsaženého v materiálu, který během lisování působí jako pojivo. (Pastorek, 2004)

Aditiva: Aditiva se přidávají zejména pro zrychlení procesu, snížení nákladů na energie, prodloužení životnosti lisovacích matric a také ke zlepšení kvality výsledného produktu. Například přidávání nadrceného hnědého uhlí do krmného šťovíku snižuje emisní hodnoty CO výsledného produktu (Hutla, 2005)

SUŠENÍ: Některé suroviny mají vhodnou vlhkost do 15 % již po dopravě na místo peletizační linky, některé je nutné dosušit. Balíky lisované za obvyklých podmínek mají vlhkost v rozmezí 10–14 %, proto není nutné do linky zařazovat sušičku (do 18 % dochází k snadnému lisování, ale klesá výsledná pevnost pelet). Sušení vstupní suroviny na požadovanou vlhkost je možné realizovat spalováním části materiálu v rámci technologického procesu, přičemž vznikající teplo bude využito v sušárně. Lze sušit horkým vzduchem ohříváním přes tepelný výměník nebo přímo spaliny. (Jansa, 2011)

2.5. Peletizační lisy

Z hlediska výroby pelet je nejdůležitější granulační lis. Do lisu je materiál přiváděn nejčastěji šnekovým dopravníkem z homogenizačního mísícího zásobníku. K vlastní granulaci dochází společným působením tlaku, tepla a vlhka.

Protlačovací peletovací lisy jsou jen velmi málo upravené granulační lisy na výrobu tvarovaných krmiv na bázi slámy a semen. Je nutné, aby surovina do granulátorů k vlastnímu slisování vstupovala homogenizovaná.

Granule po výpadu z matrice lisu jsou měkké a více či méně lepivé. Je nutné přímo je sypat do protiproudého nebo pásového chladiče. Jakýkoliv dopravník mezi lisem a chladičem je na škodu celého projektu, přináší komplikace, a tudíž zvyšuje provozní náklady. Vychlazené granule se potom vytřídí od odrolu a expedují. Oddrol je vracen zpět ke granulaci. (Jansa, 2011)

Základní rozdělení lisů můžeme provést podle osy rotace a tvaru matrice.

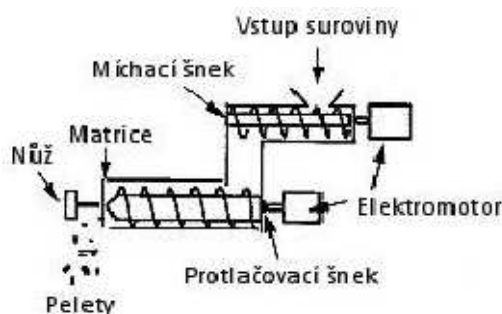
- Talířové
 - o Vertikální
 - o Horizontální

- Prstencové
 - o Vertikální
 - o Horizontální

Vzdálenost mezi rolnami a matricí musí být přesně seřízená, protože jejich otáčení je většinou vyvozováno pouze vzájemným odvalováním mezi matricí a rolnou.

2.5.1. Lisy s talířovou vertikální matricí

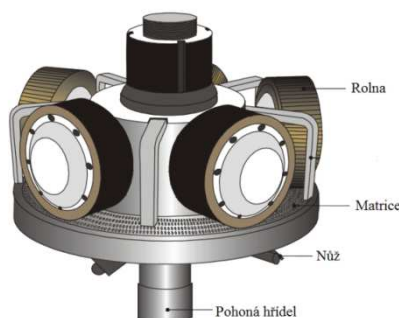
Tento typ lisu se pro výrobu pelet používá jen velmi zřídka. Tyto lisy mohou sloužit spíše pro domácí malovýrobu bez dlouhého skladování, jelikož nedosahuje velkých lisovacích sil a pelety nejsou tolik zhutněny. Svojí koncepcí a uložením ložisek je vhodný pro granulování měkkých materiálů, především krmných směsí. (Jansa, 2011)



Obrázek 2.6: Lis s talířovou vertikální matricí

2.5.2. Lisy s horizontální talířovou matricí

Tento typ lisu je tvořen systémem 3-4 kónických otáčivých roln, které se odvalují po kruhové matrici a protlačují surovinu dolů kanály v matrici. Výkonnost těchto lisů dosahuje jen hodnot 0,1 až 1,5 t·h⁻¹. Tento princip je často využíván v linkách na výrobu krmiv a pelet. (Jansa, 2011)



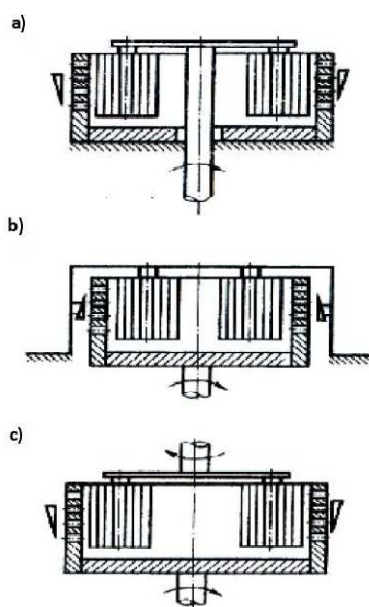
Obrázek 2.7: Lis s horizontální talířovou matricí

2.5.3. Lisy s prstencovou horizontální maticí

Lis s prstencovou maticí pracuje na principu děrovaného disku, v jehož vnitřní části jsou umístěny dvě nebo více kladek, které protlačují materiál skrze otvory. Výkonnost těchto lisů se pohybuje v rozmezí 2–3 t·h⁻¹. Životnost matic a roln lisu je odhadována na cca 1 000–1 500 hodin (odpovídá přibližně 10 000 vyrobených tun). Lis je svojí konstrukcí a uložením ložisek tuhý, a proto vhodný pro výrobu pelet. (Jansa, 2011)

Lisy s prstencovou horizontální maticí:

- a. rotační rolny – pevná matice
- b. pevné rolny – rotační matice
- c. rotační rolny – rotační matice

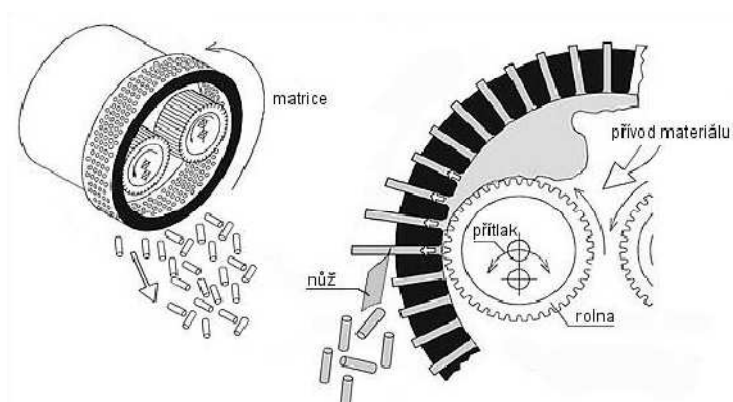


Obrázek 2.8: Lisy s prstencovou horizontální maticí

Výhodou prstencových lisů je vysoký lisovací tlak (vysoká kvalita pelet), snadný přívod materiálu k rolnám násypkou v horní části, stejnoměrné zatížení matrice po celé ploše (více kladek zlepšuje vyváženost lisu) a menší počet pohyblivých částí (menší provozní náklady).

2.5.4. Lisy s prstencovou vertikální maticí

Pro vyšší výrobní výkonnost se používají lisy s prstencovou maticí s mnoha přesně vyrobenými otvory, která se otáčí kolem horizontální osy na horizontálním čepu a je obklopena pláštěm. Ve vnitřním prostoru matrice jsou na čepích umístěny otáčivé rolny, zpravidla dvě a v přesné vzdálenosti od sebe. Rolnami se zpracovaný materiál protlačuje přes matici. Na vnější straně matrice je umístěn nůž, který upravuje délku vyrobených pelet. (Holz, 2007)



Obrázek 2.9: Lis s prstencovou vertikální maticí

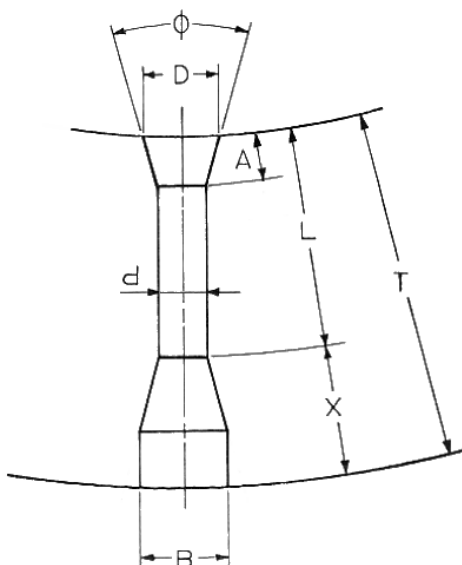
2.5.5. Matrice

Matrice jsou vyráběné z legované nebo nerezové oceli (X46Cr13, 20MnCr5). Celkový počet otvorů v matici je volen s ohledem na životnost matrice a ekonomickou stránku výroby. Pro dosažení maximální výrobní kapacity je potřeba používat matici s co největším počtem otvorů. Nicméně pokud jsou kanály příliš blízko, dochází k působení velkých lisovacích tlaků na matici a ta se rychleji opotřebovává.



Obrázek 2.10: Matrice a rolny od firmy STOZA s.r.o.

2.5.6. Rozměry tvářecích kanálků a jejich tvar v matrici



Obrázek 2.11: Detail tvářecího kanálku

A ... hloubka vstupního zahloubení

B ... průměr výstupního odlehčení

D ... vstupní průměr (zahloubení). – Většinou je vstup kanálu zúžený z důvodu zlepšení toku materiálu do otvoru.

d ... průměr kanálu určující průměr pelet

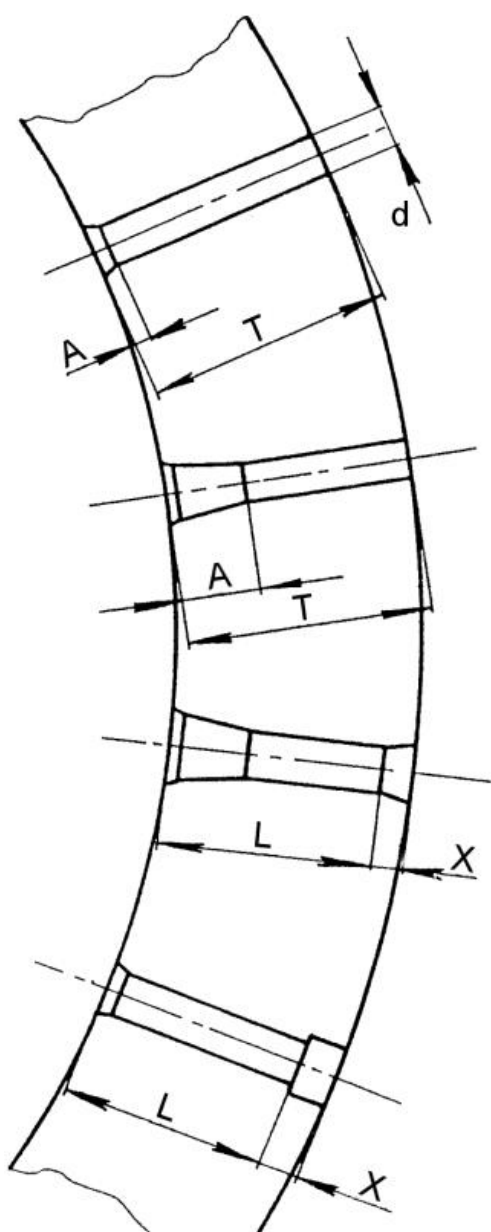
L ... efektivní délka kanálu – Toto je skutečná délka kanálu v matrici, kde probíhá komprese pelety.

T ... celková tloušťka matrice – Celková tloušťka matrice bývá větší než tloušťka efektivní, protože napětí uvnitř kanálu během peletování klesá. Tloušťka matrice se pohybuje v rozmezí 30 až 130 mm.

X ... hloubka odlehčení – Je rozdíl mezi celkovou a efektivní tloušťkou matrice. Odlehčení provádíme ze dvou důvodů:

- Použití silnějších polotovarů matrice pro zvýšení životnosti, a přesto je dosaženo požadované účinné tloušťky.
- Pro zlepšení toku materiálu po konci tváření.

$\emptyset$... vstupní úhel. Obvykle od 30 ° až 40 ° pro menší průměry matrice.



Obrázek 2.12: Tvary kanálků

Bez zahrnutí – Tento typ je vhodný pro širokou škálu granulovaných materiálů. Při lisování materiálu s vlhkostí $>15\%$ může docházet k ucpávání kanálů.

Hluboký – Kanál speciálně navržen pro specifické aplikace, kde probíhá granulování za vysokých tlaků.

Kuželový – Pro granulaci vysoce abrazivních surovin nebo s vysokým obsahem vláknin.

Válcový – Vhodný pro širokou škálu lisovaných materiálů, zahloubení pro zlepšení průchodnosti kanálů i při vlhkosti $>20\%$

Je-li vyžadována vysoká efektivita provozu výroby pelet, je vhodné zvolit matici (průměr otvorů, celková tloušťka matrice, hloubka reliéfu, tvar kanálů) pro konkrétní druh a tok zpracovávaného materiálu. (Jansa, 2011)

2.5.7. Rolny

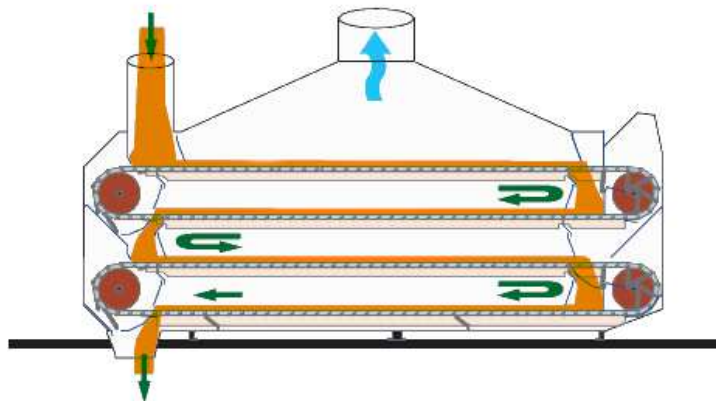
Jsou obvykle vyrobeny z legované oceli s povrchem z karbidu wolframu, nebo z drážkované vysokolegované oceli. Hlavním úkolem je vtlačování materiálu do kanálů matrice, k tomu je uzpůsoben tvar a konstrukce rolny, aby byl omezen skluzu materiálu. Peletovací lisy mají podle výkonnosti nejčastěji dvě nebo tři rolny působící uvnitř matrice. (Trenev, 2010)



Obrázek 2.13: Lisovací rolny od firmy Trenev

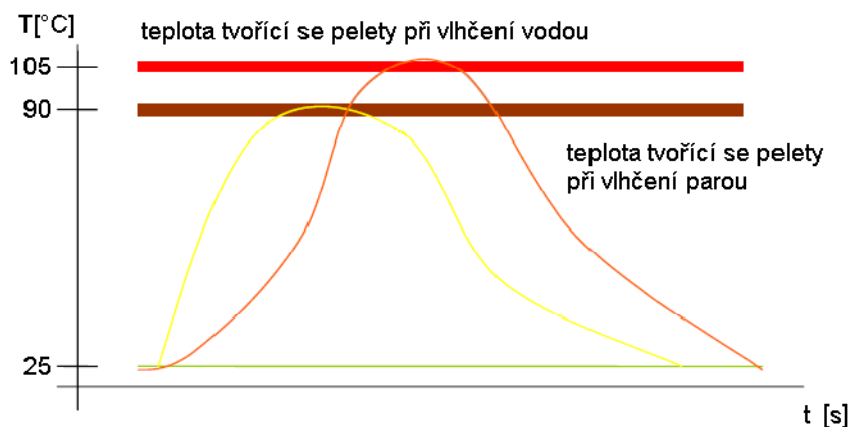
2.6. Chlazení a třídění pelet

Po protlačování mají pelety teplotu 90–100 °C a je vhodné je chladit. Chladič je zařazován v granulační lince přímo za granulátor a zabezpečuje vychlazení pelet teplotu blízkou okolnímu prostředí cca 25 °C. Po vychladnutí ligninu spolu s přidávanými aditivami udržuje peletu v požadovaném tvaru a zároveň zabraňuje jejímu rozdrolení. Lignin tvoří na povrchu tvrdý povlak, který zabraňuje vnikání vlhkosti do pelet během skladování. Obrázek 2.14 ukazuje schéma pásového horizontálního vícevrstvého chladiče. (CIOLKOSZ, 2009)



Obrázek 2.14: Schéma pásového horizontálního chladiče

Zbytkové teplo můžeme odvádět využít k vysoušení výchozího materiálu, nebo k vytápění zemědělského podniku.



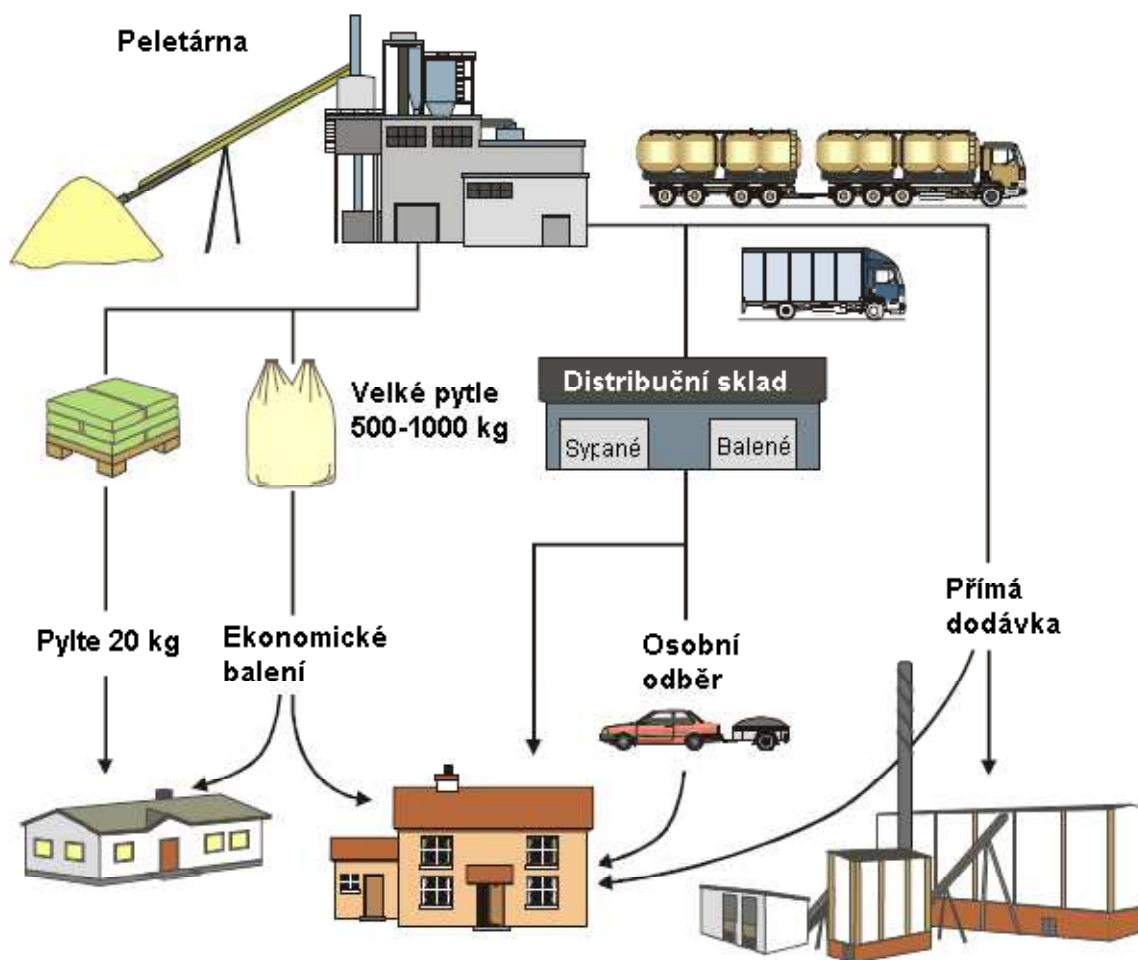
Graf 2.1: Teploty lisovaného materiálu

Z grafu 2.1 je patrné, jaký vliv má způsob vlhčení na teplotu vznikajících pelet. Při použití vody je nutné zchlazovat z vyšší teploty, cca o 10°C vyšší. U použití vody musíme také posunout časovou rezervu mezi vlhčením a lisováním, u napařování můžeme lisovat ihned po napaření. (Kott, 2009)

K třídění pelet a odrolu se nejčastěji používají vibrační třídíče vyráběné ke kontinuálnímu prosévání krmných směsí, osiv a suchých, sypkých, neabrazivních materiálů. Pelety vstupují do třídíče zpravidla otvorem v horní části a dále jsou rovnoměrně rozdělována na plochu síta. Další způsob odloučení odrolu je pomocí sít v pásovém chladiči pelet, v pásu jsou díry nejčastěji o 2 mm menší, než průměr vyrobených pelety. Odrol, který propadne sítí, je odváděn samostatnými výpady na konci stroje a dále vrácen zpět do výrobního procesu.

2.7. Balení a expedice pelet

Pelety jsou distribuovány přes různé maloobchodní či velkoobchodní podniky nebo je výrobci mohou dodávat přímo konečným spotřebitelům. Ve způsobu dodání se liší i způsoby balení a přepravy. Pelety jsou prodávány buď jako volně ložené nebo v malých pytlích či velkých vacích. V České republice ještě není zcela komplexní distribuční řetězec, ve skandinávských státech je tradice pelet o něco starší a již mají vybudován systém prodeje, který je schematicky znázorněn na obrázku 2.15.



(Figure: VTT).

Obrázek 2.15: Schéma finské distribuce pelet

2.7.1. Způsob distribuce

Malé fóliové pytle: Hmotnost těchto balení je okolo 15-25 kg, ty jsou poskládány na EU paletách. Konečnému spotřebiteli jsou dodávány skrze maloobchodníky, obchodní řetězce nebo i přímou dodávkou od výrobce. Pytle jsou uzavřené zatavením a nemůže se k peletám dostat vzdušná vlhkost, jsou tedy vhodné i k venkovnímu skladování, doporučuje se skladování alespoň pod přístřeškem. Malé pytle jsou vhodné spíše pro malé spotřebitele, kteří spalují pelety v kotlích menších a středních výkonů nebo jako doplňkové palivo v kombinovaných kotlích.

Velké vaky: Hmotnost těchto vaků se pohybuje v rozmezí od 500 kg do 1000 kg a objemu od 1 m³ do 1,5m³. Přeprava velkých vaků je ekonomičtější, ale je potřeba techniky pro její manipulaci, tudíž je tento systém nevhodný pro malé spotřebitele, kteří nemají techniku pro dopravu velkých vaků. Tato metoda je tedy vhodná pro velkospotřebitele a pro kotelny, které jsou na tento způsob projektovány a je u nich přístup přepravních manipulátorů až ke skladovacím násypkám. Tyto vaky se většinou distribuují od výrobce, který je doveze přímo do rodinného domu nebo do průmyslové kotelny.

Volně ložené: Při využití ve velkých zdrojích mohou být pelety distribuovány nákladními automobily v návěsech nebo cisternami. Pro rodinné domy se skladem pelet je velmi vhodné využití automobilu se zásobníkem, kde pomocí tlakového vzduchu jsou pelety pneumaticky dopraveny přímo do skladu. Metody pneumatické dopravy hadicemi je možno využít až na 20 m vzdálenosti automobilu od skladu pelet a převýšení může být až 2 metry, rychlost vykládky je okolo 10 t·h⁻¹. (Eija Alakangas, Paavo Paju, 2002)

2.8. Parametry vyrobených pelet

Jako každé zboží na trhu, tak i pelety by se měly vyrábět v určité, předem specifikované kvalitě, a tato kvalita by se měla řídit technickými normami.

Na našem trhu se v současné době nejvíce setkáváme s následujícími normami, ve kterých jsou uvedeny kvalitativní požadavky na pelety: německé normy DIN 51731, DIN plus, rakouská norma ÖNORM M7135, česká předběžná norma ČSN P CEN/TS 14961 a technická směrnice č. 55 – 2008 (MŽP ČR). Normy se od sebe liší jak surovinou pro výrobu pelet, tak parametry, ale také i zkušebními postupy, případně dalšími požadavky týkajícími se výroby.

V tabulce 2.1 je porovnání norem DIN 51731, DIN plus, ÖNORM M7135, ČSN P CEN/TS 14961 a Technické směrnice č. 55 – 2008.

Tabulka 2.1: Porovnání norem DIN plus, ÖNORM M7135, ČSN P CEN/TS 14961 a Technické směrnice č. 55 – 2008.

Norma		DINPlus (DIN 51731)	ÖNORM M 7135	ČSN P CEN/TS 14961	Směrnice č. 55-2008
Druh biomasy		dřeví biomasa	dřevní pelety/pelety z kůry	dřevní, bylinná, ovocná biomasa, směsi a příměsi	bylinná biomasa
Ukazatel	Jednotka	Parametr	Parametr	Parametr	Parametr
Průměr pelety	mm	$4 \leq d < 10$	$4 \leq d < 10 / \geq d < 10$	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	neudává
Sypná hmotnost	$\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$	$\geq 1,12 (> 1,0 \text{ až } 1,4)$	$\geq 1,12 / \geq 1,12$	doporučeno stanovit při prodeji v obj. jednotkách	$\geq 1,12$
Obsah vody	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	$\leq 10,0 (< 12)$	$\leq 10,0 / 18,0$	3 třídy	≤ 10
Obsah popela	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	$\leq 0,50 (< 1,5)$	$\leq 0,50 / \leq 6,0$	5 tříd	≤ 6
Výhřevnost	$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\geq 18,0 (17,5 \text{ až } 19,5)$	$\geq 18,0 / \geq 18,0$	doporučeno informovat	≤ 16
Obsah síry	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	$\leq 0,04 (< 0,8)$	$\leq 0,04 / \leq 0,08$	4 třídy	$\leq 0,15$
Obsah dusíku	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	$\leq 0,30 (< 0,30)$	$\leq 0,30 / \leq 0,60$	5 tříd	$\leq 0,9$
Obsah chloru	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	$\leq 0,02 (< 0,03)$	$\leq 0,02 / \leq 0,02$	4 třídy	$\leq 0,18$
Otěr	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	2,3 (žádný)	$\leq 2,3 / \leq 2,3$	3 třídy	$\leq 2,3$
Pomocný lisovací prostředek	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	2,0 (není povolen)	$\leq 2 / \leq 2$	určit druh a obsah	≤ 6
Jemné částice	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	-	-	3 třídy	-
Minimální doba skladovatelnosti	měsíce	-	-	≥ 6	≥ 6

Z tabulky je zřejmé, že každá jednotlivá norma řeší pelety z jiných druhů biomasy. Evropská specifikace ČSN P CEN/TS 14961 je komplexnější a charakterizuje pelety nejen z dřeva, ale i jiné biomasy a technická směrnice č. 55 – 2008 uvádí parametry pouze pro bylinnou biomasu.

V současné době se začíná naše předběžná norma ČSN P CEN/TS 14961:2005 převádět na evropskou normu EN, která je zatím v podobě normy prEN 14961-1 tuhá biopaliva. Oproti ČSN P CEN/TS 14961 vykazuje návrh pro specifikaci pelet změny v jakostních ukazatelích.

Tabulka 2.2: Porovnání předběžných norem ČSN P CEN/TS 14961: 2005 a prEN 14961-1: 2008

Norma		ČSN P CEN/TS 14961	prEN 14961-1
Druh biomasy		dřevní, bylinná, ovocná biomasa, směsi a příměsi	dřevní, bylinná, ovocná biomasa, směsi a příměsi
Ukazatel	Jednotka	Parametr	Parametr
Průměr pelety	mm	5 druhů rozměrů od ≤ 6 mm do ≤ 25 mm $\pm 0,5$ mm	5 druhů rozměrů od 6 mm do 25 mm $\pm 1,0$ mm, upřesnění rozměrů
Délka pelety	mm	5 druhů rozměrů od $L \leq 5$ x průměr do 4 x průměr $\leq L$	5 druhů rozměrů od $3,15 \leq L \leq 40$ mm až 50 mm
Sypná hmotnost	$\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$	doporučeno stanovit při prodeji v obj. jednotkách	5 tříd (od BD550 po BD700+)
Obsah vody	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	3 třídy	2 třídy (M10 a M15)
Obsah popela	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	5 tříd	7 tříd (A0.5 až A3.0+)
Výhřevnost	$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	doporučeno informovat	udávat minimální hodnotu
Obsah síry	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	4 třídy	6 tříd (S0.02 až S0.20+)
Obsah dusíku	$\% (\text{m}/\text{m})$	5 tříd	6 tříd (N0.3 až N3.0+)
Obsah chloru	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	4 třídy	5 tříd (Cl0.02 až Cl0.10+)
Otěr	$\% (\text{m}/\text{m})$	3 třídy	4 třídy (DU97,5 až DU95,0-)
Pomocný lisovací prostředek	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	určit druh a obsah	určit druh a obsah
Jemné částice (<3,15 mm)	$\% (\text{m} \cdot \text{m}^{-1})$	3 třídy	5 tříd (F1.0 až F5.0+)
Minimální doba skladovatelnosti	měsíce	≥ 6	≥ 6

Parametry v tabulce jsou převážně normativní. Hodnoty obsahu síry, dusíku a chlóru jsou však normativní pouze pro chemicky ošetřenou biomasu (u síry pokud byla biomasa ošetřena aditivem obsahujícím síru). Pro ostatní biomasu jsou tyto parametry (S, N, Cl) informativní. Nový návrh prEN 14961-1:2008 v sobě zahrnuje různorodost zdrojů biomasy, která se odráží ve větším počtu tříd, které jsou definovány pro stanovované parametry. Na jejich základě bude možno lépe specifikovat jednotlivé druhy pelet. (Kotlánová, 2010)

3. Vlastnosti tuhých biopaliv vyrobených ze slámy a píce

Je možné rozlišovat dvě skupiny ukazatelů určující jakost tuhých biopaliv: chemicko-termické a fyzikálně-mechanické. Chemicko-termické ukazatele zahrnují prvkový rozbor, obsah popela, obsah vody, výhřevnost a tavitelnost popela. Fyzikálně-mechanické ukazatele zahrnují geometrii výlisku, mechanickou odolnost, pevnost v tlaku a měrnou hmotnost.

3.1. Chemicko-termické ukazatele

Chemicko-termické ukazatele stanovují obsah jednotlivých chemických prvků v biomase, obsah popela, vlhkost a výhřevnost výlisků. Z chemicko-termických ukazatelů je možné ovlivnit pouze obsah vody. Ostatní ukazatele jsou dány vlastnostmi lisovaného materiálu. (Janíček, 2011)

3.1.1. Vlhkost

Vlhkost je veličina podstatně ovlivňující výhřevnost. Protože bezvodá biomasa se v přírodě prakticky nevyskytuje, musí se vždy během spalování nebo zplyňování odpařit větší nebo menší množství vlhkosti. Vedle výhřevnosti ovlivňuje obsah vody také vhodnost ke skladování. Obsah vody nad 16 % vede zpravidla k biologickým procesům odbourávání nebo transformace, které jsou spojeny se ztrátami. Odbourávání substance bakteriemi nebo houbami probíhá ale také souběžně se změnou složení paliva. Například vlivem růstu hub dochází příležitostně ke zvýšení obsahu ligninu. Také je tendence ke zvyšování obsahu popela, protože anorganická masa zůstává stejná. K tomu přistupuje nebezpečí požáru, které existuje u vlhkých paliv především ze samovznícení. Je zapříčiněno respirací (dýcháním) ještě žijících buněk Parenchymu. Od teploty 40 °C probíhá tato respirace ve zvýšené míře, takže další uvolňování tepla do 60 °C, příp. 75 °C vede zpětně k metabolismu hub a bakterií. Příčiny dalšího zvyšování teploty do 100 °C nejsou dosud úplně objasněny. Zde se tuší průběhy procesů sorpce vodní páry, pyrolýzy a hydrolýzy a rovněž katalytické efekty určitých kovů. Nad 100 °C dochází konečně k chemické oxidaci, která může vést až k samovznícení. Toto nebezpečí existuje především při naskladnění vlhkých balíků sena a u jemně rozdrčeného dřeva ve formě pilin nebo kůry, protože vznikající teplo nemůže být odváděno z důvodu zabráňující přirozené konvekce a nepatrného vedení tepla.

(Kotlánová, 2009)

3.1.2. Spalné teplo

Spalné teplo je množství tepla, které je k dispozici, když se také zpětně získává kondenzační teplo z vodní páry, která se tvoří při spalování. K tomu musí být spaliny ochlazeny tak, aby mohla kondenzovat vodní pára z vazeb paliva obsahujících vodu ve formě vázané nebo volné. Protože teplo přitom uvolněné přispívá k výtěžku energie, leží spalné teplo stále výše než výhřevnost. To platí obzvláště u vlhkých paliv, u kterých s kouřovým plynem odchází vodní pára a pokud není využito jejich kondenzační teplo, snižuje se tepelná účinnost spalování. Teprve rekondenzace vznikající vodní páry umožňuje vyšší zisk energie, při kterém je využito spalné teplo („technika spalného tepla“). Při nízkém obsahu vody (< 30 %) se již tolik neprojevují změny obsahu vody v daném množství paliva (např. v naplněném silu štěpky) na celkové množství energie. Sice výhřevnost a spalné teplo klesají lineárně se zvyšujícím se obsahem vody, avšak energetické množství ohodnocené spalným teplem zůstává na obsahu vody nezávislé. To znamená, že při sušení paliva ve spodní oblasti obsahu vody nestojí v popředí zvýšení netto-energie, ale víceméně zamezení hmotnostních ztrát biologickým odbouráváním a rovněž dodržení jakosti. Stébelniny a energetické obiloviny a byliny se obvykle spalují suché. Ovšem neměli bychom vyloučit siláže celých rostlin, kde lze uplatnit využití techniky spalného tepla. Látky obsažené v palivu mají vliv na emise škodlivin, na vývoj koroze a na tvorbu strusky ve spalovací komoře a výměníku tepla. (Kotlánová, 2009)

3.1.3. Výhřevnost

Výhřevnost je v praxi podstatně více ovlivňována obsahem vody než druhem biomasy. U absolutně suché stébelné hmoty je např. výhřevnost pouze asi o 6 % nižší než u sušiny dřevin. Pro výhřevnost sušiny je rozhodující látkové složení. Biomasa s vysokým obsahem ligninu má zpravidla vyšší výhřevnost než materiál obsahující převážně celulózu. Výhřevnost samotného ligninu je při $28,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ o cca dvě třetiny vyšší než celulózy (cca $17,3 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). Výhřevnost tuhých biopaliv je také ekonomickým parametrem. (Kotlánová, 2009)

3.1.4. Teplota deformace popela, teplota měknutí, tání a tečení

Při termických procesech přeměny energie dochází na žárovém lůžku k fyzikálním změnám popela. Podle úrovně teploty dochází k deformaci až k úplnému roztavení částic popela. Tyto změkčovací poměry jsou charakterizovány teplotami deformace, měknutí (kulovitěho tvaru), tání (polokulovitěho tvaru) a tečení. U paliv s nízkými teplotami měknutí popela, mezi které patří např. stébelniny a celé rostliny obilovin, existuje vysoké riziko, že překročení kritické teploty povede k připečeninám v topeništi, na roštu a na stěnách výměníku. Tyto připečeniny mohou vést k poruchám, přerušování provozu a ke změnám v přívodu spalovacího vzduchu a musí být mechanicky odstraňovány. Zamezení připečenin se může provádět nákladnými přídatnými zařízeními, jako jsou vodou chlazené roštové systémy nebo spalovací pánve, zpětná vedení spalín, drtiče popela, víření paliva apod., přesto je to většinou spojeno se zvýšením nákladů. Paralelně k tomu musí být často také omezena maximální teplota spalování. Protože tento pokles teploty není vždy kompenzován odpovídající větší dodatečnou spalovací zónou ke zvýšení doby trvání plynu, je tendence k následným účinkům na úroveň produkce škodlivin, neboť při klesajících teplotách probíhají spalovací reakce pomaleji a vyžadují tak delší reakční dobu, aby se zajistilo co možná úplné spálení nespálených částic spalín. (Kotlánová, 2009)

3.1.5. Chemické rozborý pelet

Pokud biopaliva obsahují těžké kovy (arzén, kadmium, chróm, měď, rtuť, nikl, olovo, vanad, zinek aj.), mohou být tyto prvky obsaženy i v popílku a popelu, což má negativní důsledky na životní prostředí. Proto se provádí analýza přítomnosti a množství těžkých kovů. Metodou, kterou se tyto prvky stanovují, lze stanovit také obsahy dalších prvků – hliníku, vápníku, železa, draslíku, hořčíku, manganu, sodíku, fosforu, křemíku, titanu a dalších.

Stanovení obsahu hlavních prvků v biopalivech se provádí podle ČSN P CEN/TS 15290 optickou emisní spektrometrií s indukčně vázanou plazmou (ICP/OES), hmotovou spektrometrií s indukčně vázanou plazmou (ICP/MS) nebo plamenovou atomovou absorpční spektrometrií (AAS). Touto metodou se stanoví i stopové množství prvků (Kotlánová, 2010)

Zdrojem kontaminace biopaliv výše uvedenými prvky jsou zejména:

- konzervační chemikálie (kontaminace As, B, Cl, Cr, Cu, F, P, Zn)
- nátěrové hmoty (kontaminace Cd, Pb, Ti)
- použité minerální oleje a plastická maziva
- zemina (např. při skladování, transportu nebo manipulaci)
- doprava (kontaminace solí k úpravě silnic)
- použité nástroje či stroje (kontaminace Fe, Cr, Ni)
- přidaná aditiva (např. vápenec – kontaminace Ca, kaolin – kontaminace Si, Al)
- chemické přísady (louhy, lepidla, pojiva)

Nejčastěji se stanovují těžké kovy a prvky převážně související s možným znečištěním biomasy v průběhu transportu a zpracovávání. (Kotlánová, 2010)

3.1.5.1. Chlor (Cl)

Obsah chloru v tuhých biopalivech je důležitý technický parametr s ohledem na tvorbu korozivního HCl. Význam se také diskutoval s ohledem k jeho možné účasti při tvorbě polychlorovaných dibenzo-dioxinů/furanů (PCDD/F) při spalování. Korozivní účinky se dále projevují ve spolupůsobení s alkalickými kovy a s SO₂ na povrchu výměníku tepla a dalších kovových částí zařízení. Mimoto může zvýšený obsah Cl také vést ke snížené teplotě měknutí popela. (Jevič, 2008)

3.1.5.2. Dusík (N)

Obsah N v palivu působí přímo na produkci oxidu N, protože tento prvek přechází při spalování téměř úplně do plynné fáze. K vázání na popel téměř nedochází, neboť teploty popela zůstávají velmi nízké, což ovšem vede ke špatnému vyhoření a vysokým emisím CO a uhlovodíků C_xH_y. Oxidace množství N obsaženého v palivu představuje při využití biomasy s odstupem nejdůležitější mechanismus tvorby NO_x. (Jevič, 2008)

3.1.5.3. Síra (S)

Také pro oxidy S má primární význam obsah prvku v palivu. Síra přechází během spalování za tvorby SO_2 , SO_3 a stupňů alkaľisulfátů z největší části do plynné fáze. Jako v případě chloridu dochází během ochlazení kouřových plynů v kotli částečně ke zpětné kondenzaci, při které se alkali a erdalkalisulfáty buď srážejí na částicích polétavého popílku, případně jsou sulfaticky vázány. SO_2 ve formě plynu a sulfát vázaný na neodstraněném prachu uniká do okolí. Síra může být také nepřímo zodpovědná za zvýšené riziko koroze. To spočívá v tom, že při vyšších koncentracích SO_2 v kouřovém plynu dochází k vyšší sulfatizaci dispozičních alkalických a erdalkalických chloridů. Tím je uvolňován Cl_2 podporující korozi. (Jevič, 2008)

3.1.5.4. Draslík (K)

Obsah K v palivu určuje na jedné straně nepřímé působení při korozních procesech na výměníku tepla a dalších částech zařízení přicházejících do styku se spalinami a na druhé straně také ovlivňuje měknutí popela. Oproti Ca, který zvyšuje bod tání, K teplotu tání snižuje. Přitom zřejmě záleží na poměru K : Ca. Spolupůsobení na korozních procesech u K (a sodíku Na) je dáno skutečností, že tyto prvky nejsou sice tak snadno prchavé jako Cl a S, ale při spalování mohou tvořit plynné alkalichloridy. Ty při ochlazení kondenzují na plochách výměníku nebo na částicích letícího prachu. Na výměníku tepla reagují tyto kondenzující alkalichloridy s SO_2 ze spalin na alkaľisulfáty a Cl_2 . Poslední difundují porézními vrstvami okují na ocelových stěnách výměníku tepla, na nichž dochází vlivem redukčních podmínek k tvorbě FeCl_2 . Vlivem velkých rozdílů v teplotě uvnitř obkladové vrstvy na výměníku tepla dochází k různým parciálním tlakům FeCl_2 , které vedou k tomu, že toto plynné vázání opět difunduje ven z ocelové stěny, přičemž na své cestě se opět dostává do oxidačních podmínek. Přitom se oxiduje železo, takže část uvolněného Cl je znova k dispozici pro proces koroze. Lze hovořit o oxidaci povrchové vrstvy kovu při zvýšené teplotě, tzv. tvorba okujů. Vedle těchto nepříznivých účinků se ale také velký podíl K váže s popelem a je tak v případě zhodnocení užitečně k dispozici jako hnojivo. Podíl K v hrubém popelu z topení dřevem a kůrou je asi 5,3 % (6,4 % K_2O). Podobně vysoké obsahy K přicházejí v úvahu v popelu z cyklonu, zatímco jemný polétavý popílek má v průměru asi 11,8 % (14,3 % K_2O). (Jevič, 2008)

3.1.5.5. Vápník (Ca), hořčík (Mg), fosfor (P)

Ca a P působí zvýšení bodu tání popela z biomasy. Také Mg jsou připisovány takové účinky. U paliv s nepříznivými poměry měknutí popela může být prostřednictvím přísad obsahujících Ca dosaženo zlepšení poměrů tání popela. Další pozitivní účinky se ukazují při vázání problémových látek popelem. Vysoký obsah alkalických kovů (především Ca) vede např. k tomu, že velká část S zůstane v popelu, a tím se neprojeví ve spalínách jako problémová látka. Tři uvedené prvky samotné zvyšují mimoto hnojivou hodnotu popela. (Jevič, 2008)

3.1.5.6. Těžké kovy

Těžké kovy zůstávají z velké části v popelu a ovlivňují tím opětou použitelnost jako hnojivo. Těžkými kovy jsou především Cd, Zn a Pb lehce prchající. Nacházejí se následkem rekondenzace na částicích poléťavého popela opět ve zvýšené míře v jemném poléťavém popílku (např. v tkaninových filtrech nebo elektrofiltrech). Odděleným zhodnocením příp. odstraněním ložního, cyklonového a jemného poléťavého popele („frakční odlučování těžkých kovů“) mohou být minimalizována rizika vnesení škodlivin při zemědělském zhodnocení popela jako hnojiva. (Jevič, 2008)

3.2.Fyzikálně-mechanické ukazatele

Fyzikálně-mechanické ukazatele udávají geometrické parametry výlisků, měrnou hmotnost výlisků, abrazi a jejich pevnost v tlaku. Tyto ukazatele je možné ovlivnit volbou vhodné technologie.

Stanovení hustoty se provádí u pelet i briket z biomasy. Tato zkouška charakterizuje kvalitu pelet a briket z hlediska procesu výroby, zda byl při výrobě použit správný tlak a teplota.

Zkouška se provádí dvojím způsobem: Podle DIN 52 182 se změří rozměry pelety nebo brikety a na základě její hmotnosti a vypočítaného objemu se vypočítá její měrná hmotnost. Podle ČSN P CEN/TS 15150 se peleta nebo briketa připevní na zkušební trojnožku a ponoří se do nádoby s vodou a na základě Archimedova zákona (vztlaku kapaliny) se vypočítá měrná hmotnost pelety. Hodnoty se uvádějí v $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$, resp. v $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Normy pro klasifikaci pelet a briket uvádějí i jejich požadované rozměry. Tyto rozměry jsou v laboratořích rovněž přezkušovány a měření se provádí běžnými ověřenými délkovými měřidly. (Kotlánová, 2010)

3.2.1. Geometrie výlisku

Geometrické parametry výlisku jsou vázány na topeniště, pro které je určen. Tvar a velikost nesmí způsobovat problémy při manipulaci, dopravě a dokonalosti hoření.

3.2.2. Mechanická odolnost

Mechanickou odolnost je možné dle terminologie CEN pro tuhá biopaliva definovat jako schopnost zhutněného paliva zůstat neporušené odolávat otěru, odrolu, nárazům během manipulace a přepravy. (OBERNBERGER, THEK, 2010)

Mechanická odolnost se stanovuje podle ČSN P CEN/TS 15210-1 (Vzorky se otáčejí v bubnu, kde naráží na lopatku, kterou je buben rozdělen, a tím dochází k otěru. Součástí zkoušky může být i určení podílu jemných částic menších než 3,15 mm, které se z otěru vydělí proséváním). Vysoká hodnota mechanické odolnosti, resp. nízká hodnota abraze je důležitá z hlediska zamezení vzniku prachových částic v procesu automatické dopravy pelet a omezení nebezpečí výbuchu.

3.2.3. Pevnost v tlaku

Pevnost výlisku v tlaku je zajištěna ligninem obsaženým v biomase. Lignin působí jako pojivo a ochranný povlak biopaliva. Vytvořením „ochranné krusty“ na povrchu výlisku brání absorpci vlhkosti z okolního vzduchu. K plastifikaci ligninu je nutný dostatečný lisovací tlak a lisovací teplota.

Následkem nedostatečného lisovacího tlaku je vnikání vlhkosti do výlisku, degradace, rozrušení soudržnosti výlisku a vznik významné abrazie. Abrazí oddělený dřevní nebo slaměný prach může v určitých koncentracích se vzduchem způsobit výbuch. (Sladký, Dvořák, Andert, 2002)

3.2.4. Měrná hmotnost

Měrná hmotnost je důležitým ukazatelem kvality výlisku jako biopaliva z hlediska manipulace, pevnosti (doba hoření), objemové a tvarové stálosti (absorpce vzdušné vlhkosti). Měrná hmotnost částic se stanovuje dle ČSN P CEN/TS 15150 (vlození výlisku na zkušební trojnožku a ponoření do nádoby s vodou – výpočet hustoty na základě vztlaku). Sypná hmotnost se stanoví dle ČSN P CEN/TS 15103 (nasypání biopaliva do normované nádoby a zvážení). Sypná hmotnost spolu s výhřevností tvoří energetickou hustotu materiálu (potenciál energie v jednotce objemu). (OCHODEK, KOLONIČNÝ, BRANC, 2008)

4. Uskladnění pelet

4.1. Sklad ve výrobě pelet

Pro uskladnění po výrobě se používají nejčastěji vysoká podjezdová sila o objemu 60 - 120 m³, což odpovídá 1 až 2 plně naložené přepravní cisterně. Velké cisterny mají objem okolo 60 m³, za našeho předpokladu, že měrná hmotnost pelet je 500 kg·m⁻³ a maximální naložení podle předpisů je 24 t, bude v cisterně náklad o 48 m³ a cisterna bude využita z 80%. Nebo pro uskladnění využijeme sila, kde vyskladňování bude zajištěno pomocí tlakového vzduchu a hadicí se nafouká přímo do cisteren, nebo s ním můžeme využít plnění velkých vaků. Popřípadě s nimi můžeme plnit dávkovače na malé pytle. Na obrázku 4.1 je zobrazeno podjezdové silo o velikosti 60 m³ od firmy ATEA Praha.



Obrázek 4.1: Podjezdové silo (ATEA Praha)

Většina podniků na výrobu pelet nemá sklady nebo sila přesahující 120 m³ z důvodů rychlé expedice do distribučních skladů nebo přímo ke konečnému spotřebiteli. Dlouhodobé skladování pelet výrobcem je z ekonomického hlediska značně nevýhodné.

4.2.Skladování pelet v rodinných domech

Moderní automatické kotle určené pro spalování tvarových biopaliv – pelety, štěpka, apod. umožňují samočinnou dodávku paliva do topeniště. Tyto automatické kotle jsou určeny především pro paliva do velikosti 5 cm frakce, tedy pro spalování slaměných pelet, pelet z travních hmot, dřevních pelet, štěpky, popř. obilí.

Automatizace provozu umožňuje vysoký komfort obsluhy a mnohdy se blíží téměř bezobslužnému provozu jako např. při vytápění plynem nebo elektřinou. Možnost několikadenního bezobslužného a plně zautomatizovaného provozu podstatně zvyšuje tepelnou pohodu ve vytápěném objektu, který není vystaven střídajícímu se ohřívání a opětovnému vychládání. Pro správný návrh systému vytápění a skladování tvarovými biopalivy je nutno dodržet několik základních principů. Jako jsou optimální velikost skladu, snadný přístup k naskladnění a vyskladnění pelet, vhodné klimatické podmínky, požární a bezpečnostní požadavky. (Stupavský, Holý, 2010)

4.2.1. Stanovení optimálního objemu skladu

Pokud v kotelně nebo její blízkosti disponujeme dostatečným prostorem, můžeme se řídit pravidlem, že prostor pro skladování by měl být schopen pokrýt celou roční potřebu paliva. Doplnování paliva do skladu v průběhu topné sezóny by mělo být co nejnižší i z ekonomického hlediska, protože v sezóně mohou ceny paliv značně narůstat. Orientační velikost skladovacího prostoru pro pelety na jednu topnou sezónu, lze stanovit podle množství paliva pro vytápění a ohřev užitkové vody na topnou sezónu, a jmenovitého výkonu kotle. U pelet ze slámy a travních hmot je spotřeba 0,5 t za topnou sezónu na 1 kW výkonu kotle, což odpovídá $0,8 - 1 \text{ m}^3 \cdot \text{kW}^{-1}$.

Velikost skladovacího prostoru lze také odvodit z celkové tepelné ztráty budovy, kdy se pro skladování pelet můžeme orientačně řídit pravidlem, kdy na 1 kW tepelné ztráty budovy uvažujeme cca $0,9 \text{ m}^3$ skladovacího prostoru pro pelety. Tímto prostorem je ovšem myšlen celkový objem místnosti pro sklad s tím, že využitelné místo, které pelety reálně zabírají, bude podle zvoleného systému skladování pelet využito pouze ze 45 až 70 %. (Stupavský, Holý, 2010)

4.2.2. Skladovací systémy

Volba způsobu skladování záleží na technických a ekonomických možnostech rodinného domu.

Rozlišujeme tři základní způsoby skladování:

- A. Skladování v pytlích, nevyžaduje úpravu skladu, pořizovací hodnota je velmi nízká, což je kompenzováno nutností ruční manipulace s pytli při přikládání. Proto by měl být sklad co nejbližší ke kotli, prostorová využitelnost skladu je 50 až 70 %.
- B. Skladování ve vyspádaných skladech, skladová místnost je vyspádována pod úhlem 35 až 40° do sběrného žlabu, ve kterém je umístěn buď vynášecí šnek šnekového dopravníku pelet, nebo sběrná hubice pneumatického dopravníku (tzv. krtek). Sklad je možno zhotovit svépomocí, prostorová využitelnost je do 70 %.
- C. Skladování v textilním silu v rámu, jedná se o velkoobjemové vaky o velikostech 2 až 10 m³, které jsou vyrobeny ze speciální vysokopevnostní antistatické textilie. Dávkování pelet je zde řešeno pneumaticky sběrnou hubicí umístěnou volně v prostoru sila, nebo zespodu dopravním šnekem. Okolí skladu není zapotřebí stavebně upravovat, pořizovací cena je zde však nejvyšší, objemová využitelnost je však jen do 45 %. (Stupavský, 2010)

4.2.2.1. Skladování ve vyspádaných skladech

Tyto sklady se vyskytují ve dvou variantách a to s vyskladňovacím šnekem nebo odsávací sondou. Při použití šnekového dopravníku je podmínka umístění skladu co nejbližší kotelně, většinou to bývá ihned za zdí kotelny. Při použití odsávacích sond může být sklad umístěn ve větších vzdálenostech a i v úrovních pod kotelnou.

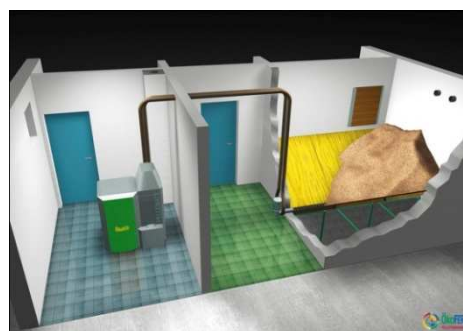
Aby bylo možno dokonale vyprázdnit sklad pelet, je nutno vybavit spodní část skladu paralelně s vybíracím šnekovým dopravníkem nebo odsávací sondou šikmými plochami se sklonem 40-45°. Toho se docílí instalací pomocné nosné konstrukce z ocelových úhelníků, dřevěných hranolů a na nich připevněných dřevotřískových desek

nebo prken. Nosná konstrukce je snadno vyrobitelná, většinou ji však dodává dodavatel kotle po zjištění rozměrových parametrů skladu. Horní plocha šikmých desek musí být pokud možno hladká, aby se pelety samy snadno sesýpaly ke šnekovému dopravníku umístěnému v nejnižším místě násypky. Konstrukce musí být dostatečně pevná, protože při 2 m výšce naskladněných pelet připadá váha až $1300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. (Holz 2007)

Obrázek 4.2 ukazuje sklad se šnekovým dopravníkem od firmy ÖkoFen, obrázek 4.3 sklad se sacím systémem od firmy ÖkoFen a obrázek 4.4 zobrazuje systém podúrovňového skladu s odsávací sondou. (Stupavský, 2010)



Obrázek 4.2: Sklad se šnekovým dopravníkem



Obrázek 4.3: Sklad se sacím systémem



Obrázek 4.4: Sklad s odsávací sondou

4.2.2.2. Skladování v textilním silu

Tento skladovací systém je vhodný pro vlhké skladovací prostory a prostory s nízkým stropem, jako jsou například sklepy. Tento systém je možno použít i pro venkovní skladování pod jednoduchou stříškou. Pláště těchto vaků jsou vyrobeny ze speciální antistatické nepromokavé textilie. Vaky jsou uchyceny nejčastěji v kovové konstrukci. Jejich vyprazdňování je zajištěno buď šnekovým dopravníkem umístěným na spodku vaku, nebo odsávací volnou sondou umístěnou svrchu vaku. Plnění vaků je zajišťováno nafoukáním z přepravní cisterny otvorem shora se zapínatelným zipem

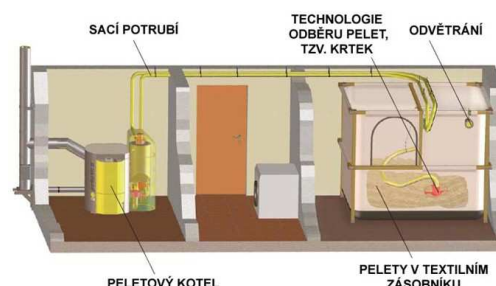
nebo speciálními přípojkami boku vaku. Na obrázku 4.6 je znázorněn systém vyprazdňování šnekovým dopravníkem a na obrázku 4.7 systém s odsávací sondou (Stupavský, 2010)



Obrázek 4.5: Textilní vak firmy ÖkoFen



Obrázek 4.6: Vyprazdňování šnekem



Obrázek 4.7: Vyprazdňování sondou

4.2.2.3. Plnicí přípojky pro naskladnění pelet

Pelety mohou být komfortně dodávány pneumatickým systémem přímo do skladovacího prostoru. Pelety jsou jednoduše nafoukány flexibilní hadicí s přistavené cisterny do zásobníku a současně je vzduch s prachem odsáván mimo objekt. K tomu slouží dvě plnicí, resp. odsávací přípojky s uzávěry, které se zabudují do průchodky stěnou o průměru do 150 mm a uzemní se. Na venkovní straně je speciální připojovací příruba shodná s koncovkou dopravní hadice cisternového automobilu. Příruby, včetně příruby s kolenem (podúrovňové), jsou standardizovány a používají se ve všech případech, kde se pelety dopravují zákazníkům pneumaticky. Průchodky musí být od sebe vzdáleny minimálně 0,5m. Kde to nejde, musí být plnicí průchodka minimálně o 0,5 m delší, jinak by se vháněné pelety mohly nasávat zpět do odvětrávací průchodky a až do vývěvy cisternového automobilu. Přípojky se vždy umísťují do nejvyšší části skladu, avšak minimálně 200 mm od stropu. Naproti průchodkám se umísťuje odrazová a tlumící stěna, která má za úkol šetrně zbrzdit dopadající pelety, tak aby se nelámali a nedrolili. (Holz, 2007)



Obrázek 4.8: Přípojky pro pneumatické naskladnění pelet (STORZ)

4.2.2.4. Bezpečnostní podmínky skladu pelet

Obecně platí, že palivo musí být skladováno v suché větrané místnosti. Vlhkost do sebe totiž relativně velmi suché pelety a brikety pojmají a důsledkem je bobtnání a drolení, čímž dojde ke znehodnocení paliva. Pokud máme např. ve sklepě vlhko a není jiná možnost vhodnějšího skladování, je třeba zajistit pro uložení pelet místo oddělené dostatečnou větrací mezerou od podlahy a stěn. Pro tento případ můžeme vybudovat dřevěné silo uvnitř vlhké místnosti a zajistit její odvětrávání, nebo použít tkaninový zásobník.

Podlaha, obvodové zdi a strop skladu pelet a kotelny musejí odpovídat třídě požární odolnosti F 90. Podlaha a obvodové zdi dále musejí být dostatečně staticky dimenzovány na požadavek zatížení peletami popř. jiným druhem paliva a musejí být zhotoveny v souladu s technickými stavebními pravidly. Orientační sypná hmotnost pelet $550 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Povrchová úprava by měla být zhotovena tak, aby otěrem nebo oprýskáním nedocházelo ke znečišťování paliva.

Stejně jako u ostatních topných systémů je nutné instalovat protipožární dveře do kotelny i skladu paliva (min T 30). Tyto dveře jsou dle platných norem otevírány ven a opatřeny těsněním. Do skladu musí být pouze jediný vstup, při budování skladu například z bývalého sklepa musejí být případná okna zazděna. (Stupavský, Holý 2010)

Ve skladu pelet nesmí být elektroinstalace, jako jsou zásuvky, vypínače, elektroinstalační rozdvojky apod. Osvětlení může být pouze v protiexplozivním provedení, je zde nebezpečí výbuchu prachu, vypínač světla musí být umístěn venku. Přípojky pro vhánění pelet musejí být řádně uzemněny. (Holz, 2007)

4.3. Zkouška skladování pelet

Pro porovnání skladování jsem udělal jednoduchý test. Navážil jsem si 3 dávky o 1 kg pelet (okolo 100 ks) a skladoval jsem je na 3 různých místech a to v obytné části domu, ve vlhkém sklepě a venku pod střechou bez stěn. Od výrobce bylo udáno, že počáteční vlhkost je 14 - 16%, počítal jsem tedy s vlhkostí 15%. Sledoval jsem vizuální vlastnosti pelet a jejich váhu. Na měření byla použita váha Lesák a Zeman RS1-20 s přesností 0,05 kg. Naměřené hodnoty jsem zapsal do tabulek 4.1, 4.2 a 4.3.

Tabulka 4.1: Skladování pelet v obytné části domu

Datum měření	Hmotnost (kg)	Vlhkost (%)	Vizuální vlastnosti
16. 10. 2011(Ne)	1	15	Počátek měření (mírný odrol)
30. 10. 2011(Ne)	1	15	Nepozoruji žádnou změnu
27. 11. 2011(Ne)	1	15	Nepozoruji žádnou změnu
23. 12. 2011(Pá)	0,95	10,5	Nepozoruji žádnou změnu
2. 1. 2012(Po)	0,95	10,5	Nepozoruji žádnou změnu
21. 1. 2012(So)	0,95	10,5	Nepozoruji žádnou změnu
4. 2. 2012(So)	0,95	10,5	Nepozoruji žádnou změnu

Tabulka 4.2: Skladování pelet ve sklepě

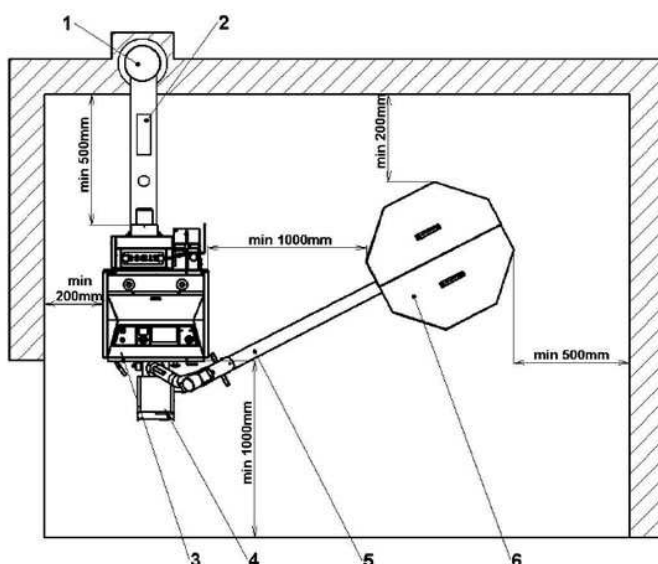
Datum měření	Hmotnost (kg)	Vlhkost (%)	Vizuální vlastnosti
16. 10. 2011(Ne)	1	15	Počátek měření (mírný odrol)
30. 10. 2011(Ne)	1	15	Nepozoruji žádnou změnu
27. 11. 2011(Ne)	1,05	19	Pelety začínají bobtnat a tmavnou
23. 12. 2011(Pá)	1,05	19	Pelety se mi zdají drolivější
2. 1. 2012(Po)	1,1	22,7	Žádná změna
21. 1. 2012(So)	1,1	22,7	Pozoruji zaplísnění pelet
4. 2. 2012(So)	1,1	22,7	I přes ochlazení se plíseň rozvíjí

Tabulka 4.3: Skladování pelet venku

Datum měření	Hmotnost (kg)	Vlhkost (%)	Vizuální vlastnosti
16. 10. 2011(Ne)	1	15	Počátek měření (mírný odol)
30. 10. 2011(Ne)	1	15	Nepozoruji žádnou změnu
27. 11. 2011(Ne)	1,05	19	Pelety začínají bobtnat a tmavnou
23. 12. 2011(Pá)	1	15	Žádná změna
2. 1. 2012(Po)	1,05	19	Žádná změna
21. 1. 2012(So)	1,1	22,7	Velká drolivost pelet
4. 2. 2012(So)	1,05	19	Pelety k sobě přimrzly (-18°C v noci)

Při této zkoušce jsem zjistil, že nejlepší skladování je přímo v domě, ale v našem domě by bylo skladování na celou topnou sezónu nerealizovatelné. Ve sklepě a venku je skladování nevyhovující, asi zvláště v letošní mírné zimě s vysokou vlhkostí vzduchu, na přelomu ledna a února byl mráz a pelety k sobě přimrzly. V našem sklepě je velice vlhko, část pelet byla zaplísněna.

Vhodné pro náš dům by bylo skladování v malých pytlích na paletách a dodávka do kotle by byla zajištěna pomocí šnekového dopravníku z menšího zásobníku umístěného přímo v kotelně. Návrh kotelny pro náš dům je na obrázku 4.9, při tomto návrhu jsem počítal s nynějším vlastnictvím kotle ATMOS DC32S a doplněním o hořák na pelety a montáží automatického řízení kotle. Na veletrhu AGROTECH 2012 v Brně byly náklady tento systém spočteny na 18 500Kč.



Obrázek 4.9: Kotel s hořákem, šnekovým dopravníkem a zásobníkem na pelety
(Jaroslav Cankař a syn ATMOS)

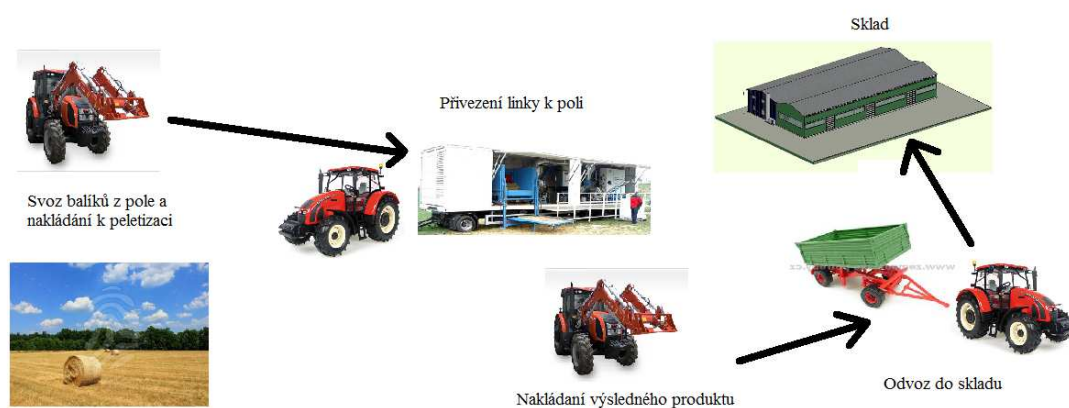
1- Komín, 2- Kouřovod, 3- Kotel, 4- Hořák, 5- Dopravník, 6- Zásobník

5. Návrh mobilní linky na výrobu pelet

Mobilní peletovací linky slouží spíše pro lisování formou služby v sezóně. Mobilní linka má většinou menší výkonnost $1 - 1,5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$. Systém zajišťuje všechny potřebné výrobní kroky od rozdělení balíků, drcení hmoty, dopravu, peletování, chlazení, třídění až po expedici. Celá linka je umístěna v přívěsu a tažena traktorem na krátké vzdálenosti, pro větší vzdálenosti musí být použito nákladního automobilu. Pohon jednotlivých dílčích strojů je zařízen elektromotory, napájenými prostřednictvím vlastního výkonného diesel-agregátu (200 kW). Linka je řízena automaticky pomocí PLC počítačů.



Obrázek 5.1: Mobilní peletizační linka (HIMEL)



Obrázek 5.2: Schéma výrobního procesu mobilní granulační linkou

5.1. Výhody a nevýhody mobilní granulační linky

Výhody:

- Efektivnější svoz slisovaného materiálu z pole.
- Možnost celoročního využití s podmínkou skladování výchozího materiálu nebo s jejím nákupem.
- Nabídka služeb soukromým zemědělcům.
- Není potřeba výrobní haly.

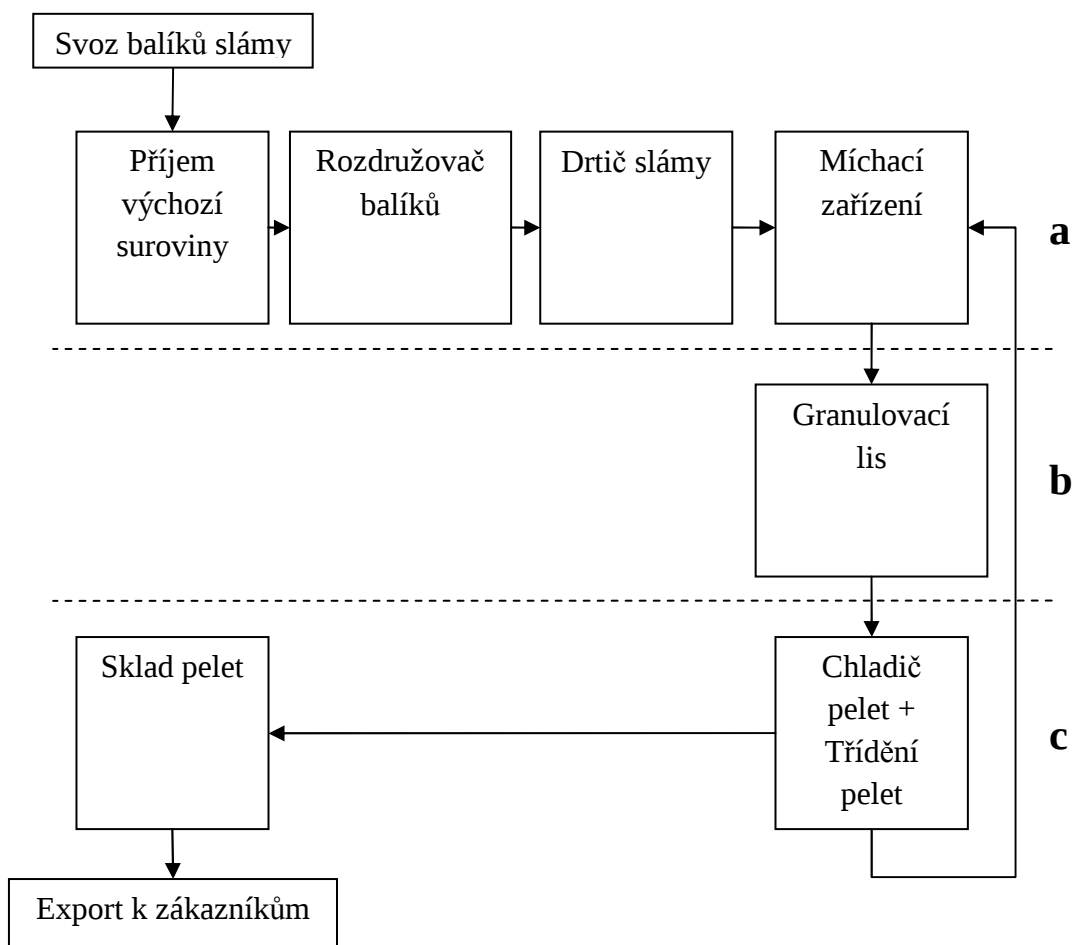
Nevýhody:

- Náročné na pohonné hmoty, linka je napájena dieselovým agregátem.
- Potřeba více strojů.
- Výchozí materiál musí být stejně slisován do balíků.
- Nižší výkonnost než stacionární linky.
- Větší pořizovací náklady.

6. Návrh stacionární technologické linky pro sezónní i celoroční výrobu pelet

Peletizační linka se skládá ze tří hlavních technologických úseků.

- a) Příprava výchozí suroviny
- b) Vlastní lisování
- c) Chlazení a třízení pelet



Obrázek 6.1: Schéma peletizační linky

6.1. Příprava výchozí suroviny

Výchozí surovina v našem případě sláma nebo travní hmota se musí před lisováním vhodně upravit. Sláma se musí z velkých balíků rozdružit, nadrtit a podle potřeby buď dosušit, nebo ovlhčit. Případně přidat vhodná aditiva.

6.1.1. Příjem výchozí suroviny

V našem případě použijeme řetězový dopravník, který je součástí rozdružovače, s měnitelnou rychlostí posuvu, poháněný elektromotorem s frekvenčním měničem. Balíky na něj budou naváženy pomocí traktoru Zetor Proxima 70 s čelním nakladačem.



Obrázek 6.2: Traktor pro manipulaci s balíky (Zetor)

6.1.2. Rozdružovač balíků

Byl by použit stacionární rozdružovač například od firmy ATEA Praha. Rozdružovač bude poháněný elektromotorem. Tento stroj je určen k dopravování a rozdružování standardních lisovaných balík stébelnin v hranatém provedení o průřezu do 1200 x 1200 mm. V rozdružovadle jsou umístěny dva válce a šnek odvádějící materiál z rozdružovadla do drtiče. Rychlost posuvu stolů je regulována přes frekvenční měnič, který je řízen pomocí čidel umístěných v míchacím zařízení na rozdrčený materiál.



Obrázek 6.3: Rozdružovač balíků s podávacím dopravníkem (ATEA Praha)

Tabulka 6.1: Technické informace rozdrůžovače balíků a podávacího dopravníku (ATEA Praha)

Parametry	Rozdrůžovadlo	Podávací dopravník
Délka (mm)	2 500	10 500
Šířka (mm)	1 500	1 500
Výška (mm)	3 100	500 - 1 500
Celková hmotnost (kg)	850	470
Příkon elektromotoru (kW)	2 x 0,25	7,5 ; 3
Počet rozdrůžovacích válců	2	
Průměr válce (mm)	800, 480	
Rychlost řetězového dopravníku		Frekvenční měnič

6.1.3. Drtič stébelnin

Pro drcení slámy a travní hmoty bude použito kladívkového šrotovníku poháněného elektromotorem od firmy AGROING. Šrotovník bude opatřen 5 mm sítí. Kladívkový přisávací šrotovník je vhodný pro šrotování slámy a sena pro proces peletizace. Na šrotovníku lze zpracovat také obilí, dřevní štěpku a další suroviny o vlhkosti až 20%.



Obrázek 6.4: Drtič stébelnin (AGROING)

Tabulka 6.2: Technické informace drtiče stébelnin (AGROING)

Parametry	Hodnoty
Délka (mm)	1 200
Šířka (mm)	900
Výška (mm)	2 400
Příkon elektromotoru (kW)	30
Otáčky (ot./min)	1 450
Výkonnost (kg/hod)	2 000

6.1.4. Míchací zařízení

Pro vlhčení vodou a míchání s aditivy použijeme horizontální míchačku například od firmy STOZA s.r.o.

Míchačka horizontální je stroj, ve kterém se více komponent vzájemně promíchává v homogenní směs pomocí horizontálního míchacího hřídele opatřeného protiběžnými šneky. Otáčením šnekového hřídele dochází k intenzivnímu pohybu dílčích materiálů různými směry a tím k jejich vzájemnému mísení. Homogenita výsledné směsi závisí na době mísení (STOZA s.r.o.)



Obrázek 6.5: Horizontální míchací zařízení (STOZA s.r.o.)

Tabulka 6.3: Technické informace míchacího zařízení (STOZA)

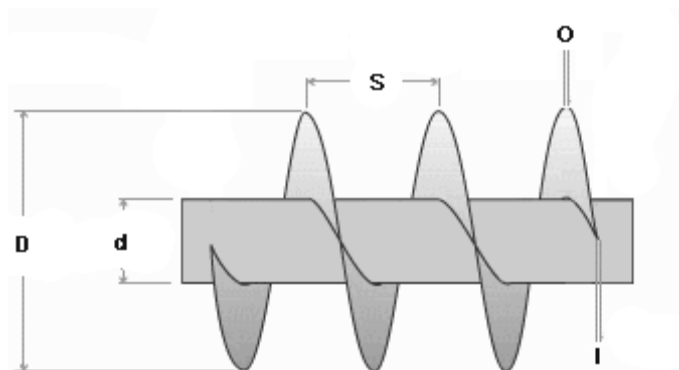
Parametry	Hodnoty
Délka (mm)	5 070
Šířka (mm)	1 500
Výška (mm)	1 604
Příkon elektromotoru (kW)	22
Doba míchání jedné dávky (min)	3-6
Max. váha dávky (kg)	2 000

6.1.5. Zásobník na homogenizovanou směs

Aby byla zajištěna plynulost provozu, musí být za míchací zařízení umístěn zásobník na promíchanou směs o objemu 5m³, aby byl schopen pojmout celý objem míchacího zařízení. Po vyprázdnění míchacího zařízení začne automaticky pracovat rozdrůžovač balíků a drtič stébelnin, tyto stroje vypínají po naplnění míchacího zařízení. Míchací zařízení se spouští pomocí čidel umístěných v mezizásobníku na homogenizovanou směs zhruba 8 minut před jejím předpokládaným vyprázdněním, míchací proces se musí dokončit 2 minuty před úplným vyprázdněním mezizásobníku.

6.1.6. Doprava materiálu

Doprava drčeného materiálu mezi dílčími technologickými procesy a ke granulovacímu lisu je uskutečněna pomocí šnekových dopravníků. Tabulka 6.4 udává technické specifikace šnekovic dodávaných od firmy ATEA Praha.



Obrázek 6.6: Schéma šnekovice (ATEA Praha)

Tabulka 6.4: Technické specifikace šnekovic (ATEA Praha)

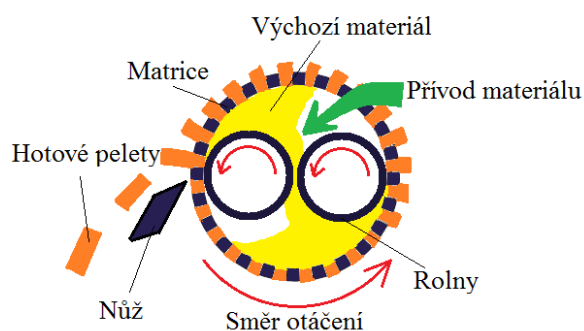
Vnější Ø	Vnitřní Ø	Stoupání	Tloušťka plechu	
D [mm]	d [mm]	S [mm]	vnitřní I [mm]	venkovní O [mm]
80	17	80	2,5	1,2
90	25	90	2,5	1,3
100	34	100	2,5	1,5
120	34	120	2,5	1,3
125	34	125	2,5	1,3
140	42	140	2,5	1,3
150	49	150	3,0	1,6
160	49	160	3,0	1,6
180	49	180	3,0	1,5
200	49	200	3,5	1,7
200	49	200	6,0	2,8
200	60	200	6,0	2,8
250	61	250	4,0	2,0
250	61	250	6,0	3,0>
300	76	300	5,0	2,5
315	76	315	5,0	2,4
350	90	350	5,0	2,5
400	102	400	8,0	4,0

6.2. Granulovací lis

Hlavní součástí celé linky je granulační lis, je použit vertikální lis s prstencovou matricí GP 630 od firmy STOZA s.r.o., kvůli své vyšší výkonnosti 2 – 3 t·h⁻¹.



Obrázek 6.7: Granulační lis GP630 (STOZA s.r.o.)



Obrázek 6.8: Schéma lisu s vertikální prstencovou matricí

Tabulka 6.5: Technické informace granulačního lisu (STOZA s.r.o.)

Parametry	Hodnoty
Délka (mm)	2 000
Šířka (mm)	2 000
Výška (mm)	2 300
Příkon elektromotoru (kW)	180
Výkonnost (kg·h ⁻¹)	2 000 – 3 000

6.2.1. Matrice a rolly

Matrice a rolly granulačního lisu GP 630 mají odhadovanou životnost okolo 2000 pracovních hodin, což odpovídá zhruba výrobě 4000 tun pelet. Originální matrice a rolly bude dodávat firma STOZA s.r.o.



Obrázek 6.9: Matrice a rolly (STOZA s.r.o.)

6.3. Chlazení a třídění pelet

Ke chlazení bude použit pásový chladič CH315 od firmy ATEA Praha. Chladicí zařízení je napojeno na výpad pelet granulátoru pomocí třídícího šikmého dopravníku, kde se separuje odrol od pelet. Dno chladiče je ze síta s pohyblivým roštem, které má děrování vždy o 2 mm menší nežli vyráběné pelety. Síto slouží separaci případného odrolu a také k nasávání studeného vzduchu pomocí ventilátoru o výkonnosti $4300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, který zajišťuje řádné prochlazení pelet. Odsávání je napojeno na cyklonovou separaci prachových částic. Po vychlazení z cca 100°C na 30°C pelety dostávají potřebnou pevnost a trvanlivost. Rychlost posuvu pásu s vychlazenými peletami se reguluje frekvenčním měničem. Na výpadu chladicího zařízení je další třídící šikmý dopravník odrolu. Veškerý separovaný prach a odrol je šnekovým dopravníkem přesunut zpětně k peletizaci.



Obrázek 6.10: Pásový chladič CH315 (ATEA Praha)

Tabulka 6.6: Technické informace pásového chladiče CH315 (ATEA Praha)

Parametry	Hodnoty
Délka (mm)	3 800
Šířka (mm)	1 500
Výška (mm)	850
Příkon elektromotoru (kW)	0,55
Výkonnost (kg·h ⁻¹)	2 000 – 3 000

6.3.1. Odlučovač prachových částic

Odsávání z chladiče je napojeno na odlučovač prachových částic, kvůli snížení prašnosti v areálu výrobní haly. V naší lince bude použit cyklonový odlučovač od firmy CIPRES FILTR Brno s.r.o.

Cyklonový odlučovač je schopen díky svému tvaru usměrňovat proudění odsávaného vzduchu a vlivem odstředivého efektu a setrvačnosti nastává odlučování pevné frakce obsažené v odsávané vzdušině. Odloučená pevná frakce potom padá do kónické části cyklonového odlučovače zakončené uklidňovací komorou, odkud musí být pravidelně vysypávána.



Obrázek 6.11: Cyklonový odlučovač (CIPRES FILTR Brno s.r.o.)

6.3.2. Skladování a expedice vyrobených pelet

Na uskladnění budou použita vysoká podjezdová sila o objemu 120 m^3 skladování nadbytku výroby bude zajištěno pomocí velkých vaků ve skladové hale. Expedici pelet bude provádět externí obchodní firma pomocí cisteren, které budou plněny z podjezdových sil. Dále bude zařízen prodej maloodběratelům buď jako volně ložené pelety, nebo ve velkých vacích, které budou plněny pomocí vysokozdvížného vozíku z podjezdových sil.

6.4. Elektronické řízení linky

Linka je řízena modulem PLC od firmy TECO Kolín, který je programován v softwarovém prostředí MOSAIC. Součástí je i operátorský panel ID-14 pro komunikaci řídicích systémů s člověkem.

6.5. Produkce pelet navržené linky

Produkce pelet se odvíjí od výkonnosti jednotlivých dílčích zařízení, hlavně od granulačního lisu, v našem případě $2 - 3 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$. Ostatní zařízení musejí být navrženy tak, aby měly výkonnost stejnou nebo větší, z důvodů plynulosti linky.

V našem případě budeme předpokládat dvousměnný osmihodinový provoz, čistá pracovní doba stroje je tedy 14 hodin za den. Časový fond roku 2012 je 252 dní, z toho je ještě celopodniková dovolená 5 dní a plánovaná odstávka minimálně 10 dní, dostáváme tedy 237 pracovních dní. Budeme předpokládat průměrnou výkonnost $2,5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$, pak bude roční produkce 8295 tun pelet.

6.6. Energetická náročnost a výtěžnost navržené linky

Pro provoz peletizační linky se využívá elektrické energie, celá výrobní hala má příkon zhruba 250 kW za hodinu. Z toho je nejvíce náročný granulační lis, jeho příkon je 180 kW. Roční spotřeba energie je okolo 850 MWh.

Na denní provoz strojů se spalovacími motory, traktor a vysokozdvížný vozík, se uvažuje s průměrnou spotřebou 28 litrů motorové nafty, to znamená 7000 l nafty ročně.

Při předpokládané produkci 8295 tun pelet a výhřevností $16 \text{ GJ} \cdot \text{t}^{-1}$ a budeme-li předpokládat 80% účinnost spalování, je teoreticky možné vyprodukovat 106 TJ energie.

7. Ekonomická hlediska stacionární modelové linky na výrobu pelet

V této kapitole vypočítáme náklady na pořízení a provoz technologické linky na výrobu pelet. V návrhu nepočítáme s nákupem strojů a pozemků pro získání výchozí suroviny, ale počítáme s jejím nákupem od soukromých zemědělců a zemědělských podniků.

Ekonomiku provozu linky na výrobu pelet ovlivňují zejména náklady na nákup a úpravu surovin a náklady na řízení procesu zhutňování. Ekonomická rozvaha je nezbytná pro zvážení budoucí prosperity provozu každého zařízení.

7.1. Náklady na pořízení peletizační linky

V tabulce 7.1 jsou uvedeny jednorázové náklady na pořízení výrobní haly a peletizační linky s hodinovou výkonností okolo $2,5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$. Roční výkonnost při celoroční produkci a dvousměnné 8 hodinové pracovní době a pracovním časovým fondem by byla zhruba okolo 8295 t pelet.

Jako výrobní hala bude použit bývalý prasečák v obci Pašice nedaleko od Českých Budějovic, okraj obce - pěkné klidné místo s krásným výhledem na Klet' - jižní orientace, zastavěná plocha 750m^2 , pozemek celkem 1.450m^2 , zpevněná příjezdová komunikace, manipulační plocha, v objektu betonové podlahy, silné betonové stropy, jímka na pozemku, voda cca.100m, napojeno na elektřinu. Cena objektu je 500 000 Kč.



Obrázek 7.1: Zemědělský objekt v obci Pašice (HALO reality s.r.o)

Rekonstrukce budovy bude zahrnovat menší opravy střechy, omítek, vybílění a výměnu oken a dveří. Opravy budou provedeny svépomocí bez využití externích firem a odhad rekonstrukce je 700 000 Kč.

V objektu bude zařízena jednoduchá kancelář a údržbářská dílna na opravy a výměny komponent linky.

Pelletizační linka bude pořízena po komponentech od firem s nejlepší nabídkou:

- STOZA, s.r.o.
- ATEA PRAHA s.r.o.
- Pelletia Invest, a.s.
- ProPelety
- SG strojírna s.r.o.
- AGROING BRNO s.r.o.
- CIPRES FILTR BRNO s.r.o.

Tabulka 7.1: Náklady na pořízení pelletizační linky

Název stroje nebo zařízení	Investiční náklad (Kč)
Výrobní hala	1 200 000
Zařízení kanceláře a dílny	300 000
Traktor Zetor Proxima 70 s čelním nakladačem	1 000 000
Vysokozdvíhový vozík Desta DV 35AK	360 000
Příjmový dopravník s frekvenčním měničem	160 000
Rozdružovač balíků	180 000
Drtič slámy	680 000
Míchací zařízení	450 000
Mezizásobník na homogenizovanou směs	100 000
Šnekové dopravníky	200 000
Granulační lis	1 650 000
Matrice a rolny	75 000
Montážní vozík pro výměnu matric	30 000
Pásový chladič	450 000
Dopravní ventilátor	82 000
Odprašovací cyklon	37 000
Řídicí jednotka PLC	100 000
Skladová sila	320 000
Celkem	7 374 000

Uvedené ceny jsou pouze orientační

7.1.1. Dotace na pořízení peletizační linky

Dotační program rozvoje venkova poskytuje podporu ve výši 40 - 60 % nákladů na investici.

S 50% dotací od SZIF budou odhadované náklady 3 687 000 Kč.

7.2. Náklady na provoz

Náklady na provoz peletizační linky jsou uvedeny v tabulce 7.2. Nejsou uvedeny náklady na vytápění z důvodu využití zbytkového tepla z chlazení pelet.

Tabulka 7.2: Orientační provozní náklady peletizační linky

Položka	Náklad (Kč)
Mzdy pracovníků (6 pracovníků 30 000 Kč za měsíc)	1 800 000
Elektrická energie (Příkon linky 250 kW cena 4.12Kč·kWh)	3 417 540
PHM 7000 l nafty (37 Kč)	259 000
Ostatní energie	50 000
Rolny a matrice (2 ročně)	150 000
Režijní náklady (pojištění, atd.)	300 000
Spotřební materiál (provázky, pytle, oděvy)	300 000
Nákup slámy (8295 t cena 1000Kč)	8 295 000
Odpisy peletizační linky	1 474 800
Celkem	16 046 340

Uvedené ceny jsou pouze orientační

Náklady na dodávky jsou započtené již do nákupu slámy. Spotřeba slámy odpovídá na tři dodávky za dva dny po 24 tunách slámy. V areálu bude rezervní sklad na 200 t slámy.

Odvoz hotových pelet bude zajištěn přes překupní firmy a maloodběratele formou volně ložených pelet nebo formou velkých vaků.

7.3. Výnosy podniku

Produkce bude 8295 t pelet ročně, při předpokládané ceně pelet 2650 Kč za tunu, bude obrat 21 981 750 Kč ročně. Z toho čistý roční zisk je 1 539 060 Kč. Návratnost investice je tedy za 2,39 roku.

7.3.1. Výhody navržené linky

- Jelikož výchozí materiál je získáván formou nákupu a předpokládá se denní prodej v průměru 35 t je obrat peněz velmi rychlý.
- Krátká doba splacení investice je zhruba 2-3 roky, tato doba je zapříčiněna využitím dotace od SZIF.
- Není potřeba strojů na výrobu výchozího materiálu, tím jsou sníženy počáteční náklady i provozní náklady.
- Celoroční produkce pelet, pokud bude zajištěna dodávka slámy celoročně.
- Velká produkce při použití vertikálního lisu s prstencovou maticí.
- Nižší pořizovací náklady než při pořízení mobilní linky.
- Možnost přidávání aditiv pomocí míchacího zařízení.

7.3.2. Nevýhody navržené linky

- Delší doba uvedení do provozu zapříčiněná úpravou a rekonstrukcí výrobního objektu.
- Absence vlastního výchozího materiálu, náklady na slámu jsou zhruba dvakrát větší.
- Nutnost skladování nebo celoročního dodávání výchozího materiálu.
- Lisování na poli a rozdružování před lisováním.

Závěr

První kapitola práce se zabývá možným potenciálem využití pevných biopaliv v české republice. Hlavní pozornost je věnována na zbytkovou slámu z obilnin a řepky, dále využití trvalých travních porostů a energetických travin. V této části jsem se zabýval fyzikálními, chemickými a mechanickými vlastnostmi nezpracované biomasy je zde řešen problém spékání popelovin s využitím lisování do pelet či briket.

V druhé části se pojednává o sklizni slámy, travních hmot, energetických bylinách a jejich následným využitím pro energetické účely takzvaným peletováním. V této části jsou popsány linky na výrobu pelet, jsou zde rozděleny peletizační lisy a vysvětlena činnost a význam jednotlivých částí linky. Dále se v kapitole jedná o balení a expedici výsledného produktu. V závěru kapitoly jsou uvedeny platné normy pro výrobu pelet.

V třetí části práce jsou popsány chemicko-termické a mechanicko-fyzikální vlastnosti získaného produktu. Je zde popsán návrh na snížení spékání popelovin přidáváním vápníku, fosforu a hořčíku.

Dále je popsáno skladování přímo v podniku na výrobu pelet a také návrhy skladování v rodinném domku. Byl proveden test skladování, výsledky jsou uvedeny v tabulkách ve čtvrté kapitole. Ošetření pelet během skladování v rodinných domech nebylo vyřešeno, dle mého názoru je nejdůležitější správný návrh skladu pelet, hlavně skladování v suchých prostorech nebo zabezpečení vlhkotěsnosti textilních sil. Je zde také vytvořen návrh na předělání naší kotelny s kotlem na zplynování dřeva na kotel pro kombinované spalování dřeva a pelet, pomocí přídavného hořáku v dvířkách kotle.

V dalších kapitolách práce je řešen návrh modelové linky na výrobu pelet, je zde využito mobilní i stacionární linky sestavené z částí od různých firem, kvůli nejlepší cenové nabídce a výkonnostem. Tyto linky by byli schopny pracovat sezóně i celoročně při pravidelných dodávkách výchozího materiálu. Pro celoroční produkci je vhodnější stacionární linka, kvůli větší výkonnosti a lepší kvalitě vyrobených pelet. Na skladování pelet je počítáno jen s podjezdovými sily a případně pomocí velkých vaků ve skladové hale u výrobního objektu.

V poslední části jsou spočteny ekonomické ukazatele. Je zde propočet nákladů na pořízení a nákladů na provoz stacionární linky, také výpočet předpokládaných výnosů při plánované produkci. Je zde počítáno s 50% evropskou dotací z programu rozvoje venkova a spočtená návratnost investice je zhruba na dva a půl roku.

Seznam použité literatury

ABRHAM, V., KOVÁŘOVÁ, M.: TECHNOLOGIE A EKONOMIKA TUHÝCH BIOPALIV Z TRAVNÍCH POROSTŮ. s. 6. Dostupné z WWW: <http://212.71.135.254/vuzt/clanky/ekonomika/EkoTu%20Biopal%20z%20TP.pdf>

ALAKANGAS, Eija; PAJU, Paavo. Wood pellets in Finland : technology, economy and market. In OPET Report 5. Jyväskylä : VTT Processes, 2002. s. 64. Dostupné z WWW: http://www.ateap.cz/new/Pelety_Finsko.pdf.

Andert, D., Sladký, V., Abrahám, Z.: Energetické využití pevné biomasy. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, 2006. ISBN 80-86884-19-8;

Andert, D., JUCHELKOVÁ, D., FRYDRYCH, Jan.: QF4179 Využití trav pro energetické účely, Praha, 2007. Dostupné z WWW: www.mze-vyzkum-infobanka.cz/DownloadFile/12059.aspx

CIOLKOSZ, Daniel.: Renewable and Alternative Energy Fact Sheet: Manufacturing Fuel Pellets from Biomass. In Collage of Agricultural Sciences. University Park, PA: The Pennsylvania State University, 2009. s. 4. Dostupné z WWW: <http://pubs.cas.psu.edu/FreePubs/pdfs/uc203.pdf>. UC203.

FRYDRYCH, Jan, ANDERT, David, KOVAŘÍČEK, Pavel, JUCHELKOVÁ, Dagmar: Spalování travní biomasy v kotlích větších výkonů. Biom.cz . 2010-10-13 Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/spalovani-travni-biomasy-v-kotlich-vetsich-vykonu>. ISSN: 1801-2655.

HOLZ, Thomas. Topíme dřevěnými peletami: návrh, instalace a provoz. 1. vyd. Praha: Grada, 2007, 133 s. ISBN 978-80-247-1634-3.

HUTLA, Petr: Vliv uhelných aditiv na emisní parametry topných pelet z některých fytomateriálů. Biom.cz . 2005-04-25. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vliv-uhelnych-aditiv-na-emisni-parametry-topnych-pelet-z-nekterych-fytomaterialu>. ISSN: 1801-2655.

JANÁSEK, Pavel. Možnosti energetického využití biomasy: sborník příspěvků ze semináře: Penzion Beskydy, Visalaje 27. -29. 4. 2005. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2005, 175 s. ISBN 80-248-0834-X.

JANÍČEK, J. Výroba pelet. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Marek Baláš, Ph.D.

JANSA, O. Porovnání vlastností alternativních pelet. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Marek Baláš, Ph.D.

JEVIČ, P.: Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioodpadů. VÚZT Praha, 2008. 75 s. ISBN 978-80-86884-42-4.

KLOBUŠNÍK, Lubomír. Pelety palivo budoucnosti. Vyd. 1. České Budějovice: Sdružení Harmonie, 2003. 112 s. ISBN 80-239-1956-3

KOTLÁNOVÁ, Alice: Stanovení jakostních ukazatelů pelet z biomasy. Biom.cz. 2009-08-26. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/stanoveni-jakostnich-ukazatelu-pelet-z-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.

KOTLÁNOVÁ, Alice: Metody zkoušení fyzikálně-chemických vlastností tuhých biopaliv. Biom.cz. 2010-06-30. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-zkouseni-fyzikalne-chemickych-vlastnosti-tuhych-biopaliv>>. ISSN: 1801-2655.

KOTT, Jiří. TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ ASPEKTY VÝROBY PELET Z BIOMASY. In CO SE ZBYTKOVOU BIOMASOU V ZEMĚDĚLSTVÍ - HNOJIVO, ENERGIE, SUROVINY? Plzeň : KONZIX , spol. s r.o., 25. 6. 2009. Dostupné z WWW: <<http://svt.pi.gin.cz/vuzt/publ/P2009/146.PDF>>.

Moskalík, Jiří; Baláš, Marek; Lysí, Martin; Bogdálék, Jan: Tavení popele z biomasy
Brno, 2008. S. 6 Dostupné z WWW:
<http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_ix/papers/13-Moskalik.pdf>.

MOTLÍK, Jan, VÁŇA, Jaroslav: Biomasa pro energii (1) Zdroje. Biom.cz. 2002-02-01.
Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-1-zdroje>>.
ISSN: 1801-2655.

Mrkvička, J., Veselá, M., 2001: Vliv různých forem hnojení na botanické složení a
výnosový potenciál travních porostů. ÚZPI Praha, 26. s.

OBERNBERGER, I.; THEK, G.: The Pellet Handbook : The production and thermall
utilisation of biomass pellets. London: Earthscan, 2010. 592 s. ISBN 978-1-84407-631-
4.

OCHODEK, Tadeáš; KOLONIČNÝ, Jan; BRANC, Michal.: Ekonomika při
energetickém využívání biomasy. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava,
2008. 114s. Dostupné z WWW: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/ekonomie.pdf>>.
ISBN 978-80-248-1751-4.

OCHODEK, Tadeáš; KOLONIČNÝ, Jan; BRANC, Michal.: Metodická příručka ke
studii: Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy. 1. vyd. Ostrava : VŠB
Technická univerzita Ostrava, 2007. 30 s. Dostupné z: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka2.pdf>>.

OCHODEK, Tadeáš; KOLONIČNÝ, Jan; BRANC, Michal: Technologie pro přípravu a
energetické využití biomasy. 1. vyd. Ostrava: VŠB Technická univerzita Ostrava, 2007.
228 s. Dostupné z WWW: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/tech.pdf>>. ISBN 978-
80-248-1426-1.

OCHODEK, T.; KOLONIČNÝ, J.; JANÁSEK, P.: Metodická příručka ke studii:
Potenciál biomasy, druhy, balance a vlastnosti paliv z biomasy. 1. vyd. Ostrava : VŠB
Technická univerzita Ostrava, 2006. 24 s. Dostupné z:
<<http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka1.pdf>>.

PASTOREK, Zdeněk: Biomasa: obnovitelný zdroj energie /Praha :FCC Public,2004. 286 s. ISBN 80-86534-06-5

PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Rumex OK 2 – krmný šťovík. *Biom.cz*. 2009-05-11. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rumex-ok-2-krmny-stovik>>. ISSN: 1801-2655.

SLADKÝ, Václav; DVOŘÁK, Josef; ANDERT, David. Obnovitelné zdroje energie: fytopaliva. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2002. 64 s. Dostupné z WWW:<http://212.71.135.254/vuzt/poraden/prucky/p2002_02.pdf>. ISBN 80-238-9952-X.

STUPAVSKÝ, Vladimír, HOLÝ, Tomáš: Skladování pelet a dalších tvarových biopaliv v rodinných domech. *Biom.cz*. 2010-08-02. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/skladovani-pelet-a-dalsich-tvarovych-biopaliv-v-rodinnych-domech>>. ISSN: 1801-2655.

STUPAVSKÝ, Vladimír: Kvalita pelet - certifikace a normy pro pelety. *Biom.cz*. 2010-01-01 . Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kvalita-pelet-certifikace-a-normy-pro-pelety>>. ISSN: 1801-2655.

Internetové zdroje:

http://www.czso.cz/cz/cr_1989_ts/0901.pdf

http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/database/Psinecek_veliky.htm

http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/article/156/die-herstellung-von-holzpellets.html?&print=1&type=55&no_cache=1

<http://www.lume-sos.cz/pictures/fotky/7121/fotka1.jpg>

<http://www.trenev.cz/obr/rolnytl700.jpg>

<http://www.oekofen.cz/cs/produkty.html>

<http://www.atmos.cz/czech/instalece-kotelny-na-pelety>

<http://www.himel.cz/mobilnilinka.html>

<http://www.stoza.cz/page.php?page=2>

<http://www.ateap.cz/lsp1800.html>

<http://www.agroing.cz/zpracovani-biomasy-1>

<http://www.propelety.cz/index.php?str=dodavky1&p=linky&typ=standard>

<http://www.cipres.cz/cyklonovy-odluovac-cyklon.html>

<http://www.zetor.cz/zetor-proxima>

<http://www.reklamnifotky.cz/fotka/yellow-straw-round-bale-in-the-fields-spain-agricultural-pixmac-photo-79608377/000079608377>

<http://ekonomika-otazky.studentske.cz/2009/02/vyuzitelny-casovy-fond.html>

<http://www.srovnejenergie.cz/vypocet-elektřiny/15-elektřina>

<http://jiho.ceskereality.cz/prodej/vyrobní-objekty/vyrobní/>