

# JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

## ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

**Studijní program:** N4101 Zemědělské inženýrství  
**Studijní obor:** Agroekologie  
**Katedra:** Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií  
**Vedoucí katedry:** prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.

### **Diplomová práce**

Využití procesu vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou při produkci  
bioplynu z pšeničné slámy

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Josef Maroušek, Ph.D.

**Autor:** Bc. Luboš Vojta

České Budějovice, duben 2012

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Luboš VOJTA**  
Osobní číslo: **Z10723**  
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**  
Studijní obor: **Agroekologie**  
Název tématu: **Využití procesu vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou při produkci bioplynu z pšeničné slámy**  
Zadávající katedra: **Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií**

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

Cílem práce je technologické a ekonomické posouzení problematiky využití procesu vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou při produkci bioplynu z pšeničné slámy.

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 pšeničné slámy 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.* Weinheit : **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 Development.** *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 Šoch, 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

## **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, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 27. 4. 2012

Bc. Luboš Vojta

## **Poděkování**

Zde bych rád poděkoval panu Ing. Josefu Marouškovi, Ph.D. za připomínky, odborné rady, cenné informace a čas strávený konzultacemi, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce. Dále bych poděkoval panu Jaroslavu Vojíkovi ze ZD Novosedly, který mi poskytl veškeré informace o bioplynové stanici a všem ostatním, kteří se jakkoli podíleli na pomoci s vypracováním této diplomové práce.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá technologickým a ekonomickým posouzením problematiky využití procesu vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou ( $\text{HNO}_3$ ) při produkci bioplynu z pšeničné slámy. Je to zcela nekonvenční metoda, které není doposud nikde ve světě uvedena v komerční praxi.

Pšeničná sláma byla nejprve nadrcena a poté peletována. Takto upravená sláma byla podrobena kyselé hydrolýze při třech rozdílných tlacích v kontinuálním vysokotlakém hydrolyzéro (0.903 MPa, 1.376 MPa a 1.727 MPa) užitím vysoce koncentrované (65%) kyseliny dusičné ( $\text{HNO}_3$ ). Otáčky vnitřní šroubovice kontinuálního vysokotlakého reaktoru byly nastaveny na konstantní rychlost, která ve všech případech zajišťovala bodu zdržení substrátu v reaktoru po dobu 500s, čemuž za daných podmínek odpovídá teplota 160-210°C. Po předchozím zmapování oblastí zájmu detekující produkci oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) byla provedena série čtvrtprovozních simulací, ve vytypovaných oblastech (podezření na lokální extrém), kde proběhlo ověřování na produkci metanu ( $\text{CH}_4$ ) pomocí anaerobní fermentace v termofilní oblasti při teplotě 51°C.

Největší výnos produkce metanu ( $\text{CH}_4$ ) byl zjištěn při tlaku vysokotlakého hydrolyzéro 0,903 MPa, kde bylo dosaženo maximálních hodnot a to až 371,2 m<sup>3</sup> z 1 t organické sušiny fytohmoty (85% hm. fytohmoty). Na základě vícefaktorové optimalizace byl maximální výtěžek metanu ( $\text{CH}_4$ ) z biochemického hlediska zjištěn při sušině 4,15% a pH 5,19.

Z managerského hlediska, které bere v úvahu technologická omezení a finanční ukazatele jsem dospěl k názoru, že nejvhodnější podmínky pro produkci metanu ( $\text{CH}_4$ ) jsou při sušině 8,5 – 9,5% a pH 4,5 až 5,5.

## **Klíčová slova**

sláma, kyselá hydrolýza, biomasa, bioplyn

## **Abstract**

The diploma thesis deals with the technological and economical review of the problematic of the application of the process of high-pressure hydrolysis with nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ) at the production of biogas from wheat straw. It is very unconventional method which has been introduced nowhere in the world in commercial praxis.

Wheat straw was at first crushed and then divided into pelets. In this form straw was submitted to acid hydrolysis at three different pressures in continual high-pressure hydrolyser (0.903 MPa, 1.376 MPa a 1.727 MPa) with the application of high concentrated (65%) nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ). The revolutions of inner helix of the continual high-pressure reactor were setted to the constant speed which in all cases outsourced the point of hold-up of the substrate in the reactor for 500 seconds that normally at these conditions equals the temperature 160-210°C. After the pre-charting of the areas of interest detecting the production of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) the serie of quarter-operation simulations was done in selected areas (inkling of local extremes), where the verification of production of methane ( $\text{CH}_4$ ) was done using anaerobic fermentation in termofil area at the temperature 51°C.

The biggest yield on methane ( $\text{CH}_4$ ) was found out at the pressure of the high-pressure hydrolyser 0,903 MPa, where it was achieved the maximal values up to 371,2 m<sup>3</sup> from 1 ton of organic dry basis of fytomas (85% hm. of fytomas). On the basis of more-factor optimization the maximal yield of methane ( $\text{CH}_4$ ) from the biochemical point was found out at the dry basis 4,15% and pH 5,19.

From the manager's point of view which regards the technological limitation and financial indicators, I can come to an opinion that the most suitable conditions for the production of methane ( $\text{CH}_4$ ) are at dry basis 8,5 – 9,5% and pH 4,5 – 5,5.

## **Keywords**

straw, acid hydrolysis, biomass, biogas

# Obsah

1. Úvod.....	2
2. Cíl práce.....	3
3. Literární rešerše .....	4
3.1 Fytomasa.....	4
3.2 Technologie mechanické úpravy fytomasy .....	6
3.3 Kyselá hydrolýza fytomasy .....	8
3.4 Anaerobní fermentace .....	13
3.5 Ekonomika bioplynových stanic .....	16
4. Metodika .....	21
4.1 Použité substráty.....	21
4.2 Použité zařízení .....	22
4.3 Použitý software .....	26
4.4 Vlastní postup.....	27
5. Výsledky .....	30
5.1 Mapování produkce oxidu uhličitého (CO <sub>2</sub> ) .....	30
5.2 Mapování produkce metanu (CH <sub>4</sub> ).....	36
6. Diskuze .....	43
7. Závěr .....	48
8. Použitá literatura.....	49
9. Příloha.....	56



# 1. Úvod

Při stoupající spotřebě energie lze očekávat úbytek lehce přístupných fosilních paliv, které se zatím využívají na výrobu energie nejvíce, a je třeba hledat jinou variantu. Pro doplnění palety fosilních paliv je využito energetické zpracování obnovitelných zdrojů, konkrétně biomasy. Rozvíjí se trend bioplynových stanic, kde se využívá biomasa pro výrobu bioplynu a z něj se pak vyrábí další produkty (např. elektřina a teplo). Tento postup je bohužel používán zejména v zemědělských podnicích, které mají dostatek půdy pro pěstování energetických plodin.

V diplomové práci jsem se zaměřil na využití procesu vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou ( $\text{HNO}_3$ ) při produkci bioplynu z pšeničné slámy, což je zcela nekonvenční metoda, která není doposud nikde ve světě uvedena v komerční praxi. Zemědělské podniky provozující bioplynové stanice využívají na produkci bioplynu zejména kukuřičnou siláž, senáž a chlévský hnůj. Mnozí si ale neuvědomují, že když nasadí do osevního postupu kukuřici, v tom lepším případě s odstupem 2 let po sobě, dochází k vyčerpání půdy a z agrotechnického hlediska je toto nežádoucí. Proto je potřeba využít fytomasu ještě efektivněji a to právě její úpravou za pomoci vysokotlaké hydrolýzy.

## 2. Cíl práce

Cílem práce je technologické a ekonomické posouzení problematiky využití procesu vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou ( $\text{HNO}_3$ ) při produkci bioplynu z pšeničné slámy. Klíčovými parametry technologického posouzení je kumulativní produkce metanu ( $\text{CH}_4$ ) v návaznosti na sušinu a pH. Za hlavní ukazatel posouzení byla vybrána metoda čisté současné hodnoty, která je pokládána za teoreticky nej přesnější metodu hodnocení investic, také je efektivní při srovnávání a výběru mezi projekty.

### 3. Literární rešerše

#### 3.1 Fytomasa

Dle Groenestijna (2010) hrají obnovitelné zdroje stále významnější roli v dnešním světě. Hodnotné produkty, jako je metan ( $\text{CH}_4$ ), mohou být vyrobeny z obnovitelných výchozích surovin, jako je biomasa, procesem biologické přeměny. Aitken (2003) komentuje, že obnovitelné zdroje energie jsou zdroje energie neznečišťující, nevyčerpatelné, fungují v neustáleném souladu s přírodními ekosystémy. Frydrych (2002) konstatuje, že obnovitelné zdroje energie jsou zdroje, které jsou pro využití buďto okamžitě, nebo pravidelně k dispozici a neustále se obnovují. Podle zákona (č. 180/2005 Sb.) jsou obnovitelné zdroje obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.

**Tabulka č. 1:** Přehled složení různých druhů fytomasy v sušině

	borové dřevo	pšeničná sláma	rákos	kancelářský papír
Celulóza (% hm.)	46,4	38,2	31	68,6
Hemicelulóza (% hm.)	8,8	21,2	20,4	12,4
Lignin (% hm.)	29,4	23,4	17,6	11,3

(Mosier, 2005)

Dle Breeze (2004) nabízí fytomasa stále více než 10% primární energie získané spalováním, většinou ve formě tepla pro vaření a topení. Libra (2007) uvádí, že obnovitelné zdroje tvoří 18% světové výroby energie, jaderné zdroje tvoří 17%. Celosvětově se odhaduje, že fytomasa pokrývá zhruba 15% spotřeby energie využívané v domácnostech či při průmyslové výrobě. Jakubes (2006) konstatuje, že dosahuje podíl fytomasy na celosvětové spotřebě energie cca 11%. Sims (2003) publikuje, že lignocelulózové složky tvoří velkou část tuhého komunálního odpadu, zbytků živočišných hnojiv, lesního odpadu nebo zvláštních energetických plodin.

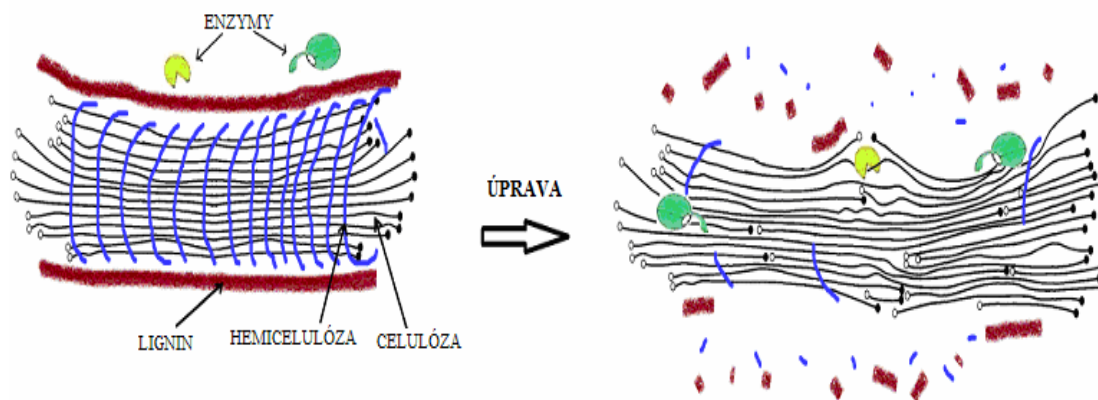
Nadměrné používání fosilních paliv způsobuje úbytek zdrojů energie. V důsledku toho je fytohmota uznávána jako jeden z předních zdrojů dodávky energie. Rozvoj tohoto zdroje bude vyžadovat zavedení nových energetických plantáží schopných poskytnout dostatečné množství fytohmoty. Propojení zemědělské a elektrické výroby z fytohmoty poskytne klíč k jeho budoucímu úspěchu (Breeze, 2004).

Množství fytohmoty, které je k dispozici na zemi, naznačuje, že v dlouhodobém horizontu, může zajistit až 50% energie lidstva. Dodávky jsou omezené, ale mohou dodávat až 5% poptávky po elektřině. Nicméně hlavním zdrojem fytohmoty pro výrobu energie v budoucnosti budou energetické plantáže, pěstování speciálně vyvinutých plodin. Energetické plodiny vyžadují kvalitní zemědělskou půdu, poskytující dostatečně vysoké výnosy (Breeze, 2004).

### 3.2 Technologie mechanické úpravy fytomasy

Palmqvist (2000) a Taherzadeh (2008) konstatují, že lignocelulózové materiály jsou odolné vůči enzymatickému naborávání. Cílem úpravy je změnit tyto vlastnosti lignocelulózových materiálů a připravit je pro enzymatický rozklad. Lignocelulózové materiály jsou velmi složité a jejich úprava není jednoduchá. Nejlepší způsob a podmínky úpravy do značné míry závisí na typu lignocelulózy. Stupeň polymerizace celulózy ( $C_6H_{10}O_5$ ) a míra acetylace hemicelulózy jsou hlavní faktory považované za ovlivňující rychlost biologického rozkladu lignocelulózových enzymů. Volynets (2011) uvádí, že velmi vzpurná struktura celulózy ( $C_6H_{10}O_5$ ) vytváří omezení pro proniknutí chemických či biologických katalyzátorů. Úpravou je nutné narušit strukturu celulózy ( $C_6H_{10}O_5$ ) a zlepšit prostupnost fytomasy pro hydrolytické enzymy.

Obrázek č. 1: Úprava celulózy

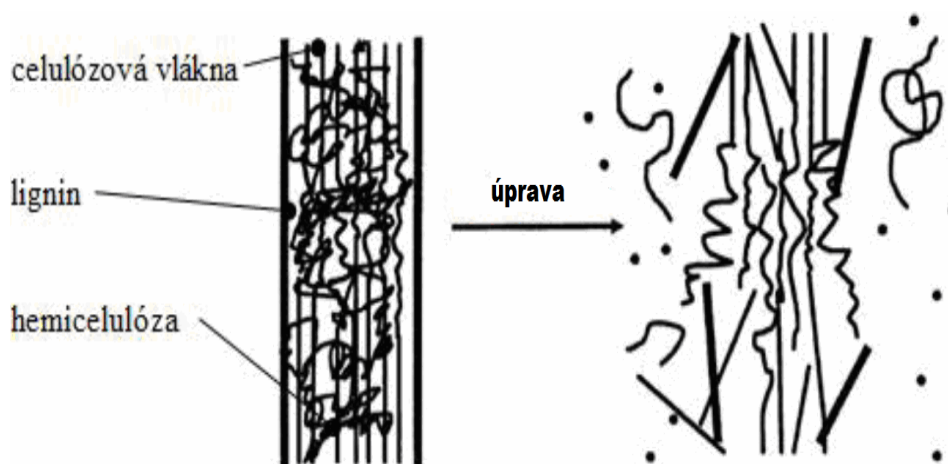


(Volynets, 2011)

Kim (2006) konstatuje, že lignocelulózové materiály se skládají ze dvou různých typů povrchů (vnější, vnitřní). Vnější se vztahuje k velikosti a tvaru, zatímco vnitřní pak závisí na kapilární struktuře vláken. Taherzadeh (2008) publikuje, že velký rozdíl je mezi suchými materiály a materiály, kde se vyskytuje voda ( $H_2O$ ). Přítomnost vody ( $H_2O$ ) má vliv na specifický povrch v oblasti celulózy ( $C_6H_{10}O_5$ ), je

známé, že zvyšuje ignitový ku celulózy ( $C_6H_{10}O_5$ ). Oproti suchým vláknům, která mohou vyústit ve zhroucení a zmenšení kapilár a tím omezit přístupnost plochy.

**Obrázek č. 2:** Schéma úpravy materiálu



(Mosier, 2005)

Podle síly a energie mohou být procesy zařazeny do biologických, fyzikálních, chemických a fyzikálně-chemických úprav. Hlavní úloha úpravy je rozbít ignitový obal a narušit strukturu celulózy ( $C_6H_{10}O_5$ ). Narušením struktury dochází k tomu, že se zvětší plocha potřebná k intenzivnímu přenosu hmoty. Výběr vhodné úpravy musí být co nejefektivnější vzhledem k dané vstupní surovině (Alvira, 2010).

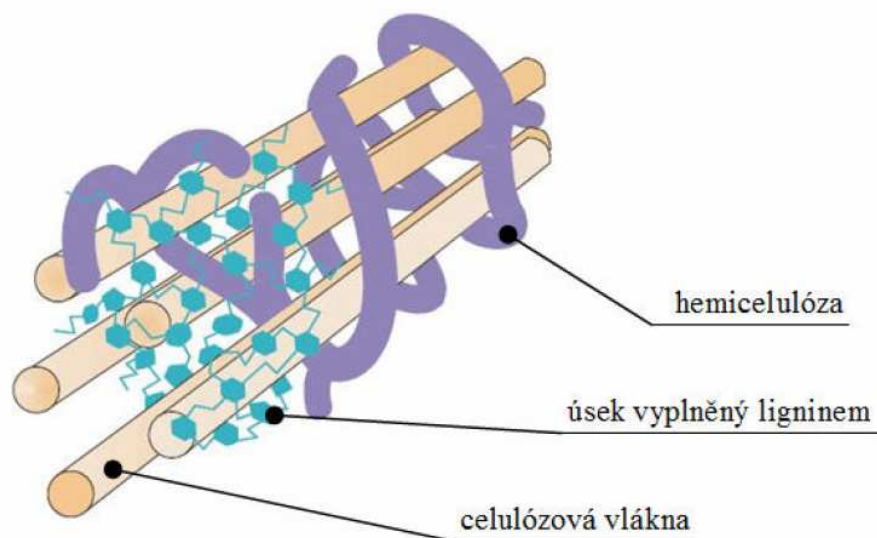
### 3.3 Kyselá hydrolýza fytomasy

Podle Phillipse (2012) je hydrolýza rozkladná reakce působením vody. Dojde ke štěpení molekuly vody na dvě části, první část dostane  $H^+$  ionty a druhá část hydroxylovou skupinu ( $OH^-$ ). Maroušek (2009) uvádí, že v bioenergetické praxi se běžně diskutuje o 4 druzích hydrolýzy: termotlakové, kyselé, zásadité a enzymatické. Gert (2000) uvádí, že z chemického pohledu existují jen 3 druhy: kyselá, zásaditá a enzymatická. Thompson (1989) publikuje, že vysokou teplotou, doprovázenou zvýšením tlaku, může dojít ke zvýšení reakční plochy, přičemž Meunier-Goddik (1998) konstatuje, že vyšší teploty mohou zároveň zefektivnit účinky kyselin a zásad. Mosier (2005) uvádí, že hydrolýza zahrnuje kroky, které převádějí uhlovodíkové polymery do monomerních cukrů. Celulóza ( $C_6H_{10}O_5$ ) se hydrolyticky rozdělí na glukózu ( $C_6H_{12}O_6$ ) buď enzymaticky nebo chemicky (pomocí kyseliny nebo zásady).

Hydrolýza celulózy ( $C_6H_{10}O_5$ ) fytomasy je obtížná. Je závislá na krystalickém charakteru celulózy ( $C_6H_{10}O_5$ ), obsahu a formě ligninu a plášti hemicelulózy, který obklopuje celulózu ( $C_6H_{10}O_5$ ). Při dobré úpravě se může hydrolyzovat hemicelulóza na jednotlivé složky cukrů. Například u tvrdých dřev a pšeničné slámy je hemicelulóza složena primárně z uhlíku xylózy ( $C_5H_{10}O_5$ ) a cukrů, které mohou být přeměněny na etanol ( $C_2H_6O$ ) (Schell, 1991).

Proces hydrolýzy fytomasy lignocelulózy odděluje od ostatních cukrů hemicelulózu fytomasy, bílkoviny, části rozpuštěného ligninu, celulózu ( $C_6H_{10}O_5$ ), glukózu ( $C_6H_{12}O_6$ ) oddělenou z celulózy ( $C_6H_{10}O_5$ ) a nerozpustný lignin (viz. obrázek č. 3) jak publikuje Torget (2001). Horst (2011) uvádí, že je kyselá hydrolýza fytomasy jednou z metod používaných pro oddělení ligninu z lignocelulózové fytomasy, tento proces je závislý na koncentraci kyseliny a teplotě. Při nízkých koncentracích kyselin, je vysoká teplota potřebná k dosažení hydrolýzy, což vyžaduje vysoké energetické nároky. Přestože kyseliny mohou výrazně snížit teplotu substrátu nebo spotřebu energie, musí být kyselina o koncentraci vyšší než 20%. Grohmann (1995) konstatuje, že hydrolýza horkou, zředěnou kyselinou je méně účinná na jemnou strukturu polysacharidů v rostlinných tkáních než enzymatická hydrolýza. Sun (2011) uvádí, že koncentrovaná kyselina může hydrolyzovat lignocelulózovou fytomasu při zvýšených teplotách a při vysokém tlaku.

**Obrázek č. 3:** Struktura lignocelulózy



(Straka, 2006)

Technologii hydrolýzy fytohmasy lze aplikovat na celulózu ( $C_6H_{10}O_5$ ), xylan a související fytohmasy polysacharidů, např. galactan, mannan nebo arabinan. Tento proces probíhá v iontové kapalině, ve které je celulóza ( $C_6H_{10}O_5$ ) rozpustná v přítomnosti kyseliny při teplotě dostatečně vysoké, aby se spustila hydrolýza. Produkt hydrolýzy je vhodný jako vstupní surovina pro kvašení, včetně fermentačních procesů na etanol ( $C_2H_6O$ ), butanol ( $C_4H_9OH$ ) a další paliva (Raines, 2011). Podle Roberta (2003) koncentrace kyseliny je nejdůležitější parametr ovlivňující výtěžnost cukru, zatímco pro tvorbu produktů rozkladu cukru, má největší vliv teplota.

Nejen dle Xiaa (1997) je kyselá hydrolýza fytohmasy dobře známý jev a může být provedena zředěnými, či koncentrovanými kyselinami. Nejvíce používané kyseliny jsou kyselina dusičná ( $HNO_3$ ), sírová ( $H_2SO_4$ ) a chlorovodíková ( $HCl$ ). Laopaiboon (2010) tvrdí, že kyselinu dusičnou ( $HNO_3$ ), sírovou ( $H_2SO_4$ ) a chlorovodíkovou ( $HCl$ ) lze použít jako katalyzátory pro hydrolýzu, protože mohou prolomit vazby mezi monomery cukru v polymerních řetězcích, které jsou tvořené hemicelulózou a celulózu ( $C_6H_{10}O_5$ ). Baboukani (2011) konstatuje, že hydrolýza zředěnou kyselinou je metoda pro úpravu lignocelulózových materiálů. Hemicelulóza se snadno hydrolyzuje do rozpuštěného cukru (xylózy ( $C_5H_{10}O_5$ )) s



enzymem nebo chemikáliemi a pak je oddělena od celulózových zbytků separační metodou.

Cao (2009) publikuje, že kyselá hydrolýza fytomasy poskytuje nejen rozpustné cukry, ale i značné množství vedlejších produktů jako je acetát ( $C_2H_4O_2$ ), fenol ( $C_6H_6O$ ) a sloučeniny furanu ( $C_4H_4O$ ), které mohou nepříznivě ovlivnit mikrobiální metabolismus. Waldron (2010) uvádí, že existují dva typy kyselé hydrolýzy: zředěná a koncentrovaná, z nichž každá má jedinečné vlastnosti a účinky na fytomasu a každá má výhody a nevýhody z hlediska ekonomiky. Moya (2008) komentuje, že při kyselé hydrolýze, zejména pomocí kyseliny sírové ( $H_2SO_4$ ) se využívá upravené lignocelulózy k získání monosacharidů. Tento proces používá buď koncentrovanou kyselinu (70-77%) při nízké teplotě kolem  $50^\circ C$  nebo zředěnou kyselinu (0,4-0,7%) při vysoké teplotě kolem  $200^\circ C$ .

Rodríguez-Chong (2003) popisuje ve svém výzkumu hydrolýzu fytomasy za použití kyseliny dusičné ( $HNO_3$ ) při různé koncentraci (2-6%), reakční době (300 min) a teplotě ( $100-128^\circ C$ ). Byly stanoveny optimální vybrané podmínky a byly následující:  $122^\circ C$ , 6% kyselina dusičná ( $HNO_3$ ) a 9,3 min. Za těchto podmínek bylo získáno: 18,6 g/L xylózy ( $C_5H_{10}O_5$ ); 2,04 g/L arabinózy ( $C_5H_{10}O_5$ ); 2,87 g/L glukózy ( $C_6H_{12}O_6$ ); 0,9 g/L kyseliny octové ( $C_2H_4O_2$ ) a 1,32 g/L furfuralu ( $C_5H_4O_2$ ). Porovnání těchto výsledků s výsledky získanými pomocí kyseliny sírové ( $H_2SO_4$ ) a chlorovodíkové ( $HCl$ ) prokázaly, že kyselina dusičná ( $HNO_3$ ) je nejúčinnější katalyzátor hydrolýzy. Brink (1993) komentuje, že hydrolýza provedená pomocí kyseliny dusičné ( $HNO_3$ ) za optimálních podmínek pH, času a teploty maximalizuje produkci požadovaných monosacharidů.

Somayaji (1994) se zabýval ve svém výzkumu přidáním rýžové a pšeničné slámy do chlévského hnoje a kdy, denní produkce bioplynu se zvýšila ze 176 až na 331 l/kg sušiny ze 100% rýžové slámy (viz. Tabulka č. 1) a o 194 l/kg sušiny ze 40% pšeničné slámy (viz. Tabulka č. 2). Nejen, že byla produkce metanu ( $CH_4$ ) zvýšena přidáním nařezaných zbytků zemědělských plodin, ale bylo dosaženo i větší biologické rozložitelnosti organických látek ve slámě.

**Tabulka č. 2:** Produkce bioplynu z chlévského hnoje s přidáním rýžové slámy ve 40-ti denní době.

Parametry	S přidáním rýžové slámy (% hm.)					
	0	20	40	60	80	100
Denní výnos bioplynu (m <sup>3</sup> /kg sušiny)	176	209	234	253	293	331
Denní výnos metanu CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /kg sušiny)	107	121	136	149	167	195
Metan CH <sub>4</sub> (% bioplynu)	61	58	58	59	58	59

(Somayaji, 1994)

**Tabulka č. 3:** Produkce bioplynu z chlévského hnoje s přidáním pšeničné slámy ve 40-ti denní době.

Parametry	S přidáním pšeničné slámy (% hm.)					
	0	20	40	60	80	100
Denní výnos bioplynu (m <sup>3</sup> /kg sušiny)	178	187	194	174	167	148
Denní výnos metanu CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /kg sušiny)	107	109	113	103	97	87
Metan CH <sub>4</sub> (% bioplynu)	60	58	59	59	58	59

(Somayaji, 1994)

Proces kyselé hydrolyzy lze použít u různých druhů fytomasy (pšeničná sláma, štěpky, odpadní obiloviny). Tyto odpady obsahují škrob (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>), celulózu (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>), hemicelulózu nebo kombinaci těchto sacharidů. Pro tuto fytomasu byla použita tzv. dvoustupňová hydrolyza, kdy se škrob (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>) a hemicelulóza hydrolyzovala při teplotě 132°C po dobu 40 minut s 2% obsahem kyseliny sírové (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a celulózy (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>) při teplotě 132°C po dobu 70 minut s 15% obsahem kyseliny sírové (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Studie ukázala, že dvoustupňová hydrolyza může maximalizovat obsah cukru u méně kvalitní fytomasy (Choi, 1996).

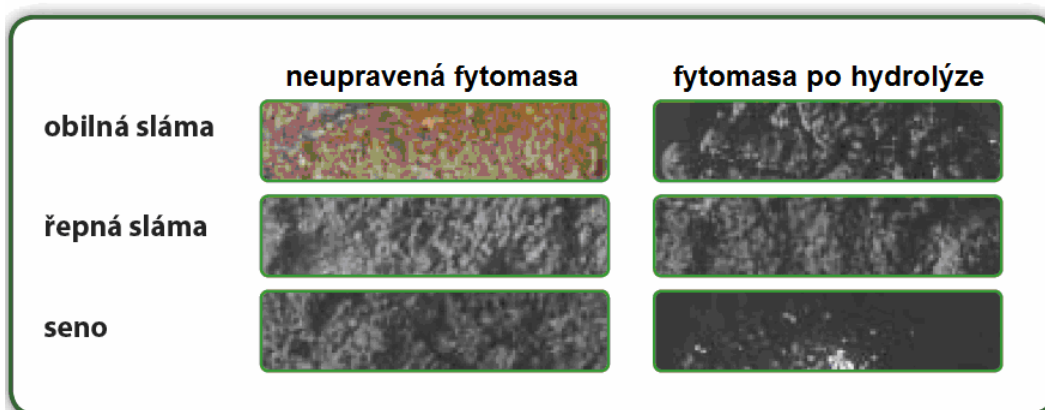
Zhang (2011) popisuje ve své studii působení kyseliny dusičné (HNO<sub>3</sub>) na kukuřičnou siláž a sledování koncentrace xylózy (C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>), glukózy (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) a arabinózy (C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>). Kukuřičná siláž byla hydrolyzována při teplotě 150°C po dobu až 60 minut. Koncentrace kyseliny dusičné (HNO<sub>3</sub>) byla aplikována v obsahu 0,2%, 0,4% a 0,6%. Studie ukázala, že optimální podmínky pro hydrolyzu byly při obsahu 0,6% kyseliny dusičné (HNO<sub>3</sub>) při teplotě 150°C a po dobu 1 minuty. Při těchto parametrech dosahoval výnos xylanu až 93%.

Termická tlaková hydrolyza je biochemický proces, při němž je jakákoli biomasa působením vysokého tlaku, teploty a následné expanze degradována na jednodušší látky. Ze suspenze po hydrolyze lze získat látky využitelné v chemickém průmyslu (fural (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O), lignin (C<sub>9</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>), organické kyseliny) (NWT, 2010).

Avellar (1998) konstatuje, že tlaková hydrolýza patří mezi nejčastěji používané metody úprav lignocelulózových materiálů s obsahem ligninu mezi 18 a 34 % hm. Sun (2002) tvrdí, že proto se většinou tato metoda aplikuje na úpravu dřevních štěpků, pilin a zemědělských odpadů. Navlhčená surovina je v reaktoru vystavena účinku vodní páry o teplotě 160 – 260°C, čemuž odpovídá tlak 0,69 – 4,83 MPa, po dobu několika minut a poté je materiál vystaven prudkému snížení tlaku na tlak atmosférický. Během účinku páry dochází k rozkladu hemicelulózy a ligninu a k rozvláknění fytomasy.

Dosáhne se tak výrazného zvýšení výtěžnosti bioplynu, zkracuje se reakční doba a také se snižuje potřeba objemu fermentorů i množství potřebné fytomasy. Zároveň je možno zpracovat širší spektrum materiálů, například slamnatou fytomasu. Hydrolyzovaná fytomasa vykazuje standardizované parametry složení, což přispívá ke stabilním provozním parametrům celé bioplynové stanice. Hydrolýza využívá pro výrobu tepelné energie odpadní teplo spalin z výroby elektrické energie. Tím je celý proces ekonomicky efektivní (NWT, 2010).

**Obrázek č. 4:** Výsledek upravené fytomasy po hydrolýze



(NWT, 2010)

### 3.4 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je soubor několika dílčích, na sebe navazujících procesů, na kterých se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů (Angelidaki, 2002). Boe (2007) uvádí, že mezi nejdůležitější procesy anaerobní fermentace patří hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze, kde poslední dva kroky jsou navzájem propojené. Wenjuan (2010) píše, že při fermentačním procesu se získává energie a výsledné produkty metabolismu (etanol ( $C_2H_6O$ ), metanol ( $CH_4O$ ) aj.) za použití mikroorganismů. Během tohoto procesu dochází k oxidaci sacharidů vzniklých enzymatickou hydrolýzou z hemicelulózy a celulózy ( $C_6H_{10}O_5$ ).

**Tabulka č. 4:** Chemické složení a vlastnosti bioplynu

Charakteristika	Metan $CH_4$	Oxid uhličitý $CO_2$	Vodík $H_2$	Sirovodík $H_2S$	Bioplyn $CH_4$ 60%, $CO_2$ 40%
objemový podíl [%]	55-70	27-47	1	3	100
výhřevnost [ $MJ.m^{-3}$ ]	35,8	-	10,8	22,8	21,5
zápalná teplota [ $^{\circ}C$ ]	650-750	-	585	-	650-750
hustota [ $kg.m^{-3}$ ]	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

(Straka, 2006)

Sam-Soon (1987) publikuje, že produkce bioplynu probíhá pomocí anaerobních mikroorganismů. Předpokládá se, že se tyto bakterie vytvořily již dávno před tím, než se v zemské kůře objevil kyslík ( $O_2$ ). Fojtík (2008) uvádí, že anaerobní fermentace je proces přeměny látek za přítomnosti bakterií, především octových kyselinotvorných bakterií a metanotvorných bakterií. K vyhnívání dochází bez přístupu vzduchu a ve vlhkém prostředí. Proces probíhá při teplotách od  $0^{\circ}C$  do  $70^{\circ}C$  a na rozdíl od jiných procesů nevzniká při anaerobní fermentaci teplo, ale vyvíjí se hořlavý plyn – metan ( $CH_4$ ). Současně s ním se vytváří oxid uhličitý ( $CO_2$ ) a voda ( $H_2O$ ). Podle Weilandta (2006) lze výrobu bioplynu rozdělit z hlediska obsahu sušiny. Mokrý fermentace, která zpracovává substráty s výsledným obsahem sušiny do 12% a suchá fermentace která se pohybuje okolo 30-35% obsahu sušiny. V současné době dominují spíše procesy mokré fermentace.

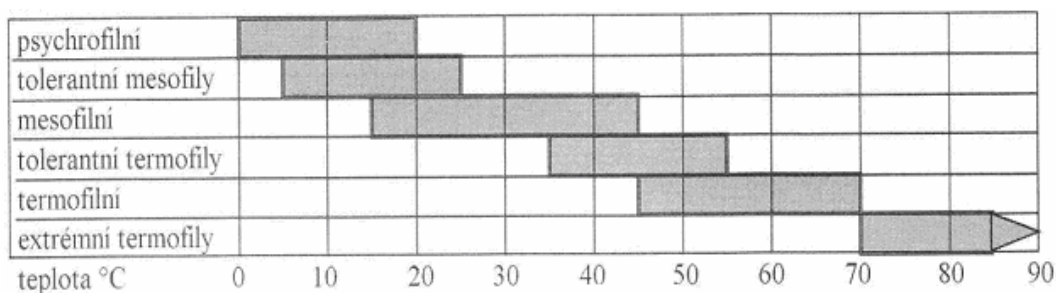
1. Fáze – **Hydrolýza** – Podle Yadvika (2004) je hydrolýza extracelulární proces, při kterém jsou organické částice rozkládány na rozpustné oligomery a monomery. Fermentační bakterie produkují především hydrolytické enzymy, které nemohou adsorbovat složité organické polymery přímo do svých buněk. Batstone (2002) píše, že samotný proces zahrnuje několik kroků, jako jsou difúze, adsorpce, reakce a deaktivace enzymů. Chyi (1994) uvádí, že celková rychlost hydrolýzy závisí na velikosti organických materiálů, tvaru, povrchu, koncentraci fytohmoty, produkci enzymů a adsorpci. Penttilä (2009) publikuje, že hydrolýza, je také známá jako zkapalnění, protože kovalentní vazby sloučenin jsou rozbity vodou v chemické reakci. Hydrolýza různých sloučenin probíhá v různých časech. Hydrolýza sacharidů trvá několik hodin, lipidů a proteinů několik dní, celulózy a ligninu se dělí pouze na pomalou a neúplnou.

2. Fáze – **Acidogeneze** – Podle Stamse (2005) a Penttilä (2009) probíhá další rozklad na jednodušší organické látky, jako jsou těkavé organické kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a vodík ( $\text{H}_2$ ). Ahring (2003) píše, že jako mezní faktor se ukázala hodnota parciálního tlaku vodíku ( $\text{H}_2$ ), kdy při nízkém tlaku je produkován oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), vodík ( $\text{H}_2$ ), kyselina octová ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ) a při vyšším tlaku se tvoří organické kyseliny, kyselina mléčná ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ ), kyselina valinová a etanol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ).

3. Fáze – **Acetogeneze** – Schink (1997) publikuje, že probíhá oxidace látek na oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), vodík ( $\text{H}_2$ ) a kyselinu octovou ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ). Penttilä (2009) komentuje acetogenezi jako přeměnu těkavých mastných kyselin z acidogeneze spolu s etanolem ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) na kyselinu octovou ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ), oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a na vodík ( $\text{H}_2$ ) produkující acetogenní bakterie.

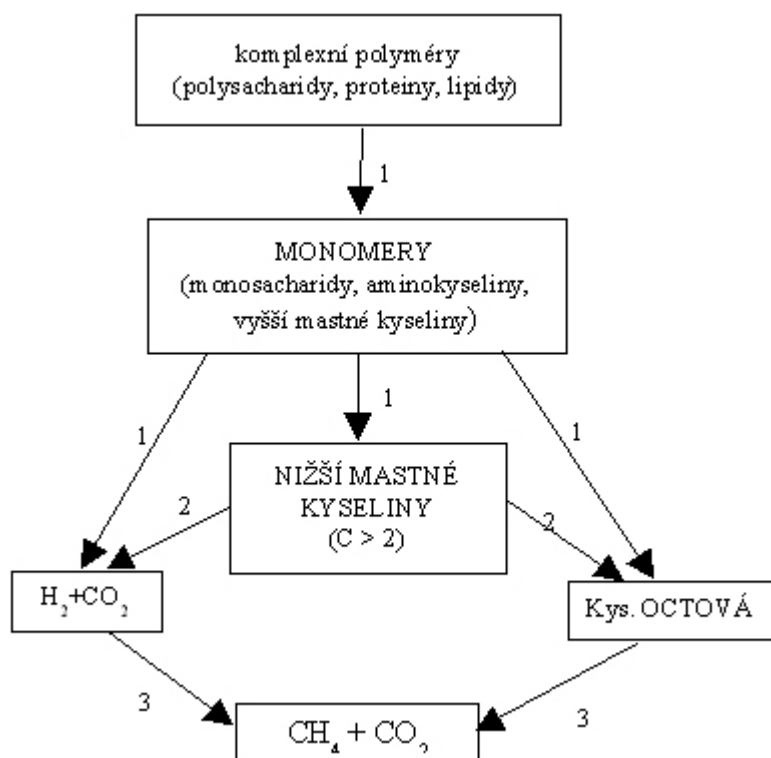
4. Fáze – **Metanogeneze** – Schink (1997) píše, že z kyseliny octové ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ), vodíku ( $\text{H}_2$ ) a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) vzniká metan ( $\text{CH}_4$ ). Penttilä (2009) uvádí, že v metanogenezi se tvoří metan ( $\text{CH}_4$ ) v přísně anaerobních podmínkách. Acetotrofní metanogeny vytváří metan ( $\text{CH}_4$ ) z acetátu, který je tvořen v acetogenezi. Hydrogenotrofní metanogeny vytvoří zbytek metanu ( $\text{CH}_4$ ) z vodíku ( $\text{H}_2$ ) a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ). Deublein (2008) a Khanal (2008) publikují, že existují tři vhodné teploty pro metanogenezi: psychofilní, mezofilní a termofilní. Mezofilní metanogeneze působí v mezofilní teplotě a má nejvyšší účinnost při 35-40°C. Většina metanogenů je mezofilních.

**Tabulka č. 5:** Teplotní rozdělení metanogeneze



(Straka, 2006)

**Obrázek č. 5:** Anaerobní proces tvorby bioplynu



(Dohányos, 2008)

### **3.5 Ekonomika bioplynových stanic**

Pro rozhodnutí o realizaci bioplynové stanice je ekonomika důležitou součástí, jelikož je záměrem finanční přínos, tedy zisk, avšak cíle mohou být i jiné, např. čistota ovzduší, služby občanům atd. Tyto cíle se nedají vyjádřit penězi a proto nevstupují do finančních analýz. U takovýchto projektů je však finanční analýza stejně důležitá, jelikož udává finanční ztráty, které vyvažují uvedený společenský nebo environmentální efekt (Ochodek, 2008).

Podle Koudely (2000) je důležité definovat podmínky realizace a provozu. Jedná se o komerční (marketing, poptávka, konkurence), technické (technologie, výkony, lokalizace), ekonomické (náklady, ceny, výnosy, efektivita) a časové podmínky. Jedná se o:

#### **Analýza trhu a marketingová strategie**

Zahrnuje kromě charakteristik celkového ekonomického prostředí celého světa i prognózy vývoje ekonomiky ve vztahu k určitému projektu a analýzu výchozí situace projektu – stav investora. V dnešní době je nutné brát v úvahu charakteristiky, stav a vývoj nejen státní ekonomiky, ale také celé Evropy. V případě bioenergetiky a energetiky obecně to platí dvojnásob.

#### **Technicko-ekonomické parametry projektu**

V této části studie jsou řešeny parametry projektu především z technického hlediska a s ohledem na závěry předchozí části studie. Jedná se především o volbu velikosti jednotky (jmenovitý výkon zařízení) a vhodné technologie a jí odpovídajících budov. V neposlední řadě se jedná o určení energetické a materiálové náročnosti provozu, která se u některých provozů výrazně odráží do provozních nákladů (Oberberger, 2004).

#### **Umístění projektu**

Umístění projektu je dáno několika omezujícími faktory, které se dají rozdělit do dvou skupin, a jsou to faktory dány požadavky projektu a faktory dány účinky projektu. Do první skupiny patří ekonomicky přijatelná dostupnost vstupních surovin, ale také dostupnost pomocných surovin, energií a infrastruktury. Do druhé

skupiny patří především přijatelné vlivy na životní prostředí a člověka. Jedná se především o znečištění ovzduší (exhalace, doprava) a vod, hluk, zápach, otřesy.

### **Lidské zdroje**

Problém dostupnosti lidských zdrojů je nutné řešit zvláště obezřetně u velkých projektů a projektů, ve kterých se objevují velice odborné pracovní pozice. Dle odbornosti a specifikace je nutné uvažovat se zaškolením odborného personálu již během realizační části projektu. Počet pracovníků je nutné řešit s ohledem na zákoník práce a bezpečnost práce. Od definované pracovní síly se odvíjí finanční požadavky na odměňování.

### **Finančně-ekonomická analýza a hodnocení**

Tato část studie se věnuje co nejpřesnějším výhledem ekonomiky projektu. Ekonomika projektu a její varianty se hodnotí pomocí ekonomických kritérií a je u většiny projektů rozhodujícím kritériem.

### **Analýza rizik**

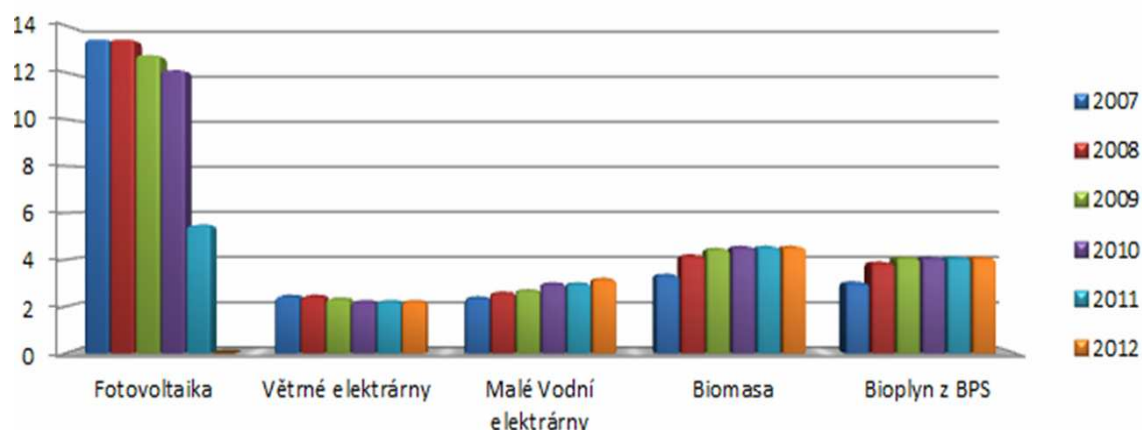
Každý projekt s sebou nese určité riziko, že se realizace a provoz nebude ztotožňovat s prognózou uvedenou ve studii, což může přinést ekonomické nebo dokonce existenční problémy projektu. Mezi hlavní rizika projektů patří změny na trhu (ceny surovin, poptávka po produkci), změny makroekonomických parametrů (inflace, devalvace měny, daňové zatížení), technická a technologická rizika (rozsáhlé poruchy, mimořádné generální opravy), změny legislativy a předpisů (snížení emisních limitů, snížení dotace) a ostatní vlivy (Trávníček, 1997).

### **Plán realizací**

Tato část studie postihuje jednak postup jednotlivých činností vedoucích k realizaci projektu, tak jejich časovou návaznost a náročnost (časový harmonogram). Součástí plánu jsou také termíny a lhůty, výčet zodpovídajících osob, finanční požadavky a kritická místa v plánu. Je důležité také věnovat pozornost materiálovým vstupům a energiím, stejně tak jako organizaci a řízení provozu (Koloničný, 2007).



**Graf č. 1:** Srovnání výkupních cen elektrické energie z obnovitelných zdrojů České republiky v Kč/kWh



(ERU, 2012)

**Tabulka č. 6:** Srovnání výkupních cen elektrické energie z obnovitelných zdrojů České republiky

Zdroj	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	Kč/kWh					
Fotovoltaika	13,46	13,46	12,79	12,15	5,50	6,16
Větrné elektrárny	2,46	2,46	2,34	2,23	2,23	2,23
Malé vodní elektrárny	2,39	2,6	2,70	3,00	3,00	3,19
Biomasa	3,37	4,21	4,49	4,58	4,58	4,58
Bioplyn z BPS	3,04	3,9	4,12	4,12	4,12	4,12

(ERU, 2012)

Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie je v České republice upravena zákonem č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Tento zákon spolupracuje s dvěma obecnějšími zákony, první z nich je zákon č. 458/2000 Sb. energetický zákon a druhým je zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií (Sedlářová, 2010).

Zákon 180/2005 Sb. byl přijat za účelem podpořit využití obnovitelných zdrojů energie. Za tímto a dalšími cíli stanovuje provozovateli přenosové soustavy povinnost přednostně připojit zařízení produkující elektřinu z obnovitelných zdrojů energie, pokud o to výrobce elektřiny požádal. Dále zákon stanovuje dva typy výkupních cen jimiž jsou pevné ceny a zelené bonusy. Výrobce elektřiny se může vždy jednou ročně rozhodnout jakým způsobem bude elektřinu prodávat (Sedlářová, 2010).

Energetický regulační úřad (2011) podle § 2c zákona č. 265/1991 Sb., o působnosti orgánů České republiky v oblasti cen, ve znění pozdějších předpisů, § 17 odst. 6 písm. d) zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, a § 6 zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů), ve znění pozdějších předpisů, vydává cenové rozhodnutí o cenách elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů.

Výkupní cena elektřiny dodané do sítě vyrobené spalováním bioplynu v bioplynových stanicích, kterou udává energetický regulační úřad pro rok 2012 je 4 120 Kč/MWh. Pro zelené bonusy daná cena pro rok 2012 je 3 070 Kč/MWh.

### **Základní ekonomické ukazatele:**

#### **1) Cash Flow (Peněžní toky)**

Je stěžejním nástrojem pro posuzování investičních záměrů. Používá se především ve finanční analýze, plánování a vyhodnocování investičních variant. Cash Flow se dá charakterizovat jako pohyb peněžních prostředků (přírůstek i úbytek) za určité období. Tento výkaz je vyžadován bankami jako podklad pro poskytnutí úvěru. Počítá se v jednotlivých letech provozu a představuje rozdíl mezi všemi příjmy a výdaji (Kysela, 2000).

$$CF = P - V \text{ [Kč]}$$

CF – Cash Flow [Kč]

P – příjmy [Kč]

V – výdaje [Kč]

#### **2) Čistá současná hodnota ČSH**

Tento ukazatel je často označován jako NPV (Net Present Value). Je pokládána za teoreticky nejpřesnější metodu pro hodnocení investic. Čistá současná hodnota představuje rozdíl mezi aktualizovanou (nebo současnou) hodnotou peněžních příjmů z investice a aktualizovanou hodnotou kapitálových výdajů na investice (Valach, 1997).

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

$\check{\text{CSH}}$  – čistá současná hodnota [Kč]

$n$  – doba životnosti [roky]

$CF_t$  – předpokládané Cash Flow [Kč]

$t$  – rok života projektu [1]

$i$  – úroková míra [1]

Příjmy v jednotlivých letech životnosti se vypočtou pomocí peněžních toků (Cash Flow). Systém s větší čistou současnou hodnotou se považuje za výhodnější. Všechny varianty s čistou současnou hodnotou vyšší než 0 jsou přípustné, zajišťují totiž požadovanou míru výnosu. Tato metoda je efektivní při výběru mezi projekty, jejich srovnání nebo varianty, podmínkou je ale jejich shodná doba životnosti. Největším problémem je u této metody stanovení správné diskontní sazby, ta totiž významně ovlivňuje výslednou hodnotu (Valach, 1997).

## **4. Metodika**

### **4.1 Použité substráty**

#### **Pšeničná sláma**

Zkoumaným substrátem byla sláma ozimé pšenice (odrůda Alka, sklizená v roce 2009, vlhkost 9,8%) ze zemědělského podniku VOŠ a SzeŠ Tábor v Měšicích (Česká republika).

#### **Inokulát**

Inokulát (sušina 1.151%, pH při 38°C = 6,7; pH při 51°C = 6,8, hustota = 1157 kg/m<sup>3</sup>) 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.

#### **Hydrolyzační činidlo**

Jako hydrolyzační činidlo byla použita 65% kyselina dusičná (HNO<sub>3</sub>) z BiomassTechnology a.s., Hulín (Česká republika).

#### **Neutralizační činidlo**

Uhličitan vápenatý (CaCO<sub>3</sub>) a hydroxid sodný (NaOH) dodány firmou MERCI s.r.o., Brno (Česká republika)

## 4.2 Použité zařízení

### Briketovací lis

Briketovací lis vyrábí společnost GreenEnergy, Vlčkov (Česká republika). Slámu a jiné materiály je třeba nejdříve nadrtit na velikost 1-2 mm a poté se z ní 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 zpracovány 16,5-19,5 MJ/kg.

**Obrázek č. 6:** Briketovací lis na výrobu pelet JGE 120

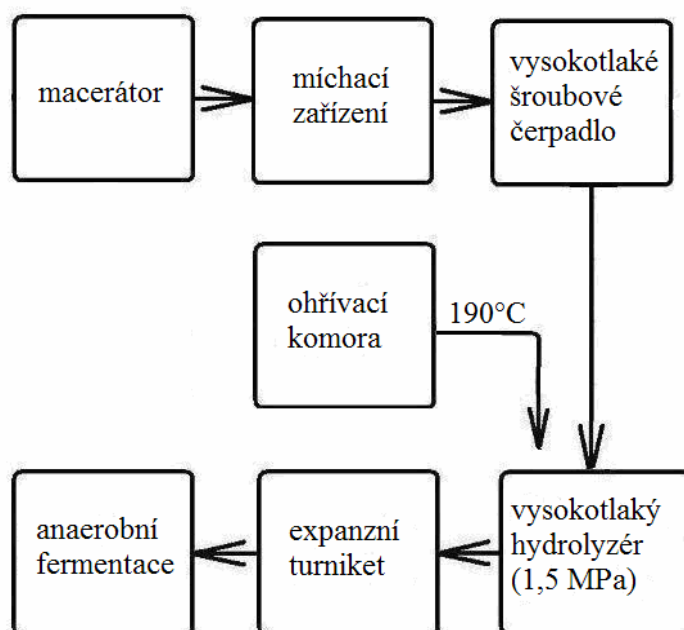


(GreenEnergy, 2009)

### Technologie vysokotlaké hydrolýzy

Technologie podle obrázku č. 7 ke kontinuálnímu zpracování materiálů je tvořena vysokotlakým šroubovým čerpadlem dezintegrovaného materiálu ústícím do vysokotlakého hydrolyzéry (obrázek č. 8) dimenzovaného na maximální tlak 3,5 MPa, který má na vstupu ohřívač materiálu (ohřívací komora) a je opatřen vnitřním šnekem pro přímou dopravu materiálu. Přitom na hydrolyzér navazuje expanzní turniket ústící do expanzní nádoby.

**Obrázek č. 7:** Schéma technologie vysokotlaké hydrolýzy



(Maroušek, 2012)

Součástí zařízení vysokotlaké hydrolýzy je vysokotlaký hydrolyzér firmy Pharmix s.r.o., Kroměříž (Česká republika), které slouží k úpravě fytomasy metodou tlakové hydrolýzy. Důležitým návrhovým parametrem je pracovní teplota. Měřenými provozními veličinami je tlak a teplota uvnitř hydrolyzéra. Jedná se o tlakově stabilní nádobu. Během hydrolýzy vznikají organické kyseliny, protože jsou dávkovány anorganické kyseliny. S přihlédnutím na složení hydrolyzovaného substrátu byla zvolena výchozím materiálem chromniklová austenitická ocel legovaná titanem a molybdenem dle EN10088 s označením X10CrNiTi18-10, její český ekvivalent ČSN 17 347.

**Obrázek č. 8:** Konstrukční řešení vysokotlakého hydrolyzérou firmy Pharmix

S.r.o.



(Pharmix, 2010)

### **pH metr**

Kompaktní měřicí přístroj od firmy Voltcraft, Praha – Malešice (Česká republika) k rychlé a jednoduché kontrole hodnoty pH. Měření je založeno na elektrochemickém principu. Využívá se kombinace dvou elektrochemických článků, jejichž napětí se mění s hodnotou pH. Tyto články se umísťují společně do jedné kombinované elektrody. Má 1-bodovou kalibraci s rozsahem měření 0 až 14 pH a přesností  $\pm 0,01$  pH. Napájen je 9 V baterií, pracuje v teplotách 0 až 50°C. Rozměry přístroje jsou výška X šířka X délka (158 X 40 X 34 mm) a hmotnost 85g.

**Obrázek č. 9:** pH metr firmy Voltcraft PHT 01 ATC



(Voltcraft, 2012)

## Anaerobní fermentor

Automatický monitorovací anaerobní fermentor Stix 30L (obrázek č. 10), vyvinul Maroušek pro firmu BiomassTechnology a.s., Tábor (Česká republika). Horní nádoba je hlavním reaktorem, který byl v rámci simulací temperován na teplotu 51°C. Teplota, pH, metan (CH<sub>4</sub>), oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), kyslík (O<sub>2</sub>) a sirovodík (H<sub>2</sub>S) jsou průběžně monitorovány systémem čidel a posílány přes WiFi (802.11b/g) do laboratorního serveru. Teplota je automaticky balancována pomocí čtyř termostatových snímačů. První je umístěn v dolní části reaktoru, druhý v krytu reaktoru, třetí a čtvrtý snímač je umístěn uvnitř reaktoru ve výšce 5 a 20cm. Hodnota pH byla sledována čidly umístěnými vedle vnitřních snímačů. Plyny metan (CH<sub>4</sub>), oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), kyslík (O<sub>2</sub>) a sirovodík (H<sub>2</sub>S) byly snímány analyzátozem GA 3000, který je vybaven technologií pracující s infračerveným detektorem a elektrochemickými senzory (Chromservis s.r.o., Praha, Česká republika). Odebírání vzorků mastných kyselin (octové (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>), propionové (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>), isomáselné (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>), máselné (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>), isovalerové (C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>) a kapronové (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub>)) je umožněno ručně pomocí víka. Potrubí, které je vedeno na levé straně spojuje horní a spodní fermentor, slouží k průchodu digestátu. Ve spodním fermentoru je za stejných provozních parametrů pouze sledována zbývající produkce metanu (CH<sub>4</sub>) a oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>).

**Obrázek č. 10:** Automatický monitorovací anaerobní fermentor Stix



(Pharmix, 2010)



## 4.3 Použitý software

### **ZunZun.com**

Webová aplikace od autora Jamese R. Phillipse, Birmingham (Alabama, USA) pracuje na operačním serveru Linode Platform Manager s programovacím jazykem Python 3.3.0. Aplikace umožňuje online vygenerovat 2D nebo 3D křivkové a povrchové grafy podle zadaných dat do os X, Y a Z. Obsahuje rozsáhlý soubor analýz odchylek a odchylkových histogramů, odchylkových grafů, křivkových grafů, povrchových grafů a vrstevnicových grafů. Ke každému grafu podle zvolené funkce automaticky vygeneruje z množiny funkcí polynom, podle kterého můžeme vypočítat hledané extrémy. Celá aplikace je dostupná na internetových stránkách [www.zunzun.com](http://www.zunzun.com). Aplikace je pouze v anglickém jazyce.

### **MATLAB verze 7.0.1**

**MATLAB** (**matrix laboratory**) je matematický program pracující v interaktivním programovém prostředí a skriptovacím programovacím jazyce čtvrté generace, byl vyvinut společností MathWorks s.r.o. se sídlem Natick (Massachusetts, USA). 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. Původně byl jazyk určen pro matematické účely, ale časem byl upraven, byly přidány nové funkce a rozšíření. Hlavní oblastí využití jsou technické obory a ekonomie.

Programovací jazyk Matlab je integrované prostředí, které je určeno pro vědeckotechnické účely, simulace, paralelní výpočty apod. Zahrnuje výpočty, vizualizaci a programování do uživatelsky ovladatelného prostředí. Problémy a řešení jsou nejčastěji vyjádřeny pomocí známých matematických vztahů. Typické oblasti použití: inženýrské výpočty, tvorba algoritmů, modelování a simulace, analýza dat, vědecká a inženýrská grafika, tvorba aplikací (včetně grafického rozhraní).

## 4.4 Vlastní postup

1) pšeničná sláma je automatickým podavačem drcena na velikost 1-2 mm a následovně peletována na průměr 6 mm s obvyklou délkou peletek 8 až 18 mm,

2) peletovaná sláma je pásovým dopravníkem automaticky nakládána do macerátoru, odkud postupuje do míchacího zařízení, kde se smíchá s vodou pro dosažení optimálního hydromodulu 1:7 (sláma : voda),

3) získaná řídká kaše je pod tlakem tažena z míchacího zařízení do vysokotlakého šroubového čerpadla,

4) z vysokotlakého šroubového čerpadla jde do vysokotlakého hydrolyzéry, kde je hydrolyzována při třech různých tlacích (0.903 MPa, 1.376 MPa, 1.727 MPa), otáčky vnitřní šroubovice kontinuálního vysokotlakého reaktoru byly nastaveny na konstantní rychlost, která ve všech případech zajišťovala bodu zdržení substrátu v reaktoru po dobu 500s, čemuž za daných podmínek odpovídá teplota v rozmezí 160-210°C,

5) hydrolyzát po uvolnění z vysokotlakého hydrolyzéry vylétá do expanzního turniketu,

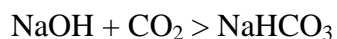
6) pomocí uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) jsou 100g vzorky (v sušině) hydrolyzátu neutralizovány na  $\text{pH}=7$  a poté týden sušeny v 75°C a následně nasyceny na maximální retenční kapacitu,

7) zneutralizovaný hydrolyzát je umístěn do skleněné nádoby s rovným dnem (1) (obrázek č. 11),

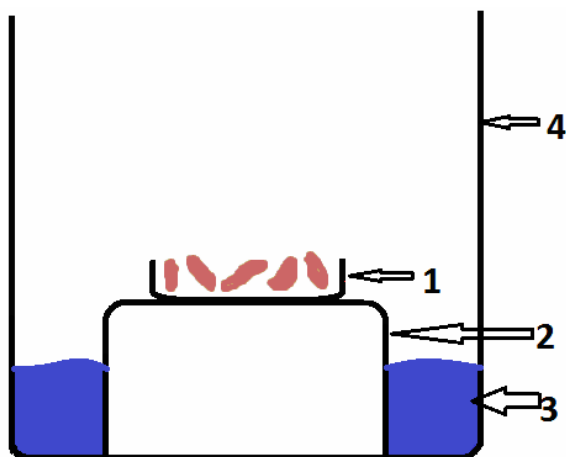
8) skleněná nádoba s rovným dnem (1) je umístěna na převrácenou větší mísu (2), která je umístěna do nádoby (4),

9) prostor pod skleněnou nádobou s rovným dnem (1) je vyplněn 1M hydroxidem sodným ( $\text{NaOH}$ ) (3),

10) hustota oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2=1,951 \text{ kg/m}^3$ ) je vyšší než hustota vzduchu ( $\text{O}_2=1,276 \text{ kg/m}^3$ ), proto zhruba týden za pokojové teploty reaguje hydroxid sodný ( $\text{NaOH}$ ) podle rovnice:



**Obrázek č. 11:** Schéma aparátu sestaveného k detekci produkce oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) z neutralizovaného hydrolyzátu

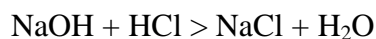


1 – skleněná nádoba s rovným dnem s obsahem hydrolyzátu nasyceného na maximální retenční kapacitu, 2 – velká mísa, 3 – dno nádoby vyplněno 1M hydroxidů sodného (NaOH), 4 – nádoba

(Autor)

11) před titrací byl vzniklý uhličitán sražen roztokem chloridu barnatého (BaCl<sub>2</sub>) na bílý uhličitán barnatý (BaCO<sub>3</sub>),

12) vyšší produkce oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) se při titraci projeví vyšší spotřebou kyseliny chlorovodíkové (HCl) v neutralizaci, nulová produkce oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) je pak přímo úměrná 1M spotřeby kyseliny chlorovodíkové (HCl) podle rovnice:



13) získané výsledky spotřeby 1M kyseliny chlorovodíkové (HCl) byly vloženy do webové aplikace ZunZun.com, kde byl zadán 3D graf s funkcí Function Finder,

14) aplikace vygenerovala seznam grafů, pro nejvhodnější výběr byla zvolena metoda určení přesnosti virtuálního modelu Root Mean Square Error – RMSE, která měří rozptyl rozdělení četnosti odchylek mezi původními výškovými daty,

15) byla vybrána taková aproximační funkce, která vykazovala nejmenší odchylky při aproximaci dat analyzovaných v matematickém programu MATLAB, kde do polynomu byla vložena získaná data a s přesností danou limity programu aproximovány ohniska lokálních extrémů,

16) v oblastech podezřelých na lokální extrémy proběhlo ověřování na produkci metanu,

17) v podezřelých oblastech proběhla hydrolyza při třech různých tlacích (0.903 MPa, 1.376 MPa, 1.727 MPa), otáčky vnitřní šroubovice kontinuálního vysokotlakého reaktoru byly nastaveny na konstantní rychlost, která ve všech případech zajišťovala bodu zdržení substrátu v reaktoru po dobu 500s, čemuž za daných podmínek odpovídá teplota v rozmezí 160-210°C,

18) zneutralizovaný hydrolyzát byl podroben anaerobní fermentaci v automatickém monitorovacím anaerobním fermentoru Stix (obrázek č. 10) po dobu 35 dnů,

19) bilance hydrolyzátu a inokulátu byla vybalancována v poměru sušiny 20:1 (hydrolyzát : inokulát),

20) následně došlo k zředění s vodou (H<sub>2</sub>O) z důvodů snížení sušiny na 10% (požadavky bioplynové stanice),

21) fermentace probíhala v termofilním procesu při teplotě 51°C,

22) kumulativní produkce metanu (CH<sub>4</sub>) a oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) je automaticky přepočítána na teplotu 0°C a tlak 101 325 Pa,

23) získané výsledky produkce metanu (CH<sub>4</sub>) byly vyhodnoceny stejně jako v předchozím mapování (viz body 12-15).

## 5. Výsledky

### 5.1 Mapování produkce oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)

1) Tlak **0,903 MPa**

**Tabulka č. 7:** Hodnoty získané při mapování produkce oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)

osa X	osa Y	osa Z
Sušina (%)	pH hydrolyzátu	Spotřeba HCl (mL)
4,146	3,455	87,439
4,146	4,723	89,753
4,146	5,186	90,864
9,234	3,455	88,245
9,234	4,723	90,043
9,234	5,186	92,764
16,857	3,455	89,973
16,857	4,723	90,411
16,857	5,186	93,967

Získané hodnoty z tabulky byly vloženy do webové aplikace  
[www.zunzun.com](http://www.zunzun.com) (Autor)

Polynom zadaný v MATLABU:

$$z = a(cx + d)^3 - b(cx + d)(fy + g)^2 + \text{Offset}$$

Hodnoty:

$$a = 5.2355342971720654E-04;$$

$$b = -5.6179045066300248E-01;$$

$$c = 2.4855631170607240E-01;$$

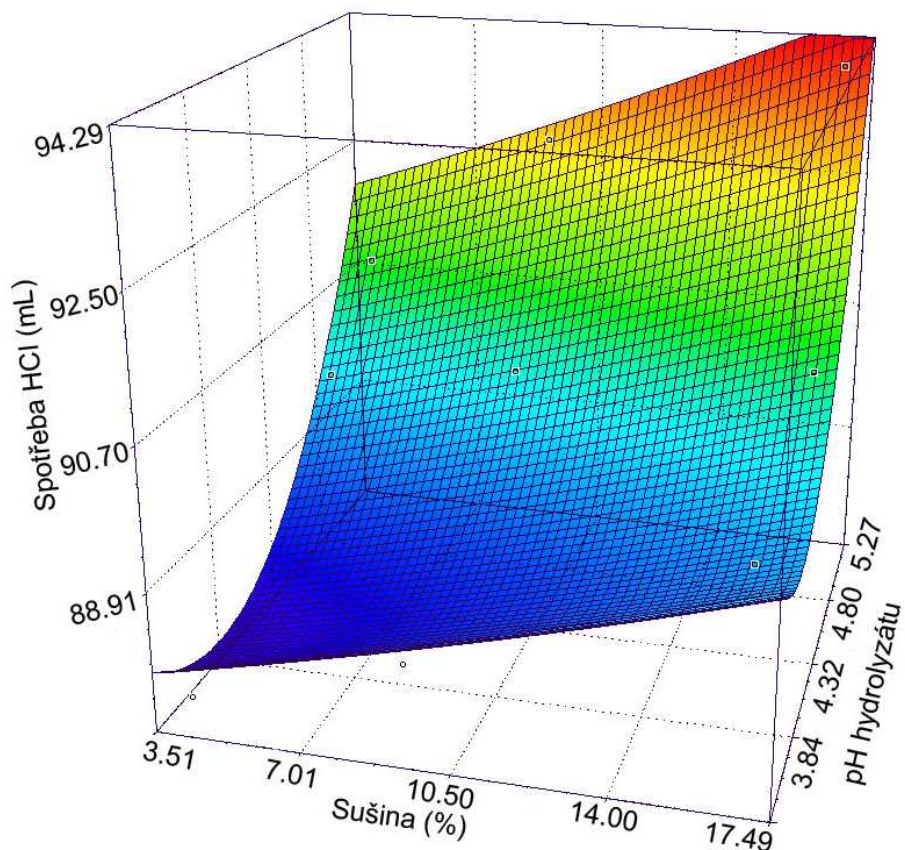
$$d = 1.5728967927334690E+01;$$

$$f = 4.9231220260737812E-01;$$

$$g = -1.8994476107445222E+00;$$

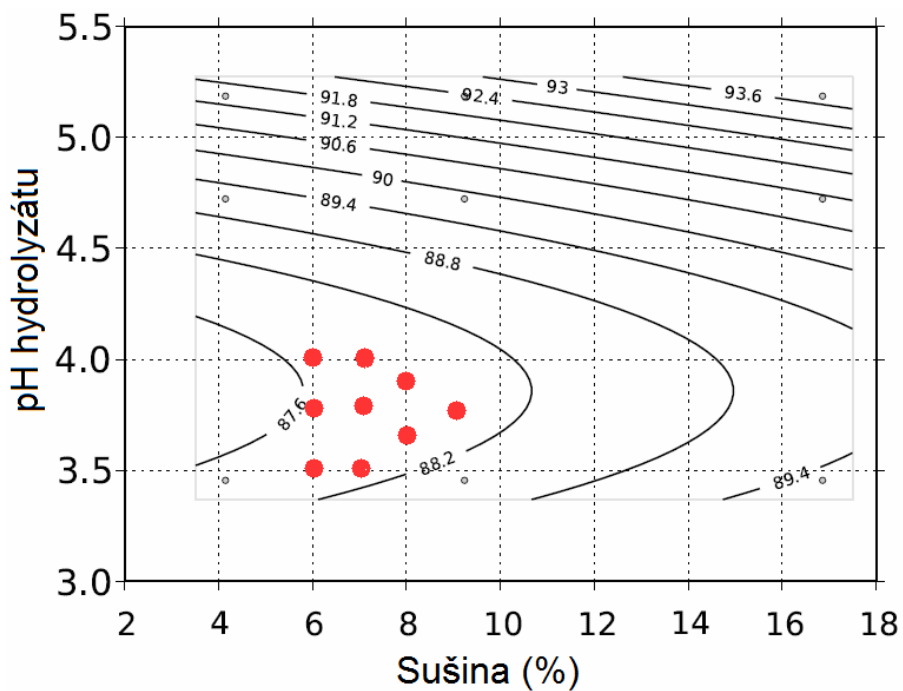
$$\text{Offset} = 8.4949158874219947E+01;$$

**Graf č. 2:** 3D graf mapování produkce oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)



Graf vygenerovaný v aplikaci při zadané funkci Function Finder (Autor)

**Graf č. 3:** Vyznačení lokálních extrémů aproximací ve vrstevnicovém grafu



Jako vrstevnice je zakreslena spotřeba kyseliny chlorovodíkové (HCl) v (mL) (Autor)

**Tabulka č. 8:** Body lokálních extrémů definované při tlaku 0,903 MPa

Bod	Sušina (%)	pH hydrolyzátu
1.	6	4
2.	6	3,75
3.	6	3,5
4.	7	4
5.	7	3,75
6.	7	3,5
7.	8	3,8
8.	8	3,6
9.	9	3,75

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

## 2) Tlak 1,376 MPa

**Tabulka č. 9:** Hodnoty získané při mapování produkce oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)

osa X	osa Y	osa Z
Sušina (%)	pH hydrolyzátu	Spotřeba HCl (mL)
5,202	3,109	84,563
5,202	4,582	84,976
5,202	5,324	85,003
9,137	3,109	84,976
9,137	4,582	85,386
9,137	5,324	86,976
18,532	3,109	88,577
18,532	4,582	89,642
18,532	5,324	91,865

Získané hodnoty z tabulky byly vloženy do webové aplikace  
[www.zunzun.com](http://www.zunzun.com) (Autor)

Polynom zadaný v MATLABU:

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

Hodnoty:

$$a = 5.2812064426854796E+01; \quad b = 1.7075291617213427E+01;$$

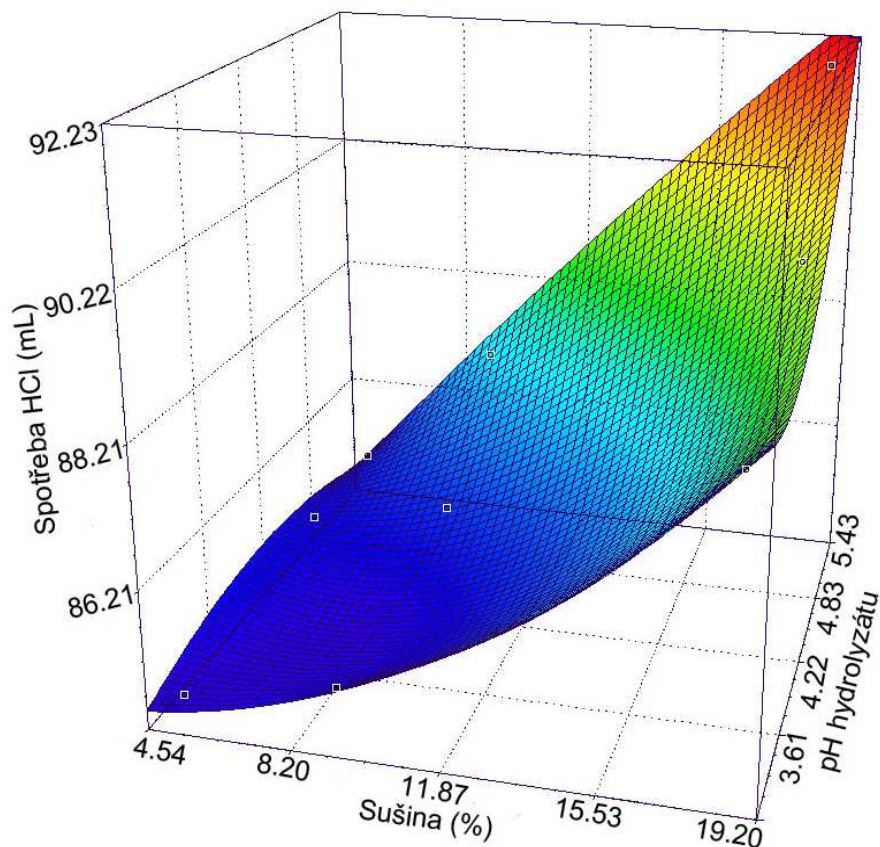
$$c = -2.1611763425772725E+00; \quad d = 6.8195483546243558E+00;$$

$$f = -3.7515256345725154E+00; \quad g = 4.8102172611728378E-01;$$

$$h = -2.2782970053118057E-01; \quad i = 1.3184096602652184E-01;$$

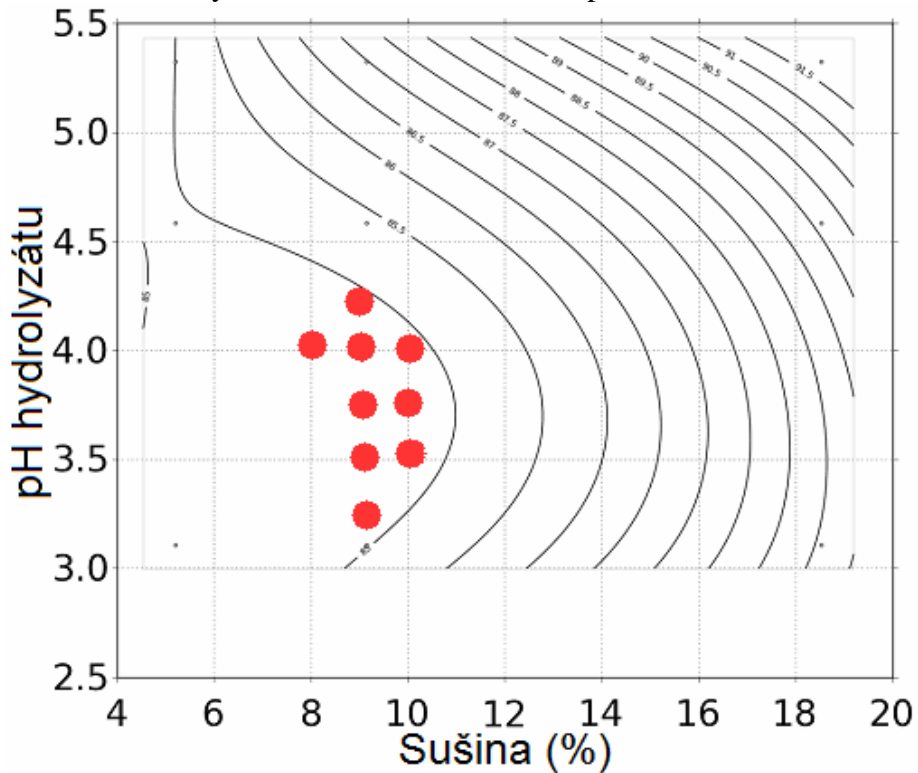
$$j = -1.6675524308055856E-02;$$

**Graf č. 4:** 3D graf mapování produkce oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)



Graf vygenerovaný v aplikaci při zadané funkci Function Finder (Autor)

**Graf č. 5:** Vyznačení lokálních extrémů aproximací ve vrstevnicovém grafu



Jako vrstevnice je zakreslena spotřeba kyseliny chlorovodíkové (HCl) v (mL) (Autor)



**Tabulka č. 10:** Body lokálních extrémů definované při tlaku 1,376 MPa

Bod	Sušina (%)	pH hydrolyzátu
1.	8	4
2.	9	4,2
3.	9	4
4.	9	3,7
5.	9	3,5
6.	9	3,25
7.	10	4
8.	10	3,7
9.	10	3,5

Lokální extrémů jsou vypisovány z grafu č. 5 zleva doprava, zhora dolů (Autor)

### 3) Tlak **1,727 MPa**

**Tabulka č. 11:** Hodnoty získané při mapování produkce oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)

osa X	osa Y	osa Z
Sušina (%)	pH hydrolyzátu	Spotřeba HCl (mL)
3,872	3,238	90,562
3,872	4,623	90,675
3,872	5,308	90,865
8,849	3,238	90,123
8,849	4,623	89,865
8,849	5,308	89,964
17,823	3,238	89,653
17,823	4,623	88,854
17,823	5,308	89,345

Získané hodnoty z tabulky byly vloženy do webové aplikace [www.zunzun.com](http://www.zunzun.com) (Autor)

Polynom zadaný v MATLABU:

$$z = a + bx + c/y + dx^2 + f/y^2 + gx/y$$

Hodnoty:

$$a = 9.8581504635826050E+01;$$

$$b = -3.0590235965063545E-01;$$

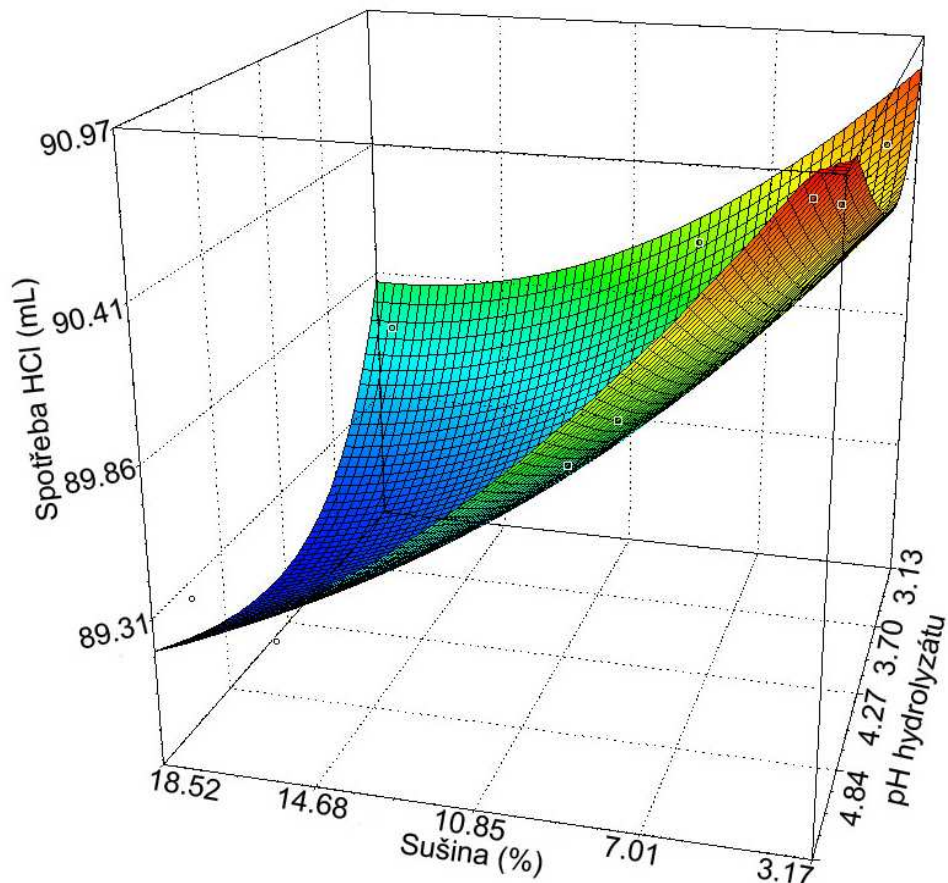
$$c = -5.6394769378759399E+01;$$

$$d = 4.7303127726421312E-03;$$

$$f = 1.0557314246181156E+02;$$

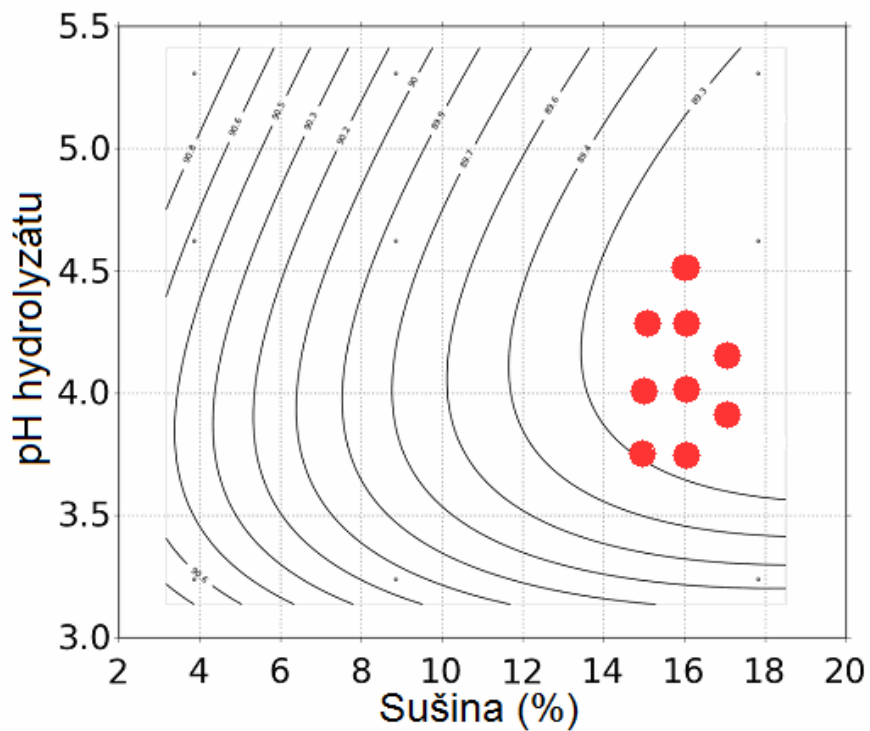
$$g = 4.2772401069176152E-01;$$

**Graf č. 6:** 3D graf mapování produkce oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)



Graf vygenerovaný v aplikaci při zadané funkci Function Finder (Autor)

**Graf č. 7:** Vyznačení lokálních extrémů aproximací ve vrstevnicovém grafu



Jako vrstevnice je zakreslena spotřeba kyseliny chlorovodíkové (HCl) v (mL) (Autor)

**Tabulka č. 12:** Body lokálních extrémů definované při tlaku 1,727 MPa

Bod	Sušina (%)	pH hydrolyzátu
1.	15	4,25
2.	15	4
3.	15	3,75
4.	16	4,5
5.	16	4,25
6.	16	4
7.	16	3,75
8.	17	4,15
9.	17	3,85

Lokální extrémů jsou vypisovány z grafu č. 7 zleva doprava, zhora dolů  
(Autor)

## 5.2 Mapování produkce metanu (CH<sub>4</sub>)

### 1) Tlak 0,903 MPa

**Tabulka č. 13:** Hodnoty získané při mapování produkce metanu (CH<sub>4</sub>)

osa X	osa Y	osa Z
Sušina (%)	pH hydrolyzátu	Produkce metanu (m <sup>3</sup> )
4,146	3,455	366,53
4,146	4,723	369,91
4,146	5,186	371,2
9,234	3,455	352,34
9,234	4,723	353,23
9,234	5,186	357,38
16,857	3,455	346,09
16,857	4,723	349,34
16,857	5,186	336,45

Získané hodnoty z tabulky byly vloženy do webové aplikace  
[www.zunzun.com](http://www.zunzun.com) (Autor)

Zadaný polynom v MATLABU:

$$z = (a + bx + cy + dxy)/(1 + f*\ln(x) + g*\ln(y) + h*\ln(x)*\ln(y))$$

Hodnoty:

$$a = 4.4238635703788918E+02;$$

$$b = 9.7781218114020394E+00;$$

$$c = -2.0850580988786309E+01;$$

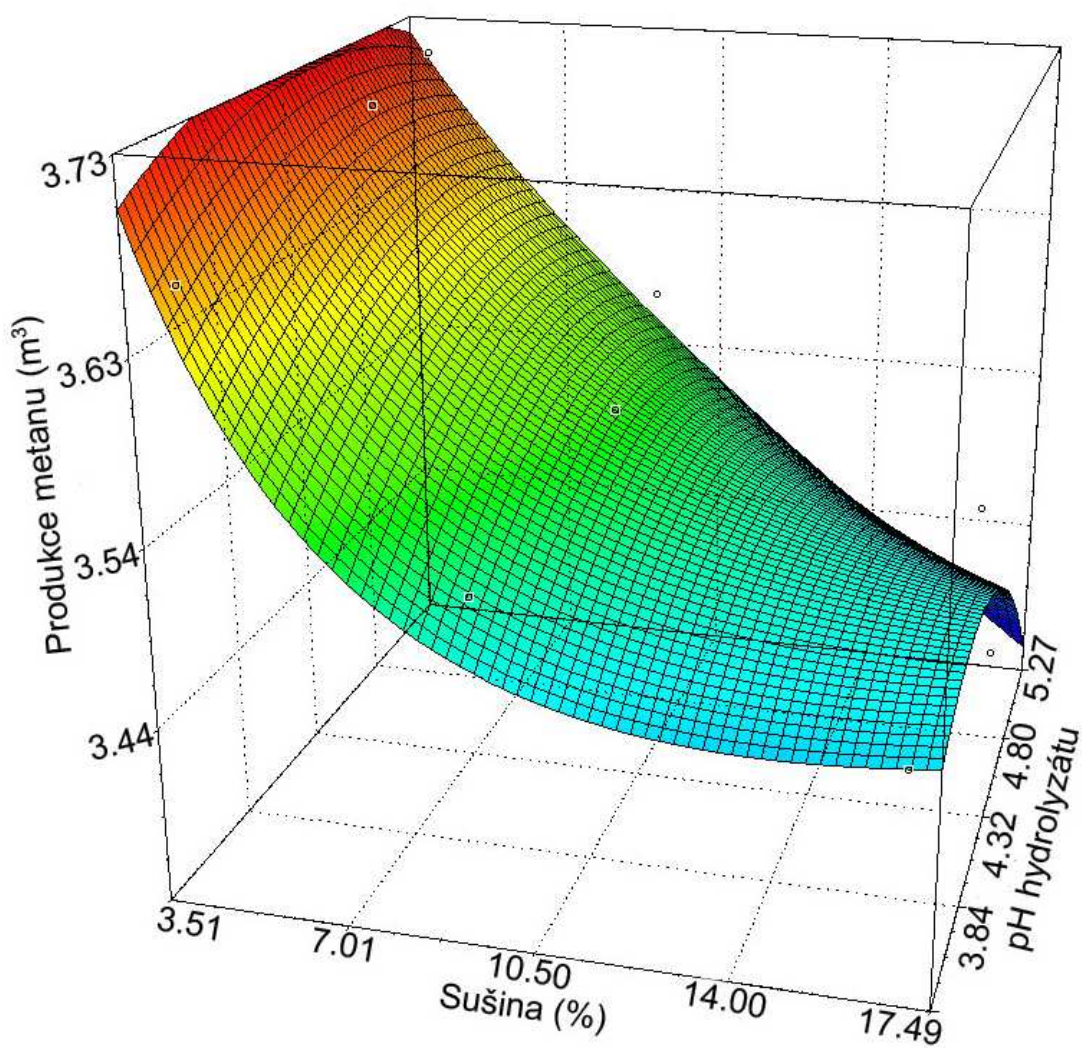
$$d = -2.1532027483854490E+00;$$

$$f = 3.4619203691041683E-01;$$

$$g = -8.5957949877174283E-02;$$

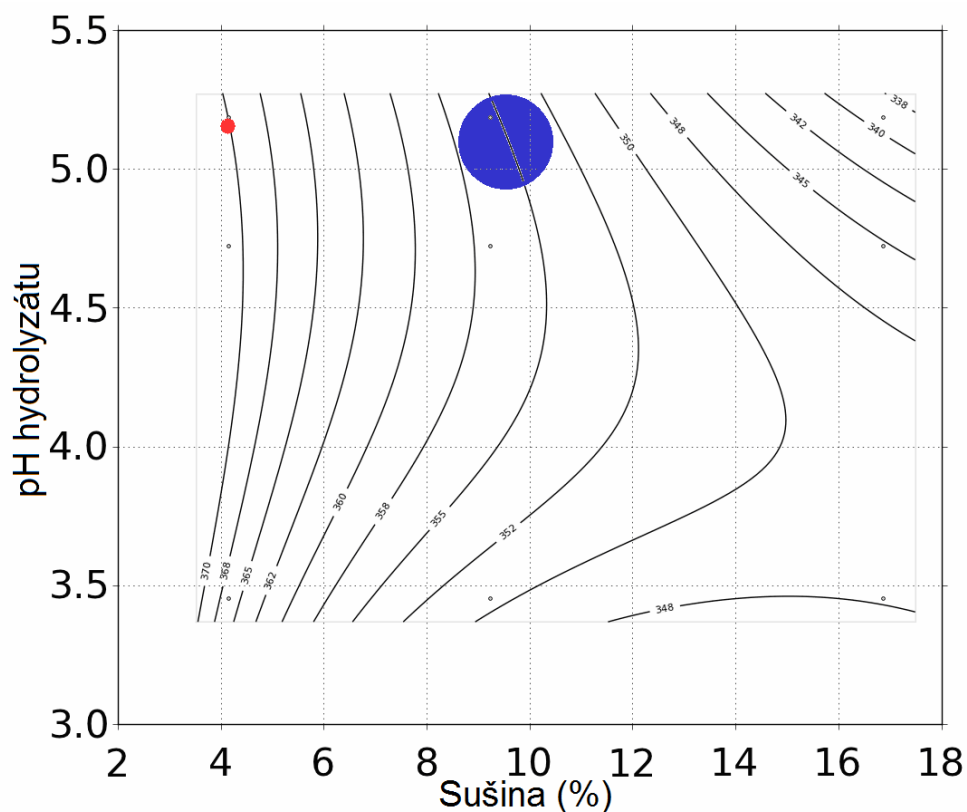
$$h = -1.9778940749768348E-01;$$

**Graf č. 8:** 3D graf mapování produkce metanu (CH<sub>4</sub>)



Graf vygenerovaný v aplikaci při zadané funkci Function Finder (Autor)

**Graf č. 9:** Vyznačení produkce metanu (CH<sub>4</sub>) ve vrstevnicovém grafu



Jako vrstevnice je zakreslena produkce metanu (m<sup>3</sup>)

● - největší produkce metanu (CH<sub>4</sub>) je dosahováno při sušině 4,15% a pH hydrolyzátu 5,19

● - optimální produkce metanu (CH<sub>4</sub>) (Autor)

2) Tlak **1,376 MPa**

**Tabulka č. 14:** Hodnoty získané při mapování produkce metanu (CH<sub>4</sub>)

osa X	osa Y	osa Z
Sušina (%)	pH hydrolyzátu	Produkce metanu (m <sup>3</sup> )
5,202	3,109	352,85
5,202	4,582	347,39
5,202	5,324	349,72
9,137	3,109	350,83
9,137	4,582	354,57
9,137	5,324	352,06
18,532	3,109	337,91
18,532	4,582	339,61
18,532	5,324	348,4

Získané hodnoty z tabulky byly vloženy do webové aplikace

[www.zunzun.com](http://www.zunzun.com) (Autor)

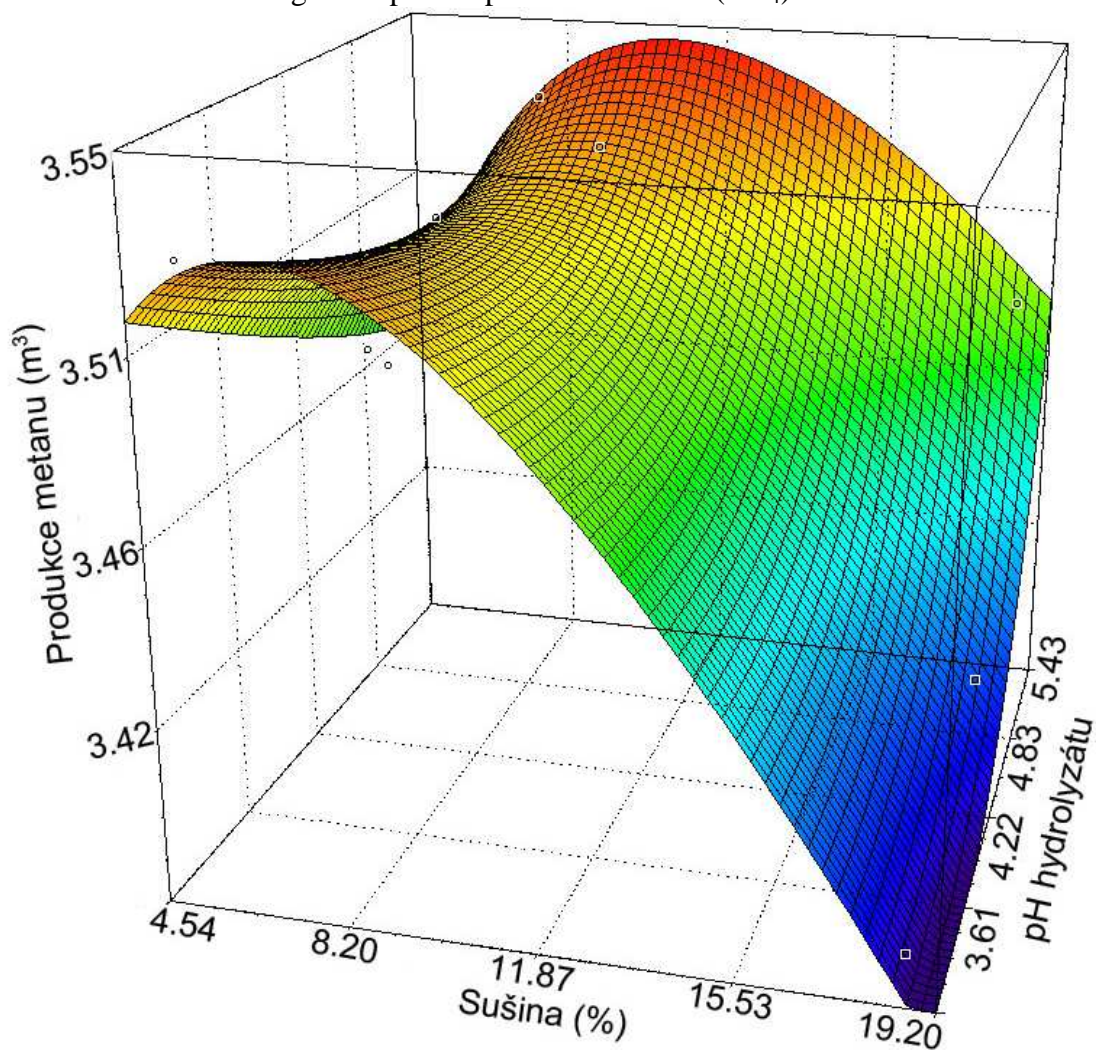
Polynom použitý v MATLABU:

$$z = (a + b \cdot \ln(x) + c \cdot \exp(y) + d \cdot \ln(x) \exp(y)) / (1 + fx + gy + hxy) + \text{Offset}$$

Hodnoty:

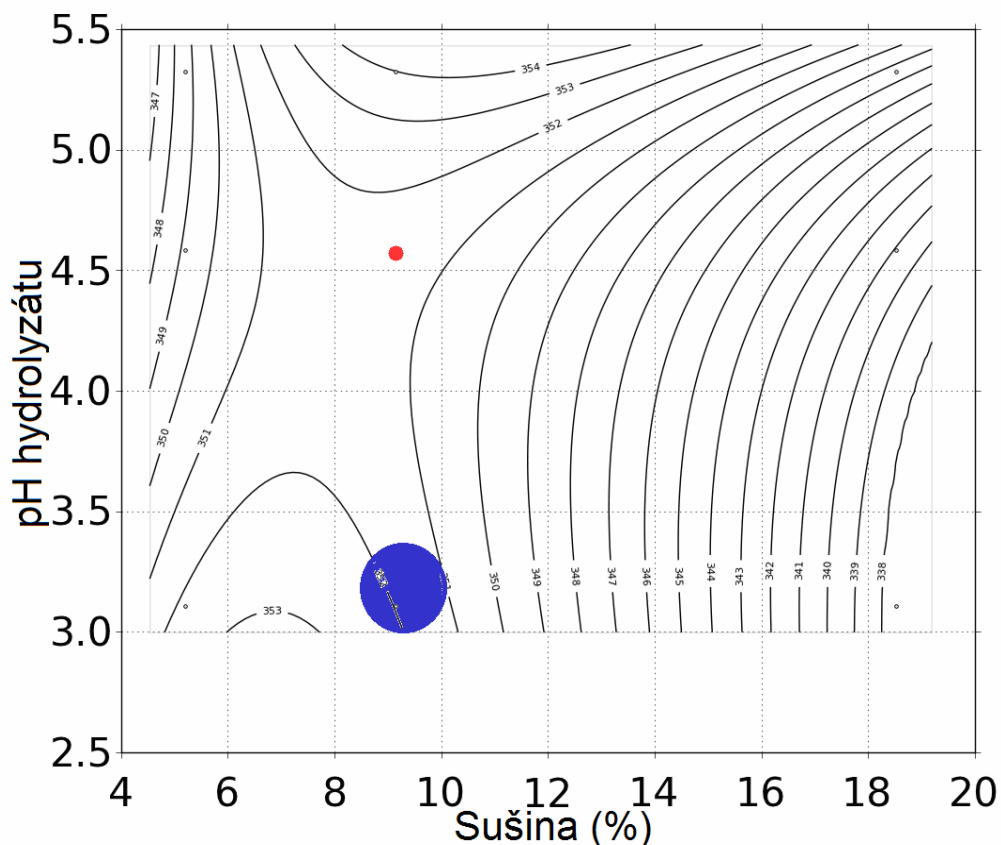
$a = 3.5827044185659892E+04;$	$b = 2.1037116700955330E+01;$
$c = -5.9696469196759638E-02;$	$d = 4.4714584574865858E-02;$
$f = 9.9291741504382142E-05;$	$g = 9.3556776340263407E-05;$
$h = -3.1419872250699830E-06;$	$\text{Offset} = -3.5482759947399383E+04;$

**Graf č. 10:** 3D graf mapování produkce metanu (CH<sub>4</sub>)



Graf vygenerovaný v aplikaci při zadané funkci Function Finder (Autor)

**Graf č. 11:** Vyznačení největší produkce metanu (CH<sub>4</sub>) ve vrstevnicovém grafu



Jako vrstevnice je zakreslena produkce metanu (m<sup>3</sup>)

● - největší produkce metanu (CH<sub>4</sub>) je dosahováno při sušině 9,14% a pH hydrolyzátu 4,58

● - optimální produkce metanu (CH<sub>4</sub>) (Autor)

### 3) Tlak **1,727 MPa**

**Tabulka č. 15:** Hodnoty získané při mapování produkce metanu (CH<sub>4</sub>)

osa X	osa Y	osa Z
Sušina (%)	pH hydrolyzátu	Produkce metanu (m <sup>3</sup> )
3,872	3,238	188,73
3,872	4,623	190,02
3,872	5,308	191,58
8,849	3,238	169,21
8,849	4,623	172,82
8,849	5,308	177,21
17,823	3,238	179,72
17,823	4,623	146,92
17,823	5,308	155,82

Získané hodnoty z tabulky byly vloženy do webové aplikace

[www.zunzun.com](http://www.zunzun.com) (Autor)

Polynom použitý v MATLABU:

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

Hodnoty:

$$a = 2.9580908464147893E+02;$$

$$b = -3.5809423061595027E+01;$$

$$c = 3.4876489030395899E+00;$$

$$d = -3.6630062939791927E+01;$$

$$f = 1.2415925310397288E+01;$$

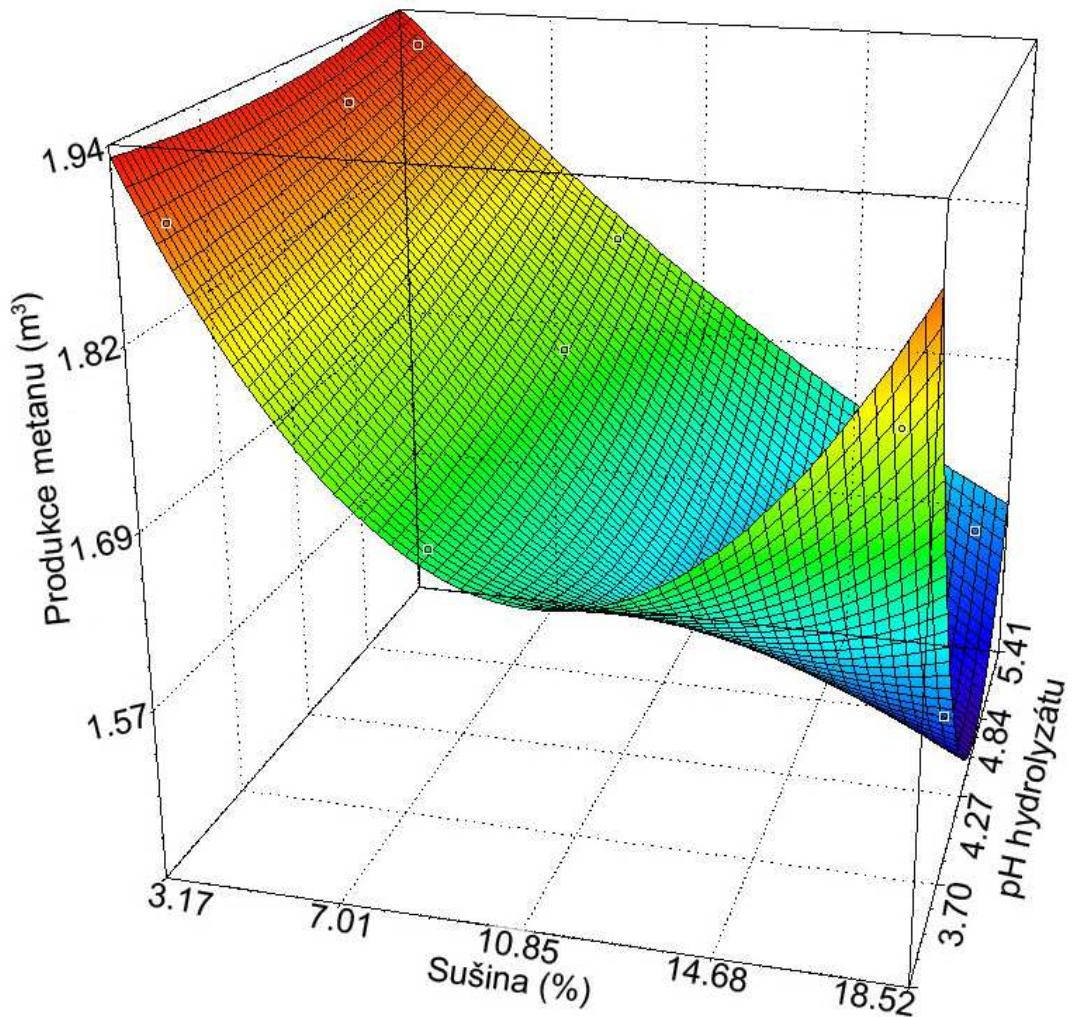
$$g = -1.1577790572580833E+00;$$

$$h = 2.7660714929655512E+00;$$

$$i = -1.0968932689155446E+00;$$

$$j = 1.0975545424344801E-01;$$

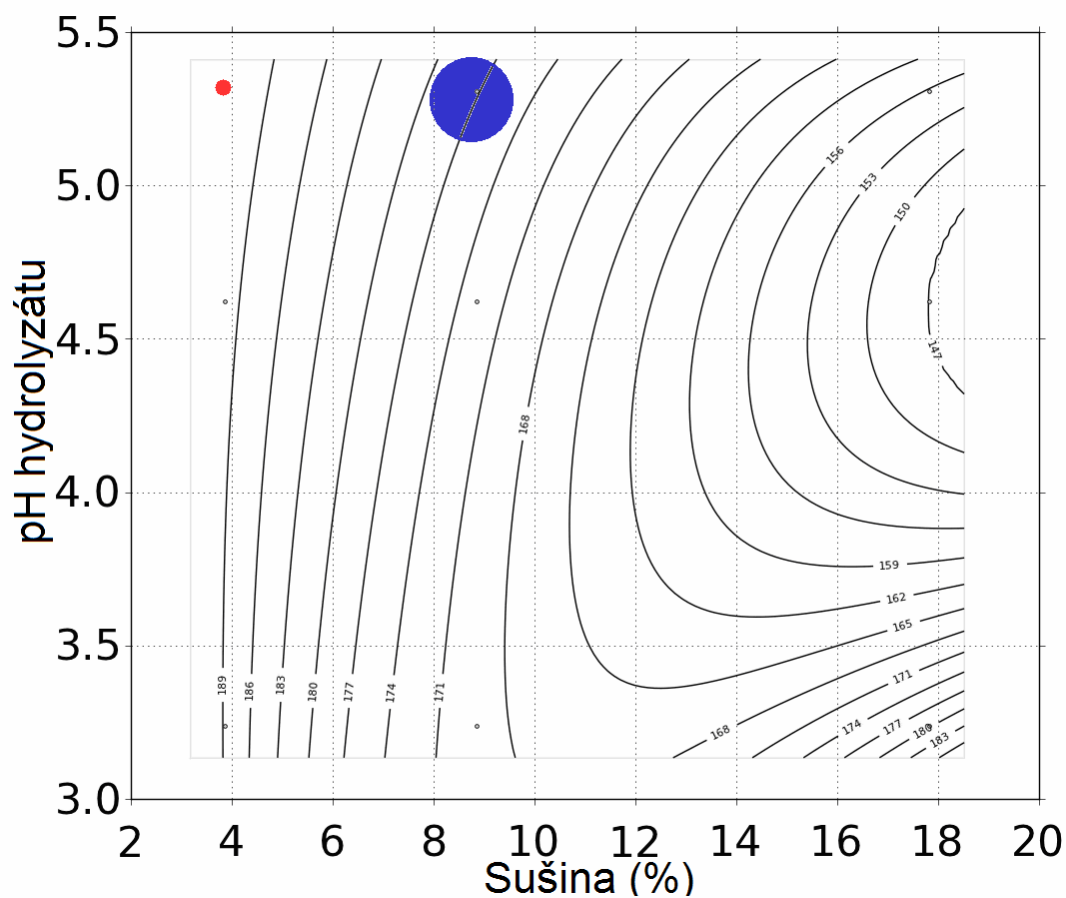
**Graf č. 12:** 3D graf mapování produkce metanu (CH<sub>4</sub>)



Graf vygenerovaný v aplikaci při zadané funkci Function Finder (Autor)



Graf č. 13: Vyznačení největší produkce metanu (CH<sub>4</sub>) ve vrstevnicovém grafu



Jako vrstevnice je zakreslena produkce metanu (m<sup>3</sup>)

● - největší produkce metanu (CH<sub>4</sub>) je dosahováno při sušině 3,87% a pH hydrolyzátu 5,31

● - optimální produkce metanu (CH<sub>4</sub>)

(Autor)

## 6. Diskuze

Před samotnou hydrolýzou slámy je z technologického hlediska výhodná mechanická úprava materiálu. Stuart (1994) ve svém patentu diskutuje, že mechanická úprava patří mezi první kroky při zpracování fytomasy. Díky této úpravě dochází ke zvýšení účinnosti hydrolýzy o 5-25% a ke snížení doby rozkladu o 23-59%. Nevýhodou je její finanční náročnost, která se často pohybuje okolo 33% celkových výrobních nákladů. V této diplomové práci byla jako fytomasa použita pšeničná sláma, která byla upravena drcením a poté peletována. Došlo ke snížení doby zdržení o 35% a ke zvýšení odběru proudu BPS o více než 50%.

Na úpravu navazuje hydrolýza fytomasy. Protože je jako hydrolyzační činidlo použita kyselina dusičná ( $\text{HNO}_3$ ), jedná se o kyselou hydrolýzu fytomasy. Jedním z autorů zabývajících se právě kyselou hydrolýzou fytomasy je Horst (2011), který uvádí, že tento proces je závislý na koncentraci kyseliny a teplotě. Použitá kyselina by měla mít koncentraci větší než 20%. Tento výrok potvrzuje Grohmann (1995), který publikuje ve své práci, že hydrolýza horkou, zředěnou kyselinou je méně účinná. Tyto názory vyvrací Rodríguez-Chong (2003), který popisuje ve svém výzkumu kyselou hydrolýzu fytomasy za použití kyseliny dusičné ( $\text{HNO}_3$ ), kde byly stanoveny optimální podmínky a byly následující: teplota  $122^\circ\text{C}$ , 6% kyselina dusičná ( $\text{HNO}_3$ ) a retenční čas 9,3 min. V této diplomové práci byla použita kyselina o koncentraci 65% a optimální podmínky hydrolýzy byli při tlaku 1,5 MPa, retenčním čase 500 s a teplotě  $190^\circ\text{C}$ , téměř stejné podmínky zjistil i Váňa (2006) ve svém experimentu, který měl nejvyšší výtěžek zkvasitelných cukrů při hydrolýze pšeničné slámy při teplotě  $198^\circ\text{C}$ , tlaku 1,5 MPa a retenčním čase 11 minut s nástřikem kyseliny na pH 3,5.

Na hydrolýzu navazuje anaerobní fermentace, která se skládá ze 4 na sebe navazujících fází. V poslední fázi (metanogenezi) dochází k produkci metanu ( $\text{CH}_4$ ) a oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) pomocí enzymatické anaerobní přeměny. Gerndtová (2009) při sledování pokusů zjistila, že v prodloužené době zdržení (trvání po 33 dnech) dochází ke stagnaci tvorby bioplynu a poklesu obsahu metanu ( $\text{CH}_4$ ), což ukazuje vyčerpání substrátu ve fermentoru. V této diplomové práci probíhala anaerobní fermentace při termofilní teplotě  $51^\circ\text{C}$  a době zdržení 35 dní.

Pokud bychom uvažovali o aplikaci studované technologie (výroba bioplynu z pšeničné slámy pomocí vysokotlaké hydrolýzy) v zemědělském družstvu Novosedly (viz příloha), oproti stavbě BPS s technologií hydrolýzy na zelené louce v tom samém družstvu, které pěstuje pšenici ozimou na rozloze 500 ha orné půdy, byly by náklady v porovnání s původní bioplynovou stanicí následující:

**Tabulka č. 16:** Pořizovací náklady

	Původní BPS [tis. Kč]	BPS s hydrolýzou [tis. Kč]
Fermentor	15 000	7 600
Sklad digestátu	12 000	9 300
Potrubí + čerpadla	3 500	3 500
Řídící systém	4 000	4 000
Trafo stanice	5 000	5 000
Kogenerační jednotka (536 kW)	15 000	15 000
Hydrolyzér	-	17 230
Fléra	1 300	1 300
Výkopové a další práce	1 000	800
Silážní jámy	18 200	-
Sklad balíků	-	2 000
Celkem	75 000	65 730

(Autor)

Aby byly náklady na pořízení srovnatelné, snažil jsem se zachovat stejný výkon bioplynové stanice. Jak je vidět jsou náklady u BPS s hydrolýzou menší o 12%. Je to tím, že je celková doba zdržení 35 dní namísto původních 54 dní, z tohoto důvodu může být použit fermentor o polovičním objemu. Sklad digestátu může být také menší, z důvodu použité fytomasy, kdy u BPS s hydrolýzou bude použito pouze 1/3 množství fytomasy než u původní BPS. Další stavbou, která výrazně ovlivňuje náklady je stavba silážních jam. Tyto stavby nejsou potřeba, protože se jako fytomasa používá pšeničná sláma, která je lisována a skladována ve skladu, na který jsou menší pořizovací náklady. Případně lze balíky skladovat na volném prostranství přikryté pouze plachtou nebo volnou slámou. Naopak navýšení náklady je v podobě hydrolyzéro.

**Tabulka č. 17:** Roční variabilní náklady

Náklady	Původní BPS [tis. Kč]	BPS s hydrolyzou [tis. Kč]
Materiál a služby	2 276	2 200
Spotřeba fytomasy	2 665	1 700
Osobní náklady	170	150
Pojištění a odpisy	2 854	2 800
Kyselina	-	638
Celkem	7 967	7 488

(Autor)

Variabilní náklady jsou sníženy o 7%, což ovlivňují hlavně náklady na spotřebu fytomasy. Náklady za materiál a služby zahrnují povinné údržby (revize) a nahodilé opravy. Nemalou položku tvoří nákup kyseliny, která je pro hydrolyzu nepostradatelná a její cena se pohybuje kolem 70 Kč/L (cenu udává společnost MACH CHEMIKÁLIE spol. s.r.o.) se spotřebou 25 L/den.

Výnos pšeničné slámy je 4 t/ha s obsahem organické sušiny 85% hm. Cena 1 t slámy se pohybuje od 600 do 800 Kč. Zemědělské družstvo Novosedly pěstuje pšenici ozimou na rozloze 500 ha. Výnos slámy představuje 2 000 t/rok (1700 t/rok v sušině). Náklady na lisování slámy byly 250 Kč/t, celkové náklady jsou 500 tis. Kč. Aby bylo dosaženo stejného výkonu bioplynové stanice, musí se zajistit produkce bioplynu (metanu (CH<sub>4</sub>)) stále stejná. Nynější produkce bioplynu je 2 139 500 m<sup>3</sup>/rok s obsahem metanu (CH<sub>4</sub>) 49,4%, 1 056 675 m<sup>3</sup> metanu (CH<sub>4</sub>). Vyprodukovaný bioplyn pomocí této technologie obsahuje 59% metanu (CH<sub>4</sub>). Díky zvýšení obsahu metanu (CH<sub>4</sub>) v bioplynu se produkce bioplynu pomocí této technologie může snížit o 10%. Pro zachování stejné výkonnosti bioplynové stanice se musí touto technologií vyprodukovat 1 960 000 m<sup>3</sup> bioplynu což odpovídá 1 155 955 m<sup>3</sup> metanu (CH<sub>4</sub>). Z 1 t slámy se vyprodukuje v průměru 289 m<sup>3</sup> metanu (CH<sub>4</sub>), což odpovídá 490 m<sup>3</sup> bioplynu. Družstvo si vlastním zdrojem slámy zajistí produkci 980 000 m<sup>3</sup> bioplynu. Pro dosažení dostatečné produkce bioplynu bude třeba dokoupit ještě 2000 t slámy. Náklady na nákup při ceně 600 Kč/t budou 1 200 tis. Kč.

**Tabulka č. 18:** Roční ekonomická kalkulace

	Původní BPS	BPS s hydrolyzou
Produkce elektrické energie [kWh]	4 759 013	5 164 896
Náklady na 1 kWh [Kč/kWh]	0,56	0,33
Spotřebovaná elektrická energie [kWh]	419 850	682 650
Elektrická energie dodaná do sítě [kWh]	4 339 163	4 482 246
Roční hospodářský výsledek [tis. Kč]	17 877	18 466
Variabilní náklady [tis. Kč]	7 967	7 488
Čistý zisk [tis. Kč]	9 910	10 978

(Autor)

**Tabulka č. 19:** Čistá současná hodnota BPS

Rok	Úročitel	Původní BPS [tis. Kč]	BPS s hydrolyzou [tis. Kč]
1.	1,05	9 428	10 380
2.	1,1025	8 979	9 886
3.	1,1576	8 552	9 416
4.	1,2155	8 144	8 967
5.	1,2763	7 756	8 540
6.	1,3401	7 387	8 133
7.	1,4071	7 035	7 746
8.	1,4775	6 700	7 377
9.	1,5513	6 381	7 026
10.	1,6289	6 077	6 691
11.	1,7103	5 788	6 373
12.	1,7959	5 512	6 069
13.	1,8857	5 250	5 780
14.	1,9799	5 000	5 505
15.	2,0789	4 762	5 243
$\Sigma$		102 758	113 138
CF <sub>t</sub>		9 900	10 900
IN		75 000	65 730
ČSH		27 758	47 408

(Autor)

Pro výpočet čisté současné hodnoty je použita úroková míra 5% a předpokládané Cash Flow (CF) je odhadováno bez velkých nákladů na opravy.

$$\text{Úročitel} = (1+0,05)^1, (1+0,05)^2, (1+0,05)^3 \dots (1+0,05)^n$$

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

ČSH – čistá současná hodnota [Kč]

n – doba životnosti [roky]

CF<sub>t</sub> – předpokládané Cash Flow [Kč]

t – rok života projektu [1]

i – úroková míra [1]

IN – pořizovací (investiční) náklady [Kč]

Pro zhodnocení efektivnosti investice jsem uvažoval zejména metodu čisté současné hodnoty, která nejvhodněji zohledňuje skutečný vývoj peněžních toků v čase a dává jasný srozumitelný výsledek pro posouzení investičního záměru projektu. Výsledná hodnota s porovnáním s původní bioplynovou stanicí je o 19 649 tis. Kč vyšší u bioplynové stanice s hydrolýzou a proto jasně poukazuje na výhodnost realizace projektu.

## 7. Závěr

Využití technologie vysokotlaké hydrolýzy kyselinou dusičnou ( $\text{HNO}_3$ ), se pozitivně projevilo na úpravě pšeničné slámy z technologického i ekonomického hlediska. Klíčovým parametrem technologického posouzení je dynamika kumulativní produkce metanu ( $\text{CH}_4$ ) v návaznosti na sušinu a pH. Na základě výše definovaných podmínek lze konstatovat, že tlak 0,903 MPa se pohybuje v blízkosti biotechnologického maxima v návaznosti na kinetiku produkce metanu ( $\text{CH}_4$ ), kterého bylo dosaženo aproximací, za následujících podmínek: sušině 4,15% a pH 5,19 (viz tabulka č. 13), které jsou vyznačeny červenou barvou ve vrstevnicovém grafu č. 9. Nejen, že se zvýší produkce bioplynu z 1 t organické sušiny fytomasy (85% hm. fytomasy), ale také je vyšší obsah metanu ( $\text{CH}_4$ ) v bioplynu až o 10%, což zajišťuje právě mechanická úprava fytomasy.

Vhodně zvolené parametry úpravy zvyšují přístupnost celulóзовých vláken a tím zvyšují možnosti snadnějšího rozkladu dané fytomasy. Proto celé know-how této technologie spočívá v nalezení nejvhodnějších parametrů. Daná technologie se zdá být jako velice zajímavá alternativa nejen z důvodu finanční rentability, ale i ve vztahu k životnímu prostředí.

## 8. Použitá literatura

AHRING, B. K. *Perspectives for anaerobic digestion*. Biochemical Engineer/Biotechnology. 2003.

AITKEN, Donald W. *Transition to a renewable energy future*. Německo : ISES, 2003. Dostupné z WWW: <<http://whitepaper.ises.org>>.

ALVIRA, P., et al. *Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based*. Bioresource Technology. 2010.

ANGELIDAKI, I., B. K. AHRING, H. DENG a J. E. SCHMIDT. *Anaerobic digestion of olive oil mill effluents together with swine manure in UASB reactors*. Water Science & Technology. 2002.

AVELLAR, B.K. a W.G. GLASSER. *Steam assisted biomass fractionation I. Process considerations and economic evaluation*. Biomass and Bioenergy. 1998.

BABOUKANI, B. S., M. VOSSOUGH, I. ALEMZADEH. *Optimisation of dilute-acid pretreatment conditions for enhancement sugar recovery and enzymatic hydrolysis of wheat straw*. Biosystems engineering. 2011.

BATSTONE, D. J., J. KELLER, I. ANGELIDAKI, S. V. KALYUZHNYI, S. G. PAVLOSTATHIS, A. ROZZI, W. T. M. SANDERS, H. SIEGRIST a V. A. VAVILIN. *The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1)*. Water Science and Technology. 2002.

BOE, K., J-P STEYER a I. ANGELIDAKI. *Monitoring and control of the biogas process based on propionate concentration using online VFA measurement*. World Congress on Anaerobic Digestion. 2007.

BREEZE, P. *The Future of Global Biomass Power Generation*. London: Business Insights, 2004.

BRINK, D. L. *Method of treating biomass material* [patent]. 5,221,357. Uděleno 1993.



CAO, G., et al. *Acid hydrolysis of corn stover for biohydrogen production using Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum W16*. International journal of hydrogen energy. 2009.

CHOI, C. H. a A. P. MATHEWES. *Two-step acid hydrolysis process kinetics in the saccharification of low-grade biomass: 1. experimental studies on the formation and degradation of sugars*. Bioresource Technology. 1996.

CHYI, Y. T. a R. R. DAGUE. *Effects of particulate size in anaerobic acidogenesis using cellulose as a sole carbon source*. Water Environ. 1994.

DEUBLEIN, D. a A. STEINHAUSER. *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008. ISBN 978-0-471-20693-4.

DOHÁNYOS, M. *Anaerobní reaktor není černou skříňkou - teoretické základy anaerobní fermentace*. Biom.cz [online]. 2008 [cit. 2012-01-24]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>

EGGEMAN, T.; ELANDER, Richard T. *Process and economic analysis of pretreatment technologies*. USA : Bioresource Technology, 2005.

Energetický regulační úřad. In: *Cenové rozhodnutí*. 2011. Dostupné z: [http://www.eru.cz/user\\_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2011/ER%20CR%207\\_2011OZEKVETDZ.pdf](http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2011/ER%20CR%207_2011OZEKVETDZ.pdf)

FOJTÍK, M. *Využití bioplynu ve spojení s kogenerací*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické.

FRYDRYCH, J., et al. *Energetické využití některých travních druhů*. Praha : ÚZPI, 2002. ISBN 80-7271-093-1.

GERNDTOVÁ, I. a D. ANDERT. *Využití travních směsí při anaerobní digesci*. Biom.cz [online]. 2009, [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-travnich-smesi-pri-anaerobni-digesci>

GERT, E. V. *The features of nitric acid 'mercerization' of cellulose*. CELLULOSE. 2000.

GREENENERGY. In: *Peletovací lisy PROFI* [online]. 2009 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://briketovacilis.eu/peletovaci-lisy-profi#pr8>

GROENESTIJN, J. W. V. a G. M. BOS. *Process for the production of biogas* [patent]. United States. US 2010/0015680 A1. Uděleno 2010.

GROHMANN, K., et al. *Fractionation and pretreatment of orange peel by dilute acid hydrolysis*. Bioresource Technology. 1995.

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.

JAKUBES, J., et al. *Moderní využití biomasy : Technologické a logistické možnosti*. Praha : ČEA, 2006.

KHANAL, S.K. *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications*. USA: Wiley-Blackwell, 2008. ISBN-13: 978-0-8138-2346-1.

KIM, S. a M. T. HOLTZAPPLE. *Delignification kinetics of corn stover in lime pretreatment*. Bioresource Technology. 2006.

KOUDELA, V. a B. SCHEJBALOVÁ. *Ekonomická efektivnost investic*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2000.

KOLONIČNÝ, J., T. OCHODEK a M. BLANC. *Ekonomika při energetickém využívání biomasy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007.

KYSELA, L. a J. TOMČALA. *Ekonomika v energetice*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2000.

LAOPAIBOON, P., et al. *Acid hydrolysis of sugarcane bagasse for lactic acid production*. Bioresource Technology. 2010.

LIBRA, M.; POULEK, V. *Zdroje a využití energie*. Praha : ČZU, 2007. ISBN 978-80-213-1647-8.

MAROUŠEK, J. *Srovnání hydrolýzy vybraných druhů fytomasy*. České Budějovice, 2009. Dizertační práce. ZF-JCU.

MEUNIER-GODDIK, L., et al. *Physicochemical properties of pretreated poplar feedstocks during simultaneous saccharification and fermentation*. USA : Oregon State University, 1998.

MOSIER, N., C. E. WYMAN, B. D. DALE, R. T. ELANDER, Y. Y. LEE, M. HOLTZAPPLE a C. M. LADISCH. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass*. Bioresource Technology. 2005.

MOYA, A. J., et al. *Fermentation of acid hydrolysates from olive-tree pruning debris by *Pachysolen tannophilus**. Bioprocess Biosystem Engeneer. 2008.

NWT a.s. *Biotechnologie : Obnovitelné zdroje energie*. ČR, 2010. Dostupné z WWW: <[http://www.nwt.cz/lang\\_cs/clanek/4/49/21.html](http://www.nwt.cz/lang_cs/clanek/4/49/21.html)>.

OBERNBERGER, I., G. THEK a D. REITER. *Techno-economic evaluation of selected decentralized CHP applications based on biomass combustion in IEA partner countries*. Austria: Bioenergiesystem, 2004.

OCHODEK, T., J. KOLONIČNÝ, M. BRANC a P. JANÁSEK. *Ekonomika při energetickém využívání biomasy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008.

PALMQVIST, E. a B. HAHN-HÄGERDAL. *Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: Inhibitors and mechanisms of inhibition*. Bioresource Technology. 2000.

PELIKÁN, M.; SÁKOVÁ, L. *Jakost a zpracování rostlinných produktů*. České Budějovice : JCU, 2001. ISBN 80-7040-502-3.

PENTTILÄ, A. *Initialization of the Oxitop® system for biogas production tests*. TAMK University of Applied Sciences. 2009.

PHARMIX s.r.o. In: *Vybudování vývojového inovačního centra hydrolyzy biomasy* [online]. 2010 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://www.pharmix.cz/vivc/>

PHILLIPS, T. *Hydrolysis*. Biotech/Biomedical. 2012.

RAINES, R. T. a J. B. BINDER. *Biomass hydrolysis* [patent]. United States. US 2011/0065159 A1. Uděleno 2011.

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.

RODRÍGUEZ-CHONG, A., J. A. RAMÍREZ, G. GARROTE a M. VÁZQUEZ. *Hydrolysis of sugar cane bagasse using nitric acid: a kinetic assessment*. Journal of Food Engineering. 2003.

SAM-SOON, P., *Hypothesis for pelletisation in the upflow anaerobic sludge bed reactor*. Department of chemical Engineering, 1987. ISSN 0378-4738.

SEDLÁŘOVÁ, L. *Bioplynová stanice*. Kyjov, 2010.

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.

SCHINK, B. *Energetics of syntrophic cooperation in methanogenic degradation*. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 1997.

SIMS, R. *Biomass and resources bioenergy options for a cleaner environment in developed and developing countries*. Elsevier Science, London, UK, 2003.

SOMAYAJI, D. a S. KHANNA. *Biomethanation of rice and wheat straw*. World Journal of Microbiology & Biotechnology. 1994.

STAMS, A. J. M., C. M. PLUGGE, F. A. M. DE BOK, B. H. G. W. VAN HOUTEN, P. LENS, H. DAJKMAN a J. WEIJMA. *Metabolic interactions in methanogenic and sulfate-reducing bioreactors*. Water Sci Technol. 2005.

STRAKA, F., et al. *Bioplyn : příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. Říčany : GAS s.r.o., 2003. ISBN 80-7328-029-9.

STRAKA, F., et al. *Bioplyn : příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. Praha : GAS s.r.o., 2006.

STUART, E.D. *Treatment of fibrous lignocellulosic biomass by high shear forces in a turbulent Couette flow to make the biomass more susceptible to hydrolysis*. [patent]. US005370999A. Uděleno 1994.

SUN, Y. a J. CHENG. *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*. Bioresource Technology. 2002.

SUN, Y., et al. *Production of fuel ethanol from bamboo by concentrated sulfuric acidhydrolysis followed by continuous ethanol fermentation*. Bioresource Technology. 2011.

TAHERZADEH, Mohammad J.; KARIMI, K. *Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and*. Switzerland : International Journal of Molecular Sciences, 2008. ISSN: 1422-0067.

THOMPSON, David N., et al. *Comparison of pretreatment methods on the basis of available surface area*. USA : Michigan State University, 1989.

TORGET, Robert W. *Aqueous fractionation of biomass based on novel carbohydrate hydrolysis kinetics*. USA, 2001.

TRÁVNÍČEK, S. a J. SZOMOLÁNYIOVÁ. *Investování a strategie hospodárného užití energie*. Praha: Česká energetická agentura, 1997.

VALACH, J. *Finanční řízení podniku*. Praha: Ekopress, s.r.o., 1997.

VÁŇA, J. *Trvale udržitelná výroba bioetanolu*. Biom.cz [online]. 2006, [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/trvale-udrzitelna-vyroba-bioetanolu>

VOLTcraft. In: *pH metr PHT 01 ATC* [online]. 2012 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://www.mall.cz/ph-metry/voltcraft-pht-01-atc>

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.

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

WEILAND, P. *Biomass digestion in agriculture: a successful pathway for the energy production and waste treatment in germany*. Engineering in Life Science. 2006.

WENJUAN, Q. *High consistency enzymatic hydrolysis of lignocellulose*, Vancouver, British Columbia, 2010.

XIAO, W., et al. *Acid solubilization of lignin and bioconversion of treated newsprint to methane*. Biodegradation. 1997.

YADVIKA, S., T. R. SREEKRISHNAN, K. SANGEETA a R. VINEET. *Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - a review*. Bioresource Technology. 2004.

*Zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů*. In: č. 180/2005 Sb. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-180-2005-sb-o-podpore-vyroby-elektriny-z-obnovitelnych-zdroju-energie-a-o-zmene-nekterych-zakonu-zakon-o-podpore-vyuzivani-obnovitelnych-zdroju>

ZHANG, R., et al. *Kinetic Study of Dilute Nitric Acid Treatment*. Chemical Engineering Technology. 2011.

## 9. Příloha

### Bioplynová stanice Novosedly

Bioplynová stanice Novosedly je tvořena z jednoho fermentoru o objemu 5200 m<sup>3</sup> na výrobu a jímání bioplynu a jedné kogenerační jednotky o výkonu 536 kW. Do BPS je přiváděna kejda z podniku živočišné výroby AS Strakonice, kde jímka společně s novou jímkou na skladování kejdy tvoří skladovací kapacitu 15 000 m<sup>3</sup> včetně výdejní plochy.

Veškerý bioplyn je využíván na kogenerační jednotce s vysokou elektrickou účinností a je z něj vyráběna elektrická energie a teplo. Tepelná energie je z kogenerační jednotky produkována ve formě teplé vody cca 90 °C. Vyrobené teplo je dále ze 2/3 využíváno pro hygienizaci a ohřívání fermentačních nádrží a přebytky jsou využívány k vytápění areálu zemědělského družstva (v zimě teletník, dílny, kanceláře; v létě šuška; a po celý rok závodní kuchyně ZD). Dále je plánováno vytápění místní mateřské a základní školy.

Jako fytomasa na produkci bioplynu je využívána kukuřičná siláž, senáž, bramborové zdrtky (odpad ze škrobárenského průmyslu) a kejde prasat společně s čerstvým chlévským hnojem. Tato fytomasa je po celý rok míchána v poměru 1:1:1:1 dodávané dávky při každém doplňování.

**Tabulka č. 1:** Roční spotřeba fytomasy

<b>Použitá fytomasa</b>	<b>Spotřeba (t)</b>
Kukuřičná siláž	3 967,160
Senáž	2 894,150
Chlévský hnůj + kejda	4 391,700
Bramborové zdrtky	1 667,370
Celkem	12 920,380

(Interní zdroje podniku, 2012)

**Tabulka č. 2: Roční ekonomická bilance**

Produkce bioplynu	2 139 500 m <sup>3</sup>
Produkce elektrické energie	4 759,013 MWh
Produkce na zelený bonus	4 341,887 MWh
Spotřeba bioplynové stanice	419,850 MWh
Spotřeba areálu	303,946 MWh
Elektrická energie dodaná do sítě	4 035,217 MWh
Elektrická energie odebrané ze sítě	2,724 MWh
Tržba za zelený bonus	13 676 tis. Kč
Tržba od EON	4 320 tis. Kč
Tržba celkem	17 997 tis. Kč
Vyprodukované teplo	797,500 GJ
Spotřeba areálu	14,500 GJ

(Interní zdroje podniku, 2012)

Celkové investiční náklady na výstavbu bioplynové stanice činili 50 080 tis. Kč bez DPH. Dalších 25 000 tis. Kč stály silážní jámy. Doba návratnosti je předpokládána na 8 let. Pro současnou hodnotu investic počítáme s peněžním tokem investice. Celková hodnota investice byla vyčíslena na 75 080 tis. Kč, dotace získané z fondu pro obnovitelné zdroje energie činí 25 000 tis. Kč. Celková investice podniku do výstavby je tedy 50 080 tis. Kč.

**Tabulka č. 3: Roční náklady a příjmy**

Náklady	[tis. Kč]
Za materiál a služby	2 276
Za spotřebu fytomasy	2 665
Osobní náklady	170
Pojištění a odpisy	2 854
Celkem	7 967
Příjmy	
Za vyrobené teplo	221
Za vyrobený proud	17 997
Celkem	18 218

(Interní zdroje podniku, 2012)