ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
TECHNICKÁ FAKULTA
KATEDRA VYUŽITÍ STROJŮ

ROZPRACOVÁNÍ LOGISTICKÝCH PROCESŮ PŘI VÝROBĚ A DISTRIBUCI BIOPALIV

DISERTAČNÍ PRÁCE

Vypracoval: Ing. David Blažej
Školitel: prof. Ing. Miroslav Kavka, DrSc.
Školitel specialista: Ing. Jiří Souček, Ph.D.

Praha 2014

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitele a uvedl jsem veškerou použitou literaturu. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.

David Blažej

Děkuji prof. Ing. Miroslavu Kavkovi, DrSc. a Ing. Jiřímu Součkovi, Ph.D. za odborné vedení mé disertační práce. Děkuji také Dipl.-Ing. Nilsi Englerovi a Dipl.-Ing. (FH) Kersten Eckermannové za koordinaci a vedení projektu v rámci mé zahraniční stáže.

Souhrn

Disertační práce se věnuje problematice logistiky biopaliv v průběhu jejich výroby a distribuce. Se vzrůstajícím důrazem na ekonomickou efektivitu produkce biopaliv se toto téma stává stále více relevantním. Práce obsahuje dvě hlavní témata. Prvním z nich je produkce bioplynu z cukrové řepy silážované v otevřené laguně. Měřena byla zejména dynamika produkce bioplynu z tohoto substrátu, jeho směsí s kukuřičnou silážÍ a jeho výtěžnost. Zjištěny byly také parametry dopravy, zpracování a vlastního silážování cukrové řepy v otevřené laguně. Práce obsahuje také studii distribuce bioplynu plynovodem. Druhá část práce se zaměřuje na parametry důležité z hlediska dopravy a skladování tvarovaných biopaliv. U pokusných briket ze stébelnatých materiálů a jejich směsí s hoblinami byly zjišťovány parametry měrné a sypné hmotnosti, poměru slisování a mechanické odolnosti. Součástí studie každého projektu je také technicko ekonomické hodnocení.

Klíčová slova: biopaliva, biomasa, bioplyn, brikety, logistika, silážování, cukrová řepa, len setý olejný, chrastice rákosovitá

Elaboration of Logistic Processes during Production and Distribution of Biofuels

Summary

The dissertation is analyzing current logistic operations of biofuels production and distribution. With more emphasis on improving effectiveness of biofuels production, this topic becomes increasingly relevant. Dissertation consists of two main parts. First focuses on problematic of biogas production from sugar beets, where this material was ensilaged in an open lagoon. Main focus was on dynamics of production and biogas yield from this material and its mixtures with maize silage. Parameters of material transportation, processing ensilaging measured. Part of the dissertation is also a study of biogas distribution through gas pipeline. Second part focuses on briquettes from straw materials (linseed, reed canary grass) and their mixtures with wooden shavings. Measured were important parameters for storage and manipulation with these kinds of biofuels such as density, compression ratio and mechanical durability. Technical-economic evaluation is also included for every monitored project.

Keywords: biofuels, biomass, biogas, briquettes, logistics, ensilaging, sugar beets, linseed, reed canary grass

Obsah

1 Úvod 1

2 Cíle práce 2

2.1 Bioplyn 2

2.2 Brikety z biomasy 2

2.3 Technicko-ekonomické hodnocení 3

3 Současný stav řešené problematiky 4

3.1 Obnovitelné zdroje energie v EU a ČR 4

3.2 Definice pojmu biomasa 9

3.3 Dělení biomasy 10

3.4 Metody využívání biomasy k energetickým účelům 11

3.5 Klasifikace biopaliv 12

3.5.1 Dřevní biomasa 13

3.5.2 Bylinná biomasa 13

3.5.3 Ovocná biomasa 14

3.5.4 Směsi a příměsi 14

3.6 Zaručení jakosti biopaliv 15

3.7 Doprava a manipulace s energetickou biomasou 18

3.8 Tvarovaná biopaliva 21

3.8.1 Briketování biomasy 22

3.8.2 Přehled základních typů tvarovaných biopaliv na trhu v ČR 24

3.8.3 Specifika využití lnu setého olejného a chrastice rákosovité pro výrobu briket 26

3.9 Bioplyn 27

3.9.1 Požadavky na materiál 29

3.9.2 Technologie výroby 30

3.9.3 Rozdělení bioplynových stanic dle platné legislativy 32
3.9.4 Specifika cukrové řepy jako suroviny pro výrobu bioplynu 32
3.10 Logistika 34
3.10.1 Definice a základní pojmy 34
3.10.2 Klasifikace materiálu 36
3.10.3 Manipulace s materiálem 37
3.10.4 Specifika logistiky v oblasti biomasy 37
4 Materiál a použité metody 41
4.1 Monitorování dopravních procesů 41
4.2 Monitorování výtěžnosti bioplynu 41
4.2.1 Materiály použité jako vsázka 46
4.3 Stanovení obsahu sušiny 47
4.4 Měření pH 49
4.5 Měření složení bioplynu 49
4.6 Měření obsahu cukrů 50
4.7 Monitorování produkce a důležitých vlastností briket 50
4.8 Stanovení výhřevnosti 54
4.9 Metody technicko ekonomického hodnocení 54
5 Výsledky 56
5.1 Charakteristika výchozích podmínek 56
5.1.1 Dopravní a zpracující linka cukrové řepy 56
5.1.2 Zpracování cukrové řepy 59
5.1.3 Charakteristika bioplynové stanice Dummerstorf a silážní laguny 61
5.1.4 Charakteristika distribuční sítě bioplynu 63
5.2 Výsledky měření procesů spojených s provozem bioplynové stanice 65
5.2.1 Výsledky měření dopravy cukrové řepy 65

5.2.2 Výsledky měření zpracování cukrové řepy 70
5.2.3 Tvorba svrchní vrstvy cukrové řepy v laguně 71
5.2.4 Vlastnosti materiálů používaných jako vsázka 73
5.2.5 Vliv materiálových směsí na produkci bioplynu, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 73
5.2.6 Vliv materiálových směsí na produkci bioplynu, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 85
5.3 Výsledky měření kvality bioplynu distribuovaného plynovodem 97
5.4 Parametry palivových briket z hlediska logistiky 99
5.4.1 Vlastnosti briket ze základních sledovaných materiálů 99
5.4.2 Vlastnosti briket ze směsí s hoblinami a hoblin 102
5.4.3 Výsledky testů mechanické odolnosti briket ze základních materiálů 106
5.4.4 Výsledky testů mechanické odolnosti briket ze směsí s hoblinami 107
5.5 Technicko ekonomické hodnocení 108
5.5.1 Nákladová analýza hodnocení silážní laguny 108
5.5.2 Nákladová analýza plynovodu a teplovodu 109
5.5.3 Nákladová analýza výroby palivových briket 112
6 Diskuze 114
7 Závěr 120
8 Citovaná literatura 122
9 Seznamy 128
9.1 Seznam tabulek 128
9.2 Seznam obrázků 130
9.3 Seznam vzorců 133
9.4 Seznam používaných zkratek 133

1 Úvod

Biopaliva, tedy produkty zpracovávání biomasy a odpadů biologické povahy určené k energetickému využití, jsou v současné době stále více diskutovaným tématem. Průmyslový pokrok rozvojových zemí, masová výroba, prudký růst populace. To vše jsou důvody rostoucí spotřeby energie v globálním měřítku. Limitní faktory růstu spotřeby však představují tenčení zásob zejména fosilních paliv (surovin obecně) a negativní vliv jejich spalování na životní prostředí. V současné době je právě v kategorii obnovitelných zdrojů energie spatřován velký potenciál pro nalezení řešení zmíněných problémů.

Proto se tedy předpokládá, že poroste celkový podíl energie získané z biomasy na celkové spotřebě. Při zajištění zdrojů pro pokrytí s tím spojené rostoucí poptávky se vedle rychle rostoucích dřevin stále uvažuje potenciál tzv. stébelnaté biomasy. Jedná se jak o cíleně pěstovanou biomasu, tak o vedlejší produkt rostlinné výroby.

Prověřování potenciálu nových nebo dosud méně využívaných zdrojů má však také jiné důvody. Např. s rostoucím počtem bioplynových stanic také vzrostl objem produkce kukuřice na siláže a její rozšíření i na méně vhodné zemědělské plochy. To s sebou nese negativa spojená s degradací půd a proto je stále více akcentována nutnost snížit podíl kukuřice na výrobě bioplynu. V některých zemích EU již platí opatření, která mají za cíl tento trend podporovat. Mezi hojně diskutované plodiny pro výrobu bioplynu patří i cukrová řepa.

Problematika logistiky biopaliv tvoří velmi důležitou kapitolu. Suroviny pro jejich výrobu jsou často pěstovány v nezanedbatelných vzdálenostech od místa jejich dalšího zpracování a využívání. Sklizeň navíc probíhá typicky sezonně, přitom je, např. v případě bioplynu, nutné zajistit pravidelné dávkování v průběhu celého roku. Krom zajištění dopravy je třeba také vyřešit efektivní skladování, které zajistí zachování kvality surovin v míře odpovídající požadavkům výrobního procesu. Podstatné je však také dodržet požadovanou kvalitu produktu při manipulaci, skladování a distribuci do místa jejich využití. Z tohoto hlediska je třeba vzít v úvahu jak vlastnosti paliv, tak distribučních systémů.

2 Cíle práce

2.1 Bioplyn

Cílem této sekce bylo prozkoumání prvků logistického řetězce cukrové řepy pro produkci bioplynu, včetně zjištění základních parametrů dopravy a zpracování. Zkoumán byl především atypický způsob silážování cukrové řepy v otevřené laguně. Výzkum byl zaměřen zejména na vlastnosti materiálu od naplnění laguny po vytvoření tzv. ochranné krusty, která omezuje kontakt uskladněné cukrové řepy s okolním prostředím a zejména vliv tohoto typu skladování na produkci bioplynu. Sledována byla rovněž dynamika produkce bioplynu. Zde byl cíl zjistit její změnu v závislosti na zvyšujícím se podílu cukrové řepy ve vsázce. Testy byly prováděny při dvou hladinách zatížení fermentoru.

Dalším prvkem této sekce bylo měření složení bioplynu rozváděného sítí mikroplynovodů do vzdálených kogeneračních jednotek a posouzení vlivu tohoto distribučního systému na kvalitu distribuovaného plynu.

Základní testované hypotézy:

- Hypotéza 1: Skladování/silážování cukrové řepy v otevřené laguně nemá negativní vliv na produkci bioplynu.
- Hypotéza 2: Přidání cukrové řepy z laguny do vsázky má za následek urychlení vývoje bioplynu po zahájení vsázek a rychlejší pokles produkce v době jejich vysazení oproti vsázce z kukuřičné siláže.
- Hypotéza 3: Distribuce bioplynu na vzdálenost několika km sítí mikroplynovodů nemá zásadní negativní dopad na jeho kvalitu.

2.2 Brikety z biomasy

Cílem této sekce bylo posoudit vlastnosti briket ze stébelnatých materiálů (chrastice rákosovitá, sláma odrůd lnu setého olejného Amon, Bilstar, Flanders a Lola). Jednalo se o rozměry, měrnou a sypnou hmotnost, poměry slisování a sypné hmotnosti vůči měrné hmotnosti vstupního materiálu a mechanickou odolnost, tedy parametry, které jsou pro logistiku důležité z pohledu manipulačních operací, dopravy a skladování. Zkoumán byl také vliv přidání 50% podílu hoblin na tyto vlastnosti.

Základní testované hypotézy:

- Hypotéza 4: Zvolené stébelnaté materiály jsou vhodné k produkci briket s vyhovujícími parametry pro další manipulaci a distribuci.
- Hypotéza 5: Po smíšení vstupního materiálu s hoblinami v poměru 1:1 dojde k významným změnám v poměru slisování a mechanické odolnosti briket.

2.3 Technicko-ekonomické hodnocení

Součástí práce je také technicko ekonomické hodnocení. V případě silážní laguny byly vypočítány roční jednotkové náklady na tunu materiálu určeného pro silážování. V případě plynovodu bylo provedeno srovnání teplovodu o délce 1450 m s modelovým případem plynovodu na základě spočtených nákladů na GJ dodaného tepla. Technicko ekonomické hodnocení briket ze zkoumaných materiálů má za cíl stanovit jednotlivé náklady na tunu produkce pro modelovou malovýrobu takových briket.

Základní testované hypotézy:

- Hypotéza 6: Laguna je z nákladového hlediska vhodnou variantou k silážování cukrové řepy.
- Hypotéza 7: Plynovod je z nákladového hlediska vhodnou variantou pro sledovanou délku trasy 1450 m.
- Hypotéza 8: U briket s obsahem stébelnatých materiálů je procentuální pokles nákladů vyšší, než je procentuální pokles výhřevnosti ve srovnání s briketami z hoblin.

3 Současný stav řešené problematiky

3.1 Obnovitelné zdroje energie v EU a ČR

Obnovitelné zdroje energie (OZE) můžeme definovat jako: „*energetické zdroje, které jsou člověku v přírodě volně k dispozici a jejich zásoba je z lidského pohledu nevyčerpatelná, nebo se obnovuje v časových měřítcích srovnatelných s jejich využíváním.*“ (JAKUBES et. al., 2006)

OZE je možné rozdělit do třech základních kategorií, podle toho jakým způsobem je získávána energie:

- Zdroje vycházející z **rotační a gravitační energie** Země a působících vesmírných těles
- Zdroje vycházející z energie **zemského jádra**
- Zdroje vycházející z **energie slunečního záření**

Poslední zmiňovaná kategorie, tedy energie slunečního záření, mají v současné době nejširší možnosti využití. Kromě přímého využití ve formě solárních elektráren a tepelných kolektorů, tato kategorie zahrnuje i energii vodní, větrnou a biomasy. Je tomu tak protože sluneční energie ve formě záření zahřívá povrch země a tím ovlivňuje vodní cyklus i počasí. (JAKUBES et. al., 2006) (THOMAS, 2008)

Trend, který nastolila Evropská unie v roce 2001 směrnicí 2001/77/EC, směřuje k vyššímu podílu obnovitelných zdrojů energie v energetickém mixu za účelem zvyšování energetické soběstačnosti. České republice z této směrnice vyplynul pro rok 2010 závazek dosažení 8% podílu OZE.

Tento závazek Česká republika nesplnila, avšak s dosažením podílu cca 7,4 % se mu výrazně přiblížila. Opožděný rozvoj využívání OZE je způsobem především poměrně pozdním přijetím zákona o OZE – v roce 2006. Vliv mělo i negativní veřejné mínění o této části energetického mixu.

Směrnice 2009/28/EC udává trend, který směřuje k 20% podílu OZE v energetickém mixu v roce 2020 (Tabulka 1). Poslední odhady naznačují, že bude tato hranice dokonce překonána. Pokud chce Česká republika dostát závazkům plynoucím z této směrnice, tedy 13% podílu OZE, musí věnovat značnou pozornost segmentu energetické biomasy a bioplynu. Ty dohromady zaujímají přibližně třetinový podíl v tuzemském energetickém mixu. Současná verze Národního akčního plánu České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů totiž podle organizace European Renewable Energy Council neobsahuje efektivní nástroje, které by umožnily tato prohlášení dodržet. (EREC, 2011) (BECHNÍK , 2010) (European Commission: Energy, 2011)

Tabulka 1 – Cíl a odhady podílů OZE členských států EU27 v roce 2020

Stát	Cíl dle 2009/28/EC	Kvalifikovaný odhad na základě Národních akčních plánů	Kvalifikovaný odhad zástupců průmyslu OZE
Rakousko	34%	34.2%	46.4%
Belgie	13%	13%	14.5%
Bulharsko	16%	18.8%	20.8%
Kypr	13%	13%	14.5%
ČR	**13%**	**13.5%**	**13.7%**
Dánsko	30%	30.5%	30.5%*
Německo	18%	19.6%	26.7%
Estonsko	25%	25%	25%*
Řecko	18%	20.2%	25.2%
Španělsko	20%	22.7%	28.3%
Finsko	38%	38%	42.3%
Francie	23%	23.26%	23.6%
Maďarsko	13%	14.7%	18.3%
Irsko	16%	16%	16%*
Itálie	17%	16.2%	19.1%
Litva	23%	24.2%	31.7%
Lucembursko	11%	8.9%	10.4%
Lotyšsko	40%	40%	46.4%
Malta	10%	10.2%	16.6%
Nizozemsko	14%	14.5%	16.8%
Polsko	15%	15.5%	18.4%
Portugalsko	31%	31%	35.3%
Rumunsko	24%	24%	24%*
Slovinsko	25%	25.25%	34.1%
Slovensko	14%	15.3%	26%
Švédsko	49%	50.2%	57.1%
Velká Británie	15%	15%	17%
Celkem EU	**20%**	**20.7%**	**24.4%**

*) Není odhad v této kategorii, použit odhad na základě Národního akčního plánu

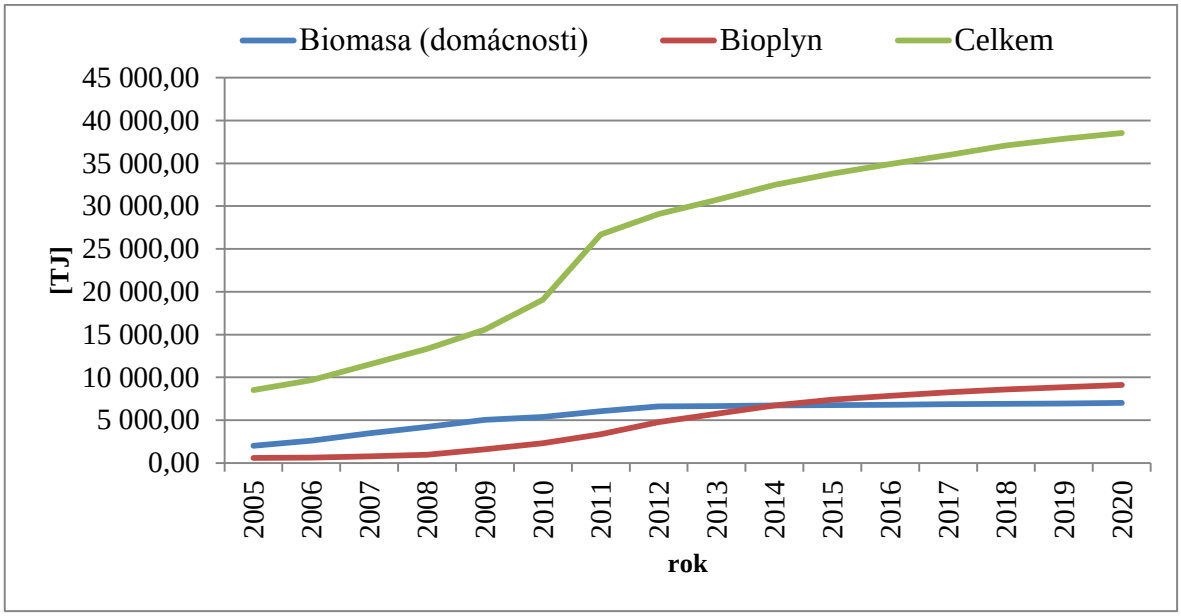
Zdroj: EREC (2011)

Tabulka 1 a Tabulka 2 slouží k detailnějšímu pohledu na Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů. Obrázek 1 a Obrázek 2 obsahují grafy vyjadřující vývoj vybraných složek OZE od roku 2005 až po předpokládaný stav v roce 2020.

Tabulka 2 - Plán výroby energie z OZE pro ČR

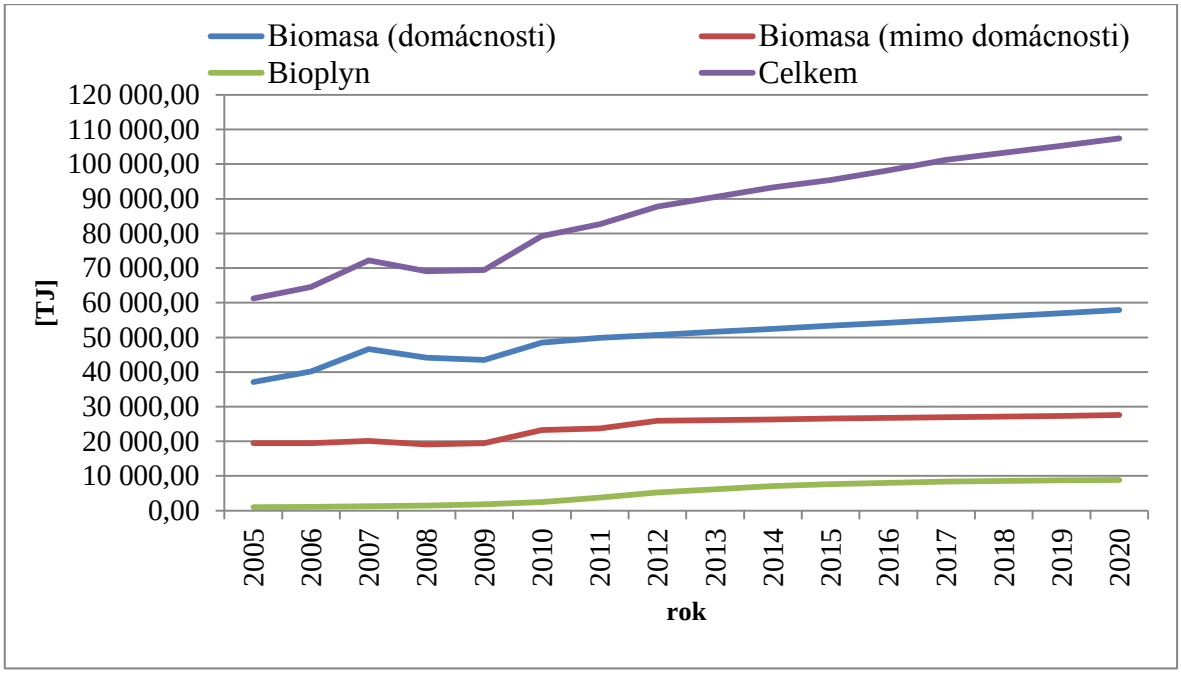
Elektrická energie z OZE				**Tepelná energie z OZE**			
	Jedn.	**2014**	**2020**		**Jedn.**	**2014**	**2020**
Biomasa (mimo domácnosti)	TJ	6 714	7 013	**Biomasa (domácnosti)**	TJ	52 465	57 885
spotřeba biomasy	tuny	1 546 943	1 609 800	spotřeba biomasy	tuny	3 970 000	4 330 000
Vodní elektrárny	TJ	8 498	9 387	**Biomasa (mimo domácnosti)**	TJ	26 343	27 549
instalovaný výkon	MW	1 080	1 097	spotřeba biomasy	tuny	2 280 762	2 408 381
Biologicky rozložitelná část TKO	TJ	379	642	**Biologicky rozložitelná část TKO**	TJ	1 494	3 241
instalovaný výkon	MW	43	81	biol. složka odpadů	tuny	169 356	388 016
Biologická složka odpadů	tuny	203 844	280 384	**Bioplyn**	TJ	7 043	8 843
Bioplyn	TJ	6 715	9 128	instalovaný výkon	MW	384	468
instalovaný výkon	MW	284	364	**Biologicky rozl. část PRO a ATP**	TJ	1 320	1 320
Geotermální energie	TJ	66	66	**Tepelná čerpadla**	TJ	3 268	6 574
instalovaný výkon	MW	4	4	instalovaný výkon	MW	712	1 431
Větrné el. (výpočet)	TJ	2 038	3 650	**Geotermální energie**	TJ	630	630
instalovaný výkon	MW	333	573	instalovaný výkon	MW	50	50
Fotovoltaické systémy	TJ	8 079	8 653	**Biokapaliny pro teplo**	TJ	0	0
instalovaný výkon	MW	1 983	2 118	**Solární termální kolektory**	TJ	698	1 351
Celkem - výpočet	**TJ**	**32 490**	**38 359**	**osazená plocha**	tis. m^2	554	1 068
				instalovaný výkon	**MW**	**388**	**747**
				Celkem	**TJ**	**93 261**	**107 394**

Zdroj: MPO (2012)



Obrázek 1 - Vývoj výroby elektrické energie z OZE - vybrané položky

Zdroj: MPO (2012)



Obrázek 2 - Vývoj výroby tepelné energie z OZE - vybrané položky

Zdroj: MPO *(2012)*

3.2 Definice pojmu biomasa

Tak, jak je v současné době pojem biomasa často zmiňován, nabývá jeho definice různých podob podle oblasti použití, pro jakou je tento pojem uváděn.

Jako základní definice je zde uvedeno znění ze Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/77/ES ze dne 27. 9. 2001: „*Biomasou se rozumí biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek), lesnictví a souvisejících průmyslových odvětví, a rovněž biologicky rozložitelná část průmyslového a komunálního odpadu.“*

Předchozí řádky pak dále upřesňuje Nařízení vlády č. 352/2002 Sb., které se k problematice vymezení pojmu biomasa staví následovně: „*Rostlinný materiál, který lze použít jako palivo pro účely využití jeho energetického obsahu, pokud pochází ze zemědělství, lesnictví, nebo z potravinářského průmyslu, z výroby surové buničiny a z výroby papíru z buničiny, ze zpracování korku, ze zpracování dřeva s výjimkou dřevního odpadu, který obsahuje halogenované organické sloučeniny nebo těžké kovy v důsledku ošetření látkami na ochranu dřeva nebo nátěrovými hmotami, a dřevní odpad pocházející ze stavebnictví*“

Obecnější vymezení biomasy nabízí DEUBLIN a STEINHAUSER (2011) : „*Biomasa je bohatá na uhlík, ale není zatím fosilním materiálem. Do biomasy spadají veškeré rostliny i zvířata v ekosystému. Mimo to jsou biomasou i živiny, výkaly a bioodpad z domácností“*.

Na základě podrobného průzkumu různých vymezení pojmu biomasa přicházejí OCHODEK et al. (2006) s vlastní souhrnnou definicí biomasy: „*Biomasa je substance biologického původu, která zahrnuje rostlinnou biomasu pěstovanou v půdě a ve vodě, živočišnou biomasu, produkci organického původu a organické odpady*.“

3.3 Dělení biomasy

Z výše uvedených definic nepřímo vyplývá obecné dělení biomasy do patřičných kategorií podle původu. Akční plán pro biomasu (CZ BIOM, 2007) uvádí základní dělení na zemědělskou, lesní a ostatní, podle výsledné formy produktů pak na plynnou, kapalnou a tuhou. Dále je zde uváděno i následovné dělení:

- **Fytomasa** - jedná se o biomasu výhradně rostlinného původu, má tedy původ bylinný nebo v zemědělských plodinách.
- **Dendromasa** – biomasa dřevního původu
- **Biomasa živočišného původu**
- **BRO** – Biologicky rozložitelné odpady. Obsahují rostlinné živiny a organické látky. Je možné je využít ke kompostování nebo výrobě bioplynu. (Ministerstvo životního prostředí, 2008)

Podrobnější klasifikace biomasy je poměrně složitá, existuje několik přístupů k jejímu provádění. KHAN, et al. (ledna 2009) uvádí ve svém článku dva odlišné přístupy ke klasifikaci biomasy. Pokud je brána v úvahu oblast výroby, z níž biomasa přímo nebo nepřímo pochází, uvádějí se 4 základní kategorie:

- **Primární residua** – jedná se o vedlejší produkty zemědělské (potraviny) a lesnické prvovýroby (dřevo, sláma apod.)
- **Sekundární residua** – v tomto případě jde o vedlejší produkty, které vznikají při zpracovávání prvotní biomasy na jídlo nebo materiál. (např. na pilách, v potravinářském průmyslu)
- **Terciární residua** – vznikají z produktů vyrobených z biomasy (dřevo z demolic apod.)
- **Energetické plodiny** – cíleně pěstovaná biomasa za účelem energetického využití.

Druhým zmiňovaným přístupem je kategorizace biomasy na základě jejích vlastností:

- Dřevo a palivo dřevního původu (tvrdé, měkké, z demolic)
- Palivo rostlinného původu (traviny, sláma)
- Odpady (čistírenské kaly, vytříděný komunální odpad).
- Deriváty (odpad z papírenského nebo potravinářského průmyslu).
- Vodní biomasa (Některé druhy řas).
- Energetické plodiny

Hodnoty odhadů roční celosvětové produkce biomasy přesahují 100 miliard tun o celkovém energetickém potenciálu 1400 EJ (z fosilních paliv se ročně vyprodukuje cca 300 EJ). Vyššímu podílu využití biomasy k energetickým účelům brání několik hlavních faktorů.

V první řadě je to v současnosti stále diskutovanější téma „energie nebo potraviny“, kde je zdůrazňována konkurence produkci potravin a krmiv. Vedle toho může existovat i jiné průmyslové využití. Další dvě překážky jsou ekonomického charakteru. Jedná se o nutnost růstu investičních výdajů na produkci biomasy, která souvisí s rozšiřováním ploch pro její pěstování a zintenzivněním produkce. Stejně tak je získávání energie z biomasy znatelně nákladnější než produkce z fosilních paliv a jaderné energie. Velmi tak záleží na dotační politice jednotlivých států. Problematický je i nesoulad rozložení potenciální produkce biomasy a poptávky po energii. V současnosti probíhají intenzivní výzkumy, které mají přinést řešení problémů se skladováním a přenosem energie.

Energie získávaná z biomasy na druhé straně představuje několik zásadních výhod. Kromě asi nejčastěji zmiňované obnovitelnosti také přispívá k energetické soběstačnosti země. Nejedná se o lokálně omezený zdroj energie a umožňuje využívat i odpady, jejichž likvidace by jinak byla problematická. Srovnáme-li biomasu z hlediska celého logistického řetězce, je její využití šetrnější k životnímu prostředí a může dokonce přispívat k obnově krajiny. (PASTOREK et. al., 2004)

3.4 Metody využívání biomasy k energetickým účelům

Možnosti energetického využití biomasy závisí na fyzikálních vlastnostech a chemickém složení. Rozlišujeme 4 základní kategorie. Suché procesy, mokré procesy, fyzikální a chemickou přeměnu a získávání odpadního tepla při zpracování biomasy.
Pro suché procesy, tedy termochemickou přeměnu, je možné využívat biomasu s obsahem sušiny nad 50%. Jedná se o:

- pyrolýzu
- zplyňování
- spalování

Při mokrých procesech, tedy biochemické přeměně biomasy, lze využívat biomasu s obsahem sušiny pod 50%. V tomto případě jde o kvašení – metanolové a alkoholové.
Oleje z biomasy lze esterifikovat (chemická přeměna). Při různých metodách zpracovávání biomasy (kompostování, fermentace apod.) se uvolňuje značné množství odpadního tepla, které lze využívat.
Pod pojmem fyzikální přeměna rozumíme různé způsoby mechanické úpravy, jako jsou:

- štípání
- drcení
- lisování briket a pelet
- mletí

(PASTOREK et. al., 2004)

3.5 Klasifikace biopaliv

Mezi roky 2003 a 2006 bylo TC 335 Evropského úřadu pro standardizaci vydáno 27 přednorem týkajících se vlastností tuhých biopaliv. V současnosti jsou na základě těchto přednorem vytvářeny Evropské normy (EN), které musejí jednotlivé státy Evropské unie přijmout jako své národní normy nebo jim svoje stávající standardy přizpůsobit.

V návaznosti na evropskou normu EN 14961-1:2010 platí od 1. 7. 2010 česká norma ČSN EN 14961-1 Tuhá biopaliva - Specifikace a třídy paliv - Část 1: Obecné požadavky. Očekává se také ratifikace české verze EN 14961-2 a EN 14961-6, které upravují vlastnosti tuhých biopaliv z dřevní hmoty, resp. jiných materiálů pro neprůmyslové využití.

Klasifikace podle ČSN EN 14961-1 stanovuje čtyři třídy tuhých biopaliv podle jejich původu a zdroje:

- Dřevní biomasa
- Bylinná biomasa
- Ovocná biomasa
- Směsi a příměsi

3.5.1 Dřevní biomasa

Lesní a plantážové dřevo

Povolené úpravy dendromasy v této kategorii jsou:

- Odkornění
- Redukce velikosti částic
- Úprava vlhkosti na požadovanou hodnotu (zvlhčení, vysušení)

Jedná se o rychle rostoucí dřeviny, dřevo z lesů, parků a plantáží.

Dřevozpracující průmysl, vedlejší produkty a zbytky

Jek již název kategorie napovídá, jedná se o zbytky a vedlejší produkty dřevozpracujícího průmyslu. Lze je dělit na:

- Chemicky neošetřené dřevní zbytky – zbytky z mechanických úprav dřeva – odkornění, redukce velikosti, lisování, řezání apod.
- Chemicky ošetřené dřevní zbytky – dřevo po konzervaci, s nátěrem. Nesmí obsahovat halogenové organické sloučeniny nebo těžké kovy.

Použité dřevo

Jedná se v podstatě o dřevní odpad. Přítomné chemikálie (konzervanty, nátěry) opět musejí splňovat podmínky jako v předešlé kategorii, tj. nulový obsah halogenových organických sloučenin a těžkých kovů.

Směsi a příměsi

Zde jsou zahrnuty materiály tvořící směsi a příměsi dřevní biomasy. Ty mohou být:

- Úmyslné
- Neúmyslné

(MALAŤÁK a VACULÍK, 2008) (JEVIČ et. al., 2008)

3.5.2 Bylinná biomasa

Zemědělské a zahradní byliny

Materiál přímo ze zemědělských polí, zahrad a parků, případně po skladování. Povolené úpravy jsou:

- Redukce velikosti částic

- Úprava vlhkosti (sušení)

Průmysl zpracovávající byliny, vedlejší produkty a zbytky

Zbytky materiálu po manipulaci a ošetření, např. po výrobě cukru, sladu.

Směsi a příměsi

Jedná se o materiály tvořící směsi a příměsi bylinné biomasy. Opět se jedná o směsi a příměsi:

- Úmyslné
- Neúmyslně

(MALAŤÁK a VACULÍK, 2008) (JEVIČ et. al., 2008)

3.5.3 Ovocná biomasa

Sadové a zahradní ovoce

Do této kategorie spadá jak ovoce ze stromů a keřů, tak plody bylin jako jsou rajčata apod.

Průmysl zpracovávající ovoce, vedlejší produkty a zbytky

Opět se jedná o zbytkový materiál biomasy, tentokráte ovocného původu, po jejím ošetření a průmyslové manipulaci s ní. To mohou být např. matoliny z výroby džusů, vína, olivového oleje a podobně.

Směsi a příměsi

Stejně jako v předešlých kategoriích se jedná o materiály tvořící směsi a příměsi ovocné biomasy. Opět dělíme na:

- Úmyslné
- Neúmyslně

(MALAŤÁK a VACULÍK, 2008) (JEVIČ et. al., 2008)

3.5.4 Směsi a příměsi

Jedná se o úmyslně nebo neúmyslně smíchané směsi a příměsi ze všech výše zmíněných kategorií biomasy. (MALAŤÁK a VACULÍK, 2008) (JEVIČ et. al., 2008) Tabulka 3 obsahuje hlavní obchodní formy tuhých biopaliv na tuzemském trhu.

Tabulka 3 - Hlavní obchodní formy tuhých biopaliv

Název paliva	Typická velkost částic	Běžná metoda přípravy
Brikety	průměr > 25 mm	Mechanickým stlačením
Pelety	průměr < 25 mm	Mechanickým stlačením
Palivový jemný prach	< 1 mm	Mletím
Piliny	1 mm až 5 mm	Řezáním ostrými nástroji
Dřevní štěpky	5 mm až 100 mm	Řezáním ostrými nástroji
Rozdrcené dřevní palivo	různé	Řezáním tupými nástroji
Polena	100 mm až 1 000 mm	Řezáním ostrými nástroji
Celé dřevo	> 500 mm	Řezáním ostrými nástroji
Malé balíky slámy	0,1 m^3	Stlačením a svázáním do čtvercového průřezu
Velké balíky slámy	3,7 m^3	Stlačením a svázáním do čtvercového průřezu
Kulaté balíky slámy	2,1 m^3	Stlačením a svázáním do válcového průřezu
Svazek	různé	Podélným orientováním a vázáním
Kůra	různé	Odkorněním zbytků stromů. Může být rozřezána nebo nerozřezána
Rezanka ze slámy	10 mm až 200 mm	Rozřezáním během sklízení
Zrno nebo semeno	různé	Bez přípravy nebo sušením
Slupky a ovocné pecky	5 mm až 15 mm	Bez přípravy
Vláknité výlisky	různé	Přípravou z vláknitého odpadu odvodněním

Zdroj: Malaťák, Vaculík (2008)

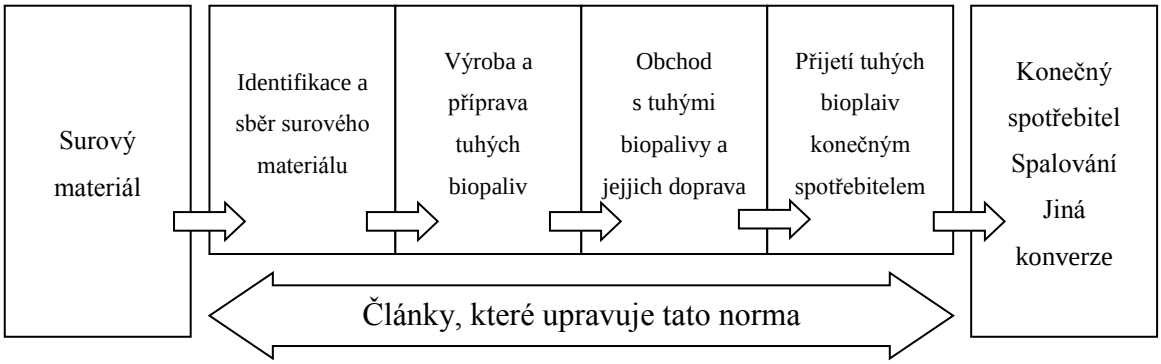
3.6 Zaručení jakosti biopaliv

V roce 2011 bylo Technickým výborem CEN/TC vypracováno také znění normy EN 15234-1:2011 – Solid biofuels – Fuel quality assurance, která nahrazuje přednormu CEN/TS 15234:2006. Nejzazším termínem pro ratifikaci této normy členskými státy EU je září 2011, do té doby také musejí pozbýt platnost veškeré národní standardy, které by byly v konfliktu s touto normou.

Základní části EN 15234 jsou:

- Část 1: Obecné požadavky
- Část 2: Dřevní pelety pro neprůmyslové využití
- Část 3: Dřevní brikety pro neprůmyslové použití
- Část 4: Dřevní štěpka pro neprůmyslové využití
- Část 5: Palivové dřevo pro neprůmyslové použití
- Ćást 6: Pelety z jiného, než dřevního materiálu pro neprůmyslové použití

Norma EN 15234-1: 2011 má za cíl zaručit kvalitu tuhých bioplaiv v průběhu celého logistického řetězce. Tedy od získávání biomasy až po doručení výsledného produktu, jenž bude splňovat stanovené požadavky na kvalitu. Jednotlivé články logistického řetězce tvarovaných biopaliv a jejich propojení znázorňuje Obrázek 3.



Obrázek 3 - Schéma logistického řetězce tuhých bioplaiv

Zdroj: EVS (2011)

Norma tedy bude sloužit jako nástroj k zajištění efektivního obchodu s biopalivy, na jejím základě je zaručeno, že:

- Konečný spotřebitel bude schopen najít na trhu takové biopalivo, které bude odpovídat jeho potřebám.
- Výrobci a prodejci mohou dodávat na trh biopaliva na základě přesně definovaných vlastností a na základě nich mohou tyto produkty označit a popsat srozumitelně pro zákazníka.
- Existuje sledovatelnost

Díky záruce kvality má dojít k posílení důvěry zákazníků v biopaliva a zároveň ke zjednodušení systémů a jejich administrativy a tedy redukci nadbytečných nákladů. Pevná biopaliva jsou definována na základě série norem EN 14961. Z tohoto pohledu nejdůležitějšími normami v návaznosti na EN 15234-1:2011 tedy jsou:

- EN 14961-1:2010, Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements
- EN 14588:2010, Solid biofuels – Terminology, definitions and descriptions

Norma dále definuje postupy kontroly kvality a popisuje opatření zaručující dodržování předepsaných vlastností.

CEN/TC 335 může na základě svých pravomocí rozhodovat pouze o biopalivech z následujících zdrojů:

- Produkty zemědělství a lesnictví
- Rostlinný odpad ze zemědělství a lesnictví
- Rostlinný odpad z potravinářského průmyslu
- Dřevní odpad (bez halogenových organických zbytků a těžkých kovů v nátěrech a konzervanetch)
- Vláknitý rostlinný odpad (matolina po lisování oleje apod.)
- Korkový odpad

Konečnou jakost vyrobených biopaliv určují dva základní faktory. Jde o složitost procesu výroby a také požadavky zákazníka na kvalitu produktu (velkokapacitní spalovací zařízení mohou využívat širší škálu biopaliv z pohledu jejich kvality). Důležité však je, aby v celém výrobním řetězci byla respektována stejná metodika zaručování jakosti.

Nutné je zajištění dokumentace jednotlivých operací s materiálem v průběhu výroby, dopravy, manipulace a skladování, včetně příslušných metod. Zvolením vhodných postupů těchto operací jsou minimalizovány negativní vlivy, jako jsou degradace (zejm. vlhnutí) a znečišťování (kameny, plasty, kovy) paliva. Pro každou dodávku má pak výrobce, případně dodavatel, povinnost vystavit prohlášení o jakosti tuhého biopaliva. (EVS, 2011) (SILVEIRA, 2005)

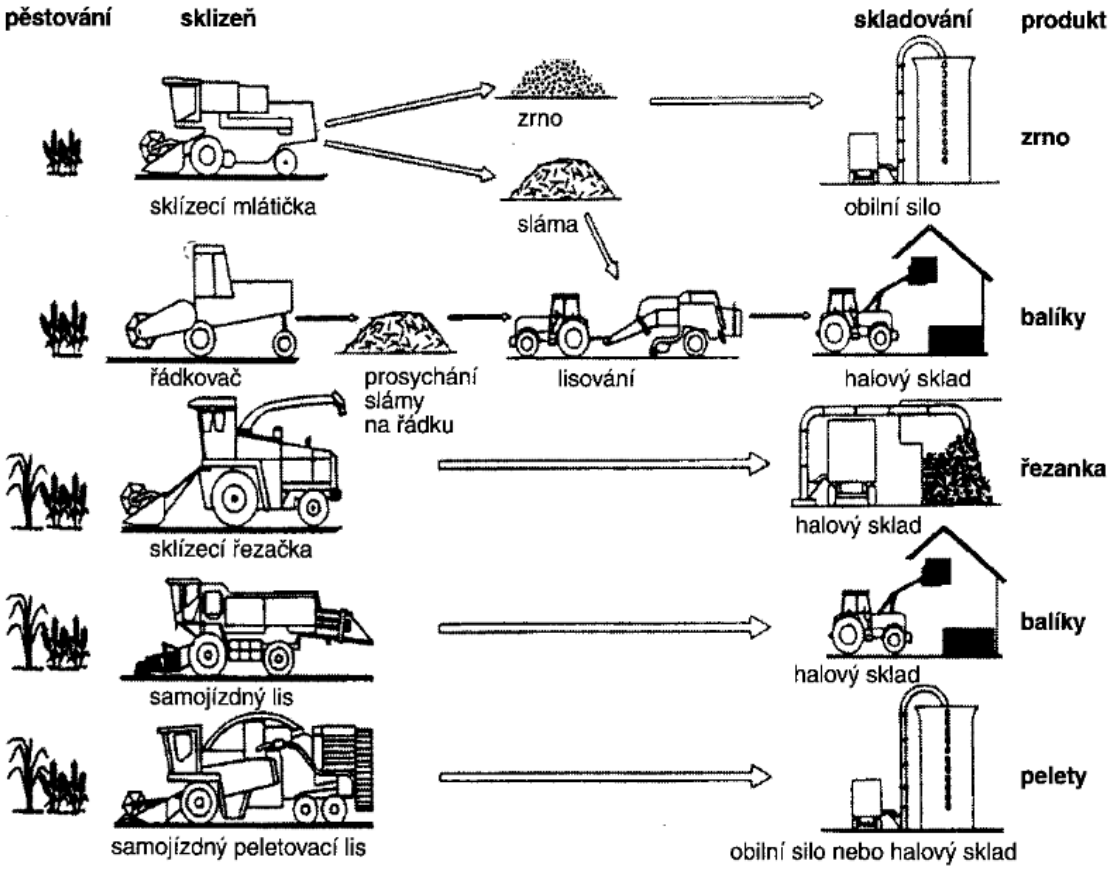
3.7 Doprava a manipulace s energetickou biomasou

Biomasa nemá vždy vhodné parametry pro přímé energetické využití ve spalovacích zařízeních. Dvě základní skupiny pevných biopaliv odvozují svůj původ z:

- **z dřevin (dendromasy)** – rostliny s dlouholetým životním cyklem, obsah vody obvykle cca 50%
- **ze stébelnin (stébelnatá fytomasa)** – jednoletý nebo víceletý životní cyklus. Nižší obsah vody (cca 20%), sklizeň při zralosti nebo jako vedlejší produkt rostlinné výroby.

U dřevních paliv se využívají polena, dřevní štěpka, piliny, hobliny, po mechanické úpravě pak brikety a pelety. Oblast stébelnin představuje volná řezanka, po mechanické úpravě jsou pak nejčastěji využívány balíky různých tvarů a rozměrů. Briketování a peletování stébelnaté biomasy je po vhodné úpravě také možné, tyto technologie však na trh teprve postupně pronikají. (SLADKÝ et. al., 2002) (Biom.cz, 2007)

Stébelnatou fytomasu je možné sklízet, dopravovat a skladovat s využitím běžných zemědělských strojů, prostředků a postupů. Technologie sklizně a následného zpracování energetických stébelnin znázorňuje Obrázek 4. (SLADKÝ, 2003)



Obrázek 4 - Technologie sklizně a zpracování energetických stébelnin

Zdroj: (PASTOREK et. al., 2004)

Sběrací vozy

Toto řešení má v oblasti energetických plodin poměrně omezené využití. Takto přepravovaný materiál má poměrně nízkou hustotu (malé stlačení), proto je možné v rámci jednoho dopravního cyklu přepravit relativně malé množství materiálu. To nepříznivě ovlivňuje ekonomiku dopravy. Z toho důvodu je doporučováno nasazení sběracích vozů na přepravní vzdálenosti nižší než 2 km.

Sběrací lisy

Pro energetické stébelniny v suchém stavu lze využívat:

- **Sběrací lisy na hranaté balíky** – Velkoobjemové hranaté balíky bývají určeny pro dodávky teplárnám.

- **Sběrací lisy na válcové balíky** – Mají nižší pořizovací cenu. Balíky jsou určeny pro menší odběratele a vlastní užití na farmách, kde bývají instalovány menší kotle, jsou obvykle vhodnější válcové nebo hranaté balíky menších rozměrů z levnějších zařízení.

Oba tyto typy lisů bývají doplněný o řezací ústrojí.

- **Svinovací kompaktorové lisy** – toto řešení je v ČR poměrně nové a zatím ne příliš používané. Svinutý materiál má tvar špalku.

Právě nutnost rozdružování balíků z ekonomického hlediska poněkud snižuje výhodnost použití sběracích lisů. Materiál je při takovém postupu před dopravou z pole jednou slisován, po dopravě rozebrán, drcen a opět slisován do výsledných pelet nebo briket. Pokud by se využívalo pro výrobu volně ložené slámy, zvýšily by se náklady na manipulační a skladovací operace.

Vhodnou alternativu v tomto odvětví by z tohoto pohledu představovalo rozšíření mobilních lisů, které by umožňovaly výrobu tvarovaných paliv přímo na sklízeném pozemku. (PASTOREK et. al., 2004)

Doprava materiálu pro potřeby bioplynové stanice je dána plodinami, které jsou využívány jako vsázka. Nejčastěji využívaným materiálem pro potřeby bioplynové stanice je kukuřičná siláž. Navážení řezanky pro její výrobu musí navazovat na sklizeň a být přizpůsobeno práci řezačky. Pro přepravu lze využít v zemědělství běžně používané dopravní prostředky, tedy traktory s přívěsem a nákladní vozy. Nejvhodnější jsou takové prostředky, které umožňují montáž silážní nástavby za účelem zvýšení přepravitelného objemu.

Dopravní prostředek by při vykládce řezanky neměl zajíždět příliš daleko do silážních prostor. Předejde se tak nadměrnému znečištění materiálu a jeho kontaminaci bakteriemi. Např. v případě silážního žlabu je žádoucí, aby k vyložení řezanky došlo na kraji žlabu a ta byla následně navezena a rozvezena tam, kde je to třeba. Výhodné je při uskladnění postupovat od zadního čela žlabu do tzv. klínu. (LOUČKA a TYROLOVÁ, 2013)

Předmětem této práce je i vývoj bioplynu z cukrové řepy. Současné metody dopravy bulev cukrové řepy jsou dány metodami sklizně, které vycházejí z následujících trendů:

- Rovnoměrné rozmetání chrástu
- Transport s meziskládkou oddělující silniční dopravu a dopravu po poli
- Nasazování zásobníkových sklízečů

Sklizeň bulev může být jednofázová (dochází ke sklizni bulev i chrástu) nebo doufázová (nasazeny dva samostatné stroje). Sklizené bulvy mohou být naloženy do souběžně jedoucího dopravního prostředku. V případě zásobníkových sklízečů jsou přepraveny v zásobníku, který je na souvrati vyprázdněn.

Řepa je skladována na zpěvněných složištích nebo přícestných skládkách, kde je vršena nakladačem. Výška takové skládky bývá v rozpětí 3 až 4 metrů. Odtud probíhá přeložení na obvyklé dopravní prostředky, jako jsou traktory s přívěsem nebo nákladní vozy. (PURKRÁBEK et. al., 2007)

3.8 Tvarovaná biopaliva

Biomasu pro energetické účely je před jejím použitím mnohdy třeba různě upravit tak, aby výsledek měl požadované rozměry a vlastnosti. V poslední době stále více rozšířenou koncovou úpravu po předchozím zpracování, probraném v předchozí kapitole, je výroba briket a pelet.

Takový produkt musí mít, kromě zmíněných specifických rozměrů, také požadované mechanické vlastnosti, které mají zásadní vliv na provádění manipulačních operací (skladování, přeprava, dávkování) a také na degradaci v jejich průběhu.

Princip lisování bez pojiv materiálu spočívá v dosažení minimální molekulové vzdálenosti mezi částicemi. K tomu je potřeba dosažení tlaků o velmi vysokých hodnotách. Dalším velmi důležitým parametrem je vlhkost, jejíž hodnota přímo ovlivňuje kvalitu výsledných biopaliv. Jako teoretická limitní hodnota je uváděno 20%, při vyšší vlhkosti by soudržnost vylisovaných produktů byla velmi nízká. V praxi se však pro dosažení dostatečné kvality nedoporučuje používat vstupní materiál přesahující 15% vlhkost, konkrétní rozsahy hodnot

se liší pro brikety a pelety. Lisy také mají určité požadavky na velikost vstupních částic. Peletovací lisy obvykle vyžadují velikost částic v řádech jednotek mm, briketovací lisy pak maximálně několik desítek mm.

Takto připravený materiál rostlinného původu je lisován za vysokých tlaků (desítky až stovky MPa) a teplot. U dřeva se obsažený lignin plastifikuje a působí jako pojivo. Výsledný produkt má výrazně vyšší hustotu a tedy nižší objem, než vstupní materiál.

Vlastnosti briket a pelet ovlivňují i takové faktory jako přítomnost příměsí (např. kombinované lisování biomasy a uhelného prachu s vápencem. Ten váže síru z uhlí v popelu, aby se neuvolňovala do ovzduší) nebo orientace vláken při lisování (při stejnosměrné orientaci vláken je dosaženo po zhutnění vyšší mechanické odolnosti). Spoluspalování (ve stejném kotli) a paralelní spalování (oddělené kotle) smíšených paliv je pak vykazováno v souladu s vyhláškou ERÚ č. 502/2005 Sb. (MALAŤÁK a VACULÍK, 2008) (KAKITIS et. al., 2010) (Biom.cz, 2006) (ERÚ, 2005)

Z energetického hlediska je dle MALAŤÁK, VACULÍK (2008) celý proces přípravy a lisování biomasy poměrně náročný. Je proto vhodné využívat materiál, který požadovaných vlastností (velikost částic, vlhkost) dosáhne při technologickém procesu s jiným zaměřením, tedy pokud se jedná o dopad nebo vedlejší produkt takového procesu. Další hypotézu uvádějí PASTOREK, KÁRA, JEVIČ (2004), kde je energetická spotřeba u lisování slámy uváděna jako 5% celkového tepleného obsahu briket.

3.8.1 Briketování biomasy

V průběhu lisování je dosahováno teplot nad 70 °C a tlaků v řádech stovek MPa (400 MPa), objemová redukce je udávána v poměru 12:1, její přesná hodnota spoluurčuje parametry kvality – výhřevnost, mechanická odolnost apod.

Další limitní vlastnosti vstupního materiálu při výrobě briket by měly být následující:

- Vlhkost materiálu – pod 15%
- Obsah kůry (u dendromasy) – pod 8%
- Obsah prachu – pod 20%

Proces lisování probíhá na lisech různých konstrukcí. Ta se může lišit pohonem, lisovací komorou a lisovacím nástrojem. Základní rozdělení lisů je následující:

- **Mechanické pístové lisy** – Princip klikového mechanismu s mohutnými setrvačníky. V lisovací komoře je dosahováno ze všech konstrukcí nejvyšších tlaků. Za výstupem je umístěna odřezávací pila, která krátí nekonečnou briketu na jednotlivé brikety požadované délky. Existují i lisy na šestihranné a hranolové brikety. Tato konstrukce je obvykle užívána u větších lisů o výkonnosti cca 1 $t.h^{-1}$.
- **Hydraulické pístové lisy** – Toto konstrukční řešení je obvykle využíváno u lisů menších konstrukcí. V lisovací komoře je dosahováno menších tlaků, což má za následek nižší soudržnost briket, které jsou tedy méně vhodné pro delší přepravu. Výkonnost těchto lisů je v řádu desítek až stovek $kg.h^{-1}$.
- **Šnekové lisy** – Tlak je vytvářen pomocí rotace lisovacího šneku v kónické komoře. U některých modelů lez vyrábět i pelety, pokud je vyměněna výstupní matrice. Při lisování je dosahováno poměrně vysokých tlaků a materiál se na šneku tře. Tím je obsažený lignin (v případě dřeva) zahříván na velmi vysokou teplotu, což příznivě ovlivňuje jeho plastifikaci. Díky tomu jsou výsledné brikety velmi soudržné a lignin po zchladnutí vytváří na povrchu briket souvislou vrstvu, která je velmi účinně chrání proti navlhnutí. Na druhou stranu je ovšem tato konstrukce náchylná na opotřebení pískem a jemu podobnými nečistotami.

Poptávané jsou zejména brikety, kterými ve středu prochází otvor. Ten zajišťuje větší nahřívací a okysličovací plochu. Nejvyšší výhřevnosti je dosahováno u briket z dřevního prachu nebo tvrdého dřeva (i přes 30 $MJ.kg^{-1}$). Standardní brikety mívají výhřevnost pod 20 $MJ.kg^{-1}$. (SLADKÝ et. al., 2002) (MALAŤÁK a VACULÍK, 2008)

Briketu MALAŤÁK, VACULÍK (2008) označují jako: „*palivo uměle upravené lisováním sypkého materiálu bez přídavných pojiv do formy vhodné pro spalování. Je vytvořena stlačením různorodých komponentů (stonků, lístků, přísad…). Proto nelze mluvit o homogenním tělese. Místní objemová hmotnost brikety p je funkcí polohy (x, y, z) a závisí na tlaku při lisování, struktuře materiálu, vlhkosti materiálu a druhu lisovacího materiálu.*“

3.8.2 Přehled základních typů tvarovaných biopaliv na trhu v ČR

Dřevní brikety

- **Vstupní materiál:** suchá dřevní drť, piliny, hobliny – obsah vody 6 - 12 %
- **Tvar a rozměry:** Válec, příp. hranol nebo šestihran. Průměr 40 – 100 mm, délka do 300 mm
- **Měrná objemová hmotnost:** 1 – 1,4 $kg.dm^{-3}$
- **Výhřevnost:** 16,5 – 18,5 $MJ.kg^{-1}$
- **Obsah popele v sušině:** 0,5 – 1,5%
- **Maximální povolený obsah polutantů:** dle příslušné normy
- **Určení:** Kotle s manuálním dávkováním, krby, lokální kamna a topeniště

Brikety ze stébelnin

- **Vstupní materiál:** stébelniny suché, drcené/řezané na kratší částice (sláma obilovin, olejnin, travin a energetických bylin, semena plevelů) – obsah vody 8 – 14 %
- **Tvar a rozměry:** Válec, příp. hranol nebo šestihran. Průměr 40 – 100 mm, délka do 300 mm
- **Měrná objemová hmotnost:** do 1,2 $kg.dm^{-3}$
- **Výhřevnost:** 14 – 17,5 $MJ.kg^{-1}$, sláma olejnin 19 $MJ.kg^{-1}$
- **Obsah popele v sušině:** 5 – 6 %
- **Maximální povolený obsah polutantů:** dle příslušné normy
- **Určení:** Kotle s manuálním dávkováním, krby, lokální kamna a topeniště. Tepelný výkon nad 25 kW

Dřevní pelety

- **Vstupní materiál:** suchá a čistá dřevní drť, piliny, malý podíl dřevního prachu – obsah vody 6 - 12 %
- **Tvar a rozměry:** Válec, průměr 6 – 20 mm (výjimky do 40 mm), délka 10 – 50 mm, poměr délka:průměr do 3:1.
- **Měrná objemová hmotnost:** 1 – 1,4 $kg.dm^{-3}$
- **Výhřevnost:** 16,5 – 18,5 $MJ.kg^{-1}$
- **Obsah popele v sušině:** 0,5 – 1,1%
- **Maximální povolený obsah polutantů:** do 2% (dle normy)

- **Určení:** menší automatické kotle, instalace v rodinných a menších obytných domech, příp. samostatné kotle v bytech. Dobrá sypnost, snadné skladování.

Pelety ze stébelnin

- **Vstupní materiál:** suché, drcené stébelniny (energetické byliny, sláma obilovin, olejnin, traviny) – obsah vody 8 - 15 %
- **Tvar a rozměry:** Válec, průměr 6 – 20 mm (výjimky do 40 mm), délka 10 – 50 mm, poměr délka:průměr do 3:1.
- **Měrná objemová hmotnost:** 1 – 1,2 kg.dm^{-3}
- **Výhřevnost:** 14 – 17,5 MJ.kg^{-1} , sláma olejnin 19 MJ.kg^{-1}
- **Obsah popele v sušině:** 5 – 6%
- **Maximální povolený obsah polutantů:** dle příslušné normy
- **Určení:** přidávají se do paliva u automatických kotlů s tepleným výkonem nad 25 kW. U jiných kotlů jsou možné problémy s rozměry (nad průměr 6 mm), odhořívání, popelem, emisemi

Brikety a pelety z kůry

Suchá kůra může být obsažena v dřevních briketách i peletách. Lze jí lisovat i samostatně, v tomto případě je častější forma briket. Výhodou je vysoká výhřevnost, až 20 MJ.kg^{-1}, kterou ovlivňuje obsah pryskyřic. Nevýhodou je vyšší popelnatost, až 6%, v případě častého znečištění zeminou.

Dřevní, slaměné, kůrové a papírové pakety

- **Vstupní materiál:** směs hrubě drcené biomasy – obsah vody do 18%
- **Tvar a rozměry:** Válec, příp. hranol nebo šestihran. Průměr do 150 mm, délka 300 - 500 mm.
- **Měrná objemová hmotnost:** cca 0,3 kg.dm^{-3}
- **Výhřevnost:** do 15 MJ.kg^{-1}
- **Obsah popele v sušině:** 5 – 6%
- **Maximální povolený obsah polutantů:** dle příslušné normy
- **Určení:** Nejsou primárně určeny jako obchodní palivo. Jedná se o směsné palivo, zbytky z výroby, případně spalitelné obaly upravené za účelem lepšího skladování a vyšší koncentrace energie. Používají se jako podpůrné palivo v kotlích nad 500kW tepelného výkonu. (MALAŤÁK a VACULÍK, 2008)

Tabulka 4 dokazuje, jak vlhkost ovlivňuje důležité parametry biopaliv.

Tabulka 4 - Srovnání vlastností vybraných tvarovaných a ostatních tuhých biopaliv

Druh paliva	**obsah vody [%]**	**Výhřevnost [MJ.kg^{-1}]**	**Objemová hmotnost volně loženého paliva [kg/m^3]**
Polena (měkké dřevo)	0	18,6	355
	10	16,4	375
	20	14,3	400
	30	12,2	425
	40	10,1	450
	50	8,1	530
Dřevní štěpka (smrk)	10	16,4	170
	20	14,3	190
	30	12,2	210
	40	10,1	225
Dřevěné brikety	6 - 12	15,5 - 18,5	650 - 850
Dřevěné pelety	6 - 12	16,5 - 18,5	650 - 750
Sláma obilovin	10	15,5	120 (balíky)
Sláma kukuřice	10	14,4	100 (balíky)
Sláma řepky	10	16	100 (balíky)

Zdroj: (JAKUBES et. al., 2006)

3.8.3 Specifika využití lnu setého olejného a chrastice rákosovité pro výrobu briket

Možnost energetického využití lnu setého olejného v podobě briket a pelet uvádí ČANDOVÁ et al. (2009) při průměrné energetické výtěžnosti 70,20 GJ.ha^{-1}. Výhřevnost je uváděna jako 17,04 MJ.kg^{-1} v případě odrůdy Amon, 16,88 MJ.kg^{-1} pro Bilstar, 16,93 MJ.kg^{-1} pro Flanders a 17,13 MJ.kg^{-1} v případě odrůdy Lola. Dle PETŘÍKOVÁ (1999) sice stonek lnu setého olejného po oddělení semen obsahuje ještě určitém množství vlákna, ale toto není dostatečně kvalitní pro přadné účely. Využití slámy pro spalování je tedy doporučeno vzhledem k tomu, že je relativně energeticky bohatá. Využití pazdeří k produkci biopaliv také uvádí KOVÁŘOVÁ et. al. (2002) V případě lnu setého olejného má tedy smysl uvažovat energetické využití stonku nebo pazdeří. Jedná se v tomto případě o vedlejší produkt, primárním zaměřením pěstování je produkce olejného semene.

V případě chrastice rákosovité jde o vytrvalou trávu z čeledi lipnicovitých. Její pěstování na méně úrodných půdách přináší obvykle dostatečně vysoké výnosy při zachování stability a minimálních nákladů a je tedy vhodná pro výrobu tvarovaných biopaliv ve vlastní režii. Cena jedné tuny suchého materiálu se obvykle pohybuje v rozpětí 1000 až 1200 Kč. (USŤAK et. al. , 2012) (SOUČEK , 2011)

3.9 Bioplyn

Bioplyn můžeme definovat následovně: „*Směs plynů obsahující 55 – 75 obj. %, metanu a 23 – 43 %, oxidu uhličitého a cca 2 % vodíku. Další plynné látky obsažené v bioplynu ve stopových koncentracích jsou sulfan a další sirné a dusíkaté sloučeniny (merkaptany, amidy).*“ Výhřevnost bioplynu přímo ovlivňuje obsah metanu, její udávané hodnoty se pohybují v rozmezí přibližně 20 – 25 $MJ.m^{-3}$. (ČESKÉ EKOLOGICKÉ MANAŽERSKÉ CENTRUM, 2009). Udávané složení bioplynu se v odborných publikacích téměř shoduje. Tabulka 5 obsahuje přehled těchto hodnot ve vybraných zdrojích.

Tabulka 5 - Obvyklé složení bioplynu

Látka	**Koncentrace** (CZ BIOM, 2009)	**Koncentrace** (WATTER, 2009)	**Koncentrace** (WESSELAK a SCHABBACH, 2009)
Metan (CH_4)	50 - 75 objem. %	55 - 75 objem. %	50 - 75 objem. %
Oxid uhličitý (CO_2)	25 - 45 objem. %	25 - 45 objem. %	25 - 50 objem. %
Voda (H_2O)	2 - 7 objem. %	neuvedeno	0 - 10 objem. %
Sulfan (H_2S)	20 - 20000 ppm	< 1 objem. %	stopové množství
Dusík (N_2)	< 2 % objem. %	< 3 objem. %	0 - 5 objem. %
Kyslík (O_2)	< 2 % objem %	< 1 objem. %	0 - 2 objem. %
Vodík (H_2)	2 objem %	neuvedeno	stopové množství

Zdroj: (CZ BIOM, 2009) (WATTER, 2009) (WESSELAK a SCHABBACH, 2009)

Kromě koncentrace metanu je také důležitou hodnotou podíl sulfanu (H_2S). Jeho množství v bioplynu je určeno zejména složením materiálů vsázky. Při vysoké koncentraci sulfanu se v bioplynu tvoří kyselina sírová, která působí korozivně na prvky používaných zařízení.

Bioplyn tedy může obsahovat:

- technologicky nevýznamný podíl sulfanu (do 50,00 $mg.m^{-3}$)
- nízký podíl sulfanu (50,00 – 250,00 $mg.m^{-3}$)
- střední podíl sulfanu (250,00 – 1500,00 $mg.m^{-3}$)
- vysoký podíl sulfanu (nad 1500,00 $mg.m^{-3}$)

(VESELÁ et. al. , 2010)

Pro bezporuchový chod kogeneračních jednotek je mezní hodnota koncentrace 0,05 objem. %, tedy 500 ppm. Doporučení některých výrobců motorů uvádějí však koncentrace výrazně nižší, až 10 ppm. (KÁRA et. al. , 2011)

Bioplyn je vyráběn anaerobní fermentací organických materiálů (ze zemědělství, lesnictví, komunálních odpadů apod.). Jejich teoretickou výtěžnost obsahuje
Tabulka *6.* Hlavní důvody, proč zemědělské podniky k výrobě bioplynu přistupují, jsou následující:

- Produkce kvalitních organických hnojiv (splňující podmínku ekologického zemědělství)
- Nižší agresivní chemické účinky než u nezpracované kejdy, hygieničce
- Lepší tekutost, případně naopak možnost odvodnění
- Doplňkový zdroj hodnotné energie
- Zlepšení životního prostředí (menší zatížení metanem, čpavkem, oxidem uhličitým)
- Menší vyplavování dusíku, minimalizace úniku nitrátů
- Odstranění pachu z živočišné výroby
- Minimalizace ztrát živin
- Zvýšená odolnost a lepší zdravotní stav rostlin
- Redukce plevelů
- Zpracování organických zbytků
- Neplacení stočného
- Odbourání problému se zákazem vypouštění odpadních vod

V oblasti produkce hnojiv podnikům, které část nebo celou produkci digestátu uvádějí na trh jako hnojivo, zákon ukládá povinnost takový produkt registrovat. (BABIČKA a STRAKA, 2007) (KÁRA et. al., 2007)

Tabulka 6 - Teoretická výtěžnost surovin pro výrobu bioplynu

substrát	sušina [%]	org. sušina [% sušiny]	výnos bioplynu [m^3]	výnos bioplynu [$m^3.t_{org\ suš}^{-1}$]	obsah metanu [% objem.]
kejda skotu	8 - 11	75 - 82	20 - 30	200 - 500	60
kejda prasat	7	75 - 86	20 - 35	300 - 700	60 - 70
kukuřičná siláž	20 - 35	85 - 95	170 - 200	450 - 700	50 - 55
cukrová řepa	23	90 - 95	170 - 180	800 - 860	53 - 54
krmná řepa	12	75 - 85	75 - 100	620 - 850	53 - 54
řepný list	16	75 - 80	70	550 - 600	54 - 55
travní siláž	25 - 50	70 - 95	170 - 200	550 - 620	54 - 55

Zdroj: (CZ BIOM, 2009)

3.9.1 Požadavky na materiál

Základní požadavky na vstupní materiál jsou určeny takto:

- Nízký obsah popelovin (anorganických látek)
- Vysoký podíl biologicky rozložitelných látek v organickém materiálu (obvyklé je zpracovávání homogenizovaných směsí)
- Obsah sušiny od 3 % do 50 %. Zpracování materiálů s nižším obsahem má zápornou energetickou bilanci. Optimální rozsah je 22 – 25 % v případě pevných materiálů a 8 – 14 %. Heterogenní vlhkostní pole v pevném materiálu způsobuje postupné tlumení metanogeneze.
- Hodnota pH materiálu by měla na vstupu být blízká neutrální hodnotě, tedy pH = 7. Na počátku procesu může vlivem aktivity acidogenů pH klesat na hodnoty pH = 4 – 6, přičemž při hodnotách nižších než 5 můžou začít působit inhibiční účinky takového prostředí na citlivé kmeny bakterií. Pokud však zůstanou podmínky příznivé, zvýší se pH opět na hodnoty blízké 7. Existují i kmeny bakterií, které se rozvíjejí v alkalickém prostředí. Optimální hodnota na vstupu se zajišťuje homogenizací nebo přísadami.

- Poměr uhlíkatých a dusíkatých látek by měl být blízký hodnotě 30 : 1. Toho je dosaženo míšením materiálů (rostlinné materiály mají vysoký obsah uhlíku, např. kejda má vysoký obsah dusíku).
- Vyvarování se nežádoucích příměsí, jako jsou hnilobné materiály nebo antibiotika ve zvířecích exkrementech.
- Dodržovat požadované parametry zpracování materiálu a manipulace s ním. Nežádoucí jsou například anaerobní fermentace při skladování nebo některé fyzikálně chemické účinky na materiál při dopravě. Takový materiál se nezývá „studený substrát“.

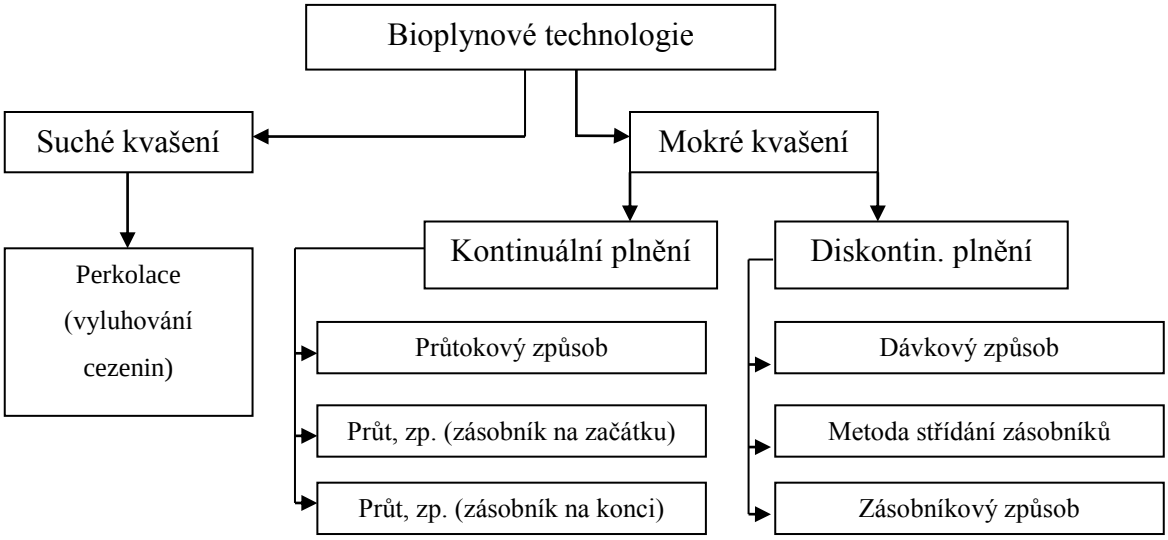
(KÁRA et. al., 2007)

3.9.2 Technologie výroby

Bioplyn je produktem metabolismu metanogenních bakterií při rozkladu organické hmoty. Celý proces vzniku lze rozdělit na čtyři fáze:

- **Hydrolýza** – makromolekulární organické látky (tuky, bílkoviny, uhlovodíky, polysacharidy, celulóza apod.) jsou přeměňovány anaerobními bakteriemi např. na monosacharidy, oligosacharidy, aminokyseliny, mastné kyseliny a vodu, tedy nízkomolekulární sloučeniny.
- **Acidogeneze** – další rozklad na organické kyseliny, oxid uhličitý, amoniak a sulfan za pomoci acidofilních bakterií.
- **Acetogeneze** – Acetogenní (octotvorné) kmeny bakterií materiál dále rozkládají na acetáty, vodík a oxid uhličitý.
- **Metanogeneze** – metanogenní bakterie vytvářejí metan, oxid uhličitý a vodu v alkalickém prostředí.

Tyto procesy probíhají odděleně jen za rozběhu stanice, kdy počátek metanogenní fáze může nastat i za několik týdnů po spuštění, nebo u stanice s dávkovým plněním. U kontinuálního plnění probíhají tyto procesy souběžně. Typické technologické postupy výroby bioplynu znázorňuje Obrázek 5.



Obrázek 5 – schéma rozdělení technologií výroby bioplynu

Zdroj: SCHULZ a EDER (2004)

Výrobu nelze ovlivnit zevnitř bioplynové stanice, protože ta je uzavřená. Možnosti optimalizace výrobního procesu jsou následující:

- Dodržovat požadovanou teplotu s minimálními výkyvy regulací pomocí termostatu.
- Kvazikontinuální dávkování substrátu.
- Snížit používané množství tzv. studeného substrátu.
- Směny substrátu a krmiva pro hospodářská zvířata musejí probíhat pozvolna a postupně.
- Vyvarovat se zvýšené koncentraci inhibitorů
- Časté a dlouhodobé promíchávání. Při dobrých frekvencích a časech promíchávání nedochází po jeho provedení ke skokovému nárůstu produkce bioplynu.
- Ve vyhnívacím prostoru musejí být zajištěny žádoucí distribuce tepla a rovnoměrný ohřev.

(SCHULZ a EDER, 2004) (KÁRA et. al., 2007) (WATTER, 2009)

3.9.3 Rozdělení bioplynových stanic dle platné legislativy

Vyhláška 482/2005 Sb., ve znění 453/2008 Sb. definuje následující kategorie bioplynových stanic:

- **AF1** – Bioplynové stanice zpracovávající převážně určenou biomasu
- **AF2** – Ostatní bioplynové stanice. Zde se jedná o bioplynové stanice zpracovávající bioodpady a zemědělské stanice, které zpracovávají statková hnojiva a cíleně pěstovanou biomasu, jejíž sušina tvoří méně jak 50% z celkové vsádky.

Rozdělení dle Metodického pokynu MŽP k bioplynovým stanicím z roku 2008 je následující:

- Zemědělské
- Čistírenské – u čistírny odpadních vod
- Ostatní – komunální (zpracovávající biologicky rzložitelné komunální odpady) atd.

(STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR, 2009)

Komunální bioplynové stanice se od zemědělských poměrně značně odlišují. Pro chod tohoto typu stanice je zásadní a velmi náročná příjmová část technologie. Vstupní materiály je třeba separovat, drtit a řezat (legislativa u některých vyžaduje maximální velikost částic 12 mm) a případně i pasterizovat (hygienizovat vysokou teplotou). Příjmová místa musejí být z důvodu zápachu uzavřena a vzduch musí být čištěn na biofiltrech.

Investiční náklady obvykle přesahují částku 200 000 Kč na kW instalovaného výkonu, zatímco u zemědělských stanic je tato hodnota až poloviční. (HABART, 2008)

3.9.4 Specifika cukrové řepy jako suroviny pro výrobu bioplynu

Jak již bylo zmíněno v úvodu, v současné době jsou stále častěji hledány alternativy za kukuřičnou siláž. Pěstování kukuřice je dnes rozšířeno i na pozemky, které jsou např. vzhledem ke svažitosti, méně vhodné. Kukuřice jako širokořádková plodina pak výrazně zvyšuje riziko degradace pozemků vlivem půdní eroze. (HŮLA et. al. , 2012) (PETŘÍKOVÁ , 2008)

Např. v Německu je od r. 2012 podmíněna možnost plného čerpání dotací na nově budované bioplynové stanice maximálně 60% podílem kukuřice nebo kukuřičných produktů ve vsázce. (BMELV, 2012)

Výnosy řepy obecně, ať už cukrové nebo krmné, může být vhodným materiálem k výrobě bioplynu zejména vzhledem k vysokým výnosům hmoty. Nevýhody však mohou být vysoké nároky na kvalitu půdy a podnebí.

V případě cukrové řepy se obvykle výnosy pohybují v rozpětí 50 a 60 $t.ha^{-1}$. Oproti běžnějším surovinám, jako např. kukuřičná siláž, jsou v případě cukrové řepy vyšší nároky na ošetření před zpracováním nebo použitím, pokud by k němu došlo bezprostředně.

Vzhledem k typické sezónní povaze sklizně řepy i řepného listu, je potřeba vyřešit uskladnění. Zpravidla jsou bulvy dezintegrovány a silážovány. (CZ BIOM, 2009) Nejčastějším metodám silážování se věnují SCHATTSCHNEIDER, et al. (2011), SCHULDT a DINSE (2013) a WEIßBACH et. al. (2011). Nejméně finančně náročnou variantou je ponechání v hromadách na poli. Toto řešení však nelze provozovat dlouhodobě, omezení je 90 dní. Tuto variantu je tedy třeba vnímat jako jakýsi předstupeň ostatních metod. Silážování ve vacích tento nedostatek odstraňuje, přináší však s sebou relativně vysoké provozní náklady. Během této metody jsou bulvy řepy pod tlakem plněny do polyetylenových vaků (rukávců). Silážní žlab je velice rozšířená varianta, v které lze silážovat drcené bulvy. Z hlediska nároků na obsluhu se jedná o relativně náročnější variantu. Společné silážování je poměrně jednoduchá cesta, jak cukrovou řepu silážovat za využití stávajícího zařízení. Využití věžového sila dává možnost některé procesy automatizovat, jde však o náročnou variantu z hlediska nákladů. Využití laguny pro silážování cukrové řepy v sobě umožňuje při relativně nízkých nákladech využít některé zásadní výhody sila (automatizace), studie však neoperuje se změnou kvality materiálu

BÖTTCHER (2011) uvádí možnost využití siláže cukrové řepy jako důležitý zdroj pro produkci bioplynu v budoucnosti. Vzhledem k vysokému obsahu sacharózy v sušině je cukrová řepa velmi rychle rozložitelná. Složení bioplynu a objem produkce na hmotnostní jednotku vsázky je pak podle něj obdobný jako u kukuřice. Při porovnání dat z dalších

pramenů však značí vyšší potenciál výtěžnosti plynu na jednotku hmotnosti o 7 – 22 % v závislosti na konkrétních vlastnostech jednotlivých typů materiálu. (MURPHY a POWER , 2009) (WEISSBACH , 2009) (KTBL, 2010) (CZ BIOM, 2009) (DEMIREL a SCHERER , 2008)

3.10 Logistika

3.10.1 Definice a základní pojmy

Pernica (2005) definuje logistiku následovně: „*Systémová disciplína zabývající se celkovou optimalizací, koordinací a synchronizací všech činností, jejichž zřetězení je nezbytné k pružnému a hospodárnému dosažení konečného efektu.“* Další zajímavou definici nabízí Schulte (1994): „*logistika (se) považuje za integrované plánování, formování, provádění a kontrolování hmotných a s nimi spojených informačních toků od dodavatele do podniku, uvnitř podniku a od podniku k odběrateli.“* Logistika se začala ve druhé polovině 20. století masivně rozšiřovat do podnikové sféry. Dnes náklady na logistiku v rámci jedné země mohou dosahovat hodnot znatelně přes 10 % HDP. (CHIANI et. al., 2004)

Logistické řetězce tedy představují soubor hmotných a nehmotných toků, jedná se o toky:

- materiálu
- informací
- financí apod.

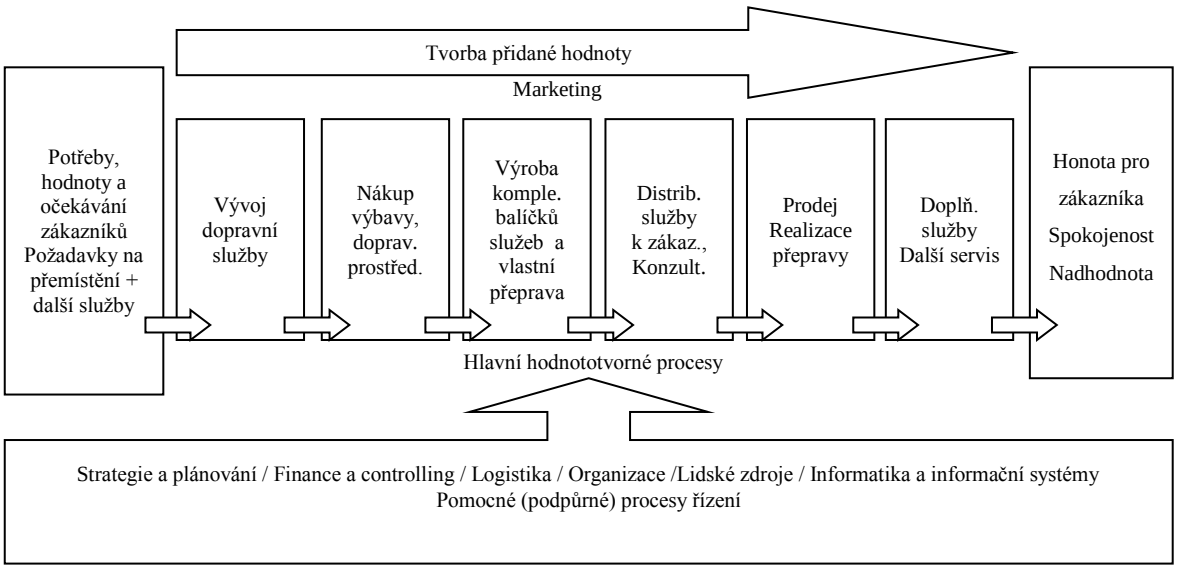
Ty jsou realizovány jednotlivými články řetězce, které odebírají a dodávají. Skladba článků se liší na základě povahy logistického řetězce:

- **Ve výrobě** – zde jsou realizovány operace spojené s výrobou. Jedná se o výrobní linky, mezisklady materiálu nebo surovin apod.
- **V dopravě** – zde jsou realizovány operace spojené s manipulací a skladováním materiálu při dopravě. Jedná se o překladiště, terminály, prodejny a jejich sklady apod.

Při postupu meziproduktu řetězcem je postupně progresivně přidávána hodnota až do podoby finálního produktu určeného zákazníkovi. Proto je někdy použito pojmu hodnotové řetězce. Systém seskupení článků a jejich chování je voleno tak, aby realizace zakázky (uspokojení zákazníkovy poptávky) byla co nejvíce rentabilní, ale zároveň dostatečně pružná. Jako příklad tvorbu přidané hodnoty a úlohy logistiky v tomto procesu lze uvést schéma procesní organizace dopravního podniku, které zobrazuje Obrázek 6.

Cílové oblasti logistiky lze tedy shrnout následovně:

- **Výkon** – objem zakázek, průtok, parametry skladování a termíny
- **Jakost** – Schopnost dodat, dodržet termín a jakost zásilky. Flexibilita celého systému.
- **Náklady** – na personál, dopravu a provoz, zásoby



Obrázek 6 – schéma procesní organizace dopravního podniku

Zdroj: Drahotský & Řezníček (2003)

Bod rozpojení charakterizuje místo v logistickém řetězci, kde se mění nezávislá poptávka na závislou. Jedná se tedy o rozhraní mezi částí, kde řízení toků probíhá na základě plánu a kde je nutné udržovat zásoby a částí, kde veškeré toky probíhají na základě objednávky zákazníků a kde se běžně udržují pouze pojistné zásoby. Snaha výrobců je posouvat bod rozpojení co nejdále proti proudu materiálových toků. Snižuje se tak objem zásob, zvyšuje se pružnost, a tedy dochází k celkové úspoře na nákladech. Na druhou stranu je třeba brát ohled na fakt, že tento trend snižuje pohodlí zákazníka a hrozí jeho ztráta.

Materiál, tedy suroviny, případně materiál základní a pomocný, je potřeba klasifikovat. K logistickým operacím různých materiálů s podobnými vlastnostmi lze využít stejné typy dopravních prostředků. (STODOLA et. al., 2007) (PERNICA, 2008) (VOŠTOVÁ et. al., 2009)

3.10.2 Klasifikace materiálu

Materiál lze dle STODOLA et al. (2007) dělit podle skupenství na:

- plynný
- kapalný
- pevný

Pokud se jedná o materiál kusový, lze používat klasifikaci dle následujících kritérií:

- podle tvaru materiálu
    - geometrický tvar
    - běžné tvary
    - nepravidelné tvary
- podle polohy předmětu při přemísťování a stability přemísťovaných kusů
    - poloha vůči směru přemísťování
    - poloha těžiště vzhledem k dosedací ploše
- podle hmotnosti přemísťované jednotky
- podle objemu přemísťované jednotky
- podle druhu materiálu, který přichází do styku s dopravníkem
- podle dosedací plochy a jiných vlastností povrchu materiálu,
    - geometrický tvar dosedacích ploch
    - mechanické vlastnosti dosedacích ploch
- podle dalších důležitých vlastností přemísťovaných předmětů
    - převážně fyzikálních vlastností
    - dalších, např. chemických vlastností
- podle citlivosti přemísťovaného materiálu
    - citlivosti k mechanickým účinkům
    - citlivosti k ostatním účinkům

Pro klasifikaci sypkých materiálů jsou vhodná kritéria:

- zrnitost
- soudržnost
- chování během přemisťování
- teplota
- objemová hmotnost

3.10.3 Manipulace s materiálem

Samotná manipulace s materiálem je prvek, při kterém dochází k propojování částí reprodukčního procesu (výroby, oběhu a spotřeby). Základní znak představuje pohyb materiálu, při kterém je určena kvantita a jsou zajištěny operace, které mají zamezit degradaci užitných hodnot.

Základní rozdělení činností při manipulaci s materiálem lze shrnout takto:

- skladování
    - ukládání
    - uskladnění, konzervace, dosoušení
    - vyskladňování, vyjímání
- vážení
- třídění
- dávkování
- balení
- doprava
    - nakládka
    - přeprava
    - vykládka

(SYROVÝ, 2008)

3.10.4 Specifika logistiky v oblasti biomasy

Pod tímto označením lze zahrnout veškeré technické, technologické, organizační a ekonomické aspekty řetězce, kterým se biomasa pohybuje od surového stavu až k finálnímu produktu určenému spotřebiteli.

Tato oblast má svá specifika a omezení, která plynou ze sezonního charakteru výroby, relativně dlouhého výrobního cyklu a naopak krátké doby znehodnocení surovin, pokud není dodržena příslušná manipulace. Svůj vliv má i poměrně široká škála energetických plodin s různými vlastnostmi a jejich rozptýlenost na větší územní ploše. Je tedy třeba všem těmto vlivům přizpůsobit výrobní a dopravní technologie, mít ve všech ohledech vyřešené odběratelské a dodavatelské vztahy. V neposlední řadě je třeba zaměřit se na optimální kapacitu skladovacích prostor tak, aby byla zajištěna požadovaná plynulost výroby na jedné straně a nevytvářely se nadbytečné náklady a neznehodnocoval se materiál na straně druhé.

Mezi poptávkou a nabídkou panuje nesoulad z hlediska lokality. Poptávka se koncentruje především v městských oblastech, nabídka (zdroje) jsou obvykle na vesnicích. Z ekonomického hlediska je racionální získávat energii z biomasy v co možná nejkratší vzdálenosti od jejího zdroje. To sebou však přináší decentralizaci, která je v souladu s prioritami energetické politiky EU a jejích členských států. Tabulka 7 uvádí přehled základních článků, které se mohou i několikanásobně opakovat.

Tabulka 7 - Základní články logistického řetězce biomasy

Prvek logistiky biomasy	Proměnná
Sklizeň (Sběr)	druh a kvalita zdroje biomasy, metoda a technologie sběru / sklizně, sezónnost sběru / sklizně
Doprava	dopravní vzdálenost celková a jednotková, dopravní kapacita (hmotnost a objem nákladu), parametry dopravovaného materiálu (měrná hmotnost, vlhkost), doba dopravy, investiční a provozní náklady, spotřeba paliv a energie
Zpracování	výkon technologie, investiční a provozní náklady, vlastní spotřeba energie, doba zpracování, ztráty biomasy, kvalita produktu
Skladování	parametry skladovaného materiálu (měrná hmotnost, vlhkost), kapacita skladování, investiční a provozní náklady, ztráty biomasy při skladování
Prodej/Marketing	cena konkurenčních paliv, poptávka po biomase, časový horizont smluvních vztahů
Přeměna	investiční a provozní náklady, jednotkový výkon, účinnost přeměny, doba využití

Zdroj: (JAKUBES et. al., 2006)

Samotný návrh logistického řetězce je třeba realizovat na základě znalosti požadovaných provozovnou, která bude biopalivo vyžívat. Jedná se tedy zejména o provozní parametry spalovací techniky. Neméně důležité je podrobné zmapování potenciálu prvovýroby v oblasti využití. Nejdůležitější parametry jsou:

- typ provozu (charakteristika, určení, typ techniky)
- instalovaný výkon
- účinnost transformace
- provozní doba

U využívaných biopaliv je pak důležité seznámit se s těmito vlastnostmi:

- Typ vstupní suroviny (dřevo, energetická stébelnina, odpad, atd.)
- Výnos vstupní suroviny a na čem závisí (půda, klimatické podmínky atd.)
- Forma použitého biopaliva (balík, briketa, peleta, štěpka, atd.)
- Obsah vody (zda nepřekračuje přípustnou mez)
- Energetické parametry

(SOUČEK, 2011) (JAKUBES et. al., 2006) (PÜTZ a SEIFFERT, 2009)

Pro optimalizaci využití dopravních prostředků je důležité brát v potaz rozdílné fyzikální parametry jednotlivých surovin a produktů (volně ložené sypké materiály, slisované plodiny apod.) To má v důsledku zásadní vliv požadovanou na užitečnou hmotnost dopravního prostředku, systém jeho vyprazdňování apod. (SOUČEK, 2011)

4 Materiál a použité metody

4.1 Monitorování dopravních procesů

Pro sledování pohybů dopravních souprav byly použity GPS moduly GARMIN 76CSx a Garmin eTrex Vista HCx s možností automatizovaného záznamu GPS souřadnic polohy, rychlostí, časů, ujeté vzdálenosti a nadmořské výšky. Analýzou souřadnic a vynesením dopravy do mapy byly určeny hraniční body oblastí nakládky a vykládky. Tyto údaje, spolu s analýzou pojezdových rychlostí, byly použity jako základ k určení ujetých km a časové náročnosti vztažených na následující operace:

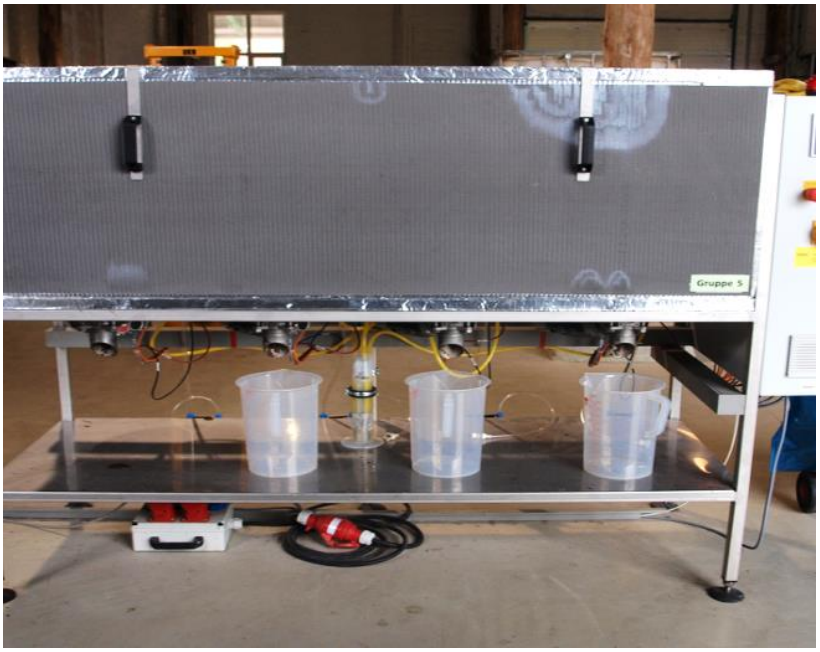
- Přejezd s materiálem
- Přejezd prázdné soupravy
- Nakládka
- Vykládka
- Prostoj

Tyto hodnoty byly také přepočítány na průměrný dopravní cyklus. Ze získaných údajů lze také získat informace o přepravním výkonu v tunokilometrech.

4.2 Monitorování výtěžnosti bioplynu

Pro simulaci chování využívaných surovin v prostředí fermentoru bioplynové stanice bylo využito soustavy laboratorních kontinuálních fermentorů (Obrázek 7). Skládá se z několika skupin vždy o 4 fermentačních nádobách s objemem 20 litrů. Celá soustava nádob je pak opatřena izolačním krytem (Obrázek 8) tak, aby teplota vnitřního prostředí byla udržována v rozpětí nastavených hodnot. V případě tohoto projektu bylo potřeba udržovat teploty v rozpětí 37 – 40°C, tedy zajištění optimálního prostředí pro metanogenní bakterie.

Obrázek 7 - Odkrytá sada pokusných fermentorů



Obrázek 8 - Sada fermentorů s izolačním krytem a pohled na zadní stranu s připojenými vaky

Takto navržené zařízení umožňuje ve zmenšeném měřítku poměrně přesně simulovat chování komerčně využívané instalace a s relativně malými dávkami vstupního materiálu (v řádech desítek, maximálně stovek gramů) simulovat chování celého systému.

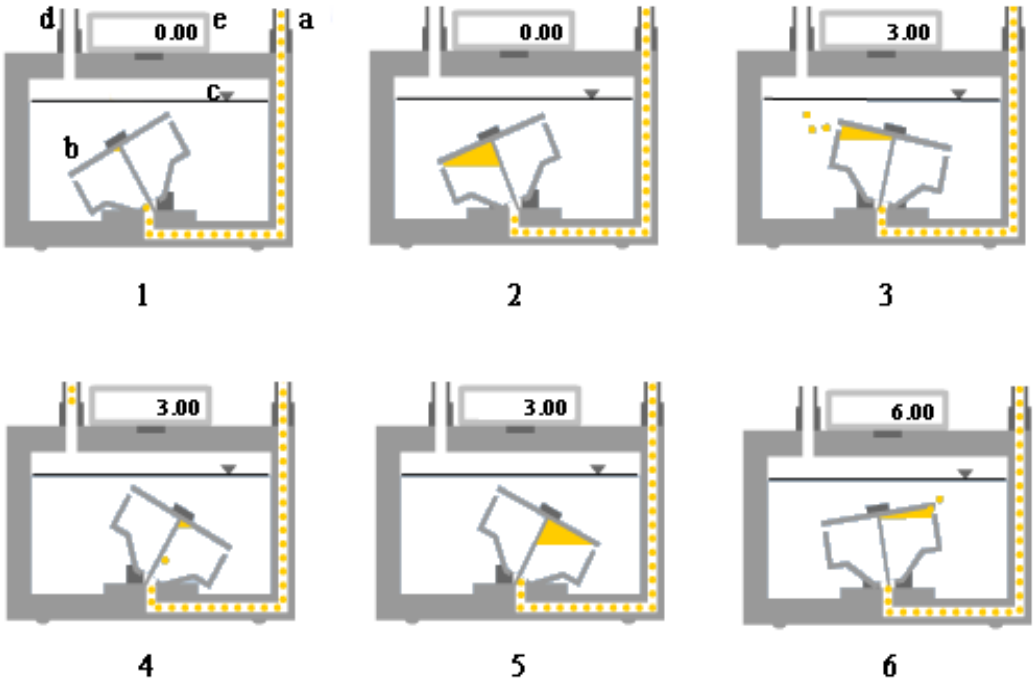
Tělo pokusného fermentoru tvoří skleněná nádoba (Obrázek 9), po jejím svrchním obvodu je vedena pryžová izolace a na ni umístěno kovové víko. To je díky 5 šroubům prvně uchyceno a celý systém je tak hermeticky uzavřen. Vespod fermentoru se nachází výpustní ventil, kudy je možné odpustit digestát. Ve vrchní části se nachází trojice samouzavíratelných ventilů, díky kterým je možné připojit monitorovací zařízení průtoku i případné další přístroje. Pro dávkování složí trubice, jejíž ústí musí být ponořeno v digestátu. Aby bylo dosaženo důkladného utěsnění, slouží k jejímu uzavírání 30 cm dlouhé válcové závaží se stejným průměrem, jako má trubice. Krom této funkce slouží toto závaží také ke shrnutí zbytků vstupního materiálu z trubice ke dnu fermentoru.

Obrázek 9 - Pokusný fermentor v provozu a vyprázdněný

K monitorování průběhu výroby bioplynu, tedy kinetiky celého procesu, je využito přístrojů MilligasCounter firmy Retsch (MGC). Znázornění tohoto principu obsahuje Obrázek 10.

Plyn vytvořený uvnitř fermentoru putuje do připojeného MGC, kde je ukládán v jedné ze dvou dutin „fipperu“. Po dosažení určitého objemu plynu (v tomto případě cca 3 ml) je dosaženo dostatečného tlaku k překlopení „flipperu“ do opačné polohy. Zároveň je vyslán impuls do zaznamenávacího zařízení s údajem o času a průtoku. Takto lze plně automatizovat průběžné sledování kinetiky výroby bioplynu bez nutnosti neustálého dohledu. Překlopné zařízení je uloženo v silikonovém oleji, který je nutno v pravidelných intervalech doplňovat.

Bioplyn po té prochází přes separátor kondenzátu, kde se zachytává vodní pára a část sulfanu, který je také obsažen. Uskladnění je realizováno pomocí hermeticky uzavřených vaků opatřených samo uzavíratelným ventilem. Tyto vaky jsou každých 24 hodin vyměněny, obvykle před prvním vložením nové dávky vstupního materiálu. Po té je postupem popsaným v kapitole 4.5 provedeno měření obsahu metanu, oxidu uhličitého, sulfanu a kyslíku. Je žádoucí, aby obsah kyslíku byl po úrovní 1%, což je možné v rámci používané techniky považovat za chybu měřící metody a lze tedy předpokládat zajištění plně anaerobního procesu. K ověření hodnot naměřených MGC byly namátkově prováděny i měření objemu plynu v záchytných vacích.



a – přívod plynu z fermentoru

b –„ flipper“

c – hladina silikonového oleje

d – odvod plynu do sběrného vaku

e – počítadlo průtoku

1 – Výchozí bod po resetování MGC, plyn proudí do levé části „flipperu.“

2 – Plyn se zachytává v levé části „flipperu,“ dokud není dosaženo kritického objemu.

3 – Dosažení kritického objemu, uvolnění plynu a překlopení „flipperu“ do opačné polohy

4 – Plyn proudí do pravé části „flipperu.“

5 – Plyn se zachytává v pravé části „flipperu,“ dokud není dosaženo kritického objemu.

6 – Dosažení kritického objemu, uvolnění plynu a překlopení „flipperu“ zpět do výchozí polohy

Obrázek 10 – Schéma principu fungování MGC

Dávkování vstupního materiálu bylo zajištěno manuálně ve 3 dávkách za den. Hmotnost vstupního materiálu se odvíjela od naměřeného obsahu organické sušiny v materiálu a při respektování konstantního zatížení fermentoru $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$. Zatížení fermentoru je název pro množství organické sušiny, která je použita pro denní vsázku.

Vzorec pro výpočet zatížení fermentoru (1):

$$B_R = \frac{m.c}{V_R} \qquad (1)$$

B_R ... zatížení fermentoru [$kg_{org.suš} \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$]

m ... hmotnost vsázky [$kg.den^{-1}$]

c ... koncentrace organické sušiny [%]

V_R ... využívaný objem fermentoru [l]

Doporučené hodnoty konstantního zatížení fermentoru jsou různé, WATTER (2009) a GRUBER (2003) doporučují rozmezí od 2 do 3 $kg_{org.\ suš}.m^{-3}$, při kterém by nemělo dojít k narušení procesu. GANS et. al. (2010) uvádí jako horní hranici pro konvenční bioplynové stanice 5 $kg_{org.\ suš}.\ m^{-3}$. Tyto hodnoty korespondují s praxí. Stabilní provoz v laboratorních podmínkách v rozmezí 2 až 6 $kg_{org.\ suš}.\ m^{-3}$ popisují např. MICHAELSEN a KLOSS (1987).

K dosažení uceleného přehledu o chování bioplynu bylo přistoupeno ke dvěma pokusným cyklům. Pro první cyklus pokusů bylo zvoleno mírné zatížení při hodnotě 4,5 $kg_{org.\ suš}.\ m^{-3}$. Pro druhý cyklus bylo stanoveno nižší zatížení na hodnotě 2,5 $kg_{org.\ suš}.\ m^{-3}$.

4.2.1 Materiály použité jako vsázka

Jako vsázka do pokusných fermentorů byly použity tyto materiály:

- Siláž cukrové řepy (laguna) – hlavní sledovaný materiál (zkratka CŘL)
- Kukuřičná siláž – referenční materiál, druhá složka ve směsích (zkratka KS)
- Siláž cukrové řepy – referenční materiál, laboratorní siláž (zkratka CŘR)

Hlavním sledovaným materiálem je siláž z cukrové řepy skladovaná pomocí nekonvenční metody v otevřené laguně. Zkoumán byl průběh vývoje bioplynu jak z čistého materiálu i ze směsí s 60%, 50% a 25% podílem kukuřičné siláže. Tyto poměry jsou stanoveny s ohledem na omezení podílu kukuřičné siláže ve vsázce uvedeném v kapitole 3.9.4. Jako referenční materiál také byla zkoumána samotná siláž z kukuřice a drcená cukrová řepa.

4.3 Stanovení obsahu sušiny

Při stanovování obsahu sušiny a také obsahu organické sušiny bylo postupováno podle norem DIN 12880 a DIN 12879. Tyto normy jsou v souladu s evropskými a tedy i na ně navazujícími českými normami ČSN/EN 12880: Charakterizace kalů – Stanovení veškerých látek a obsahu vody a ČSN/EN 12879: Charakterizace kalů - Stanovení ztráty žíháním.

K určení hmotností byly v tomto případě použity váhy KERN ABT 320-4M s citlivostí až 0,1 mg. Pro stanovení sušiny je nejprve zvážena keramická nádoba. Po té je přidáno přibližně 5 g měřeného materiálu a znovu je provedeno měření hmotnosti.

Vzorek je po té umístěn do laboratorní pece Venticell 222, kde je vysušován při teplotě 105 °C, dokud není dosaženo konstantní hmotnosti. Ta je znovu zaznamenána. Dalším procesem je žíhání vzorků v muflové peci Nabertherm L311 B170. Nejprve po dobu 30 minut při teplotě 220 °C a návazně 120 minut při teplotě 550 °C. Po žíhání je nádoba ochlazena v exsikátoru a následovně znovu odečtena hmotnost. Zařízení jsou zobrazena na Obrázek 11. (BENNDORF et. al., 2012)

Obrázek 11 - Laboratorní váhy KERN ABT 320-4M a laboratorních pecí Venticell 222 a Nabertherm L311 B170

Vzorec výpočtu obsahu sušiny (2):

$$suš.[\%] = 100 \cdot \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \quad (2)$$

suš. ... Obsah sušiny v %

m_1 ... hmotnost prázdné nádoby

m_2 ... hmotnost nádoby se vzorkem před sušením

m_3 ... hmotnost nádoby se vzorkem po sušení

Vzorec výpočtu obsahu organické sušiny (3):

$$org.\ suš.[\%] = 100 \cdot \frac{m_3 - m_4}{m_3 - m_1} \quad (3)$$

org. suš. ... Obsah sušiny v %

m_1 ... hmotnost prázdné nádoby

m_2 ... hmotnost nádoby se vzorkem před sušením

m_3 ... hmotnost nádoby se vzorkem po sušení

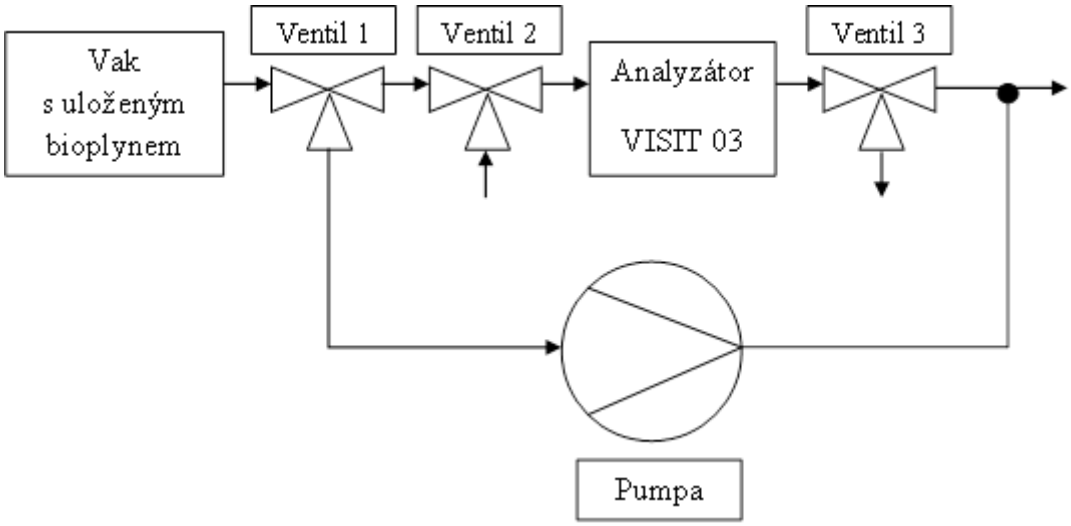
m_4 ... hmotnost nádoby se vzorkem po žíhání

4.4 Měření pH

Stanovení pH sledovaných materiálů bylo prováděno podle DIN EN 15933, resp. Českého ekvivalentu ČSN EN 15933. Používán byl digitální měřicí přístroj Palintest Micro 500.

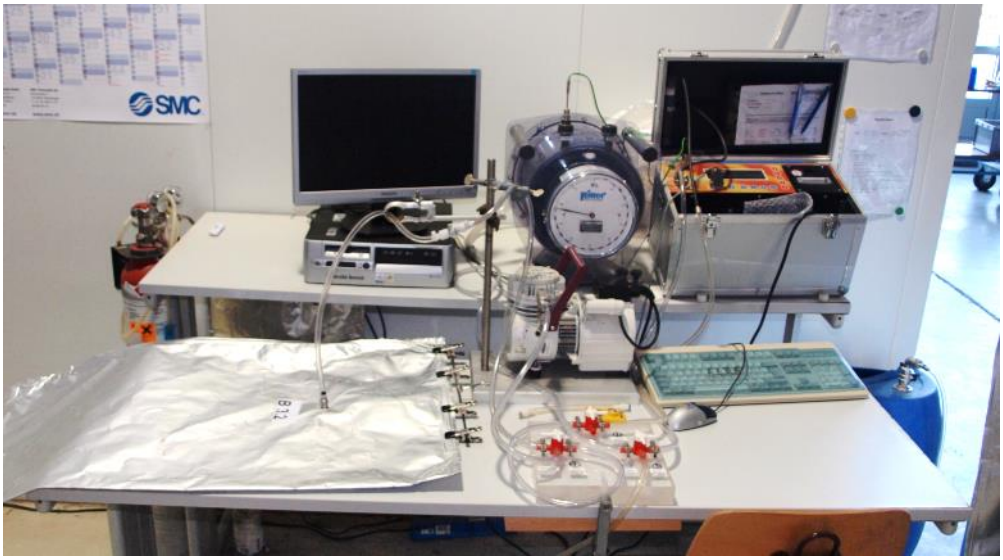
4.5 Měření složení bioplynu

K měření složení bioplynu sloužil přístroj Visit 03 osazený sondami pro zjištění obsahu CH_4, CO_2, O_2 a H_2S. Schéma zapojení obsahuje Obrázek 12:



Obrázek 12 - schéma zapojení analyzátoru VISIT 03

Z vaku, kde je uložen, prochází bioplyn analyzátorem VISIT 03. Ventil 1 je tedy otevřen tak, aby jím plyn procházel skrz ventil 2 do analyzátoru. Po té prochází ventilem 3 ven ze soustavy. Po odečtení stabilních hodnot jsou ventily 1 a 3 přestaveny na okruh pumpy, kterou je zbývající plyn odčerpán přes vodní lázeň. Nastavení Ventilů 2 a 3 v tomto umožňuje průchod vzduchu analyzátorem a tedy očištění měřících čidel. Je tak přecházeno možnému zkreslení výsledků, pokud by na sebe jednotlivá měření bezprostředně navazovala. Celé zapojení zobrazuje Obrázek 13.



Obrázek 13 – Měřící soustava pro analýzu složení bioplynu

4.6 Měření obsahu cukrů

Měření celkového obsahu cukrů bylo provedeno externě dle metody VDLUFA III 7.1.3. Metoda spočívá v polarimetrickém měření, výsledkem je hodnota obsahu cukrů kalkulovaná jako sacharóza.

4.7 Monitorování produkce a důležitých vlastností briket

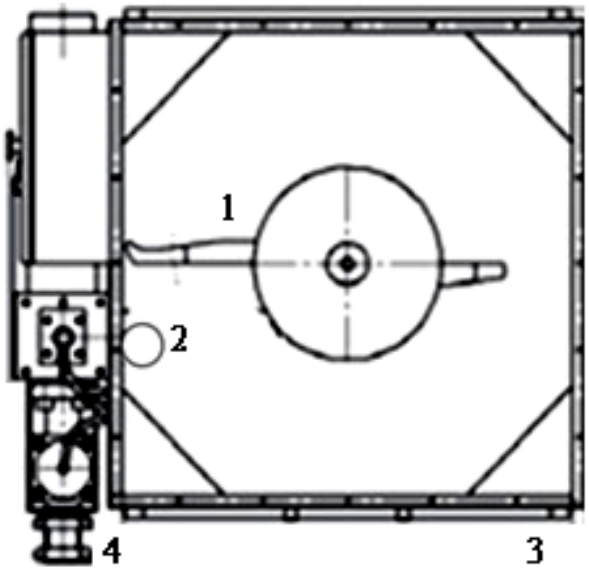
Jako vstupní materiál byla pro výrobu pokusných briket použita dezintegrovaná stébla těchto rostlin:

- Chrastice rákosovitá
- Stonek lnu setého olejného, odrůdy Amon
- Stonek lnu setého olejného, odrůdy Flanders
- Stonek lnu setého olejného, odrůdy Bilstar
- Stonek lnu setého olejného, odrůdy Lola

Bylo také přistoupeno ke sledování změn vlastností briket ze směsí výše uvedených druhů fytomasy ve směsi s dřevními hoblinami. Podíl každé složky tvořil 50%. Frakce stébelnatých materiálu odpovídala drcení na šrotovníku vybaveném sítem s průměry otvorů 12 mm.

K výrobě briket byl použit poloautomatický hydraulický lis Briklis BRIKSTAR HLS 50. Lis je schopen špičkové výkonnosti až přibližně 55 kg briket za hodinu. Jedná se tak o simulaci výroby v menších podnicích, případně podnicích, kde jsou brikety vyráběny jako vedlejší produkt k hlavní hospodářské činnosti. Obrázek 14 znázorňuje schéma listu.

.



1 – rotující podavač, 2 – dávkovací otvor s pístem, 3 – násypka, 4 – výstupní otvor

Obrázek 14 - Schéma lisu Briklis BRIKSTAR HLS 50

Materiál je přepraven do násypky o objemu 4 m^3 a postupně shrnován rotujícím přihrnovačem k dávkovacímu mechanismu. Samotná briketa je pak tvořena tlakem vyvíjeným hydraulickým pístem proti již zhutněnému a vytlačovanému materiálu. Je tak vytvářen válec o průměru cca 65 mm, po dosažení dostatečné hustoty dojde k jeho posunutí a odkrojení nebo odlomení brikety v délce typicky 30 – 50 mm. Podrobný přehled důležitých parametrů použitého lisu obsahuje Tabulka 8.

Tabulka 8 - Parametry briketovacího lisu

Výkonnost [$kg.h^{-1}$]	50 ± 10 %
Hmotnost [kg]	520
Napájecí napětí [V]	400
Instalovaný příkon [W]	4,3
Délka lisované brikety [mm]	30 - 50
Měrná hmotnost brikety [$kg.m^{-3}$]	700 - 1100

Brikety byly podrobeny zkoušce mechanické odolnosti dle ČSN P CEN/TS 15210-2. Obrázek 15 obsahuje schéma tohoto zařízení. Testované vzorky se v průběhu tohoto testu otáčejí v uzavřeném bubnu s jednou lopatkou, kterou je buben částečně rozdělen. Zde jsou vystavovány nárazům do kovové konstrukce bubnu, do lopatky a také mezi sebou a tak dochází k otěru. Hodnota mechanické odolnosti je pak vypočítána jako podíl hmotnosti zachovalých briket vůči hmotnosti briket před testováním.

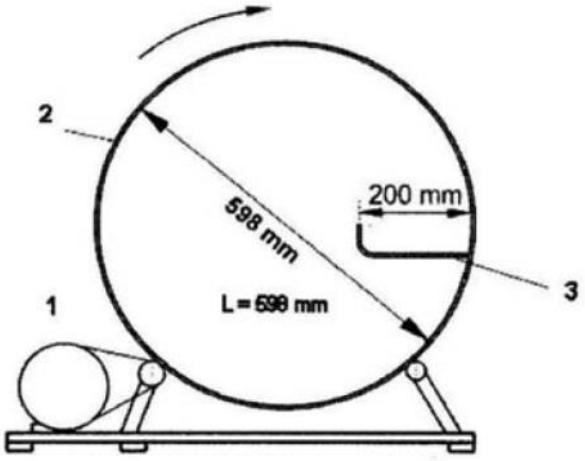
Vzorec výpočtu mechanické odolnosti (4):

$$\text{mechanická odlonost} = \frac{m_2}{m_1}.100 \qquad (4)$$

m_2... hmotnost (g)

m_1... výška brikety (g)

Výsledky tohoto testu jsou důležité zejména pro kvalifikovaný odhad znehodnocení briket v průběhu jejich přepravy, naskladňování, vyskladňování a další manipulace. (BROŽEK a NOVÁKOVÁ, 2010) (BROŽEK a NOVÁKOVÁ, 2008)



1 – motor; 2 – buben; 3 – lopatka

Obrázek 15 – Schéma zařízení pro testování mechanické odolnosti.

Zdroj: BROŽEK (2011)

U briket byly také měřeny základní rozměry (výška, průměr) a hmotnost. Měření rozměrů bylo provedeno pomocí posuvného měřítka, měření hmotnosti pomocí laboratorních analytických vah Mettler AE 160. Od každého typu brikety bylo k měření vybráno 10 vzorků a výsledná hodnota pak představovala vypočtený průměr z jejich hodnot. Díky takto naměřeným veličinám bylo možné vypočíst orientační hodnoty objemu briket a také jejich měrné hmotnosti. Sledován byl také poměr slisování vylisovaných briket. Tyto veličiny jsou důležité pro zjištění míry komprese materiálu a tedy úspoře prostor při skladování a distribuci (BROŽEK, 2011). Obdobně jako měrná je vypočítána také sypná hmotnost, jen jako objem je v tomto případě uvažován objem nádoby, do které jsou brikety sypány.

Vzorec výpočtu objemu brikety (5):

$$V = v.\pi r^2 \tag{5}$$

V… objem (mm^3)
v… výška brikety (mm)
r… průměr brikety (mm)

Vzorec výpočtu měrné hmotnosti brikety (6):

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{6}$$

ρ …měrná hmotnost ($kg.m^{-3}$)
m… hmotnost (kg)
V…objem (m^3)

Vzorec výpočtu poměru slisování (7):

$$\textbf{poměr slisování} = \mathbf{1}:\frac{\boldsymbol{\rho_2}}{\boldsymbol{\rho_1}} \tag{7}$$

ρ_1 …měrná hmotnost vstupního materiálu ($kg.m^{-3}$)
ρ_2 …měrná hmotnost brikety ($kg.m^{-3}$)

4.8 Stanovení výhřevnosti

Spalné teplo je teplo, které se uvolní spálením 1 kg tuhého nebo kapalného paliva při úplné kondenzaci vodních par uvolněných z vlhkosti v něm obsažené a vodních par vzniklých spalováním vodíku vázaného v hořlavině v něm obsažené. Bylo stanoveno dle ČSN ISO 1928:1999 a ČSN 44 1377:1978. Výhřevnost je rozdíl spalného tepla a výparného tepla vlhkosti paliva a vody vzniklé spalováním vodíku chemicky vázaného v hořlavině paliva o hmotnosti 1 kg při teplotě 25 °C. Byla stanovena dle ČSN 44 1352.

4.9 Metody technicko ekonomického hodnocení

V případě sledovaných projektů bylo přistoupeno k hodnocení na základě porovnání nákladů na jednotku produkce (tj. energie, hmotnosti vyprodukovaných briket nebo hmotnosti materiálu určeného pro siláž). Pro stanovování odpisů využitých v ekonomických rozborech projektů bylo použito úvah daňových odpisových skupin dle zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů. Tabulka 9 uvádí příslušné odpisové skupiny.

Tabulka 10 obsahuje přehled používaných koeficientů ke stanovení průměrných ročních nákladů na provoz u jednotlivých sledovaných projektů.

Výpočty jsou prováděny s cenami bez DPH.

Tabulka 9 - Doba obnovy jednotlivých skupin investic dle odpisových skupin

Číslo odpisové skupiny	**Doba odpisování [let]**
1	3
2	5
3	10
4	20
5	30
6	50

Tabulka 10 – Koeficienty a sazby pro stanovování průměrných ročních provozních nákladů

Roční provozní náklady na údržbu:	[%]
Z vybavení, mechanizace a technologických zařízení (skupiny 1 – 3)	5
Z vedení, staveb a budov (skupiny 4 – 5)	1
Ostatní náklady (poplatky, osobní aj.)	
Z celkových investic na pořízení	0,7
Náklady na el. energii	4,50 Kč. kWh^{-1}

V případě briketovacího listu je struktura nákladů jednodušší. Výpočet nákladů vychází z tohoto modelu:

- Průměrná výkonnost lisu je uvažována 40 $kg.h^{-1}$.
- Nominální časový fond stroje je uvažován pro 250 dní ročně při desetihodinovém využití denně, lis je schopen vyrobit 100 tun matriálu ročně.
- Vzhledem k automatizaci procesu je třeba zajistit obsluhu pouze ve 20 % pracovní doby.
- Náklady na obsluhu představují 125 $Kč.h^{-1}$.
- Roční náklady na údržbu představují 5 % z pořizovací ceny.
- Cena elektrické energie: 4,50 $Kč.kWh^{-1}$.

5 Výsledky

5.1 Charakteristika výchozích podmínek

5.1.1 Dopravní a zpracující linka cukrové řepy

Měření dopravy bylo provedeno ve spolupráci se zemědělským podnikem Dummerstorf. Sklizené bulvy cukrové řepy byly uskladněny na kraji pole v blízkosti komunikace na hromadách trojúhelníkového průřezu s délkou základny 8 - 9 m a výškou přibližně 4 m.

Z takto vytvořených hromad byla pak prováděna nakládka samojízdným čistícím překladačem ROPA Euro Maus 3. Jako transportní prostředky byly použity:

- Traktor MasseyFerguson 8480 Dyna VT jako energetický prostředek a návěs KrampeKipper Big Body 750
- Mercedes Actros 1844 s návěsem NFP-Eurotrailer SKA

Důležité parametry včetně nosností obou typů použitých souprav obsahují Tabulka 11 Tabulka 12, Tabulka 13 a Tabulka 14.

Tabulka 11 – parametry návěsu Krampe

Návěs Krampe Kipper Big Body 750	
Pohotovostní hmotnost (dle užitého nástavce)	cca 7000 - 7800 kg
Užitečná hmotnost při jízdě na silnici	cca 17000 kg
Užitečná hmotnost konstrukční	cca 22000 kg
Objem korby bez silážního nástavce	26 m³

Zdroj: Krampe

Tabulka 12 - parametry energetického prostředku Massey Fergusson

Traktor Massey Ferguson 8480 Dyna VT	
Hmotnost	9410 kg
Výkon motoru	235 kW (320 koní)
Maximální rychlost	40 $km.h^{-1}$

Zdroj: Massey Ferguson

Tabulka 13 – Parametry Mercedesu Actros

Mercedes Actros 1844	
Hmotnost	cca 18000 kg
Výkon motoru	320 kW (435 koní) při 1800 ot./min.

Zdroj: Mercedes Benz

Tabulka 14 – Parametry návěsu NFP Eurotrailer

Návěs NFP-Eurotrailer SKA	
Pohotovosntí hmotnost	cca 6900 kg
Užitečná hmotnost konstrukční	cca 29100 kg
korby bez silážního nástavce	53,24 m^3

Zdroj: NFP-Eurotrailer

Obrázek 16 - Nakládka do Mercedes Benz Actros

Obrázek 17 - Nakládka do soupravy s návěsem Krampe

5.1.2 Zpracování cukrové řepy

Ke zpracování cukrové řepy pro výrobu bioplynu je potřeba důkladného očištění všech bulev a jejich drcení. Toho je dosaženo dvoustupňovou čistící linkou kombinující suchý proces, vodní lázeň a využívající kladívkové drtičky. Všechny stroje využívají dieselový pohon. Celou linku zachycuje Obrázek 18.

Obrázek 18 - Linka na zpracování cukrové řepy pro potřeby bioplynové stanice

Z hromad umístěných vedle laguny byly pomocí dvounápravového kolového nakladače JCB 426E HT překládány bulvy cukrové řepy do násypky separátoru Doppstadt SM 620 (důležité parametry obsahuje Tabulka 15). Jedná se o model s rotujícím bubnovým sítem a v protisměru rotujícím čistícím kartáčem.

Tabulka 15 - Parametry separátoru Doppstadt SM 620

Doppstadt SM 620	
Maximální otáčky bubnu[ot.min^{-1}]	18
Maximální točivý moment [Nm]	400
Objem násypky [m^3]	5

Zdroj: Doppstadt

Po prvním stupni očištění od kamenů zbytků zeminy byly dále přepravovány do řepné pračky a odkameňovače Doppstadt RW 508 (parametry obsahuje Tabulka 16).

Tabulka 16 - Parametry odkaměňovače Doppstadt RW 508

Doppstadt RW 508	
Kapacita [cm^3]	4250
Točivý moment [Nm]	400
Vertikální zatížení [kg]	2000

Zdroj: Doppstadt

Zde prošly druhým, řetězovým, separátorem kamení a po té byly ponořeny do proudící vody, která je dále unášela do bubnu. Tento princip separace cukrové řepy od nečistot v podobě zbylého kamení, ulpělé zeminy a písku využívá rozdílných hustot. Bulvy plavou, zatímco zmíněné nečistoty se oddělí a sestoupí ke dnu. Je však potřeba vytvořit solný roztok ke zvýšení hustoty lázně, aby bylo zabezpečeno, že bulvy budou skutečně plavat. V bubnu dochází k dočištění a sušení. Použitá voda prochází čistícím cyklem s lamelovými separátory.

Takto očištěné bulvy jsou dalším pásovým dopravníkem předávány do násypky rychloběžného drtiče Doppstadt AK 230 (parametry obsahuje Tabulka 17). Materiál je drcen rotujícími kladivy a následně prochází dodrcovacím košem o průměru otvorů 50 mm. Výsledný materiál je sypký s velikostí částic v řádu desítek mm a byl pomocí pásového vynášecího dopravníku dopraven do severovýchodního rohu laguny.

Tabulka 17 – Parametry drtiče Doppstadt AK 203

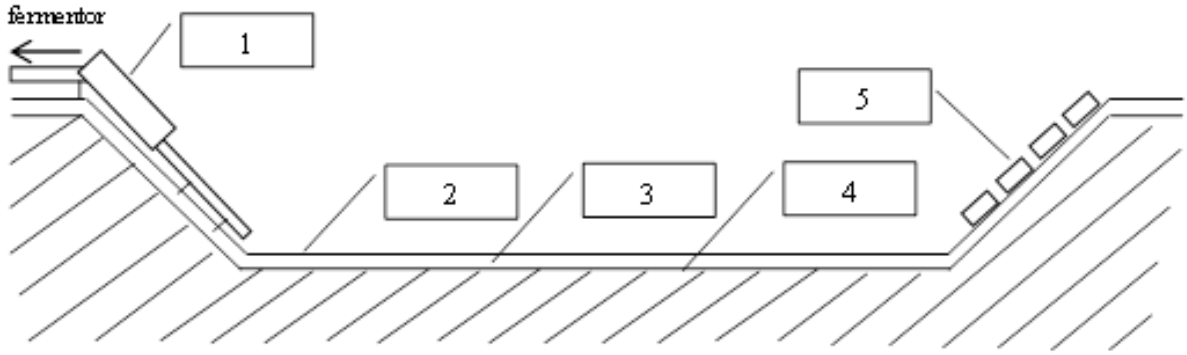
Doppstadt AK 203	
Výkon motoru [kW]/[HP]	150/204
Pracovní otáčky [ot./min]	1140 - 1320
Počet kladiv	16
Max. výška vkládané hmoty [mm]	530

Zdroj: Doppstadt

5.1.3 Charakteristika bioplynové stanice Dummerstorf a silážní laguny

Vlastní měření metody silážování v laguně probíhala ve spolupráci s bioplynovou stanicí Dummerstorf. Stanice také disponuje cca 1450 m teplovodem, pro který je nasmlouván odběr tepelné energie o hodnotě 5500 GJ ročně. Roční tepelné ztráty vedením činí 16,00 % tepelné energie ročně.

Silážní laguna je vyhloubena pod úroveň terénu a vybavena podle konstrukčních návrhů společnosti Sattler AG a Ceno Membrane Technology GmbH. Od půdy je oddělena pomocí třech vrstev materiálu. Jde o nejspodnější fólii pro detekci úniků, detekeční vložku, která funguje na principu vzlínavosti a základní fólie. Uprostřed západní strany je umístěna pumpa dávkující materiál přímo do fermentoru. Po obvodu laguny jsou umístěny pneumatiky jako zátěž. Maximální kapacita laguny je 2700 tun materiálu, přibližně 500 tun bylo v laguně již uskladněno z minulého roku. Průřez lagunou je znázorněn ve schématu – viz Obrázek 19.



1 – pumpa dávkující cukrovou řepu do fermentoru, 2 – vrchní vrstva izolačního materiálu, 3 - detekční vložka, 4 – detekční fólie, 5 – zátěž z pneumatik

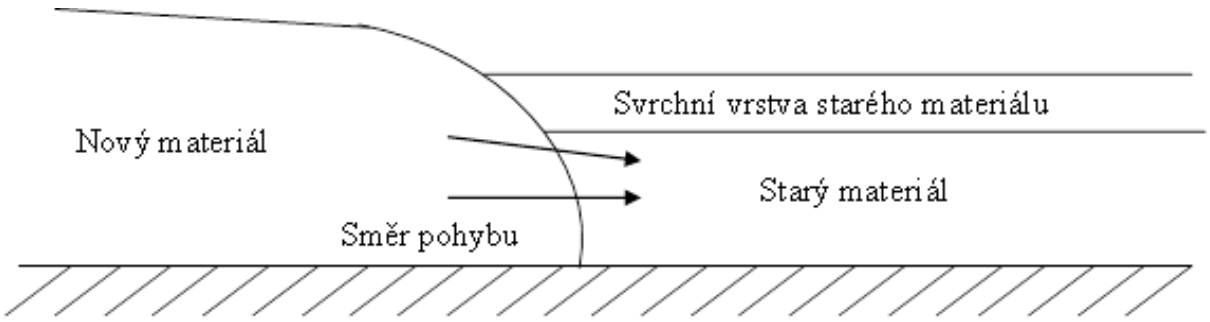
Obrázek 19 – boční průřez lagunou

Po naplnění laguny se ve svrchní části vyvíjí vrstva zoxidovaného materiálu, která má za úkol chránit zbytek sklizně před degradací. Tento vývoj byl sledován v týdenních rozestupech. Určován byl vývoj pH, obsah sušiny a obsah cukru.

Plnění probíhá ze severovýchodního rohu laguny. Postavení výstupu ze zpracovací linky znázorňuje Obrázek 20.

Obrázek 20 – Fotografie plnění silážní laguny.

Silážovaný materiál je v hodinách následujících po plnění rovnoměrně rozprostřen v laguně a vytlačuje starou cukrovou řepu západním směrem, zejména do obou rohů. Je tak alespoň částečně zajištěno spotřebování staré cukrovky a přípravy rohu laguny pro plnění není třeba každoročně provádět čištění od starého materiálu z předchozí sklizně a případná nutnost jeho výběru je usnadněna polohou. Tento proces znázorňuje Obrázek 21.



Obrázek 21 - schéma pohybu materiálu v laguně

5.1.4 Charakteristika distribuční sítě bioplynu

Doprava plynovodem řeší potřebu distribuce bioplynu na delší vzdálenosti. Toto řešení umožňuje vyřešit např. optimalizovat využití tepelné energie, pokud není v místě výroby zajištěna její spotřeba, případně je vzdálenost tak vysoká, že vedení teplovodem by bylo neefektivní.

Ve spolupráci s bioplynovou stanicí Rothenkirchen bylo prováděno měření složení bioplynu, aby byly odhaleny případné změny kvality. Stanice (parametry obsahuje Tabulka 18), kromě vlastní potřeby, dodává pomocí sítě tzv. mikroplynovodů bioplyn do připojených vzdálených kogeneračních jednotek ve městech Samtens a Bergen. Celková délka sítě čítá 19,02 km. Uvažované teplo odebrané mimo stanici pak představuje 19 500 MWh za rok k ohřevu vody, dodávkám do CZT a průmyslovému využití.

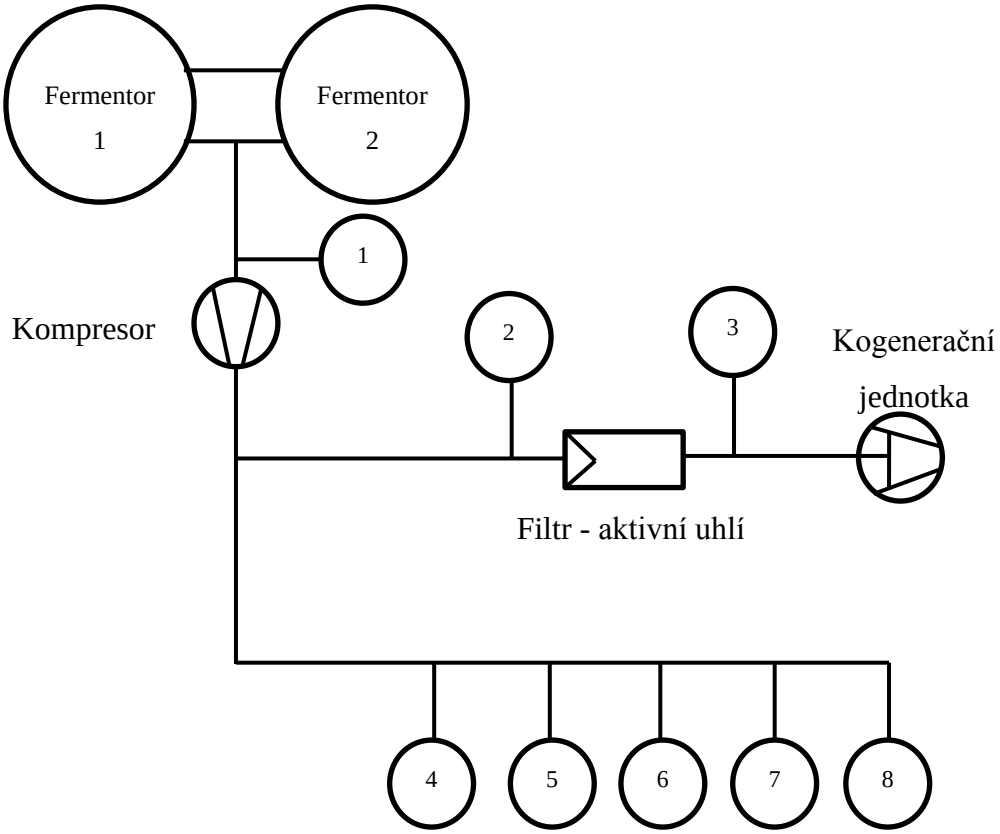
Tabulka 18 – Parametry bioplynové stanice Rothenkirchen

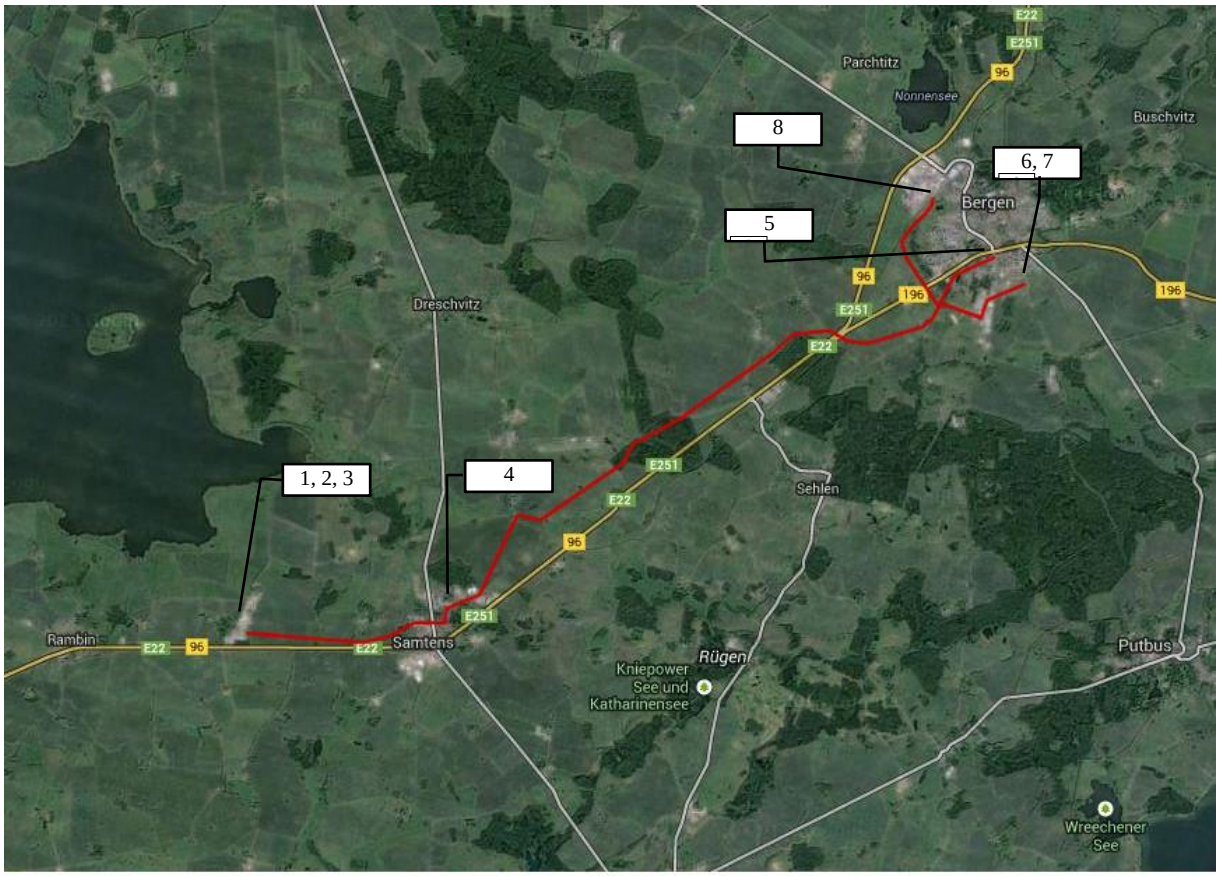
Paramter	**Hodnota**
Celková délka sítě plynovodů [km]	19
Celkový elektrický výkon dislokovaných kogeneračních jednotek [kW]	2350
Celkový počet kogeneračních jednotek v místě stanice	1
Celkový počet vzdálených kogeneračních jednotek	5

Vzdálenosti jednotlivých kogeneračních jednotek od bioplynové stanice znázorňuje Tabulka 19, jejich polohu pak ukazuje Obrázek 22, včetně uložení mikroplynovodu a jeho větvení.

Tabulka 19 - Délky jednotlivých tras mikroplynovodů

Kogenerační jednotka	**vzdálenost od BP [km]**
Samtens	3,90
Bergen, Stralsunder Chausee	14,00
Bergen, Straße der DSF 1	15,30
Bergen, Straße der DSF 2	15,50
Bergen, Friedenstraße	16,10


Fermentor 1
Fermentor 2
1
Kompresor
2
3
Kogenerační jednotka
Filtr - aktivní uhlí
4
5
6
7
8


8
6, 7
5
1, 2, 3
4
Parchtitz
Nonnensee
Buschvitz
Bergen
Dreschvitz
Sehlen
Rambin
Samtens
Rügen
Kniepower See und Katharinensee
Putbus
Wreechener See
E22
E251
96
196

1 – Rothenkirchen – před kompresorovou jednotkou

2 – Rothenkirchen – kogenerační jednotka – před filtrem s náplní aktivního uhlí

3 – Rothenkirchen – kogenerační jednotka – za filtrem s náplní aktivního uhlí"

4 – Samtens – Kogenerační jednotka

5 – Bergen – Kogenerační jednotka Stralsunder Chaussee

6 – Bergen – Kogenerační jednotka Strasse der DSF 1

7 – Bergen – Kogenerační jednotka Strasse der DSF 2

8 – Bergen – Kogenerační jednotka Friedensstraße

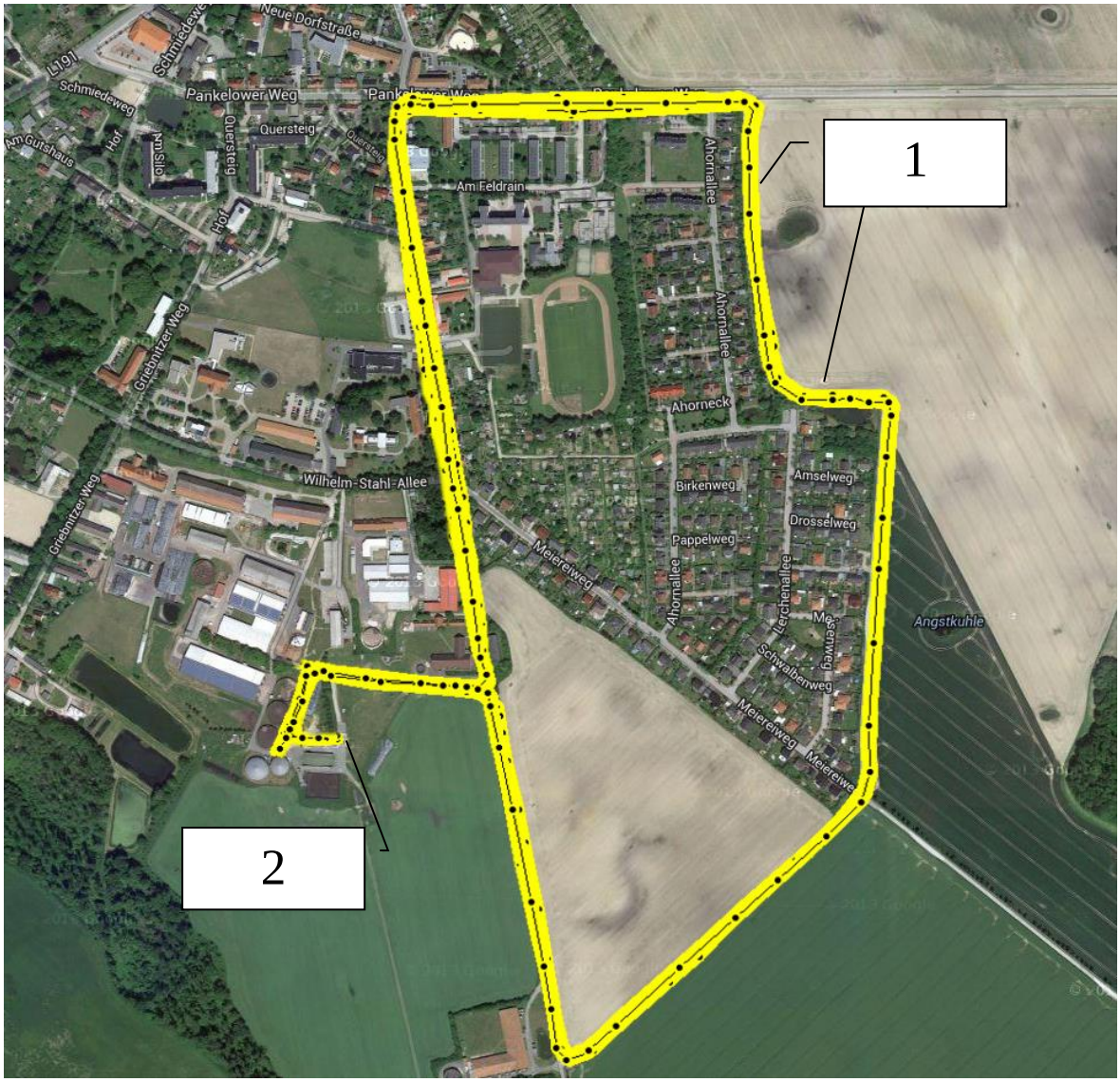
Obrázek 22 – Schéma vedení mikropylnovodu a připojení jednotlivých kogeneračních jednotek včetně znázornění na mapě v měřítku 1:80000

5.2 Výsledky měření procesů spojených s provozem bioplynové stanice

5.2.1 Výsledky měření dopravy cukrové řepy

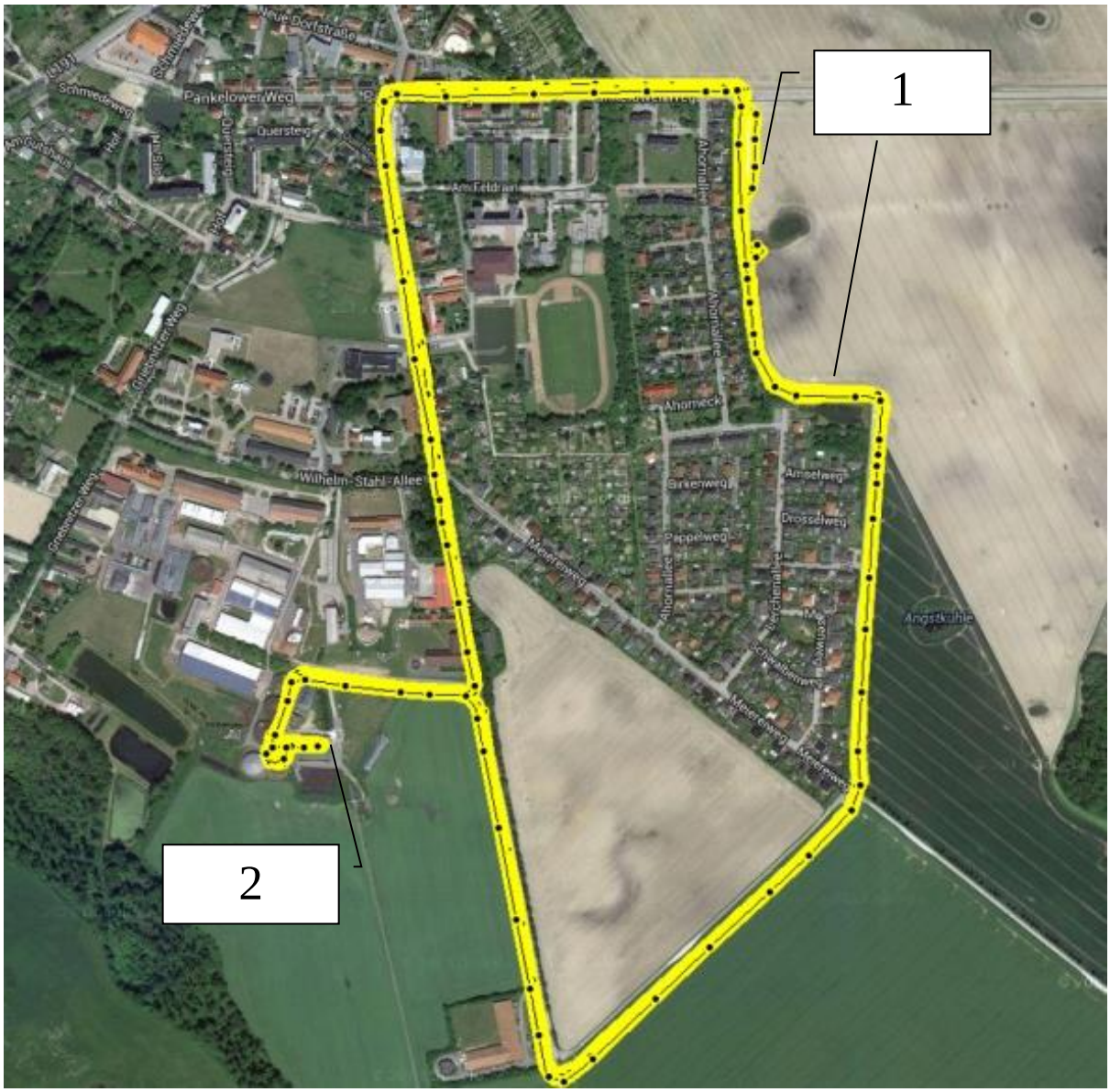
Mercedes Actros s návěsem NFP Eurotrailer absolvoval 50 dopravních cyklů o celkové délce 185,10 km. Celková doba provozu tohoto dopravního prostředku byla 24 hodin 23 minut a 40 sekund. Průměrně tedy jeden dopravní cyklus měřil 3,70 km a trval 29 minut a 16 sekund. Celková spotřeba paliva byla 75,83 l nafty. Přepraveno bylo 1400 tun materiálu. Průměrná rychlost soupravy během přepravy materiálu byla 16,15 $km.h^{-1}$, bez nákladu pak 15,15 $km.h^{-1}$. Tabulka 20 uvádí podrobné údaje o provozu. Celkový přepravní výkon soupravy činil 137 054,75 tkm, přepočet na jeden dopravní cyklus představuje 2741,10 tkm. Obrázek 24 znázorňuje dopravní cykly soupravy na mapě.

Dopravní souprava Massey Ferguson 8480 Dyna VT a návěsu Krampe Kipper Big Body 750 absolvovala 36 dopravních cyklů o celkové délce 141,26 km. Čas využití této soupravy byl 17 hodin 22 minut a 50 sekund. Průměrně tak jeden dopravní cyklus měřil 3,82 km a trval 28 minut a 11 sekund. Spotřeba soupravy byla 139,14 l nafty. Přepraveno bylo 625 tun. Průměrná rychlost soupravy během přejezdů s nákladem činila 18,22 $km.h^{-1}$, prázdná souprava dosahovala průměrné rychlosti 21,78 $km.h^{-1}$. Tabulka 21 obsahuje podrobné údaje o provozu. Celkový přepravní výkon soupravy činil 48 550,00 tkm, přepočet na jeden dopravní cyklus činí 1312,16 tkm. Obrázek 24 znázorňuje dopravní cykly soupravy na mapě.



1 – Místa nakládky; 2 – Místo vykládky

Obrázek 23 – Znázornění dopravních cyklů soupravy Mercedesu Actros a NFP Eurotrailer na mapě



1 – Místa nakládky; 2 – Místo vykládky

Obrázek 24 – Znázornění dopravních cyklů soupravy Massey Ferguson 8480 Dyna VT a Krampe Kipper Big Body 750 na mapě

Tabulka 20 – Parametry jednotlivých dopravních cyklů Mercedesu Actros a NFP Eurotrailer

Celkem		
	Vzdálenost [km]	Čas [hh:mm:ss]
Přejezd s nákladem	97,90	5:55:02
Přejezd prázdný	86,55	6:04:23
Nakládka	0,34	5:42:34
Vykládka	0,27	1:43:21
Prostoj	0,00	4:58:20
Celkový součet	**185,10**	**24:23:40**
Počet cyklů	50	
Přepočet na cyklus		
	Vzdálenost [km]	Čas [hh:mm:ss]
Přejezd s nákladem	1,96	0:07:17
Přejezd prázdný	1,73	0:06:51
Nakládka	0,01	0:07:06
Vykládka	0,01	0:02:04
Prostoj	0,00	0:05:58
Celkový součet	**3,70**	**0:29:16**
Další parametry		
Přepravený materiál [t]	1 400,00	
Přepravený materiál na cyklus [t]	28,00	
Přepravní výkon [tkm]	137 054,75	
Přepravní výkon na cyklus [tkm]	2 741,10	
Spotřeba [l]	75,83	
Měrná spotřeba na km [$l.km^{-1}$]	0,41	
Měrná spotřeba na t materiálu [$l.t^{-1}$]	0,05	

Tabulka 21 – Parametry jednotlivých dopravních cyklů soupravy Massey Ferguson 8480 Dyna VT a návěsu Krampe Kipper Big Body 750

Celkem		
	Vzdálenost [km]	Čas [hh:mm:ss]
Přejezd s nákladem	77,68	4:15:51
Přejezd prázdný	62,90	2:53:25
Nakládka	0,34	3:40:03
Vykládka	0,27	0:54:25
Prostoj	0,00	5:39:06
Celkový součet	**141,19**	**17:22:50**
Počet cyklů	37	
Přepočet na cyklus		
	Vzdálenost [km]	Čas [hh:mm:ss]
Přejezd s nákladem	2,10	0:06:55
Přejezd prázdný	1,70	0:04:41
Nakládka	0,01	0:05:57
Vykládka	0,01	0:01:28
Prostoj	0,00	0:09:10
Celkový součet	**3,82**	**0:28:11**
Další parametry		
Přepravený materiál [t]	625,00	
Přepravený materiál na cyklus [t]	16,90	
Přepravní výkon [tkm]	48 550,00	
Přepravní výkon na cyklus [tkm]	1 312,16	
Spotřeba [l]	139,14	
Měrná spotřeba na km [$l.km^{-1}$]	0,98	
Měrná spotřeba na t materiálu [$l.t^{-1}$]	0,22	

5.2.2 Výsledky měření zpracování cukrové řepy

Výrobci udávaná teoretická výkonnost celé linky na zpracování cukrové řepy je 200 $t.hod^{-1}$ při spotřebě 50 l nafty na hodinu provozu bez nakladače. Reálné výsledky uvádějí Tabulka 22 a Tabulka 23.

Tabulka 22 – časové údaje provozu linky na zpracování cukrové řepy

Provozní doba linky [hh:mm:ss]	19:02:00
Hodinová výkonnost [$t.h^{-1}$]	111,63

Při celkem přepraveném a zpracovaném objemu cukrové řepy, který činí 2125 t, a provozní době linky mírně nad 19 hodin, je výsledná hodinová produkce výrazně nižší, než teoretické hodnoty.

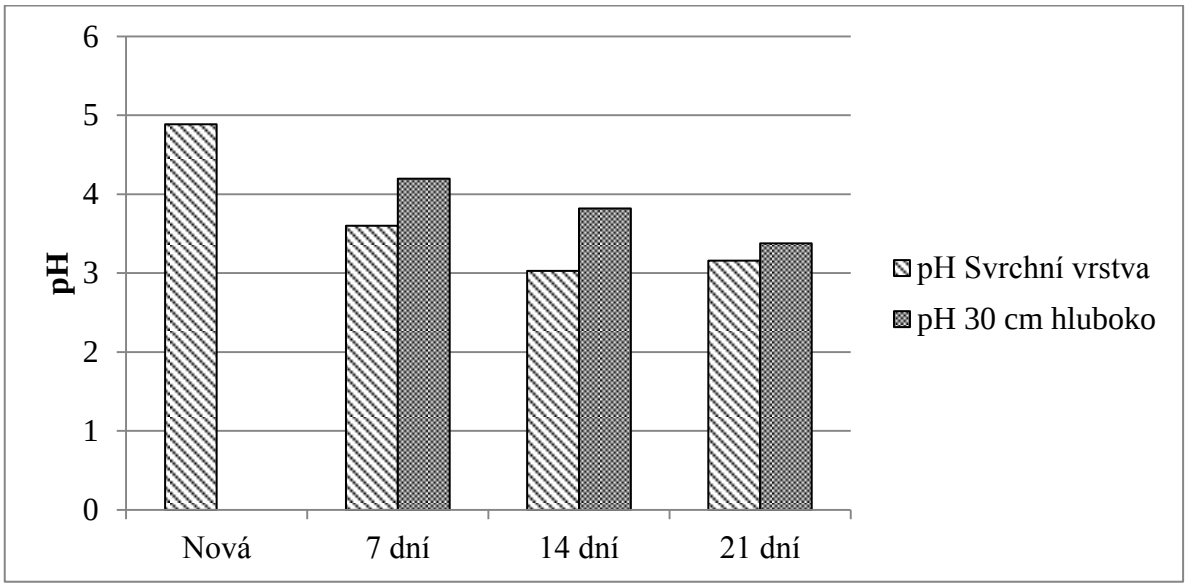
Tabulka 23 – Spotřeba nafty linky na zpracování cukrové řepy

Spotřeba nafty [l]	
Kolový nakladač JCB 426E HT	134,00
Separátor Doppstadt SM 620	279,00
Řepná pračka Doppstadt RW 508	335,00
Drtič Doppstadt AK 203	503,00
Celkem	1251,00
Celkem za hodinu provozu	**66,00**
Celkem bez nakladače	1117,00
Celkem za hodinu bez nakladače	**59,00**

Také výsledky spotřeby se znatelně odlišují od predikce, jedná se o přibližně 17% nárůst. K celkovému posouzení provozu linky je třeba zahrnout i spotřebu nakladače.

5.2.3 Tvorba svrchní vrstvy cukrové řepy v laguně

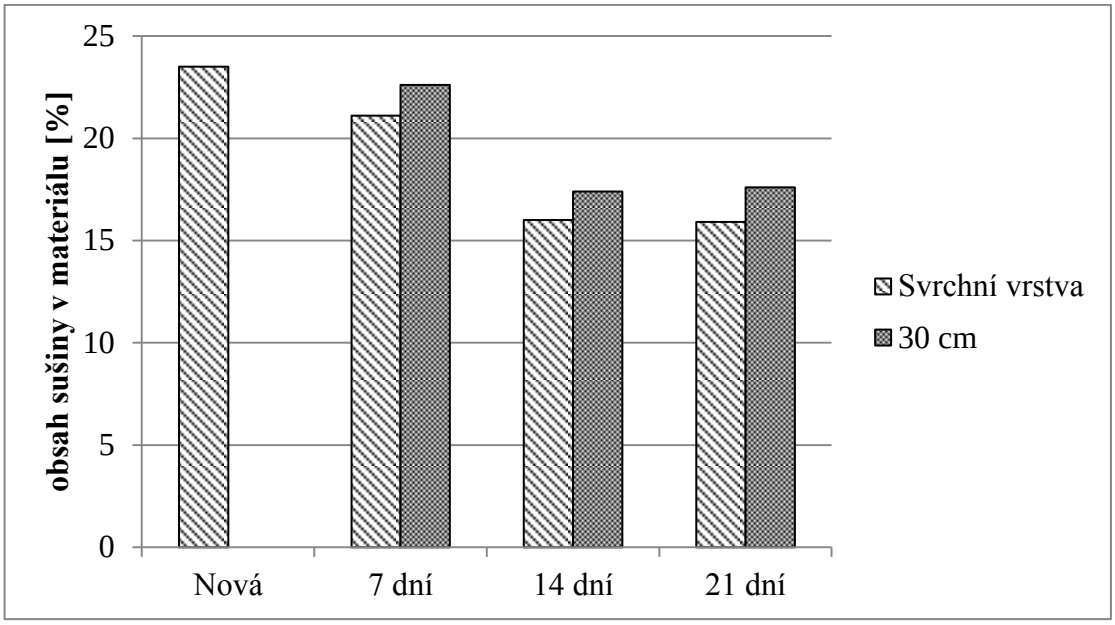
Již v průběhu plnění laguny se začíná utvářet svrchní vrstva, která chrání uloženou cukrovou řepu ve formě kaše od narušení silážního prostředí, a jejíž tloušťka se pohybuje od 10 do 20 cm. Právě na základě těchto hodnot byly odebrány 2 vzorky, jeden z povrchu (do 10 cm) a druhý přibližně ve 30 cm hloubky. Výsledky sledování pH zobrazuje Obrázek 25.



Obrázek 25 - Vývoj pH svrchní vrstvy

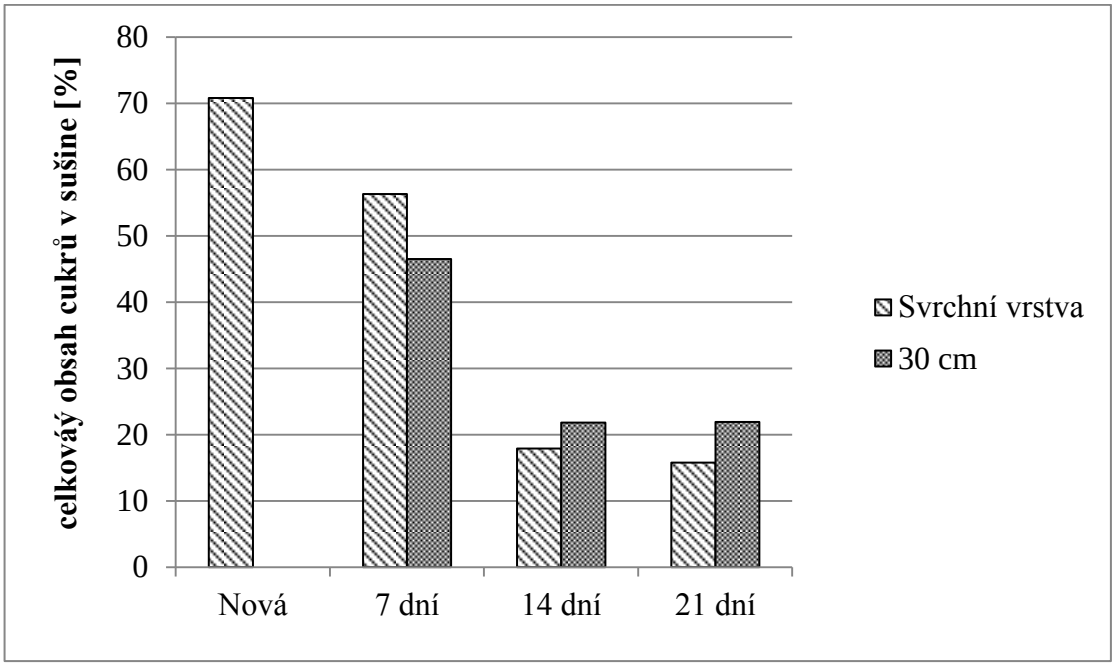
U vzorku nového materiálu nejsou provedena oddělaná měření, protože v té době nebyla svrchní vrstva zformována. Naměřené hodnoty ukazují sestupný trend hodnoty pH a její vyrovnávání v pásmu 3 až 3,5 po dvou týdnech od naplnění laguny s potvrzením jeho stabilizace 21 dní od naplnění laguny.

Dalším testem bylo stanovení obsahu sušiny a cukru v sušině pomocí metody VDLUFA III, výsledky jsou znázorněny v grafech – viz Obrázek 26 a Obrázek 27. Obsah sušiny v materiálu mírně poklesl na hodnotu mírně přesahující 17 % ve spodní a 15 % ve svrchní vrstvě. Tyto výsledky korespondují s dlouhodobým monitorováním obsahu sušiny v materiálu.



Obrázek 26 – Vývoj obsahu sušiny v materiálu

Mění se však obsah cukrů v sušině. Ten prudce klesá mezi 7 a 14. Dnem od naplnění laguny, kdy klesá v obou měřených hloubkách z hodnot blížících se 50 % až pod 20 % a dále se stabilizuje. Po stabilizaci je patrný očekávaný rozdíl mezi vrchní a spodní vrstvou.



Obrázek 27 – Vývoj celkového obsahu cukrů v sušině v závislosti na čase

5.2.4 Vlastnosti materiálů používaných jako vsázka

Pro vsázku byly používány následující materiály: kukuřičná siláž, cukrová řepa silážovaná v laguně, laboratorní siláž cukrové řepy. Tabulka 24 obsahuje přehled jejich vlastností. První dva uvedené materiály byly také smíchány do směsí s 40%, 50% a 75% podílem cukrové řepy silážované v laguně. Vývoj bioplynu z těchto materiálu byl měřen na sadě pokusných fermentorů.

Tabulka 24 – Vlastnosti materiálů pro vsázku

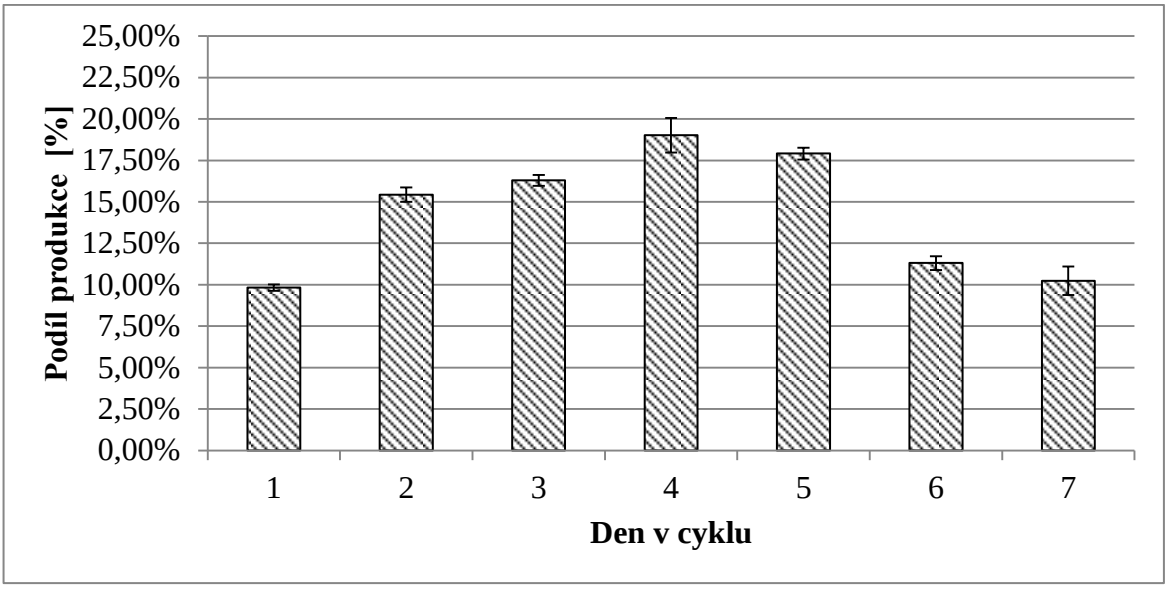
Kukuřičná siláž	Podíl sušiny [%]	sm. odch	Podíl org. sušiny [%]	sm. odch	pH	sm. odch
Siláž z kukuřice	31,51	2,72	30,06	2,67	3,77	0,12
Siláž cukrové řepy (laguna)	16,84	1,15	14,65	1,32	3,46	0,1
Siláž cukrové řepy (referenční)	22,8	2,86	19,11	2,24	3,98	0,19

5.2.5 Vliv materiálových směsí na produkci bioplynu, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Zatížení fermentoru na hodnotu 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$, tedy blízko horní doporučené hranice, zkoumá vlastnosti produkce bioplynu při snaze o maximalizaci využití jeho objemu.

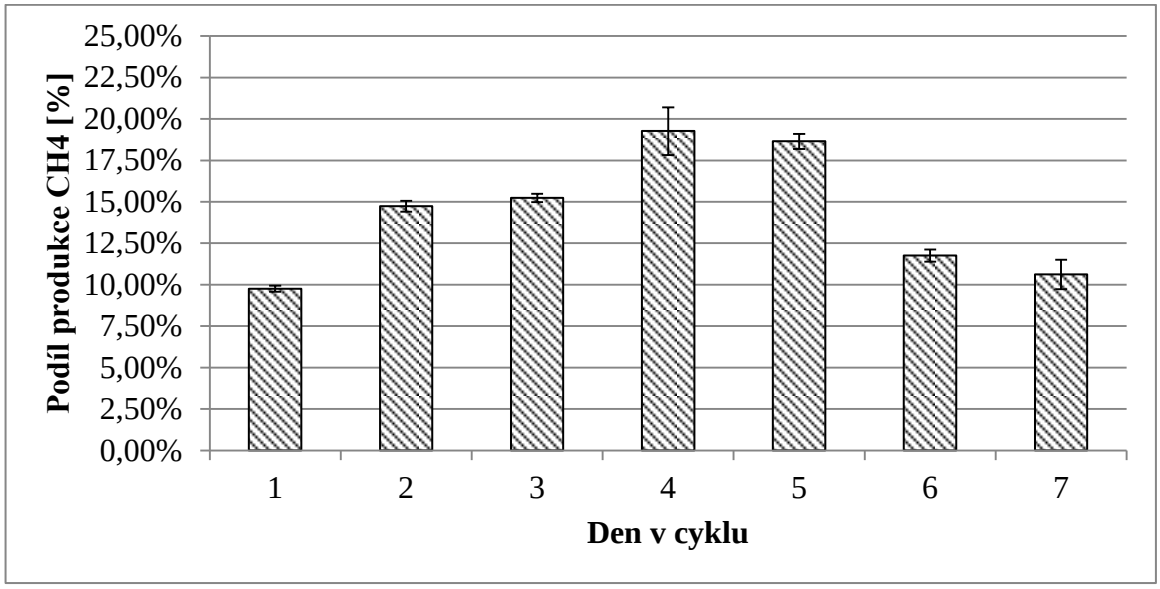
5.2.5.1 100 % kukuřičné siláže

Průběh produkce (Obrázek 28) je relativně pozvolný, avšak s jasným maximem zaznamenaným ve 4. den cyklu (19,01 % celkové produkce). Minimum bylo zaznamenáno první den cyklu (9,83 %), což je dáno absencí vsázky v předchozích dvou dnech. Celková produkce bioplynu byla 638,95 ± 26,38 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 28 – Průběh produkce bioplynu. KS: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

I po započtení koncentrace metanu (Obrázek 29) v bioplynu zůstává průběh velice podobný. Lehce zvýrazněno je maximum (19,26 %) i minimum (9,76 %). Celková produkce metanu z této směsi je 317,42 ± 19,49 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 29 – Průběh produkce metanu. KS: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

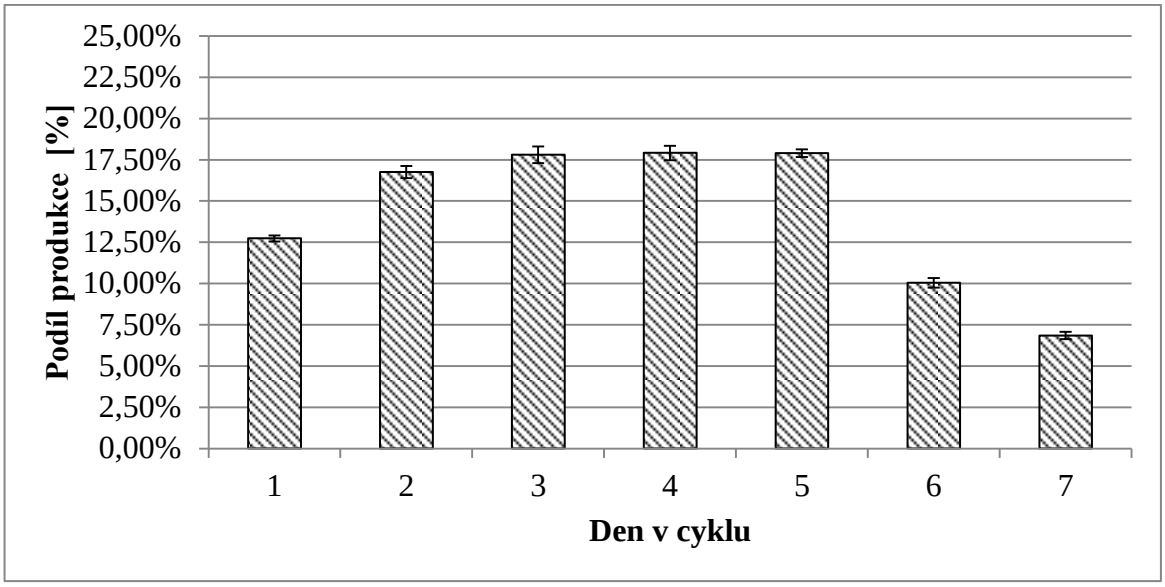
Koncentrace metanu v bioplynu je nejvyšší v souhrnném měření za pátý až sedmý den cyklu (51,68 %). První až třetí den cyklu klesá podíl metanu na složení bioplynu pod 50 %. V uvedených dnech však byly zjištěny vyšší obsahy kyslíku. Hodnoty sulfanu jsou zvýšené. Podrobné informace obsahuje Tabulka 25.

Tabulka 25 - Průběh složení bioplynu KS: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1}

	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	49,29	0,29	41,96	0,81
2	47,48	0,43	45,23	2,18
3	46,45	0,90	44,76	3,64
4	50,11	3,01	44,40	2,35
5-7	51,68	1,53	44,31	0,01
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	75,75	20,75	1,14	0,11
2	118,38	30,13	0,98	0,53
3	114,13	20,38	1,24	0,89
4	75,25	44,25	0,74	0,09
5-7	78,13	58,63	0,46	0,34

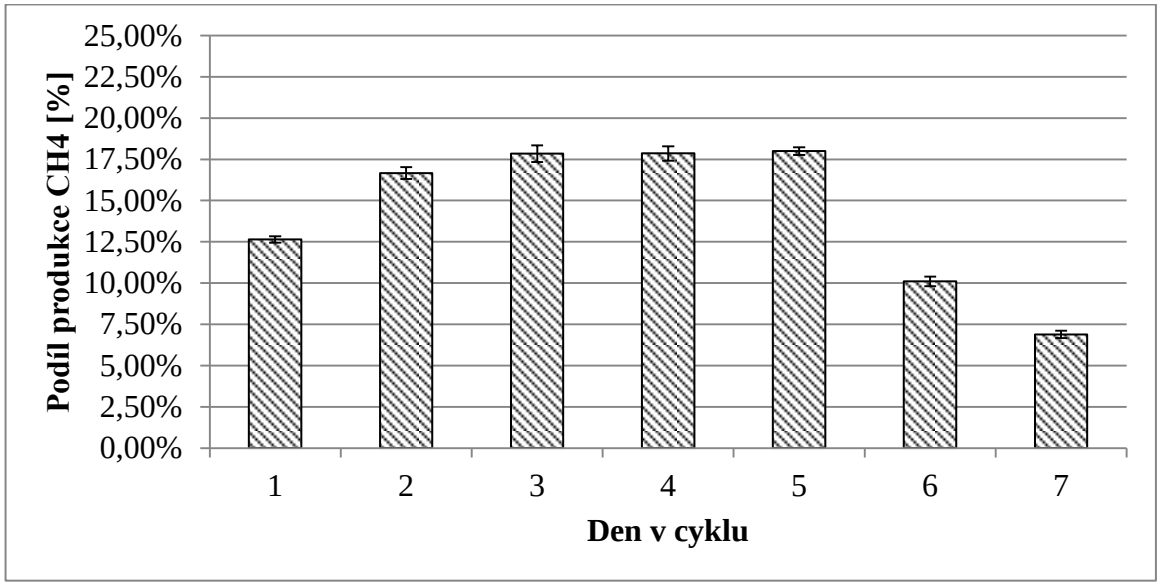
5.2.5.2 60 % kukuřičné siláže a 40 % siláže cukrové řepy z laguny

Po přidání 40% podílu cukrové řepy z laguny je znatelné zploštění produkční křivky mezi druhým a pátým dnem cyklu. Minimum je v tomto případě výrazné v sedmém dni (6,85 %). Celková výtěžnost bioplynu je 648,95 ± 19,28 l.kg$_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 30 – Průběh produkce bioplynu. KS: 60 % a CŘL: 40 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Velmi podobný průběh má produkce metanu, díky velmi malým odchylkám koncentrace sledovaných složek bioplynu v jednotlivých dnech. Výtěžnost metanu dosáhla hodnoty 334,90 ± 11,58 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 31 – Průběh produkce metanu. KS: 60 % a CŘL: 40 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

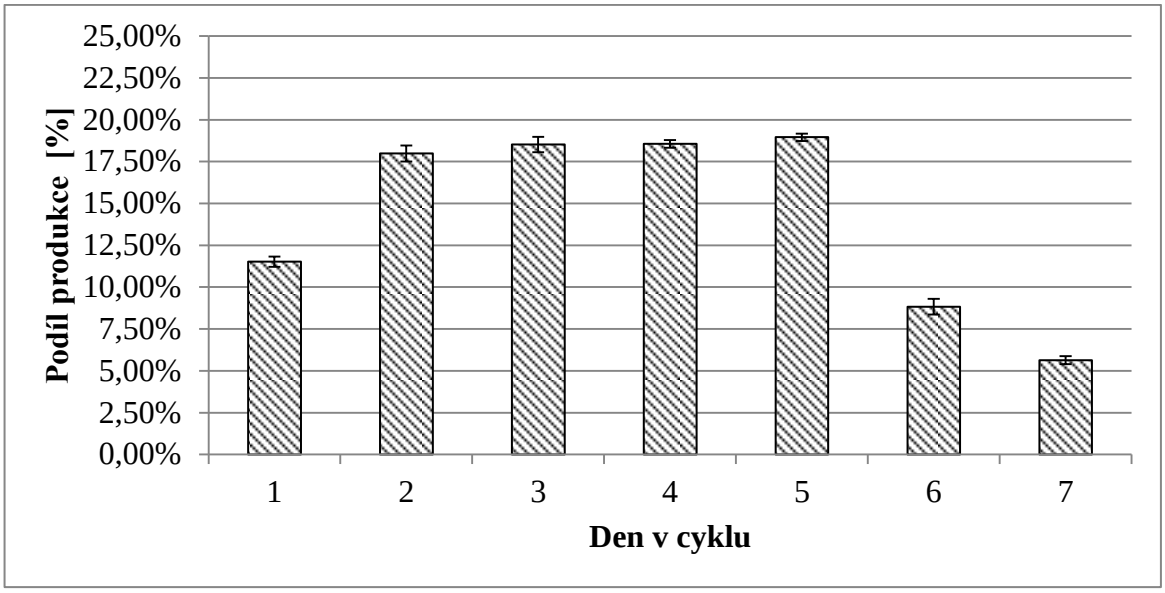
Jak ukazuje Tabulka 26, podíl kyslíku je ve všech případech pod 1 %, což se pozitivně projevuje na koncentraci metanu. Ta se pohybuje od 51,32 do 51,95 %. Hodnoty sulfanu jsou nižší než v předchozím případě.

Tabulka 26 – Průběh složení bioplynu. KS: 60 % a CŘL: 40 %, *zatížení fermentoru 4,5* $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	51,32	0,70	44,80	0,08
2	51,38	0,32	46,23	0,60
3	51,80	0,86	44,68	0,91
4	51,48	0,82	45,90	0,50
5-7	51,95	0,33	44,88	0,88
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	49,00	3,63	0,48	0,03
2	26,00	13,16	0,10	0,01
3	31,25	6,25	0,23	0,07
4	40,00	7,13	0,15	0,03
5-7	10,80	4,13	0,15	0,04

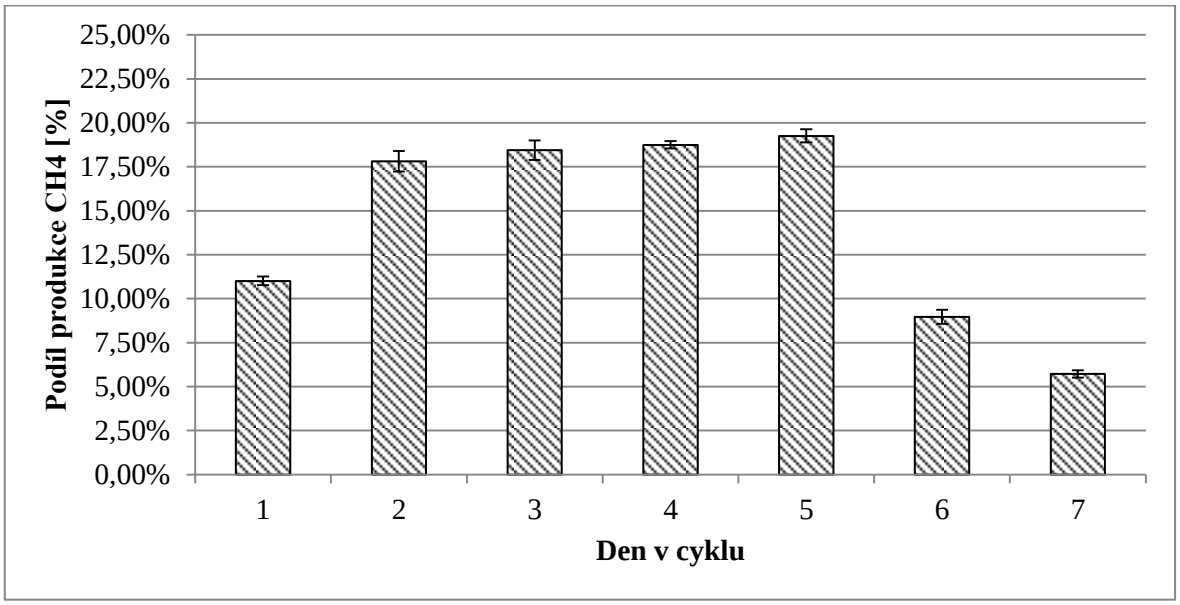
5.2.5.3 50 % kukuřičné siláže a 50 % siláže cukrové řepy z laguny

Při zvýšení podílu cukrové řepy o 10 % je stále zachován poměrně plochý průběh mezi druhým a pátým dnem, na rozdíl od předchozí směsi je však o něco výraznější vzestupný trend a souhrnný podíl produkce za tyto dny je vyšší. Naproti tomu byl nižší podíl produkce v ostatních dnech. (Viz Obrázek 32). Výtěžnost bioplynu byla 641,16 ± 3,10 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 32 – Průběh produkce bioplynu. KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

U průběhu produkce metanu (Obrázek 33) je vzestupný trend ještě výraznější vzhledem k postupnému nárůstu jeho podílu na složení v průběhu cyklu. Celková produkce metanu z této směsi byla 330,04 ± 6,99 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 33 – Průběh produkce metanu. KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

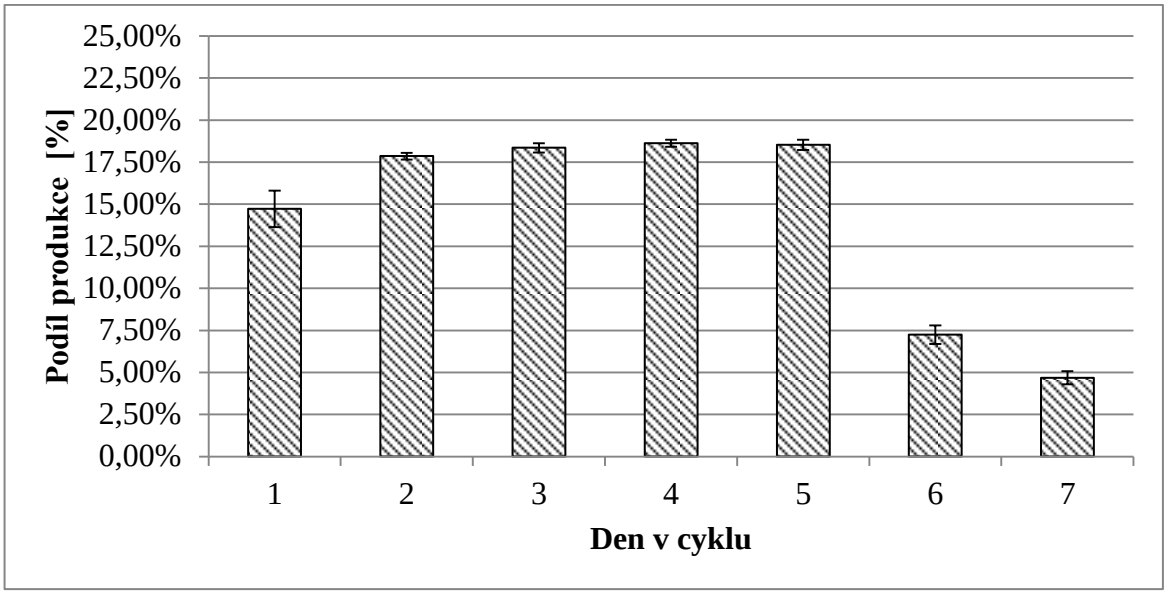
Přes vyhovující koncentraci kyslíku (pod 1 %) klesl podíl metanu v prvních dvou dnech cyklu mírně pod 50 %. Pokles také zaznamenaly hodnoty sulfanu. (Tabulka 27)

Tabulka 27 – Průběh složení bioplynu. KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1}

	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	48,13	1,09	44,68	0,78
2	49,75	1,24	47,13	0,10
3	51,26	0,16	45,88	0,16
4	52,01	0,39	45,58	0,11
5	52,33	1,18	45,29	0,68
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	55,00	11,33	0,78	0,12
2	71,75	8,75	0,10	0,03
3	51,63	1,13	0,16	0,04
4	49,25	0,25	0,11	0,01
5	78,00	12,75	0,68	0,38

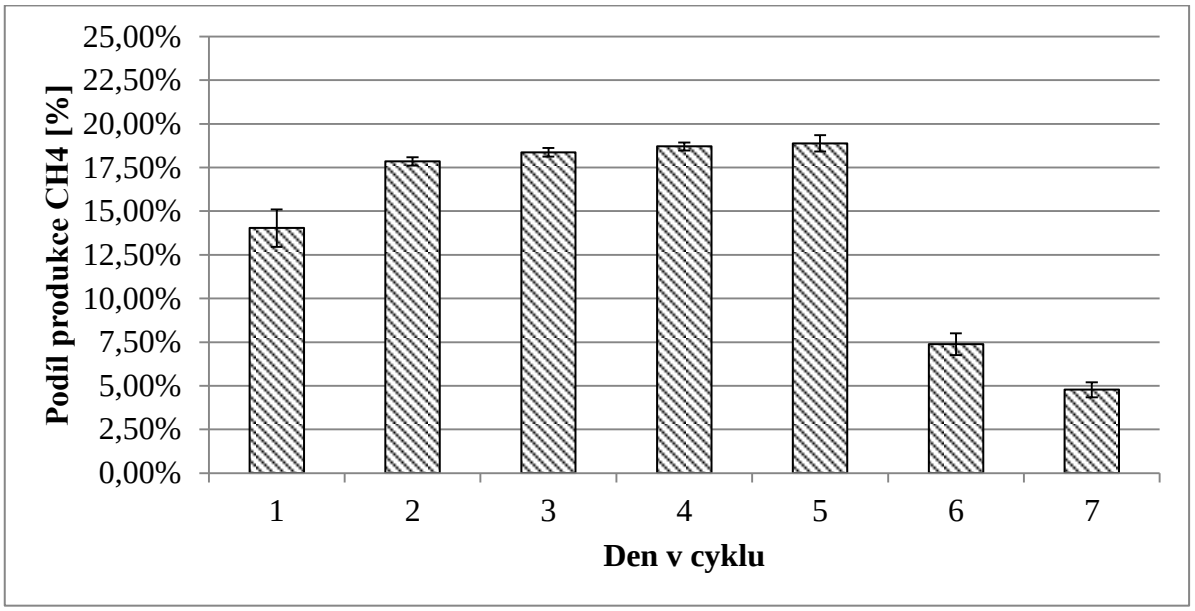
5.2.5.4 25 % kukuřičné siláže a 75 % siláže cukrové řepy z laguny

Oproti předchozímu případu vzrůstá podíl na celkové produkci bioplynu ve dnech, kdy byla provedena vsázka, vyjma pátého dne. Zároveň tento podíl pokračuje v poklesu v šestém a sedmém dni. Celková výtěžnost plynu byla v tomto případě 648,96 ± 43,01 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 34 – Průběh produkce bioplynu. KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Průběh produkce metanu (Obrázek 35) se opět odlišuje ze stejného důvodu, tedy že jeho koncentrace je v průběhu času stoupající. Hodnota výtěžnosti metanu je mírně vyšší než u předchozí směsi: 335,13 ± 21,50 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 35 – Průběh produkce metanu. KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

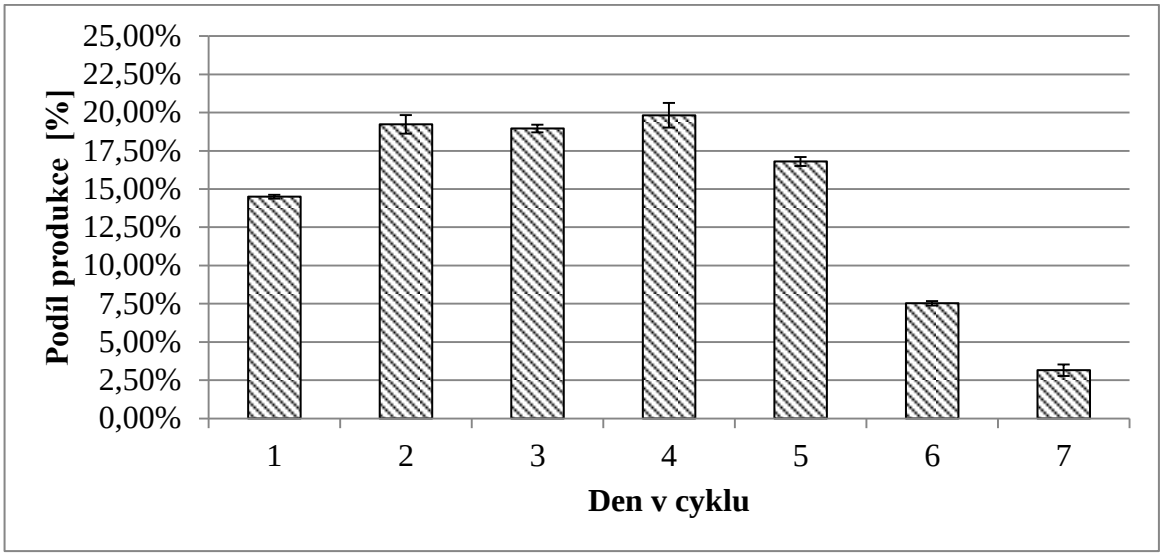
Průměrná koncentrace metanu byla výrazněji nižší pouze první den cyklu. Hodnoty sulfanu zůstávají na relativně vysokých hodnotách. (viz Tabulka 28)

Tabulka 28 – Průběh složení bioplynu KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1}

	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	48,73	0,58	43,88	1,01
2	50,36	1,89	45,77	1,76
3	51,11	0,86	45,75	1,39
4	52,71	1,17	44,31	0,97
5-7	53,24	1,68	43,99	1,43
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	54,50	15,96	0,96	0,22
2	36,48	19,61	0,34	0,19
3	39,38	18,02	0,29	0,19
4	50,00	7,31	0,15	0,02
5-7	60,90	25,58	0,22	0,14

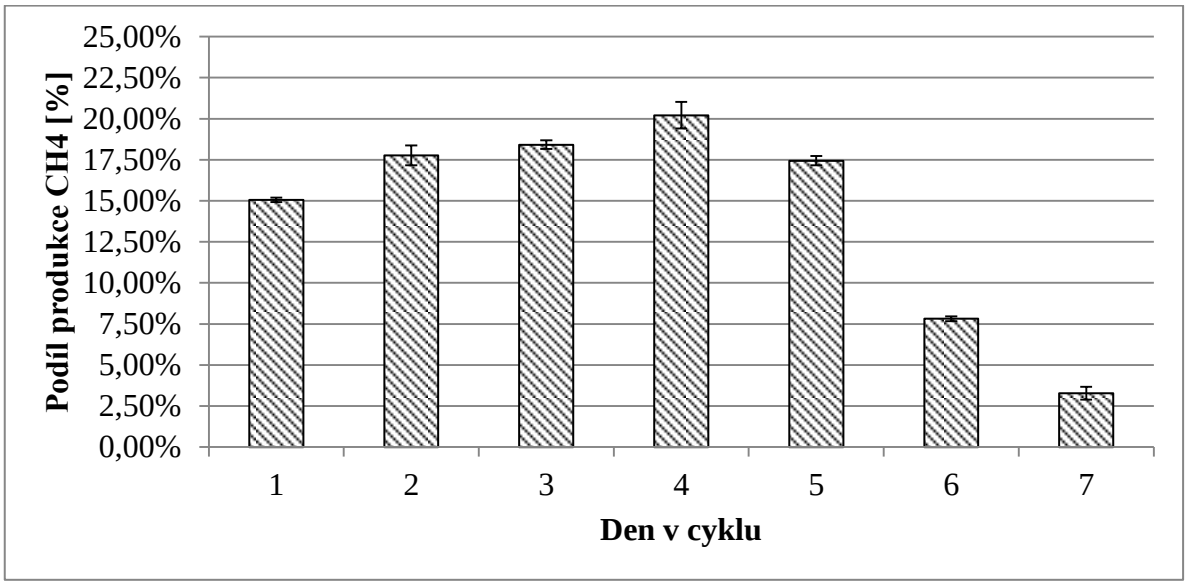
5.2.5.5 100 % siláže cukrové řepy z laguny

Průběh produkční křivky bioplynu (Obrázek 36) se ve dnech vsázky mírně vyrovnává, podíl vyprodukovaného plynu v šestém dni je mírně vyšší, než v předchozím případě, znatelný je pak pokles v sedmém dni. Výtěžnost bioplynu byla 629,35 ± 19,42 l.kg$_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 36 – Průběh produkce bioplynu. CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

U průběhu produkce metanu (Obrázek 37) dochází oproti bioplynu ke zvýraznění maxima ve čtvrtý den. Mírně vyšší jsou i hodnoty ve dnech bez vsázky. Celková produkce metanu z této směsi byla 354,51 ± 10,73 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 37 – Průběh produkce metanu. CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

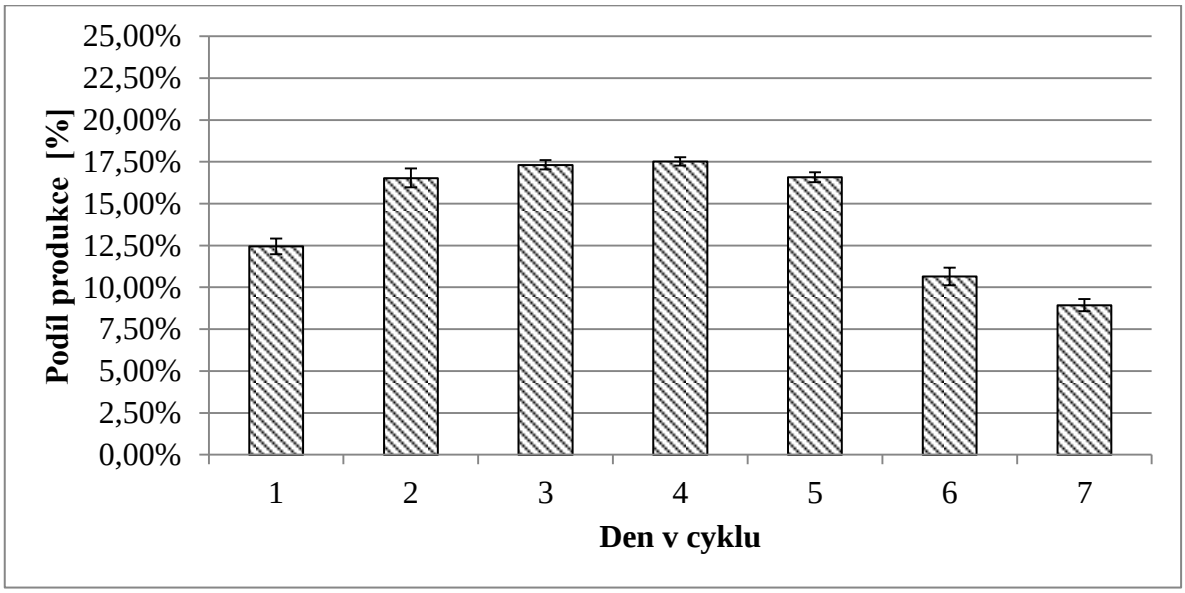
Velmi vysoký byl v tomto případě podíl metanu. Jeho průměrná hodnota klesla pod 50 % pouze ve druhém dni cyklu. Hodnoty sulfanu byly opět zvýšené, jak ukazuje Tabulka 29.

Tabulka 29 – Průběh složení bioplynu. CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1}

	CH_4 [%]		CO_2 [%]	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	55,40	0,10	40,91	1,36
2	49,90	1,04	45,09	0,89
3	51,70	0,07	44,81	1,08
4	55,30	0,97	42,12	0,87
5	55,40	0,75	40,22	0,91
	H_2S [ppm]		O_2 [%]	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	51,31	4,89	0,77	0,22
2	46,49	20,60	0,97	0,11
3	40,05	10,44	0,20	0,07
4	43,23	10,80	0,14	0,02
5	60,06	18,43	0,37	0,25

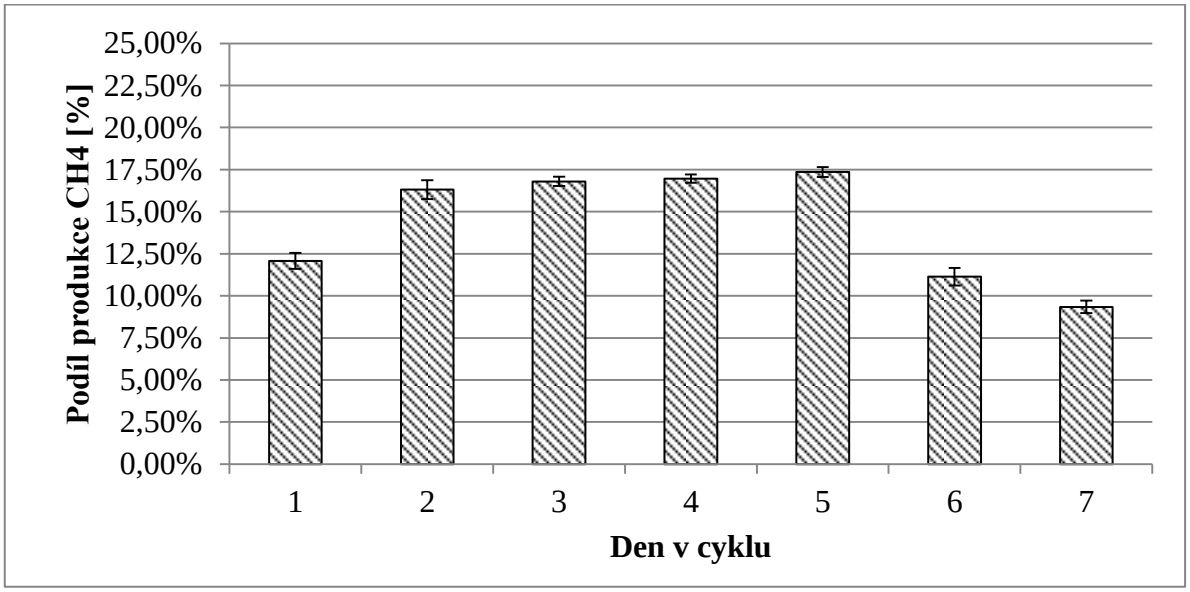
5.2.5.6 100% laboratorní siláže cukrové řepy

Produkční křivka (Obrázek 38) se v případě referenční siláže cukrové řepy navrací k ploššímu průběhu viděnému u kukuřičné siláže. Není zde však tak výrazné maximum. U tohoto substrátu dosáhla hodnota výtěžnosti bioplynu 679,12 ± 28,74 l.kg$_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 38 – Průběh produkce bioplynu. CŘR: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1}

Produkční křivka metanu (Obrázek 39) se tentokrát příliš nemění vzhledem k vyrovnanější koncentraci této složky v jednotlivých dnech. Celková produkce metanu dosáhla 363,08 ± 26,83 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 39 – Průběh produkce metanu. CŘR: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Metan se v celém průběhu produkce vyskytoval v průměrných koncentracích nad 50 %, což je dosud nejvyšší koncentrace. Poměrně vysoká byla však i koncentrace sulfanu. Tabulka 30 obsahuje podrobný přehled těchto hodnot.

Tabulka 30 – Průběh složení bioplynu. CŘR: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^3 \cdot d^{-1}$

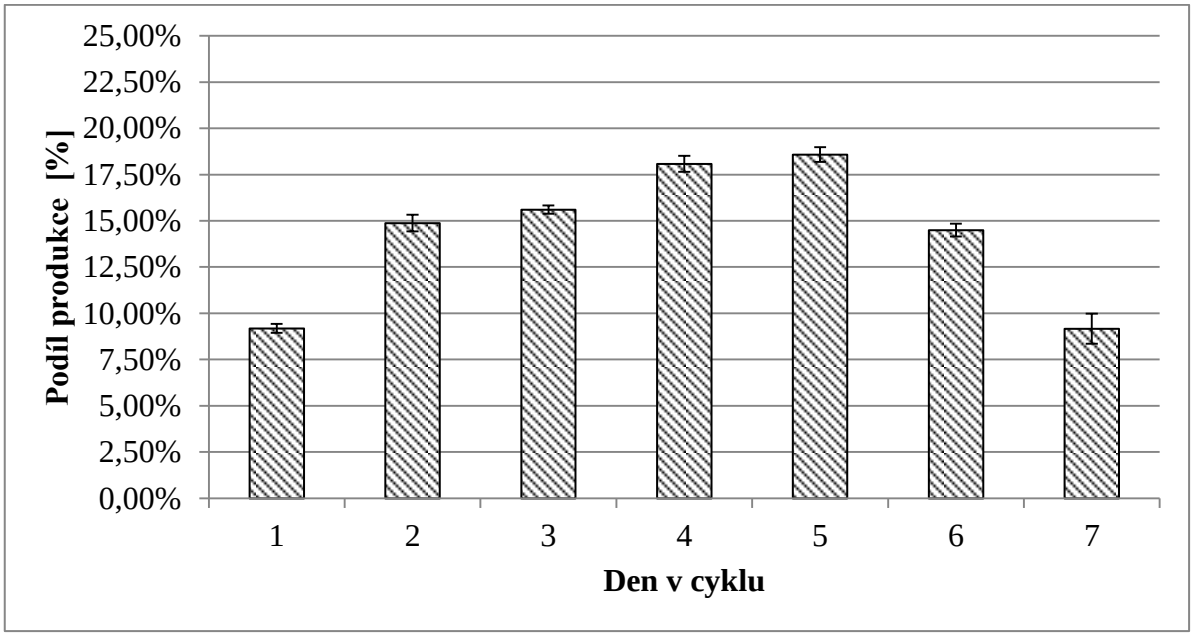
	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	53,13	3,33	42,42	3,24
2	52,58	1,52	44,68	0,73
3	51,16	2,78	45,79	2,28
4	51,17	2,69	45,82	2,18
5-7	54,35	1,68	42,53	0,33
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	42,54	30,74	0,37	0,29
2	21,00	2,15	0,15	0,06
3	23,27	2,99	0,11	0,09
4	22,65	3,72	0,16	0,09
5-7	27,53	1,05	0,08	0,06

5.2.6 Vliv materiálových směsí na produkci bioplynu, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Vzhledem k nevyrovnanosti výsledků u některých směsí při zatížení komory 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ bylo přistoupeno k opakované studii při zatížení komory u dolní hranice doporučovaného rozpětí, tedy 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$.

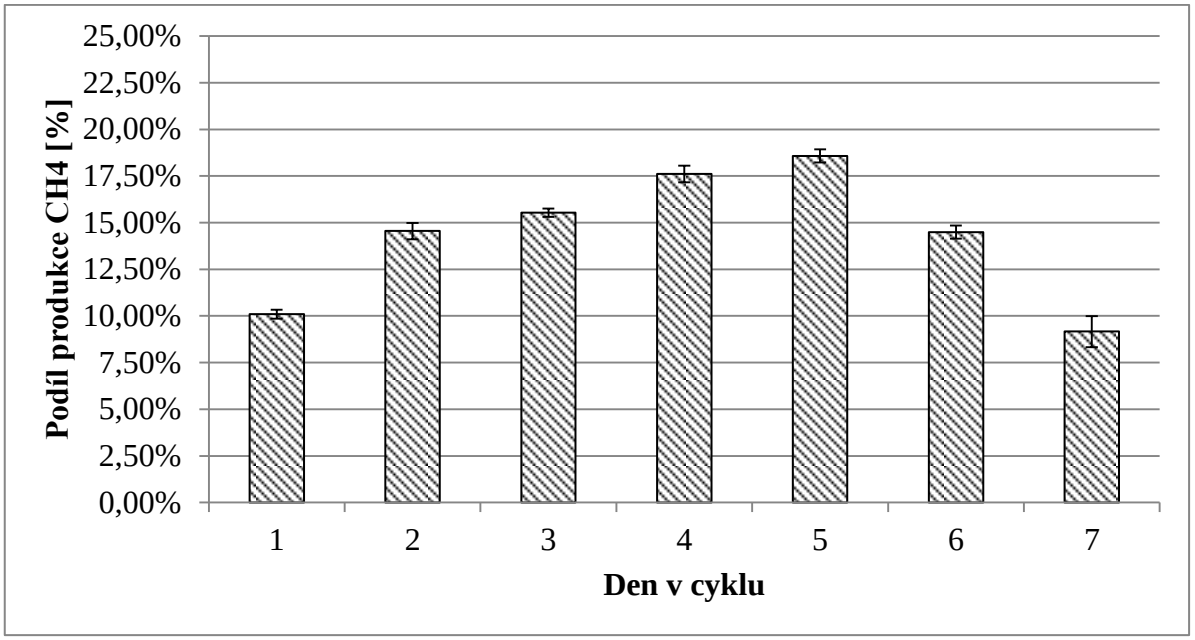
5.2.6.1 100 % kukuřičné siláže

Tento materiál slouží, stejně jako v předchozí kapitole, jako referenční k ostatním hodnotám. Průběh (viz Obrázek 40) je podle očekávání mírnější s maximem v pátém dni cyklu (18,58 %). O pomalejším nástupu efektu vsázky svědčí vyrovnané hodnoty z prvního a sedmého dne cyklu (9,17 % a 9,19 %). Celková produkce bioplynu na kg organické sušiny byla 728,54 l ± 27,41 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 40 – Průběh produkce bioplynu. KS: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Při započítání hodnot koncentrace metanu do produkce (Obrázek 41) se lehce zvýrazní maximum v pátém dni (18,57 %), také dochází ke slabému nárůstu podílu produkce v prvním dni na úkor dne sedmého (10,16 % a 9,16 %). Výkyvy jsou však velmi malé.



Obrázek 41 – Průběh produkce metanu. KS: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

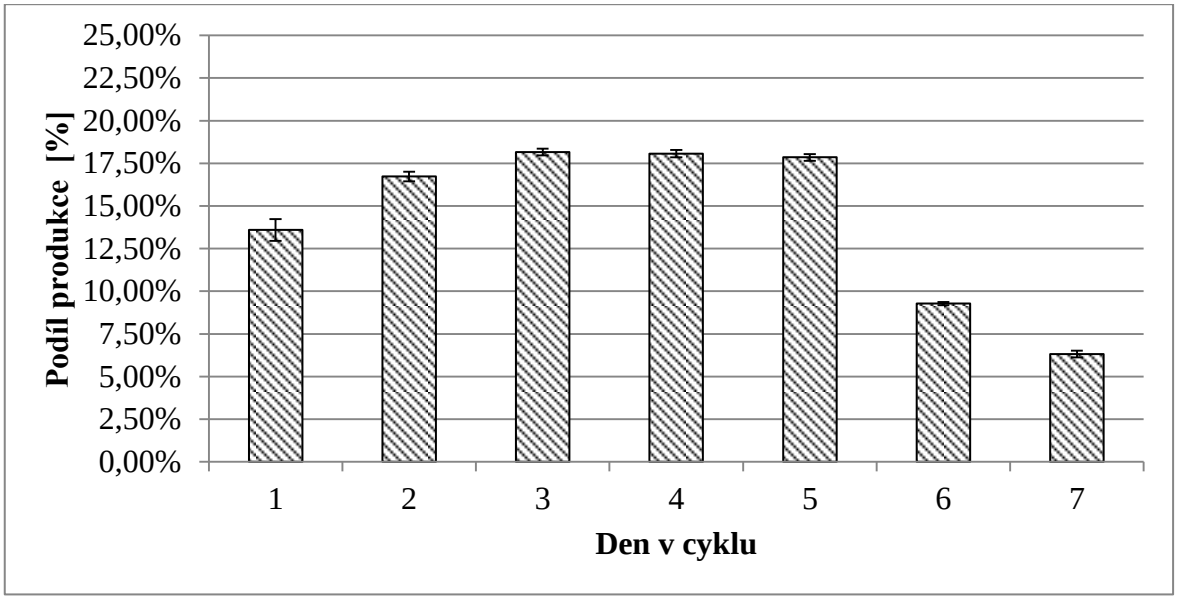
Průběh složení bioplynu (Tabulka 31) opětovně ukazuje extrém podílu metanu v prvním dni cyklu (51,05 %), což odpovídá i průběhu koncentrace kyslíku. Výtěžnost metanu byla 342,92 l ± 15,02 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.

Tabulka 31 – Průběh složení bioplynu. KS: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	51,05	0,59	44,73	0,52
2	46,03	0,60	38,93	0,48
3	46,85	0,66	46,23	0,35
4	45,83	0,78	45,10	0,16
5	47,05	0,29	45,83	0,64
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	62,00	2,33	0,20	0,53
2	4,25	1,15	1,80	0,89
3	8,50	1,82	0,43	0,67
4	8,00	2,12	1,05	0,51
5	0,75	1,74	0,53	0,94

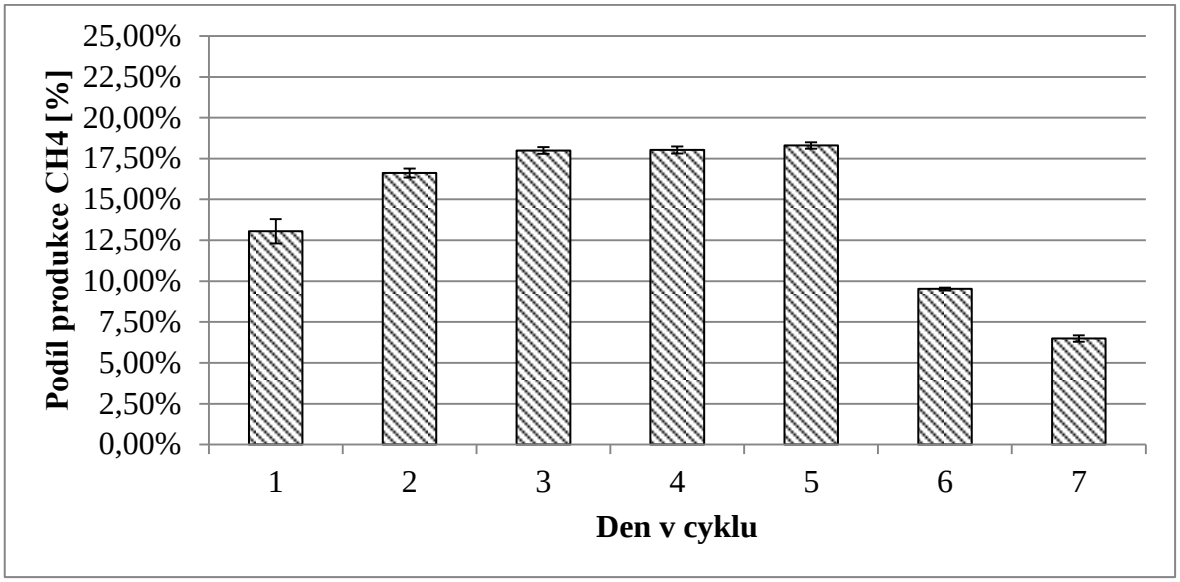
5.2.6.2 60 % kukuřičné siláže a 40 % siláže cukrové řepy z laguny

Test této směsi vykazuje plošší průběh výroby plynu (viz Obrázek 42) ve dnech, kdy je prováděna vsázka, razantněji klesá v šestém a sedmém dni cyklu. Maximum je tentokrát ve třetím dni (18,16 %), následováno těsně čtvrtým (18,06 %) a pátým (17,85 %). To je opět dáno prudším nástupem produkce bioplynu po provedení vsázky. Průměrná produkce bioplynu je u této směsi 720,41 ± 19,47 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 42 – Průběh produkce bioplynu. KS: 60 % a CŘL: 40 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Průběh výtěžnosti metanu v jednotlivých dnech více kopíruje průběh celkové produkce bioplynu. Je to dáno zejména menšími extrémy v hodnotách obsahu metanu (Obrázek 43). Maximum je v tomto případě pátý den (18,31 %), ale hodnoty v přechozích dvou dnech jsou opět velice vyrovnané. Výtěžnost metanu je 350,53 ± 8,54 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 43 – Průběh produkce metanu. KS: 60 % a CŘL: 40 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

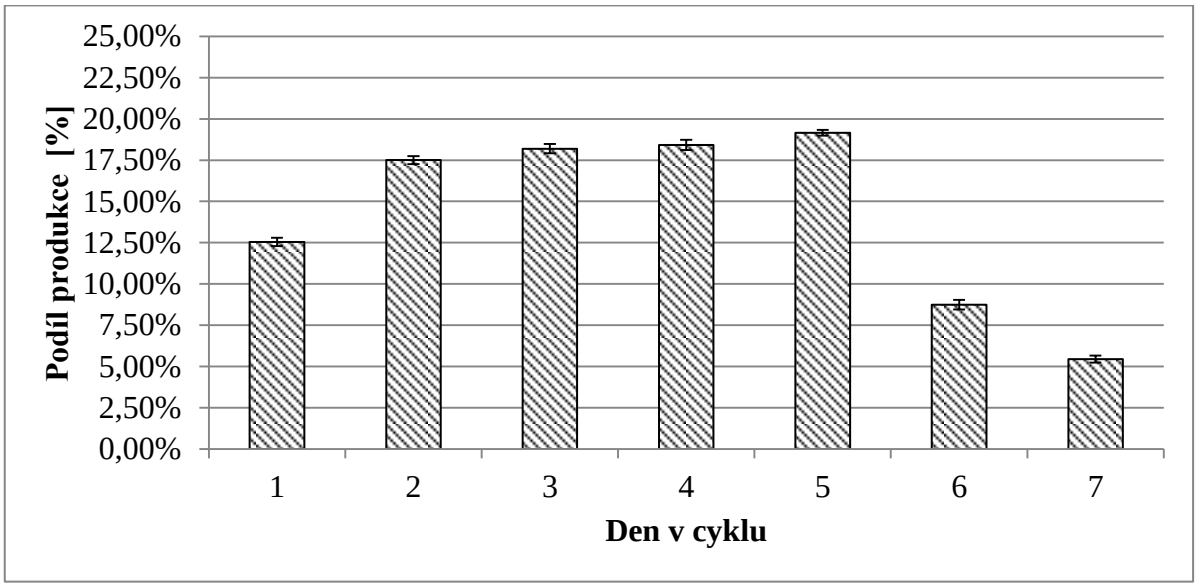
Průběh složení bioplynu (Tabulka 32) nevykazuje žádné zásadní anomálie, pouze obsah kyslíku je v prvním a druhém dni nad jedno procento, čemuž odpovídá nejnižší obsah metanu v cyklu. Podíl sulfanu zaznamenává náhlý nárůst v závěru cyklu.

Tabulka 32 - Průběh složení bioplynu směsi. KS: 60 % a CŘL:40 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	46,61	1,18	41,26	1,48
2	48,33	0,16	43,47	1,39
3	48,22	0,61	43,62	1,16
4	48,55	0,27	43,68	0,62
5-7	49,91	0,99	44,55	0,21
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	5,67	1,89	1,44	0,33
2	4,17	2,55	1,14	0,57
3	6,08	0,72	0,81	0,30
4	3,33	0,96	0,81	0,15
5-7	50,50	4,25	0,33	0,11

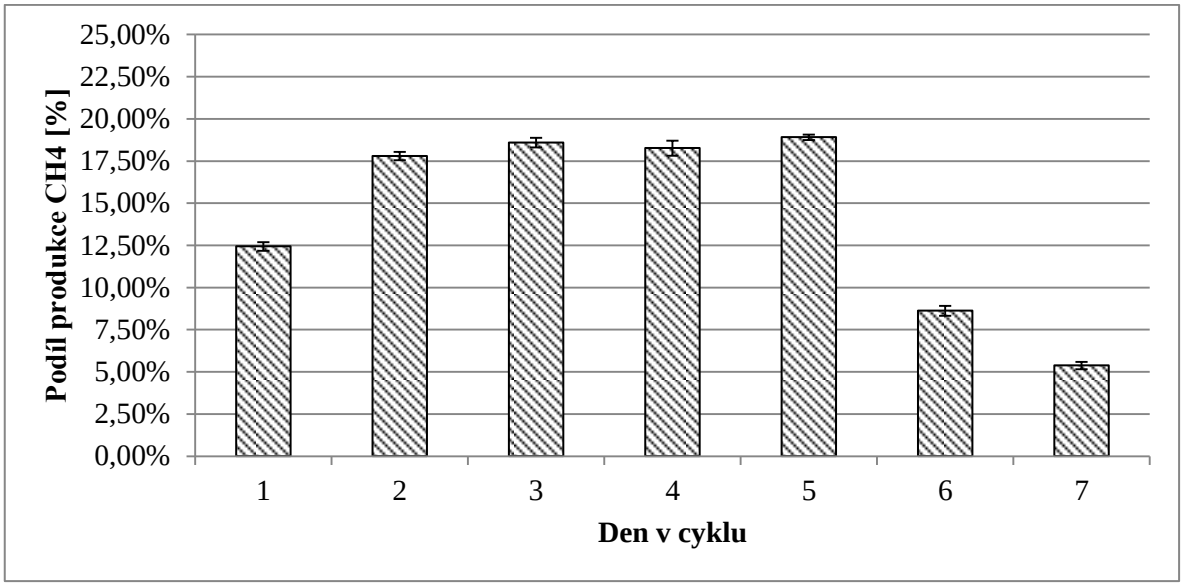
5.2.6.3 50 % kukuřičné siláže a 50 % siláže cukrové řepy z laguny

Obrázek 44 zachycuje průběh produkce bioplynu (Obrázek 44), který je v tomto případě podobný jako v případě směsi s 60% podílem kukuřice. Maximum je opět v pátém dni, oproti předchozí směsi je mírně vyšší (19,15 %), hodnoty ve dnech bez vsázky jsou nižší (8,74 % a 5,44 %). Hodnoty průměrné produkce bioplynu činí 647,30 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ ± 23,41 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 44 – Průběh produkce bioplynu. KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Průběh výtěžnosti metanu (Obrázek 45) znovu značně kopíruje průběh produkce bioplynu. Průměrná koncentrace metanu má své maximum ve třetím dni cyklu (47,81 %), těsně následované druhým dnem (47,59 %). V tyto dny byl současně zjištěn nižší podíl kyslíku, tento poměr koncentrací tedy odpovídá. Výtěžnost metanu je 302,80 ± 8,68 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 45 – Průběh produkce metanu. KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Zvýšený obsah kyslíku byl zaznamenán v prvním (2,13 %) a již zmíněném čtvrtém (1,53 %) dni, což mělo mírně negativní vliv na obsah metanu. (viz Tabulka 33) Obsah sulfanu má tentokrát výrazně vyrovnanější průběh. Obsah sulfanu je ve většině případů pod 10 ppm.

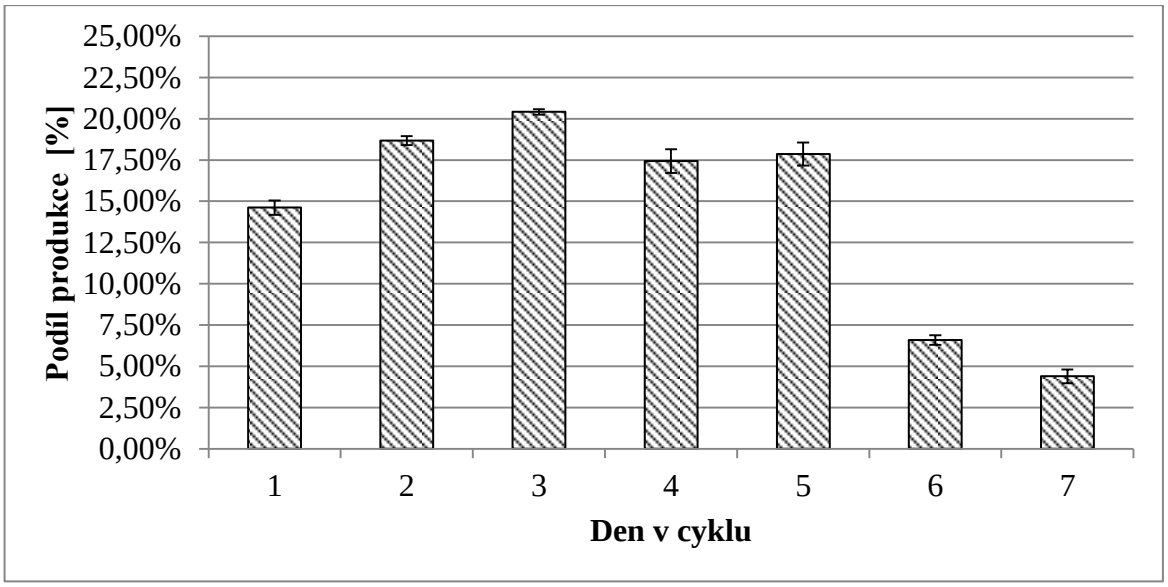
Tabulka 33 – Průběh složení bioplynu KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	46,40	0,25	38,73	0,52
2	47,59	0,93	42,23	0,48
3	47,81	0,71	43,05	1,18
4	46,39	0,94	41,61	0,11
5-7	46,20	0,20	35,63	4,38
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	3,75	1,25	2,13	0,42
2	1,30	0,21	0,83	0,21
3	6,50	6,50	0,98	0,35
4	1,13	1,13	1,33	0,25
5-7	11,38	1,38	1,26	0,54

Průměrná produkce bioplynu byla v tomto případě znatelně nižší, než v předchozích případech, přibližuje se hodnotám, které byly dosaženy při hodnotě zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$. V případě této směsi byly výsledky produkce i koncentrace metanu v jednotlivých pokusech poměrně kolísavé. Ovšem průběh produkce v jednotlivých dnech zůstal poměrně vyrovnaný, vyšší obsah kyslíku měl tedy vliv pouze na absolutní hodnoty.

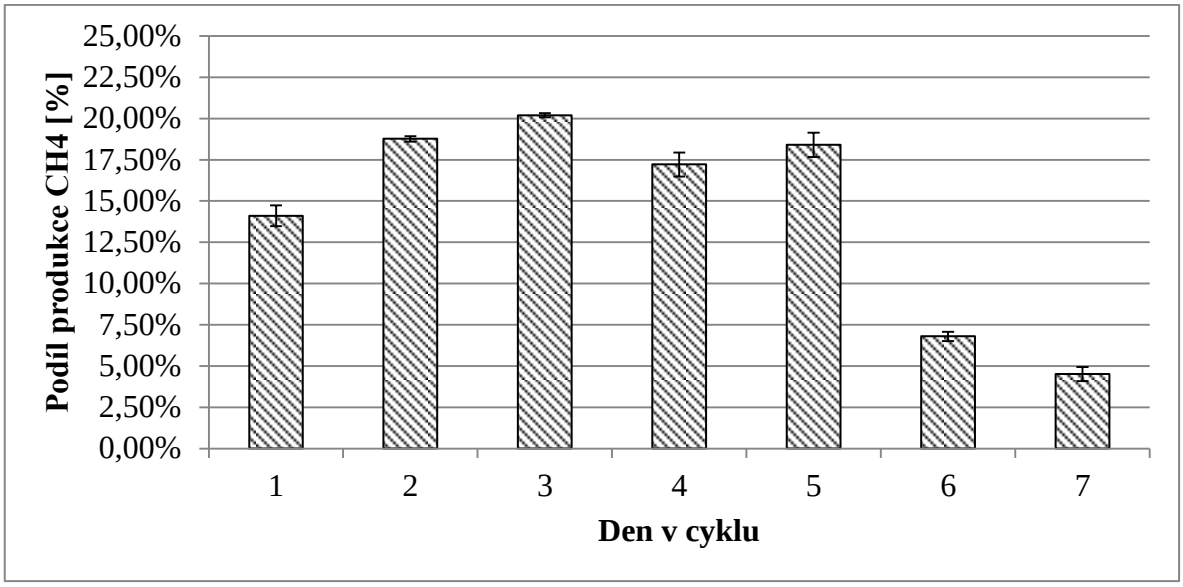
5.2.6.4 25 % kukuřičné siláže a 75 % siláže cukrové řepy z laguny

U směsi kukuřičné siláže se siláží cukrové řepy v poměru jedna ku třem nastává odklon od průběhu produkce přechozích směsí. Velmi výrazné maximum nastává již třetí den (20,42 %). Hodnoty v šestém a sedmém dni cyklu jsou opět nižší než v předchozím případě (6,60 %, resp. 4,39 %). (Obrázek 46) Je tedy více patrné zrychlování produkce se vzrůstajícím podílem siláže cukrové řepy ve směsi. Celková produkce u této směsi byla 708,21 ± 41,88 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 46 – Průběh produkce bioplynu. KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Produkce metanu (Obrázek 47) v jednotlivých dnech má tentokrát opět podobný průběh, výraznější je jen pokles v prvním dni (44,85 %). Celková výtěžnost metanu byla 346,24 ± 26,23 $l.kg_{org.suš.}^{-1}$.



Obrázek 47 – Průběh produkce metanu. KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

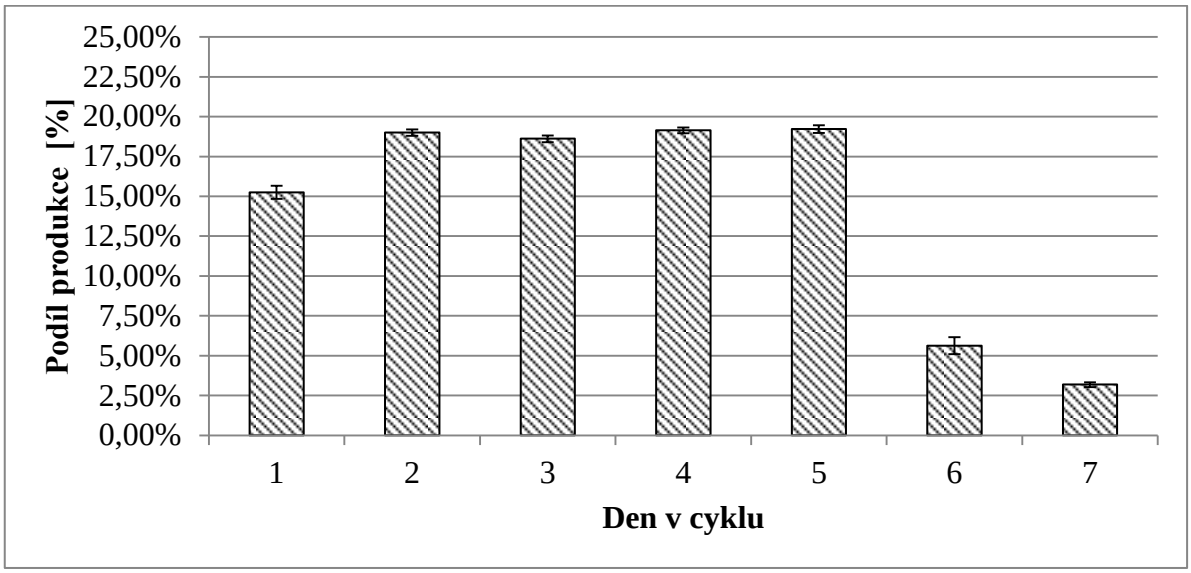
Již z výše uvedeného grafu je patrné, že koncentrace metanu v prvním dni byla velmi nízká. Tento fakt koresponduje s vysokým podílem kyslíku v plynu naměřeným za tento den. Poměrně nízké jsou naopak hodnoty sulfanu. (Tabulka 34)

Tabulka 34 – Průběh složení bioplynu KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	44,85	0,35	38,90	0,12
2	48,69	0,94	42,54	1,33
3	49,13	0,67	43,33	0,63
4	48,55	0,32	44,24	0,69
5-7	48,57	2,65	41,63	2,09
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	3,00	1,11	2,28	0,98
2	6,08	3,70	1,04	0,27
3	7,00	4,22	0,73	0,21
4	4,00	2,50	0,65	0,15
5-7	6,67	5,01	1,16	0,79

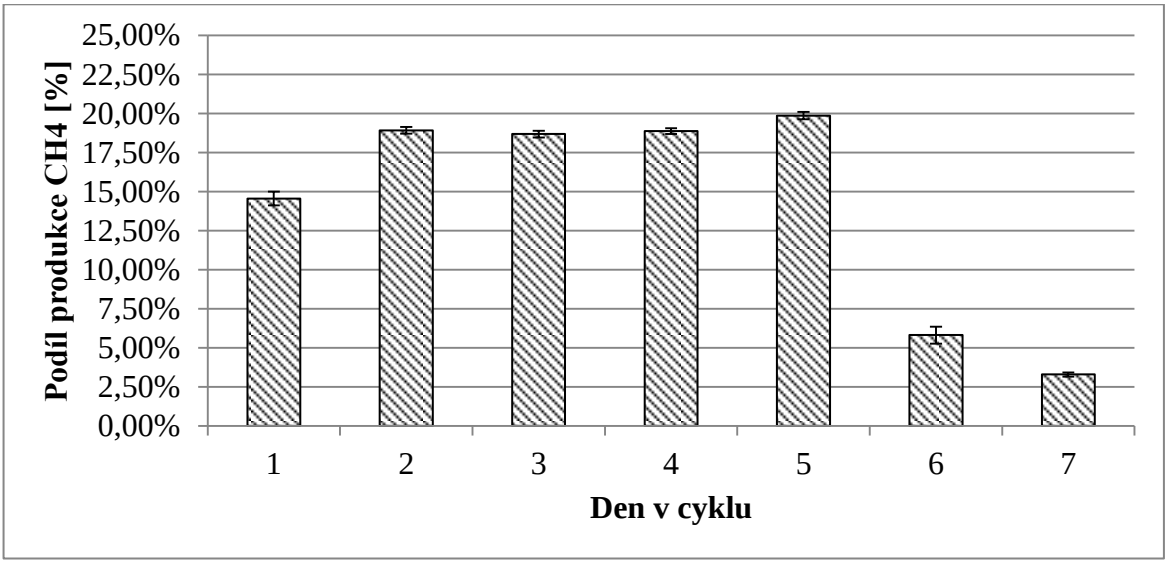
5.2.6.5 100 % siláže cukrové řepy z laguny

Při úplném vynechání kukuřičné siláže ze vsázky dochází k výraznému zploštění křivky dynamiky produkce ve dnech provádění vsázky. Naopak výrazněji klesá produkce ve dnech bez ní. (Obrázek 48) Výtěžnost bioplynu dosáhla 722,33 ± 34,11 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 48 – Průběh produkce bioplynu. CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Trend patrný v předchozím grafu je u produkce metanu (Obrázek 49) mírně ovlivněn průběhem složení bioplynu v jednotlivých dnech, kdy je opět výraznější rozdíl mezi minimem v prvním (47,46 %) a maximem v pátém (51,30 %). Výtěžnost metanu byla 359,03 ± 15,05 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 49 – Průběh produkce metanu. CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

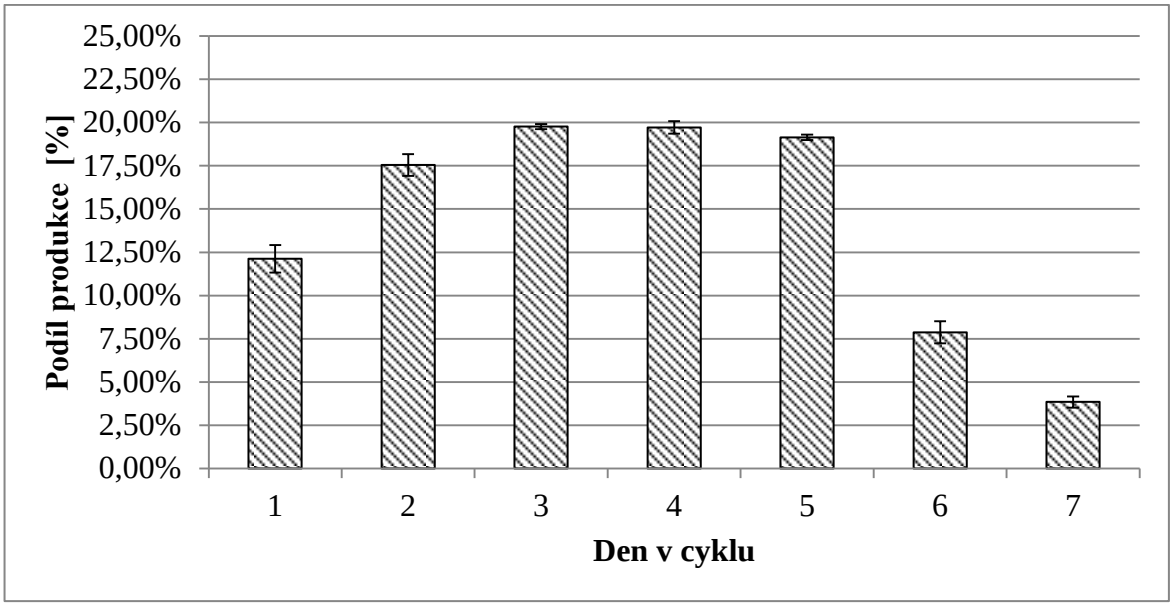
Stejně jako u předchozí směsi je podle očekávání nejnižší koncentrace metanu první den, vzhledem k nejvyššímu podílu kyslíku. Hodnoty ostatních složek jsou v běžném rozsahu (Tabulka 35).

Tabulka 35 – Průběh složení bioplynu CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 2,5

	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	47,46	1,16	39,78	1,24
2	49,55	1,01	42,07	1,62
3	49,91	1,06	43,14	1,36
4	49,05	0,50	42,26	0,63
5-7	51,30	1,51	39,87	4,08
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	3,46	2,12	1,65	0,39
2	5,40	2,44	0,93	0,38
3	6,36	3,81	0,71	0,28
4	4,88	1,44	0,93	0,16
5-7	16,39	4,29	0,58	0,08

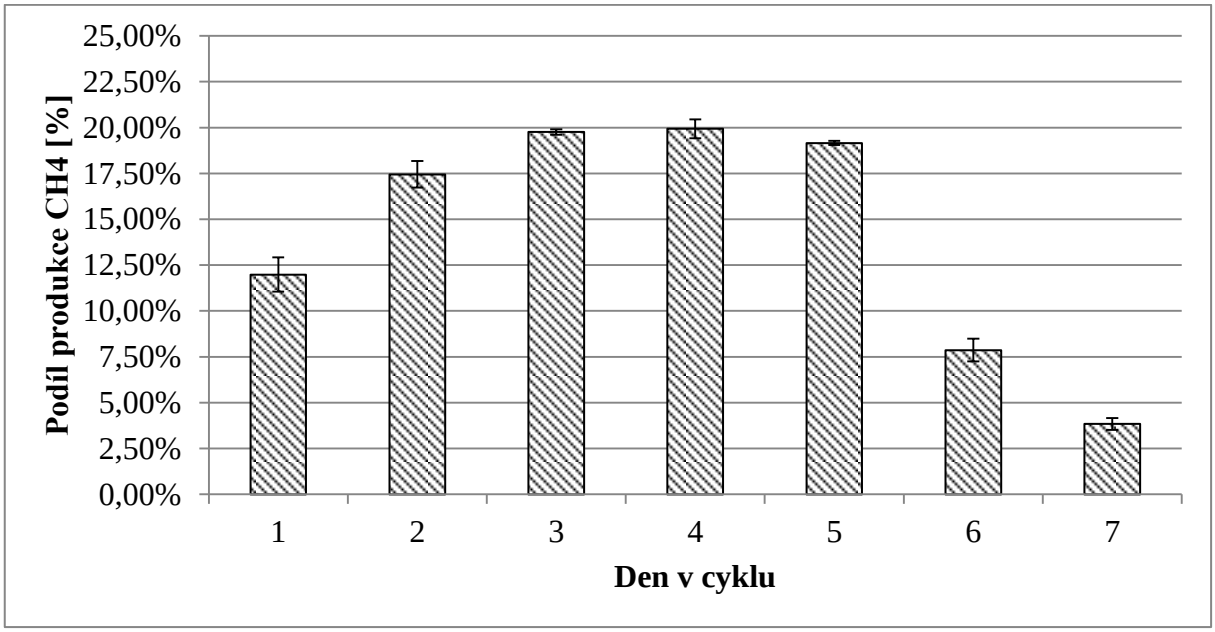
5.2.6.6 100% laboratorní siláže cukrové řepy

Při užití vsázky tvořené pouze laboratorní silážÍ cukrové řepy se podíl na celkové produkci ve dnech, kdy byla provedena vsázka, snižuje a stoupá v šestém a sedmém dni. (Obrázek 50) Toto bylo zaznamenáno i v případě vyššího zatížení fermentoru, zde však rozdíl není tak. Výrazně vyšší ovšem byla produkce bioplynu: 805,99 ± 22,29 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 50 – Průběh produkce bioplynu. CŘR: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Na průběhu produkce metanu (Obrázek 51) opět nejsou zřetelné žádné anomálie, kromě čtvrtého dne je průběh průměrných hodnot koncentrace metanu vyrovnaný. Výtěžnost metanu z této vsázky byla 408,00 ± 2,65 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 51 – Průběh produkce metanu. CŘR: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$

Nižší hodnota koncentrace metanu ve čtvrtém dni je opět způsobena vyšší zastoupením kyslíku v bioplynu. Hodnoty sulfanu jsou opět poměrně nízké. (Tabulka 36)

Tabulka 36 – Průběh složení bioplynu. Cukrová řepa (referenční siláž): 100 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1}

	CH_4 [%]		**CO_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	49,95	2,28	38,06	0,61
2	50,35	1,68	42,13	0,05
3	50,63	0,30	43,10	0,80
4	47,91	2,96	39,00	2,95
5-7	50,70	1,31	40,98	0,00
	H_2S [ppm]		**O_2 [%]**	
den	**hodnota**	**sm. odch**	**hodnota**	**sm. odch**
1	12,38	2,63	1,10	0,20
2	14,75	2,00	0,33	0,05
3	14,00	5,00	0,44	0,11
4	8,25	3,00	1,80	1,25
5-7	9,75	0,25	0,73	0,32

5.3 Výsledky měření kvality bioplynu distribuovaného plynovodem

Naměřené hodnoty zobrazuje Tabulka 37. Složení plynu na výstupu ze stanice odpovídá hodnotám složení bioplynu vyrobenému v kontinuálních fermentorech se sázkou kukuřičné siláže, cukrové řepy a směsí těchto materiálů.

Tabulka 37 – Složení bioplynu na sledovaných stanovištích

Číslo měřící stanice	**Umístění**	**CH_4 [%]**	**CO_2 [%]**	**O_2 [%]**	**H_2S [ppm]**
1	Rothenkirchen před kompresorovou jednotkou	49,20	35,85	1,35	284,50
2	Kogenerační jednotka Rothenkirchen před filtrem s náplní aktivního uhlí	53,30	37,20	0,20	329,00
3	Kogenerační jednotka Rothenkirchen za filtrem s náplní aktivního uhlí	51,90	38,30	0,20	0,00
4	Kogenerační jednotka Samtens	49,10	34,00	1,50	269,00
5	Kogenerační jednotka Bergen: Stralsunder Chaussee	48,10	34,20	1,60	266,00
6	Kogenerační jednotka Bergen: Strasse der DSF 1	51,00	37,80	0,30	39,00
7	Kogenerační jednotka Bergen: Strasse der DSF 2	48,10	35,00	1,40	269,00
8	Kogenerační jednotka Bergen: Friedensstraße	48,20	35,50	1,40	282,00

Obsah metanu tvořil na všech stanovištích přibližně poloviční podíl celkového objemu. Průměrná hodnota obsahu metanu je 48,96 % se směrodatnou odchylkou 1,85 %. Tato důležitá složka tedy zůstává bez vážnějších výkyvů.

Obsah oxidu uhličitého ve všech případech tvořil více než třetinu objemu plynu. Průměrně tato složka zaujímá 35,98 %, hodnota směrodatné odchylky je rovna 1,52 %. Nejvyšší výkyv byl zaznamenán na kogenerační jednotce v areálu stanice po průchodu jednotkou filtrem s náplní aktivního uhlí. Stále se však jedná o odchylky běžné vzhledem k biologickému procesu.

Obsah kyslíku zaznamenával relativně vysoké výkyvy, ovšem to je do značné míry dáno nízkým obsahem. Průměrná hodnota byla 0,99 % se směrodatnou odchylkou 0,59 %. V ideálním případě se obsah kyslíku blíží nule, protože výroba bioplynu je anaerobní proces. Výkyvy v obsahu však vznikají již v bioplynové stanici, což dokazuje vysoká hodnota při měření na výstupu z fermentorů a zejména hodnoty korelačních koeficientů mezi obsahem kyslíku, metanu a oxidu uhličitého. Vzhledem k výše zmíněné anaerobní povaze procesů bioplynu, při vyšším obsahu kyslíku ve fermentoru klesá podíl metanu i oxidu uhličitého. Korelační koeficient mezi sadou naměřených hodnot obsahu kyslíku a metanu má hodnotu -0,94, stejná hodnota je i v případě kyslíku a oxidu uhličitého. Korelace těchto hodnot je tedy velmi silná.

Monitorování hodnoty sulfanu je důležité zejména vzhledem k jeho korozivním účinkům. Ve všech případech se jedná o hodnoty pod 500 ppm, což je teoretická maximální přípustná hodnota obsahu sulfanu v bioplynu. Výrobci a tedy i provozovatelé kogeneračních jednotek často vyžadují hodnotu nižší, do systému je tedy doporučeno zařadit separační jednotku. Z toho důvodu byl také proveden test účinnosti filtru s náplní aktivního uhlí před kogenerační jednotkou v prostorách bioplynové stanice. Správná funkce filtru byla potvrzena, bioplyn po průchodu neobsahuje žádný sulfan.

5.4 Parametry palivových briket z hlediska logistiky

5.4.1 Vlastnosti briket ze základních sledovaných materiálů

V první fázi byly měřeny brikety vyrobeny pouze ze stébelnatých materiálů. Spotřeba elektrické energie (Tabulka 38) na produkci se pohybuje v rozpětí 0,04 – 0,08 kWh.kg^{-1}. Rozměry vyprodukovaných briket obsahuje Tabulka 39.

Tabulka 38 – Měrná spotřebovaná energie při výrobě briket ze základních materiálů a výhřevnost materiálů

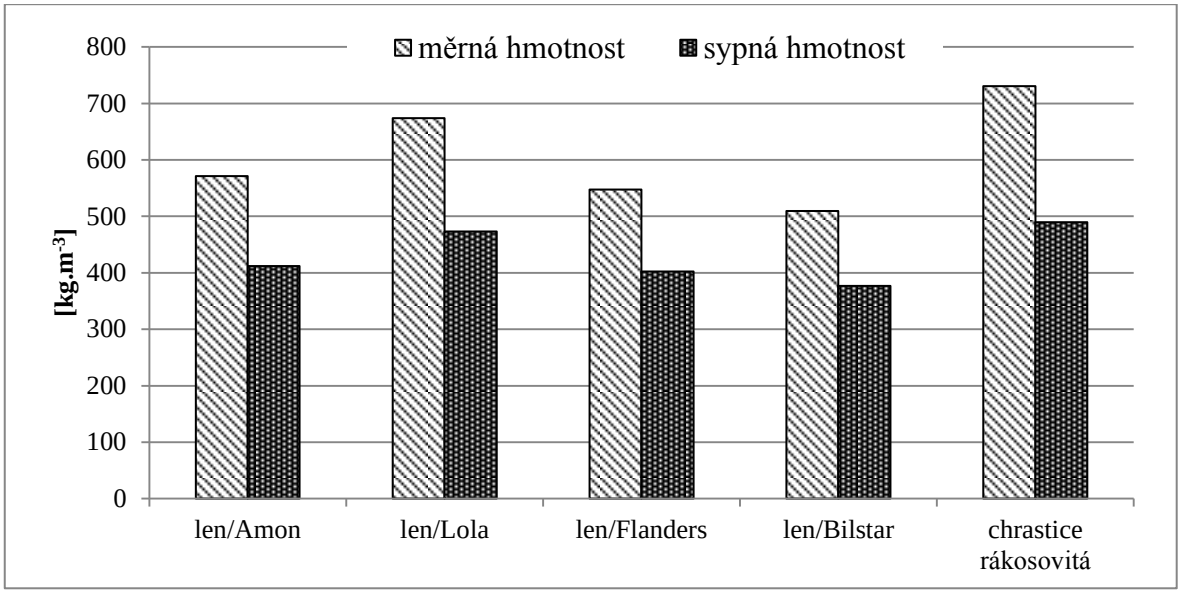
Materriál/odrůda	**Měrná spotřebovaná energie [kWh.kg^{-1}]**	**Výhřevnost [MJ.kg^{-1}]**
len/Amon	0,04	14,69
len/Lola	0,06	14,89
len/Flanders	0,08	14,65
len/Bilstar	0,07	15,31
chrastice rákosovitá	0,04	16,15

Tabulka 39 – základní parametry briket ze stébelnatých materiálů

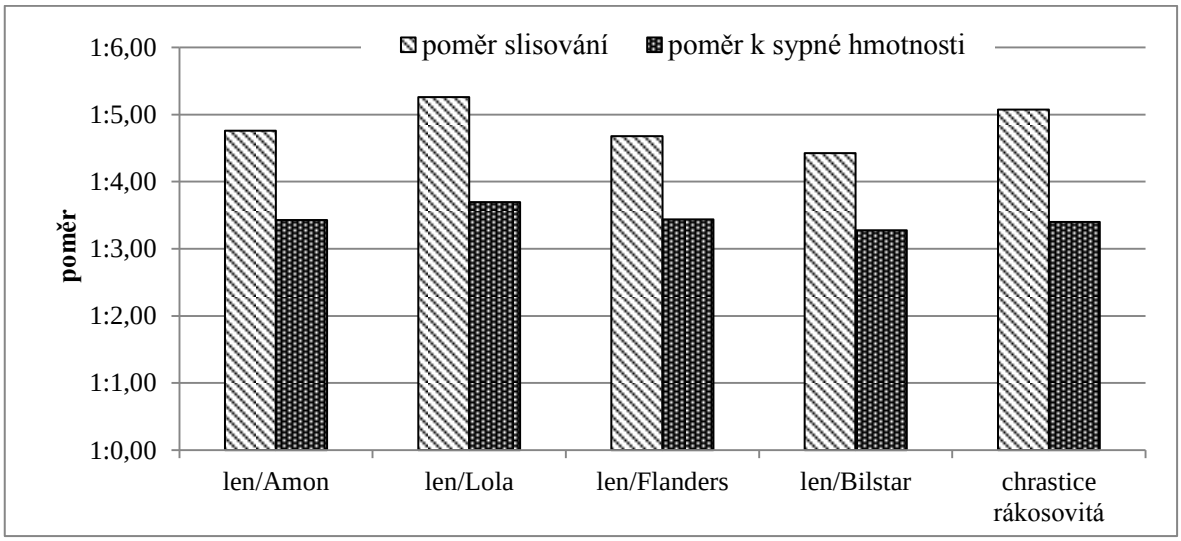
materiál/odrůda	**Len/Amon**		**Len/Lola**	
	průměrná hodnota	sm. odch	průměrná hodnota	sm. odch
průměr [mm]	67,75	1,25	67,29	1,01
délka [mm]	54,63	8,71	54,14	11,09
hmotnost [g]	111,69	17,26	129,81	26,66
materiál/odrůda	**Len/Flanders**		**Len/Bilstar**	
	průměrná hodnota	sm. odch	průměrná hodnota	sm. odch
průměr [mm]	68,48	1,81	67,61	1,73
délka [mm]	63,39	8,75	59,58	6,40
hmotnost [g]	125,72	12,47	109,00	19,08
materiál/odrůda	**Chrastice rákosovitá**			
	průměrná hodnota	sm. odch		
průměr [mm]	68,60	1,06		
délka [mm]	53,76	4,59		
hmotnost [g]	145,08	13,62		

Brikety ze všech odrůd lnu vykazují poměrně značnou kolísavost výsledků. Velké směrodatné odchylky u naměřených hodnot u odrůd lnu Amon, Flanders a Bilstar svědčí o značné nehomogenitě briket. Průměry briket ze všech materiálů se od průměru lisovací

komory odlišují o 2,29 až 3,60 mm. Vyšší průměr značí rozpínání vytvořené brikety po průchodu linkou a, vezmeme-li v úvahu hodnoty měrné hmotnosti a jejich průběh u výše zmíněných odrůd lnu, lze u těchto typů briket předpokládat horší soudržnost. Grafy měrné a sypné hmotnosti, poměrů slisování, resp. Tohoto poměru při uvažování sypné hmotnosti zachycují Obrázek 52 a Obrázek 53.



Obrázek 52 – Měrná a sypná hmotnost briket ze základních materiálů



Obrázek 53 – Poměry slisování briket ze základních materiálů

Nejvyšší poměry slisování lze zaznamenat u briket z odrůdy Lola, jehož hodnota je 5,26:1. Následován je briketami z chrastice rákosovité, kde dosáhl hodnoty 5,07:1. U ostatních

matriálů byly naměřeny poměry slisování o hodnotách nižších než 5:1. U lněné odrůdy Amon byla tato hodnota 4,76:1, Flanders 4,68:1 a nejnižšího výsledku dosáhl Bilstar se zjištěným poměrem 4,43:1.

Fotografie zkoumaných briket z odrůd lnu obsahují Obrázek 54 a Obrázek 55, brikety z chrastice pak Obrázek 56. Na některých jsou pouhým okem patrné strukturální vady a nízká soudržnost.

Obrázek 54 – Fotografie briket z odrůd lnu Amon (vlevo) a Flanders (vpravo)

Obrázek 55 – Fotografie briket odrůd lnu Bilstar (vlevo) a Lola (vpravo)

Obrázek 56 - Fotografie briket z chrastice rákosovité

5.4.2 Vlastnosti briket ze směsí s hoblinami a hoblin

Tato kapitola zkoumá vliv přídavku hoblin na sledované vlastnosti tvarovaných biopaliv. Tabulka 40 zaznamenává měrnou spotřebu elektrické energie, které oproti základním materiálům v průměru zvýšila, maximální hodnoty však zůstávají stejné.

Tabulka 40 – Měrná spotřebovaná energie na výrobu briket ze směsí s hoblinami a hoblin a výhřevnost materiálů

Materriál/odrůda	**Měrná spotřebovaná energie [kWh.kg^{-1}]**	**Výhřevnost [kWh.kg-1]**
len/Amon + hobliny	0,08	16,39
len/Lola + hobliny	0,08	16,50
len/Flanders + hobliny	0,06	16,37
len/Bilstar + hobliny	0,06	16,70
chrastice rákosovitá + hobliny	0,06	17,13
hobliny	0,06	18,10

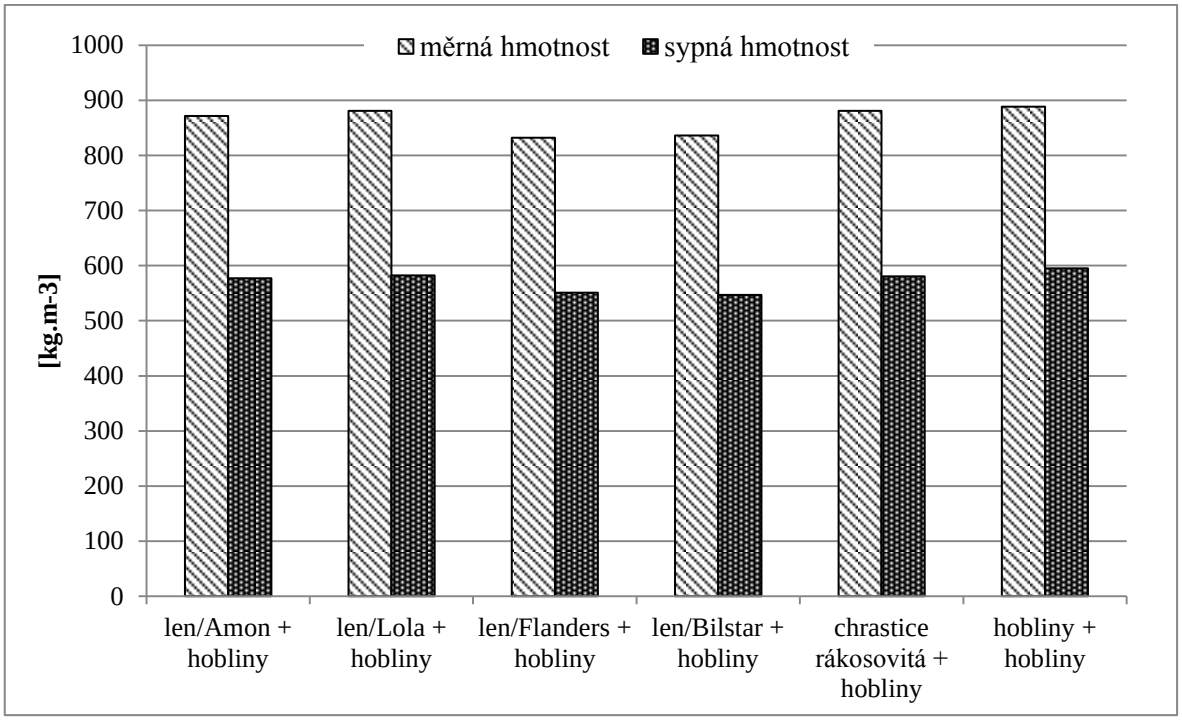
Tabulka 41 obsahuje výsledné rozměry briket ze směsí odrůd lnu a chrastice rákosovité s hoblinami.

Tabulka 41 - základní parametry briket ze směsí stébelnatých materiálů a hoblin

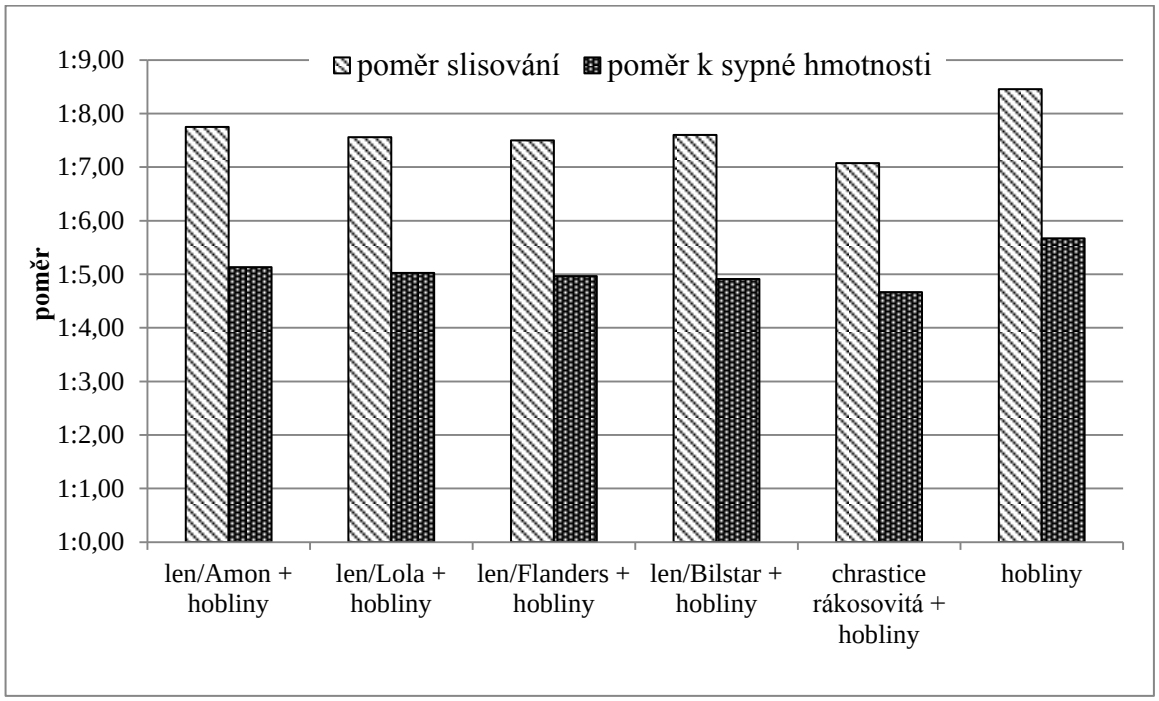
Materiály, poměr	**Amon + hobliny, 50:50**		**Lola + hobliny, 50:50**	
	průměrná hodnota	**sm. odch**	**průměrná hodnota**	**sm. odch**
průměr [mm]	66,59	0,60	66,08	0,47
délka [mm]	34,45	7,80	36,25	5,90
hmotnost [g]	104,94	25,73	109,08	15,82
Materiály, poměr	**Flanders + hobliny, 50:50**		**Bilstar + hobliny, 50:50**	
	průměrná hodnota	**sm. odch**	**průměrná hodnota**	**sm. odch**
průměr [mm]	66,87	0,58	65,73	0,38
délka [mm]	37,53	6,92	42,42	4,06
hmotnost [g]	109,59	20,12	120,92	10,24
Materiály, poměr	**chrastice + hobliny 50:50**		**hobliny**	
	průměrná hodnota	**sm. odch**	**průměrná hodnota**	**sm. odch**
průměr [mm]	66,47	0,23	66,82	0,29
délka [mm]	37,94	4,05	39,10	7,06
hmotnost [g]	115,95	12,83	121,74	22,33

Parametry jsou v tomto případě výrazně vyrovnanější. Průměr briket se od průměru lisovací komory odchyluje v rozmezí 0,73 – 1,87 mm, výrazně se snížila i směrodatná odchylka tohoto parametru. Znatelně vyrovnanější jsou i parametry měrné hmotnosti a to jak v rámci testovaných směsí, tak napříč testovanými materiály.

Absolutní hodnota měrné hmotnosti je také ve všech případech vyšší než u čistých materiálů a to až o desítky %. Nejvyšší hodnotu této veličiny lze zaznamenat u briket z hoblin, avšak brikety ze směsi odrůdy lnu Lola a chrastice rákosovité jsou nižší pouze o 7,45 resp. 7,19 $kg.m^{-3}$. Tento výsledek koresponduje s hodnotami z předchozí podkapitoly, kde brikety z chrastice a odrůdy Lola také vykazovaly nejlepší hodnoty.



Obrázek 57 - Měrná hmotnost briket ze směsí s hoblinami a z hoblin



Obrázek 58 – Poměr slisování briket ze směsí s hoblinami a z hoblin

Poměry slisování po přidání 50% podílu hoblin do směsi se pohybovaly v rozpětí hodnot 7:1 a 8:1. Hodnota tohoto poměru u briket z čistých hoblin pak představuje 8,46:1. Z briket s polovičním obsahem lněných odrůd dosáhla nejvyšší hodnoty tohoto ukazatele odrůda

Amon (7,75:1) s mírným odstupem následují odrůdy Bilstar (7,60:1), Lola (7,56:1) a Flanders (7,50:1). Brikety ze směsi chrastice rákosovité a hoblin měly v tomto případě poměr slisování 7,07:1, tedy nejnižší.

Obrázek 59 – Fotografie briket ze směsí hoblin se lněnými odrůdami Amon (vlevo) a Flanders (vpravo)

Obrázek 60 – Fotografie briket ze směsí hoblin se lněnými odrůdami Bilstar (vlevo) a Lola (vpravo)

Obrázek 61 - Fotografie briket z hoblin (vlevo) a ze směsi hoblin s chrasticí rákosovitou (vpravo)

5.4.3 Výsledky testů mechanické odolnosti briket ze základních materiálů

Tabulka 42 obsahuje výsledky testů mechanické odolnosti testem na rotujícím bubnu. Ke znatelnému odrolu některých briket docházelo i při běžné manipulaci s nimi. Špatná soudržnost je patrná i z fotografií na Obrázek 54, Obrázek 55 a Obrázek 56.

Tabulka 42 – Výsledky testů mechanické odolnosti briket ze stébelnatých materiálů

Materiál/odrůda	Len/Amon	Len/Lola	Len/Flanders	Len/Bilstar	Chrastice
mech. odlonost [%]	60,73	74,16	71,61	46,33	93,13
sm. odchylka [%]	3,01	4,87	2,19	7,63	0,77

V případě odrůd lnu Flanders a Lola neklesají hodnoty mechanické odolnosti pod 70 %, u odrůdy Amon se blíží 60% hranici a v případě odrůdy Bilstar je však průměrná hodnota této veličiny dokonce pod 50 %. I směrodatné odchylky naměřených hodnot byly v tomto případě značné, extrém byl zjištěn opět u odrůdy Bilstar. Tyto hodnoty mají za následek ztrátu cylindrického tvaru brikety. Zachovalá jádra briket navíc byla značně poškozená a při manipulaci se měla tendenci dále se odrolovat.

Výrazně uspokojivější byly výsledky briket z Chrastice, jejichž mechanická odolnost byla 93,23 %. Nejlepší výsledky u tohoto materiálu bylo možné očekávat vzhledem k nejvyšší měrné hmotnosti briket i nejvyrovnanějším hodnotám této veličiny.

5.4.4 Výsledky testů mechanické odolnosti briket ze směsí s hoblinami

Tabulka 43 obsahuje výsledky měření mechanické odolnosti briket s polovičním obsahem hoblin a také test briket z čistých hoblin, jako referenční hodnoty.

Tabulka 43 - Výsledky testů mechanické odolnosti briket z materiálových směsí

Materiál/odrůda	**Amon + hobliny**	**Lola + hobliny**	**Flanders + hobliny**	**Bilstar + hobliny**	**Chrastice + hobliny**
mech. odlonost [%]	96,91	97,06	95,5	96,12	96,76
sm. odchylka [%]	0,17	0,43	0,47	0,40	0,10
materiál/odrůda	**hobliny**				
mech. odlonost [%]	97,31				
sm. odchylka [%]	0,16				

Mechanické poškození (odrol) ve všech případech nepřekračuje 5% hranici, což znamená výrazné zlepšení parametrů. Avšak mechanická odolnost všech sledovaných vzorků nepřesahuje 97,06 %. Chrastice opět vykazuje nejlepší hodnoty ze sledovaných směsí, tentokrát je rozdíl velmi malý.

5.5 Technicko ekonomické hodnocení

Hodnotové údaje vycházejí z projektů, na kterých byla prováděná příslušná měření.

5.5.1 Nákladová analýza hodnocení silážní laguny

Náklady na výstavbu a provoz silážní laguny pro cukrovou řepu jsou závislé na konkrétních podmínkách stanice. Výpočty jsou provedeny pro parametry laguny, shodné s lagunou bioplynové stanice Dummerstorf. Náklady jsou počítány při naplnění laguny 2625 t zpracované cukrové řepy ročně. Doba životnosti projektu je 30 let.

Náklady na výstavbu a připojení laguny činí 2 778 000,00 Kč. Tabulka 44 obsahuje rozdělení těchto nákladů dle typu investice do odpisových skupin dle zvolené metodiky.

Tabulka 44 - Rozdělení pořizovacích investičních nákladů na silážní lagunu nákladů dle typu investice

Typ investice	**[Kč]**
Vybavení (nástroje, měřící aj.)	20 000,00
Technologická zařízení (čerpadlo aj.)	132 000,00
Technologická zařízení (pojezd čerpadla, ocelové konstrukce aj.)	225 000,00
Připojení k bioplynové stanici, oplocení	308 000,00
Stavba	2 065 000,00
Celkem	**2 778 000,00**

Tabulka 45 obsahuje průměrné roční odpisy a náklady na provoz laguny dle zvolené metodiky. Náklady na zpracování bulev a plnění laguny jsou uvažovány jako cena za službu ve výši 70,00 Kč.t^{-1} a při ceně nafty 30,00 Kč.l^{-1}.

Tabulka 45 - Přehled průměrných ročních odpisů a provozních nákladů silážní laguny

Položka	**[Kč]**
Odpisy	149 200,00
Náklady na údržbu	43 000,00
Náklady na zpracování řepy a plnění laguny	221 400,00
Náklady na el. energii	6 900,00
Ostatní náklady	19 500,00
Celkem za rok	**440 000,00**

Na základě sumy výše uvedených skutečných investičních i provozních nákladů vztažených na celkové množství uskladněného materiálu v průběhu životnosti projektu byly spočteny průměrné náklady na silážování jedné tuny cukrové řepy, které činí 168,00 Kč.

5.5.2 Nákladová analýza plynovodu a teplovodu

Pro vytápění zválených objektů teplem z bioplynové stanice lze zvolit následující síť mikroplynovodů k dislokovaným kogeneračním jednotkám a teplovod. Nákladová analýza teplovodu vychází z podmínek bioplynové stanice Dummerstorf. Nákladová analýza plynovodu vychází ze situace reálného plynovodu bioplynové stanice Rothenkirchen přepočteného na podmínky srovnatelné s teplovodem. Doba životnosti obou projektů je 20 let.

Tabulka 46 uvádí přehled investičních nákladů na teplovod dle typu investice do odpisových skupin dle zvolené metodiky. Celkové investiční náklady činí 7 161 000,00 Kč.

Tabulka 46 - Přehled investičních nákladů na teplovod

Odpisová skupina	Typ investice	[Kč]
1	Vybavení (nástroje, měřící aj.)	28 000,00
2	Technologická zařízení (čerpadla aj.)	82 000,00
3	Technologická zařízení a konstrukce (výměníky aj.)	612 000,00
4	Teplovod	5 989 000,00
5	Nutné úpravy budov a staveb	450 000,00
	Celkem	**7 161 000,00**

Tabulka 47 uvádí přehled odpisů a provozních nákladů teplovodu dle zvolené metodiky.

Tabulka 47 – Přehled odpisů a provozních nákladů teplovodu

Položka	[Kč]
Odpisy	401 400,00
Náklady na údržbu	100 500,00
Náklady na el. energii a doplňování vody v oběhu	140 000,00
Ostatní náklady	50 100,00
Celkem za rok	**692 000,00**

Při nasmlouvaném dodávaném množství tepelné energie ve výši 5500,00 GJ ročně náklad na GJ dodaného tepla představuje 126,00 Kč.GJ^{-1}.

Celkové investiční náklady na plynovod činí 6 285 000,00 Kč. Jejich strukturu dle odpisových skupin obsahuje Tabulka 48.

Tabulka 48 – Přehled investičních nákladů modelového plynovodu

Odpisová skupina	Typ investice	[Kč]
1	Vybavení (nástroje, měřící aj.)	35 000,00
2	Technologická zařízení (kogenerační jednotky aj.)*	1 800 000,00
3	Technologická zařízení a konstrukce (kompresorová jednotka aj.)	350 000,00
4	Plynovod	2 900 000,00
5	Nutné úpravy budov a staveb	1 200 000,00
	Celkem	**6 285 000,00**

*Jde o rozdíl v ceně oproti variantě teplovodu, kdy by byla instalována pouze KJ v BP

Tabulka 49 zobrazuje průměrné roční odpisy a náklady na provoz projektu.

Tabulka 49 – Přehled investičních nákladů modelového plynovodu

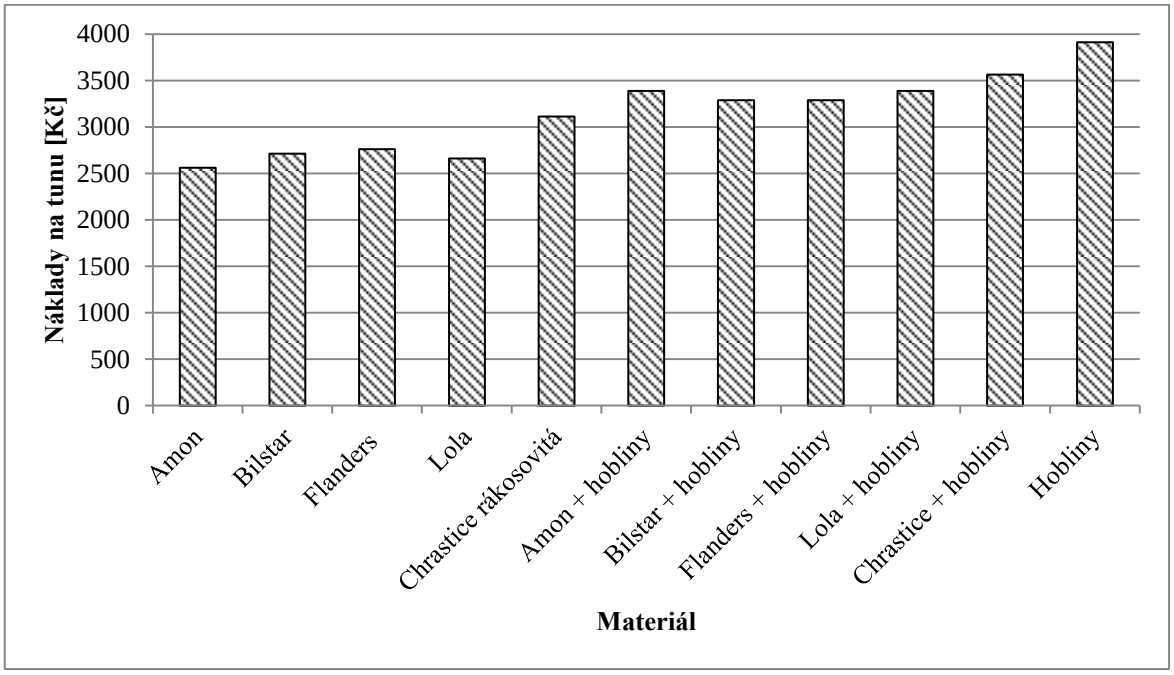
Položka	[Kč]
Odpisy	591 700,00
Náklady na údržbu	150 300,00
Náklady na el. energii	95 000,00
Ostatní náklady	44 000,00
Celkem za rok	**881 000,00**

Při nasmlouvaném dodaném množství tepelné energie ve výši 5 500,00 GJ ročně by náklad na dodaný GJ představoval 160,00 Kč.GJ^{-1}. Pokud by však bioplynová stanice byla schopna dodat i objem teplené energie, které vznikají v případě teplovodu, snížil by se náklad na dodané teplo na 135,00 Kč.GJ^{-1}.

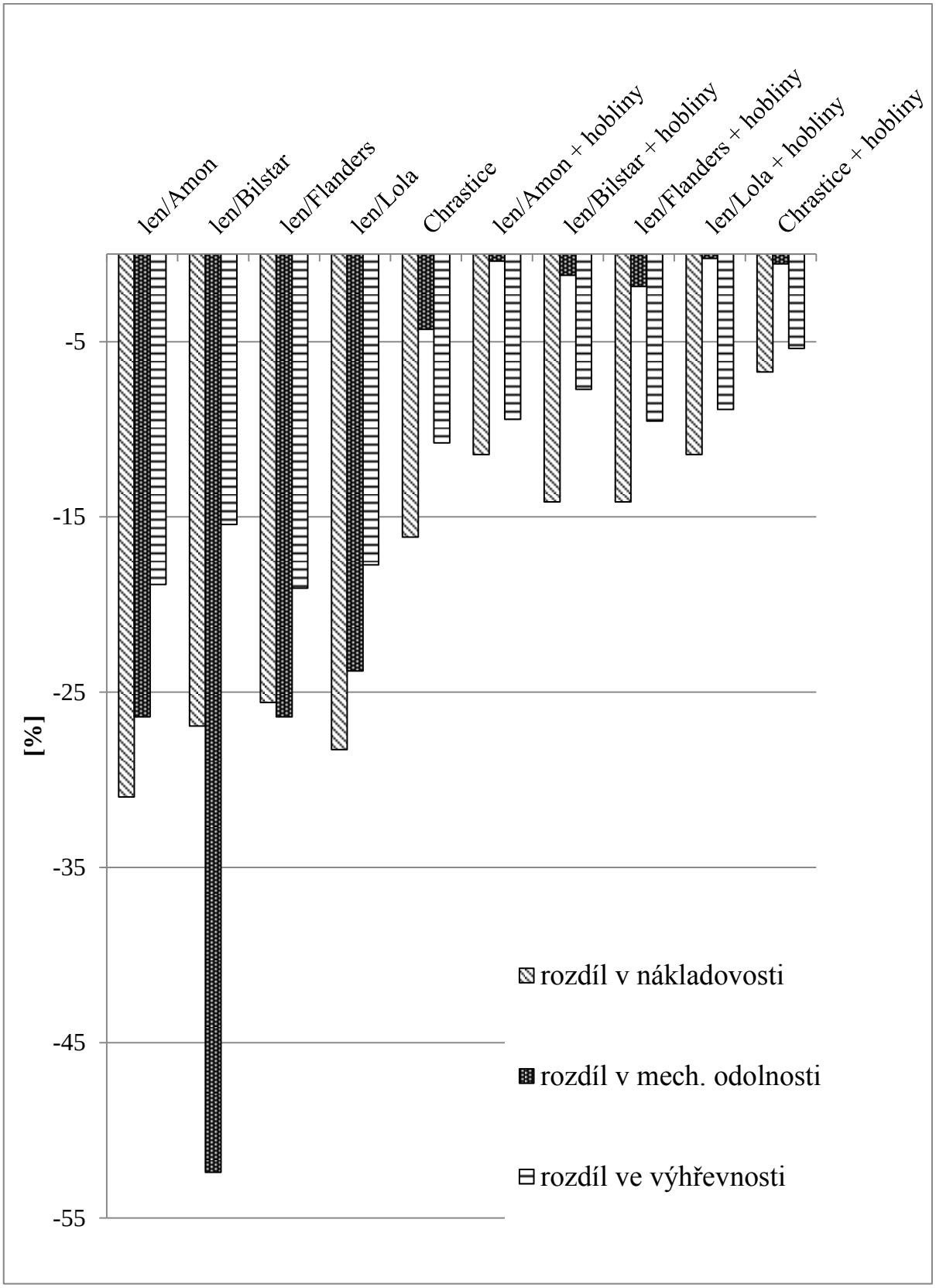
5.5.3 Nákladová analýza výroby palivových briket

Cena lisu se srovnatelnými parametry s tím, který byl využíván během laboratorních pokusů, je 290 000,00 Kč.

Cena materiálu včetně dopravy, jeho skladování a zpracování je uvažována ve výši 1 650,00 $Kč.t^{-1}$ v případě chrastice rákosovité, 2 150,00 $Kč.t^{-1}$ v případě hoblin a 1 100,00 $Kč.t^{-1}$ v případě slámy lněných odrůd. Výrazně nižší hodnota v případě lněných odrůd je dána faktem, že sláma není primárním produktem pěstování této plodiny. Obrázek 62 obsahuje průměrné náklady na tunu produkce briket při pětileté době životnosti projektu. Obrázek 63 uvádí rozdíly ve výhřevnosti, mechanické odolnosti a nákladovosti sledovaných briket proti briketám z hoblin, které jsou nejnákladnější a mají nevyšší výhřevnost.



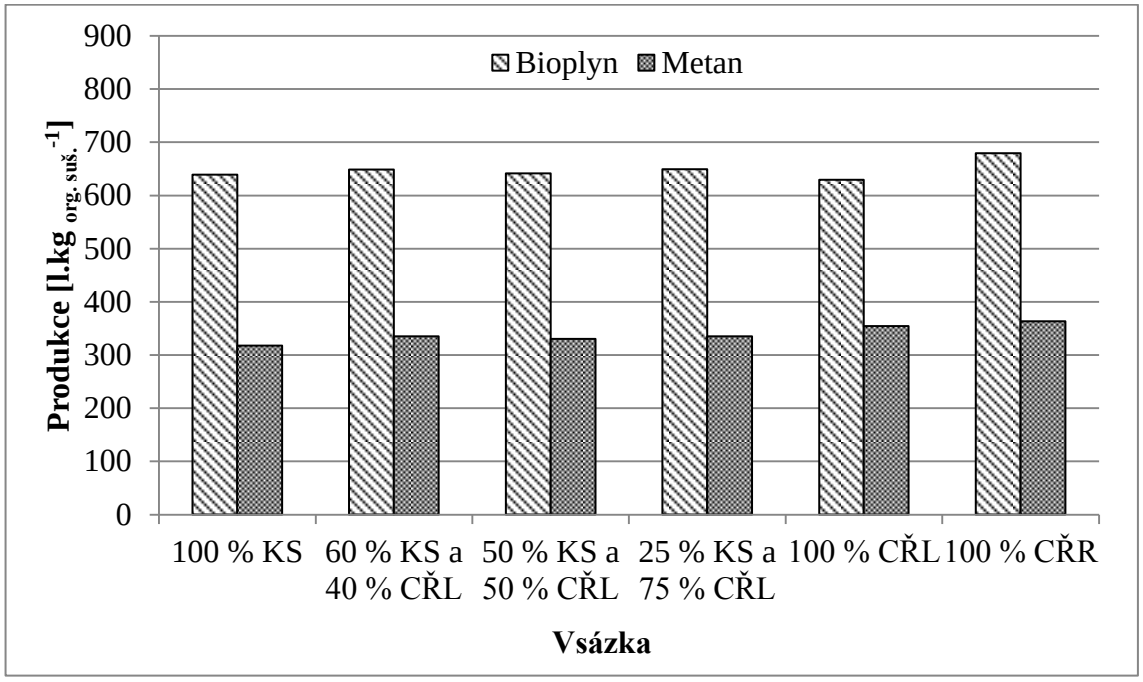
Obrázek 62 - Graf nákladů na produkci tuny briket



Obrázek 63 - Graf rozdílu sledovaných briket v ceně, mechanické odolnosti a výhřevnosti proti briketám z hoblin

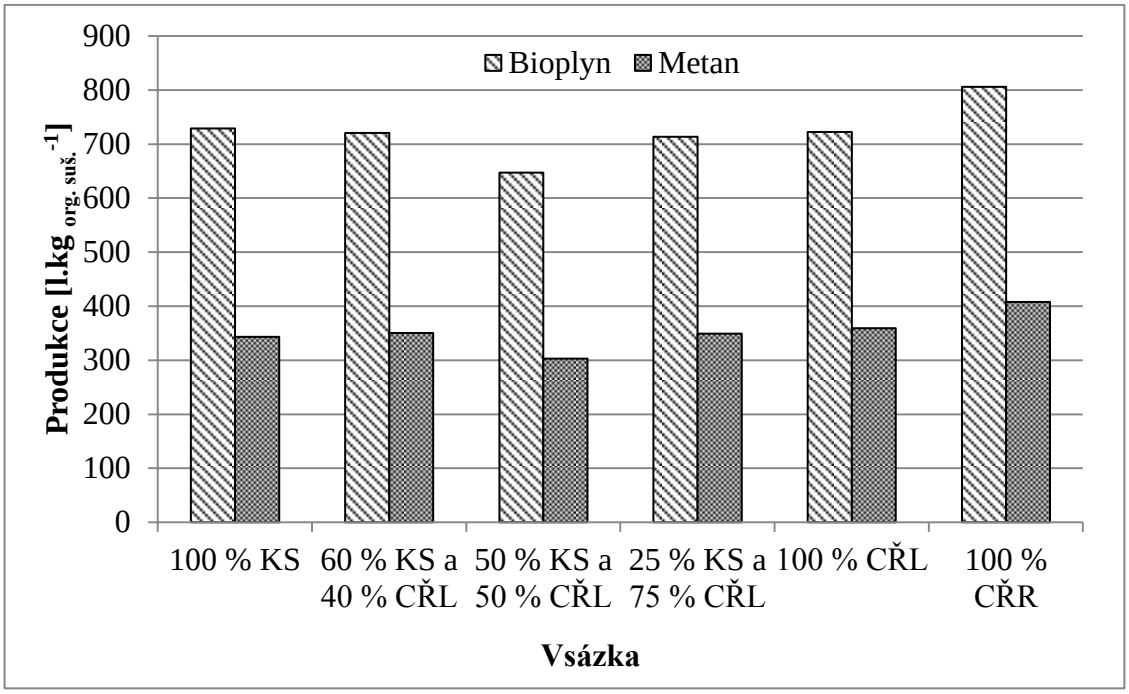
6 Diskuze

Porovnání výsledných hodnot vývoje bioplynu ze zkoumaných substrátů odhaluje znatelné rozdíly jak při změně zatížení fermentoru, tak i mezi jednotlivými substráty. Při zatížení fermentoru na hodnotu 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ spadají všechny naměřené hodnoty produkce bioplynu mezi 620 a 680 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ a metanu mezi 310 a 370 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ (viz Obrázek 64). Maximální hodnota byla naměřena, 679,12 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ bioplynu a 363,08 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$, v případě 100% referenční siláže cukrové řepy, minimální hodnota vyprodukovaného bioplynu, 629,35 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ byla zaznamenána v případě 100% siláže cukrové řepy z laguny, minimální produkce metanu byla, vzhledem k jeho rozdílným koncentracím, naměřena u vsázky tvořené pouze kukuřičnou silážÍ a její hodnota je 317,42 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$.



Obrázek 64 – Srovnání produkce bioplynu z testovaných substrátů při zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ (KS: kukuřičná siláž, CŘL: siláž cukrové řepy z laguny, CRR: siláž cukrové řepy – referenční)

Obrázek 65 obsahuje výsledné hodnoty produkce při zatížení fermentoru na hodnotu 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$. Hodnoty se tentokrát pohybují ve větším rozpětí, 647,30 až 806,00 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$. Minimální produkce byla tentokrát naměřená u směsi 50 % kukuřičné siláže a 50 % cukrové řepy silážované v laguně.



Obrázek 65 – Srovnání produkce bioplynu z testovaných substrátů při zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ (KS … kukuřičná siláž, CŘL … siláž cukrové řepy z laguny, CŘR … siláž cukrové řepy – referenční)

Dle DEMIREL a SCHERER (2008) je výtěžnost bioplynu ze silážované cukrové řepy 720,00 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$, produkce metanu je pak v rozpětí 360,00 – 410,00 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$. Lehce nižší údaje uvádí metodika německého Sdružení pro technologie a stavby v zemědělství, kde je v případě cukrové řepy předpokládaná výtěžnost plynu 720,00 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ a metanu 360,00 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ u kukuřičné siláže jsou tyto hodnoty 642,00–646,00 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ a 347,00–348,00 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$. (KTBL, 2010). V metodice CZ BIOM (2009) jsou uváděny předpokládané produkce bioplynu v rozpětí 450,00 – 700,00 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ při koncentraci metanu 50,00-55,00 % pro kukuřici a 700,00 – 860,00 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ pro cukrovou řepu při koncentraci metanu 53,00 – 54,00 %.

Poměrně vysoké výtěžnosti bioplynu z cukrové řepy dosáhli MURPHY a POWER (2009), kteří uvádějí výtěžnost metanu 378,00 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$ při 49,7% koncentraci, výtěžnost plynu je tedy 760,56 $l.kg_{org.\ suš.}^{-1}$. Z uvedeného plyne, že siláž cukrové řepy z laguny dosahuje hodnot blízkým nižší hranici udávaných rozpětí. Referenční laboratorní siláž naopak dosahuje hodnot odpovídajících spíše horní hranici, případně hodnot blížícím se produkci z

čerstvé cukrové řepy. SCHULDT a DINSE (2013) uvádějí ztráty výtěžnosti metanu z organické sušiny až 21,4 % v případě silážního žlabu v provozních podmínkách. WEIßBACH et. al. (2011) uvádí ztráty při silážování ve vacích při provozním využití až 23 % v případě neošetřené siláže a až 11 % v případě správného zachycení a využití odtoků silážních šťáv. Tyto hodnoty korespondují se ztrátami naměřenými v podmínkách silážní laguny. Naměřené rozdíly v produkci bioplynu, resp. metanu z cukrové řepy z laguny a z laboratorní siláže cukrové řepy odpovídají těmto hodnotám.

HUTŇAN et. al. (2010) uvádí pokles produkce bioplynu z kukuřičné siláže při zvýšení zátěže fementoru z 5,25 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ na 6,3 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$. Do té doby byla mezi zvyšující se zátěží a produkcí bioplynu přímá úměrnost. Kritická hodnota v podobě bodu zvratu v produkci tedy byla v této studii dosažena později.

Rychlejší dynamika vývoje bioplynu z cukrové řepy z laguny byla patrná při obou hladinách zatížení fermentoru. Při zatížení fermentoru o hodnotě 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ byl podíl u produkce bioplynu za sledovaný den u kukuřičné siláže nejnižší ze všech sledovaných vsázek až do třetího dne ze sedmidenního cyklu včetně, naopak vyšší než u ostatních materiálů byl v šestém a sedmém dni. Produkce bioplynu ze siláže cukrové řepy z laguny za sledovaný den byla nejvyšší ze všech sledovaných směsí ve druhém až čtvrtém dni cyklu, v prvním dni dosáhla vyššího podílu produkce za sledovaný den směs 75 % siláže cukrové řepy z laguny a 25 % kukuřičné siláže, rozdíl byl však velmi malý. U těchto dvou typů vsázky byly také zaznamenány nejnižší denní podíly produkce v šestém a sedmém dni cyklu. Při zatížení fermentoru o hodnotě 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ vykazuje kukuřičná siláž opět minimální hodnoty denního podílu na produkci bioplynu ze všech sledovaných směsí v prvním až třetím dni a naopak v šestém a sedmém byl tento podíl nejvyšší. Siláž cukrové řepy z laguny má nejvyšší hodnoty denního podílu produkce ze všech sledovaných vsázek v prvních dvou dnech cyklu a nejnižší hodnoty ve dnech, kdy nebyla prováděna vsázka.

Vypočtené roční náklady na silážování v laguně ve výši 168,00 Kč.t^{-1} je třeba porovnat s výsledky výpočtů získané obdobnou metodikou. SCHATTSCHNEIDER (2011) uvádí ceny za tunu siláže pro roční produkci 1000 a 5000 t při stejném rozsahu nákladů, tedy od zpracování po dávkování do fermentoru. V prvním případě jsou náklady přibližně 275,00 Kč.t^{-1} v případě silážního žlabu, 360,00 Kč.t^{-1} v případě silážní věže a 495,00 Kč.t^{-1} pro silážní vak a 162,00 Kč.t^{-1} v případě obdobné laguny. Pro roční silážovanou produkci ve výši 5000 t byly jednotkové náklady nižší, tedy 180,00 Kč.t^{-1}, 280,00 Kč.t^{-1} a 300,00 Kč.t^{-1} a 117,00 Kč.t^{-1}.

Silážní laguna pojme 2625 t zpracované cukrové řepy. Vypočtené náklady na tunu materiálu určeného pro silážování představují 168,00 Kč. Při proložení výsledků studie závislosti nákladů na objemu roční skladované produkce dle SCHATTSCHNEIDERA (2011) lineárním trendem by tvořily přibližné náklady na silážování 2 625 t cukrové řepy 236,00 Kč.t^{-1} v případě žlabu, 330,00 Kč.t^{-1} v případě silážní věže, 415,00 Kč.t^{-1} v případě vaku a 145,00 Kč.t^{-1} v případě obdobné laguny.

Dopravní procesy jsou obdobné pro všechny metody silážování. Vhodně zvolená mechanizace však může mít výrazný vliv na ekonomiku celého procesu. V případě sledovaných souprav nákladního vozu Mercedes Actros s návěsem NFP-Eurotrailer SKA a soupravy Massey Ferguson 8480 Dyna VT s návěsem Krampe Kipper Big Body 750 je zásadní rozdíl ve spotřebě obou souprav. Přepravní výkon na dopravní cyklus je v případě Mercedesu Actros téměř dvojnásobný, spotřeba na tunu přepraveného materiálu téměř čtyřnásobná. Souprava traktoru a návěsu byla schopna vyvinout vyšší průměrné rychlosti, což lze připisovat stavu cest, avšak tím se zvýšil čas prostojů.

Sledování kvality plynu distribuovaného sítí mikroplynovodů nepřineslo žádné hodnoty vymykající se předpokladům na základě literárních pramenů a měření prováděných na výstupu ze stanice a v laboratoři. Pro porovnání této varianty s teplovodem o délce 1450 m a 16% ročních ztrátách na tepelné energii byl vytvořen model o stejné délce vedení. Náklad na dodaný GJ tepelné energie sledovaným teplovodem představuje 126,00 Kč.GJ^{-1}. Tento náklad by v případě modelového plynovodu představoval 160,00 Kč.GJ^{-1} při

dodržení objemu nasmlouvaného tepla a 135,00 Kč.GJ^{-1}, pokud by bylo možné využít energii, která v případě teplovodu připadá na roční ztráty. Výhodnější je tedy v tomto případě varianta teplovodu, plynovody však mohou být vhodnější variantou na delší trasy vzhledem ke struktuře nákladů a zvyšujícími se ztrátami teplovodů s délkou vedení.

Objemová hmotnost briket pouze z odrůd lnu se blíží výsledkům pokusů s komprimováním stébelnatých materiálů, ke kterým dospěl STOLARSKI et al. (2013). Konkrétně se jedná o řepkovou slámu čistou a v kombinaci se štěpkou z vrby. Hodnoty se v obou případech pohybují těsně pod hranicí 400 kg.m^{-3}. Hodnoty briket lisovaných z čisté chrastice rákosovité jsou výrazně vyšší, korespondují s hodnotami naměřenými jinými autory. PLÍŠTIL (2004) uvádí rozpětí objemové hmotnosti 630-660 kg.m^{-3}. Součástí studie je také test odolnosti brikety v trhu, která sice nelze přímo porovnat se zde popsaným testem mechanické odolnosti, ale brikety z chrastice měly druhou nejnižší objemovou hmotnost v testu a stejně tak vykázaly druhou nejnižší mechanickou odolnost.

K podobným výsledkům také docházejí HUTLA a JEVIČ (2012), kteří uvádějí průměrnou objemovou hmotnost v závislosti na termínu sklizně 690 kg.m^{-3} pro podzimní a 720 kg.m^{-3} v případě jarní sklizně. Problematice zhutňování chrastice rákosovité se také věnuje studie KRONBERGS et al. (2013), která však zkoumá vlastnosti briket v laboratorních podmínkách za použití výrazně vyšších tlaků. Při použití lisovacího tlaku o hodnotě 90 MPa bylo u briket ze vstupního materiálu porovnatelných vlastností objemové hmotnosti 746 kg.m^{-3}.

Ekonomika provozu lisu na brikety při využívání materiálů stébelnatých biopaliv je silně závislá na ročním využití a nákladech na vstupní materiály. V případě lisu s teoretickou výkonností cca 40 – 55 kg.hod^{-1} lze výrobu briket označit za doplňkovou činnost.

Uvažovaná roční produkce ve výši 100 t briket znamená pro takový typ činnosti poměrně velké nároky na zajištění vstupního materiálu, v případě jeho nedostatku z vlastních zdrojů je potřeba zajistit jiné materiály v obdobné nákladové hladině. V opačném případě vzrůstá výše odpisů na jednotku produkce a tím se prodražuje výroba.

Nízké náklady na výrobu briket z odrůd lnu jsou dány relativně nízkými náklady na stonek. To je dáno skutečností, že se jedná o vedlejší produkt. Náklady na produkci tuny briket se pohybují od 2630,00 do 2810,00 Kč.t^{-1}. Náklady na brikety z chrastice jsou pak 3180,00 Kč.t^{-1}. Vzhledem k nesoudržnosti briket a s ní spojené nízké mechanické odolnosti však nepřipadá v úvahu náročnější manipulace s nimi a hlavní výhodou produkce je pouze úspora skladovacích prostor. Poměr měrné hmotnosti briket ke vstupnímu materiálu se pohybuje v rozmezí 1:4,40 až 1:5,40. Poměr sypné hmotnosti ke vstupnímu materiálu se pohybuje v rozmezí 1:3,28 až 1:3,69. Výhřevnost briket z odrůd lnu se pohybuje od 14,65 MJ. kg^{-1} do 15,31 MJ.kg^{-1} a je 16,15 MJ.kg^{-1} v případě briket z chrastice rákosovité.

Problém nízké mechanické odolnosti do značné míry odstraňuje použití stébelnatých materiálů ve směsi 1:1 s hoblinami. Náklady však stoupají na 3245,00 až 3335,00 Kč.t^{-1} v případě lněných odrůd a 3520,00 Kč.t^{-1} v případě chrastice. Poměr slisování se zde pohybuje mezi 1:7,00 a 1:7,80. Náklady na brikety pouze z hoblin představují 3770,00 Kč.t^{-1}, poměr slisování je 1:8,46. Poměr sypné hmotnosti ke vstupnímu materiálu se pohybuje v rozmezí 1:4,66 až 1:5,13 u briket ze směsí a činí 1:5,67 u briket z hoblin. Výhřevnost briket ze směsí hoblin s odrůdami lnu se pohybuje od 16,37 MJ. kg^{-1} do 16,70 MJ.kg^{-1} a je 17,13 MJ.kg^{-1} v případě briket z chrastice rákosovité. Výhřevnost briket z hoblin je 18,10 MJ.kg^{-1}. Mechanická odolnost briket ze směsí se ve všech případech zvýšila oproti briketám pouze ze stébelnatých materiálů, jsou tedy vhodnější pro manipulaci a dopravu.

Prodejní cena dřevěných briket na trhu začíná na hladině okolo 4000,00 Kč.t^{-1}, což nepříznivě ovlivňuje možnost tržního uplatnění briket vytvářených výše uvedeným způsobem. Výraznější poptávce po briketách ze stébelnatých materiálů také brání neuspokojivá situace na trhu spalovacích zařízení, která by byla pro takový vstup certifikována.

7 Závěr

Siláž cukrové řepy z laguny se z hlediska celkové výtěžnosti a složení bioplynu příliš neliší od zkoumané kukuřičné siláže. Podobné jsou tyto výsledky i v případě kombinovaných vsázek s kukuřičnou silážÍ. Při prováděných měřeních byl patrný vliv zatížení fermentoru, kdy při vyšší hodnotě byly u všech typů vsázek naměřeny nižší hodnoty produkce.

U vsázek siláže cukrové řepy z laguny byl oproti zkoumané referenční laboratorní siláži cukrové řepy zjištěn pokles produkčního potenciálu při obou hladinách zatížení fermentoru. Hypotézu 1 tedy je třeba zamítnout. Při srovnání s hodnotami jiných metod silážování uvedených v literatuře lze konstatovat, že se jedná o standardní výsledky úbytku potenciálu produkce v provozních podmínkách.

Rozdíl v dynamice tvorby bioplynu mezi kukuřičnou silážÍ a vsázkami obsahujícími cukrovou řepu silážovanou v laguně byl v průběhu pokusů znatelný zejména v prvních dvou dnech po obnovení vsázek a v posledních dvou dnech cyklu, kdy vsázka nebyla prováděna. Vsázky obsahující siláž cukrové řepy z laguny dosahovaly rychlejšího nárůstu produkce po obnovení přísunu materiálu do fermentoru a naopak rychlejšího útlumu v případě jeho zastaveníTento trend se potvrdil při obou hladinách zatížení fermentoru. Hypotézu 2 tedy přijmout lze. Rychlejší nárůst produkce po provedení vsázky s sebou nese např. komplikace s tvorbou pěny, které vedou k nutnosti rozložení vsázky do většího počtu dávek.

Zjištěné jednotkové náklady na provoz silážní laguny počínaje zpracováním cukrové řepy a konče dávkováním siláže do fermentoru jsou nižší než v případě jiných metod silážování. Hypotézu 6 tedy lze přijmout.

Při sledování distribuce bioplynu sítí mikroplynovodů nebyl na vzdálených kogeneračních jednotkách odhalen zásadní pokles v obsahu metanu, který by bránil provoznímu využití. Hypotézu 3 lze přijmout.

Při porovnání výsledku analýz nákladů teplovodu a plynovodu bylo zjištěno, že v případě kratší trasy (o délce 1450 m) jsou náklady na GJ dodaného tepla nižší v případě teplovodu.

Hypotézu 7 nelze přijmout. U delších tras vedení však vzhledem k tepelným ztrátám teplovodu a struktuře nákladů lze předpokládat, že se plynovod stane vhodnější variantou.

Analýza možnosti využití stébelnatých materiálů pro produkci briket prokázala nízkou mechanickou odolnost výsledných produktů. Méně závažný je tento problém u briket z chrastice rákosovité, výrazně horší však byly výsledky v případě odrůdy lnu setého. Stonek sledovaných odrůd lnu ma navíc rozdílné mechanické vlastnosti, což se promítá nejen do výsledků mechanické odolnosti, ale také do energetické náročnosti výroby. Hypotézu 4 tedy nelze přijmout, zvolené materiály nejsou bez aditiv vhodné k tvorbě kvalitních briket. Využitelnost vyprodukovaných briket je vzhledem k této skutečnosti snížená omezenými možnostmi manipulace.

U briket s 50% podílem dřevěných hoblin však došlo k výraznému zlepšení jak v případě mechanické odolnosti, tak v případě lisovacích poměrů. Hypotézu 5 tedy lze přijmout. Procentuální pokles nákladů na produkci briket s obsahem stébelnatých materiálů je výraznější než procentuální pokles výhřevnosti ve srovnání s briketami z hoblin. Hypotézu 8 lze proto přijmout.

8 Citovaná literatura

BABIČKA, L. a F. STRAKA, 2007. Souhrn výhod výroby a využití bioplynu v resortu zemědělství. In: *Mezinárodní konference BIOPLYN*. České Budějovice: GAS s.r.o.

BECHNÍK, B., 2010. Rozvoj OZE – jinak než v Evropě. *Biom.cz*. 07. 07. 2010 [cit. 2011-06.-02]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rozvoj-oze-jinak-nez-v-evrope

BENNDORF, R. et al., 2012. *Messmethodensammlung Biogas*. Leipzig: DBFZ. ISSN: 2192-1806.

Biom.cz, 2006. *Vliv složení směsi na vlastnosti topných pelet* [online]. 29. 03. 2006 [cit. 2011-06.-19]. ISSN: 1801-2655

Biom.cz, 2007. *Palivo z rostlin - brikety, pelety* [online]. 01. 04. 2007 [cit. 2011-06.-18]. ISSN: 1801-2655

BMELV, 2012. *Das Erneuerbare Energien-Gesetz: Daten und Fakten zur Biomasse – Die Novelle 2012*. Berlin: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz .

BÖTTCHER, R. et al., 2011. EFFICIENT BIOGAS PRODUCTION FROM BEET. In: *Agricultural Engineering. Research papers*. Kaunas: Aleksandras Stulginskis University, s. 16 - 22. ISSN 1392-1134.

BROŽEK, M., 2011. Quality evaluation of briquettes made from biomass. In: *The Fifth International Scientific Conference "Rural Development 2011"*. Akademija, Kaunas district: University of Agriculture (Aleksandras Stulginskis University), s. 308 - 313. ISSN 1822-3230.

BROŽEK, M. a A. NOVÁKOVÁ, 2008. Mechanical properties of pellets from sorrel. In: *7th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*. Jelgava: Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering, s. 265 - 269. ISSN 1691-5976.

BROŽEK, M. a A. NOVÁKOVÁ, 2010. Briquetting of chips from nonferrous metal. Jelgava: Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering, s. 236 - 241. ISSN 1691-3043.

CZ BIOM, 2007. In: *Návrh akčního plánu pro biomasu pro ČR na období 2008 - 2010* [online]. Praha: 12. 10. 2007 [cit. 2011-05.-27]. Dostupné z: http://biom.cz/appb/AP_biomasa_12-10-07.pdf

CZ BIOM, 2009. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. Praha (ČR).

ČANDOVÁ, D., J. SOUČEK a O. VACEK, 2009. Vlastnosti olejného lnu z hlediska energetického využití. *Agritech science*. Praha, č 3. ISSN 1802-8942.

ČESKÉ EKOLOGICKÉ MANAŽERSKÉ CENTRUM, 2009. *Bioodpad - Bioplyn - energie*. ČR.

DEMIREL, B. a P. SCHERER, 2008. Production of methane from sugar beet silage without manure addition by a single-stage anaerobic …. *Biomass and Bioenergy*, č 32, s. 203 - 209. ISSN 0961-9534.

DEUBLIN, D. a A. STEINHAUSER, 2011. *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction 2nd Ed.* Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Vo. KGaA. ISBN 978-3-527-32798-0.

DRAHOTSKÝ, I. a B. ŘEZNÍČEK, 2003. *Logistika: Procesy a jejich řízení*. Brno: Computer Press. ISBN 80-7226-521-0.

EREC, 2011. *Mapping Renewable Energy Pathways Towards 2020*. EREC.

ERÚ, 2005. *Vyhláška 502/2005 Sb.* Energetický regulační úřad.

European Commission: Energy, 2011. *Member States Progress in Reaching Various Renewable Energy Targets* [online] [cit. 2011-06.-02]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/energy/renewables/reports/doc/2011_list_renewable_energy_targets.pdf

EVS, 2011. EESTI STANDARDIKESKUS MTÜ. In: *EVS-EN 15234-1:2011 Solid Biofuels - Fuel Quality Assurance - Part 1: General* [online].2011 [cit. 2011-06.-11]. Dostupné z: http://www.evs.ee/Checkout/tabid/36/screen/freedownload/productid/198947/doclang/en/preview/1/EVS_EN_15234_1;2011_en_preview.aspx

GANS, O. et al., 2010. *Antibiotika und Biogasanlagen: Abbauverhalten und Einfluss auf die Biogasproduktion*.. Wien: Umweltbundesamt GmbH. ISBN 978-3-99004-088-1.

GRUBER, W., 2003. *Biogasanlagen in der Landwirtschaft*.. Bonn: Herausgegeben vom aid infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e. V. ISBN 3-8308-0373-7.

HABART, J., 2008. Biom.cz. In: *V čem se liší zemědělská a komunální bioplynová stanice – zamyšlení u příležitosti otevření …* [online]. 27. 10. 2008 [cit. 2011-06.-18]. ISSN: 1801-2655

HŮLA, J. et al., 2012. Indikátory vodní eroze půdy při pěstování kukuřice. Mechanizace zemědělství, č Zvláštní vydání, s. 152-58. ISSN 0373-6776.

HUTLA, P. a P. JEVIČ, 2012. Topné brikety z kombinovaných rostlinných materiálů. *Biom.cz*. ISSN: 1801-2655. Dostupné také z:

HUTŇAN, M. et al., 2010. Biogas production from maize grains and maize silage. *Polish Journal of Environmental Studies*, č 2, s. 323-29. ISSN 1230-1485.

CHIANI, G., G. LAPORTE a R. MUSMANNO, 2004. *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. Chinchester: John Wiley & Sons Ltd. ISBN 0-470-84916-9.

JAKUBES, J., H. BELLINGOVÁ a M. ŠVÁB, 2006. *Moderní využití biomasy - technologické a logistické možnosti*. Česká energetická agentura.

JAKUBES, J., J. PIKÁLEK a L. PROUZA, 2006. *Příručka: Obnovitelné zdroje energie*. Hospodářská komora České Republiky.

JEVIČ, P., P. HUTLA a Z. ŠEDIVÁ, 2008. *Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých biopaliv na bázi agrárních produktů*. Praha: VÚZT, v.v.i. ISBN 978-80-86884-42-4.

KAKITIS, A., I. NULLE a D. ANCANS, 2010. Stalk material orientation in biomass composite briquettes. In: *Trends in Agricultural Engineering 2010*. Praha: ČZU v Praze, s. 285 - 290. ISBN: 978-80-213-2088-8.

KÁRA, J., Z. PASTOREK a E. PŘIBYL, 2007. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Praha: VÚZT, v.v.i. ISBN 978-80-868884-28-8.

KÁRA, J., O. MUŽÍK a D. PAGANELLI, 2011. Návrh malotonážního zařízení pro úpravu bioplynu na kvalitu zemního plynu. *Agritech Science*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i., č 2, s. 1-7. ISSN 1802-8942.

KHAN, A. A. et al., 2009. Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. *Fuel Processing Technology,* s. 21-50. ISSN 0378-3820.

KOVÁŘOVÁ, M. et al., 2002. Pěstování a využití energetických a průmyslových plodin. *Biom.cz*. ISSN: 1801-2655. Dostupné také z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-a-vyuziti-energetickych-a-prumyslovych-plodin

KRONBERGS, A., E. KRONBERGS a E. REPSA, 2013. Evaluation of reed canary grass shredding and compacting properties. *Agronomy Research*, č 1, s. 61-66. ISRC 1406-894X.

KTBL, 2010. *Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft . ISBN 978-3-941583-42-9.

LOUČKA, R. a Y. TYROLOVÁ, 2013. *Správná praxe při silážování kukuřice*. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i. ISBN 978-80-7403-119-9.

MALAŤÁK, J. a P. VACULÍK, 2008. *Biomasa pro výrobu energie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-1810-6.

MICHAELSEN, T. a R. KLOSS, 1987. Verminderung des Ammoniumgehaltes durch Gaswäschebei der Biömetbanisierungorganisch, hoch …. *GWF-Wasser/Abwasser*, č 128, s. 247 - 250.

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU (MPO), 2012. *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů*. Praha (ČR).

Ministerstvo životního prostředí, 2008. *Biologicky rozložitelné odpady* [online]. 28. 08. 2008 [cit. 2011-06.-05]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/ biologicky_rozlozitelne_odpady

MURPHY, J. D. a N. M. POWER, 2009. Technical and economic analysis of biogas production in Ireland utilising three different crop …. *Applied Energy*, č 1, s. 25 - 36. ISSN 0306-2619.

OCHODEK, T., J. KOLONIČNÝ a P. JANÁSEK, 2006. *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy*. Ostrava: VŠB - Technická universita Ostrava. ISBN 80-248-1207-X.

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

PERNICA, P., 2005. *Logistika pro 21. století*. Praha: Radix. ISBN 80-86031-59-4.

PERNICA, P., 2008. *Arts Logistics*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, nakladatelství Oeconomica. ISBN 978-80-245-1412-3.

PETŘÍKOVÁ, V., 1999. *Rostliny pro energetické účely*. Praha: Česká energetická agentura. Dostupné také z: http://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8089.pdf

PETŘÍKOVÁ, V., 2008. Půdní eroze a energetické plodiny. *Biom.cz*. ISSN: 1801-2655. Dostupné také z:

PLÍŠTIL, D., 2004. Brikety z energetických bylin. *Biom.cz*. ISSN: 1801-2655. Dostupné také z:

PURKRÁBEK, J. et al., 2007. *Řepa cukrová: pěstitelský rádce*. České Budějovice: Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra rostlinné výroby, FAPPZ. ISBN 978-80-87111-00-0.

PÜTZ, C. a M. SEIFFERT, 2009. Optimised Biogass Logistics for Conversion Plants that Produce Heat, Electricity and Biofuels. In: *Challenges for Sustainable Biomass Utilisation*. Karlsruhe: Scientific Publishing, s. 45-56. ISBN 978-3-86644-437-9.

SCHATTSCHNEIDER, P. et al., 2011. Energierüben kostengünstig gelagert. *TOP AGRAR*, č 3, s. 94-97. ISSN 0342-2399.

SCHULDT, A. a R. DINSE, 2013. Energierüben gut gelagert. *Joule*, č 3.

SCHULTE, C., 1994. *Logistika*. Brno: Victoria Publishing. ISBN 80-85605-87-2.

SCHULZ, H. a B. EDER, 2004. *Bioplyn v praxi*. Ostrava: HEL. ISBN 80-86167-21-6.

SILVEIRA, S., 2005. *Bioenergy: realizing the potential*. Oxford: Elsevier Ltd. ISBN 0-080-44661-2.

SLADKÝ, V., 2003. Biom.cz. In: *Technika potřebná pro využívání biomasy pro energii* [online].2003 [cit. 2011-17.-06]. Dostupné z: http://stary.biom.cz/sborniky/sb98petr/sladky.html

SLADKÝ, V., J. DVOŘÁK a D. ANDERT, 2002. *Obnovitelné zdroje energie - fytopaliva*. Praha: VÚZT, v.v.i. ISBN 80-238-9952-X.

SOUČEK, J., 2011. Chrastice rákosovitá pro energetické využití – pěstování a sklizeň. *Biom.cz*. Praha [cit. 2014-05-16]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/chrastice-rakosovita-pro-energeticke-vyuziti-pestovani-a-sklizen

SOUČEK, J., 2011. Biom.cz. *Logistika při energetickém využití rostlinné biomasy* [online]. 18. 05. 2011 [cit. 2011-06.-19]. ISSN: 1801-2655

SOUČEK, J., 2011. Biom.cz. *Logistika při energetickém využití rostlinné biomasy - 2* [online]. 06. 06. 2011 [cit. 2011-06.-19]. ISSN: 1801-2655

STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR, 2009. *Výstavba komunálních bioplynových stanic s využitím BRKO*. Praha (ČR).

STODOLA, J., J. MAREK a J. FURCH, 2007. *Logistika*. Brno: MZLU v Brně. ISBN 978-80-7375-071-8.

STOLARSKI, M. J. et al., 2013. Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin …. *Renewable Energy*, s. 20-26. ISSN 0960-1481.

SYROVÝ, O., 2008. *Doprava v zemědělství*. Praha: Profi Press, s r.o.

THOMAS, I., 2008. *The Pros and Cons of Biomass Power*. New York: Wayland/The Rosen Publishing Group, Inc. ISBN-13: 978-1-4042-3742-1.

USŤAK, S. et al., 2012. Provozní ověření pěstování chrastice rákosovité jako perspektivní energetické plodiny na méně …. *Agritech Science*. Praha, č 1 [cit. 2014-5.-22.]. ISSN 1802-8942. Dostupné z: http://www.agritech.cz/clanky/2012-1-7.pdf

VESELÁ, K. et al., 2010. Odstraňování sulfanu z bioplynu. *Paliva*. Fakulta technologie ochrany prostředí Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, č 2, s. 21 - 25. ISSN 1804-2058.

VOŠTOVÁ, V. et al., 2009. *Logistika odpadového hospodářství*. Praha: ČVUT v Praze.

WATTER, H., 2009. *Nachhaltige Energiesysteme*.. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, GWV Fachverlage GmbH. ISBN 978-3-8348-0742-7.

WEISSBACH, F., 2009. Gas production potential of fresh and ensiled sugar beets in biogas production. *Landtechnik*, č 6, s. 394-97. ISSN 0023-8082.

WEIßBACH, F. et al., 2011. Konservierungsverluste bei der Silierung von Zuckerrüben für die Biogasgewinnung. *Landtechnik*. ISSN 0023-8082.

WESSELAK, V. a T. SCHABBACH, 2009. *Regenerative Energietechnik*. Berlin Heidelberg: Springer, 519 s.. ISBN 978-3-540-95881-9.

Další zdroje:

Firemní materiály podniků Sattler AG, Ceno GmbH, Gut Dummerstorf GmbH, Rambin C4 Energie GmbH, Doppstadt, Mercedes-Benz, Eurotrailer, Krampe Fahrzeugbau GmbH, Pumpenfabrik Wangen GmbH, GE Jenbacher GmbH & Co OG, MAN, Waukesha, Tedom.

9 Seznamy

9.1 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Cíl a odhady podílů OZE členských států EU27 v roce 2020 6
Tabulka 2 - Plán výroby energie z OZE pro ČR 7
Tabulka 3 - Hlavní obchodní formy tuhých biopaliv 15
Tabulka 4 - Srovnání vlastností vybraných tvarovaných a ostatních tuhých biopaliv 26
Tabulka 5 - Obvyklé složení bioplynu 27
Tabulka 6 - Teoretická výtěžnost surovin pro výrobu bioplynu 29
Tabulka 7 - Základní články logistického řetězce biomasy 39
Tabulka 8 - Parametry briketovacího lisu 51
Tabulka 9 - Doba obnovy jednotlivých skupin investic dle odpisových skupin 54
Tabulka 10 – Koeficienty a sazby pro stanovování průměrných ročních provozních nákladů 55
Tabulka 11 – parametry návěsu Krampe 56
Tabulka 12 - parametry energetického prostředku Massey Fergusson 57
Tabulka 13 – Parametry Mercedesu Actros 57
Tabulka 14 – Parametry návěsu NFP Eurotrailer 57
Tabulka 15 - Parametry separátoru Doppstadt SM 620 59
Tabulka 16 - Parametry odkaměňovače Doppstadt RW 508 60
Tabulka 17 – Parametry drtiče Doppstadt AK 203 60
Tabulka 18 – Parametry bioplynové stanice Rothenkirchen 63
Tabulka 19 - Délky jednotlivých tras mikroplynovodů 63
Tabulka 20 – Parametry jednotlivých dopravních cyklů Mercedesu Actros a NFP Eurotrailer 68
Tabulka 21 – Parametry jednotlivých dopravních cyklů soupravy Massey Ferguson 8480 Dyna VT a návěsu Krampe Kipper Big Body 750 69
Tabulka 22 – časové údaje provozu linky na zpracování cukrové řepy 70
Tabulka 23 – Spotřeba nafty linky na zpracování cukrové řepy 70
Tabulka 24 – Vlastnosti materiálů pro vsázku 73
Tabulka 25 - Průběh složení bioplynu KS: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 75
Tabulka 26 – Průběh složení bioplynu. KS: 60 % a CŘL: 40 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 77

Tabulka 27 – Průběh složení bioplynu. KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 79
Tabulka 28 – Průběh složení bioplynu KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 81
Tabulka 29 – Průběh složení bioplynu. CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ .. 83
Tabulka 30 – Průběh složení bioplynu. CŘR: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 $kg \cdot m^{3} \cdot d^{-1}$ .. 84
Tabulka 31 – Průběh složení bioplynu. KS: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 86
Tabulka 32 - Průběh složení bioplynu směsi. KS: 60 % a CŘL:40 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 88
Tabulka 33 – Průběh složení bioplynu KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 90
Tabulka 34 – Průběh složení bioplynu KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 92
Tabulka 35 – Průběh složení bioplynu CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 94
Tabulka 36 – Průběh složení bioplynu. Cukrová řepa (referenční siláž): 100 %, zatížení fermentoru 2,5 $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ 96
Tabulka 37 – Složení bioplynu na sledovaných stanovištích 97
Tabulka 38 – Měrná spotřebovaná energie při výrobě briket ze základních materiálů a výhřevnost materiálů..... 99
Tabulka 39 – základní parametry briket ze stébelnatých materiálů..... 99
Tabulka 40 – Měrná spotřebovaná energie na výrobu briket ze směsí s hoblinami a hoblin a výhřevnost materiálů..... 102
Tabulka 41 - základní parametry briket ze směsí stébelnatých materiálů a hoblin 103
Tabulka 42 – Výsledky testů mechanické odolnosti briket ze stébelnatých materiálů 106
Tabulka 43 - Výsledky testů mechanické odolnosti briket z materiálových směsí 107
Tabulka 44 - Rozdělení pořizovacích investičních nákladů na silážní lagunu nákladů dle typu investice 108
Tabulka 45 - Přehled průměrných ročních odpisů a provozních nákladů silážní laguny .. 109
Tabulka 46 - Přehled investičních nákladů na teplovod 110
Tabulka 47 – Přehled odpisů a provozních nákladů teplovodu 110
Tabulka 48 – Přehled investičních nákladů modelového plynovodu 111
Tabulka 49 – Přehled investičních nákladů modelového plynovodu 111

9.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Vývoj výroby elektrické energie z OZE - vybrané položky 8
Obrázek 2 - Vývoj výroby tepelné energie z OZE - vybrané položky 8
Obrázek 3 - Schéma logistického řetězce tuhých bioplaiv 16
Obrázek 4 - Technologie sklizně a zpracování energetických stébelnin 19
Obrázek 5 – schéma rozdělení technologií výroby bioplynu 31
Obrázek 6 – schéma procesní organizace dopravního podniku 35
Obrázek 7 - Odkrytá sada pokusných fermentorů 42
Obrázek 8 - Sada fermentorů s izolačním krytem a pohled na zadní stranu s připojenými vaky 42
Obrázek 9 - Pokusný fermentor v provozu a vyprázdněný 43
Obrázek 10 – Schéma principu fungování MGC 45
Obrázek 11 - Laboratorní váhy KERN ABT 320-4M a laboratorních pecí Venticell 222 a Nabertherm L311 B170 48
Obrázek 12 - schéma zapojení analyzátoru VISIT 03 49
Obrázek 13 – Měřící soustava pro analýzu složení bioplynu 50
Obrázek 14 - Schéma lisu Briklis BRIKSTAR HLS 50 51
Obrázek 15 – Schéma zařízení pro testování mechanické odolnosti. 52
Obrázek 16 - Nakládka do Mercedes Benz Actros 58
Obrázek 17 - Nakládka do soupravy s návěsem Krampe 58
Obrázek 18 - Linka na zpracování cukrové řepy pro potřeby bioplynové stanice 59
Obrázek 19 – boční průřez lagunou 61
Obrázek 20 – Fotografie plnění silážní laguny. 62
Obrázek 21 - schéma pohybu materiálu v laguně 62
Obrázek 22 – Schéma vedení mikropylnovodu a připojení jednotlivých kogeneračních jednotek včetně znázornění na mapě v měřítku 1:80000 65
Obrázek 23 – Znázornění dopravních cyklů soupravy Mercedesu Actros a NFP Eurotrailer na mapě 66
Obrázek 24 – Znázornění dopravních cyklů soupravy Massey Ferguson 8480 Dyna VT a Krampe Kipper Big Body 750 na mapě 67
Obrázek 25 - Vývoj pH svrchní vrstvy 71

Obrázek 26 – Vývoj obsahu sušiny v materiálu 72
Obrázek 27 – Vývoj celkového obsahu cukrů v sušině v závislosti na čase 72
Obrázek 28 – Průběh produkce bioplynu. KS: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 74
Obrázek 29 – Průběh produkce metanu. KS: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} ... 74
Obrázek 30 – Průběh produkce bioplynu. KS: 60 % a CŘL: 40 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 76
Obrázek 31 – Průběh produkce metanu. KS: 60 % a CŘL: 40 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 76
Obrázek 32 – Průběh produkce bioplynu. KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 78
Obrázek 33 – Průběh produkce metanu. KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 78
Obrázek 34 – Průběh produkce bioplynu. KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 80
Obrázek 35 – Průběh produkce metanu. KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 80
Obrázek 36 – Průběh produkce bioplynu. CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 82
Obrázek 37 – Průběh produkce metanu. CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 82
Obrázek 38 – Průběh produkce bioplynu. CŘR: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 83
Obrázek 39 – Průběh produkce metanu. CŘR: 100 %, zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 84
Obrázek 40 – Průběh produkce bioplynu. KS: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 85
Obrázek 41 – Průběh produkce metanu. KS: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} ... 86
Obrázek 42 – Průběh produkce bioplynu. KS: 60 % a CŘL: 40 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 87
Obrázek 43 – Průběh produkce metanu. KS: 60 % a CŘL: 40 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 88
Obrázek 44 – Průběh produkce bioplynu. KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 89
Obrázek 45 – Průběh produkce metanu. KS: 50 % a CŘL: 50 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 90

Obrázek 46 – Průběh produkce bioplynu. KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 91
Obrázek 47 – Průběh produkce metanu. KS: 25 % a CŘL: 75 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 92
Obrázek 48 – Průběh produkce bioplynu. CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 93
Obrázek 49 – Průběh produkce metanu. CŘL: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 93
Obrázek 50 – Průběh produkce bioplynu. CŘR: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 95
Obrázek 51 – Průběh produkce metanu. CŘR: 100 %, zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} 95
Obrázek 52 – Měrná a sypná hmotnost briket ze základních materiálů 100
Obrázek 53 – Poměry slisování briket ze základních materiálů 100
Obrázek 54 – Fotografie briket z odrůd lnu Amon (vlevo) a Flanders (vpravo) 101
Obrázek 55 – Fotografie briket odrůd lnu Bilstar (vlevo) a Lola (vpravo) 101
Obrázek 56 - Fotografie briket z chrastice rákosovité 101
Obrázek 57 - Měrná hmotnost briket ze směsí s hoblinami a z hoblin 104
Obrázek 58 – Poměr slisování briket ze směsí s hoblinami a z hoblin 104
Obrázek 59 – Fotografie briket ze směsí hoblin se lněnými odrůdami Amon (vlevo) a Flanders (vpravo) 105
Obrázek 60 – Fotografie briket ze směsí hoblin se lněnými odrůdami Bilstar (vlevo) a Lola (vpravo) 105
Obrázek 61 - Fotografie briket z hoblin (vlevo) a ze směsi hoblin s chrasticí rákosovitou (vpravo) 105
Obrázek 62 - Graf nákladů na produkci tuny briket 112
Obrázek 63 - Graf rozdílu sledovaných briket v ceně, mechanické odolnosti a výhřevnosti proti briketám z hoblin 113
Obrázek 64 – Srovnání produkce bioplynu z testovaných substrátů při zatížení fermentoru 4,5 kg·m^{-3}·d^{-1} (KS: kukuřičná siláž, CŘL: siláž cukrové řepy z laguny, CRR: siláž cukrové řepy – referenční) 114
Obrázek 65 – Srovnání produkce bioplynu z testovaných substrátů při zatížení fermentoru 2,5 kg·m^{-3}·d^{-1} (KS … kukuřičná siláž, CŘL … siláž cukrové řepy z laguny, CŘR … siláž cukrové řepy – referenční) 115

9.3 Seznam vzorců

Vzorec 1 – vzorec výpočtu zatížení fermentoru ……46
Vzorec 2 – vzorec výpočtu obsahu sušiny ...……...48
Vzorec 3 – vzorec výpočtu obsahu organické sušiny…..……... 48
Vzorec 4 – vzorec výpočtu objemu brikety …..……...…….52
Vzorec 5 – vzorec výpočtu měrné hmotnosti brikety….……...…….53
Vzorec 6 – vzorec výpočtu poměru slisování ……...…….……...…….53
Vzorec 7 – Vzorec výpočtu poměru slisování …...…….……...……53

9.4 Seznam používaných zkratek

BP	Bioplynová stanice
CEN/TC	European Committee for Standardization/Technical Comittee
CŘL	Siláž cukrové řepy z laguny
CŘR	Referenční siláž cukrové řepy
KJ	Kogenerační jednotka
KS	Kukuřičná siláž
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
MGC	MiligasCounter – zařízení na měření výtěžnosti bioplynu
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu