

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

Zemědělská fakulta

Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Studijní program: Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využití procesu vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou při
produkci bioplynu ze sena

Vedoucí diplomové práce

Ing. Josef Maroušek, Ph. D.

Autor práce

Bc. Zbyněk Vaněk

2012

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Zbyněk VANĚK
Osobní číslo: Z10721
Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: Agroekologie
Název tématu: Využití procesu vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou při produkci bioplynu ze sena
Zadávací katedra: Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je technologické a ekonomické posouzení problematiky využití procesu vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou při produkci bioplynu ze sena.

Proveďte literární, patentovou a legislativní rešerši problému.

Dále se pod vedením vedoucího diplomové práce seznamte s provozní problematikou přípravy hydrolyzátů dané fytomasy.

V laboratorních podmínkách bude simulována produkce bioplynu z hydrolyzátů sena získaných za různých procesních parametrů.

Klíčovými parametry technologického posouzení bude dynamika kumulativní produkce bioplynu v návaznosti na tlaku a době zdržení v hydrolyzátoru při konstantní dávce kyseliny.

Z ekonomického hlediska budou hlavním srovnávacím faktorem náklady na produkci plynu, či elektrické energie a tepla.

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

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 40 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

DEUBLEIN, Dieter; STEINHAUSER, Angelika. *Biogas from Waste and Renewable Resources : An Introduction*. Weinheim : WILEY HCH, 2011. 572 s. ISBN 978-3-527-32798-0.

DOSTÁL, Petr, et al. *Řízení technologických procesů*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Ústav aplikované informatiky, 2006. 98 s. ISBN 9788073184650.

GRASSI, G; COLLINA, A; ZIBETTA, H. *Biomass for energy, industry, and environment*. Athens, Greece : Elsevier Applied Science, 1992. 1430 s. ISBN 9781851667307.

MITAL, K. M. *Iogas Systems : Policies, Progress And Prospects*. India : New Age International, 1997. 278 s. ISBN 81-224-1104-5.

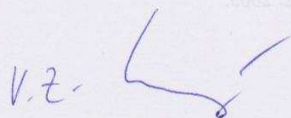
SAMIR K., Khanal, et al. *Bioenergy and Biofuel from Biowastes and Biomass*. Reston, Virginia, USA : American Society of Civil Engineers, 2010. 505 s. ISBN 978-0-7844-1089-9.

Organisation for Economic Co-operation and Developmet. *Biomass and agriculture : sustainability, markets and policies*. USA : OECD, 2004. 565 s. ISBN 92-64-10555-7.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Maroušek, Ph.D.
Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Datum zadání diplomové práce: 15. března 2011

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2012



prof. Ing. Miloslav Soch, CSc.
děkan

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



prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2011

Prohlášení

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

V Českých Budějovicích 27.4.2012

Bc. Zbyněk Vaněk

Poděkování

Přestože je tato diplomová práce ve svém shrnutí dílem jednoho člověka, nebylo ji možné zpracovat bez široké podpory dalších osob, které svojí radou pomáhali k jejímu úspěšnému dokončení.

Chtěl bych tedy touto cestou poděkovat všem, kteří svými radami a poskytnutím cenných podkladů, materiálů přispěli k vypracování této diplomové práce a se kterými jsem měl tu čest na této práci spolupracovat. A to především vedoucímu diplomové práce panu Ing. Josefu Marouškovi, Ph. D.

Abstrakt

Diplomová práce pojednává o technologii vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou (HNO_3) při produkci bioplynu ze sena. V teoretické části jsou shrnuty základní informace o kyselé hydrolýze. Zvýšená pozornost je věnována struktuře lignocelulózových materiálů a metodám jejich úpravy. Seno bylo nadrceno, peletováno a následně bylo podrobena kyselé hydrolýze v kontinuálním vysokotlakém hydrolyzéro (UV CZ 21314) při tlacích (0,475 MPa, 0,934 MPa, 1,611 MPa). Jako hydrolyzační činidlo byla použita vysoce koncentrovaná (65%) kyselina dusičná (HNO_3). Tlaku bylo v hydrolyzéro dosahováno parou o teplotě 190°C, přičemž doba zdržení fytomasy v prostoru hydrolyzéro byla 500s. Na základě širokého mapování procesu pomocí produkce CO_2 byly vytipovány zájmové oblasti, ve kterých bylo následně provedeno podrobné mapování procesu pomocí vsádkových simulací na produkci CH_4 . Po matematické interpolaci maxim byly získané hodnoty využity v ekonomické analýze, která plně respektovala technologické možnosti a aktuálně platnou legislativu.

Klíčová slova: Seno, kyselé hydrolýza, lignocelulózové materiály, bioplyn

Abstract

This thesis deals with the technology of the high pressure hydrolysis with nitric acid (HNO_3) in biogas production from the hay. The theoretical part is focused on the basic information about the acid hydrolysis. Much attention is engaged in the lignocellulosic materials and methods of their treatment. The hay was crushed, pelleted and subsequently subjected the acid hydrolysis in the high-pressure hydrolyzer (UV CZ 21314) at pressures (0,475 MPa, 0,934 MPa, 1,611 MPa). As the hydrolysis reagent was used highly concentrated (65%) nitric acid (HNO_3). The pressure was achieved in the hydrolyzer by the steam in temperature of 190°C , the residence time of the phytomass in the machine was 500s. Based on the mapping process with wide CO_2 production were selected the interesting areas, which were subsequently carried out detailed mapping process using batch simulations at CH_4 production. After the mathematical interpolation of the maxima the values were used in the economic analysis, that fully respects the technological possibilities and legislative constraints.

Keywords: Hay, acid hydrolysis, lignocellulosic materials, biogas

Obsah

Úvod	2
1. Cíl práce	3
2. Literární rešerše	4
2.1 Struktura lignocelulózových materiálů	4
2.1.1 Celulóza.....	6
2.1.2 Hemicelulóza.....	8
2.1.3 Lignin	9
2.2 Úprava lignocelulózy	10
2.3 Kyselá hydrolýza fytomasy.....	12
2.3.1 Principy hydrolýzy fytomasy	17
2.4 Ekonomika bioplynové stanice	18
2.4.1 Ekonomické hodnocení projektu.....	19
3. Metodika	21
3.1 Použité substáty.....	21
3.2 Použité zařízení	22
3.3 Použitý software.....	24
3.4 Technologie vysokotlaké hydrolýzy	25
3.5 Mapování procesu produkce CO ₂	25
3.6 Simulace kumulativní produkce bioplynu ve čtvrt provozu	27
4. Výsledky	28
4.1 Mapování produkce CO ₂	28
4.2 Mapování produkce CH ₄	35
5. Diskuse	41
6. Závěr	45
7. Použitá literatura	46
8. Příloha	52

Úvod

Zvyšující se cena a spotřeba energie z fosilních paliv a environmentální problémy jsou hnací silou výzkumné činnosti na poli obnovitelných zdrojů energie, které se zaměřují na využití energie z těchto zdrojů. energii lze z těchto obnovitelných zdrojů získávat různými procesy. Nemusí to být jen spalováním, ale i metodou anaerobní digesce, či různými variantami fermentace. Anaerobní fermentace biomasy v bioplynových stanicích spojená s produkcí a s následným využitím bioplynu k výrobě elektrické energie a tepla patří dnes ke stabilně rostoucímu segmentu obnovitelných zdrojů energie. Nespornou výhodou technologie je možnost využití biomasy s nízkým obsahem sušiny. Další výhodou anaerobní digesce je, že výroba energie nezávisí na počasí a v průběhu dne či roku máme možnost její regulace.

V diplomové práci jsem se zabýval technologií vysokotlaké hydrolyzy kyselinou dusičnou (HNO_3) při produkci bioplynu ze sena. Využití sena (senáže) je aktuálně problémem, protože pro konvenční bioplynové stanice (BPS), které nemají technologii úpravy materiálu, představuje mnohdy problém z hlediska míchatelnosti. To má za následek nízké využití tohoto velice dostupného materiálu. Zvyšující se plochy trvalých travních porostů spolu s úbytkem skotu poskytují dostatečné množství fytohmoty pro výrobu bioplynu. V laboratorních podmínkách byla simulována produkce bioplynu z neutralizovaných hydrolyzátů sena. Klíčovými parametry byly koncentrace kyseliny dusičné (HNO_3), pH a sušina sena řízená hydromodulem. Parametry tlaku, teploty a času představují další důležité faktory a zároveň omezení (například teplota je pevně spjata s tlakem, čas ovlivňuje hodinový výkon, pH vyšší spotřeba kyseliny = vyšší náklady atd.)

1. Cíl práce

Cílem práce je technologické a ekonomické posouzení problematiky využití procesu vysokotlaké hydrolyzy kyselinou dusičnou (HNO_3) při produkci bioplynu ze sena. Posuzování probíhalo na první realizaci této technologie v ČR (UV CZ 21314). Klíčovými parametry technologického posouzení byla dynamika kumulativní produkce bioplynu v návaznosti na sušinu sena (hydromodulu) a pH. Jako hlavní ukazatel posouzení byl vybrán finanční ukazatel (NPV), který slouží jako kritérium pro hodnocení výnosnosti investičních projektů.

2. Literární rešerše

2.1 Struktura lignocelulózových materiálů

Lignocelulózové materiály jsou nejhojnější biopolymery v přírodě. Asi 120 až 150 miliard tun sušiny lignocelulózových biopolymerů se produkuje na celém světě za rok. Jedná se o významné zdroje uhlíku, které hrají významnou roli v koloběhu uhlíku díky jeho degradaci a následném využití. Využití těchto lignocelulózových materiálů lze zvýšit, pokud budou tyto materiály prvně chemicky nebo enzymaticky hydrolyzovány na glukózu a jiné rozpustné cukry, které mohou být následně použity pro výrobu sladidel, jedno-buněčných proteinů, nebo jiné produkty kvašení (Rashid, 2011).

Lignocelulóza je společný termín pro tři hlavní složky rostlinného pletiva: celulózu ($C_6H_{10}O_5$), hemicelulózu a lignin. Celulóza a hemicelulóza jsou biologicky degradabilní (tvoří až 90% biochemického methanového potenciálu substrátů). Ne všechny hemicelulózy a celulózy jsou využitelné pro anaerobní digesci (Wang et al. 1997). Je to primárně způsobeno strukturou buněčných stěn rostlin (Tsao 1984). Přírodní materiály, ať už se jedná o odpady rostlinného nebo živočišného původu, se skládají z různých látek organického původu jako např. ze škrobů, tuků, glykogenu, elastanu, kolagenu, keratinu, chitinu, ligninu nebo celulózy. Lignocelulózové materiály lze nalézt v širokém spektru zbytků ze zemědělské produkce, zvířecích výkalů nebo zbytků z dřevařského průmyslu. Tyto materiály jsou složeny z celulózy, hemicelulózy, ligninu a dalších organických a anorganických sloučenin (Krátký, 2012).

Tab. č. 1: Složení lignocelulózových plodin (bezvodý stav % hm.)

Lignocelulózový materiál	Celulóza [%]	Hemicelulóza [%]	Lignin [%]
Štěpky z tvrdého dřeva	40 - 55	24 - 40	18 - 25
Štěpky z měkkého dřeva	45 - 50	25 - 35	25 - 35
Kukuřičný klas	45	35	15
Tráva	25 - 40	35 - 50	10.30
Papír	85 - 99	0	0 - 15
Pšeničná sláma	30	50	15
Listí	15 - 20	80 - 85	0
Novinový papír	40 - 55	25 - 40	24 - 29
Prasečí kejda	6	1,4 - 3,3	2,7 - 5,7
Dobytčí hnůj	1,6 - 4,7	35,7	6,4

Zdroj: (Sun, 2002)

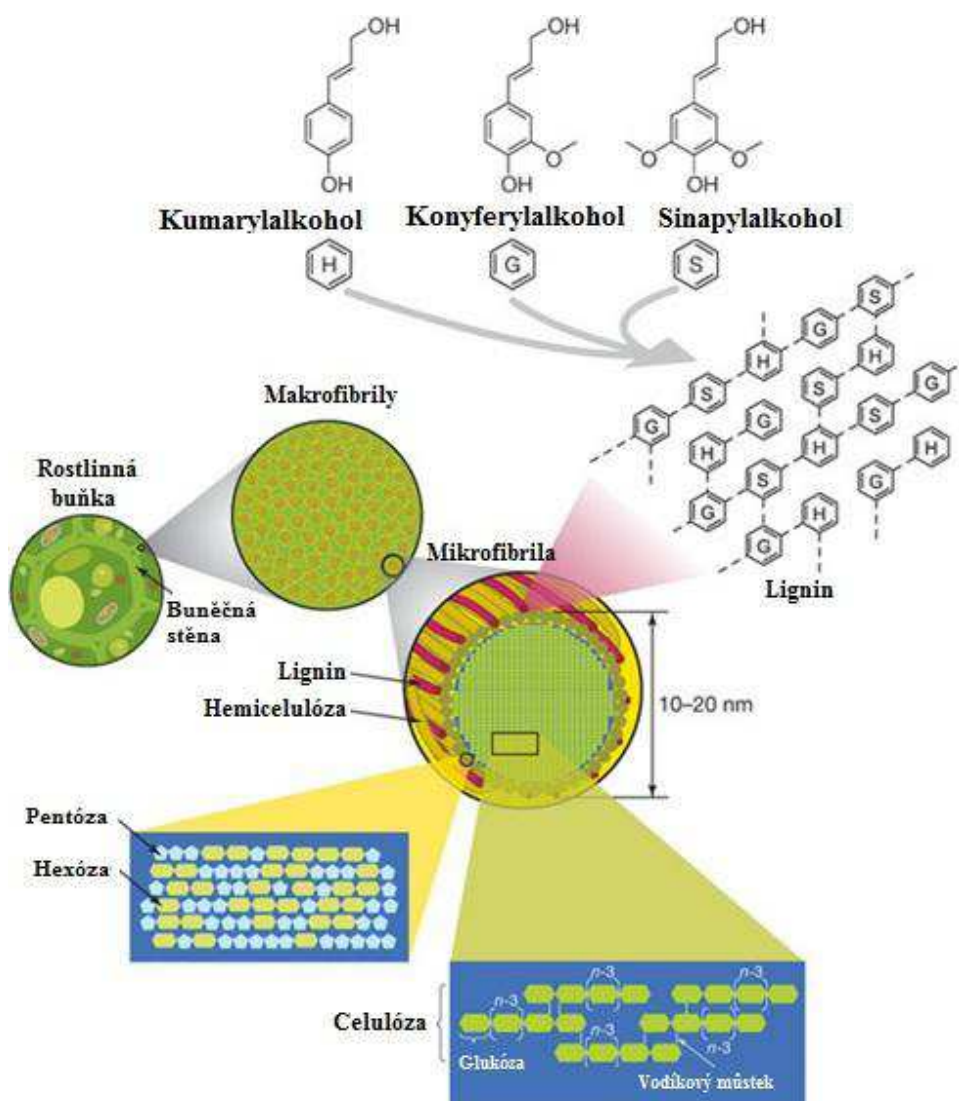
Na strukturu lignocelulózových plodin lze nahlížet jako na vyztužený betonový pilíř, kde celulózová vlákna představují železné pruty a lignin cement, tedy pojivo. Celulózová vlákna jsou pevně svázána s ligninem vodíkovými a kovalentními vazbami. Vzájemně propletené struktury celulózu, hemicelulózu a ligninu jsou příčinou různé biologické rozložitelnosti. Hemicelulózy jsou nejsnadněji hydrolyzovány na své cukerné složky, nicméně obalení celulózy ligninem má za následek zpomalení jejího rozkladu (Straka, 2006).

Obsah ligninu v biomase je stinnou stránkou využití lignocelulózových plodin při výrobě biopaliv, protože lignin činí tyto plodiny odolné vůči chemickým a biologickým metodám rozkladu. Rozpustnost ligninu v kyselém, neutrálním nebo zásaditém prostředí závisí na jeho molekulovém složení a při neutrálních podmínkách se začíná rozpouštět okolo teploty 180°C (Hendriks, 2009).

Složení lignocelulózové fytomasy (LCF) je následující: 34-50(% hm.) celulózy, 19-34(% hm.) hemicelulóza, 11-30(% hm.) ligninu. Rostlinné buňky jsou složeny z různých vrstev, které se liší od sebe s ohledem na jejich strukturu a chemické složení. Celulóza tvoří kostru, která je obklopena hemicelulózou a ligninem (Rogalinski, 2008).

Na lignocelulózové materiály je možno pohlížet jako na kompozitní materiály. Pro pochopení procesů probíhajících při výrobě biopaliv je třeba věnovat pozornost jejich složení. Struktura lignocelulózových materiálů je složena zejména z celulózových vláken, tzv. fibril, což jsou ve vodě nerozpustné polysacharidy, které tvoří nosnou část celé rostliny. Fibrily jsou po celé délce obtáčeny rozvětvenými řetězci hemicelulózu a zbytek rostliny vyplňuje lignin, který zde působí jako „lepidlo“ (pojivo), držící všechno pohromadě (Kokrhelová, Jirout, 2003). Mosier et al., (2005) uvádí, že lignocelulózová biomasa obvykle obsahuje 55-75% sacharidů v sušině.

Grafika 1: Struktura lignocelulózy



Zdroj: Rubin (2008)

2.1.1 Celulóza

Hendriks et al., (2009) uvádí, že biotechnologicky nejdůležitější složkou fytomasy je celulóza, která je lineárním polymerem složeným z D-glukózových jednotek vázaných β -1,4 glykosidovými vazbami a v rostlinném materiálu se vyskytuje převážně v krystalické a v menší míře i amorfní formě. Jednotlivá celulózová vlákna jsou organizována do fibril, zpevněna vodíkovými vazbami a asociována s dalšími ochrannými polymerními strukturami, které jsou tvořeny zejména ligninem a hemicelulózou. Celulózové kmeny jsou "svázány" dohromady a tvoří tzv. celulózový fibril nebo buničinné svazky. Tyto celulózové fibrily jsou většinou nezávisle a slabě vázány přes vodíkové vazby.

Kim et al., (2006) definuje celulózu jako polysacharid sestávající z beta-glukózy. Jednotlivé jednotky glukózy jsou spojené vazbou β -1,4 a tvoří dlouhé nerozvětvené řetězce, které jsou zcela nerozpustné ve vodě. Celulóza je hlavní stavební látkou rostlinných primárních buněčných stěn a spolu s ligninem a hemicelulózami se podílí na stavbě sekundárních buněčných stěn. Celulóza je nejrozšířenějším biopolymerem na zemském povrchu, ročně jí vzniká až $1,5 \times 10^9$ tun.

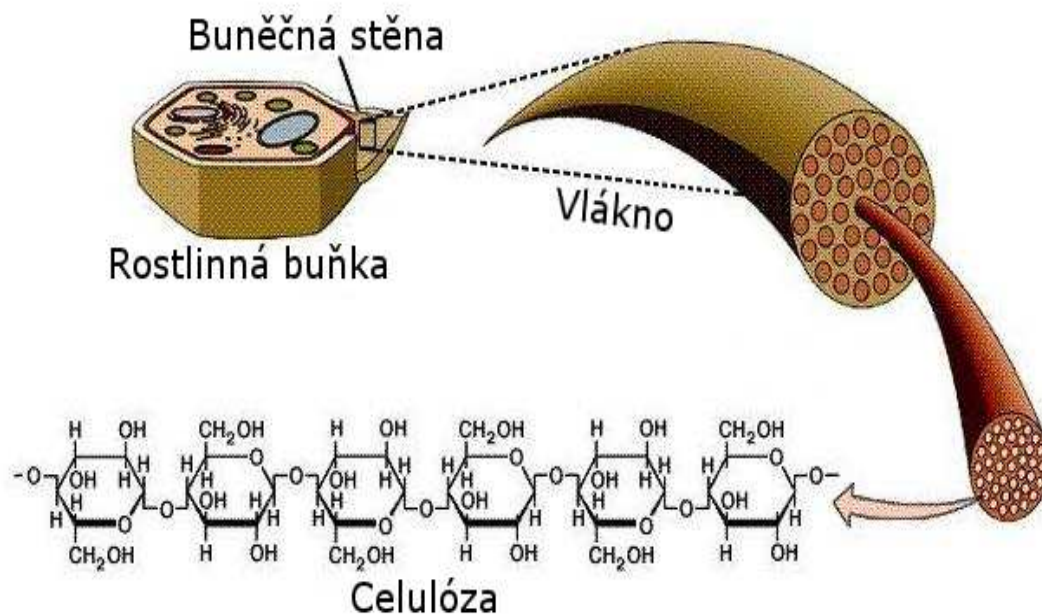
Turner et al., (1997) poukazuje na to, že samotná celulóza je v buněčné stěně prostoupena necelulózovými molekulami, zpravidla se jedná o hemicelulózy a pektinové látky. Celulóza je nerozpustná ve H_2O , působením silných minerálních kyselin (např. H_2SO_4 , HNO_3) dochází k hydrolyze na D-glukózu. Další důležitou složkou struktury rostlinných buněčných stěn jsou rozvětvené polysacharidy hemicelulózy, které obepínají lineárně vláknitou strukturou celulózu.

Celulóza je schopna vytvářet krystalické formy a její řetězce jsou různě prostorově orientovány (spirální a lineární struktury). Základní složkou celulózy je D-glukóza. Při enzymatické hydrolyze odštěpují exoglukanázy konce řetězců celulózy a endoglukanázy rozbíjejí řetězce uprostřed. Meziprodukt hydrolyzy se nazývá celobióza a teprve jejím rozpadem pomocí enzymu β -glykosidázy vzniká glukóza (Alvira, 2010).

Sun et al., (2002) uvádí, že při rozkladu celulózy se uplatňují nejvíce tři typy enzymů – endoglukanázy, které štěpí polysacharidový řetězec uvnitř a produkují směs oligosacharidů o různé molekulové hmotnosti, exoglukanázy, které štěpí koncové řetězce poly- a oligosacharidů a uvolňují z nich celobiózu a glukózu, zatímco β -glukosidázy hydrolyzují vzniklou celobiózu.

Vlastnosti celuláz jsou velmi podobné, ačkoliv jsou produkovány různými organismy. Celulotický enzymatický systém se skládá z endo-glykanáz, exo-glykanáz a glykosidáz. Endoglykanázy náhodně štěpí glykosidické vazby, exoglykanázy odštěpují buď celobiózu, nebo glukózu z neredukujícího konce celulózy a glykosidázy hydrolyzují celobiózu a jiné ve vodě rozpustné celodextriny na glukózu (Eriksson 1990). Na rozdíl od škrobu si specifická struktura celulózy napomáhá k řazení polymerních řetězců do neprodyšně uzavřené, vysoce krystalické struktury, která je nerozpustná ve vodě a je odolná vůči depolymerizaci (Mosier, 2005).

Grafika 2: Struktura celulózy



Zdroj: Moore (2012)

2.1.2 Hemicelulóza

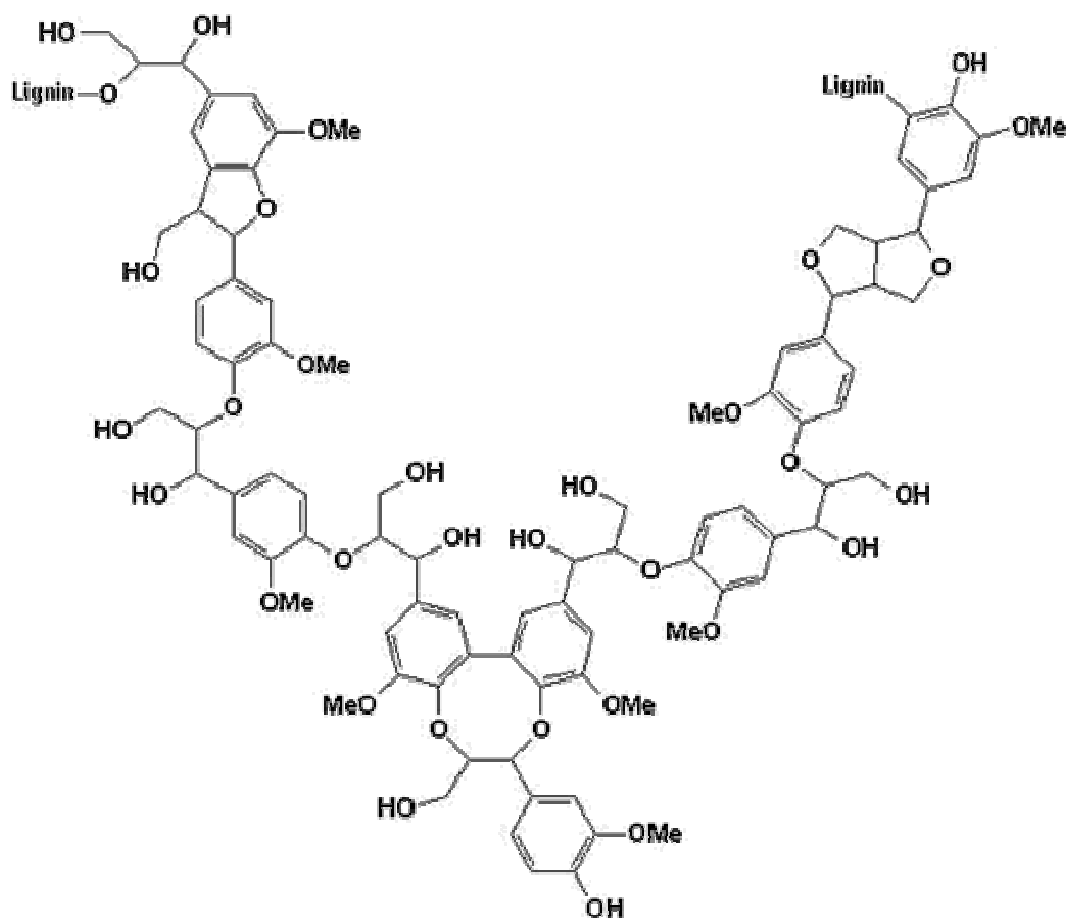
Sánchez et al., (2009) uvádí, že hemicelulóza zprostředkovává spojení mezi celulóзовými vlákny a ligninem a je složena převážně z pentózy, hexózy a uronových kyselin, přičemž převažující složkou jsou xylany a glukomanany. Kokrhelová, Jirout (2003) uvádějí, že hemicelulóza je oproti celulóze složitější heteropolysacharid, je amorfni a obsahuje rozvětvené řetězce. Je podpurnou, resp. prostorovou armaturou celého systému a současně i pojícím „cementem“. Podléhá však rychleji enzymatické hydrolyze než celulóza. Hendriks et al., (2009) definuje hemicelulózu jako komplexní strukturu sacharidů, která se skládá z různých polymerů, jako jsou pentózy (xylóza $C_5H_{10}O_5$ a arabinóza), hexózy (manóza, glukóza a galaktóza) a cukrů kyselin. Dominantní složkou hemicelulózy tvrdého dřeva, zemědělských plodin (tráva, sláma) je xylan, zatímco glukomanan pro měkké dřevo. Nováček (2008) dodává, že na stavbě polysacharidového řetězce se podílí glukóza a další monosacharidy - jak různé hexózy (manóza, galaktóza), tak i pentózy (arabinóza, xylóza), uronové kyseliny a eventuálně i různé cukerné methylderiváty. Taherzadech a Karimi (2008) uvádějí, že hemicelulóza má amorfni rozvětvenou strukturu s malým odporem vůči hydrolyze a lze ji díky tomu snadněji rozložit na

monomerní složky. Hendriks et al., (2009) dodává, že rozpustnost sloučenin hemicelulózy je v sestupném pořadí: manóza ($C_6H_{12}O_6$), xylóza ($C_5H_{10}O_5$), glukóza ($C_6H_{12}O_6$), arabinóza ($C_5H_{10}O_5$) a galaktóza ($C_6H_{12}O_6$); s rostoucí teplotou se zvyšuje. Solubilizace hemicelulóz do vody začíná přibližně při 180 °C za neutrálních podmínek. Solubilizace však závisí i na dalších podmínkách, jako je např. pH. Dle Rosena (2004) může být solubilizace definovaná jako spontánní rozpouštění látky (pevná látka, kapalina nebo plyn) reverzibilní interakcí s micelami tenzidů v rozpouštědle za vzniku termodynamicky stabilního izotropního roztoku se sníženou termodynamickou aktivitou solubilizované látky.

2.1.3 Lignin

Dle Hofrichtera (2002) je z chemického hlediska lignin heterogenní, opticky aktivní polymer skládající se z phenylpropanoidů, které jsou spojeny několika kovalentními vazbami např. aryl-ether, aryl-aryl. Hendriks et al., (2009) uvádí, že lignin je po celulóze a hemicelulóze, jeden z nejrozšířenějších polymerů v přírodě a je přítomen v buněčné stěně. Je to amorfní heteropolymer se skládá ze tří různých derivátů fenylpropanů (p-kumaryl alkohol, koniferyl alkohol a sinapyl alkohol), které jsou vázány do trojrozměrných struktur etherovými vazbami mezi dvěma uhlíky. Kokrhelová, Jirout (2003) uvádějí, že lignin je aromatický prostorový heteropolymer fenolického typu se strukturou naprosto odlišnou od celulózy a hemicelulózy. Díky tomu je jeho struktura biologicky velmi obtížně rozložitelná a lignin je velmi odolný i proti biomethanizačním rozkladům. Ovšem pokud se nám podaří rozložit celulózu a hemicelulózu, lignin už nemá co držet pohromadě a sám se rozpadne. Holtzaple et al., (1991) uvádí, že lignin lze rozpouštět stejně jako hemicelulózu ve H_2O při 180°C v neutrálním prostředí. Rozpustnost ligninu závisí na prostředí (kyselé, neutrální, alkalické) a obsahu jednotlivých složek (p-kumaryl, konyferyl, sinapyl atd.) Rozpuštěný v médiu působí inhibičně na celulózy a β -glukozidázy. Paola et al., (2011) definuje lignin jako fenyl propan polymer, který obsahuje mnoho funkčních skupin (hydroxylová, methoxylová, karbonylová). Na rozdíl od celulózy a hemicelulózy, nemůže být využíván v procesu fermentace, protože má vysokou odolnost vůči chemické a enzymatické degradaci.

Grafika 3: Struktura ligninu



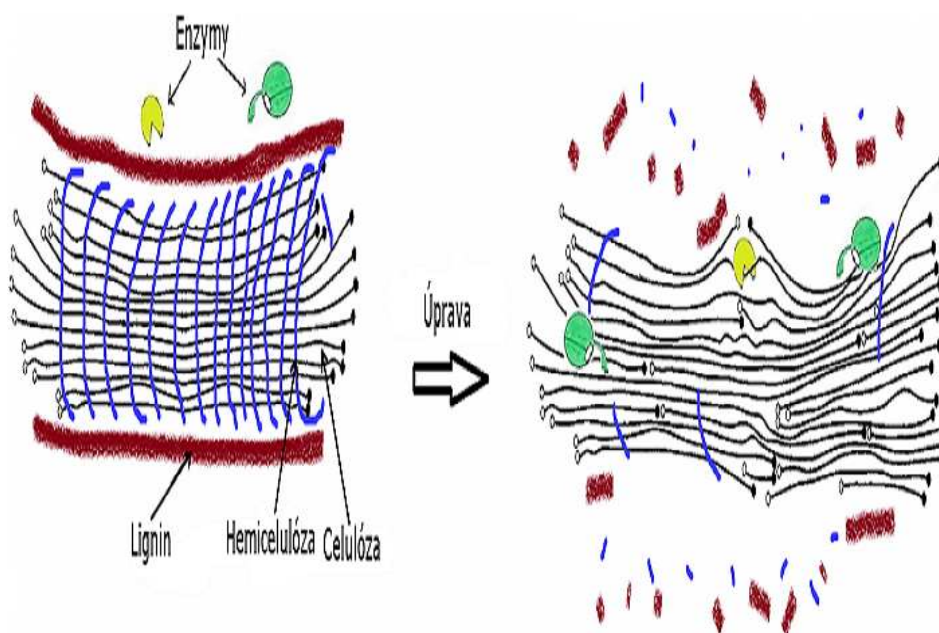
Zdroj: Murtinger (2012)

2.2 Úprava lignocelulózy

Taherzadeh a Karimi (2008) uvádějí, že cílem jakékoliv úpravy fytomasy je změnit vlastnosti materiálu takovým způsobem, aby byl připraven pro maximálně účinnou hydrolýzu. Účinná, respektive vhodně zvolená, metoda prvotního zpracování zvyšuje přístupnost celulóзовých vláken a následně zvyšuje možnosti rozkladu polysacharidů na monosacharidy bez degradace materiálu a vzniku jakýchkoliv inhibitorů majících vliv na mikrobiální rozklad. Při použití jakékoliv metody úpravy je kladen důraz zejména na její efektivitu a nenákladnost, která je skryta především v minimálních energetických požadavcích na rozmělnění organického materiálu a zabránění vzniku různých druhů znečištění substrátu včetně zamezení jeho degradace.

Volynets (2011) poukazuje na to, že struktura celulózy vytváří omezení pro proniknutí chemických či biologických katalyzátorů. Úpravou je nutné rozdělit strukturu celulózy a zlepšit dostupnost substrátu pro hydrolytické enzymy (grafika č. 4). Mechanická velikost částic omezuje zvýšit přístupné plochy biomasy a poté obvykle následuje fyzikální úprava.

Grafika 4: Cílem úpravy je zvýšit dostupnost celulózy na cellulolytickým enzymům v následné enzymatické fázi hydrolýzy



Zdroj: Volynets 2011

Dle Hendrikse (2009) se při rozmělnění biomasy celková účinnost hydrolýzy zvýší o 5-25 % a zároveň se sníží doba rozkladu přibližně o 23-59 %.

Mletí, drcení či jiné způsoby rozmělnění se používají jako předstupeň před dalším zpracováním, kterým může být např. kyselá hydrolýza, předúprava parou, čpavkem nebo horkou tlakovou vodou. Kombinací lámání, drcení a mletí lze dosáhnout výsledné velikosti částic 10-30 mm při lámání a 0,2-2 mm při mletí (Sun, 2002).

Yu (2003) uvádí, že nevýhodou mletí je jeho energetická, respektive finanční, náročnost a další nevýhodou je to, že v dezintegračních zařízeních se většina z dodané energie přemění na odpadní teplo. Yu (2003) následně dodává, že jen 0,06-1 % vstupní energie je využito k dezintegraci materiálu.

2.3 Kyselá hydrolýza fytomasy

V první fázi dochází k hydrolytickému štěpení složitých polymerních řetězců na monomery, tří a více uhlíkaté organické kyseliny a alkoholy pomocí extracelulárních enzymů produkovaných mikroorganismy (celuláza, amyláza, proteázy, lipáza). Proteiny jsou rozkládány na aminokyseliny, peptidy, amoniak a oxid uhličitý. Polysacharidy jsou štěpeny na mono a disacharidy, škrob se štěpí na glukózové jednotky. Hemicelulóza je degradována pomocí řady enzymů na monosacharidy, jako je např. glukóza, galaktóza, arabinóza a další (Elefsiniotis, 1994).

Sun et al., (2011) uvádí, že nejdůležitějším krokem pro výrobu bioplynu z biomasy je hydrolýza lignocelulóзовé biomasy. Alternativní metody výroby jsou kyselá hydrolýza, hydrolýza koncentrovanou kyselinou a enzymatická hydrolýza. Vzhledem k produkci některých druhů toxických látek, byla snížena účinnost rekuperace cukrů na 50-60%. Maroušek (2009) dodává, že v bioenergetické praxi se běžně diskutuje o 4 druzích hydrolýzy. Termotlakové, kyselé, zásadité a enzymatické. Exaktně, chemicky, existují jen 3, kyselá, zásaditá a enzymatická.

Dle Phillipse (2012) je hydrolýza chemická reakce, kde se voda používá k rozbití pout některých látek. V biotechnologii a u živých organismů, jsou tyto látky často polymery. Dojde ke štěpení molekuly vody na dvě části molekuly, jedna molekula dostane H^+ ionty, zatímco druhá část molekuly obdrží OH skupiny.

Technologický proces hydrolýzy slouží k degradaci biomasy před anaerobní fermentací a/nebo sterilizaci kafilerních odpadů pro výrobu bioplynu. Tím se výrazně zvyšuje výtěžnost bioplynu, zkracuje se reakční doba a také se snižuje potřeba objemu biomasy. Zároveň je možno zpracovat širší spektrum materiálů, například slamnatou biomasu nebo kafilerní odpady. Hydrolyzovaná biomasa vykazuje stabilní parametry složení, čímž přispívá ke stabilním provozním parametrům celé BPS. Hydrolýza (chráněná dle užitečného vzoru CZ 21314) využívá odpadní teplo z výroby elektrické energie, čímž je celý proces ekonomicky efektivní (Biomass technology 2012).

Hydrolýza celulóзовé biomasy pomocí minerální kyseliny je jednou z metod používaných pro oddělení ligninu z monosacharidů a z lignocelulóзовé biomasy, ale tento proces je silně závislý na koncentraci kyseliny a teplotě. Při nízkých

koncentracích minerálních kyselin, je vysoká teplota potřebná k dosažení hydrolýzy, což vyžaduje vysoké energetické zatížení. Přestože minerální kyseliny mohou výrazně snížit teplotu nebo spotřebu energie, byla by potřeba vyšší než 20% koncentrace minerálních kyselin. Tento proces neposkytuje slib pro značný průmyslový zisk, vzhledem k obtížím v opětovném využití a recyklaci minerální kyseliny. Proto je zavedení účinného a ekologicky neškodného procesu hydrolýzy velmi významné pro konverzi a využití lignocelulózových materiálů (Horst, 2011).

Během hydrolýzy jsou tvořeny toxické látky (především deriváty furfuralu, některé se zhoršenými fenolickými látkami) a organické kyseliny, které často brzdí nebo mají nežádoucí vliv na výkon biokatalyzátorů v bioprocesech (když jsou přítomny v koncentraci nad 1% hmotnosti). V současné době se pro různé zpracování používá hemicelulóza pro zvýšení kapacity fermentace hydrolýzy (Horst, 2011).

Zpracování lignocelulózových materiálů na bioplyn se skládá ze čtyř hlavních jednotkových operací: úprava, hydrolýza, fermentace, separace a produkt/čištění. Úpravou je nutné rozrušit biomasu makroskopické a mikroskopické velikosti a struktury, jakož i její submikroskopické chemické složení a struktury tak, aby hydrolýza sacharidů do monomerních cukrů mohla být dosažena rychleji a s většími výnosy. I když řada procesních konfigurací je studována pro konverzi celulózy biomasy na bioplyn (Mosier, 2005).

Grohmann et al., (1995) uvádí, že hydrolýza s horkou, zředěnou kyselinou je méně citlivá na jemnou strukturu polysacharidů v rostlinných tkáních než enzymatická hydrolýza, protože hydronium iontu je méně selektivní katalytické činidlo pro tuto reakci. Četná glykosidová vazba může být zrušena na podobné úrovni, s výjimkou celulózy, která je relativně odolná vůči kyselinám katalyzované hydrolýzy díky své nerozpustnosti, krystalitě a pektinu, ve kterém se zdají být glykosidické vazby mezi jednotkami galakturonové kyseliny odolnější, díky indukčnímu efektu, přičemž Šimůnek (2010) definuje indukční efekt, jako efekt, kdy atom nebo skupina atomů díky své elektronegativitě odtahuje nebo naopak dodává elektrony zbytku molekuly. Tento indukční efekt může být kladný nebo záporný podle toho, jestli elektrony zbytku molekuly dodává (+I) nebo odebírá (-I). Při selektivní hydrolýze bohatosti pektinu rostlinné buněčné stěny se zředí minerální kyselina při 60 - 100°C. Rathore et al., (2010) poukazuje na to, že hydronium (též hydroxoniový ion či hydroxoniový kationt) je označení pro ion H_3O^+ , který vznikne

navázáním ionu H^+ na molekulu vody pomocí koordinačně-kovalentní vazby. Stabilita tohoto ionu silně závisí na pH prostředí. V neutrálním a zásaditém prostředí je hydronium nestabilní a velmi snadno se rozpadá na ion H^+ a vodu. Uvolněný ion H^+ pak buď reaguje s molekulou vody za vzniku nového hydronia nebo reaguje s nějakou jinou molekulou či iontem schopnou/schopným navázat vodíkový ion (např. amoniak, OH^-). Důsledkem této nestability hydronia je jeho vysoká kyselost.

Dle Roberta (2003) může dojít při hydrolýze hemicelulózy za příliš intenzivních hydrolyzačních parametrů k degradaci hemicelulózy na inhibitory. V důsledku toho je množství cukrů vyrobeného ze surového materiálu závislé na reakčním čase, teplotě a koncentraci kyseliny. Koncentrace kyseliny je nejdůležitější parametr ovlivňující výtěžnost cukru, zatímco pro tvorbu produktů rozkladu cukru, má teplota největší vliv. Hlavním problémem v tomto procesu je vznik velkého množství degradačních produktů, které mohou výrazně ovlivnit mikrobiální metabolismus. Při řešení tohoto problému, je nutné vybrat vyhovující reakční podmínky a udržet produkty rozkladu na nízké úrovni, protože jejich typ a úroveň závisí na závažnosti reakce hydrolýzy.

Hydrolýza celulózy neupravené biomasy je obtížná. Je to závislé na krystalickém charakteru celulózy, ligninu a plášti hemicelulózy, který obklopuje celulózu. Je potřeba zajistit takovou formu úpravy, která naruší obal ligninu a hemicelulózy a zvýší citlivost celulózy enzymatické útoky. Například u tvrdých dřev, pšeničné slámy, je hemicelulóza složena primárně z uhlíku xylózy a cukrů, které mohou být přeměněny na bioplyn. Pro úpravu biomasy lze použít několik procesů, jako je parní exploze, parní exploze s kyselým katalyzátorem a hydrolýza zředěnou kyselinou sírovou. Proces zředěné kyseliny využívá nízké koncentrace kyseliny sírové za poměrně nízkých teplot ($160^\circ C$ po dobu 10 minut) k dosažení téměř kompletní konverze hemicelulózy xylnů na xylózu. Ještě před tímto krokem, se velikost částic sníží na cca 1 mm, což vyžaduje značné množství energie. Proces parní exploze používá vysokotlakou páru a při rychlém snižování tlaku se sníží velikosti částic biomasy. Z parní exploze je výnos z xylózy nízký (30-50%). Nicméně lze výnos zlepšit pomocí katalyzátoru, jako je SO_2 , který je základem pro proces kyselé katalytické parní exploze (Schell, 1991).

Výhodou hydrolýzy je, že poskytuje dobře definovanou platformu molekuly (např. monosacharidy a výrobky z nich), v některých případech za velmi vysokého

výtěžku. Hydrolýza může být katalyzována konvenční kyselinou, zásadou nebo enzymy (Sievers, 2009).

Lenihan et al., (2010) uvádí, že zředěné nebo koncentrované kyseliny rozkládají celulózu a hemicelulózu v lignocelulózové biomase, aby se vytvořily jednotlivé molekuly cukru, které mohou kvasit na bioplyn. A poté Lenihan et al., (2010) dodává, že výhodou kyselé hydrolýzy je, že kyselina může pronikat ligninem bez předběžného ošetření, kde rychlost kyselé hydrolýzy je vyšší než enzymatická hydrolýza a také se glukóza rychleji rozkládá v kyselém prostředí.

Kyselá hydrolýza celulózy je dobře známý jev a může být provedena zředěnými či koncentrovanými kyselinami. Nejvíce používané kyseliny jsou H_2SO_4 a HCl . Koncentrované kyseliny (72% H_2SO_4 nebo 42% HCl) obvykle převádí 90% potenciálních glukánů v biomase na glukózu, ale aby byl proces životaschopný, musí být velké množství kyseliny, které se použije na jednotku vyrobeného cukru, navraceno (Xiao, 1997).

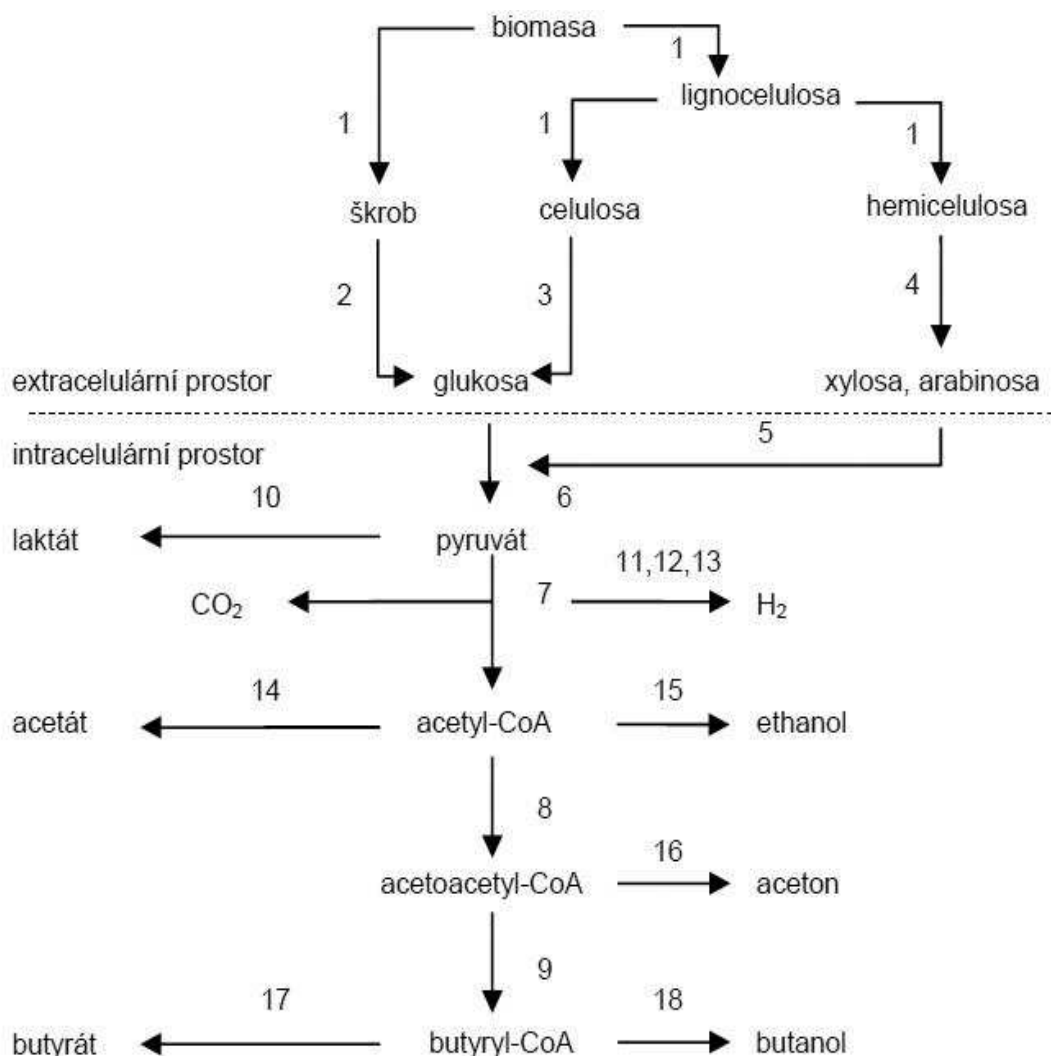
Laopaiboon et al., (2010) uvádí, že kyseliny H_2SO_4 a HCl lze použít jako katalyzátory pro hydrolýzu, protože mohou prolomit heterocyklické vazby mezi monomery cukru v polymerních řetězcích, které jsou tvořené hemicelulózou a celulózou. Kozmík (2010) definuje heterocyklické vazby jako cyklické sloučeniny, které mají nejméně dva různé atomy v kruhu (heterocyklické sloučeniny), samotný kruh heterocyklus a prvky jiné než uhlík pak heteroatomy. Pokud heterocyklus neobsahuje atomy uhlíku, hovoříme o anorganických heterocyklech. V případě, že obsahuje alespoň jeden atom uhlíku, hovoříme o organických heterocyklech. Podle počtu atomů v kruhu pak heterocykly dělíme stejně jako cyklické sloučeniny na tříčlenné, čtyřčlenné, pětičlenné, atd., podle druhu heteroatomu na kyslíkaté, sirné, dusíkaté, atd. a podle počtu dvojných vazeb na nasycené, částečně nasycené a nenasycené. Cao et al., (2009) uvádí, že kyselá hydrolýza hemicelulózy poskytuje nejen rozpustné cukry, ale i značné množství vedlejších produktů, jako je fenol a sloučeniny furanu, které mohou nepříznivě ovlivnit mikrobiální metabolismus. Přestože odstranění inhibitorů z hydrolyzátů zvyšuje účinnost fermentace, současně zvyšuje výrobní náklady. Proto je adekvátní kontrola hydrolýzy v etapě, kde je cílem maximalizovat produkci cukru při udržení přijatelné úrovně inhibitorů potřebných pro efektivní fermentační výrobu H_2 . Dle Moya et al., (2008) se při kyselé hydrolýze (zejména pomocí H_2SO_4) využívá upravené lignocelulózy k získání monosacharidů.

V tomto procesu kyselina nejprve rozdělí strukturu vláken do přístupnější celulózy, hemicelulózy a ligninu a pak dále transformuje tyto polysacharidy na monosacharidy. Tento proces používá buď koncentrovanou kyselinu (70-77 %) při nízké teplotě kolem 50 °C, nebo zředěnou kyselinu (0,4-0,7 %) při vysoké teplotě kolem 200 °C. Waldron et al., (2010) uvádí, že existují dva typy kyselé hydrolýzy: zředěná a koncentrovaná, z nichž každá má jedinečné vlastnosti a účinky na biomasu a každá má výhody a nevýhody z hlediska ekonomiky. Ramírez et al., (2004) popisuje ve svém výzkumu hydrolýzu fytomasy za použití HNO₃ při různé koncentraci (2-6%), reakční době (300 min) a teplotě (100-128°C). Byly stanoveny optimální vybrané podmínky a byly následující: 122 °C, 6% HNO₃ a 9,3 min. Za těchto podmínek bylo získáno: 18,6 g xylózy/L; 2,04 g arabinózy/L; 2,87 g glukózy/L; 0,9 g kyseliny octové/L a 1,32 g furfuralu/L. Porovnání těchto výsledků s výsledky získanými pomocí H₂SO₄ a HCl prokázaly, že HNO₃ je nejúčinnější katalyzátor hydrolýzy.

Waldron et al., (2010) konstatuje, že zředěná kyselé hydrolýza (0,5-1,0% H₂SO₄) předčistí při teplotě (140-190 °C) většinu hemicelulózy. Zředěná kyselé hydrolýza se skládá ze dvou chemických reakcí. Jedna reakce převádí celulózové materiály na cukr a druhá převádí cukr na další chemické látky, z nichž mnohé brzdí růst mikrobů při fermentaci. Stejně podmínky, které způsobují první reakci, mohou nastat současně a způsobují nadměrné odbourávání cukrů, vytváří inhibiční látky, jako jsou furany a fenoly. Během procesu úpravy, je lignin narušen a částečně rozpuštěn, celulóza zvyšuje citlivost enzymů. Přidáním kyseliny se vytváří vyšší výnos cukru z hemicelulózy než předčištění bez kyseliny (tento proces se nazývá autohydrolýza). Koncentrovaná kyselé hydrolýza (70% obsah kyseliny) využívá nízkou teplotu (38 °C) a nízký tlak. Rychlost konverze celulózy na glukózu v rámci tohoto procesu jsou mnohem vyšší (90%) než zředěnou kyselou hydrolýzou.

2.3.1 Principy hydrolýzy fytomasy

Klostridia jsou schopná produkovat různé enzymy, které štěpí polysacharidy na monomery (obr. č. 2), např. α -amylasu, α -glukosidasu, β -amylasu, β -glukosidasu, gluukoamylasu, pullulanasu a amylopullulanasu. (Lipovský, 2009)



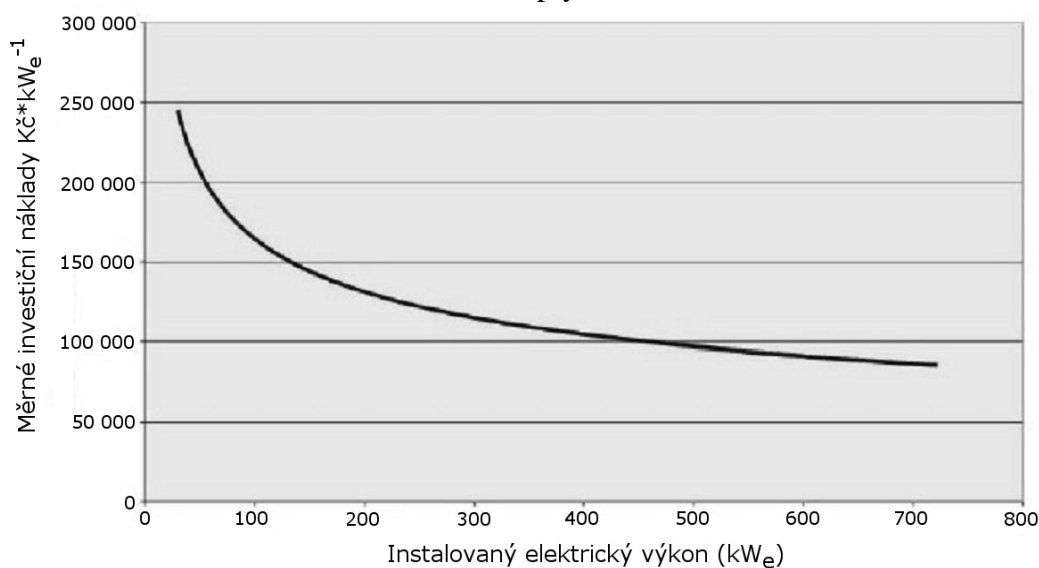
Grafika 5: Zjednodušená konverze rostlinné biomasy na rozpouštědla u bakterií rodu *Clostridium*; 1. předúprava zrna / lignocelulosity; 2. hydrolýza škrobu (α -amylasa, β -amylasa, pullulanasa, gluukoamylasa, α -glukosidasu); 3. hydrolýza celulosy (celulasa, β -glukosidasu); 4. hydrolýza hemicelulosy; 5. absorpce xylosy/arabiny a následná transformace transketolasovou-transaldolasovou sekvencí na fruktosa 6-fosfát a glyceraldehyd 3-fosfát postupnou metabolizací Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) drahou; 6. přenos glukosy fosfotransferasovým systémem a konverze na pyruvát EMP drahou; 7. pyruvát-ferredoxin oxidoreduktasa; 8. thiolasa; 9. 3-hydroxybutyl-CoA dehydrogenasa, krotonasa a butyryl CoA dehydrogenasa; 10. laktát dehydrogenasa; 11. NADH-ferredoxin oxidoreduktasa; 12.

NADPH-ferredoxin oxidoreduktasa; 13. hydrogenasa; 14. fosfát acetyltransferasa, acetát kinasa; 15. acetaldehyd dehydrogenasa, ethanol dehydrogenasa; 16. acetoacetyl-CoA:acetát/butyrát:CoA transferasa, acetoacetát dekarboxylasa; 17. fosfát butyltransferasa, butyrát kinasa; 18. Butyraldehyd dehydrogenasa, butanol dehydrogenasa (Lipovský, 2009)

2.4 Ekonomika bioplynové stanice

Kazda (2009) uvádí, že měrné náklady jsou závislé na mnoha skutečnostech (lokalita, dostupná infrastruktura, zpracováváný substrát atd.). Přibližná závislost měrných investičních nákladů na instalovaném elektrickém výkonu je zobrazena na grafice 5. Z grafiky vyplývá, že optimální je stavět bioplynovou stanici od instalovaného výkonu 400 až 500 kW_e. Provozní náklady na bioplynovou stanici bude tvořit servis a údržba kogenerační jednotky, servis a údržba pomocných zařízení (např. míchadla, čerpadla, dávkovače substrátu), mzda obsluhy a náklady na výrobu substrátu. Příjmy z provozu bioplynové stanice bude tvořit prodej elektřiny a případně část prodaného tepla. Výkupní ceny elektřiny z obnovitelných zdrojů stanovuje cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu. Z celkového ročního množství vyrobeného tepla bude 30 % využito k ohřevu fermentoru. Část tepla je možno využít pro potřeby zemědělského podniku, např. pro ohřev teplé vody, vytápění budov, sušení obilí apod. Další možnosti využití odpadního tepla závisí na umístění zemědělského podniku. Ty se většinou nachází v blízkosti menších obcí, kde jsou minimální možnosti prodeje tepla.

Grafika 6: Měrná investiční náročnost bioplynové stanice



Zdroj: Kazda 2009

Návratnost investice vynaložené na zřízení bioplynové stanice závisí na finanční náročnosti použité technologie a následující provozu stanice. Ekonomika provozu bioplynové stanice vyplývá z cen vstupů (zda se musí materiál nakupovat nebo je z vlastních zdrojů) a zejména od výkupních cen elektrické energie a tepla. Bez využití tepla - jen při prodeji elektrické energie může být návratnost výstavby bioplynové stanice v současných podmínkách České republiky 8-10 let. Při současném využití odpadního tepla, které vzniká při výrobě elektrické energie se doba návratnosti zkracuje na 5 - 7 let. Tato bilance je za předpokladu, že kogenerace výroby elektrické energie a tepla (spalovací motor) probíhá 5 000-6 000 hod. za rok (13,7-16,4 hod. denně). Výstavba bioplynové stanice je ekonomicky efektivní tehdy, když je k dispozici stabilní zdroj surovin a je možné zajistit odběr elektrické energie a tepla. Odběr elektrické energie a tepla může být i pro interní potřeby podniku, obce či subjektu v blízkosti - veřejné osvětlení, osvětlení areálu, vytápění rodinných domů (Veverka 2009).

2.4.1 Ekonomické hodnocení projektu

Ekonomické hodnocení je provedeno metodou čisté současné hodnoty a určením doby návratnosti. U čisté současné hodnoty (z angl. Net Present Value – NPV) se vyžaduje kladná hodnota, doba návratnosti do 10 let je přijatelná. Minimální výkupní cena elektřiny, aby projekt byl ještě výhodný, tj. $NPV = 0$, je 3 450 Kč/MWh. V reálném případě by bylo možno zvýšit výnosy využíváním odpadního tepla. Možnosti prodeje tepla jsou ale vzhledem k umístění zemědělských podniků většinou značně omezené. Odpadní teplo je využíváno hlavně pro potřeby zemědělského podniku. Další výnosy by tak mohly tvořit úspory za elektřinu pro ohřev teplé užitkové vody, za uhlí nebo plyn pro vytápění objektů, za plyn pro sušení obilí apod. Také by mohlo dojít ke snížení investičních nákladů podniku využitím dotací. V současné době to umožňuje hlavně Program rozvoje venkova, který platí do roku 2013 (Kazda 2009). Kislingerová (2007) chápe tuto metodu jako úplně nejvhodnější ze všech, jelikož vypovídací schopnost dosaženého výsledku srozumitelně odpovídá na základní otázku, zda je investice výhodná. NPV má tyto charakteristiky: uvažuje časovou hodnotu peněz, závisí na prognózovaných

hotovostních tocích a alternativních nákladech kapitálu, aditivnost, tzn. že výsledky lze v portfoliu investic sčítat.

Synek (2002) uvádí, že jádrem NPV metody je výpočet rozdílu mezi současnou hodnotou všech očekávaných příjmů (cash-flow) a současnou hodnotou všech investičních výdajů projektu, které jsou generovány během jeho životnosti (obvykle jsou to výdaje na investici a provozní výdaje). Před samotným výpočtem čisté současné hodnoty je však nutné přepočítat všechny budoucí cash-flow (a pokud jsou vynakládány déle jak rok také investiční výdaje) k jednomu (stejnému) okamžiku, jímž obvykle bývá moment zahájení projektu. Takové přepočtené (diskontované) hodnoty budoucích cash-flow (CF) označujeme jako současné hodnoty CF. Všechny varianty projektu s kladnou hodnotou NPV jsou přijatelné (mají vyšší než požadovanou výnosnost), ale za nejvýhodnější je pochopitelně považována varianta s nejvyšší hodnotou NPV (představuje nejvyšší přírůstek zdrojů podniku). Předpokladem pro hodnocení na základě NPV je stejná doba životnosti jednotlivých variant projektu. Čistou současnou hodnotu projektu vypočítáme dle vztahu:

$$\check{C}SH = SH - IN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - IN$$

Kde:

ČSH..... čistá současná hodnota (Kč)

SH..... současná hodnota CF (Kč)

IN..... celkové investiční náklady (Kč)

n..... doba životnosti zařízení (roky)

CF..... očekávaná (odhadnutá) hodnota cash-flow projektu (Kč)

t..... počet období od 1 až do n

$(1+i)^t$ odúročitel

3. Metodika

3.1 Použité substáty

Zkoumaným substrátem bylo seno ze zemědělského podniku VOŠ a Szeš Tábor v Měšicích (+49° 24' 37.44", +14° 42' 32.24"). Klimatické podmínky jsou obvyklé pro jihočeskou oblast. Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 6,8°C, roční srážky dosahují 580 mm, půdní typ je zde písčito-hlinitý s pH=5,6. Seno bylo peletováno na průměr 6 mm (peletovacím lisem JGE 120 od GreenEnergy s.r.o.).

Inokulum (sušina 1,151%, pH při 38°C = 6,7; pH při 51°C = 6,8, hustota = 1157 kg.m³) pochází z bioplynové stanice Nedvědice (Česká republika) pracující v technologii suché fermentace kukuřičné siláže, čerstvého statkového hnoje, suchého statkového hnoje, který byl uložen po dobu 6 měsíců a zbytky z předchozí dávky v poměru 12:1:1:6. Bylo skladováno v plastových nádobách při 4°C a po samovolném roztání v pokojové teplotě aplikováno až v okamžiku potřeby.

Jako hydrolyzační činidlo byla použita 65% HNO₃, z BiomassTechnology a.s., Hulín (Česká republika).

Jako neutralizační činidlo byl použit uhličitan vápenatý (CaCO₃) a hydroxid sodný (NaOH) dodány firmou MERCI s.r.o., Brno (Česká republika).

Použitá voda byla využita z místního vodovodního řádu z laboratoře Kroměříž (Česká republika).

3.2 Použité zařízení

1. Briketovací Lis

Briketovací lis vyrábí společnost GreenEnergy, Vlčkov (Česká republika). Seno je třeba nejdříve nadrtit na velikost 1-2 mm a poté se z něho vyrobí pelety o velikosti 2-6 mm. Průměr pelet je dán velikostí matrice. Doporučená vlhkost 10-17% podle druhu materiálu. Denní vydatnost za 8 hodin je 600-800 kg. Výchřevnost pelet se mění s druhem materiálu, ze kterého jsou pelety zpracovány 16,5-19,5 MJ/kg.

Grafika 7: Briketovací lis na výrobu pelet JGE 120 economy



Zdroj: (Vše pro dřevo, 2012)

2. pH metr

Dynamika pH v závislosti na teplotě byla měřena pomocí pH metru CyberScan 600 (Chromservis Ltd., Praha, Česká republika). Přístroj pH slouží ke stanovení aktivity oxoniových kationtů v roztoku na základě potenciometrického měření. Zařízení pracuje s přesností až $\pm 0,01$ s rozsahem měření 0 až 14 pH. Zařízení obsahuje automatické rozpoznání 20-ti pufrů a bezdrátový přenos dat (IrDA).

Grafika 8: pH metr CyberScan 600



Zdroj: (Chromservis, 2012)

3. Muflové pece

Sušina byla stanovena pomocí muflových pecí LH 06/13 (Fisher Scientific Ltd., Pardubice, Česká republika) v souladu s metodou USEPA (2001). Zaručují rovnoměrně rozložení teploty (1200°C) v peci dle normy DIN 17052-1. Elementární analýza inokula (N, P, K, Ca a C) byla provedena externě (ÚKZUZ, S.p.A., Brno, Česká republika), stejně jako měření vlákniny a ligninu (AGRO-LA, spol. s.r.o., Jindřichův Hradec, Česká republika).

Grafika 9: Muflová pec LH 06/13



Zdroj: Fisher Scientific Ltd, 2012

4. Anaerobní fermentor

Automaticky monitorovaný anaerobní fermentor Stix 30-L (Grafika 9) vyvinul Maroušek pro firmu BiomassTechnology a.s., Tábor, provozovna Sodoměřice u Bechyně (Česká republika). Fermentor je složen z horní nádoby, která plní funkci hlavního reaktoru. Reaktor je temperován na teplotu 51°C. Teplota, pH, CH₄, CO₂, kyslík a sirovodík jsou průběžně monitorovány systémem čidel a posílány přes Wi-Fi (802.11b/g) do laboratorního serveru. Potrubí, které je vedeno na levé straně spojuje horní a spodní fermentor, slouží k průchodu digestátu. Ve spodním fermentoru je sledována zbývající produkce CH₄ a CO₂.

Grafika 10: Automaticky monitorovaný anaerobní fermentor Stix 30-L



Zdroj: Pharmix s.r.o., 2010

3.3 Použitý software

1. ZunZun.com

Webová aplikace (autor J.R. Phillips, USA) pracuje na operačním serveru, Linode Platform Manager (LPM), který pro dané účely využívá databázi Sequel Pro. Výstupní kód je na několika programovacích jazycích verze Python 3.3.0. Porovnání dat v databázi zajišťuje funkce SHA-1 (Secure Hash Algorithm), která je rozšířenou hašovací funkcí. SHA-1 vytváří 160 bitový obraz zprávy s maximální délkou $2^{64} - 1$ bitů. Aplikace umožňuje generaci online grafů, buď ve 2D nebo 3D rozhraní.

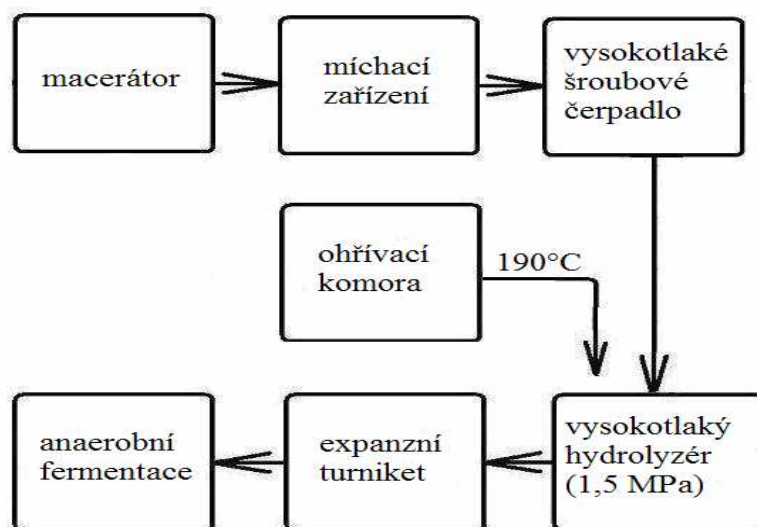
2. Matlab R2011b

Matlab (MATrix LABoratory) je matematický program pracující v interaktivním programovém prostředí vyvíjen společností MathWorks. Matlab obsahuje grafický systém, Handle Graphics a programovací jazyk 4. generace vycházející z jazyka Fortrain. Považuje se za multiplatformní operační software, který je spustitelný pod více jak jednou platformou. Matlab umožňuje počítání s maticemi, vykreslování 2D i 3D grafů funkcí, implementaci algoritmů, počítačovou simulaci, analýzu a prezentaci dat i vytváření aplikací včetně uživatelského rozhraní.

3.4 Technologie vysokotlaké hydrolýzy

Peletované seno bylo hydrolyzováno technologií firmy BiomassTechnology a.s. na hydrolyzáru firmy Pharmix s.r.o. Schéma vysokotlaké hydrolýzy je zobrazeno na Grafice č. 11. Peletované seno je pásovým dopravníkem automaticky nakládáno do macerátoru, dále postupuje do míchacího zařízení, kde se smíchá s vodou pro dosažení optimálního hydromodulu (1:7). Takto získaná řídká kaše je pod tlakem tažena z míchacího zařízení do vysokotlakého šroubového čerpadla. Z vysokotlakého šroubového čerpadla jde do vysokotlakého hydrolyzáru, kde je hydrolyzováno při tlaku 1,5 MPa, retenčním čase 500s, čemuž za daných podmínek odpovídá teplota přibližně 190°C. Hydrolyzát po uvolnění z vysokotlakého hydrolyzáru vylétá do expanzního turniketu. Hydrolyzát je po neutralizaci podroben anaerobní fermentaci.

Grafika 11: Schéma vysokotlaké hydrolýzy



Zdroj: Maroušek, 2012 (Elektronická komunikace)

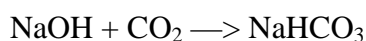
3.5 Mapování procesu produkce CO₂

- 1) Zneutralizovaný hydrolyzát (100 g vzorek) nasycený na maximální vodní retenční kapacitu (1) je umístěn do malé skleněné nádoby s rovným dnem o průměru 18 cm (2),
- 2) Skleněná nádoba s rovným dnem (2) je vložena na větší nádobu (3), která je překlopena a umístěna do testovací nádoby (5),

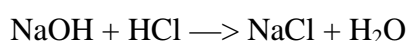
3) Prostor kolem překlopené nádoby je (3) je vyplněn 1M hydroxidem sodným (NaOH) (4),

4) Pomocí uhličitanu vápenatého (CaCO_3) jsou 100g vzorky (v sušině) hydrolyzovaného substrátu neutralizovány na $\text{pH}=7$ a poté týden sušeny v 75°C a následně nasyceny na maximální retenční kapacitu,

5) Hustota CO_2 ($1,9769 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) je vyšší než hustota vzduchu ($1,29 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), proto zhruba týden za pokojové teploty NaOH reaguje dle rovnice níže:



6) Při vyšší produkci CO_2 se při titraci projeví vyšší spotřebou HCl v neutralizaci je nulová produkce CO_2 a výsledkem je 1M spotřeby HCl:



7) Před titrací byl vzniklý uhličitan vápenatý (CaCO_3) sražen roztokem chloridu barnatého (BaCl_2) na bílý uhličitan barnatý (BaCO_3)

8) Získané hodnoty byly zadány do operačního serveru, Linode Platform Manager (LPM), který pro dané účely využívá databázi Sequel Pro.

9) Po vygenerování dat v operačním serveru (LPM) byl získán seznam funkcí, které se pro danou oblast podařilo nejlépe aproximovat,

10) Pro nejvhodnější výběr byla zvolena metoda pro určení přesnosti virtuálního modelu Root Mean Square Error – RMSE (SSQABS), která měří rozptyl rozdělení četnosti odchylek mezi původními výškovými daty,

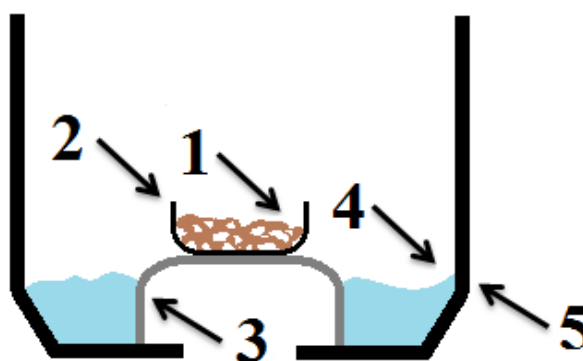
11) Nejlepší kritéria vykazovala polynomiální kvadratická funkce, do které byly vloženy aproximované data,

12) Do výsledného polynomu byly vloženy získané data a v matematickém programu Matlab (MATrix LABoratory) verze R2011b vypočítány ohniska lokálních extrémů,

13) V ohniscích lokálních extrémů proběhlo ověřování na produkci CH_4 ,

14) Mapování procesu proběhlo pro tlaky 0,457 MPa, 0,934 MPa, 1,611 MPa.

Grafika 12: Schéma aparátu na produkci CO_2



1 – hydrolyzát nasycený na maximální vodní retenční kapacitu, 2 – skleněná nádoba s rovným dnem, 3 – velká nádoba, 4 – dno nádoby vyplněno 1M NaOH, 5 – nádoba.

3.6 Simulace kumulativní produkce bioplynu ve čtvrt provozu

Simulace byla prováděna při parametrech, kdy teplota a pH byly měřeny po dobu 35 dnů na automatickém monitorovacím anaerobním fermentoru Stix, 30-L (Grafika 10), u kterých lze regulovat teplotu ostatní hodnoty lze snímat (pH, H_2 , CH_4 , CO_2). Teplota byla nastavena na 38°C , pro 2 otáčky za minutu. Bilance substrátu a očkovací směsi je v poměru 20:1 (TS). Následně došlo k ředění s vodou z důvodů snížení sušiny na 10% (požadavky BPS). Mezofilní dávka testu se provádí při 38°C . Teplota byla udržována pomocí čtyř termostatových snímačů. První byl umístěn v dolní části reaktoru, druhý v krytu reaktoru a třetí a čtvrtý snímač byl umístěn uvnitř reaktoru ve výšce 5 a 20cm. Hodnota pH byla sledována čidly umístěné vedle vnitřních snímačů. Plynný CH_4 , CO_2 , O_2 , a H_2S byly snímány analyzátozem GA 3000, který je vybaven osvědčenou technologií pracující s infračerveným detektorem a elektrochemickými senzory (Chromservis Ltd., Praha, Česká republika). Kumulativní produkce CH_4 a CO_2 je automaticky přepočítána na teplotu 0°C a tlak 101 325 Pa.

4. Výsledky

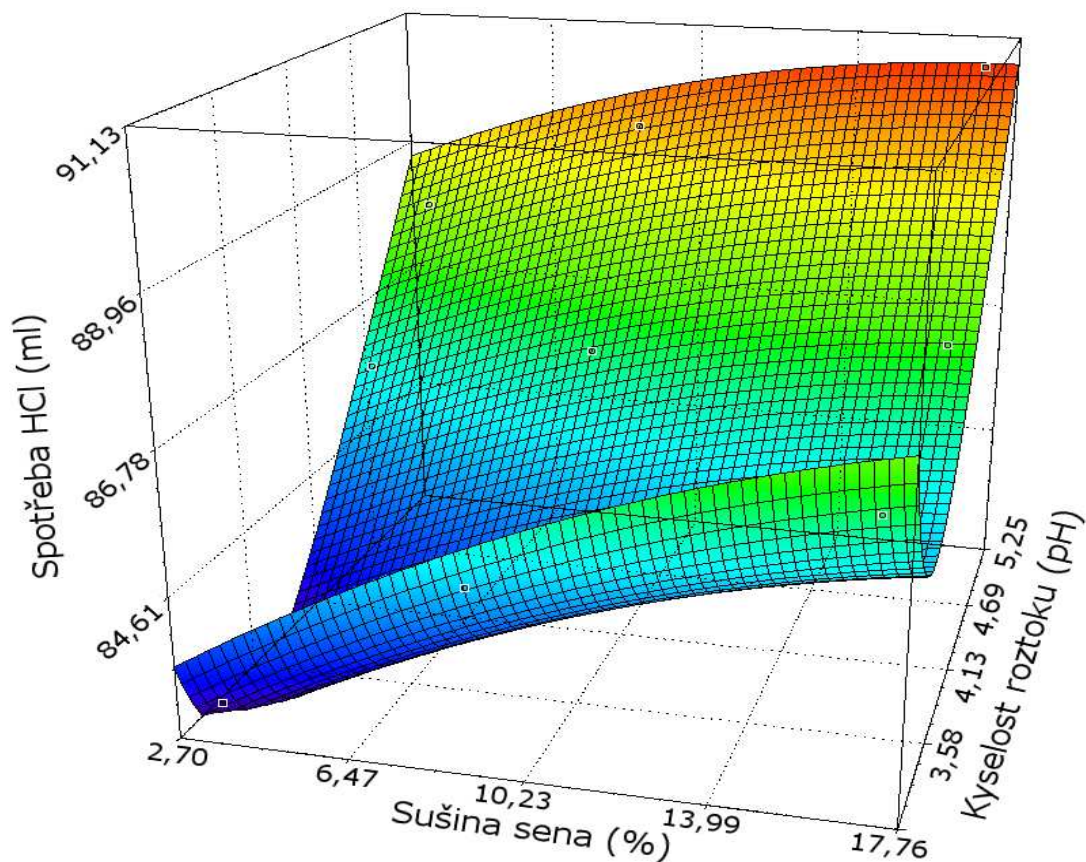
4.1 Mapování produkce CO₂

1) Mapování produkce CO₂ pro tlak 0,475 MPa

Tab. č. 2: Hodnoty získané při mapování produkce CO₂

Osa X	Osa Y	Osa Z
Sušina sena (%)	Kyselost roztoku (pH)	Spotřeba HCl (ml)
3,386	3,121	82,832
3,386	4,501	85,973
3,386	5,144	88,002
8,852	3,121	85,023
8,852	4,501	86,532
8,852	5,144	89,538
17,072	3,121	86,638
17,072	4,501	87,049
17,072	5,144	90,737

Graf č. 1 – Vygenerovaný 3D graf pomocí operačního systému LPM



Použitý polynom:

$$z = a + bx + c/\ln(y) + dx^2 + f/\ln(y)^2 + gx/\ln(y)$$

Kde:

$$a = 1.9221927896591677E+02$$

$$b = 4.3561519505469160E-02$$

$$c = -2.7586835766223533E+02$$

$$d = -9.2281375391910503E-03$$

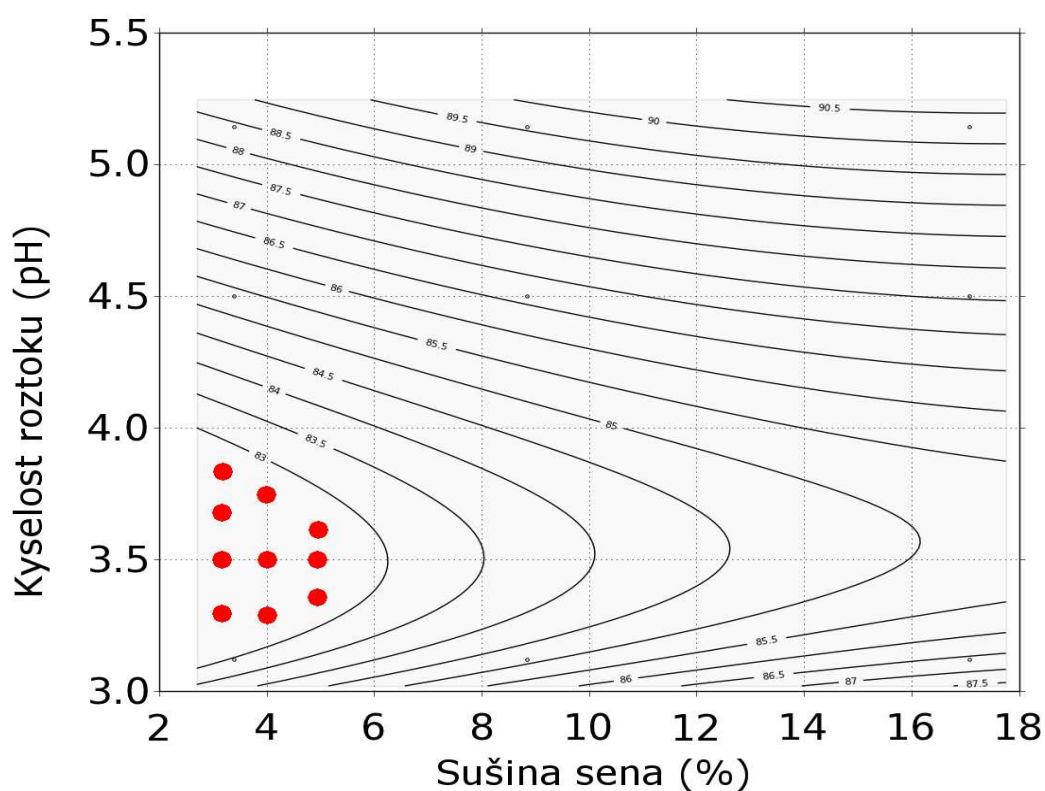
$$f = 1.7071597828506646E+02$$

$$g = 4.6066132864645404E-01$$

$$SSQABS: 1.06038062349$$

$$RMSE: 0.350662876525$$

Graf č. 2 – Vyznačení lokálních extrémů aproximací ve vrstevnicovém grafu



Tab. č. 3: Body lokálních extrémů

Bod	Sušina sena (%)	Kyselost roztoku (pH)
1)	3	3,85
2)	3	3,75
3)	3	3,5
4)	3	3,25
5)	4	3,8
6)	4	3,5
7)	4	3,25
8)	5	3,65
9)	5	3,5
10)	5	3,35

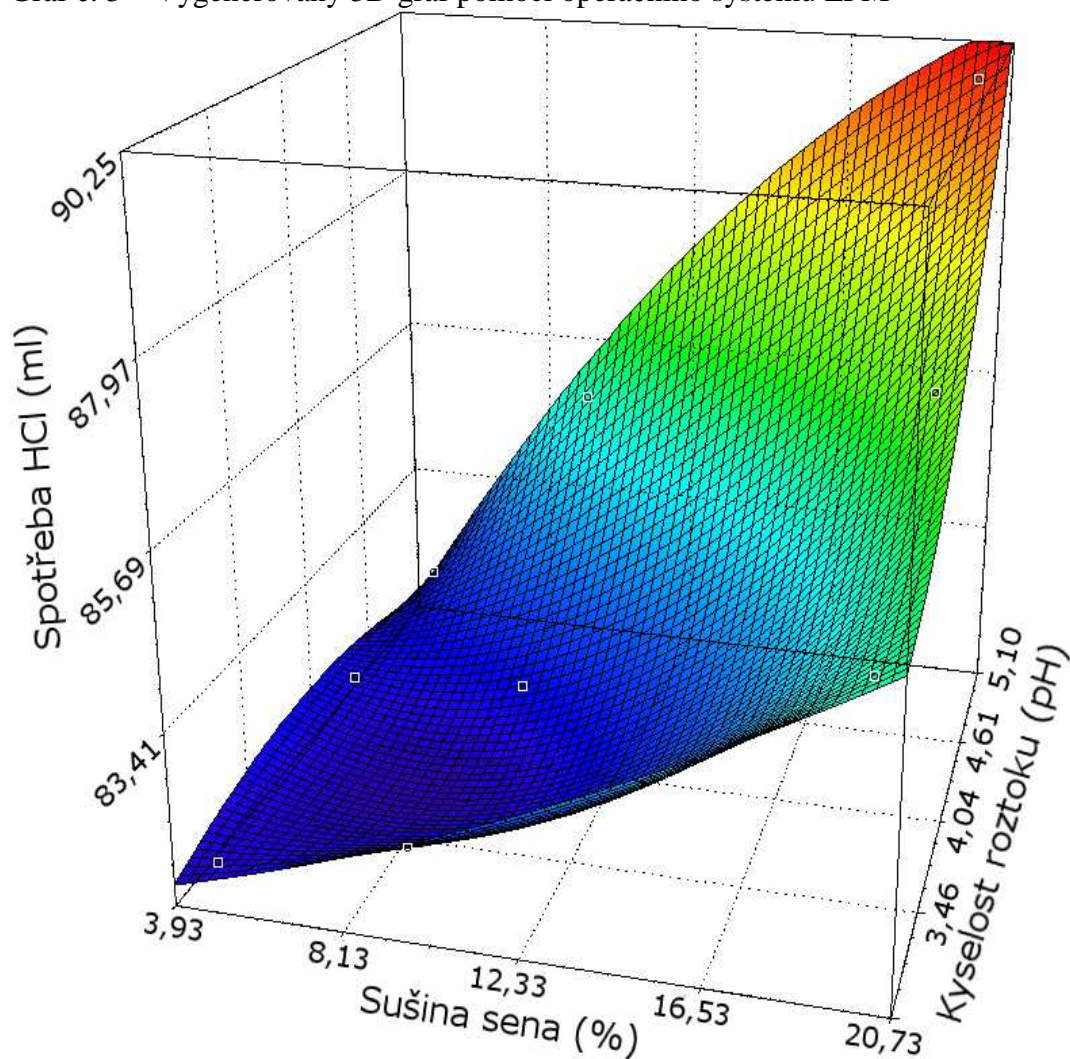
Lokální extrémů jsou vypisovány z grafu č. 3 zleva doprava, zhora dolů

2) Mapování produkce CO₂ pro tlak 0,934 MPa

Tab. č. 4: Hodnoty získané při mapování produkce CO₂

Osa X	Osa Y	Osa Z
Sušina sena (%)	Kyselost roztoku (pH)	Spotřeba HCl (ml)
4,696	2,991	81,542
4,696	4,201	81,772
4,696	5,081	81,927
9,461	2,991	82,121
9,461	4,201	81,973
9,461	5,081	84,931
19,965	2,991	85,012
19,965	4,201	86,628
19,965	5,081	89,836

Graf č. 3 – Vygenerovaný 3D graf pomocí operačního systému LPM



Použitý polynom:

$$z = a + bx^0y^1 + cx^0y^2 + dx^1y^0 + fx^1y^1 + gx^1y^2 + hx^2y^0 + ix^2y^1 + jx^2y^2$$

Kde:

$$a = 4.2548088710465599E+01$$

$$b = 2.1470664649281741E+01$$

$$c = -2.8334400497039809E+00$$

$$d = 9.8692613986507602E+00$$

$$f = -5.4793701067324250E+00$$

$$g = 7.2641003021164940E-01$$

$$h = -3.6297715454682389E-01$$

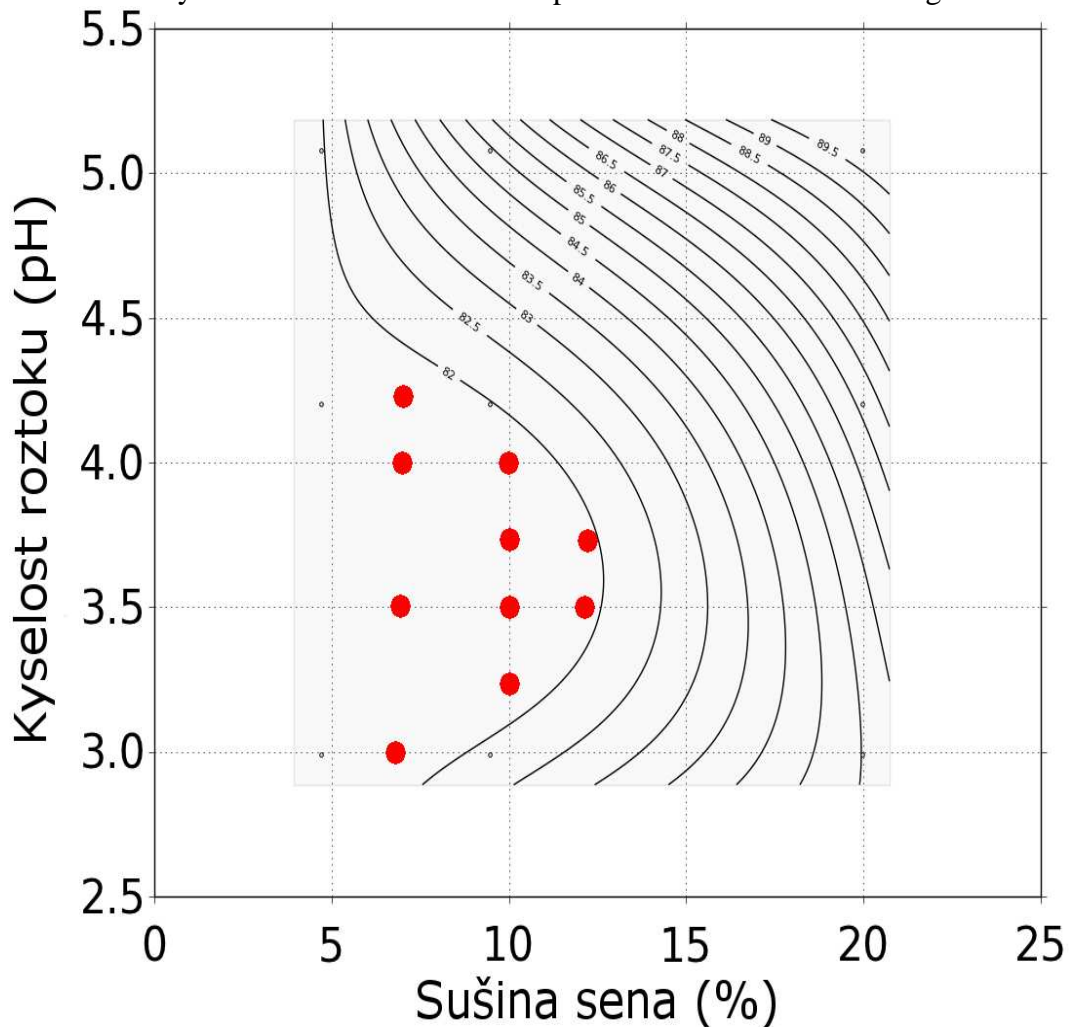
$$i = 2.0399267082622607E-01$$

$$j = -2.6502960668111086E-02$$

$$\text{SSQABS: } 1.98003309709e-21$$

$$\text{RMSE: } 1.48325209406e-11$$

Graf č. 4 – Vyznačení lokálních extrémů aproximací ve vrstevnicovém grafu



Tab. č. 5: Body lokálních extrémů

Bod	Sušina sena (%)	Kyselost roztoku (pH)
1)	7	4,25
2)	7	4
3)	7	3,5
4)	7	3
5)	10	4
6)	10	3,75
7)	10	3,5
8)	10	3,25
9)	12	3,75
10)	12	3,5

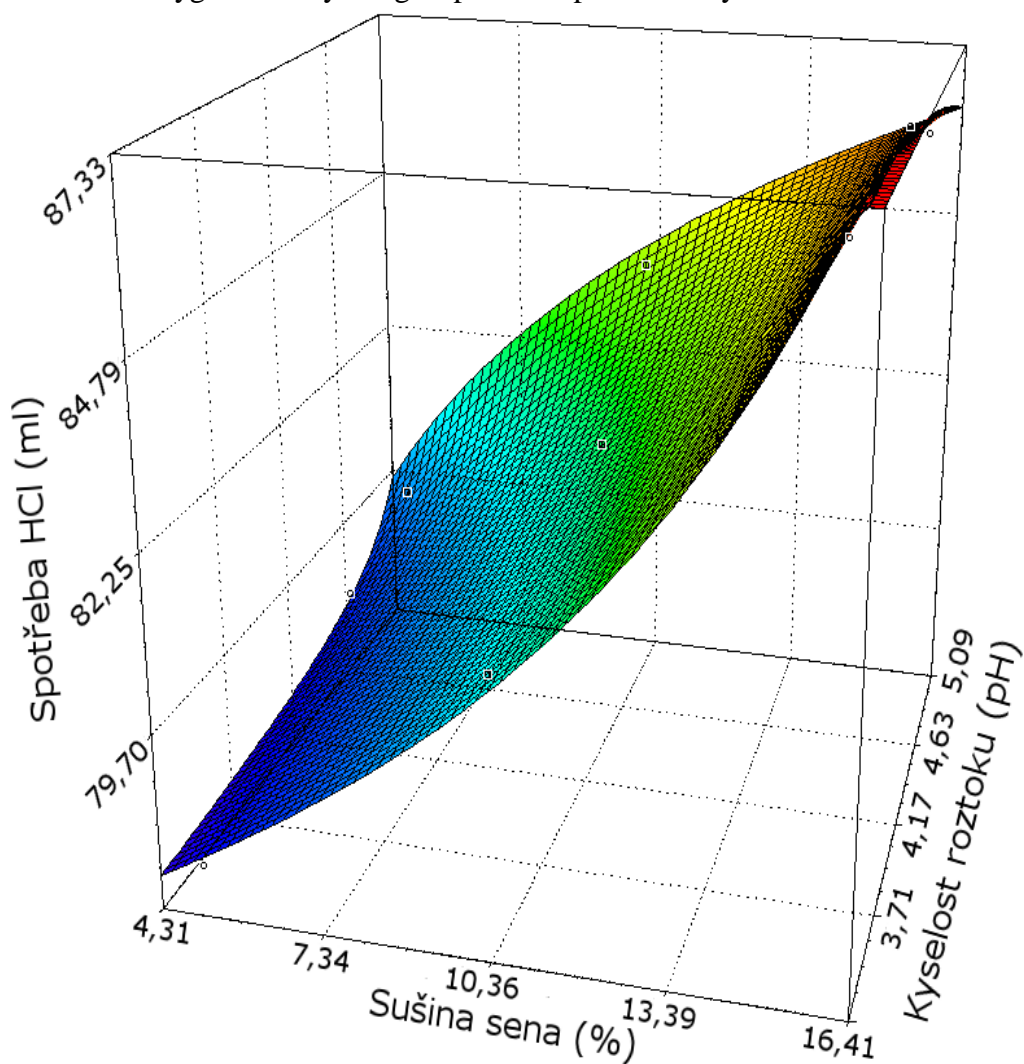
Lokální extrémů jsou vypisovány z grafu č. 3 zleva doprava, zhora dolů

3) Mapování produkce CO₂ pro tlak 1,611 MPa

Tab. č. 6: Hodnoty získané při mapování produkce CO₂

Osa X	Osa Y	Osa Z
Sušina sena (%)	Kyselost roztoku (pH)	Spotřeba HCl (ml)
4,862	3,338	77,623
4,862	4,459	78,973
4,862	5,003	79,532
10,193	3,338	80,973
10,193	4,459	81,838
10,193	5,003	83,76
15,862	3,338	86,872
15,862	4,459	86,832
15,862	5,003	86,091

Graf č. 5 – Vygenerovaný 3D graf pomocí operačního systému LPM



Použitý polynom:

$$z = (a + b \cdot \ln(x) + c \cdot \ln(y) + d \cdot \ln(x) \cdot \ln(y)) / (1 + f \cdot \ln(x) + g \cdot \ln(y) + h \cdot \ln(x) \cdot \ln(y))$$

Kde:

$$a = 7.6350994672891630E+01$$

$$b = -2.4536129932299779E+01$$

$$c = -4.5995569708002364E+01$$

$$d = 1.5157577913979855E+01$$

$$f = -3.2648477887058658E-01$$

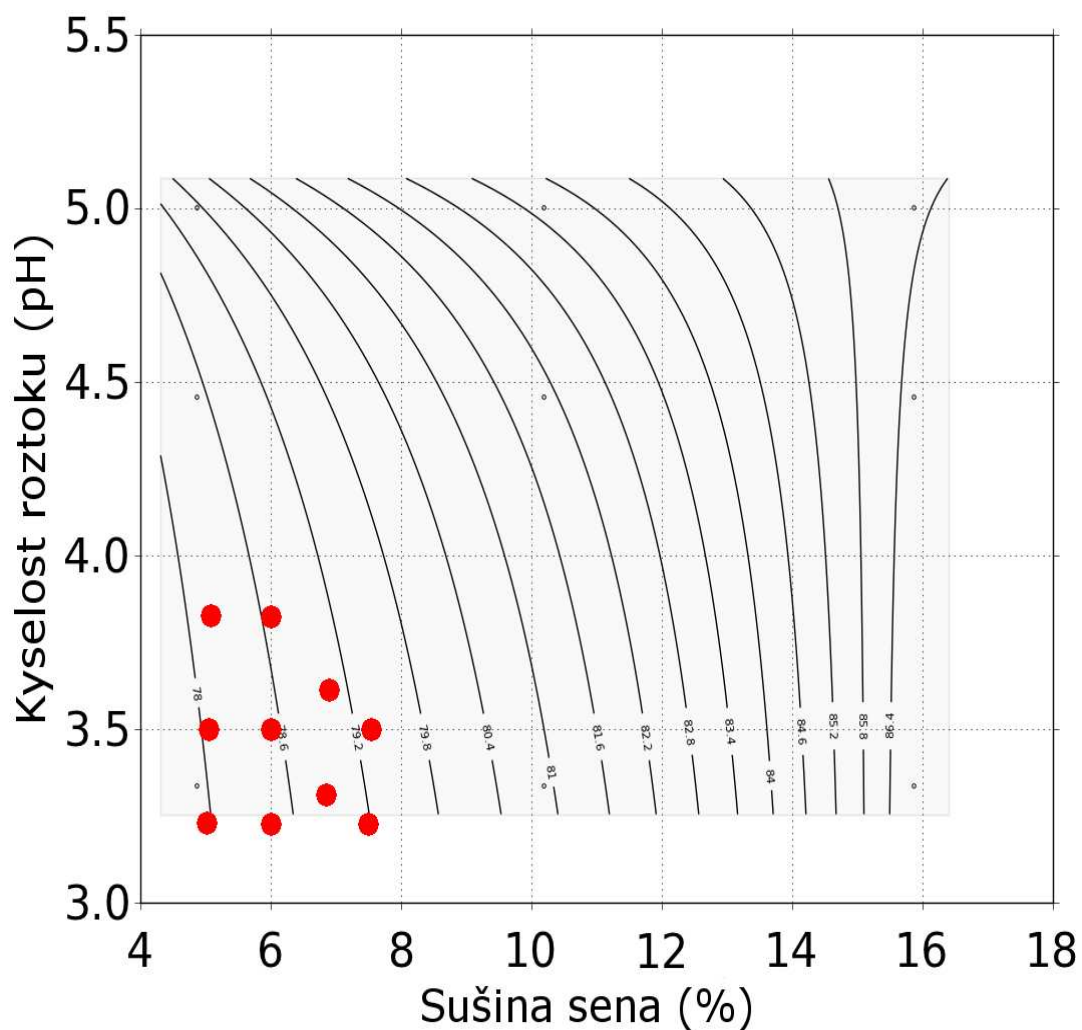
$$g = -6.0167911593990797E-01$$

$$h = 2.0078440076700213E-01$$

$$\text{SSQABS: } 0.540511024325$$

$$\text{RMSE: } 0.247821542471$$

Graf č. 6 – Vyznačení lokálních extrémů aproximací ve vrstevnicovém grafu



Tab. č. 7: Body lokálních extrémů

Bod	Sušina sena (%)	Kyselost roztoku (pH)
1)	5	3,8
2)	5	3,5
3)	5	3,25
4)	6	3,8
5)	6	3,5
6)	6	3,25
7)	7	3,65
8)	7	3,35
9)	7,5	3,5
10)	7,5	3,25

Lokální extrémů jsou vypisovány z grafu č. 3 zleva doprava, zhora dolů

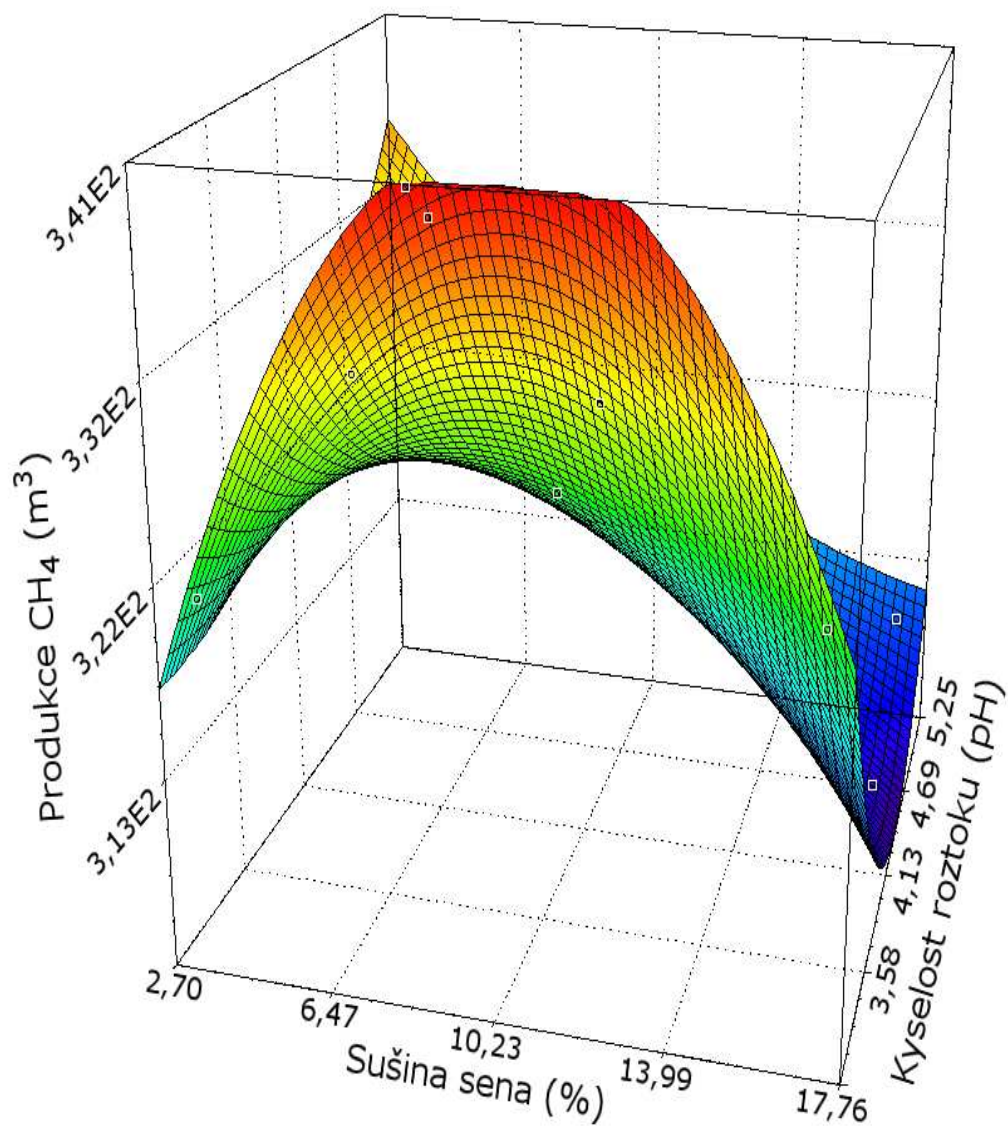
4.2 Mapování produkce CH₄

1) Mapování produkce CH₄ pro tlak 0,475 MPa

Tab. č. 8: Hodnoty získané při mapování produkce CH₄

Osa X	Osa Y	Osa Z
Sušina sena (%)	Kyselost roztoku (pH)	Produkce CH ₄ (m ³)
4,696	2,991	321,35
4,696	4,201	324,51
4,696	5,081	331,82
9,461	2,991	339,01
9,461	4,201	319,36
9,461	5,081	320,77
19,965	2,991	323,63
19,965	4,201	305,72
19,965	5,081	310,41

Graf č. 7 – Vygenerovaný 3D graf pomocí operačního systému LPM



Použitý polynom:

$$z = a + bx^0y^1 + cx^0y^2 + dx^1y^0 + fx^1y^1 + gx^1y^2 + hx^2y^0 + ix^2y^1 + jx^2y^2$$

Kde:

$a = 2.5647464889421667E+02$

$b = 9.6893439268300501E+00$

$c = 1.2855131554804990E+00$

$d = 4.0891945819401613E+01$

$f = -1.3892011951480002E+01$

$g = 1.0531177003183476E+00$

$h = -1.5428810060380331E+00$

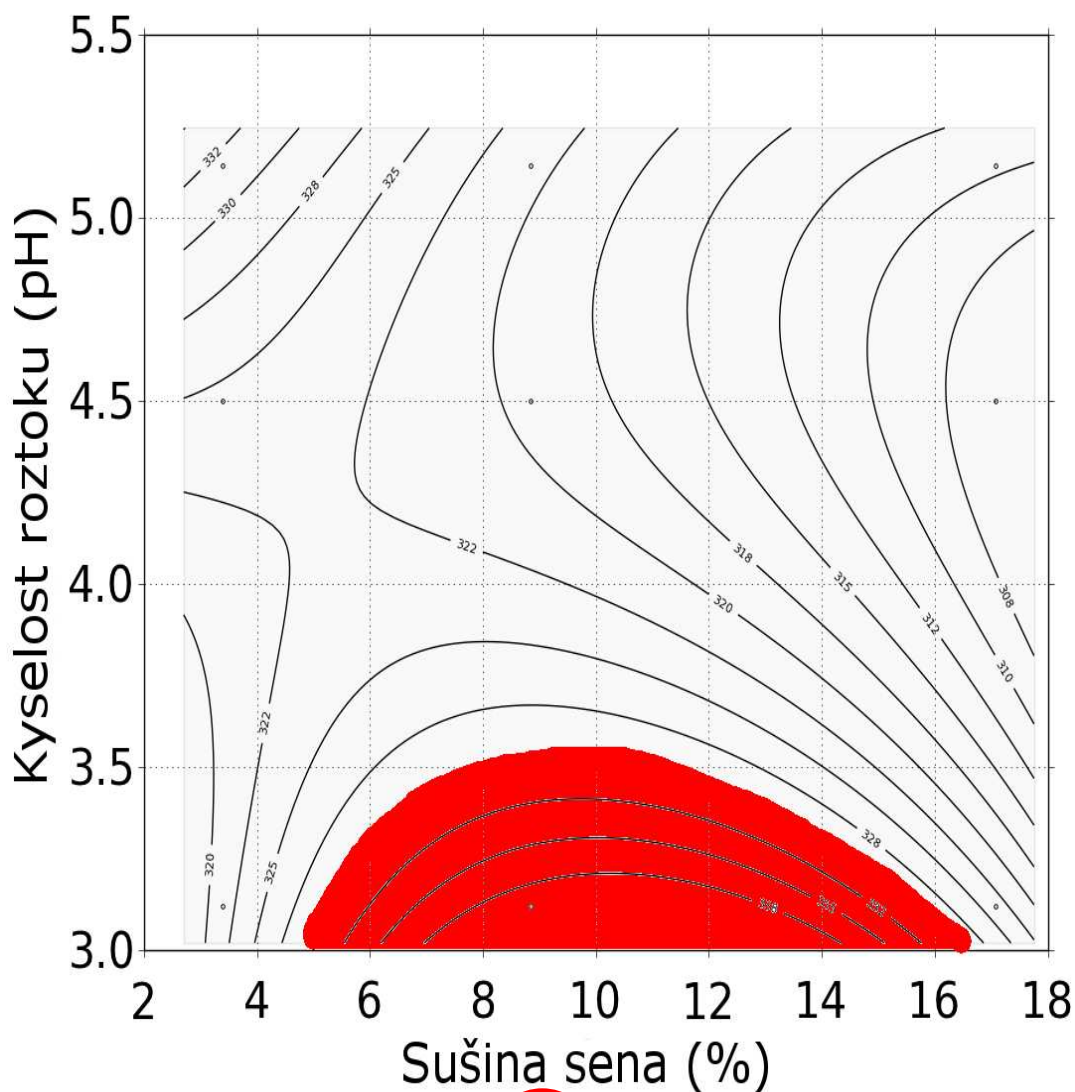
$i = 4.7389375665136635E-01$

$j = -3.1715147177486358E-02$

SSQABS: 9.72131090206e-23

RMSE: 3.28655694578e-12

Graf č. 8 – Vrstevnicový graf optimálních parametrů



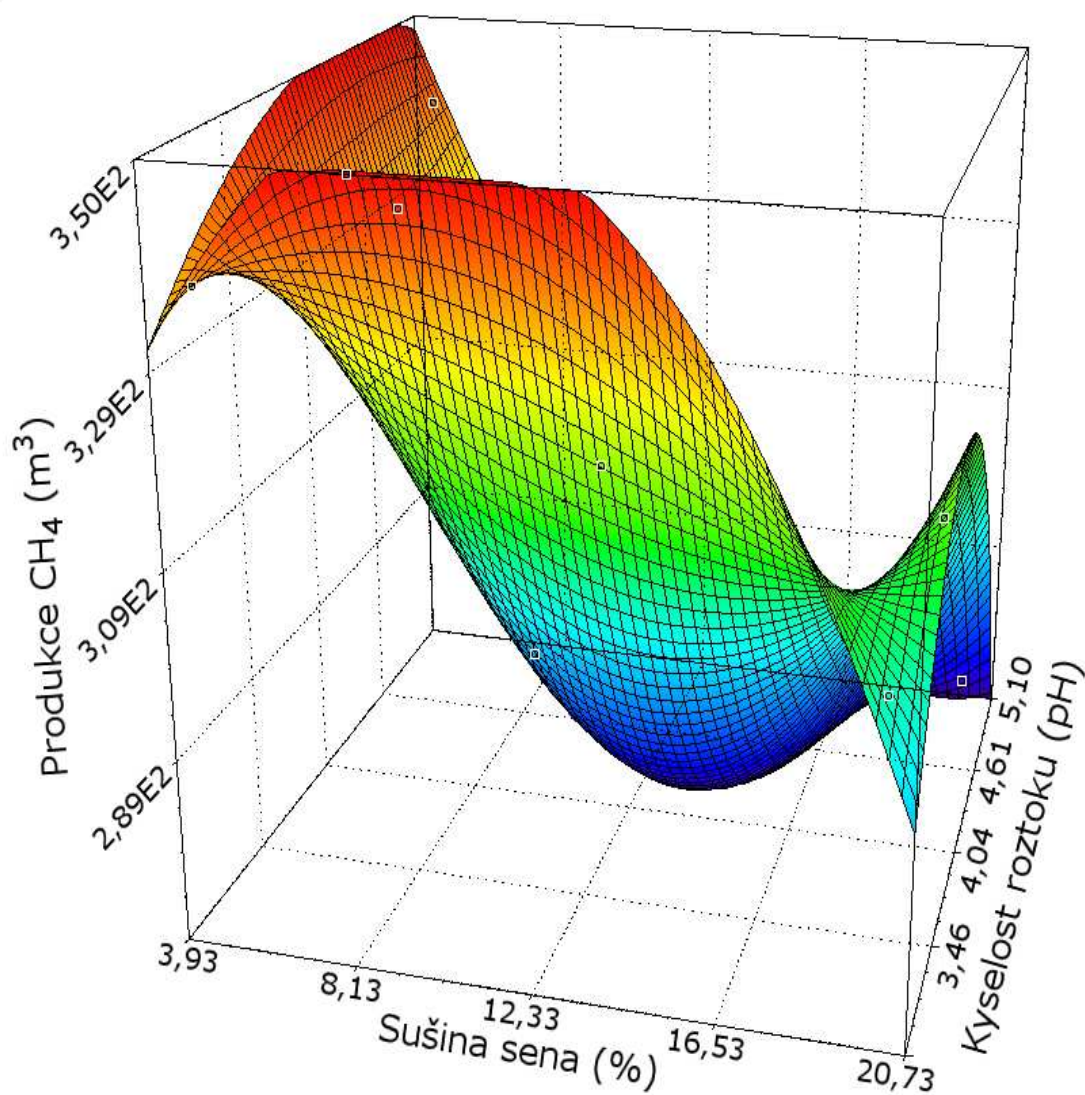
Maximální produkce CH₄ je v oblasti 

2) Mapování produkce CH₄ pro tlak 0,934 MPa

Tab. č. 9: Hodnoty získané při mapování produkce CH₄

Osa X	Osa Y	Osa Z
Sušina sena (%)	Kyselost roztoku (pH)	Produkce CH ₄ (m ³)
4,696	2,991	336,95
4,696	4,201	338,02
4,696	5,081	339,83
9,461	2,991	345,84
9,461	4,201	283,49
9,461	5,081	295,61
19,965	2,991	303,71
19,965	4,201	305,22
19,965	5,081	272,29

Graf č. 9 – Vygenerovaný 3D graf pomocí operačního systému LPM



Použitý polynom:

$$z = a + bx^0y^1 + cx^0y^2 + dx^1y^0 + fx^1y^1 + gx^1y^2 + hx^2y^0 + ix^2y^1 + jx^2y^2$$

Kde:

$$a = -7.6701468343357476E+02$$

$$b = 5.4647731245001830E+02$$

$$c = -6.2195887106220049E+01$$

$$d = 2.9575824560738727E+02$$

$$f = -1.4668880825825943E+02$$

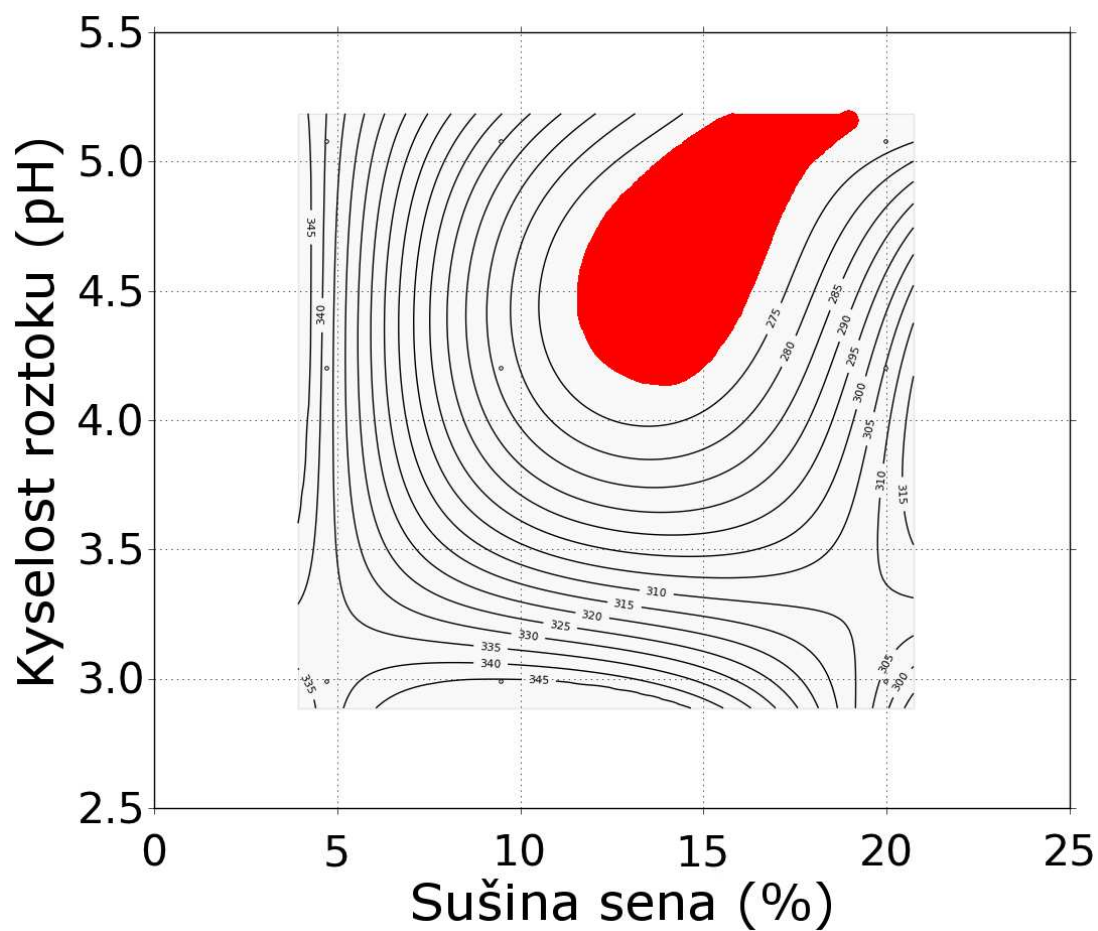
$$g = 1.6800902536039668E+01$$

$$h = -1.2720225998512920E+01$$

$$i = 6.3132679494378863E+00$$

$$j = -7.3189878752623372E-01$$

Graf č. 10 – Vyznačení největší produkce CH₄ ve vrstevnicovém grafu



Největší produkce CH₄ je v oblasti

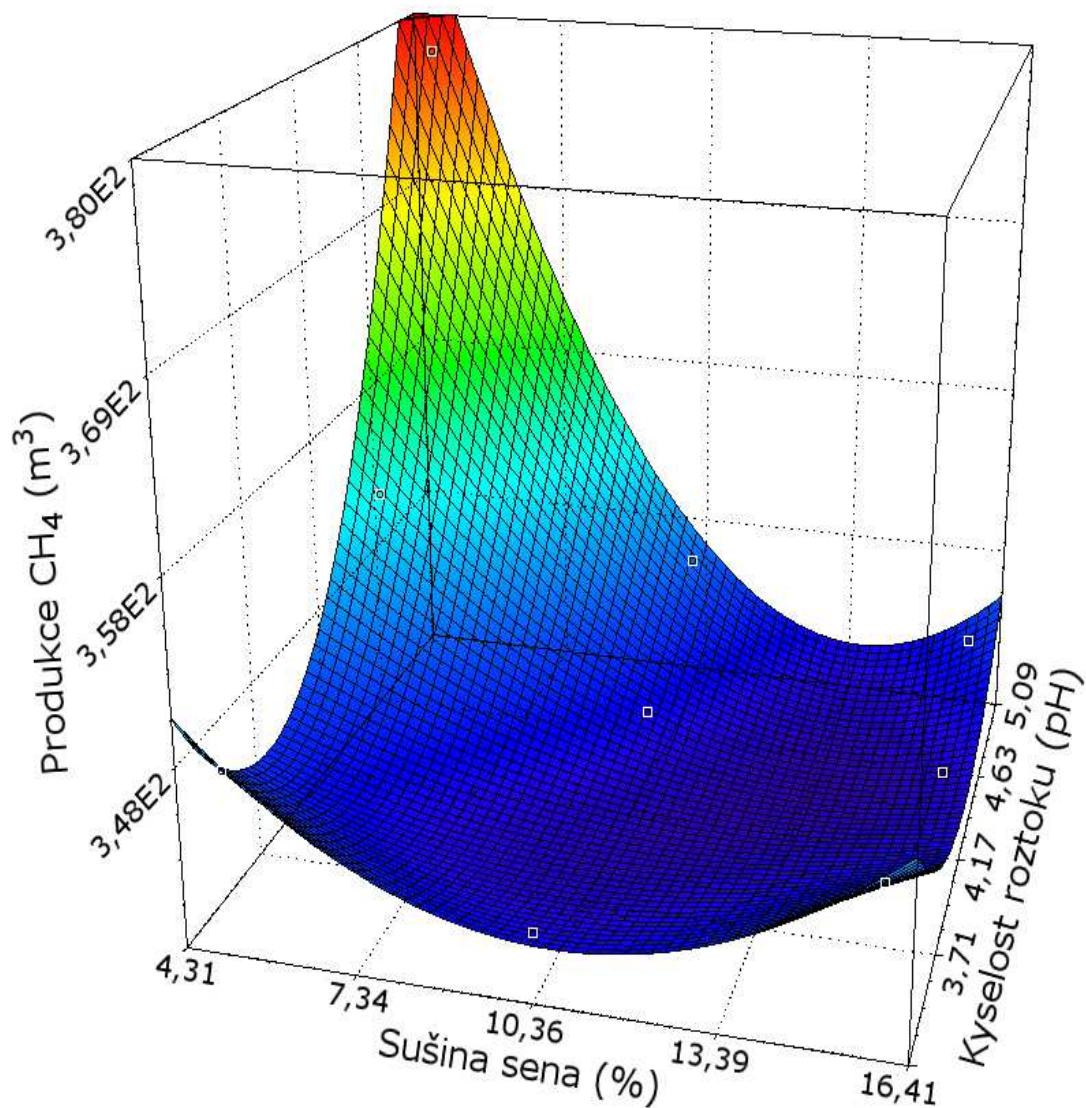


3) Mapování produkce CH₄ pro tlak 1,611 MPa

Tab. č. 10: Hodnoty získané při mapování produkce CH₄

Osa X	Osa Y	Osa Z
Sušina sena (%)	Kyselost roztoku (pH)	Produkce CH ₄ (m ³)
4,696	2,991	346,74
4,696	4,201	352,83
4,696	5,081	377,92
9,461	2,991	339,83
9,461	4,201	340,35
9,461	5,081	345,42
19,965	2,991	345,73
19,965	4,201	338,83
19,965	5,081	342,01

Graf č. 10 – Vygenerovaný 3D graf pomocí operačního systému LPM



Použitý polynom:

$$z = a + bx^0y^1 + cx^0y^2 + dx^1y^0 + fx^1y^1 + gx^1y^2 + hx^2y^0 + ix^2y^1 + jx^2y^2$$

Kde:

$$a = 1.2199493915868638E+03$$

$$b = -4.5527550004516308E+02$$

$$c = 5.9532975882736658E+01$$

$$d = -1.3568319518335170E+02$$

$$f = 6.9179038219815027E+01$$

$$g = -8.9507147355243362E+00$$

$$h = 5.5874279394046162E+00$$

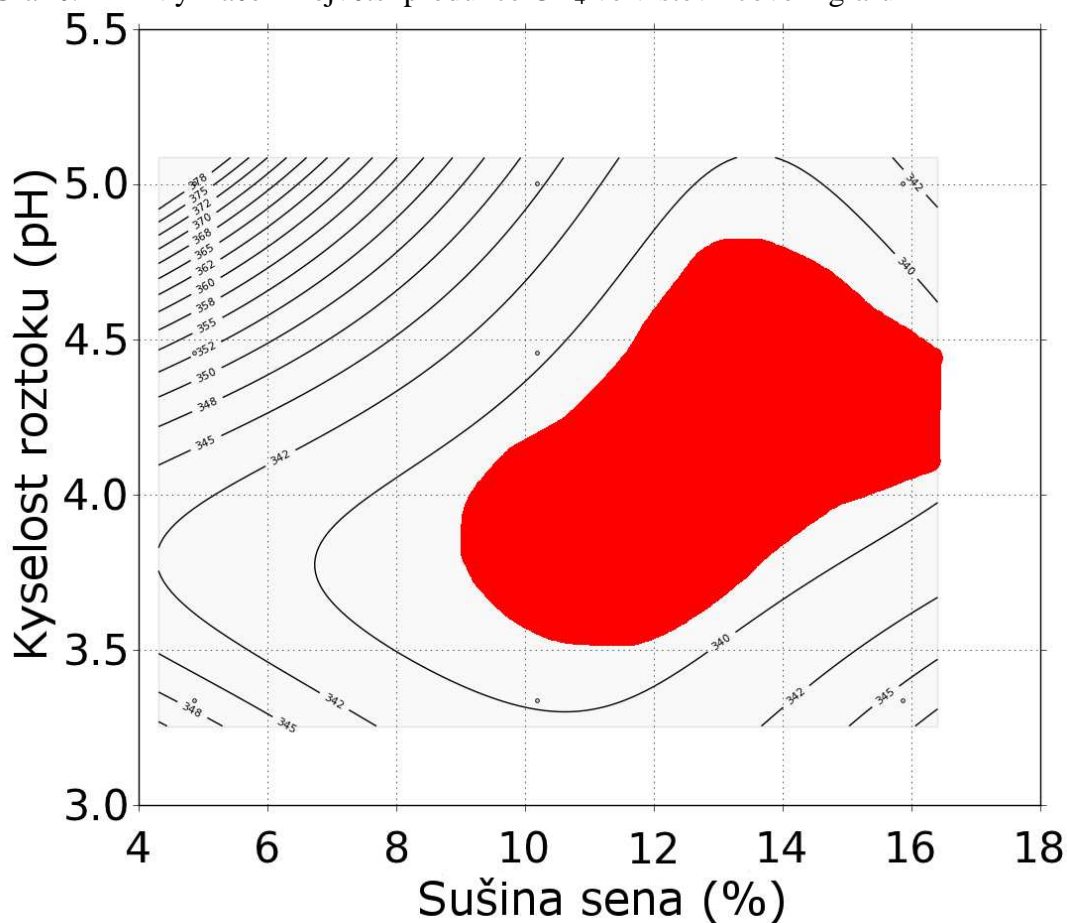
$$i = -2.7996322471029060E+00$$

$$j = 3.5631903172884449E-01$$

$$\text{SSQABS: } 7.36743534466e-19$$

$$\text{RMSE: } 2.86112552536e-10$$

Graf č. 11 – Vyznačení největší produkce CH₄ ve vrstevnicovém grafu



Největší produkce CH₄ je v oblasti



5. Diskuse

Úprava fytomasy je nezbytný krok k tomu, aby došlo k maximálnímu využití fytomasy a ke zvýšení účinnosti následné hydrolyzy. Maroušek (2011) uvádí, že dezintegrace pletiv fytomasy jejich zpřístupnění hydrolyzujícím enzymům vede prokazatelně ke zvýšení produkce BP a následně dodává, že čím je více vstupní surovina dezintegrována, tím lépe se mohou enzymy dostat na větší povrch odkrytých řetězců (například celulózy) a tím efektivněji je mohou hydrolyzovat. Dle Krátkého (2012) je nejpoužívanějším chemickým způsobem úpravy LCF kyselá hydrolyza, při kterém je fytomasa máčena v roztocích H_2SO_4 , HCl , HNO_3 nebo H_3PO_4 . Alvira et al., (2010) dodává že, zpracování probíhá v různých typech reaktorů jak za vysokých teplot ($180^\circ C$) a krátkých dob zdržení (5 min.), tak i za nízkých teplot ($120^\circ C$) a dlouhých dob zdržení (30-90 min.). Ramírez et al., (2004) popisuje ve svém výzkumu hydrolyzu fytomasy za použití HNO_3 při podmínkách: $122^\circ C$, 6% HNO_3 a 9,3 min. Při porovnání těchto výsledků s výsledky získanými pomocí H_2SO_4 , HCl a HNO_3 prokázal, že HNO_3 je nejúčinnější katalyzátor hydrolyzy

Nejjednodušší metodou zpracování je mechanická úprava mletím, která se většinou používá jako předstupeň před dalším zpracováním, kterým je kyselá hydrolyza. Sun (2002) uvádí, že při použití fyzikální metody úpravy fytomasy dochází k zmenšování velikosti částic, zvýší se tak dostupný povrch, snižují se krystalinita a stupeň polymerizace celulózy. Hendriks (2009) dodává, že při mletí se celulózová vlákna stávají lépe přístupná mikrobiálnímu rozkladu, dochází k zmenšování velikosti částic biomasy a ke snížení stupně krystalinity celulózy a tím se celková účinnost hydrolyzy se tak zvýší o 5-25% a zároveň se sníží doba rozkladu přibližně o 23-59%.

Hydrolyzou fytomasy se zabývá řada autorů, například Kim et al., (2008) uvádí, že hydrolyza škrobových zrn se řídí jejich povrchem a nikoli jejich koncentrací. Dohányos (2008) toto potvrzuje tím, že zmenšením velikosti částic mechanickou nebo jinou dezintegrací dochází k podstatnému zvětšení povrchu a tím i k větší dostupnosti enzymovému rozkladu“. S tímto poznatkem souhlasí i všichni výše citovaní autoři a je to obecně uznávaný fakt v praxi, kdy se před samotnou

hydrolyzou, ať už kyselou, zásaditou, enzymatickou nebo kombinací tří předešlých typů se provádí dezintegrace materiálu.

Kaštánek (2001) poukazuje na to, že specifičnost hydrolytických technologií spočívá v tom, že rychlost hydrolyzy je zhruba přímo úměrná koncentraci katalyzátoru v oblasti zanedbatelného vlivu vnitřní a vnější difuze a v rozmezí koncentrace katalyzátoru (H_2SO_4) 0,1- 30%. Optimální technologii lze tedy hledat volbou koncentrace katalyzátoru a teploty, přičemž je horní hranice teploty omezena (kolem $280^\circ C$) kvůli degradaci sacharidů. Ukazuje se, že optimální parametry se budou zřejmě pohybovat v oblasti nízkých koncentrací kyselin (do 0,5%), relativně vysokých teplot (kolem $260^\circ C$) a vyšších tlaků (do 25 MPa), s úměrně nízkými dobami prodlení (řádově sekundy). K tomuto názoru se přiklání i Taherzadeh a Karimi (2007), kteří metodu hydrolyzy pomocí kyseliny s nízkou koncentrací a za vyšších teplot považují za výhodnější, než metodu hydrolyzy pomocí koncentrované kyseliny. Kvůli problému s degradací sacharidu navrhuje navíc provádět hydrolyzu ve dvou stupních (nejprve hydrolyzy hemicelulózy za nižších teplot, poté hydrolyza celulózy za vyšších teplot).

Pokud bychom posuzovali danou technologii vysokotlaké hydrolyzy v reálném provozu (stavba na zelené louce) a porovnávali tuto technologii s případovou studií bioplynové stanice Drahobudice (základní parametry viz příloha č.1), tak budeme muset počítat s následujícími změnami v ekonomické bilanci (viz Tab. č.11). Vysokotlaký hydrolyzátor firmy Pharmix s.r.o., Kroměříž (Česká republika) stojí 20 000 000 Kč bez DPH. Cena hydrolyzačního činidla (65% HNO_3) se pohybuje okolo 135 Kč/L bez DPH (udává společnost MOAchem). Celkový kapitálový výdaj do výstavby BPS byl 66 500 000 Kč. Diskont (diskontní míra, sazba) - vyjadřuje cenu ušlé příležitosti „*opportunity cost*“ neboli „cenu peněz“. Dá se chápat jako míra výnosnosti, kterou nabízejí srovnatelné investiční příležitosti. V tomto případě je pro investora diskontní sazbou výše úrokové míry 3,5%. Diskontovaný cash flow je peněžní tok snížený o diskont. Pokud bychom uvažovali o využití dané technologie, je možné realizovat menší fermentory a menší koncové sklady digestátu, to vede ke snížení investičních nákladů. Jestliže se doba zdržení ve fermentoru sníží z původních 54 dní a 38 dní, je možné snížit objem fermentoru o 30%. Zmenšením fermentorů dojde i k úspoře nákladů na sklad digestátu z důvodů menšího množství použité fytomasy. K úspoře dojde i u výkopových prací. Dle

(užitého vzoru CZ 21314 Biomass technology 2012) slouží technologický proces hydrolyzy k degradaci biomasy před anaerobní fermentací a tím se výrazně zvyšuje výtěžnost bioplynu, zkracuje se reakční doba a také se snižuje potřeba objemu biomasy. Co se týče výkonu, který chceme zachovat, náklady na kogenerační jednotku zůstávají stejné. Dle (NWT Biomass Technology 2012) snižuje proces vysokotlaké hydrolyzy spotřebu biomasy až o 30%.

Tab. č. 11: Pořizovací náklady

Použitá technologie	BPS Drahobudice (tis.Kč)	BPS s technolog.vysokotlaké hyd. (tis.Kč)
Fermentor	16 000	11 200
Skład digestátu	10 000	7 000
Potrubí, čerpadla	4 500	4 500
Kogenerační jednotka	14 500	14 500
Hydrolyzér	-	20 000
Fléra	1 000	1 000
Výkopové a další práce	6 500	4 550
Silážní jámy + jímka na kejdu	14 000	9 800
Celkem	66 500	72 550

Zdroj: ZAS Bečváry a.s..

Hlavní ukazatel vyjadřující současnou hodnotou budoucích peněžních toků zohledňující faktor času je použita metoda NPV. Jádrem této metody je výpočet rozdílu mezi současnou hodnotou všech očekávaných příjmů (cash-flow) a současnou hodnotou všech investičních výdajů projektu. Počítáme ji dle vzorce (viz níže). Diskontní sazba je stanovena jako průměrná míra kapitálových nákladů a to na 3,5%.

Příklad výpočtu:

1. Výpočet NPV BPS Drahobudice (současný stav)

$$\check{C}SH = \sum_{t=10}^n \frac{1283854}{(1 + 0,035)^{10}} - 65500000 = 48923368Kč$$

2. Výpočet NPV BPS s technologií vysokotlaké hydrolýzy

$$\check{C}SH = \sum_{t=10}^n \frac{1283854}{(1 + 0,035)^{10}} - 72550000 = 49282105K\check{c}$$

	BPS Drahobudice	BPS s technolog.vysokotlaké hyd.
ČSH (Kč)	48 923 368	49 282 105

Výše těchto dvou hodnot ČSH vnímám jako pozitivní výsledek a danou investici hodnotím jako výhodnou.

Ostatní výsledky jsou uvedeny v příloze (viz tab. č. 12-18)

6. Závěr

V posledním desetiletí vyvstává v České republice problém s nadprodukcí píce z travních porostů. Ten je dán na jedné straně snižováním počtu přežvýkavců a na straně druhé zvyšováním výměry trvalých luk a pastvin. V dalším období lze zřejmě očekávat výraznější využití organické hmoty i z TTP k energetickým účelům. Lze brát za prokázané, že vhodně zvolené parametry zvolené úpravy fytomasy zvyšují přístupnost celulózových vláken a tím zvyšují možnosti snadnějšího rozkladu dané fytomasy.

Využití procesu kontinuální vysokotlaké hydrolyzy kyselinou dusičnou (HNO_3) užitím technologie dle (UV CZ 21314) se pozitivně projevilo zvýšenou rychlostí produkce metanu (CH_4) při úpravě sena jak z biotechnologického, technologického tak ekonomického hlediska. Po zhodnocení výsledků lze konstatovat, že největší produkce metanu (CH_4) byla při tlaku 1,611 MPa (ve vysokotlakém hydrolyzátoru). Tato nejvyšší produkce metanu (CH_4) 377,92 m³ byla dosažena z jedné tuny sušiny sena (85% hm. organické sušiny) při teplotě 51°C za následujících podmínek: sušina sena 4,7%, pH roztoku 5,081. Z ekonomického pohledu, kde se bere v úvahu nejen budoucí hodnota podniku vyjádřená pomocí metody ČSH, která respektuje veškeré praktické provozní souvislosti (dodatečné náklady na kyselinu, zvýšené náklady na úpravu fytomasy, snížení objemu fermentorů, lepší míchatelnost a tepelná prostupnost, snížené nároky na substrát) lze doporučit využití sena pro výrobu bioplynu za pomoci technologie vysokotlaké hydrolyzy kyselinou dusičnou (HNO_3). Důvodem, kterým je ovlivněna budoucnost využití biomasy k energetickým účelům je fakt, že bioplyn a biomasa jsou perspektivním, alternativním obnovitelným zdrojem energie.

7. Použitá literatura

ALVIRA, P., et al. *Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review*. *Bioresource Technology*. 2010, č. 101, s. 4851–4861.

Bioplynové stanice - mít dobrou technologii nestačí. In: www.nwt.cz [online]. 2011 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: <http://www.nwt.cz/img/static/file/PR/ASZ.pdf>

CAO, G., et al. *Acid hydrolysis of corn stover for biohydrogen production using *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* W16*. *International journal of hydrogen energy*. 2009(č. 34), 7182-7188.

DOHÁNYOS, M. *Intenzifikace výroby bioplynu-předpoklady a praktické zkušenosti*. In: Sborník konference „Výstavba a provoz bioplynových stanic“, Třeboň, 2008, 7 s.

ELEFSINIOTIS, P., et al. *Substrate degradation patterns in acid-phase anaerobic digestion of municipal primary sludge*. *Environmental Technology*. 1994(č.15), 741-751.

ERIKSSON, K.E., et al. *Microbial and Enzymatic degradation of Wood and Wood Components*. Springer-Verlag, Berlin, 1990.

GROENESTIJN, J.W. *Process for the production of biogas* [patent]. US 2010/0015680 A1. Uděleno Jan.21, 2010.

GROHMANN, K., et al. *Fractionation and pretreatment of orange peel by dilute acid hydrolysis*. *Bioresource Technology*. 1995(č. 54), 129-141.

HENDRIKS, A.T.W.M., et al. *Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass*. *Bioresource Technology*. 2009(č. 100), 10-18.

HOFRICHTER, M. et al. *Lignin conversion by manganese peroxidase (MnP)*. *Enzyme and Microbial Technology*. 2002(č. 4), 454-466.

HOLTZAPPLE, M. et al. *The ammonia freeze explosion (AFEX) process – A practical lignocellulose pretreatment*. Appl. Biochem. Biotechnol. 1991(č.28), 59-74.

HORST, D.J., et al. *Comparative analysis of different acids utilization for cellulosic hydrolysis by using brazilian wood wastes for fibers and bioethanol production yields*. Revista Gestão Industrial. 2011(č. 7), 135-154.

Hydrolýza. In: Biomass Technology [online]. 2009 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: http://biomasstechnology.cz/wp/?page_id=197

KAŠTÁNEK, F. *Bioinženýrství*. Academia, nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha, 2001.

KAZDA, Radek. *Projekt bioplynové stanice*. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2

KIM, J., et al. *Discovery of cellulose as a smart material*. Macromolecules. 2006(č. 39), 4202-4206.

KIM, J. C., et al. *Amylolytic hydrolysis of native starch granules affected by granule surface area*. Journal of Food Science. 2008 (č.9), 621-624.

KISLINGEROVÁ, E. a kol. *Manažerské finance*. 2. přepracované a rozřířené vydání. Praha : C. H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-903-0.

KOKRHELOVÁ, K., JIROUT, T.: *Enzymatická hydrolýza lignocelulózových plodin a odpadů pro výrobu biopaliv*. [online]. 2003 [cit. 2012-02-07]. Dostupné z: http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/stc/Sbornik/S2/Kokrhelova_Kvetoslava_12118.pdf

KOUŘA, J, et al. *Bioplynové stanice s mokřým procesem*. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. 120 s. ISBN 978-80-87093-33-7.

KOZMÍK, V. *Heterocyklické sloučeniny*. Praha, 2010. Dostupné z: http://uoch.vscht.cz/cz/download/Heterocyklicke_slouceniny.pdf. Učební text. VŠCHT.

KRÁTKÝ, L. *Zařízení pro předúpravu surovin při výrobě biopaliv*. [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z: <http://chps.fsid.cvut.cz/pt2010/pdf/KratkyLukas.pdf>

LAOPAIBOON, P., et al. *Acid hydrolysis of sugarcane bagasse for lactic acid production*. *Bioresource Technology*. 2010(č. 101), 1036-1043.

LIPOVSKÝ, J., et al. Perspektivy produkce butanolu ze škrobnatých a celulosových materiálů. *Chemické listy*. 2009(č. 103), 479-483. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2009_06_479-483.pdf

MAROUŠEK, J. *Srovnání hydrolýzy vybraných druhů fytomasy*. České Budějovice, 2009. 98 s. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

MAROUŠEK, J. *Produkcí bioplynu lze zvýšit dezintegrací vstupní fytomasy*. *Energie 21*. 2011(č.1).

MOSIER, N., et al. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass*. *Bioresource Technology*. 2005(č. 96), 673-686.

MOYA, A.J., et al. *Fermentation of acid hydrolysates from olive-tree pruning debris by *Pachysolen tannophilus**. *Bioprocess Biosyst Eng*. 2008(č. 31), 611-617.

MOORE, R., et al. *The plant cell is special*. University of Miami Department of biology [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.bio.miami.edu/dana/226/226F09_3.html

MURTINGER, K. Dřevo a jeho spalování. *Topení dřevem* [online]. 05.10.2006 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z:

<http://www.topenidrevem.cz/index.php?page=clanek&rid=5359ebbcaa94bf171c951f2614090d88&cid=4524cab599676>

NOVÁČEK, F. *Fytochemické základy botaniky*. Olomouc: Fontána., 2008. 284 s. ISBN 978-80-7336-457-1.

NWT Biomass Technology [online]. 2010 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.nwt.cz/img/static/file/biotech/kat_hydrolyzy_low.pdf

PHILLIPS, T. Hydrolysis. In: About.com-Biotech / Biomedical [online]. 2012 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://biotech.about.com/od/glossary/g/hydrolysis.htm>

PAOLA, D.C., et al. *Latest Frontiers in the Biotechnologies for Ethanol Production from Lignocellulosic Biomass*. Biofuel Production – Recent Developments and Prospects. 2011(č. 8), 163-196.

RAMÍREZ, J.A., et al. *Hydrolysis of sugar cane bagasse using nitric acid: a kinetic assessment*. Journal of Food Engineering. 2004(č. 61), 143-152.

RASHID, S.S., et al. *Development of pretreatment of empty fruit bunches forenhanced enzymatic saccharification*. African Journal of Biotechnology [online]. 2011(Vol. 10(81)), 18728-18738 [cit. 2012-02-04]. Dostupné z: <http://www.academicjournals.org/AJB>.

RATHORE, R., et al. *Cooperative Interaction of Hydronium Ion with an Ethereally Fenced Hexaarylbenzene-Based Receptor: An NMR and Theoretical Study*. Journal of Physical Chemistry A. 2010(č. 16), 5327-5334.

ROBERTO, I.C., et al. *Dilute-acid hydrolysis for optimization of xylose recovery from rice straw in a semi-pilot reactor*. Industrial Crops and Products. 2003(č. 17), 171-176.

ROGALINSKI, T., et al. *Hydrolysis of lignocellulosic biomass in water under elevated temperatures and pressures*. The Journal of Supercritical Fluids. 2008(č. 47), 54-63.

- ROSEN, M. J. *Surfactants and Interfacial Phenomena*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2004. 444 s. ISBN 0-471-47818-0.
- RUBIN, M. E. *Structure of lignocellulose*. Gemomics of cellulosic biofuels. Nature 2008(č. 454), 841 – 845.
- SÁNCHEZ, C., et al. *Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi*. Biotechnology Advances. 2009(č. 27), 185–194.
- SCHELL, D.J., et al. *A technical and economic analysis of acid-catalyzed steam explosion and dilute sulfuric acid pretreatments using wheat straw or aspen wood chips*. Applied Biochemistry and Biotechnology. 1991(č. 28/29), 87-97.
- SIEVERS, C., et al. *Quantitative solid state NMR analysis of residues from acid hydrolysis of loblolly pine wood*. Bioresource Technology. 2009(č. 100), 4758-4765.
- STRAKA, František. *BIOPLYN-příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*, GAS s.r.o., Říčany, 2003, ISBN: 80-7328-029-9.
- STRAKA, František, et al. *Bioplyn*. 2. Praha : GAS s.r.o., 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6.
- SUN, Y., et al. *Hydrolysis of lignocelulosic materials for ethanol production: a review*. Bioresource technology. 2002(č. 83), 1-11.
- SUN, Zhao-Yong., et al. *Production of fuel ethanol from bamboo by concentrated sulfuric acid hydrolysis followed by continuous ethanol fermentation*. Bioresource Technology. 2011(č. 102), 10929-10935.
- SYNEK, M a kol. *Podniková ekonomika*. 3. přepracované a doplněné vyd. Praha: C.H. Beck, 2002. s. 262.
- ŠIMŮNEK, P. *Organická chemie 1*. Pardubice, 2010. Dostupné z: <http://www.upce.cz/fcht/uocht/informace/OCH1.pdf>. Učební text.

UNIVERZITA PARDUBICE Fakulta chemickotechnologická Katedra organické chemie.

TAHERZADEH, J.M., KARIMI, K. *Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review*. International Journal of Molecular Sciences. 2008 (č. 9), 1621-1651.

TAHERZADEH, J. M., KARIMI, K. *Acid- based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: Bioethanol review*. BioResource 2007(č.3), 472- 499.

MOORE, R., et al. *The plant cell is special*. University of Miami Department of biology [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.bio.miami.edu/dana/226/226F09_3.html

TSAO, G. T. *Bacterial hydrolysis : A review*. In: Ferrero, G.L., Ferranti, M.P., Naveau, M.P.(ed.), Anaerobic Digestion and Carbohydrate Hydrolysis of Waste, Elsevier, Applied Science Publishers, London, 1984. pp. 83-99.

TURNER, S. R., et al. *Collapsed xylem phenotype of Arabidopsis identifies mutants deficient in cellulose deposition in the secondary cell wall*. Plant Cell. 1997(č. 9), 689-701.

VEVERKA, M. *Ekonomika a návratnosť investícií*. In: *Biodpady.sk* [online]. 2009 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.biodpady.sk/anaerobna-digescia/ekonomika-a-navratnost-investicii>.

VOLYNETS, B. a Y. DAHMAN. *Assessment of pretreatments and enzymatic hydrolysis of wheat straw as a sugar source for bioprocess industry*. International journal of energy and environment. 2011(č. 2), 427-446.

Vše pro dřevo. *www.vseprodrevo.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.vseprodrevo.cz/zpracovani-drevniho-odpadu/peletovaci-lisy/>

WALDRON, K. *Bioalcohol production: Biochemical conversion of lignocellulosic biomass*. Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing Limite, 2010. ISBN 978-1-84569-510-1.

WANG, Y.S., et al. *Methane potential of food waste anaerobic toxicity of leachate produced during food waste decomposition*. Waste Management and Research. 1997(č. 15), 149-167.

XIAO, W., et al. *Acid solubilization of lignin and bioconversion of treated newsprint to methane*. Biodegradation. 1997(č. 8), 61-66.

Yu, M., et al. *Review of biomass size reduction technology*. In: ASAE Annual International Meeting in Las Vegas, USA, 2003, 12 s.

8. Příloha

Bioplynová stanice Drahodobudice

Jedná se o novostavbu bioplynové stanice (kombinované zařízení k výrobě bioplynu a jeho energetickému využití) ve stávajícím zemědělském areálu. BPS Drahodobudice je zemědělská bioplynová stanice pro zpracování biomasy (kukuřičná siláž) a statkových hnojiv (kejda) v zemědělském areálu Drahodobudice, který se nachází na okrese Kolín ve Středočeském kraji. Investorem i provozovatelem je ZAS Bečváry a.s..

Stručný popis technického a technologického řešení

Stavba je rozčleněna do následujících stavebních objektů: fermentor, provozní budova, přijímací kejdová jímka, plynojem, silážní žlab, skladovací jímka.

Princip procesu:

Jedná se o proces, kdy bez přístupu vzduchu dochází při určité teplotě pomocí specifických bakterií k rozkladu organické hmoty za současného vývinu bioplynu. Zkušenosti z již fungujících provozů ukazují, že v rámci anaerobní fermentace se rozloží cca 30-50 % organické hmoty. V tomto případě bude využíván systém tzv. mezofilní fermentace organické hmoty při teplotě cca 39°C, který se vyznačuje poměrně značnou stabilitou procesu. Proces se rozděluje do dvou hlavních fází - kyselinotvorné, při které dojde k vyčerpání dostupného kyslíku a metanogenní fáze, při které dojde k účinnému prokvašení substrátu se stabilizovaným vývinem metanu. Hmota po fermentaci (digestát) bude z fermentoru postupně odčerpávána, stejně jako vznikající bioplyn, který bude dodáván přes plynojem do kogenerační jednotky, která představuje vysoce efektivní princip výroby elektrické energie a tepla. Materiál po fermentaci (digestát) bude skladován v nové skladovací jímce, následně bude využíván pro hnojení zemědělských pozemků.

Fermentor

Objekt je tvořen částečně zapuštěnou zastropenou kruhovou jímkou umístěnou v sousedství stávajících silážních žlabů rozdělenou na dva prostory

soustřednými prstenci. Vnitřní má průměr 23 m, vnější má průměr 32 m. Celkový objem fermentoru je 4323 m³ (2038 m³ -1. stupeň a 2285 m³ - 2. stupeň). Výška fermentoru je 6 m. Dno fermentoru, stěny (prstence) a zastropení jsou provedeny technologií vodotěsného betonu (např. Wolf systém). Vnější stěna fermentoru je zateplená. Strop je zateplen a překryt vrstvou betonové mazaniny. Ve vnitřním prostoru fermentoru je osazena technologie – vrtulová míchadla (ve vnějším prstenci), pádlová míchadla (ve vnitřním prstenci), odsíření plynu, šnekový vynašeč usazenin. Vytápění fermentoru zabezpečuje stálou teplotu 38-40°C v komorách. Jde o teplovodní vytápění využívající zbytkové teplo vyvinuté při provozu kogenerační jednotky. Rozvod jednotlivých okruhů vytápění je v obvodové stěně fermentoru. K objektu fermentoru patří dávkovač pevných substrátů s násypkou, čerpací centrum. Dávkovač je umístěn v betonové vaně zapuštěné v terénu. Substrát v dávkovači je promícháván a šnekovým dopravníkem pravidelně automaticky dávkován do fermentačního prostoru. Dávkovač má objemnou násypku 50 m³, materiál se do něj naváží čelním nakladačem 2x denně. Čerpací centrum je umístěno v prostoru u paty fermentoru, pod úrovní dna. Zde dochází k přečerpávání jednotlivých substrátů vcházejících a vycházejících z fermentoru. Přívod kejdy je z nové kruhové zastropené přečerpávací jímky o objemu 196 m³, odváděný substrát je čerpán do skladovací jímky na digestát.

Provozní budova

Kogenerační jednotka bude umístěna z části ve stávajícím zděném objektu zázemí stáje a z části na volné ploše. V části objektu provozní budovy bude umístěno obslužné zázemí stanice - velín, zázemí, elektrorozvodna, v části bude umístěna kogenerační jednotka s periferními zařízeními a v části bude umístěn nový a použitý olej. Objekt bude mít sedlovou střechu. Ve velínu se bude odehrávat ovládací a kontrolní činnost obsluhy. Je zde umístěna řídicí skříň agregátu, synchronizační skříň, skříň silových elektrorozvodů a terminál pro řízení a kontrolu (stolní počítač a příslušný software). Do prostoru pro kogenerační jednotku je přístup z exteriéru zvukově odhlučněnými vraty umožňující manipulaci s kogenerační jednotkou a z předsíně dveřmi pro častý pohyb obsluhy. Jinak je místnost bez okenních otvorů. Kompaktní kogenerační jednotka je motor určený pro spalování bioplynu s generátorem elektrického proudu. Navržený typ Jenbacher má elektrický výkon

526kW a tepelný výkon 566kW. V místnosti jsou umístěny další, pro provoz jednotky nezbytné periférie – tlumič výfuku, výměník tepla pro vytápění, výměník pro maření tepla, generátorové sběrnice. Zvnějšku místnosti je také umístěna regulační plynová řada jako zakončení plynovodu od plynojemu. Větrání je zajištěno přívodem vzduchu z jedné strany stěny pomocí tlačného ventilátoru s filtrem vzduchu a tlumičem sání. Odvod vzduchu je do části střechy na protější straně přes tlumič odvodu vzduchu. Na střeše objektu je umístěn chladič kogenerační jednotky a výfuk.

Přijímací kejdová jímka

Podzemní zastropená kruhová monolitická jímka bude umístěna vedle fermentoru. Užité kapacita jímky je 196 m³, průměr 10,0 m, výška 6,0 m. Jímka je navržena z vodotěsného betonu. Jedná se o jímku dodávanou např. firmou Wolf s.r.o. Praha. Dno jímky je opatřeno kontrolním systémem, tj. přídatnou hydroizolací s monitorovacím systémem.

Plynojem

Pro vyrovnání nestejnoměrného vývinu bioplynu bude na plynové cestě mezi fermentor a kogenerační jednotku vsazen plynojem. Jde o plynojem s vakem o objemu 400 m³. Je umístěn v nadzemní kruhové schránce ze železobetonu s lehkým ocelovým zastřešením. Plynojem bude realizován v prostoru mezi fermentorem a kogenerační jednotkou v sousedství stávajícího skladu obilí.

Silážní žlab

Pro uskladnění siláže bude kromě stávajícího silážního žlabu využita i plocha původního hnojiště, která bude předělena stěnou z betonových prvků tvaru „T“ a vznikne tak dvoukomorový silážní žlab. Silážní žlab bude přístupný stejně jako stávající hnojiště. Žlab je navržen jako dvoukomorový s průměrnou výškou naskladňování 3 m. V silážním žlabu bude skladována kukuřičná siláž o vysoké sušíně cca 30%. Při této sušíně se již při skladování nevolňují silážní šťávy. Žlab bude mít užitečný objem 12 400 m³, skladovací kapacita 7 380 t při sušíně 30%. Část siláže potřebná pro provoz 3 970 t bude skladována ve stávajícím žlabu.

Skladovací jímka

Skladovací jímka (koncový sklad digestátu) je umístěna v západní části areálu mezi skladem obilí a původním hnojištěm. Je tvořena železobetonovým dnem a svislými železobetonovými stěnami. Je nezastropena. Celková kapacita je 7 520 m³. Průměr 32 m, zastavěná plocha 823 m². Jímka je navržena z vodotěsného betonu. Jedná se o jímku dodávanou např. firmou Wolf s.r.o. Praha. Dno jímky je opatřeno kontrolním systémem, tj. přídatnou hydroizolací s monitorovacím systémem. Na jímku navazuje stáčecí plocha pro vyskladňování digestátu do kejdových cisteren pro aplikaci na zemědělské pozemky. Digestát, který je typovým organickým hnojivem a bude využíván pro hnojení pozemků, tím pádem se nejedná se o odpad. Celková roční produkce digestátu bude 21 400 t/rok. Část digestátu 7 554 t/rok je vracena zpět do fermentoru pro doředění. Produkce digestátu, která bude skladována v koncové jímce je 13846 m³/rok (t/rok).

Vstupy v období provozu

Pro provoz bioplynové stanice bude potřeba organická hmota vzniklá zemědělskou výrobou provozovatele především kukuřičná siláž (13 350 t/rok), kejda prasat v množství (3 800 t/rok). Vstupní materiál není vedlejším živočišným produktem dle nařízení EP (ES) č. 1774/2002, v zařízení nebudou zpracovávány odpady. Dále bude potřeba elektrická energie pro zařízení a teplo pro vytápění fermentoru (bude zajišťováno z kogenerace). Kogenerační jednotka bude na rozvodnou síť připojena prostřednictvím nové trafostanice.

Tab. č. 12: Ekonomická bilance BPS Dražobudice

Rok provozu BPS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Celková investice	-65 000 000										
Odpisy za technolog. (odpis 10 let)		2 052 632	4 105 263	4 105 263	4 105 263	4 105 263	4 105 263	4 105 263	4 105 263	4 105 263	4 105 263
Odpisy za stav. část (odpis 20 let)		440 678	881 356	881 356	881 356	881 356	881 356	881 356	881 356	881 356	881 356
Provozní náklady		-2 000 000	-2 040 000	-2 080 800	-2 122 416	-2 164 864	-2 208 162	-2 252 325	-2 297 371	-2 343 319	-2 390 185
Náklady na suroviny	-5 469 000	-5 469 000	-5 578 380	-5 689 948	-5 803 747	-5 919 821	-6 038 218	-6 158 982	-6 282 162	-6 407 805	-6 535 961
Úvěr	60 000 000										
Vlastní zdroje (vstupní suroviny)	10 469 000										
Úmor		6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000
Úrok 4,5%		2 700 000	2 430 000	2 160 000	1 890 000	1 620 000	1 350 000	1 080 000	810 000	540 000	270 000
Výroba el. energie KJ [kW]		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Výkupní cena el. dodané do sítě [Kč/kWh]		4,12									
Celková prodejní cena		4,120									
Počet hodin, kdy je KJ v provozu [hod]		8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000
Prodej elektřiny		16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000
Diskont		3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
Zisk před zdaněním	0	3 817 690	1 445 001	1 562 633	1 677 218	1 788 695	1 897 001	2 002 074	2 103 848	2 202 257	2 297 235
Daň ze zisku	0	725 361	274 550	296 900	318 671	339 852	360 430	380 394	399 731	418 429	436 475
Diskontovaný zisk po zdanění	0	3 092 329	1 130 333	1 180 453	1 223 586	1 260 186	1 290 682	1 315 483	1 334 974	1 349 521	1 359 473
Cashflow	0	311 000	431 620	549 252	663 837	775 314	883 620	988 693	1 090 467	1 188 876	1 283 854
Diskontovaný cashflow	0	300 340	402 539	494 689	577 398	651 245	716 780	774 524	824 972	868 594	905 835

Zdroj: Autor

Tab. č. 13: Ekonomická bilance BPS Drahobudice

Rok provozu BPS		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Celková investice											
Odpisy za technolog. (odpis 10 let)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Odpisy za stav.část (odpis 20 let)		881 356	881 356	881 356	881 356	881 356	881 356	881 356	881 356	881 356	881 356
Provozní náklady		-2 437 989	-2 486 749	-2 536 484	-2 587 213	-2 638 958	-2 691 737	-2 745 571	-2 800 483	-2 856 492	-2 913 622
Náklady na suroviny		-6 666 680	-6 800 014	-6 936 014	-7 074 735	-7 216 229	-7 360 554	-7 507 765	-7 657 920	-7 811 079	0
Úvěr											
Úmor											
Úrok 4,5%											
Výroba el. energie KJ [kW]		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Výkupní cena el. dodané do sítě [Kč/kWh]		4,12									
Celková prodejní cena		4,12									
Počet hodin, kdy je KJ v provozu [hod]		8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000
Prodej elektřiny		16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000
Diskont		3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
Zisk před zdaněním		6 493 975	6 311 881	6 126 146	5 936 696	5 743 457	5 546 353	5 345 308	5 140 241	4 931 073	12 685 022
Daň ze zisku		1 233 855	1 199 257	1 163 968	1 127 972	1 091 257	1 053 807	1 015 608	976 646	936 904	2 410 154
Diskontovaný zisk po zdanění		3 711 326	3 483 619	3 265 221	3 055 789	2 854 994	2 662 519	2 478 057	2 301 311	2 131 997	5 296 510
Cashflow		7 375 331	7 193 237	7 007 502	6 818 052	6 624 813	6 427 709	6 226 664	6 021 597	5 812 429	13 566 378
Diskontovaný cashflow		5 025 373	4 733 306	4 453 041	4 184 149	3 926 213	3 678 830	3 441 615	3 214 193	2 996 203	6 753 530

Zdroj: Autor

Tab. č. 14: Bilance použitých substrátů v BPS Dražobudice

Substrát	Množství [t]	Obsah sušiny [%]	Obsah organické sušiny [%]	Výtěžnost plynu [Nm ³ /t]	Obsah CH ₄ [%]	Množství bioplynu [Nm ³]	Množství CH ₄ [Nm ³]	Cena za tunu [Kč]	Cena za rok [Kč]
Kukuřičná siláž	6 500	33%	87%	700	52%	1 306 305	679 279	600	3 900 000
Travní senáž	4 300	35%	87%	500	54%	654 675	353 525	350	1 505 000
Hovězí kejda	3 200	6%	70%	450	54%	60 480	32 659	20	64 000
Celkem	14 000					2 021 460	1 065 462		-5 469 000

Zdroj: Autor

Tab. č. 15: Energetická bilance BPS Dražobudice

Množství vyprodukovaného bioplynu za rok	[Nm ³]	2 021 460
Obsah metanu	%	54%
Množství vyprodukovaného metanu za rok	[Nm ³]	1 065 462
Výhřevnost bioplynu při 54% podílu metanu	[kWh/m ³]	5,4
Výhřevnost metanu	[kWh/m ³]	10
Energie brutto	[MWh/m ³]	10655
Elektrická účinnost	%	41,00%
Energie netto	[MWh/m ³]	4368,4

Zdroj: Autor

Provozní náklady: Servis KJ (1 000 000 Kč), traktorové práce (300 000Kč), palivo pro manipulátor, mzdy na obsluhu (400 000 Kč), pojištění (300 000 Kč)

Provozní náklady a náklady na suroviny se každoročně zvedají o inflaci 2%

Náklady na vstupní suroviny se zvedají každoročně o 2%

ČSH: 48 923 368 Kč

Tab. č. 15: Ekonomická bilance BPS Drahobudice s použitím procesu vysokotlaké hydrolyzy

Rok provozu BPS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Celková investice	-72 550 000										
Odpisy za technolog (odpis 10 let)		2 291 053	4 582 105	4 582 105	4 582 105	4 582 105	4 582 105	4 582 105	4 582 105	4 582 105	4 582 105
Odpisy za stav. část (odpis 20 let)		491 864	983 729	983 729	983 729	983 729	983 729	983 729	983 729	983 729	983 729
Provozní náklady		-2 000 000	-2 040 000	-2 080 800	-2 122 416	-2 164 864	-2 208 162	-2 252 325	-2 297 371	-2 343 319	-2 390 185
Náklady na suroviny	-5 469 000	-5 469 000	-5 578 380	-5 689 948	-5 803 747	-5 919 821	-6 038 218	-6 158 982	-6 282 162	-6 407 805	-6 535 961
Úvěr	60 000 000										
Vlastní zdroje (vstupní suroviny)	18 019 000										
Úmor		6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000	6 000 000
Úrok 4,5%		2 700 000	2 430 000	2 160 000	1 890 000	1 620 000	1 350 000	1 080 000	810 000	540 000	270 000
Výroba el. energie KJ [kW]		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Výkupní cena elektřiny dodané do sítě [Kč/kWh]		4,12									
Celková prodejní cena		4,12									
Počet hod., kdy je KJ v prov.[hod]		8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000
Prodej elektřiny		16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000
Diskont		3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
Zisk před zdaněním	0	3 528 083	865 786	983 418	1 098 003	1 209 480	1 317 786	1 422 859	1 524 633	1 623 042	1 718 020
Daň ze zisku	0	670 336	164 499	186 849	208 621	229 801	250 379	270 343	289 680	308 378	326 424
Diskontovaný zisk po zdanění	0	2 857 747	677 598	743 663	802 265	853 864	898 900	937 788	970 922	998 677	1 021 409
Cashflow	0	311 000	431 620	549 252	663 837	775 314	883 620	988 693	1 090 467	1 188 876	1 283 854
Diskontovaný cashflow	0	300 495	402 953	495 451	578 585	652 919	718 991	777 312	828 367	872 616	910 497

Zdroj: Autor

Tab. č. 16: Ekonomická bilance BPS Drahobudice s použitím procesu vysokotlaké hydrolyzy

Rok provozu BPS		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Celková investice											
Odpisy za technolog (odpis 10 let)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Odpisy za stav. část (odpisu 30 let)		983 729	983 729	983 729	983 729 Kč	983 729	983 729	983 729	983 729	983 729	983 729
Provozní náklady		-2 437 989	-2 486 749	-2 536 484	-2 587 213	-2 638 958	-2 691 737	-2 745 571	-2 800 483	-2 856 492	-2 913 622
Náklady na suroviny		-6 666 680	-6 800 014	-6 936 014	-7 074 735	-7 216 229	-7 360 554	-7 507 765	-7 657 920	-7 811 079	0
Úvěr											
Úmor											
Úrok 4,5%											
Výroba el. energie KJ [kW]		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Výkupní cena elektřiny dodané do sítě [Kč/kWh]		4,12									
Celková prodejní cena		4,12									
Počet hodin, kdy je KJ v provozu [hod]		8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000
Prodej elektřiny		16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000	16 480 000
Diskont		3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
Zisk před zdaněním		6 391 602	6 209 508	6 023 773	5 834 323	5 641 084	5 443 981	5 242 935	5 037 868	4 828 700	12 582 649
Daň ze zisku		1 214 404	1 179 807	1 144 517	1 108 521	1 071 806	1 034 356	996 158	957 195	917 453	2 390 703
Diskontovaný zisk po zdanění		3 671 620	3 446 526	3 230 496	3 023 203	2 824 332	2 633 577	2 450 644	2 275 249	2 107 117	5 305 261
Cashflow		7 375 331	7 193 237	7 007 502	6 818 052	6 624 813	6 427 709	6 226 664	6 021 597	5 812 429	13 566 378
Diskontovaný cashflow		5 053 831	4 762 554	4 482 859	4 214 329	3 956 563	3 709 172	3 471 782	3 244 031	3 025 570	6 823 227

Zdroj: Autor

Tab. č. 17: Bilance použitých substrátů v BPS Dražobudice s použitím procesu vysokotlaké hydrolýzy

Substrát	Množství [t]	Obsah sušiny [%]	Obsah organické sušiny [%]	Výtěžnost plynu [Nm ³ /t]	Obsah CH ₄ [%]	Množství bioplynu [Nm ³]	Množství CH ₄ [Nm ³]	Cena za tunu [Kč]	Cena za rok [Kč]
Kukuřičná siláž	6 500	33%	87%	910	52%	1 698 197	883 062	600	3 900 000
Travní senáž	4 300	35%	87%	650	54%	851 078	459 582	350	1 505 000
Hovězí kejda	3 200	6%	70%	450	54%	60 480	32 659	20	64 000
Celkem	14 000					2 609 755	1 375 303		-5 469 000

Zdroj: Autor

Tab. č. 18: Energetická bilance BPS Dražobudice s použitím procesu vysokotlaké hydrolýzy

Množství vyprodukovaného bioplynu za rok	[Nm ³]	2 609 754
Obsah metanu	%	54%
Množství vyprodukovaného metanu za rok	[Nm ³]	1 375 303
Výhřevnost bioplynu při 54% podílu metanu	[kWh/m ³]	5,4
Výhřevnost metanu	[kWh/m ³]	10
Energie brutto	[MWh/m ³]	13 753
Elektrická účinnost	%	41,00%
Energie netto	[MWh/m ³]	5638,7

Zdroj: Autor

Provozní náklady: Servis KJ (1 000 000 Kč), traktorové práce (300 000Kč), palivo pro manipulátor, mzdy na obsluhu (400 000 Kč), pojištění (300 000 Kč)

Provozní náklady a náklady na suroviny se každoročně zvedají o inflaci 2%

Náklady na vstupní suroviny se zvedají každoročně o 2%

ČSH: 49 282 105 Kč