

Laboratorní zařízení pro výrobu biopaliv

Ing. Lukáš Krátký

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.; Ing. Jan Skočilas

Abstrakt

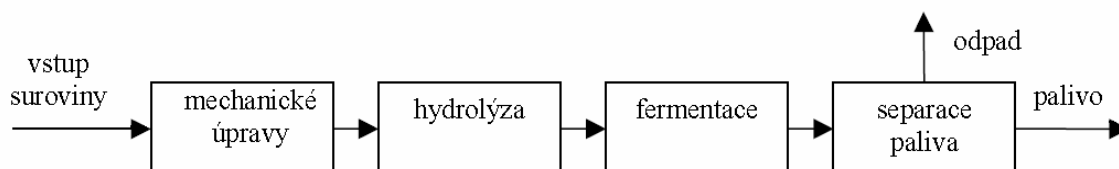
V posledních letech výrazně stoupá zájem o technologii výrobu bioplynu, která představuje ekonomicky perspektivní způsob zneškodnění a zpeněžení biologicky rozložitelných odpadů. Bioplyn vzniká při procesu biomethanizace, jejíž první fází je tzv. hydrolyza. Tento proces je co se týče průběhu vyřešen, nicméně je nutno ho dále optimalizovat. Jedním z možných způsobů zintenzivnění je vhodná předúprava suroviny a to buď mechanickou, fyzikální nebo fyzikálně-chemickou cestou. Příspěvek se zabývá návrhem zařízení sloužícího k fyzikální úpravě suroviny - tlakové hydrolyze. Projektované zařízení spolu s fermentorem tak vytvoří laboratorní zařízení pro výrobu biopaliv.

Klíčová slova

biomethanizace, bioplyn, expandér, fermentor, hydrolyza, hydrolyzér, předúpravy surovin, tlaková hydrolyza

1. Úvod

Bioplyn a bioplynové systémy představují energetické zdroje s pozitivním přínosem pro ochranu a tvorbu životního prostředí. Přestože bioplyn není schopen vytlačit fosilní paliva z jejich dominantního postavení na trhu s energiemi, má na rozdíl od nich velice dobrou budoucí perspektivu. Bioplyn se používá jako palivo v kogeneračních jednotkách decentralizovaných energetických systémů a jeho spálením vzniká elektrická energie a teplo.



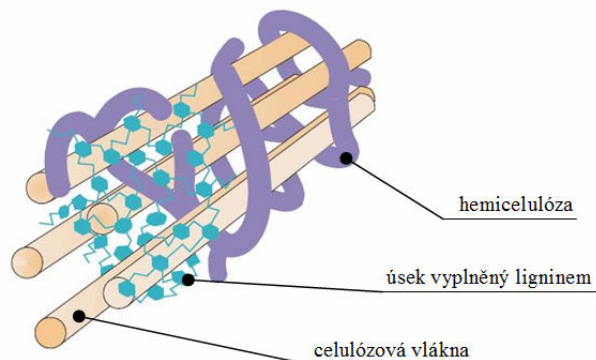
Obr.1. Procesy vedoucí k výrobě bioplynu. (Kokrhelová, 2008)

Bioplyn vzniká v několika na sobě navazujících procesech (viz obr.1.). V první fázi výroby dochází k úpravě suroviny (mletí, drcení) a to kvůli dosažení lepší účinnosti následné hydrolyzy. Při hydrolyze dochází pomocí působení mikroorganismů ke štěpení polysacharidických řetězců na monosacharidy, které pak dále methanogenní bakterie přetvářejí na methan, oxid uhličitý a vodu. Vzniklý bioplyn je jímán do zásobníku a odpad je podroben dalšímu zpracování. K dosažení maximálně možného výtěžku bioplynu o požadované kvalitě lze dosáhnout volbou vhodné metody předúpravy materiálu, což je cílem experimentů a studií řešených v současné době (Straka, 2006).

Hlavními zdroji, které poskytují v biologicky rozložitelných materiálech methan, jsou polysacharidy, proteiny a lipidy. U mnoha běžných organických substrátů, ať už jde o odpady, rostlinnou biomasu nebo různé kaly, pochází majoritní podíl methanu z rozkladu polysacharidů celulóзовých typů. Zatímco výroba biopaliv z rostlin se škrobovým základem (např. pšenice, kukuřice) je běžná a relativně jednoduchá, tak u rostlin s lignocelulóзовým základem (dřevní štěpky, sláma, papír) tomu tak není. Důvodem je jejich složení, respektive vláknitá struktura.

2. Složení lignocelulózových materiálů

Lignocelulózové materiály reprezentovaly až doposud nevyužitelný zdroj cukrů. Struktura těchto plodin totiž brání působení mikroorganismů, které by rozkládali celulózu na nižší cukry. Na strukturu těchto plodin (viz obr.2) lze nahlížet jako na kompozitní materiál. Vlákná neboli fibrily, zajišťující nosnost materiálu, jsou tvořena celulózou. Tato vlákna jsou po celé délce obtáčena rozvětvenými řetězci hemicelulóz a zbytek rostliny je vyplněn ligninem, který zde působí jako pojivo, respektive jako jakési „lepidlo“.



Obr.2. Struktura lignocelulózových materiálů. (Straka, 2006)

Vzájemně propletené struktury celulózy, hemicelulózy 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. V tab.1. jsou uvedena složení různých rostlinných biomas včetně zastoupení jejich hlavních strukturních složek.

Tab.1. Přehled složení různých rostlinných biomas. (Mosier, 2004)

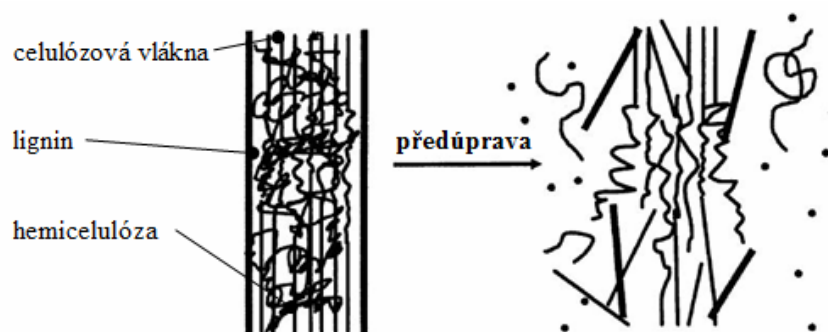
	borové dřevo	pšeničné stéblo	rákos	kancelářský papír
celulóza (% hm)	46,4	38,2	31,0	68,6
hemicelulóza (% hm)	8,8	21,2	20,4	12,4
lignin (% hm)	29,4	23,4	17,6	11,3

3. Metody předúprav lignocelulózových materiálů

Předúprava materiálu je velmi důležitý nástroj, kterým lze zvýšit konverzi celulózy na jednodušší cukry. Při použití jakékoliv metody předúpravy dochází ke strukturálním změnám materiálu. Celulózová vlákna se tak stávají přístupná enzymům, které přemění vysokomolekulární uhlovodíky na fermentovatelné cukry. Cílem předúpravy (viz obr.3.) je tedy rozbít ligninový obal, narušit strukturu celulózy a zvýšit porositu materiálu tak, aby bylo dosaženo co největší plochy potřebné k intenzivnímu přenosu hmoty. Během jakékoliv předúpravy ale nesmí docházet k degradaci či k ztrátě celulózy, nesmí se tvořit vedlejší produkty, které by měly nepříznivý účinek na následný mikrobiální rozklad, a dále pak předúprava musí být efektivní z hlediska nákladů potřebných na zpracování té které suroviny.

V současné době se pro lignocelulózové materiály používají předúpravy založené na fyzikálních, fyzikálně-chemických, chemických a biologických metodách. Nejjednodušší metodou je **mechanická předúprava**. K dosažení požadované velikosti částic organického materiálu, která je při mletí cca 0.2-2 mm a při lámání 10-30 mm, se nejčastěji používají různé typy drtičů a mlýnů. Nevýhodou této předúpravy je především její vysoká energetická náročnost. Další metodou je **pyrolýza**. Je to děj probíhající při teplotách vyšších než 300 °C,

při kterém dochází k přeměně celulózy na plynné produkty a zbytkové uhlí. Rozklad substrátu je ve srovnání s níže uvedenými metodami příliš pomalý, a proto se využívá jen zřídka.



Obr.3. Schéma cíle předúpravy lignocelulózových materiálů. (Mosier, 2004)

Nejpoužívanějším chemickým způsobem předúpravy lignocelulózových plodin je **kyselé hydrolyzá**. Při této předúpravě se však používají koncentrované roztoky kyseliny sírové a kyseliny chlorovodíkové. Tyto chemikálie jsou toxické a silně korozivní. Další nevýhodou je, že před samotnou fermentací musí být pH substrátu přibližně neutrální. Musí být tedy použita technologie, pomocí které se tyto kyseliny odstraní. Dalším chemickým způsobem předúpravy je **alkalická hydrolyzá**, jejíž účinnost závisí především na obsahu ligninu v materiálu. Při této technologii se používá hydroxid sodný, který narušuje lignin a krystalickou strukturu celulózy. Tato metoda je nejvhodnější při předúpravě pilin nebo štěpků z tvrdého či měkkého dřeva. Limitujícím prvkem je ale obsah ligninu, neboť rozklad struktury lignocelulózových plodin byl pozorován až při obsahu ligninu nad 26 %.

Dalším možným způsobem předúpravy materiálu je **solvolýzá**. Tato metoda spočívá v tom, že surovina je namočena do horké vody o teplotě 200 - 300 °C. Horká voda je v kapalném stavu udržována pomocí regulace tlaku a doba zadržení materiálu v reaktoru je přibližně 10 až 20 minut. Během této doby dochází k destrukci až 60% organického materiálu, až 60% ligninu je odstraněno a přes 90% obsahu hemicelulózy je přeměněno na monosacharidy.

Mezi často používané metody lze zařadit i **hydrolyzu vápnem**, která probíhá ve srovnání s ostatními metodami při nízkých teplotách a tlacích. Během této meziprocedury dochází v reaktoru při teplotě do 100 °C ke smíchání organického materiálu s vápnem. Nevýhodou této metody je však její časová náročnost, která se obvykle pohybuje v řádech několika dnů.

Dalším způsobem zpracování organického materiálu je **ozonolýzá**, při které se k rozkladu ligninu používá ozón. Při tomto procesu však nedochází k rozkladu celulózy, proto se tento postup nejčastěji používá jako předstupeň enzymatické hydrolyzy. Mezi výhody této metody patří účinný rozklad ligninu, přičemž nedochází k produkci toxických a korozivních látek. Děj probíhá při pokojové teplotě a atmosférickém tlaku, nicméně vzhledem k potřebě ozónu je tento proces nákladný. Výše zmíněný proces, **enzymatická hydrolyzá**, je založen na působení bakterií a plísní produkujících enzym celulózu, která pak rozkládá celulózu na jednodušší cukry. Účinnost enzymatické hydrolyzy závisí na koncentraci substrátu, typu a koncentraci enzymů a na podmínkách, při kterých reakce probíhá (teplota, tlak, pH).

Speciálním případem je předúprava materiálu pomocí **biologické hydrolyzy**, která využívá mikroorganismy, zejména bílé plísňe a houby. Rychlost této hydrolyzy je nejpomalejší ze všech uvedených procesů, a proto se používá jen ve výjimečných případech.

Výše zmíněné postupy, jejichž podrobnější popis uvádí např. Sun (2001) a Mosier (2004), jsou náročné nejen z hlediska investičních nákladů (vysokotlaké aparáty, korozivzdornost materiálů, nutnost instalace dalších technologií pro odstranění vedlejších produktů), tak i z hlediska provozních nákladů. Jednou z možných cest a snížení finančních nároků je použití metody založené na expanzi vodní páry – tlakové hydrolyze. Díky této metodě

nevznikají žádné vedlejší produkty, které by musely být před vlastní fermentací odstraněny, a zároveň se sníží i požadavky na korozivzdornost použitých materiálů.

4. Tlaková hydrolýza

Tlaková hydrolýza patří mezi nejčastěji používané metody předúprav lignocelulózových materiálů s obsahem ligninu mezi 18 a 34 % hm. (Avellar, 1995). Proto se většinou tato metoda aplikuje na předúpravu 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 – expanzi. Během účinku páry dochází k rozkladu hemicelulózy a ligninu a následnou expanzí dochází k destrukci soudržnosti a k rozvláknění biomasy (Sun, 2001).

Faktory, které ovlivňují tlakovou hydrolýzu, jsou:

- doba zdržení,
- teplota páry,
- velikost a vlhkost materiálu.

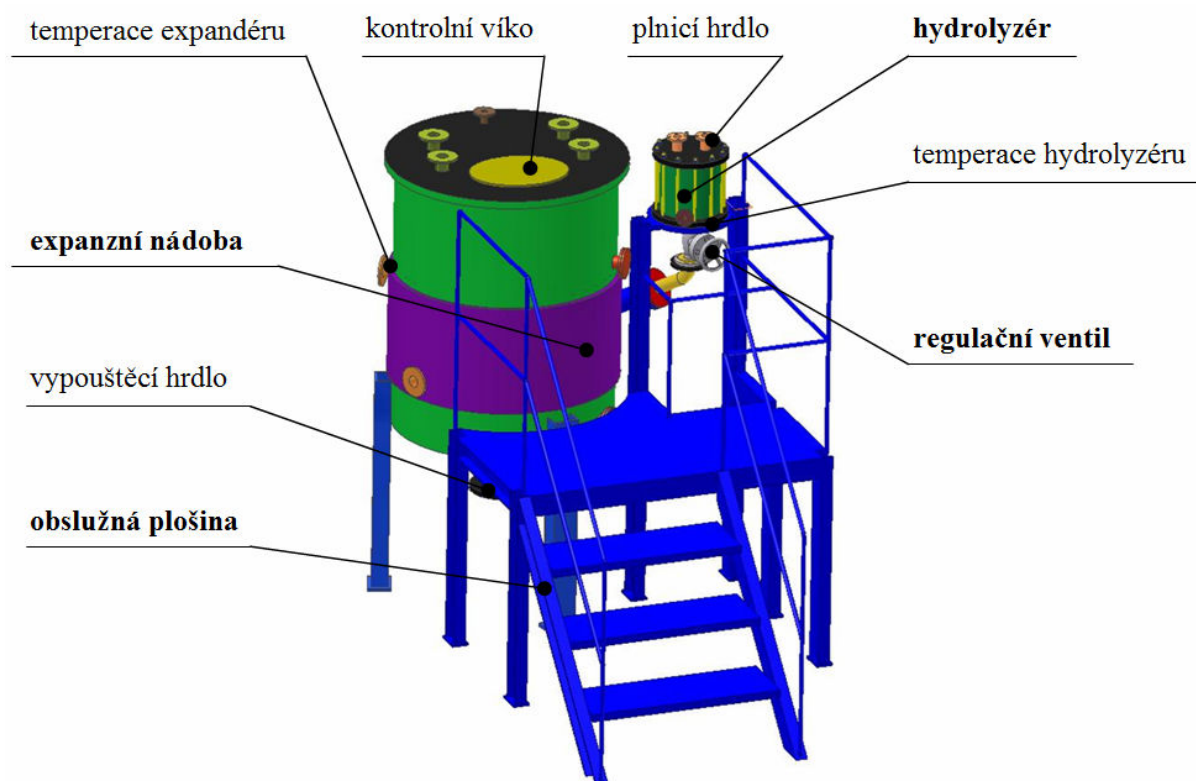
Optimálního rozkladu hemicelulózy lze dosáhnout jak za vysoké teploty a krátké doby zdržení (270 °C, 1 min), tak i za nízké teploty a dlouhé doby zdržení (190 °C, 10 min). V mnoha studiích se ale uvádí, že tlaková hydrolýza za nižších teplot a delších dob zdržení je příznivější (Sun, 2001). Pokud je vodní pára obohacena přísadkou kyseliny sírové, oxidu siřičitého nebo oxidu uhličitého, tak dochází ke zvýšení rozkladu hemicelulózy, sníží se produkce inhibitorů a dochází také ke zlepšení následné hydrolýzy.

Mezi největší výhody tlakové hydrolýzy patří nízké energetické požadavky, nejsou třeba žádné technologie zpracovávající vedlejší produkty nebo upravující substrát před vlastní fermentací a ve srovnání s chemickými metodami je tlaková hydrolýza šetrná k životnímu prostředí.

5. Laboratorní zařízení pro tlakovou hydrolýzu

Cílem této práce bylo podle výše uvedených parametrů navrhnout konstrukční řešení laboratorního zařízení pro tlakovou hydrolýzu, které bude sloužit k přípravě cca 8,5 l substrátu o maximální koncentraci pevné fáze 30 % obj.. Takto připravený substrát bude dále v laboratorního fermentoru (Krátký, 2009) podroben fermentačním testům a různým dalším analýzám.

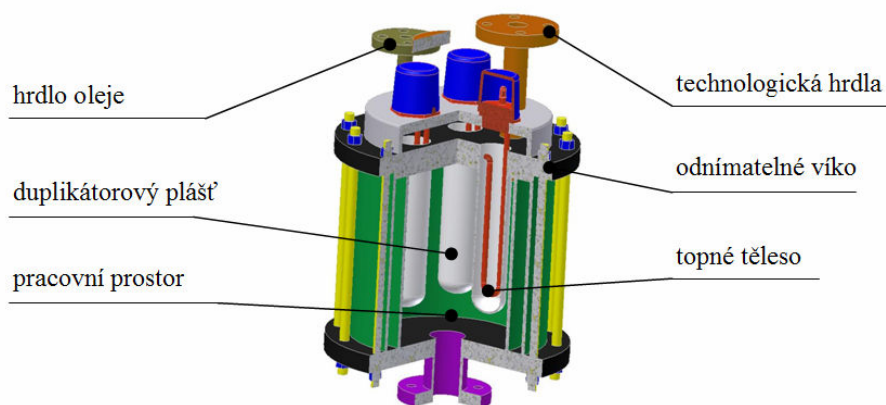
Navržené laboratorní zařízení pro tlakovou hydrolýzu se skládá ze tří hlavních částí - hydrolyzéru, expanzní nádoby (expandéru) a obslužné plošiny, viz obr.4. Celá technologie funguje takovýmto způsobem. Hydrolyzér pracuje jako vsádkové zařízení. Suspenze se nalije do pracovního prostoru a přes teplosměnnou plochu je vsádce dodáváno teplo. Zprvu dochází k degradaci ligninu a hemicelulózy horkou vodou a tlakové podmínky uvnitř hydrolyzéru jsou zajištěny fázovou rovnováhou mezi odpařenou a kapalnou vodou. Po dosažení potřebné pracovní teploty následuje výdrž po stanovenou dobu. Po ukončení hydrolýzy materiál expanduje do expanzní nádoby a vzniká tak parní fáze a hydrolyzát, který obsahuje celulózu, lignin a vodu. Expanzní nádoba je v tomto případě netlakové zařízení, ve kterém je udržován pojistným ventilem atmosférický tlak. Tlakový prostor mezi hydrolyzérem a expandérem je oddělen dálkově řízeným dvoucestným regulačním ventilem s elektropohonem. Po úpravě materiálu v hydrolyzérovi dojde k bleskovému otevření ventilu a tím ke zmíněné expanzi do atmosférického tlaku. Takto upravený substrát je po kondenzaci páry vypuštěn z expanzní nádoby a může být podroben fermentačním testům v laboratorním fermentoru.



Obr.4. Laboratorní zařízení pro tlakovou hydrolýzu.

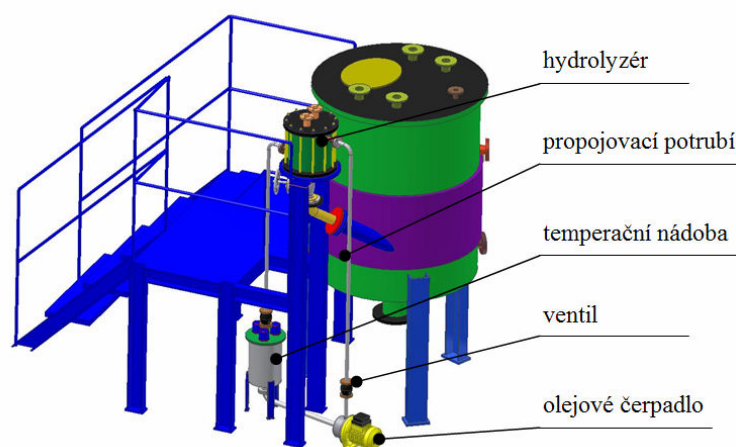
Hydrolyzér a expandér tvoří sestavu s obslužnou plošinou, ke které je hydrolyzér uchycen pomocí nosné příruby. Plošina je vyrobena z konstrukční oceli ČSN 11 373 a je opatřena ochranným nátěrem. Konstrukce plošiny je rozebíratelná – má demontovatelné schodiště a zábradlí. Podlaha je kvůli odlehčení vyrobena z pozinkovaného roštu. Plošina zároveň slouží i jako místo k uchycení elektrorozvaděče, ovládacích prvků a různých jiných komponent.

S návrhem koncepčního řešení celého zařízení je nutné souběžně řešit i návrhy metody ohřevu a temperace vsádky hydrolyzérova, které lze zrealizovat následujícími způsoby. První variantou je nepřímý elektrický ohřev substrátu pomocí tří topných trubkových těles o dílčím výkonu 2kW, které jsou umístěny na víku hydrolyzérova, viz obr.5. Jelikož v nádobě je dosahováno poměrně vysokých tlaků danými pracovními teplotami vodní páry, tak z hlediska pevnosti topné spirály a také z hlediska možného napékání substrátu je nutné umístit topná tělesa do olejové lázně. Z těchto důvodů je k víku přivařen duplikátorový plášť, který odděluje substrát od teplotnosného oleje, a topná tělesa jsou zašroubována do závitových otvorů. Na duplikačním plášti jsou dále umístěna technologická hrdla, olejové hrdlo, které slouží k plnění teplotnosného oleje a k odsávání vzniklých olejových par, a teploměr snímající teplotu olejové lázně. Udržování konstantní teploty vsádky v hydrolyzérova by bylo řešeno měřením její teploty a regulovaným spínáním topných těles. Mezi výhody této varianty patří kompaktnost celého aparátu. Není potřeba žádné další příslušenství, které by zvyšovalo pořizovací náklady celého laboratorního zařízení. Nevýhodou je ale zastavení vnitřního prostoru, poněvadž dojde k zmenšení pracovního prostoru o 1.4 l, a konstrukční složitost této varianty. Další podobnou variantou by bylo umístění topných těles do pláště hydrolyzérova a to tak, že by byly umístěny v určité vzdálenosti nad sebou a vůči sobě by byly pootočený o 120°. Tím by bylo dosaženo i lepšího termického proudění v hydrolyzérova.



Obr.5. Detail návrhu ohřevu vsádky pomocí topných trubkových těles.

Další možnou variantou ohřevu a temperace vsádky v hydrolyzáru je instalace nuceného okruhu, který se skládá z olejového čerpadla, temperační nádoby a propojovacího potrubí včetně potřebných armatur, viz obr.6. Jelikož je při ohřevu substrátu nutno dosahovat teplot nad 200°C, tak je jako temperační médium použit teplonosný olej. Tento olej je ohříván třemi topnými trubkovými spirálami o dílčím výkonu 2kW v temperační nádobě, odkud je čerpán čerpadlem do duplikátorového pláště hydrolyzáru. Čerpadlo je spolu s temperační nádobou a vyvažovací nádobkou umístěno na odpružený rám. Regulace a nastavení požadovaného průtoku je řešena použitím příslušného ventilu. Konstrukce hydrolyzáru je ve srovnání s první variantou jednodušší. Mezi největší nevýhody této koncepce patří její finanční náročnost, která je dána pořizovacími náklady na příslušenství.



Obr.6. Detail návrhu ohřevu vsádky pomocí temperačního okruhu.

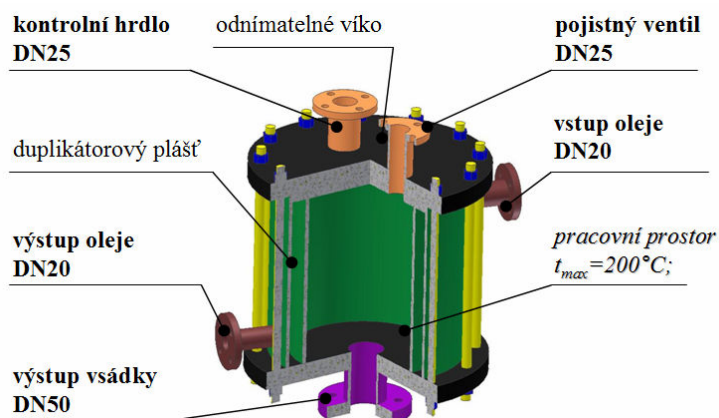
K tomu, aby bylo možné navrhnout konstrukční řešení jednotlivých aparátů, je nutné pro každou nádobu nejprve specifikovat maximální pracovní teplotu, tlak a vliv substrátu. Veškeré takto dané podmínky musí být zohledněny v pevnostním výpočtu toho kterého aparátu včetně s přihlédnutím na fakt, že se jedná o laboratorní zařízení, pro nějž platí určité technické a provozní požadavky.

5.1. Konstrukce a provozní podmínky hydrolyzáru

Hydrolyzáru je v tomto případě takové zařízení, které slouží k předúpravě maximálně 8,5 l biomasy metodou tlakové hydrolýzy. Důležitým návrhovým parametrem je pracovní teplota. Sun (2001) ve své studii uvádí, že příznivější variantou tlakové hydrolýzy je její průběh za nižších teplot a delších dob zdržení. Hydrolyzáru je tedy navržen na pracovní teplotu

200 °C, což odpovídá pracovnímu tlaku 2 MPa. Měřenými provozními veličinami budou tedy tlak a teplota uvnitř hydrolyzéro. Jelikož se jedná o tlakově stabilní nádobu, tak výpočet a dimenzování tlakově namáhaných částí byl proveden podle ČSN 69 0010.

Během hydrolyzy budou vznikat různé organické kyseliny a k zvýšení účinnosti procesu mohou být dále dávkovány kyseliny anorganické. Dále pak s přihlédnutím na složení hydrolyzovaného substrátu byla zvolena výchozím materiálem chromniklová austenitická ocel legovaná titanem a molybdenem dle EN10088 s označením X10CrNiTi18-10, respektive její český ekvivalent ČSN 17 347.



A) 3D model a popis nádoby



B) fotografie nádoby

Obr.7. Konstrukční řešení hydrolyzéro.

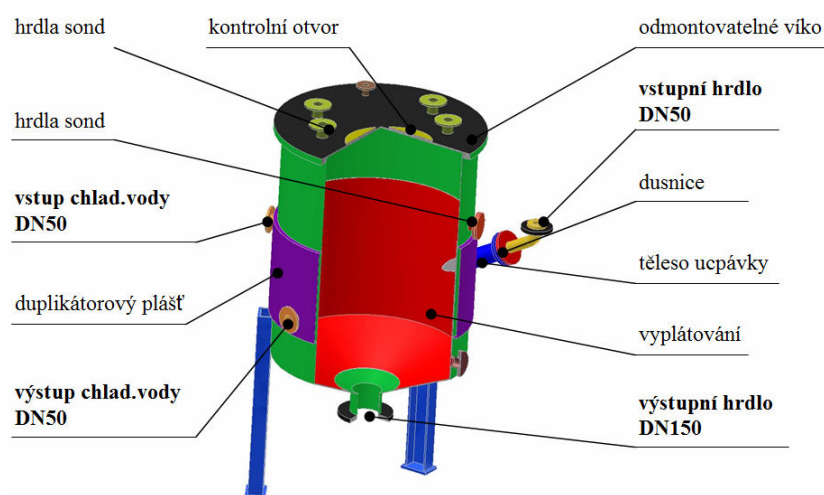
Během návrhu konstrukčního řešení aparátu byly zohledněny nejen požadavky dané pracovními parametry a složením substrátu, ale také i požadavky na umístění regulačních prvků provozních parametrů hydrolyzéro včetně pomocných komponent. Konstrukce tlakového aparátu je řešena následujícím způsobem, viz obr.7. Ke kruhové dnu nádoby jsou přivařeny dvě trubky, které tvoří základní a duplikátorový plášť. Pláště jsou v horní části uzavřeny přivařenou přírubou, která po slícování s demontovatelným víkem s osazeným těsněním tvoří těsnicí spáru. Ke dnu nádoby je přivařeno přírubové hrdlo sloužící k vypouštění materiálu, k němuž přijde přes přírubu přimontovat dvoucestný regulační ventil. Na demontovatelném víku jsou umístěna dvě přírubová hrdla. První z nich slouží k montáži pojistného ventilu a druhé bude použito jako kontrolní. Duplikátorový plášť je osazen dvěma přírubovými hrdly pro vstup a výstup temperačního média a uvnitř pláště jsou vevařeny čtyři narážky, které regulují tok média a zvyšují tak součinitele přestupu tepla ze strany oleje do základního pláště hydrolyzéro. Jelikož aparát pracuje při vysokých teplotách, tak je nutné ho patřit vhodnou izolací.

5.2. Konstrukce a provozní podmínky expandéro

Expanzní nádoba je v tomto případě takové zařízení, kam je z hydrolyzéro vypuštěn přes regulační ventil upravený substrát. V expandéro je pomocí pojistného ventilu udržován atmosférický tlak, jedná se tedy o netlakové zařízení. Provedené pevnostní výpočty se tak vztahovaly jen na namáhané součásti a výpočty svarů. Při dimenzování aparátu a řešení konkrétních konstrukčních uzlů se vycházelo nejen z doporučení normy ČSN 69 0010, ale také i s ohledem na technologii výroby expandéro.

Důležitým krokem byla volba vhodného materiálu, kde byl zohledněn vliv teploty, kyselosti a složení vsádky, vliv uvolňovaných plynů a sloučenin. Ty části, které jsou v kontaktu se substrátem jsou vyrobeny z austenitické chromniklové oceli legované titanem dle EN10088 s označením X10CrNiTi18-9, čemuž odpovídá český ekvivalent ČSN 17 248.

Konstrukce expanzní nádoby je řešena následujícím způsobem, viz obr.8. K válcové části nádoby je v její spodní části přivařeno kuželové dno s výstupním hrdlem. Horní část válcové části nádoby je uzavřena kruhovým víkem, na kterém jsou umístěna přírubová hrdla sond a demontovatelný kontrolní otvor sloužící k čištění aparátu. Uvnitř nádoby je v její válcové a kuželové části vevařen plech zesilující plášť expandéru, který je zde především z hlediska ochrany základního pláště před abrazí expandovaného materiálu. Na vnější straně nádoby je navařen duplikátorový plášť tvořený deskovými přechody a uvnitř pláště jsou vevařeny čtyři narážky regulující tok ochlazovacího média. K vstupnímu hrdlu je přes točivou přírubu uchycen regulační ventil s hydrolyzérem. Kvůli rázům při vypouštění materiálu do expandéru je vstupnímu hrdlu umožněn posuvný pohyb. Posuvná trubka, respektive vstupní hrdlo, je vložena do tělesa ucpávky, přičemž prostor mezi oběma komponenty je utěsněn často používanou kombinací dusnice a ucpávkové šňůry. Na nádobě jsou dále umístěna různá technologická hrdla sloužící k instalaci různých sond, respektive k instalaci pomocných a čistících okruhů. Měřenými provozními veličinami bude tlak a teplota pracovního prostoru expandéru.



A) 3D model a popis nádoby



B) fotografie

Obr.8. Konstruktivní řešení expanzní nádoby.

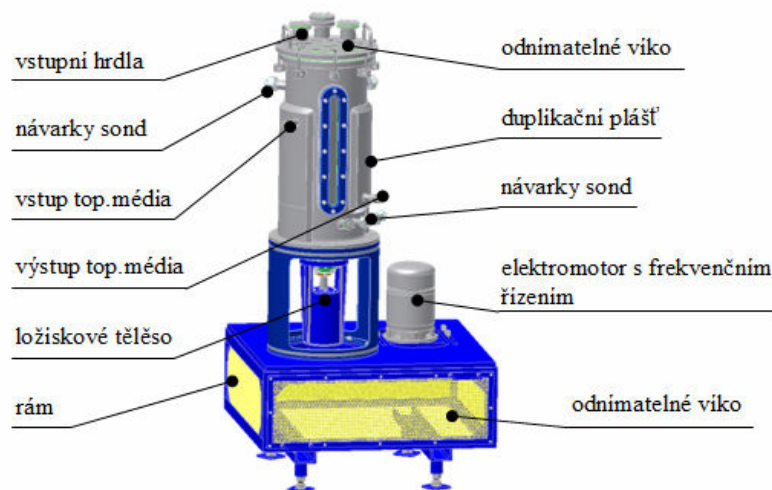
Jak již bylo uvedeno, tak expandér je vybaven duplikátorovým pláštěm. Ten je zde instalován z toho důvodu, aby vychladil celý aparát a urychlil tak proces kondenzace vzniklé vodní páry. Tento okruh bude tvořen čerpadlem se zásobníkem studené vody nebo se duplikátor napojí na vodovodní řad a proteklá voda se bude vypouštět do odpadu. Vypouštění materiálu z nádoby je zajištěno instalací mezipřírubové klapky.

6. Konstrukce a provozní podmínky fermentoru

Součástí celé laboratorní stanice na výrobu biopaliv je fermentor. Fermentor je zařízení, ve kterém dochází k výrobě bioplynu z námi předupravených organických zbytků a odpadů. Bioreaktor umožňuje zpracování až 40 l substrátu, což odpovídá jeho maximálnímu plnění $H/D=2$, a je navržen na pracovní teplotu 70 °C a tlak 0,2 MPa.

Konstruktivní řešení laboratorního fermentoru, viz obr. 9, vyplynulo jednak z technologických aspektů (teplota, tlak, pH, složení substrátu), z používaných konstrukčních řešení (míchání, přenos tepla) a jiných požadavků spjatými s konstrukcí laboratorního zařízení. O návrhu a konstrukci fermentoru je detailněji pojednáno v práci Krátký (2009). Níže je uveden jen stručný popis konstrukčního řešení bioreaktoru.

Míchání substrátu v aparátu zajišťují snadno vyměnitelná polohovatelná axiální rychloběžná míchadla umístěná na centrálním hřídeli se spodním pohonem, kam je potřebný příkon přiváděn z frekvenčně řízeného elektromotoru pomocí řemenového převodu s instalovaným převodem $i = 1,5$. Konstrukce pohonu fermentoru je řešena tak, že při nadměrném přehřívání elektromotoru, což může nastat např. při použití pomaloběžných míchadel, je možné převodový poměr změnit až na $i = 3$. Tento maximální převod je umožněn instalací snadno vyměnitelných řemenic se svěrným kuželovým pouzdem a nastavitelnou osovou vzdáleností mezi hřídelem míchadla a elektromotorem. Prostor mezi hřídelem a nádobou fermentoru je utěsněn pomocí dvojité hrazené mechanické ucpávky, kde je jako hradicí médium použita voda cirkulující v nuceném okruhu.



A) 3D model a popis



B) fotografie fermentoru

Obr.9. Konstrukční řešení laboratorního fermentoru.

Konstrukce nádoby fermentoru je navržena tak, aby byla zajištěna dostatečná možnost čištění, plnění a vypouštění včetně dostatku místa pro instalaci různých snímačů v různých místech nádoby. Fermentor má demontovatelné horní víko, na kterém jsou umístěna dvě vstupní hrdla, průhledítko a sada návarků pro umístění snímačů včetně rezervního centrálního otvoru, který je určen pro případnou instalaci dalších komponent jako např. rozrušovače pěny. Uvnitř nádoby jsou pak instalovány čtyři demontovatelné radiální narážky zabraňující rotaci vsádky. V ose nádoby je umístěno dlouhé průhledítko, které zajišťuje dostatečný pohled nejen na cirkulaci vsádky v bioreaktoru, ale také i na případnou tvorbu pěny, respektive její výšku. Umístění snímačů v prostoru substrátu umožňují návarky umístěné v rovině působení míchadla. V místě výskytu plynné fáze lze využít k instalaci potřebných snímačů buď návarky na nádobě, nebo závitové otvory na víku. Ta místa, která nejsou snímači využita, jsou zaslepena zátkami s převlečnou maticí a utěsněna vitonovými O-kroužky.

Návrhem systému měření procesních parametrů se zabývá Skočilas (2009). Systém měření procesních parametrů fermentoru je zajištěn snímáním a sběrem jednotlivých parametrů do vlastního řídicího systému. Snímanými veličinami jsou v průběhu fermentace teplota vsádky, teplota par nad hladinou substrátu, tlak v prostoru bioplynu, pH a redoxní potenciál. Dále je pak měřen výstupní průtok bioplynu včetně jeho složení a stavových parametrů tj. teploty, tlaku a relativní vlhkosti. Poslední měřenou veličinou je pak frekvence otáčení míchadla fermentoru pomocí optického čidla. Mezi akční veličiny (tj. veličiny, které jsou ovládány řídicím systémem) patří otáčky hřídele míchadla a spuštění dávkovacího čerpadla, které zajišťuje přítok řídkého NaOH do substrátu.

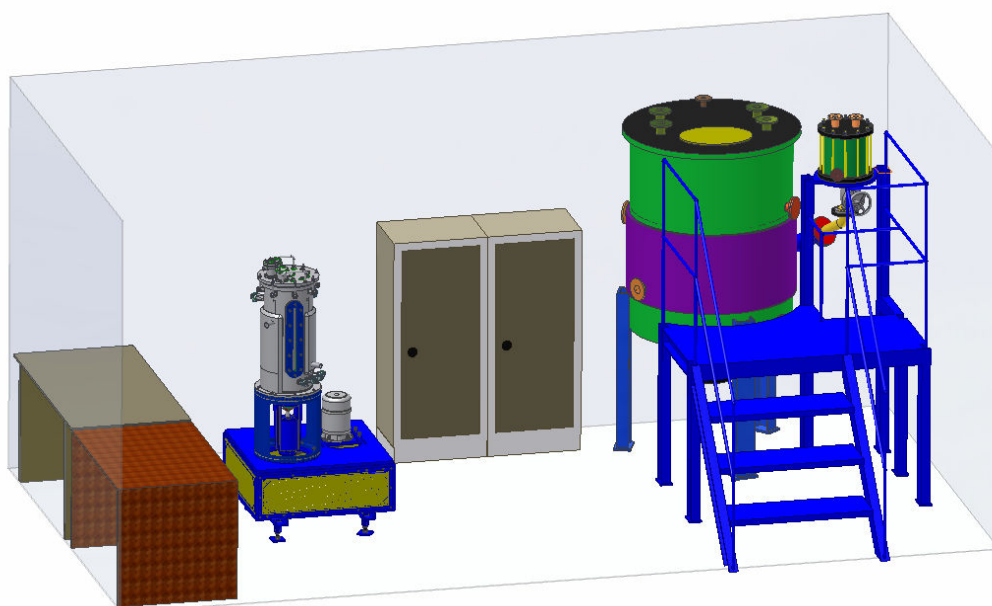
7. Závěr

Cílem této práce bylo na základně teoretických poznatků, experimentů a různých zkušeností navrhnout laboratorní zařízení pro výrobu biopaliv. Navržená technologie zpracování lignocelulózových zbytků a odpadů se skládá z hydrolyzéru a expandéru, které zajišťují předúpravu materiálu metodou tlakové hydrolýzy, a z fermentoru zajišťujícího vlastní proces biomethanizace, viz obr.10.. Všechny tyto aparáty jsou navrženy na pracovní parametry uvedené v tab.2.

Tab.2. Přehled pracovních parametrů zařízení.

Pracovní parametry	objem (l)	teplota (°C)	přetlak (MPa)	dobu zadržky
Fermentor	40	70	0,2	2 - 4 týdny
Hydrolyzér	8,5	200	2	10 - 20 min
Expandér	1020	22	0	-

Hlavní část celé stanice, fermentor, je v současné době ve fázi návrhu a realizace regulačního systému a metodiky měření různých provozních parametrů (Skočilas, 2009). Kompletně je vyřešen temperační okruh a okruh hrazení mechanické ucpávky, systém dálkového spouštění a ovládání fermentoru přes webové rozhraní. K fermentoru jsou postupně přidávány další měřicí prvky včetně jejich odzkoušení a zakomponování do řídicího systému.



Obr.10. Laboratorní zařízení pro výrobu biopaliv.

Co se týče zařízení sloužícího k tlakové hydrolýze, tak v současné době je vyrobeno, přivezeno do halových laboratoří a nyní je ve fázi uvádění do provozu. To znamená nutnost dalších konstrukčních řešení jako například již zmíněná temperace hydrolyzéru, temperace expanzní nádoby a uchycení různých dalších komponent sloužících k jejímu ovládání. Dále pak je řešena metodika měření provozních veličin včetně programové vybavení tlakové expanze.

Laboratorní zařízení na výrobu biopaliv se tak stává plnohodnotnou součástí experimentálních zařízení umístěných v halové laboroři Ústavu procesní a zpracovatelské techniky Ú12118.

Seznam symbolů

<i>D</i>	průměr nádoby	[mm]
<i>H</i>	výška hladiny vsádky v nádobě	[mm]
<i>i</i>	převodový poměr	[-]
<i>T</i>	teplota	[°C]

Seznam literatury

AVELLAR, B.K., GLASSER, W.G. *Steam assisted biomass fractionation I. Process considerations and economic evaluation*. Biomass and Bioenergy, 1998, vol.14, no.3, p.205-218.

KOKRHELOVÁ, K., JIROUT, T. *Enzymatický hydrolýza lignocelulózových plodin a odpadů pro výrobu biopaliv*. Sborník konference studentské tvůrčí činnosti STČ 2008. ČVUT v Praze, 2008. 12 s.

KRÁTKÝ, L. *Fermentor na přípravu biopaliv*. Sborník konference studentské tvůrčí činnosti STČ 2009. ČVUT v Praze, 2009. 16 s.

MOSIER, N., ET AL. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass*. Bioresource Technology 96, 2005, p.673-686.

SKOČILAS, J. ET AL. *Měření a regulace provozních parametrů laboratorního fermentoru*. Sborník mezinárodní konference „Biofuels for Energetics“, Praha, Česká republika, 2009.

STRAKA, F., ET AL. *Bioplyn*. Praha: GAS s.r.o., 2006. 706 s.

SUN, Y., CHENG, J. *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*. Bioresource Technology 83, 2002. p.1-11.