

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Dopravní a manipulační prostředky

Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

NAVRHNĚTE A POROVNEJTE MOŽNOSTI
MANIPULACE A OŠETŘENÍ S DLOUHODOBĚ
SKLADOVANÝMI SLAMĚNÝMI BRIKETAMI

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Frolík, CSc.

Autor bakalářské práce: Jan Demeter

Rok vydání: 2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan DEMETER**
Osobní číslo: **Z09839**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační prostředky**
Název tématu: **Navrhněte a porovnejte možnosti manipulace a ošetření s dlouhodobě skladovanými slaměnými briketami.**
Zadávající 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 slaměných briket v klimaticky příznivých obdobích roku s možností jejich dlouhodobého skladování, manipulace a případného ošetřování v průběhu celého procesu.

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

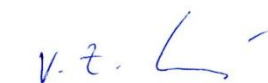
Rozsah grafických prací: **obrázky, fotografie dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 50 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Maléř, J.: Fyzikálně mechanická úprava slámy štípáním a tvarováním. ÚVTIZ, Praha, 1997;
Pastorek, Z.: Využití biomasy k energetickým účelům v zemědělství. In: Sborník vědeckého semináře Ekologické aspekty využití a výroby energie v zemědělství, Techagro 96, ČZU, 1996. ISBN 80-213-0272-0;
Souček, J.: Zhodnocení a optimalizace technologických postupů sklizně a prvotního zpracování zemědělských produktů vhodných pro energetickoprůmyslové využití, rigorózní práce, ČZU, Praha, 2002;
ČSN 44 1309:1990 Tuhá paliva-odběr, úprava vzorků a mechanické zkoušky briket.

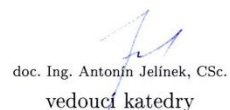
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Frolík, CSc.**
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. února 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2012**



prof. Ing. Milošlav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUĎĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentův 13
370 05 České Budějovice



doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 22. března 2011

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Josefu Frolíkovi, CSc. za cenné rady a připomínky, které mi během vypracovávání práce poskytoval a také za jeho strávený čas, který věnoval čtení mé bakalářské práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: „Navrhněte a porovnejte možnosti manipulace a ošetření s dlouhodobě skladovanými briketami“ vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Josefa Frolíka, CSc. a uvedl jsem všechnu použitou literaturu a zdroje, ze kterých jsem práci vypracoval. 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 studenta

Abstrakt

Hlavní náplní této bakalářské práce v rámci studia oboru Dopravní a manipulační prostředky (DOMP) je navrhnout a porovnat technologické linky pro výrobu, manipulaci a skladování slaměných briket na základě literární studie. V bakalářské práci jsou dále popsány technologické linky pro sezónní a celoroční produkci briket. Hlavním cílem je sestavení modelové linky pro výrobu a skladování slaměných briket.

Klíčová slova: produkce briket; skladování briket; biomasa; lisování

The main content of this bachelor's work in the study discipline called Means of Transport and Manipulation is suggesting and comparing technological links for production, manipulation and storage of straw briquettes on the basis of a literary research. Technological links for a seasonal and a year-round production of the briquettes are mentioned there as well. The main goal is to construct a model link for production and storage of straw briquettes.

Key words: briquettes production; briquettes storage (storing); biomass; compressing

Úvod	9
1. Zdroje výchozí suroviny, výnosový potenciál a jejich vlastnosti	10
1.1 Zdroje výchozí suroviny	10
1.2 Produkce slámy	11
1.2.1 Produkce slámy ve světě	11
1.2.2 Produkce slámy v ČR	11
1.2.3 Obilní sláma	12
1.2.3 Řepková sláma	13
1.3 Vlastnosti slámy	13
1.3.1 Voda (H ₂ O)	15
1.3.2 Popel	15
1.3.3 Výhřevnost	16
1.3.4 Spalné teplo	17
1.3.5 Uhlík (C)	17
1.3.6 Vodík (H)	17
1.3.7 Síra (S)	18
1.3.8 Kyslík (O)	18
1.3.9 Dusík (N)	18
1.3.10 Chlor (Cl)	19
1.3.10 Draslík (K)	19
1.3.11 Vápník (Ca), hořčík (Mg), fosfor (P)	20
1.3.12 Těžké kovy	20
2. Technologické postupy výroby a parametry vyrobených slaměných briket	21
2.1 Definice brikety	21
2.2 Technologické postupy výroby slaměných briket	21
2.2.1 Jednofázový technologický postup	22
2.2.2 Vícefázové technologické postupy výroby slaměných briket	24
2.2.2.1 Logistika dopravy rostlinné biomasy pro energetické využití (dle [15])	27
2.2.3 Technika briketování	29
2.2.4 Pístové briketovací lisy	30
2.2.5 Šnekové briketovací lisy	31
2.3 Parametry vyrobených slaměných briket	32
2.3.1 Technické parametry	32
2.3.2 Energetické parametry slaměných briket	33

2.3.3 Briketovací lisy a jejich technické parametry	34
3. Mechanické a fyzikální vlastnosti získaného produktu	35
3.1 Mechanické vlastnosti získaného produktu	35
3.1.1 Stanovení pevnosti briket v tlaku	35
3.1.2 Stanovení pevnosti briket v otěru	37
3.1.3 Stanovení nasákavosti briket máčením ve vodě	38
3.1.4 Stanovení odolnosti briket proti účinkům vody	38
3.2 Fyzikální vlastnosti získaného produktu	39
4. Navrhnete technologické linky pro sezónní i celoroční produkci briket.....	42
4.1 Technologická linka pro sezónní produkci briket.....	42
4.2 Technologická linka pro celoroční produkci briket	44
5. Posuďte a porovnejte různé způsoby uskladnění a případnou potřebu ošetření během skladovaného procesu	45
6. Sestavte modelovou linku na výrobu a skladování briket.....	48
6.1 Sklizeň a skladování výchozí suroviny.....	48
6.2 Výroba briket	50
6.3 Skladování.....	51
Závěr	52
Seznam použité literatury a zdrojů	53

Úvod

Biomasa je hmota organického původu (např. rostliny houby, bakterie, živočichové...). Pro energetické účely se nejčastěji používá dřevo, dřevní odpad (piliny, kůry), sláma a jiné zemědělské zbytky. Existují i cíleně pěstované energetické rostliny jako jsou například rychle rostoucí dřeviny. V zemědělství je výhodné zemědělské zbytky využívat k energetickým účelům (např. vytápění budov, sušení obilí...) než například slámu zaorávat do půdy. Při častém zaorávání se v půdě rozšíří někteří škůdci a choroby a tím se snižují výnosy a zvyšují se náklady na ošetření plodin, které na poli porostou.

Z hlediska zpracování je nevýhodou všech rostlinných materiálů jejich značná nehomogenita a nízká objemová hmotnost. Tyto vlastnosti způsobují, že jsou rostlinné materiály v surovém stavu zpracovatelné většinou velmi obtížně. Jejich doprava, manipulace a skladování je značně neefektivní. Z těchto důvodů je problematika zpracování a využívání rostlinné biomasy nutně spojena s prováděním rozměrových úprav. Špatné rozměrové vlastnosti surovin se v praxi částečně eliminují rozdužením materiálu na menší částice. Rozdužování je nejčastěji prováděnou operací při rozměrových úpravách rostlinné biomasy [30].

Energetické využívání rostlinné biomasy je souhrnný systém technických, ekonomických a ekologických aspektů. Součástí systému je logistika, která významným podílem přispívá k jeho funkčnosti a efektivitě. Do logistiky patří i doprava rostlinných surovin v kontextu se souvisejícími operacemi, tzn. manipulací, skladováním a následným využitím [15].

1. Zdroje výchozí suroviny, výnosový potenciál a jejich vlastnosti

1.1 Zdroje výchozí suroviny

Rostlinná biomasa je organická hmota rostlinného původu, vznikající na Zemi v důsledku fotosyntézy z CO₂ z ovzduší, vody a minerálních látek vázáním části dopadající energie ze Slunce. Představuje nejdůležitější složku obnovitelných energií, které lidstvo může ke krytí svých energetických potřeb využívat [1].

Sláma je vedlejší produkt vznikající při sklizni dané plodiny. Rozeznáváme slámu:

- obilnou- z pšenice, tritikale, žita, ječmene a ova
- kukuřičnou
- řepkovou
- luskovin
- lněné stonky.

Potřeba slámy pro stelivové účely se v posledních letech v ČR změnila vlivem snížení stavu skotu a přechodem části živočišné výroby na bezstelivové technologie. Pozvolna roste množství slámy využívané k energetickým a průmyslovým účelům. Sláma se používá jako palivo, v menší míře jako izolační anebo stavební materiál. Bez ohledu na způsob využití je nutnou podmínkou, aby sklizená sláma splňovala potřebné kvalitativní parametry [1].

Termín sklizně slámy je podřízen termínu sklizně hlavní plodiny, tedy semene. Obsah vody při sklizni slámy by neměl přesáhnout 17%. Hodnota obsahu vody vhodná pro úpravy (rozduřování, lisování) je u většiny druhů slámy do 12–15%. Z těchto důvodů určuje obsah vody ve slámě, pokud to počasí dovoluje, časový okamžik její sklizně. V případě zvýšeného obsahu vlhkosti je třeba slámu sušit[11].

Snížením obsahu vody lze docílit, obracením a shrnováním více řádků na jeden.

1.2 Produkce slámy

1.2.1 Produkce slámy ve světě

Ročně se ve světě vyprodukuje odhadem $20 \cdot 10^{11}$ tun biomasy a její energetický potenciál na $3 \cdot 10^{21}$ J. Což skoro 10 krát převyšuje roční objem světové produkce ropy a plynu. Velmi důležité je, že se jedná o zdroj obnovitelné energie. K energetickým účelům se ve světě biomasa využívá pouze ze 2-3% [1].

Tabulka 1.1 – Odhad světové dostupnosti specifických nedřevnatých vláknitých surových materiálů (v tis. tun sušiny)

Plodina	tis. tun
Pšeničná sláma	545000
Ječná sláma	175000
Ovesná sláma	60000
Žitná sláma	40000
Rýžová sláma	350000
Len olejný	2000
Tráva (semenářský porost)	3000
Sláma celkem	1175000

(zdroj: [1])

1.2.2 Produkce slámy v ČR

V ČR je v současné době (při předpokládaném využití čtvrtiny slámy obilnin a celého objemu slámy kukuřice, luskovin a řepky v průmyslové výrobě a v energetice) k dispozici 2,5 mil. tun slámy [11].

Většina vedlejší zemědělské produkce nachází své uplatnění přímo v zemědělství, a proto není farmáři vykazováno jako odpad. Z tohoto důvodu se neobjevuje ani ve statistikách. Samostatná produkce slámy (přesněji zbytkové biomasy po sklizni zrnin a olejnin) výrazně převyšuje celkové statisticky zjištěné množství zemědělských odpadů z rostlinné výroby [10].

Obiloviny patří mezi nejvíce pěstované plodiny v zemědělství ČR. Pšenice se pěstuje na více než 50% takto osevaných ploch.

Tabulka 1.2 Bilanční hodnoty obilovin a řepky v ČR

Plodina	Osevní plocha (ha)	Výnos (t.ha ⁻¹)	Poměr hmotnosti zrna a slámy	Produkce slámy (t)
Pšenice	811 000	4,88	1:1,85	3 957 680
Ječmen	499 000	3,85	1:1,08	1 921 150
Žito	37 500	4,72	1:1,70	177 000
Oves	59 000	2,91	1:1,40	171 690
Třitikale	50 000	4,29	1:1,75	214 500
Řepka	337 500	3,10	1:1,20 až 1,80	1 046 250

(zdroj: [5])

1.2.3 Obilní sláma

Obiloviny zaujímají v ČR více jak 50% plochy zemědělské půdy. Ročně se sklízí z celkové plochy cca 1 600 000 ha. Když uvážíme, že průměrný výnos obilnin je 4 t.ha⁻¹, je dosaženo celostátní produkce více jak 6 400 000 t slámy. Výhřevnost slámy je 14,4 GJ.t⁻¹.

Teoreticky je možno, při výhřevnosti 14,4 GJ.t⁻¹ a roční produkci 6 400 000 t slámy vyprodukovat 73 700 TJ energie (účinnost spalování 80%). Tato hodnota je 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 použít maximálně 20-30%. Zbývající sláma zůstává v zemědělských podnicích ke krmení, na stelivo a část slámy zůstává na polích k zaorání [6]. Využití 30% obilní slámy pro nezemědělské účely je 1 920 000 t slámy. Z těchto 30% lze získat energii 22 118 TJ, při výhřevnosti 14,4 GJ.t⁻¹ a účinnosti spalování 80%.

Plnému využití dostupného potenciálu brání celá řada překážek souvisejících s nutností dopravy slámy na místo využití, ochotou zemědělců a zemědělských podniků poskytovat část vyprodukované slámy atd. Vzhledem k těmto překážkám není možno dostupný potenciál stoprocentně využít. Reálný potenciál se pohybuje od 7% (v realistickém scénáři) do 20% (v optimistickém scénáři) roční produkce slámy [6]. Při realistických předpokladech využití 7% vyprodukované slámy je využitelný potenciál obilní slámy 448 000 tun ročně, tj. 5 161 TJ (účinnost spalování 80%).

1.2.3 Řepková sláma

Řepka olejná patří z hlediska agroenergetiky k velmi významným plodinám. Oproti obilní slámě, u které je výhřevnost $14,0 - 14,4 \text{ GJ.t}^{-1}$, má řepková sláma vyšší výhřevnost - 15 až $17,5 \text{ GJ.t}^{-1}$.

Od roku 1989 se výměra sklizňové plochy řepky v České republice více jak zdvojnásobila.

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 [6].

Celková osevní plocha řepky je 337 500 ha. Výnos slámy se pohybuje podobně jako u obilní slámy okolo 4 tun na hektar. Při 100% využití řepkové slámy je roční produkce 1 350 000 tun. Využitelný potenciál řepkové slámy, při výhřevnosti 15 GJ.t^{-1} a účinnosti spalování 80%, je 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 [6]. Při osevní ploše řepky 337 500 ha činí využitelný potenciál řepkové slámy 810 000 tun, tj. 9 720 TJ (účinnost spalování 80%).

1.3 Vlastnosti slámy

Sláma obsahuje uhlík, kyslík, vodík a jiné látky. Podle Anderta, Sladkého a Abrhama [3] stojí za pozornost vodík, který při procesu hoření s kyslíkem vytváří v plameni vodu (přesněji vodní páru). Z 1 kg vodíku vznikne téměř 9 kg vody a 1 kg vody odnese ve spalinách až 2,44 MJ tepla. Proto je velmi vhodné používat kondenzační kotle při spalování těchto biopaliv. Kondenzační kotel dokáže unikající teplo využít.

Každá bylina při růstu obsahuje nejméně 80% vody. Tento obsah začne klesat při dozrávání a po jeho skončení a odumření nadzemní stébelnaté části postupně

klesá až na hodnotu okolo 20%. Stébelniny s vyšší vlhkostí mohou za příznivého počasí při obracení a shrnování z více řádků na jeden za tři dny vysušit až na obsah vody okolo 15%. Hodnota 15 % vyhovuje sklizni a následnému skladování, nebo i slisování do balíků či zpracování do briket. Ukázalo se však, že nejlepším stébelnatým palivem je stébelnina, která zmokla a následně se usušila. Protože pokud nám stébelnina zmokne a poté se usuší, zbaví se rozpustných organických sloučenin obsahující chlor, draslík, fosfor i dusík. Zmoknutím se sníží i obsah popele, což nám zvýší výhřevnost tím, že ve stébelnině zůstane jen část křemíku, vápníku a draslíku, ty do popele přecházejí.

Řepková sláma s výhřevností 15 MJ.kg^{-1} se rovná dobrému hnědému uhlí. Prakticky postačuje množství řepkové slámy z jednoho až dvou hektarů pro zajištění tepla jedné zemědělské usedlosti nebo venkovského rodinného domu na celý rok. Nevýhodou je, že se řepková sláma během lisování drolí a tím je její využitelná výtěžnost z 1 ha snížena na cca 60%, což činí $3,2 \text{ t.ha}^{-1}$ lisované slámy.

Řepková sláma při sklizni má zpravidla obsah vody vyšší než 35%, ale za pěkného počasí již za dva až tři dny dosahuje vlhkosti pod 20%, což je vhodné pro sklizeň, skladování i spalování. Vzhledem ke své struktuře dobře dosychá i pod střechou v prostém průvanu i v balicích [3].

Tabulka 1.3 Prvkový rozbor vybraných biopaliv (průměrné hodnoty)

Palivo	Obsah vody (%)	Obsah popele (%)	Výhřevnost (MJ/kg)	Spalné teplo (MJ/kg)	C (%)	H (%)	S (%)	O (%)	N (%)	Cl (%)
Brikety z řepkové slámy	11,03	4,86	14,59	15,94	40,24	4,95	0,25	38,13	0,54	0,96
Řepková sláma	18,0	6,0	15,0	-	46,0	5,0	0,2	40,0	-	0,1
Obilná sláma	15,0	4,0	14,4	-	42,2	5,0	0,16	37,0	0,35	0,75
Pšeničná sláma	10,43	7,08	14,52	18,43	40,15	4,85	0,133	36,72	0,53	0,25
Lněná sláma	7,97	2,35	15,84	-	40,62	7,57	0,057	38,64	0,78	0,007

(zdroj: [1])

1.3.1 Voda (H₂O)

Obsah vody 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 zabraňující přirozené konvekce a nepatrného vedení tepla [4].

1.3.2 Popel

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

systemy nebo spalovací pánve, zpětná vedení spalin, 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 spalin. Ke zjištění usazenin a emisí jsou v tabulce 1.4 souhrnně uvedeny body tání a varu důležitých prvků v obilním zrna a očekávaných sloučenin při spalovacím procesu [4].

Jak uvádí Kotlánová [7] lze také zamezit spékáním popela pomocí přidáním aditiv obsahující vysokou koncentraci oxidu vápenatého (CaO).

Tabulka 1.4 – Příklady teplot tavitelnosti popela získané analýzou různých zkušebních vzorků

Druh paliva	Teploty (°C)			
	deformace	měknutí	tavení	tečení
Ječná sláma	659	783	923	1118
Pšeničná sláma	612	767	1044	1257
Řepková sláma	633	665	1452	1460
Kukuřičná sláma	796	886	1036	1059
Pšeničné zrno	612	727	772	792
Smrkové dřevo	1041	1180	1265	1310
Hnědé uhlí	1260	1280	1360	1500

(zdroj: [4])

1.3.3 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 MJ.kg⁻¹ o cca dvě třetiny vyšší než celulózy (cca 17,3 MJ.kg⁻¹). Výhřevnost tuhých biopaliv je také ekonomickým parametrem [4].

1.3.4 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, 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 [4].

1.3.5 Uhlík (C)

Jak uvádí Juchelková [12], uhlík patří k aktivní složce hořlavin. Při spalování, dochází k nedokonalému vyhoření uhlíku z paliva a přeměňuje se na oxid uhličitý, směsi lehkých uhlovodíků a také směsi těžších uhlovodíků (ty se označují také jako dehty nebo také dehtové páry).

1.3.6 Vodík (H)

Vodík je také jako uhlík aktivním prvkem paliva. Při spalování vodíku vzniká především energie ve formě tepla a dále s kyslíkem vytváří sloučeninu H_2O (voda).

1.3.7 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 alkalisulfátů 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 [4].

Oxid siřičitý (SO_2) je snadno rozpustný ve vodě a při dešti se váže na kapičky vody a vznikají tzv. kyselá deště. Větší část síry se při procesu spalování slučuje s vodíkem a vzniká sulfan (H_2S) neboli sirovodík.

1.3.8 Kyslík (O)

Sláma obsahuje mezi 36,7% (obilní sláma) a 40% (řepková sláma) kyslíku. To je o mnohem víc než u fosilních paliv (např. černé uhlí 3%). Vyšší obsah kyslíku snižuje výhřevnost paliva, ale zase lépe palivo prohořívá a má nižší emise.

1.3.9 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 [4].

Jak uvádí Baláš a Šen [13], sloučeniny dusíku (NO_x), patří k nejpodstatnějšímu znečištění ze spalování biomasy. Vznikají při spalování o teplotě 700 - 900°C. Dále při spalování vzniká malé množství oxidu dusného (N_2O), ten podporuje skleníkový efekt. Oxid dusnatý (NO) vzniká při teplotách nad 1000°C. Výrazná většina ho oxiduje na oxid dusičitý (NO_2).

1.3.10 Chlor (Cl)

Obsah chloru v tuhých biopalivech je důležitý technický parametr s ohledem na tvorbu korozivní HCl. Význam se také diskutoval s ohledem k jeho možné účasti při tvorbě polychlorovaných dibenzo-dioxinů/furanů (PCDD/F) při spalování. Kvantitativní souvislosti mezi obsahem Cl v palivu a emisemi PCDD/F jsou dostatečně objasněny řadou autorů. 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 [4].

Podle Baláše a Šena [13] lze vysokoteplotní korozi zabránit konkrétním konstrukčním řešením spalovací komory a nastavení správných teplotních poměrů.

1.3.10 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 SO₂ ze spalin na alkalisulfáty a Cl₂. Poslední difundují porézními vrstvami okují na ocelových stěnách výměníku tepla, na nichž dochází vlivem redukčních podmínek k tvorbě FeCl₂. Vlivem velkých rozdílů v teplotě uvnitř obkladové vrstvy na výměníku tepla dochází k různým parciálním tlakům FeCl₂, 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 okují. 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% K₂O). Podobně vysoké obsahy K přicházejí v úvahu v popelu z cyklonu, zatímco jemný polétavý popílek má v průměru asi 11,8% (14,3% K₂O) [4].

1.3.11 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 spalinách jako problémová látka. Tři uvedené prvky samotné zvyšují mimoto hnojivou hodnotu popela [4].

1.3.12 Těžké kovy

Těžké kovy zůstávají z velké části v popelu a ovlivňují tím opětovou použitelnost jako hnojivo. Těžkými kovy jsou především kadmium (Cd), zinek (Zn) a olovo (Pb) lehce prchající. Nacházejí se následkem rekondenzace na částicích polétavého popela opět ve zvýšené míře v jemném polétavém popílku (např. v tkaninových filtrech nebo elektrofiltrech). Odděleným zhodnocením příp. odstraněním ložního, cyklonového a jemného polétavého popele („frakční odlučování těžkých kovů“) mohou být minimalizována rizika vnesení škodlivin při zemědělském zhodnocení popela jako hnojiva [4].

2. Technologické postupy výroby a parametry vyrobených slaměných briket

2.1 Definice brikety

Briketa je uměle upravené palivo. Vyrábí se lisováním sypaného materiálu (např. stonky, listy, kůra...). Objemová hmotnost brikety závisí na:

- lisovacím tlaku
- druhu lisovaného materiálu
- vlhkosti lisovaného materiálu
- složení lisovaného materiálu

Brikety ze stébelnin jsou lisovány mechanicky velkým tlakem drcené nebo nakrátko řezané stébelniny do tvaru válečku (nejčastější), hranolu nebo šesti stěnů.

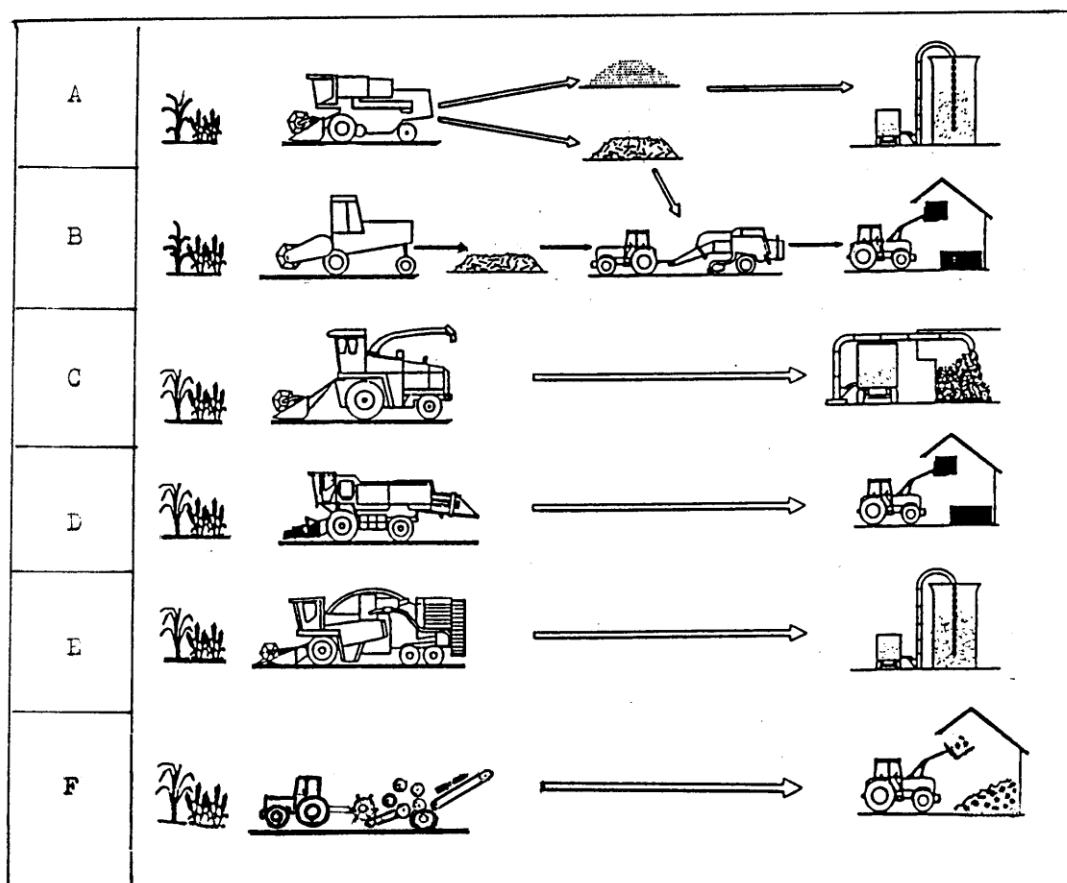
Rozměry a vlastnosti briket ze stébelnin:

- průměr: 40 až 100 mm
- délka: do 300 mm
- měrná hmotnost: 1000 až 1200 kg.m⁻³
- výhřevnost: 16,5 až 19 MJ.kg⁻¹
- obsah popela v sušině: 5 až 6%

2.2 Technologické postupy výroby slaměných briket

Výroba slaměných briket se dá provádět buď jednofázovým, nebo více fázovým technologickým postupem. U jednofázového postupu se používá samojízdný briketovací stroj. Ten slámu sbírá z řádku, drtí a následně lisuje do briket. Vícefázové technologické postupy se skládají z více pracovních úkonů, jako jsou například sklizeň, doprava, skladování, případné rozřezání na požadovanou délku řezanky a nakonec samotná výroba slaměných briket.

Energetické využívání rostlinné biomasy je souhrnný systém technických, ekonomických a ekologických aspektů. Součástí systému je logistika, která významným podílem přispívá k jeho funkčnosti a efektivitě. Do logistiky patří i doprava rostlinných surovin v kontextu se souvisejícími operacemi, tzn. manipulací, skladováním a následným využitím [15].



Obrázek 2.1 Technologie sklizně a zpracování energetických stébelnin

A- sklizeň sklízecí mlátičkou – odložení slámy na řádek;

B – sečení energetických obilovin a travin žacím řádkovačem, odložení stébelnin na řádek k proschnutí, sběrací lis;

C – sklizeň sklízecí řezačkou – přímé sečení nebo sběr ze řádku;

D – přímá sklizeň nebo sběr ze řádku samojízdným nebo taženým lisem;

E – přímá sklizeň nebo sběr ze řádků samojízdným peletizačním briketovacím lisem;

F – svinování stébelnin ze řádků svinovacím kompaktozem.

(zdroj: [14])

2.2.1 Jednofázový technologický postup

Obilovina se sklídí sklízecí mlátičkou, sláma se ponechá na poli. Při optimální vlhkosti 12% až 16% se může sláma ihned sklídit samojízdným briketovacím lisem. Sláma je tímto strojem sbírána, drcena a následně lisována do briket. Vyrobené brikety se ukládají do zásobníku. Když je zásobník plný, brikety se přeloží na přepravní vozidlo. Brikety jsou převáženy buď k místu topeniště, nebo do místa skladování (halový sklad apod.). Nevýhodou této technologie je především to, že sklizená sláma musí mít optimální vlhkost, pokud je vlhkost vyšší než 16%, je třeba ponechat slámu na poli a dosušit. Proto jsou velmi důležité klimatické podmínky, nepřízeň počasí by mohla sklizeň obilí a výrobu briket oddálit a tím

zvýšit náklady na výrobu (prostoje briketovacího lisu). Dále je nevýhodou této technologie výroby, že se brikety mohou vyrábět pouze v sezóně při plné zralosti obilovin a ne po celý rok. Na druhou stranu je výroba briket přímo na poli efektivní při delších vzdálenostech dopravy, díky vysoké měrné hmotnosti.

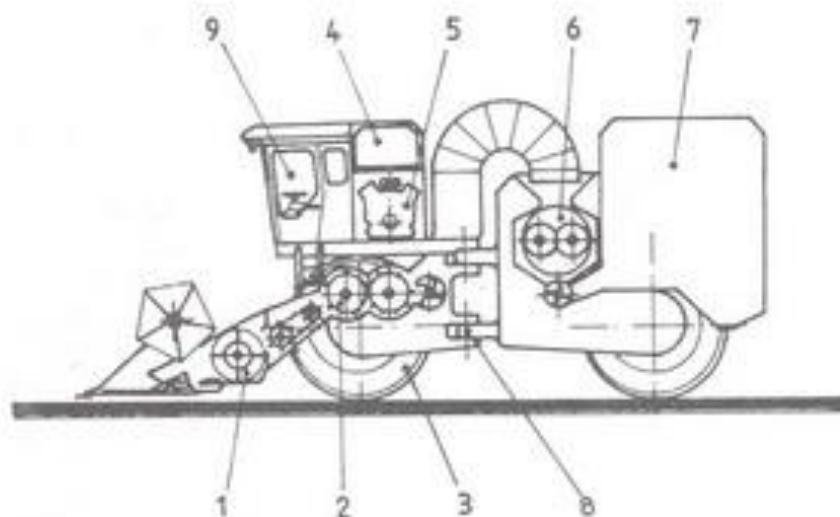


Schéma samojízdného sklízecího briketovacího lisu

1 - žací nebo sběrací ústrojí; 2 - dvoustupňový drtič s metačem; 3 - čtyřkolový podvozek; 4 - nádrže paliva a oleje; 5 - motor 150 kW; 6 - granulární protlačovací lis; 7 - zásobník granulí - pelet; 8 - kloubový, otočný závěs; 9 - kabina řidiče

Obrázek 2.2 Samojízdný briketovací lis

(zdroj: [2])

2.2.2 Vícefázové technologické postupy výroby slaměných briket

U vícefázové technologie se provádí výroba briket stacionárním briketovacím lisem (pístový, šnekový). Při dostatku uskladněné slámy, řezanky či balíků je možno brikety vyrábět i po celý rok. Pro zvýšení efektivity výroby je důležité, aby vzdálenost mezi uskladněným materiálem (sláma, řezanka nebo balíky) a výrobní linkou na brikety byla co nejkratší. Vícefázové technologie pro výrobu briket mohou být tyto (liší se především v jaké formě je výchozí surovina dopravována a skladována):

a) Doprava volně ložené slámy

Sběrací vozy jsou zařízení sloužící ke sběru z řádku a k dopravě na místo skladování nebo dalšího využití. Činnost sběracího vozu může být doplněna o možnost rozdružení slámy pomocí řezacího ústrojí. Sběrací vozy jsou řešeny jako návěsy nebo jako samojízdná zařízení. V podmínkách ČR je nejčastěji užívaná varianta návěsného sběracího vozu připojeného k traktoru. Podvozek sběracích návěsů je nejčastěji jednonápravový nebo tandemový. Toto řešení je výhodné z hlediska příznivých vlivů na jízdní vlastnosti návěsu i traktoru, umožňuje umístění sběracího a nakládacího ústrojí vpředu. To usnadňuje pohon aktivních součástí, efektivnější využití ložného prostoru a kontrolu činnosti řidičem traktoru. V samojízdné alternativě jsou sběrací vozy řešeny jako nástavba na nákladní automobil nebo nosič nářadí, případně jako speciální zařízení určené pro sběr nebo sklizeň. Návěsné sběrací vozy nejčastěji používané v podmínkách českého zemědělství mají objem ložné plochy zhruba 20–50 m³. Samojízdné sběrací vozy mají objem ložného prostoru až 60 m³. Materiál sebraný z řádku je dopravován do ložného prostoru (mezi sběrací ústrojí a ložný prostor lze alternativně zařadit řezací ústrojí), kde je částečně zhutňován. Střední slisovatelnost bylinné hmoty v ložném prostoru po naplnění je 1,4–1,6 [11]. Slisovatelnost se spočítá poměrem objemu sklizené hmoty s objemem ložného prostoru.

$$s = \frac{V_h}{V_p} \quad (2.1)$$

s...slisovatelnost []

V_h ...objem sklizené hmoty [m^3]

V_p ...objem ložného prostoru [m^3]

Po naplnění ložného prostoru je materiál pomocí sběracího vozu dopraven do skladu nebo na místo dalšího využití. Tam je vůz vyskladněn otevřením části korby a pomocí podlahového dopravníku. Podlahový dopravník je využíván i jako prostředek pro zhutňování při nakládce. Moderní sběrací vozy mají pracovní rychlost v rozmezí 6–15 $km \cdot h^{-1}$. Výkonnost sběracího ústrojí se pohybuje od 30 do 50 $t \cdot h^{-1}$ při 15% obsahu vlhkosti v materiálu. Konstrukce podvozku by měla modernímu sběracímu vozu dovolit přepravní rychlost minimálně 40 $km \cdot h^{-1}$ při plném zatížení náprav [11].

b) Doprava řezanky

Sláma je drcena rovnou při sklizni obilí pomocí sklízecí mlátičky, ponechána na poli v řádku a poté je sklizena. Řezačky jsou samojízdné, nesené nebo tažené. Řezanka je dopravována (metačem nebo ventilačním účinkem řezného ústrojí) na velkoobjemové přepravní vozy. Ty dopravují řezanku do velkokapacitních halových a věžových skladů. Při optimální vlhkosti řezanky je možno vyrábět brikety i hned po uskladnění, při vyšší vlhkosti je potřeba řezanku dosušit ve skladech buď přirozeným větráním, nuceným větráním či za pomoci sušícího média (ohřátý vzduch, vysušený apod.). Jestliže řezanka má vhodnou délku je možno ji ze skladového prostoru dopravovat (např. traktorovým nakladačem) ke stacionárnímu lisu, ale jestliže je řezanka příliš dlouhá, je nutno před briketovací lis umístit řezačku slámy, která upraví řezanku na požadovanou délku. Objemová hmotnost řezanky je vyšší než u volně ložené slámy a proto je tento postup ekonomicky výhodnější.

c) **Doprava balíků slámy**

V zemědělské výrobě se k tvarování surovin do formy balíků v průběhu sklízecí používají sklízecí lisy. Úkolem sklízecích lisů je plynule sebrat z řádků zvadlý nebo častěji suchý stébelnatý materiál, slisovat jej a svázat do stejných balíků při seřiditelné délce a slisovatelnosti. Slisované balíky se buď položí na strniště v požadovaném směru, nebo se naloží na dopravní prostředky. V současnosti jsou používány lisy, které lisují sebrané suroviny do následujících válcových a hranolových forem balíků:

- Malé hranolové balíky mají hmotnost 20–35 kg. Jejich výhodou je, že nízká hmotnost umožňuje jejich ruční manipulaci. Ta je však zároveň drahá. Sklízecí lisy na malé balíky se vyznačují nižší výkonností.
- Velké hranolové balíky jsou produkovány lisy s pístovým lisovacím mechanismem. Jejich profil má obdélníkový průřez. Hmotnost se, v závislosti na vlastnostech lisovaného materiálu, slisovanosti a velikosti balíku, pohybuje v rozmezí 200–600 kg.
- Válcové balíky jsou nejčastější formou při využívání slámy v živočišné výrobě. Mají profil kruhového průřezu, jejich výroba je levnější. Hmotnost válcových balíků se pohybuje v rozmezí 190–400 kg. Svinovací lisy lze podle konstrukčního řešení rozdělit na lisy s pevnou komorou a lisy s variabilní komorou, které mohou při stejné slisovanosti produkovat balíky o různé velikosti.

Manipulace s velkými balíky vyžaduje použití mechanizačních prostředků. Objemová hmotnost suché (do 20% obsahu vody) balíkové suroviny je 50–250 kg.m⁻³. Objemovou hmotnost slisované slámy lze zvýšit pořezáním před vstupem do lisu. V současnosti je většina sklízecích lisů vybavena řezacím mechanismem, který je včleněn mezi sběrací ústrojí a vstup do lisovací komory.

Po slisování nebo během lisování na předepsanou slisovanost se balík převazuje provazem nebo sítí [11].

2.2.2.1 Logistika dopravy rostlinné biomasy pro energetické využití (dle [15])

Rostlinné suroviny mají rozdílné nároky na přepravní techniku v důsledku svých momentálních fyzikálních vlastností, jako např. měrná hmotnost nebo stav (volně ložené sypké materiály, lisované materiály). To se výrazně promítá do využití užitečné hmotnosti dopravního prostředku.

Skupina zařízení využívaná při dopravě rostlinné biomasy s obecně nízkou sypnou hmotností (například v porovnání s většinou stavebních nebo průmyslových materiálů), se vyznačuje vysokou kapacitou ložného objemu. V případě využívání velkoobjemových nástaveb musí být zohledněny v jejich konstrukčním řešení vlastnosti přepravovaných materiálů zejména řešením systému plnění a vyprazdňování. Rovněž musí být přihlédnuto ke způsobu následné manipulace s materiálem. V provozu je pak třeba brát v úvahu také způsob sklápění (stranové, dozadu). Důležité je, zda se jedná o sklápění na volné ploše, které je v podstatě bez omezení, či pod střechou, kde je třeba ověřit výškový i průřezný profil [15].



Obrázek 2.3 Doprava hranolových balíků traktorovou soupravou s dvěma přívěsy

(zdroj: [15])

Vedle vozidel určených k dopravě velkoobjemových sypkých materiálů je na trhu stále početnější skupina speciálních přípojných vozidel určených k přepravě velkoobjemových hmot (sláma, seno) v podobě hranolových nebo válcových balíků. Provedení těchto speciálních vozidel je přívěsově nebo návěsově.

Z hlediska manipulace s balíky existuje ve spojení s dopravním prostředkem několik konstrukčních řešení:

- plošinové traktorové přívěsy s nakládkou mobilním nakladačem na poli nebo na překladišti
- traktorové návěsy vybavené vlastním nakládacím zařízením
- speciální traktorové návěsy vybavené automatizovaným nakládáním a stohováním

Příkladem jsou typy přívěsy na přepravu balíků s užitečným zatížením 7-14 t a kapacitou 30-44 ks válcových nebo hranolových balíků. Ložná plocha má délku 7-12 m při výšce nad zemí asi 1 m. Provedení podvozku je dvou nebo tří nápravové. Vyrábí se variantně s nápravami pro maximální povolenou rychlost 40 nebo 80 km.h⁻¹, s pérováním parabolickými pružinami nebo vzduchovými vlnovci.

Vozidla s nižší povolenou rychlostí se využívají vesměs na svoz balíků z pole na kratší dopravní vzdálenosti (5-6 km). Nakládku i vykládku zajišťují samojízdné nakladače. S variantou přívěsu pro vyšší přepravní rychlost než 40 km.h⁻¹ lze uvažovat i o agregaci s nákladním automobilem na větší dopravní vzdálenosti (nad 20 km).

Návěsy s vlastním nakládacím zařízením mohou sbírat válcové balíky přímo na poli. Nejčastěji používaný systém je ten, kdy nakládací zařízení uloží balíky vpředu na návěs a vytvoří dvojici, která je pomocí podlahového dopravníku odsunuta směrem dozadu. Tímto postupem je postupně naplněn celý návěs. Vykládání balíků je realizováno směrem vzad opět pohybem podlahového dopravníku.

Samočinné nakládání balíků do přepravníku zajišťuje obdobně další skupina strojů, která je však navíc vybavena sklápěním dozadu celého ložného prostoru, takže náklad „postaví“ za sebe a vytváří tak postupně „stoh“ z balíků.

Vytváření stohu balíků např. na okraji pole lze také využít pro variantu odvozu balíků na větší vzdálenost, kdy se balíky teleskopickým nakladačem ze stohu přeloží na soupravu. Pokud je, dopravní cyklus součástí obchodního styku, musí být jeho součástí vážení a dohoda dodavatele s odběratelem o uznání navážených hodnot. Variantou je vážení náprav na tenzometrických přejezdových vahách [15].

2.2.3 Technika briketování

Jak uvádí Sladký [2], briketovací lisy vycházejí z lisů na seno nebo z peletizačních či protlačovacích lisů na granulovaná krmiva ze šrotu a slámy. Briketovací lisy mají měrnou spotřebu okolo 45 kWh.t^{-1} , ale v některých případech se měrná spotřeba dostala i pod 20 kWh.t^{-1} .

Lisování slámy je příznivější než lisování sena, lisování řepkové slámy je příznivější než lisování ovesné slámy a energeticky nejvýhodnější je lisování směsi slámy a zrna (v přepočtu spotřeby energie na tunu výrobku).

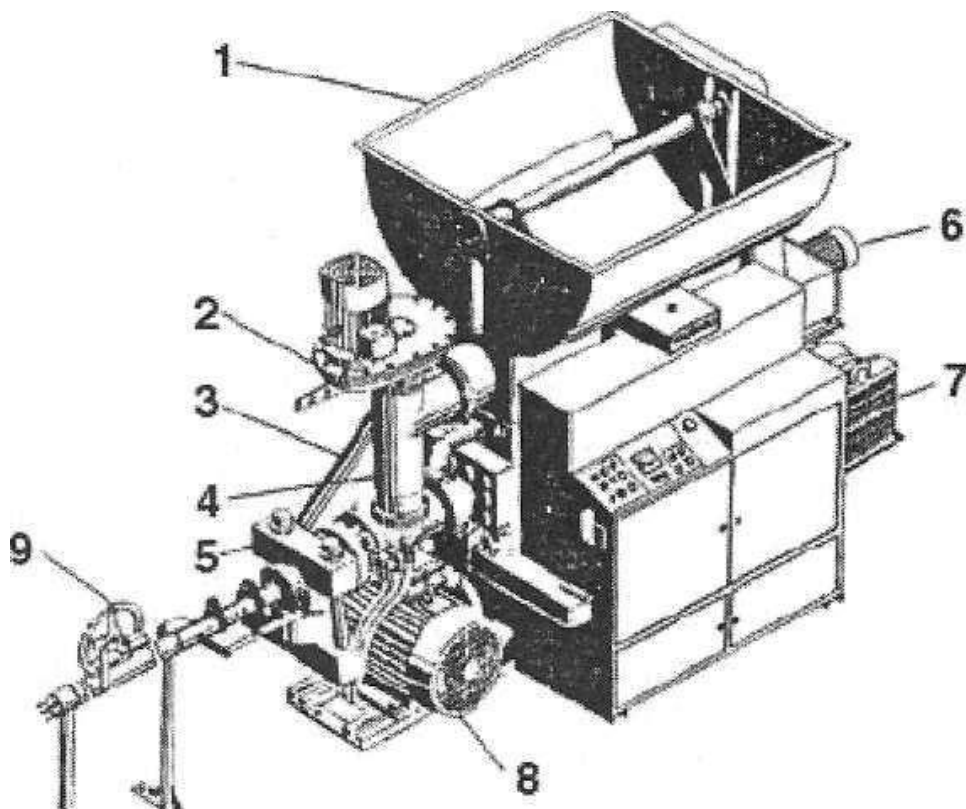
Kvalita briket se zvyšuje:

- přidáním vazného materiálu
- předchozím napařením
- nahřátím
- zchlazením ještě v podmínkách „pod tlakem“,

Chlazení briket lze provést buď přímo v lisovací komoře, nebo za ní v dochlazovací komoře. Optimální vlhkost slámy se pohybuje od 12% do 16%. Největším nepřítelem lisů na slámu je přítomnost prachu a písku, která snižuje životnost nejvíce namáhaných částí. Proto jsou některá zařízení vybavena sítý – zpravidla se jedná o děrované žlaby šnekových dopravníků. Nejvíce opotřebovatelné části lisů se vyrábějí jako lehce vyměnitelné.

2.2.4 Pístové briketovací lisy

Sladký [2] uvádí, že pístové briketovací lisy zpracovávají buď pořezanou nebo hrubě drcenou slámu při tlaku 15 MPa. Výkonnost pístového lisu se pohybuje mezi 250 – 400 kg.h⁻¹. Vyrábí brikety o průměru 60 -70 mm. Pokud se přidá k lisované slámě i zrno výkonnost se může zvýšit až o 100%. Tlak 15 MPa se vytváří pomocí klikového mechanismu spojeným se setrvačником, nebo u větších lisů pomocí hydraulického válce.



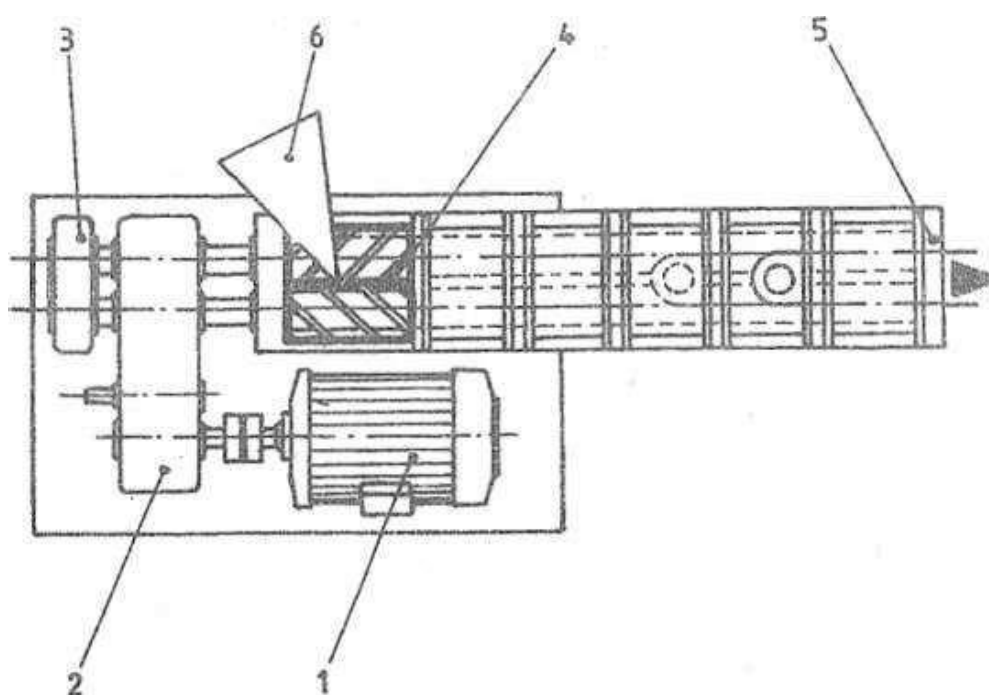
Obrázek 2.4 Briketovací pístový lis BL 65

- 1 - násypka drcené slámy (pilin) s vyprazdňovacím šnekem;
- 2 - převodový elektromotor vertikálního šnekového podavače;
- 3 - klínové řemeny pohonu setrvačniku z klikového mechanismu;
- 4 - vertikální vkladač slámy do lisovací komory;
- 5 - seřizování protitlaku;
- 6 - převodový elektromotor šnekového vyprazdňování zásobníku;
- 7 - chladič chladicího okruhu;
- 8 - hlavní elektromotor pohonu lisu;
- 9 - počítadlo vyprodukovaných briket (délky);

(zdroj: [2])

2.2.5 Šnekové briketovací lisy

Podle Sladkého [2] jsou brikety vyráběny u šnekového lisu dokonale konstruovaným šnekem, ten musí být vyroben z kvalitní oceli. Šnekovice je poháněna elektromotorem (výkon 40-50 kW) přes převodovku. U některých konstrukcích jsou dvě rovnoběžné šnekovice s jednou protlačovací komorou. Sláma musí být před briketováním více rozdrčena než u pístových lisů. Stupeň slisování je větší a to způsobuje, vlivem většího tření, vysoké teploty přes 200°C. Při této teplotě se lignin, obsažený ve slámě, přemění do voskové fáze, po vychladnutí dobře spojuje vnitřek brikety.



Obrázek 2.5 Schéma dvoušnekového lisu na briketování slámy

- 1 - elektromotor;
- 2 - převody;
- 3 - hlavní ložisko;
- 4 - lisovací šneky s opačným stoupáním;
- 5 - kalibrační výstupní matrice;
- 6 - vkládání drčené slámy

(zdroj: [2])

V dnešní době se používají šnekové lisy s předehřívanou komorou, skrze tuto komoru je sláma protlačována a dochází ještě k lepšímu uvolňování přirozených pojiv, které jsou ve slámě obsaženy, než u lisů bez předehřívací komory. Po vychladnutí mají brikety dostatečnou finální tvrdost a soudržnost.

2.3 Parametry vyrobených slaměných briket

Parametry slaměných briket jsou ovlivněny především konstrukcí a typem briketovacího lisu. Rozlišují se technické a energetické parametry.

2.3.1 Technické parametry

Technické parametry informují především spotřebitele o nejdůležitějších parametrech brikety. Jsou to:

- **výhřevnost** – tento parametr udává, kolik se uvolní energie během spálení jednoho kilogramu paliva.
- **obsah vody** – patří k nejdůležitějším parametrům, které ovlivňují výhřevnost paliva a také jeho kvalitu.
- **obsah popela** – znalost obsahu popela umožňuje zjistit zbytek biopaliva po spálení. Podle charakteru popela lze usuzovat na vznik nánosů a na charakter popelovin [7].
- **rozměry briket** – jsou dány konstrukcí briketovacího lisu. Udává se délka a průměr brikety.
- **lisovací tlak** – ten je závislý na lisovaném materiálu a na jeho vlhkosti. Čím je lisovací tlak větší, tím se docílí větší pevnosti brikety.

Tabulka 2.1 Technické parametry briket

	Výhřevnost [MJ.kg ⁻¹]	Obsah vody [%]	Obsah popela [%]	Průměr brikety [mm]	Délka brikety [mm]	Lisovací tlak [kg.cm ⁻²]
Slaměná briketa	14-16	10-15	do 5	40-100	do 250	1000-1200
Dřevěná briketa	16-19	cca 8	do 0,8	40-100	do 250	850-1200

- **balení briket** – brikety jsou baleny především pro usnadnění manipulace a také balící fólie zabraňuje přístupu vzdušné vlhkosti. Většina výrobců a prodejců briket používají stejné způsoby balení.

Tabulka 2.2 Balení briket

Balení	Hmotnost [kg]
PE balíček (5 briket)	10
Paleta (100 PE balíčků)	1000

2.3.2 Energetické parametry slaměných briket

Mezi energetické parametry briket patří spalné teplo a množství prchavé hořlaviny.

Spalné teplo je množství energie, které lze získat dokonalým spálením určitého množství plynu se vzduchem, při konstantním tlaku. Všechny spaliny vzniklé spalováním jsou ochlazené na výchozí teplotu složek, které se účastnily spalování, vyjma vody. Tato voda je ve stavu kapalném o teplotě rovné teplotě výchozí [9].

Obsah prchavých hořlavin je třeba znát při volbě spalovacího zařízení. Vyšší obsah prchavých hořlavin v briketě ovlivňuje především emise. V sušině může být až 80%.

Stanovení prchavé hořlaviny se u biopaliv provádí podle ČSN P CEN/TS 15148, kdy se vzorek v muflové peci po dobu 7 minut žihá bez přístupu vzduchu na tak vysokou teplotu (cca 900°C), aby unikla všechna prchavá hořlavina ze zbytku po karbonizaci. Od konečného výsledku, vyjadřovaného opět v procentech hmotnosti, se pak musí odečíst obsah vody ve vzorku. Tím se získá procentuální vyjádření prchavé hořlaviny v sušině [7].

$$p_h = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100 - v \quad (2.2)$$

p_h ...procento prchavé hořlaviny v sušině [%]

m_1 ...hmotnost vzorku před žiháním [kg]

m_2 ...hmotnost vzorku po žihání [kg]

v ...obsah vody ve vzorku [%]

Tabulka 2.3 Energetické parametry slaměných briket

	Spalné teplo [MJ.kg ⁻¹]	Obsah prchavé hořlaviny [%]
Slaměné brikety	16-19	až 80
Dřevěné brikety	18-21	až 99,7

2.3.3 Briketovací lisy a jejich technické parametry

Tabulka 2.4 Technický parametry briketovacích lisů od výrobce Agrobrík

BRIKETOVACÍ LIS	SOLO 50	DUO 100	MAX 350
Princíp lisování briket	šnekový		klikový
Lisovaný materiál	obilná sláma, seno, řepková sláma, ščovník nebo jejich směs		
Parametry lisovaného materiálu	délka řezanky: 2 až 5 cm		do 1 cm
	vlhkost: 15 až 30 %		12 až 14%
	teplota: +5 až + 30°C		
Produkt	souvislé brikety o průměru 70 mm		průměru 60 mm
Výkon [kg.h ⁻¹] *)	ze staré (odležené) žitné slámy		
	40-50	80-100	350-500
Rozměry (délka/šířka/výška) [mm]	1,5/0,6/1,45	1,5/0,8/1,52	2,8/0,9/1,2
Instalovaný příkon [kW]	4,2	8,75	24
Průměrná spotřeba briketovacího lisu [kW.h ⁻¹]	3	6,6	24
Napájení [V]	3x400	3x400	3x400
Hmotnost [kg]	240	380	2400
Provozní teplota okolí [°C]	+5 až + 30		
Mobilnost	lis na kolečkách s brzdou		staticky
Obsluha	jeden pracovník		

*) v závislosti od druhu a měrné hmotnosti lisovaného materiálu, také od jeho vlhkosti, způsobu drcení a délky řezanky. Na konečný výkon má také vliv nastavení závaží na stabilizačních a brzdících kleštinách.

(zdroj: [18])

3. Mechanické a fyzikální vlastnosti získaného produktu

3.1 Mechanické vlastnosti získaného produktu

Z normy ČSN 44 1309:1990 vyplývá, že mezi mechanické vlastnosti briket patří pevnost briket v tlaku, pevnost v otěru, nasákavost briket a odolnost briket proti účinkům vody. Tyto vlastnosti jsou závislé na druhu slámy, délce řezanky, ze které jsou brikety vyrobené, obsahu vody a lisovaném tlaku.

3.1.1 Stanovení pevnosti briket v tlaku

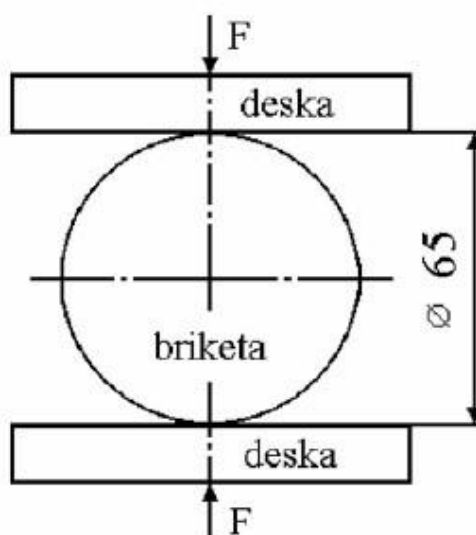
Pevností briket se rozumí maximální tlak na raznici zkušebního lisu, který vznikne při tlakové zkoušce. Zkouška se provádí na lisu opatřeném manometrem s vlečnou ručičkou. Zkušebním vzorkem jsou celistvé a neporušené brikety. Briketa se vloží mezi dvě kruhové raznice zkušebního lisu na střed raznicové plochy (Obr. 3.1). Jedna raznice je pevná a druhá přitlačná. Přitlačná raznice zvyšuje rovnoměrně namáhání brikety, až do jejího rozdrčení. Síla potřebná k rozdrčení brikety se dále přepočítává na jednotku délky brikety.

$$P_m = \frac{F}{l_b} \quad (3.1)$$

P_m ...mechanická pevnost [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]

F ...síla potřebná k rozdrčení brikety [N]

l_b ...délka brikety [m^{-1}]



Obrázek 3.1 Zkouška mechanické pevnosti brikety

(zdroj:[19])



Obrázek 3.2 Zkušební lis ZDN-5

(zdroj: [19])

Mechanické zkoušky briket se provádí pro zjištění míry jejich odolnosti proti úderu nebo otěru, způsobených manipulací a dopravními procesy. Obecně lze konstatovat, že čím je vyšší měrná hmotnost briket, tím větší je množství energie v jednotce objemu a kvalita brikety je vyšší. A stejně tak u mechanické odolnosti proti poškození, kterou vyjadřuje destrukční síla. Čím je tato síla vyšší, tím je briketa kvalitnější [17].

Tabulka 3.1 Mechanické vlastnosti briket

Briketa	Hustota [kg.m ⁻³]	Mechanická pevnost [N.mm ⁻¹]
Slaměná	600±150	9±3
Seno	840±80	19±5
Réví	760±10	25,5±5
Topol	750±10	46,5±3

(zdroj: [16])

Hustota briket je závislá na lisovacím tlaku. Vyšší hustoty se docílí vyšším lisovacím tlakem. Hustota brikety se zjistí výpočtem pomocí objemu a hmotnosti.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.2)$$

ρ ...hustota [kg.m⁻³]

m ...hmotnost [kg]

V ...objem [m³]

3.1.2 Stanovení pevnosti briket v otěru

Pevnost briket v otěru je podíl zkoušeného vzorku briket, vyjádřený v procentech hmotnosti původní navážky briket. Zkouška se provádí na otěrném bubnu vyrobeném z oceli. Buben je opatřen utěsněným víkem, aby se zamezilo úniku prachu. Bubnem neprochází hřídel a je uchycen po obou stranách na ložiskách. Výška bubnu je 500 mm a vnitřní průměr je 500 mm. Uvnitř jsou umístěny podélně 3 trojúhelníky o výšce 100 mm a ty jsou rovnoměrně rozloženy po jeho obvodu. Do otěrného bubnu vložíme navážené množství briket (cca 10 kg). Buben se otáčí rychlostí 25 otáček za minutu. Po 4 minutách (100 otáček) se buben zastaví. Několik minut se počká, aby se rozvířený prach usadil. Obsah bubnu se proseje sítím se čtvercovými otvory 25 mm x 25 mm. Materiál zbylý na síti se zváží. Tento zbytek, vyjádřený v procentech původní navážky udává pevnost briket v otěru.

$$o = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (3.3)$$

o ...pevnost briket v otěru [%]

m_1 ...hmotnost zkoušeného vzorku briket [kg]

m_2 ...hmotnost zbylého materiálu na síti [kg]

Otěr je množství hmoty, která se z brikety oddělí během dané zkoušky. Dále můžeme hodnotit, jaké rozměry bude mít briketa po této zkoušce. Za vyhovující se považuje otěr do 2,3%.

Mechanická odolnost briket je důležitá, hlavně u automatických topenišť na spalování briket, protože dochází k častému kontaktu a otěru briket v násypce, na rozdíl u ručního přikládání briket do topeniště.

Tabulka 3.2 Otěr slaměných briket

Briketa	Otěr [%]
Řepková sláma	cca 2,2
Pšeničná sláma	cca 0,9

3.1.3 Stanovení nasákavosti briket máčením ve vodě

Nasákavost briket je poměrný přírůstek hmotnosti brikety, ponořené do vody na stanovenou dobu. Ke zkoušce se používá vhodná nádoba dostatečných rozměrů na ponoření síta. Zkušební síto s velikostí otvorů minimálně 5 mm, musí mít rozměry takové, aby se při položení 10 ks briket mezi nimi zůstal volný prostor 30 mm na všech stranách. Brikety se rozloží na síto a zváží se. Poté se opatrně ponoří, aby nedošlo k posunutí briket, do čisté vody o teplotě $20\pm 5^\circ\text{C}$. Vzdálenost briket ode dna a stěn musí být minimálně 30 mm. Brikety se ponechají ponořené 60 minut. Síto s briketami se po okapání (2 až 3 minuty) zváží. Nasákavost (přírůstek hmotnosti) se vyjadřuje v procentech hmotnosti výchozí navážky briket.

$$n = \frac{m_B}{m_A} \cdot 100 \quad (3.4)$$

n ...nasákavost briket [%]

m_A ...hmotnost síta s briketami před ponořením [kg]

m_B ...hmotnost síta s briketami po odkapání [kg]

3.1.4 Stanovení odolnosti briket proti účinkům vody

Odolnost brikety proti účinkům vody spočívá v určení tlaku potřebného k rozdrčení brikety po 60 minutách jejich máčení ve vodě. Brikety se ponoří do čisté vody ($20\pm 5^\circ\text{C}$) na dobu 60 minut. Po uplynutí této doby se brikety vyjmou a do 5 minut se provede zkouška na pevnost v tlaku. Máčení briket se provádí stejně jako u stanovení nasákavosti 3.1.3. Zkouška pevnosti v tlaku se provádí podle 3.1.1 u každé brikety. Výsledek je aritmetický průměr hodnot po vypuštění nejvyšší a nejnižší hodnoty.

3.2 Fyzikální vlastnosti získaného produktu

U fyzikálních vlastností briket rozlišujeme měrnou hmotnost, obsah popela a výhřevnost spolu se spalným teplem.

Měrná hmotnost se uvádí v kilogramech na metr krychlový, a jak uvádí Sladký, Dvořák, Andret [20] u briket se dá vyjadřovat ve třech různých krychlových metrech:

- pevný krychlový metr (plnometr) - jedná se o skutečnou objemovou hmotnost brikety bez vzduchových mezer,
- rovnáný krychlový metr – brikety jsou složeny v měřitelné figuře
- sypný krychlový metr – brikety nejsou v měřitelné figuře, jsou sesypány na hromadě, tudíž jsou větší vzduchové mezery než u rovnaného metru.

Sypná měrná hmotnost slaměných briket (průměr 40-90 mm) je od $350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Hmotnost jednoho kusu brikety je 0,5-1 kg, záleží na průměru a délce brikety.

Obsah popela je u dřevních pelet normalizován do 0,50% m/m (hmotnostní procento) a u dřevních briket do 1,50% m/m, avšak hodnota obsahu popela se mění v závislosti na druhu použité biomasy a pro nedřevní biomasu se může pohybovat až do 10% m/m i více procent. Z tohoto pohledu je nutno také zvážit použití daného biopaliva do daného druhu spalovacího zařízení, aby nedošlo k jeho poškození (např. nalepení popela na keramické mřížky apod.). Pro stanovení obsahu popela se u tuhého biopaliva používá norma ČSN P CEN/TS 14775 a DIN 51 790.

Obsah popela je hmotnost anorganického zbytku, který zůstane po spálení paliva. Stanovuje se výpočtem z hmotnostního zbytku, který zůstane po spálení vzorku (1g) v kelímku (z inertního materiálu např. porcelánu, křemene nebo platiny) na vzduchu při řízené teplotě ($550\pm 10^\circ\text{C}$), za přesně stanovených podmínek pro dobu zkoušky, hmotnosti vzorku a specifikaci zařízení.

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (3.5)$$

A_d ...obsah popela v bezvodém stavu [%]

m_1 ...hmotnost prázdného kelímku [g]

m_2 ...hmotnost kelímku se zkušební vzorkem [g]

m_3 ...hmotnost kelímku s popelem [g]

M_{ad} ...obsah vody ve zkušební vzorku [%]

Stanovení spalného tepla se pro tuhá biopaliva provádí dle normy ČSN P CEN/TS 14918 a DIN 51 900-3. Principem je stanovení reakčního tepla, které se uvolní při spalování tuhého biopaliva. Z Hessova zákona, který určuje vztah mezi reakčním teplem a slučovacími tepley, ze znalosti složení paliva a jeho spalných zplodin pak můžeme vypočítat spalné teplo paliva a výhřevnost.

Stanovení se provádí v kalorimetru, kde se vzorek paliva elektricky zapálí a spaluje stlačeným kyslíkem. Z nárůstu teploty soustavy se vypočítá spalné teplo a ze spalného tepla potom výhřevnost, přičemž je nutno znát obsah vody a vodíku v měřeném vzorku. Výhřevnost se ze spalného tepla vypočítá odečtením výparného tepla vody. Vodík se stanovuje elementární analýzou [7]. Výpočty spalného tepla a výhřevnosti jsou uvedeny v normě ČSN P CEN/TS 14918 a DIN 51 900-3.

Tabulka 3.3 Chemické složení, fyzikální a energetické vlastnosti briket (ze zkoušky topných briket z různých druhů biomasy)[16]

Ukazatel	Jednotka	Sláma	Seno	Réví	Topol
Vlhkost	% hm.	4,65	4,63	8,33	7,99
Prchavá hořlavina	% hm.	72,86	72,88	69,19	75,92
Neprchavá hořlavina	% hm.	17,48	17,41	19,24	14,62
Popel	% hm.	5,01	5,08	3,24	1,47
C	% hm.	42,85	42,86	43,88	45,06
H	% hm.	6,20	6,34	6,22	6,54
N	% hm.	0,57	0,44	0,61	<0,1
S	% hm.	0,08	0,08	0,04	0,023
O	% hm.	40,64	40,57	37,68	38,92
Cl	% hm.	0,25	0,20	0,18	0,014
Spalné teplo	MJ.kg ⁻¹	17,04	17,25	17,85	18,27
Výhřevnost	MJ.kg ⁻¹	15,58	15,76	16,30	16,66
Bod měknutí popela	°C	1000	930	1130	>1300
Bod tání popela	°C	1050	970	>1300	>1300
Bod tečení popela	°C	1080	1070	>1300	>1300

(zdroj: [16])

4. Navrhňte technologické linky pro sezónní i celoroční produkci briket

4.1 Technologická linka pro sezónní produkci briket

Sezónní výroba briket je charakteristická tím, že se brikety vyrábí v období sklizně obilí. Sklizená sláma se hned na poli drtí a briketuje, čímž nám odpadá případná úprava slámy například do hranolových balíků a následné skladování slámy před samotnou výrobou briket. Výroba lze provést buď samojízdným briketovacím lisem (např. Biotruck 2000), pojížděným briketovacím lisem přípojným za traktor, nebo mobilní briketovací jednotkou.

Samojízdný briketovací lis vyrobené brikety ukládá do zásobníku. Když je zásobník plný, překládá je na přepravní vozidlo. Nevýhodou je, že výroba briket je možná pouze během sklizně obilí a po zbytek roku je briketovací lis nevyužitý.



Obrázek 4.1 Biotruck 2000 firmy HAIMER

(zdroj: [21])

Pojízdný briketovací lis za traktor je poháněn vývodovým hřídelem z traktoru. Výkon traktoru na vývodovém hřídeli musí být minimálně 22 kW. Výkonnost briketovacího lisu je až $600 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$. Násypka na rozřezanou slámu se plní přímo na poli například nožovou řezačkou. Lis vyrábí brikety o průměru 50 mm. Tento briketovací lis lze používat jak pro sezónní tak i k celoroční výrobě briket.



Obrázek 4.2 Pojízdný briketovací lis za traktor

(zdroj: [22])

Mobilní briketovací jednotka je snadno přemístitelná. Lze ji použít také pro sezónní i celoroční výrobu briket. V kontejneru je silo na drcenou slámu (pokud je o silo rozšířeno), plnicí dopravník, briketovací lis a chladicí dráhy. Její hlavní nevýhoda je, že k vykonávání své práce je potřeba napájecí napětí 400 V. Proto pokud bude vyrábět brikety na místě, které je daleko vzdálené od zdroje napětí, musí se použít elektrocentrála s potřebným výkonem (zaleží na příkonu briketovacího lisu).



Obr 4.3 Mobilní briketovací jednotka

(zdroj:[23])

Brikety jsou dopraveny na místo spalování nebo na místo následného uskladnění. Tato technologie je výhodná při dopravě na delší vzdálenosti, protože brikety mají velkou měrnou hmotnost ($450-750 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) oproti volně ložené slámě či hranolovým, nebo kulatým balíkům. Velkou nevýhodou je, že sezónní výroba briket je závislá především na vlhkosti sklizené slámy. Při nepříznivém počasí se proto může výroba briket oddálit a tím nám vznikají ekonomické ztráty.

4.2 Technologická linka pro celoroční produkci briket

Pokud chceme vyrábět brikety z vlastní slámy po celý rok je zapotřebí dostatek skladových prostorů. Vhodné je skladování velkých hranolových balíků, mají větší objemovou hmotnost než volně ložená sláma. Balíky slámy se skladují v suchých skladových halách.

Linka obsahuje dopravní linku na balíky slámy, drtič slámy (popřípadě i kladívkový mlýn), silo, dávkovací systém a v neposlední řadě briketovací lis. Vyrobené brikety jsou buď volně ložené, nebo se balí do PE folie (chráněny proti vzdušné vlhkosti).

Ze skladu balíky dopravujeme na přepravní linku pomocí vysokozdvížného vozíku, traktoru nebo manipulátoru opatřenými příslušenstvím pro manipulaci s balíky slámy. Balíky se dostanou po dopravní lince k drtiči balíků. Drtič drtí stébla slámy na středně velké frakce (40-80 mm). Odtud jde takto upravená sláma do kladívkového mlýna, kde je sláma rozdrčena na potřebně jemné frakce (2-20 mm). Rozdrčená sláma se ukládá do sila. Silo je opatřené senzory zjišťující stav naplnění. Pokud je silo plné, rozdržovač balíků a následné drcení slámy je zastaveno, na dobu než se stav naplnění sníží, poté se může silo opět plnit drčenou slámou. Samotné briketování může probíhat, pokud je v silu nějaká drčená sláma. Jakmile senzory zaznamenají, že je silo prázdné, briketování se zastaví. Vyrobené brikety se balí do PE folie, následně ukládají na paletu a dopravují ke spotřebiteli nebo do vhodného suchého skladu.

5. Posud'te a porovnejte různé způsoby uskladnění a případnou potřebu ošetření během skladovaného procesu

Brikety je vhodné skladovat v suchých a uzavřených prostorách. Při suchém skladování mají prakticky neomezenou dobu skladovatelnosti. Jelikož se brikety balí do PE folií, jsou málo citlivé na vzdušnou vlhkost. Při skladování ve vlhkém prostředí nebo při přímém kontaktu s vodou dochází k nabobtnání briket a jejich postupnému rozpadu [24]. Jak uvedli výrobci a prodejci briket, ošetření během dlouhodobého skladování se neprovádí. Jen je třeba brikety chránit před vlhkostí a co nejméně s nimi ve skladu manipulovat. Při časté manipulaci může dojít k poškození PE folie a i briket.

Pokud by se brikety skladovaly vlhké, hrozí samozahřívání a mohlo by dojít až k samovznícení.

Samovznícení je komplexní samovolně probíhající proces od prvního okamžiku nárůstu teploty (teplota samozahřívání) až k dosažení teploty samovznícení v důsledku chemických, fyzikálních nebo biologických procesů. Výsledkem procesu samovznícení je vznícení a následné hoření látky plamenným nebo bezplamenným způsobem[25].

Pojem samovznícení bývá zaměňováno často s pojmem samozapálení. Jedná se seci o stejný proces, ale samozápalné látky mají teplotu vznícení menší než je běžná teplota okolí a pojem samovznícení se používá pro látky s teplotou vznícení vyšší než je běžná teplota okolí.

Brikety se nejčastěji balí do folie po 5ks. Na přepravní paletu se ukládá 100ks těchto balíčků, takže hmotnost palety je okolo 1000kg. Při skladování většího počtu palet je zapotřebí mezi nimi nechat vzduchovou mezeru cca 10 cm. Dále brikety někteří prodejci nabízejí ve velkoobjemových vacích.



Obrázek 5.1 Balík briket 5 ks

(zdroj: [26])



Obrázek 5.2 Paleta briket

(zdroj: [27])



Obrázek 5.3 Velkoobjemový vak Big-Bag

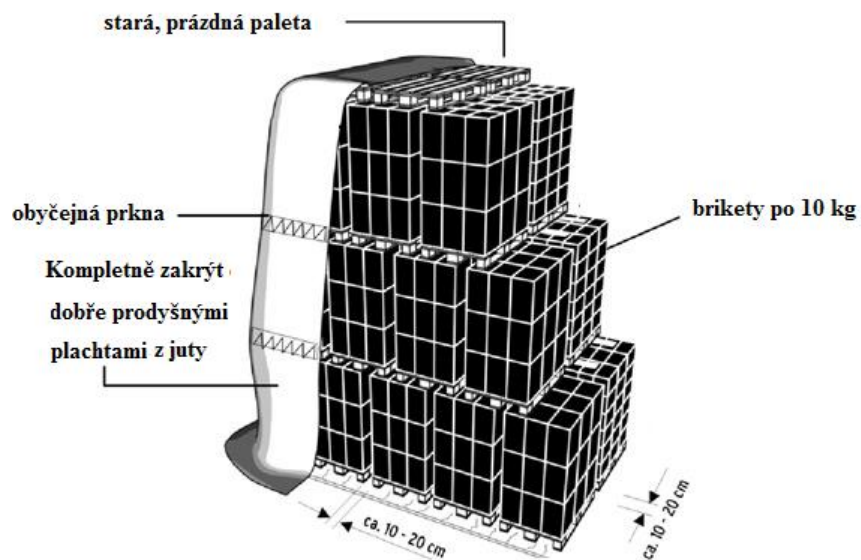
(zdroj: [27])

Brikety by se měly skladovat ve větraném (nejlépe přirozená cirkulace vzduchu), chladném a suchém skladu. Ve skladovacích prostorech je přísný zákaz kouření a manipulace s otevřeným ohněm. Je také třeba dbát, aby skladované brikety nebyli blízko zdrojů tepla a snadno vznětlivých látek. Při zakládání skladu na paliva ať už tuhá nebo kapalná je vhodné se informovat na příslušné požární stanici jak se technicky připravit na likvidaci případného požáru. Například přívod a odvod vody na hašení, rozmístění a druhu ručních hasících přístrojů, únikové cesty apod.

Brikety skladované pod přístřeškem, je třeba chránit před přímým slunečním zářením (např. na bok přístřešku umístíme plachtu). V zimním období hrozí navátí sněhu na brikety. Při oteplení sněh roztaje a brikety by byly znehodnoceny vlivem

působení vody (nabobtnání a rozpadnutí briket). Proto je skladování vhodnější v uzavřených halách.

Pokud nejsou vhodné prostory pro skladování je možné brikety skladovat venku přikryté neprůhlednou plachtou (viz Obrázek 5.4). Je třeba brikety chránit před povětrnostními vlivy. Mezi briketami a plachtou musí být vytvořena vzduchová mezera (např. pomocí palety, prkna apod.).



Obrázek 5.4 Skladování briket na paletě pod plachtou

6. Sestavte modelovou linku na výrobu a skladování briket

6.1 Sklizeň a skladování výchozí suroviny

Sklizeň provádíme přímou sklizní (tzv. jednofázovou) sklízecí mlátičkou JD-S690 John Deere s maximálním výkonem 388 kW. Obilí je sklíženo při jeho plné zralosti a vlhkost sklizené slámy je cca 14%. Proud drcené slámy je usměrňován elektricky stavitelnými lopatkami a je ponechávána na poli v řádku.

Traktor kolový JD-6230LX John Deere drcenou slámu lisuje do kulatých balíků svinovacím lisem s pevnou komorou ROLLPROFI 3200 LSC Pöttinger. Teoretická délka drcené a slisované slámy v balíku se pohybuje okolo 70 mm.

Tabulka 6.1 Technické údaje lisu ROLLPROFI 3200 LSC

ROLLPROFI s pevnou komorou	šířka balíku [mm]	průměr balíku [mm]	šířka sběrače [mm]	ovíjení
3200 LSC	1200	1250	2000	do sítě

(zdroj: [31])

Traktor JD-5090 ML John Deere vybavený kleštěmi na kulaté balíky TB 160 sváží balíky z pole ke kraji pole, kde je snadný přístup z pozemní komunikace, pro traktor kolový JD-6230LX John Deere s přepravníkem balíků PS-15V. Když je přepravník plně naložený (kapacita viz. Tabulka 6.2), jsou balíky odvezeny z pole do suchého skladu.

Tabulka 6.2 Kapacita přepravníku PS-15V

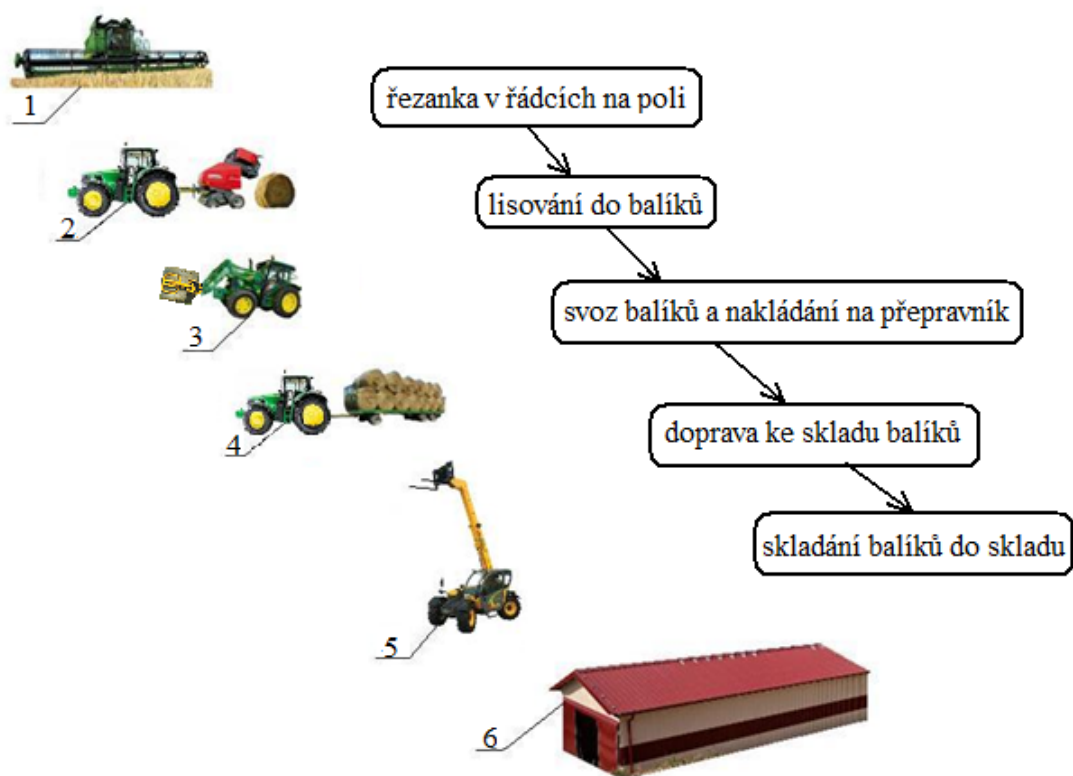
Průměr balíku [mm]	Kapacita přepravníku [ks]
1200	34 – 48
1500	26

(zdroj: [30])

Do skladu jsou balíky ukládány manipulátorem AGRI FARME 26.6 TC opatřeným vidlemi na slaměné balíky. Balíky jsou ukládány na válcovou plochu (sít'ovaná), z důvodu větší stability. Čelní plocha balíků není totiž tak pevná a při složení více balíků na sebe hrozí jejich zřícení. Balíky se skládají vedle sebe do pater (viz. Obrázek 6.1). V každém patře je balík uložen tak, aby ležel rovnoměrně válcovou plochou na dvou balících v patře pod ním.



Obrázek 6.1 Skládání kulatých balíků



Obrázek 6.2 Schéma sklizně a skladování výchozí suroviny

1 – mlátička sklízecí JD-S690 John Deere

2 – traktor kolový JD-6230LX John Deere se svinovacím lisem s pevnou komorou ROLLPROFI 3200 LSC Pöttinger

3 – traktor JD-5090 ML John Deere vybavený kleštěmi na kulaté balíky TB 160

4 – traktor kolový JD-6230LX John Deere s přepravníkem balíků PS-15V

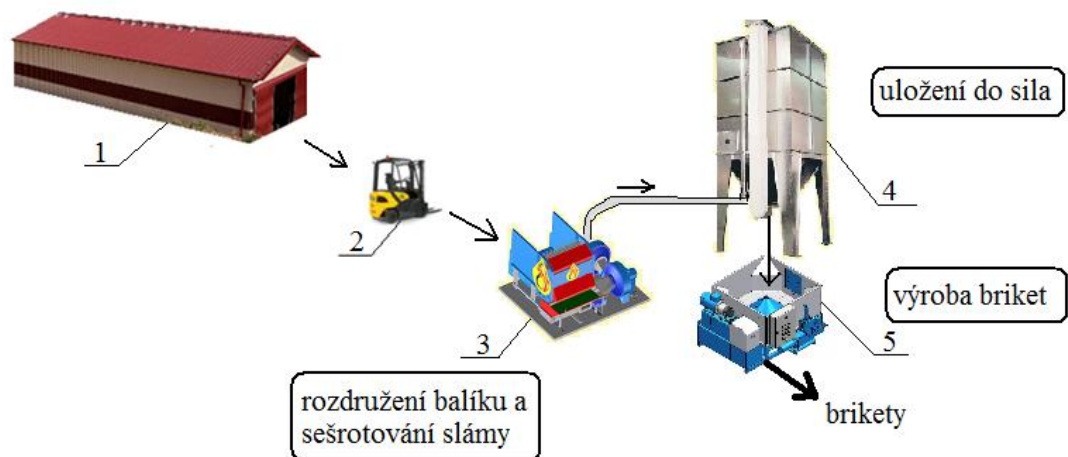
5 – manipulátor AGRI FARMER 26.6 TC

6 – sklad

6.2 Výroba briket

Vysokozdvížený vozík OM XD 20 slaměný balík převáží ze skladu ke stacionární rozdružovací a šrotovací jednotce pro jemnou frakci (<8 mm) od výrobce Himel. Balík je rozdružen, sláma sešrotována a pneumatickým dopravníkem dopravována potrubím do modulového sila Himel (o rozměrech: 3655 mm X 1550 mm X 1550 mm) s odlučovačem.

Modulové silo Himel je umístěno nad násypkou briketovacího lisu BRIKLIS Brikstar 200-16 s výkonností 180-220 kg.hod⁻¹. Sešrotovaná sláma ze sila padá vlivem gravitační síly do násypky briketovacího lisu. Briketovací lis vyrábí slaměné brikety o průměru 55 mm.



Obrázek 6.3 Schéma výroby briket

1 – sklad

2 – vysokozdvížený vozík OM XD 20

3 – stacionární rozdružovací a šrotovací jednotka od výrobce Himel

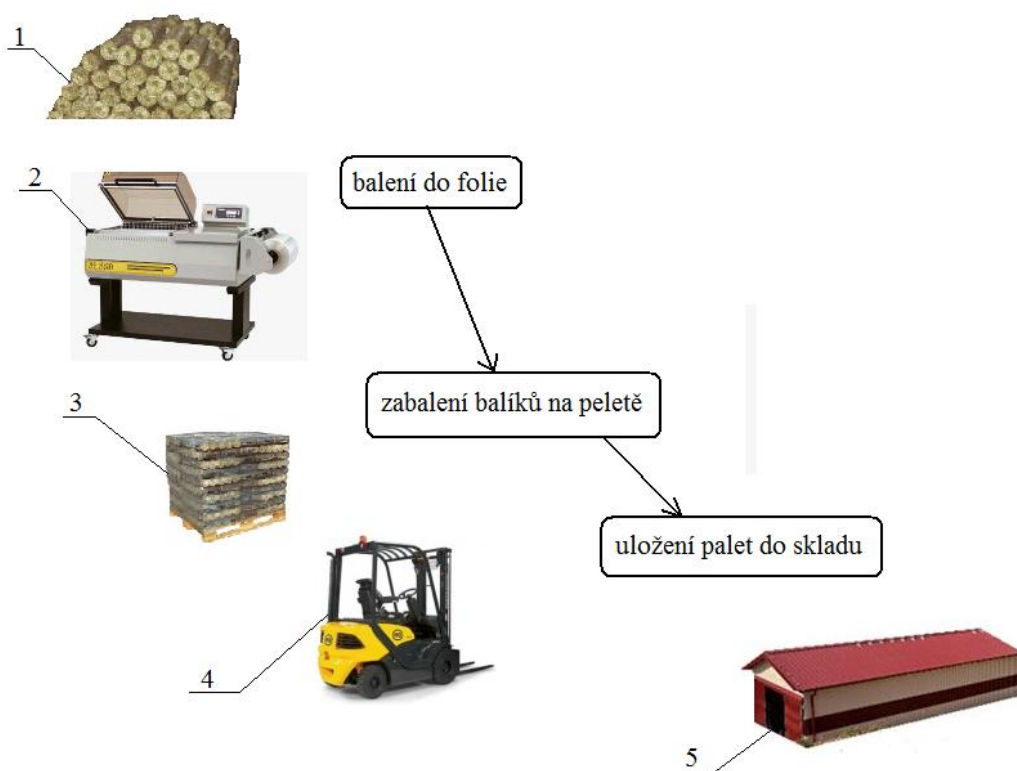
4 – modulové silo od výrobce Himel

5 – BRIKLIS Brikstar 200-16

6.3 Skladování

Vyrobené brikety se balí pomocí balicího stroje na brikety SE 550 (SmiPack SE 550) do PE folie po 5 kusech. Obsluha vkládá 5 kusů briket do polorukávu z PE folie a umístí do balicího prostoru stroje. Uzavře víko komory a připraví si další brikety do folie. Po otevření víka začíná nový balicí proces. Balíčky briket se ukládají na paletu po 100 kusech (hmotnost palety je cca 1000 kg) a poté se celá paleta s balíčky briket omotá smršťovací folií, aby při následné manipulaci a skladování nedošlo ke zhroucení balíčků briket z palety.

Vysokozdvíhový vozík OM XD 20 zabalenou paletu odveze a uloží do skladu.



Obrázek 6.4 Schéma skladování briket

1 – vyrobené slaměné brikety

2 – balicího stroje na brikety SE 550 (SmiPack SE 550)

3 – zabalená paleta briket

4 – vysokozdvíhový vozík OM XD 20

5 – sklad

Závěr

V bakalářské práci jsem navrhl technologické linky pro sezónní a celoroční produkci briket. Při sezónní produkci briket se sklizená sláma hned na poli drtí a briketuje, tím nám odpadá případná úprava slámy například do hranolových, nebo kulatých balíků a následné skladování před samotnou výrobou briket. Nevýhody této technologie jsou, že lze výrobu briket provést jen během sklizně obilí a musejí být příznivé klimatické podmínky, aby vlhkost sklizené slámy byla cca 14%.

U technologické linky pro celoroční produkci briket je zapotřebí dostatek skladových prostorů pro výchozí surovinu na výrobu briket. Vhodné je skladování velkých hranolových, nebo kulatých balíků, jelikož mají větší objemovou hmotnost než například volně ložená sláma.

Brikety je vhodné skladovat v suchých a uzavřených skladech. Při tomto způsobu uskladnění mají brikety prakticky neomezenou dobu skladovatelnosti. Brikety balené do PE folie (nejčastěji po 5 ks) jsou chráněny před vzdušnou vlhkostí. Pro snadnější manipulaci se balíčky briket ukládají na paletu (po 100 ks). Ošetřování během skladování se neprovádí, jak uvádějí výrobci a prodejci briket, ale je třeba brikety chránit před vlhkostí a také co nejméně s nimi manipulovat. Při časté manipulaci může dojít k mechanickému poškození briket.

Na závěr bakalářské práce jsem navrhl modelovou linku na výrobu a skladování briket. Modelová linka je rozdělena na sklizeň a skladování výchozí suroviny (kulaté slaměné balíky), výrobu slaměných briket a následné skladování balených briket. Při dostatku výchozí suroviny je možné brikety vyrábět během celého roku, což je velkou výhodou oproti výrobě briket přímo na poli.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] SOUČKOVÁ H.; MOUDRÝ J. a kol.: Nepotravinářské využití fytomasy. JČU ZF České Budějovice, 2006. 95 s. ISBN 80-70-40-857-X
- [2] SLADKÝ, V.: Využití fytomasy k vytápění zemědělských objektů (sláma a stébelniny), Zemědělská technika, č. 1, ÚVTIZ, Praha, 1992, 51 s. ISBN 0862-3562.
- [3] ANDERT, D.; SLADKÝ, V.; ABRAHAM, Z.: Energetické využití pevné biomasy. VÚZT Praha, 2006. 59 s. ISBN 80-86884-19-8.
- [4] JEVIČ, P.: Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioodpadů. VÚZT Praha, 2008. 75 s. ISBN 978-80-86884-42-4.
- [5] HUTLA, Petr: Tuhá biopaliva z místních zdrojů. *Biom.cz* [online]. 2010-11-01 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/tuha-biopaliva-z-mistnich-zdroju>>. ISSN: 1801-2655.
- [6] MOTLÍK, J.; VÁŇA, J.: Biomasa pro energii (1) Zdroje. *Biom.cz* [online]. 2002-02-01 [cit.2012-02-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-1-zdroje>>. ISSN: 1801-2655.
- [7] KOTLÁNOVÁ, Alice: Metody zkoušení fyzikálně-chemických vlastností tuhých biopaliv. *Biom.cz* [online]. 2010-06-30 [cit. 2012-02-08]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-zkouseni-fyzikalne-chemickych-vlastnosti-tuhych-biopaliv>>. ISSN: 1801-2655.
- [8] SOUČEK, J.: Drtiče, štěpkovače a řezačky pro úpravu rostlinné biomasy. VÚZT Praha, 2008. 46 s. ISBN 978-80-86884-31-8.
- [9] SLEJŠKA, Antonín, MUŽÍK, Oldřich, TLUKA, Petr: Expertní systém pro organické hnojení na zemědělské půdě : Jaké má organický materiál, který chci využít ke hnojení, vlastnosti?. *Biom.cz*[online]. 2006-09-14 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z WWW: <<http://expert.biom.cz/oh-zem.stm>>. ISSN: 1801-2655.

- [10] KÁRA, J.; HUTLA, P.; PASTOREK, Z.: Využití organických odpadů ze zemědělské výroby a venkovských sídel. Sběr, třídění a využití organických odpadů. Zařízení pro technické zpracování organických odpadů. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. 2008. 102 s. ISBN 978-80-86884-40-0.
- [11] SOUČEK, Jiří. Sláma: sklizeň, zpracování: Agroweb.cz. [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: http://www.agroweb.cz/Slama:-sklizeni-zpracovani__s1595x56500.html
- [12] JUCHELKOVÁ, Dagmar: Možnosti využití biomasy - Kombinované spalování biomasy a uhlí?: Starybiom.cz. [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://stary.biom.cz/sborniky/sb98petr/juchelkova.html>
- [13] BALÁŠ, Marek, ŠEN, Hugo: Negativní vlivy energetického využití biomasy - emise. [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_v/papers/05-Balas.pdf
- [14] SLADKÝ, Václav: Technika potřebná pro využívání biomasy pro energii: Starybiom.cz. [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://stary.biom.cz/sborniky/sb98petr/sladky.html>.
- [15] SOUČEK, Jiří: Logistika při energetickém využití rostlinné biomasy - 2. *Biom.cz* [online]. 2011-06-08 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/logistika-pri-energetickem-vyuziti-rostlinne-biomasy-2>. ISSN: 1801-2655.
- [16] MUŽÍK, O., HUTLA, P., SLAVÍK, J.: Porovnání topných briket z různých druhů biomasy. [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: http://www.agro-profi.cz/brochures/Muzik_brikety.pdf.
- [17] KOLÁŘOVÁ, Marcela: Tuhé alternativní palivo s biomasou. *Biom.cz* [online]. 2009-08-03 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/tuhe-alternativni-palivo-s-biomasou>. ISSN: 1801-2655.
- [18] <http://www.palivove.brikety.info/briketovaci-lisy.html>

- [19] MAZANCOVÁ, Jana: Vlastnosti paliv z RRD v závislosti na jejich zpracování. *Biom.cz* [online]. 2009-12-09 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vlastnosti-paliv-z-rrd-v-zavislosti-na-jejich-zpracovani>>. ISSN: 1801-2655.
- [20] SLADKÝ, V., DVOŘÁK, J., ANDERT, D.: Obnovitelné zdroje energie - fytopaliva. Renewable energy sources - phyto fuels. Příručka pro zemědělskou praxi, 2002, č. 2. [online]. VÚZT, leden 2003, <http://www.vuzt.cz/>
- [21] <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/gebreselassie-mulaw-2000-12-13/HTML/N1751F.html>
- [22] <http://biouhli.sweb.cz/cenik.htm>
- [23] <http://www.epimex.cz/nove-stroje/C.F.-Nielsen-Mobilni-briketovaci-jednotka>
- [24] <http://www.pila-lehar.cz/letak.pdf>
- [25] BALOG, Karol. *Samovznietenie: Samozahrievanie. Vznetenie. Vzplanutie*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999. 133 s. ISBN 80-86111-45-8.
- [26] <http://www.expal.cz/pages/brikety.htm>
- [27] <http://ceska-peleta.cz/wp-content/uploads/171.jpg>
- [28] <http://www.holzbriketts.wz.cz/fotogalerie.htm>
- [29] <http://www.freecompany.cz/cs/skladovani-briket-u-velkoprodejcu.html>
- [30] <http://www.agrozetshop.cz/prepravnik-baliku-ps-15-v/d-85576/>
- [31] http://www.poettinger.at/landtechnik/download/rollprofi_sk.pdf
- [32] <http://www.agrozet.cz/>

[33] ČSN 44 1309

Tuhá paliva. Odběr, úprava vzorků a mechanické zkoušky briket

[34] ČSN EN 14775

Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu popela

[35] ČSN EN 14918

Tuhá biopaliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti