

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ
TECHNIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

TIMIROV ISKANDER

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ
TECHNIKY

**TECHNOLOGIE VÝROBY BIOETANOLU
2. GENERACE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

TIMIROV ISKANDER

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

.....

Timirov Iskander

Děkuji tímto Ing. Lukášovi Krátkému za odborné vedení práce, cenné připomínky a rady při vypracování této práce.

Anotační list

Jméno autora: Iskander

Příjmení autora: Timirov

Název práce česky: Technologie výroby bioetanolu 2. generace

Název práce anglicky: Bioethanol production from wastes

Rozsah práce:

- počet stran: 26
- počet obrázků: 18
- počet tabulek: 6
- počet příloh: 0

Akademický rok: 2015/2016

Jazyk práce: Čeština

Ústav: Ústav procesní a zpracovatelské techniky

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Krátký, Ph. D.

Oponent:

Konzultant práce: Ing. Lukáš Krátký, Ph. D.

Anotace česky: Bakalářská práce je zaměřena na proces výroby bioetanolu 2. generace. Hlavním cílem práce je návrh koncepčního schéma předúpravy odpadních surovin pro výrobu bioetanolu. Jsou zde popsány technologie výroby bioetanolu dle 1. a 2. generace, hlavní nevýhody 1. generace a důvody použití 2. generace. Dále jsou tu probrány hlavní odpady, jež jsou použitelné pro výrobu bioetanolu, jejich ekonomická a technologická náročnost. Pro tyto odpady jsou popsány perspektivní technologie a zařízení pro jejich předúpravu. Pak, na základě teoreticky získaných informací bylo navrženo blokové technologické schéma předúpravy odpadů pro výrobu bioetanolu 2. generace, které lze přímo implementovat do stávajících technologií výroby bioetanolu.

Anotace anglicky: The Bachelor thesis focuses on the description of the bioethanol production from wastes. The main purpose of the research work is a development a recycling circuit of different types of waste materials for the further production of bioethanol. Here we describe two technologies of the bioethanol production: first generation production (from starch-containing vegetable raw materials) and second generation (from waste). Moreover, we show the main disadvantages of the first generation and the reasons for the use of the second generation. We also observed the main types of waste that are suitable for the production of bioethanol and their economic and technological aspects in this research work. The recycling equipment have been shown and described for these wastes. The final scheme of recycling was based on equipment for recycling.

Klíčová slova: Bioethanol, výroba bioetanolu 1. a 2. generace, likvidace odpadů, bolševník, odpady živočišného původu, lignocelulósový odpad

Key words: Bioethanol, 1st and 2nd generation of bioethanol production, disposal of waste, heracleum, lignocellulosic waste.

Obsah

1	Úvod.....	2
2	Světová výroba biopaliv.....	3
3	Bioetanol 1. generace.....	4
3.1	Technologie výroby.....	6
3.2	Výhody a nevýhody.....	8
4	Bioetanol 2. generace.....	10
4.1	Bioetanol z lignocelulóvých odpadů.....	10
4.1.1	Technologie předúpravy a výroby.....	10
4.1.2	Výhody a nevýhody.....	12
4.2	Bioetanol z rostlin rodu <i>Heracleum</i>	13
4.2.1	Účel použití.....	13
4.2.2	Technologie výroby.....	14
4.3	Bioetanol z odpadů živočišného původu.....	15
5	Předúprava surovin.....	19
5.1	Návrh zařízení.....	19
5.1.1	Magnetická separace.....	19
5.1.2	Drcení.....	20
5.1.2.1	Kulový mlýn.....	20
5.1.2.2	Koloidní mlýn.....	21
5.1.2.3	Kladivový mlýn.....	21
5.1.2.4	Nožový mlýn.....	22
5.1.3	Lisování.....	22
5.1.3.1	Hydraulický lis.....	22
5.1.3.2	Šnekový a pásový lisy.....	23
5.2	Použité zařízení.....	24
6	Závěr.....	26
7	Použitá literatura.....	27

1 Úvod

Nutnost řešení globálních problémů, spojených s docházením zásob fosilních paliv a poskytování ekologické a energetické bezpečnosti, vede k vývoji obnovitelné energetiky, tady i k bioenergetice. Dnešní závislost na dodávkách ropy je ekonomický, energetický, ekologický a strategický problém pro většinu států. V současnosti svět vchází do doby bioekonomiky, základem které je používání biotechnologií (používá obnovitelné přírodní suroviny).

Největší zájem je dnes o tekutá biopaliva, která se nejvíce používají v dopravě. Jedním z těchto typů biopaliv je i bioetanol, který je nejvíce vyráběnou a používanou surovinou ve světě. Toto palivo má určité výhody a nevýhody, ale považuje se za nejvýhodnější typ biopaliva.

Současná výroba bioetanolu používá, jako suroviny, potravinářské rostliny (tzv. výroba 1. generace), což vede ke snížení plochy orné půdy, kde se obvykle pěstovaly potravinářské rostliny. Ve výsledku to vede i k zvýšení cen za potraviny.

I z tohoto důvodu je moje práce zaměřena na výrobu bioetanolu 2. generace. Zde vyžíváme odpadní látky, které už nikde nejsou potřeba a můžeme je bez ztrát využít pro výrobu. Hlavním cílem práce bylo probrat různé typy odpadů, ze kterých by bylo možné vyrábět etanol, prozkoumat jejich ekonomické a technologické nároky, porovnat výtěžnost lihu s výrobou dle 1. generace a ukázat hlavní nevýhody a kritická místa. Dále na základě zkoumání probrat zařízení potřebné na předúpravu, a s použitím těchto údajů vytvořit schéma, dle kterého by měla probíhat předúprava odpadů a následná výroba bioetanolu.

2 Světová výroba biopaliv

Největší zájem je dnes o tekutá biopaliva, která své využití nachází zejména v dopravě. Největšími výrobci tekutých biopaliv ve světě jsou USA a Brazílie. V Evropě jsou to pak Německo, Francie a Itálie. Bioetanol se vyrábí většinou z cukrové třtiny (Brazílie) a z kukuřice (USA). Alternativní možnosti výroby jsou také z kasavy, rýže, cukrové řepy a obilí. Nejpopulárnější surovinou pro výrobu bionafty je brukev řepka (EU), sója (USA, Brazílie, Afrika), palmový, kokosový a ricinový olej (Indonésie, Filipíny), arašídý (Čína, Indonésie, Japonsko). Také vzrostl zájem o jatrophu (Afrika). Tento výčet je jen malá část z používaných surovin.

Na výrobu biopaliv můžeme použít jakoukoli biomasu obsahující olej, cukr, anebo látky, které se můžou přetvořit na cukr, např. škrob a celulózu. V tabulce 1 jsou popsány některé takové suroviny.

Kultury	Metoda zpracování	Biopaliva
Obsahující cukr: Cukrová třtina Cukrová řepa Sladký čirok	Fermentace a destilace	Ethanol
Obsahující škrob: Kukuřice Ječmen Pšenice Žito Brambory	Zcukřování, fermentace a destilace	
Obsahující celulózu: Proso Topol Sláma		
Obsahující olej: Brukev řepka Olejová palma Slunečnice Arašídý	Extrakce a esterifikace	Bionafta

Tab. 1. Suroviny na výrobu biopaliva. [22]

3 Bioetanol 1. generace

V dnešní době je výroba bioetanolu největší a velmi rychle rostoucí částí biopalivového sektoru (85 % světové výroby biopaliv). Ve srovnání s bionaftou má mnoho výhod. Mezi nejdůležitější patří mnohem větší trvanlivost zásobování, než u bionafty (bionafta má jenom 3 měsíce).

Největší státy vyrábějící bioetanol jsou USA a Brazílie (tab. 2). Vyrábí zhruba 89 % veškerého bioetanolu ve světě [1]. Současný trend růstu výroby je také vidět ve státech EU. Dle informací z roku 2014 v celé Evropě funguje kolem 50 továren na výrobu bioetanolu a kolem 20 dalších se staví. Zvýšení objemu výroby a spotřeby bioetanolu v EU je výsledkem řešení úkolu evropské strategie ochrany přírody a bojování proti globálnímu oteplování, což spočívá v postupném odmítání ropy a plynu a v následujícím využívání obnovitelných zdrojů energie. Základní cíl využívání bioetanolu je tvoření směsi paliv (etanol + benzín) s dostatečně vysokým energetickým obsahem [2]. (tab. 3)

Stát-výrobce	Objem výroby	
	Mln galonů	Mln litrů
USA	10600	40125,36
Brazílie	6577,89	24900,02
EU	1039,52	3935,01
Čína	54,55	2049,99
Thajsko	435,2	1647,41
Kanada	290,59	1100
Kolumbie	83,21	314,98
Indie	91,67	347,01
Austrálie	56,8	215,01
Jiné státy	247,27	936,02
Celkem	19534,99	75570,83

Tab. 2. Světová výroba bioethanolu v roce 2012. [4]

Palivo	Energetický obsah, MJ.l ⁻¹
E100	23,5
E85	25,2
E10	33,7
Benzín automobilový	34,8
Benzín letadlový	33,5
Nafta	38,6
Automobilové plynové palivo	26,8

Tab. 3. Srovnání různých druhů paliv. [2]

Každým rokem roste konkurenceschopnost těchto směsí na světovém energetickém trhu. Směsi benzínu a etanolu jako motorová paliva se také označují jako benzanoly. Obsah etanolu v benzanolu je 5-10 % obj. Ve většině států EU je dokonce nutné použití etanolu jako přídavek do benzínu. Použití benzanolu vede nejen k šetření samotného benzínu, ale i ke zvýšení oktanového čísla a lepšímu hoření benzínu, což

způsobuje snížení koncentrace škodlivých látek ve spalínách, např. monoxid uhlíku a jiné uhlovodíky.

Pro bioetanol a směsové benzíny (na tomto základě) se používají speciální značení: E5, E10, E85 (E – z angličtiny „ethanol“, číselné indexy – procentní (od objemu) obsahu bioetanolu v palivě). Ve světě nejznámější jsou směsi E5, E10 a E85. Kromě toho se v Brazílii vyrábí a používá ještě čistý bioetanol - E100 (tab. 4). Palivový etanol – nejpoužívanější přídatek k benzínu, tvořili jen v roce 2012 cca 6 % světové spotřeby benzínu.

Stát	Druh paliva	Poznámka
USA	E10	Gazochol (10 % -ní směs etanolu a benzínu)
Brazílie	E70 – E85	V různých krajích poměr etanolu a benzínu je různý. Vyšší směsi se používají v adaptovaných autech Flex – Fuel.
	E25 – E75	
	E100	
Evropa	E5	Směs s neethilovaným benzínem.
	E85	Málo používaný.

Tab. 4. Běžné druhy palivových směsí etanol - benzín. [2]

Bioetanol jako palivo má své výhody i nevýhody. Nepochybné výhody jsou: nízká toxicita, prakticky zanedbatelný výdej CO při spalování, je bio degradovatelný, možnost zvýšení efektivity při použití prostředků v zemědělství, snížení závislosti na ropě, snížení vlivu na globální ekologické problémy, atd. mezi základní nevýhody patří: použití potravinářských surovin, vysoká cena (vyšší než na paliva z ropy), nestabilita ve sklizni surovin biomasy, nízká efektivnost fermentace, nasákavost, zvýšená spotřeba a nízká teplota hoření etanolu (ve srovnání s ropnými produkty). Je důležité vědět, že ve většině vědeckých center aktivně probíhají výzkumné práce na odstranění nevýhod použití bioetanolu, a můžeme doufat, že v nejbližší době budou odstraněny [3].

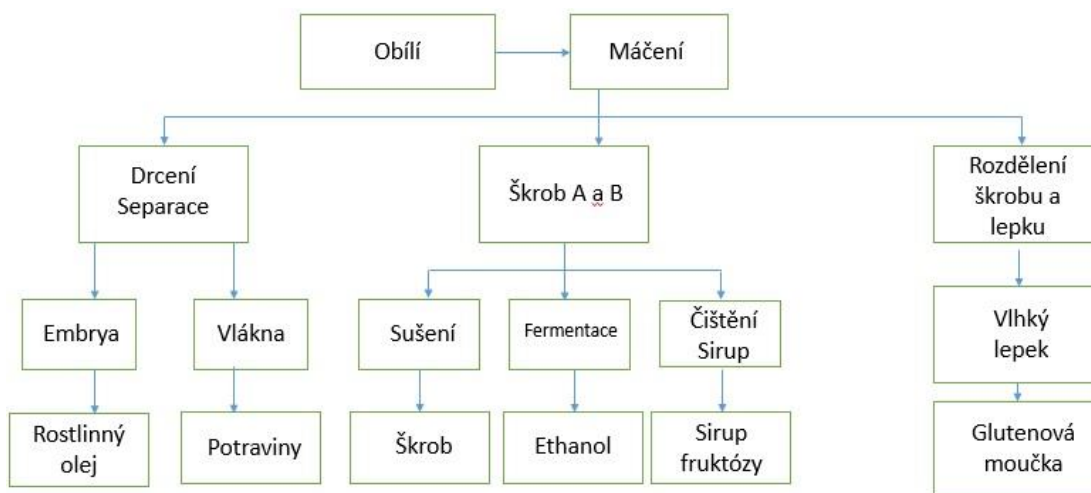
Obecně bioetanolem se nazývá ethylový líh s nízkým stupněm čištění, získaný z obnovitelného zdroje – biomasy. Jak bylo zmíněno dříve, základní surovinou jsou zemědělské kultury obsahující škrob a cukr. V severní Americe a Evropě se používá pšenice a kukuřice, a také melasa – odpad z výroby cukru z cukrové řepy [4]. Další možností je také možnost výroby z odpadů v zemědělství a dřevobráběcího průmyslu. Zatím jsou to dražší technologie, ale v perspektivě je snížení ceny výroby bioetanolu z celulózy. V dlouhodobém horizontu je možnost zlevnění oproti benzínu [5]. Ale nejdůležitější obnovitelnou přírodní zemědělskou kulturou zůstává zatím obilí. Z hlediska ekonomiky a biologie má nejširší využití.

Bioetanol je komplexní produkt na trhu současného, světového, bio-palivového odvětví. S ohledem na tendenci ve snižování využívání potravinářských surovin na výrobu paliva, rozvoj technologie zpracování odpadů v zemědělství, dřevu zpracovávajícím průmyslu, celulózo-papírového a cukrového průmyslu, poskytuje nové perspektivy celého bio-palivového průmyslu. Za podmínek postupného snížení ceny výchozího etanolu má velký potenciál jeho použití v další výrobě různých chemických látek a přísad, např. etyl-tret-butylový éter, etylenglykol, kyselina octová, acetaldehyd, ethylacetát, ethylchlorid, rozpouštědla na jejím základu, medicínské chemikálie,

syntetické kaučuky, acetát celulózy, vinylové pryskyřice, butylový líh, polyvinylacetát aj. Kromě toho se etanol může použít na výrobu etylenu (pomocí dehydratace), a dále polyetylen, což také poskytuje záměnu ropných surovin.

3.1 Technologie výroby

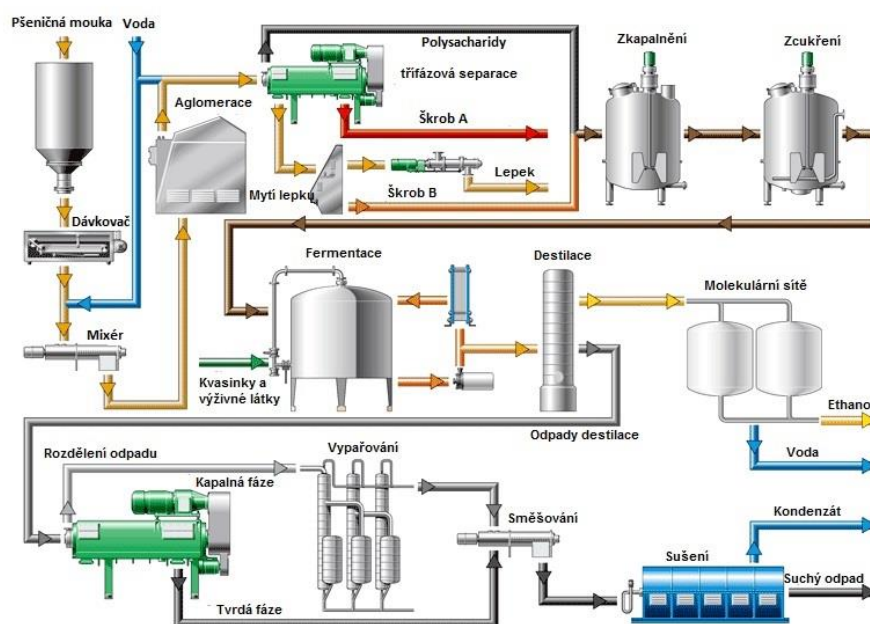
Existují dvě technologie výroby bioetanolu: tzv. „mokrý“ a „suchý“ [6]. „Mokrý“ technologie funguje na základě mletí zvlhčeného obilí a obsahuje doplňkové získávání lepku a škrobu (obr. 1). Samotná technologie spočívá v tom, že základní surovina (např. obilí) jde na opracování, čistí se od písku, prachu, semen plevelů a jiných nečistot. Po čištění, se obilí máčí v průběhu 20 - 24 hodin, což způsobuje jeho změkčení embrya a vyloučení škrobu, jež je v něm obsažen. Změkčené obilí se mele, čímž dosáhneme oddělení embrya a škrobu. Výsledný roztok se separuje, a takto získáme oddělený embryo od ostatní hmoty. Odseparované embryo se suší a uskladní se, pro následné může použití ve výrobě vysoce produktivních krmných směsí. Také z embrya pšenice a kukuřice je možno těžit cenné oleje, které jsou na trhu žádané. [5]



Obr. 1. Blokové schéma "mokrý" technologie. [6]

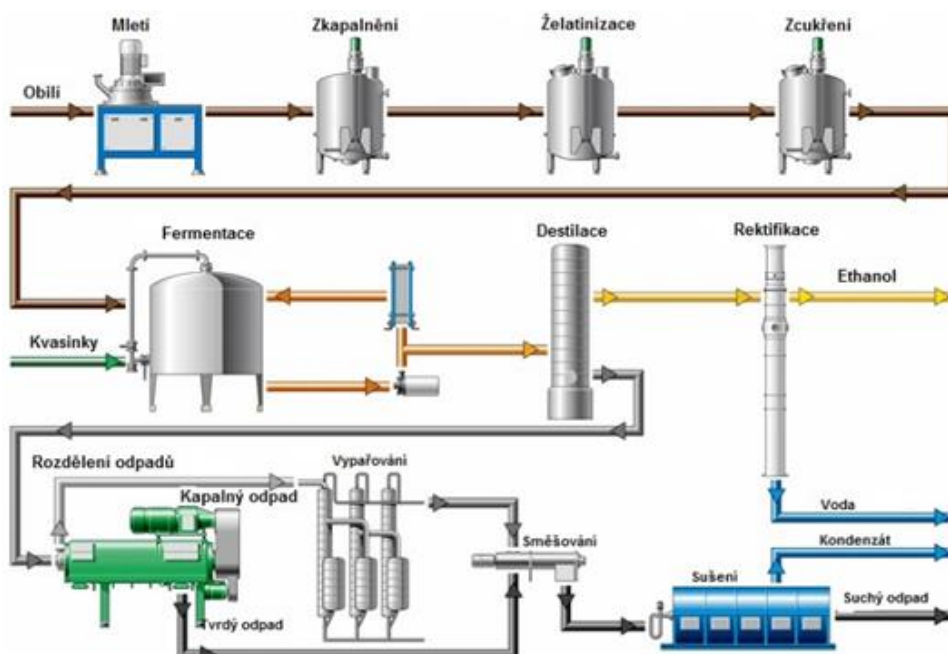
Zbytkový odseparovaný roztok postupuje na další více intenzivní drcení a další separaci pro oddělení škrobového roztoku a glutenu od zbytkové celulózy. Gluten a celulóza se také mohou použít na výrobu pokrmů. Škrobový roztok se používá k želatinizaci.

Takováto frakční separace poskytuje výstup jiných cenných produktů, kromě samotného etanolu, a tím způsobem zvyšuje účinnost technologického procesu. Získávání glutenu, teplotně citlivé bílkoviny, umožňuje použít destilačního zařízení za zvýšených teplot, což v samotném důsledku snižuje jeho výrobní náklady. Obecně použití „mokrý“ technologie umožňuje pomocí třífázového separátoru získat frakce škrobu A a B. Škrob A se přetváří do glukózy a jiných sacharóz a škrob B slouží jako surovina na výrobu bioetanolu. Z toho důvodu se dále zkapalňuje.



Obr. 2. "Mokrú" technologie výroby bioetanolu (GEA Wiegand GMBH, Německo). [6]

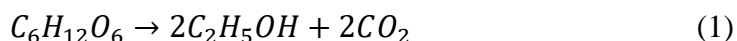
Primární zpracování dle „suché“ technologie: základní surovina (obilí) jde ke zpracování, čistí se od písku, prachu a jiných nečistot. Po očištění obilí dochází k jeho drcení, pro následující těžbu škrobu. Tento škrob se poté rozpouští ve vodě a kontroluje se procentní obsah suché hmoty. Dále jde tato směs na želatinizaci a na další zpracování.



Obr. 3. "Suchá" technologie výroby bioethanolu (GEA Wiegand GMBH, Německo). [6]

Dále je technologie „mokrého“ a „suchého“ zpracování stejná. Škrobový roztok se míchá s fermenty (α – amyláza), které jsou syntetizovány bakterií *Bacillus subtilis* – 82, a ohřívá se do teploty optimální pro začátek přetvoření škrobu na nízko a středně

molekulární dextriny a cukry: 65 – 90 °C. Tato výsledná směs se ochlazuje a dodáme do ní zcukřovací fermenty – glukoamilázy. Tyto fermenty přetváří molekuly dextrinu na jednoduché cukry, které se už mohou přetvořit na etanol. Až máme hotový cukrový roztok, tak se přidává droždí *Saccharomyces cerevisiae*, které zpracuje molekuly cukrů na etanol a oxid uhličitý. Fermentace probíhá za teplot 30 °C a pH 5. Tomuto procesu odpovídá rovnice (1). Výsledná směs obsahuje do 10 % obj. etanolu.



Dále se etanolová směs separuje na tuhou a kapalnou část, která jako poslední jde do rektifikační věže. Odsud už vystupuje hotový etanol 95,5 – 96 % obj. Tuhá část pokračuje na další rozdělení a vypařování, pro přetvoření v DDGS (Dried Distillers Grains with Solubles), krmivé droždí nebo bioplyn. DDGS se může použít jako kvalitní krmiva například pro skot. Krmné droždí je kvalitní bílkovinný přídatek pro vše druhy zvířat. Bioplyn se většinou využívá na výrobu elektrické energie, tepla anebo páry [7].

Pro výrobu kvalitního motorového paliva musíme použít co nejčistější etanol. Proto se etanol (95,5 – 96 % obj.) po rektifikaci dále dehydratuje. V současné době známe mnoho způsobů dehydratace: pomocí absorpčních látek, chlorovodíková a azeotropní rektifikace, rektifikace ve vakuu. Nejvíce progresivní technologie je ale adsorpce v molekulárních sítích a membránová dehydratace, která spočívá v použití zeolitů – přírodních látek které v své porézní struktuře mají oxidy zásaditých kovů.

Dehydratační zařízení na základě molekulárních sítí se skládá ze dvou absorbérů fungujících periodicky. Do dehydratace vstupuje vodně-lihová pára z rektifikační kolony. Za vysokého tlaku jde přes jeden absorbér. Molekuly vody se zdržují v pórech molekulárních sítí a dehydratovaný líh se chladí, kondenzuje a odvodí se do zásobníku. Až se první absorbér ucpe, tak pára postupuje na druhý a první se regeneruje. Tento proces funguje pořád dokola [6].

Konečné stádium výroby je denaturace, kde se do čistého bioetanolu přidává 2 – 5 % obj. benzínu, aby nemohlo dojít k záměně a tento líh nemohl být vypit člověkem.

3.2 Výhody a nevýhody

Výhodami popsané technologie je velmi rychlá výtěžnost etanolu (pomocí vysoké membránové selektivnosti), možnost mít na výstupu prakticky čistý etanol (99,8 % obj.), nízké výrobní náklady, jednoduchost a spolehlivost automatizace a ovládní procesu, minimální doba výroby a minimální vliv lidského faktoru na samotný proces.

Surovina	Množství, [g]	Voda, [ml]	Kvasinky, [ml]	Cukr, [g]	Výstup líhu, [ml]	Obsah líhu, [% obj.]
Brambory	1000	2000	100	1000	450	70
Řepa	3000	100	50	100	170	60
Banán	1000	1000	50	100	160	45
Brambory	1000	1000	50	180	235	70

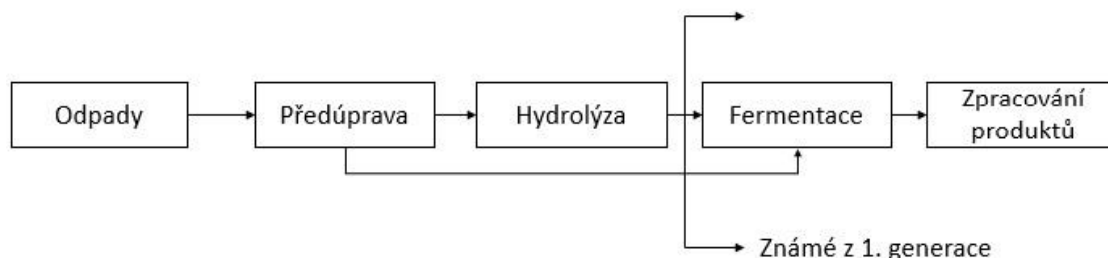
Tab. 5. Laboratorní výsledky výstupu bioetanolu z různých surovin [8].

V současné době možnosti dalšího navyšování výroby motorového biopaliva v státech Evropy (hlavního spotřebitele tohoto výrobku) jsou prakticky vyčerpány,

zejména kvůli nedostatku zemědělských ploch na pěstování dalších surovin. Proto hledání dalších možnosti výroby bioetanolu, např. z komunálního odpadu, je důležitou otázkou současné ekonomiky.

4 Bioethanol 2. generace

Je důležité uvědomit, že výroba bioethanolu 2. generace se liší od 1. generace jenom předúpravou. Rozdíl je, že při výrobě 1. generace se používají enzymy na rozklad škrobů, a u 2. generace se používají enzymy na rozklad celulózy, hemicelulózy, ligninu a jiných polysacharidů. Od procesu fermentace technologie se moc ne liší (obr. 4).



Obr. 4. Obecné schéma výroby bioethanolu 2. generace.

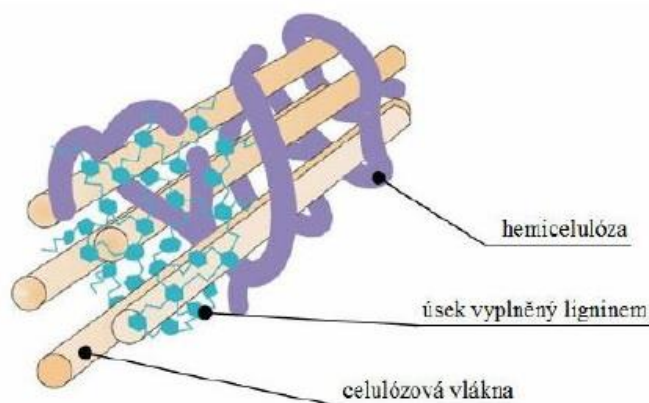
4.1 Bioethanol z lignocelulózových odpadů

V současné době roste zájem výroby bioethanolu 2. generace, tj. ethanolu z odpadů s lignocelulózovým odpadem. Tyto technologie mají velká zájem o biomasu z rychle rostoucích stromů, takových jako například topol, vrba a smrk. Tato metoda je velice známá a používá se už velmi dlouho.

V roce 1811 se Kirchhoff dozvěděl, že při interakci škrobu s kyselinou sírovou vzniká obyčejný cukr. Dále ruský chemik Fogel zjistil, že jestli celulóza má stejný chemický vzorec jako škrob – $C_6H_{10}O_5$, tak by bylo možné vytvořit cukr i z celulózy. Už v roce 1822 vyrobil cukr z papíru a 87 % obj. kyseliny sírové. Od 19. století se tato technologie využívá v průmyslu. V Sovětském Svazu například pracovalo 40 velkých továren výroby lihu z pilin. První z nich byla postavena už v roce 1934 [9].

4.1.1 Technologie předúpravy a výroby

Hlavním úkolem výroby ethanolu touto metodou je příprava suroviny k fermentaci [10]. Pro zrušení pevné struktury lignocelulózního celku a úplné odstranění ligninu potřebujeme částečnou nebo úplnou hydrolýzu hemicelulózy a přetvoření krystalické celulózy do amorfního stavu, užitečného pro další výrobu. Ve výsledku hydrolýzy (přetvoření polysacharidů na monosacharidy) máme hydrolyzáty (vodní roztoky organických látek, většinou pentózy a hexózy) a hydrolyzovaný lignin (kolem 30 % obj.). Protože na rychlost a stupeň hydrolýzy polysacharidů má vliv rozměr částic suroviny, předem se upravuje. V podstatě je potřeba zničit pevnou strukturu buněčné stěny lignocelulózové struktury (obr. 5) pro těžbu lignocelulózových vláken a hemicelulózy, a zjednodušení přístupu hydrolytických fermentů, zvýšení reakční kapacity celulózy.



Obr. 5. Struktura lignocelulózových materiálů. [27]

Předúprava se může provádět různými způsoby [11]:

1. Fyzikální předúprava

Zpracování γ -zářením, proudem elektronů, mikrovlnami [12], ohřevem, ochlazováním tlakovou expanzí a ultrazvukem.

2. Mechanická předúprava

Rozměňování na mlýnech (kulových, koloidních, vibračních), dezintegrátorech a drtičkách, lisování atd.

3. Chemická předúprava

Vytvoření z krystalické celulózy amorfní, delignifikace pomocí rozpouštění a regenerace s použitím různých chemických reagentů (roztoky anorganických solí, zásady, koncentrované minerální kyseliny, komplexní sloučeniny aj.)

4. Biologická předúprava

Působení lignolytickými mikroorganismy, schopnými výběrově zutilizovat lignin jako zdroj uhlíku. Dále, pomocí fermentů, mikroorganismy štěpí hemiceululózu na monosacharidy, technické fermenty glukózový sirup a lignin.

Nejnámější způsoby provedení hydrolýzy jsou:

- 1) Hydrolýza zředěnými kyselinami (např. 0,4-0,7 % obj. H_2SO_4) se provádí za teplot 120 – 190 °C a tlaku 0,6 – 1,5 MPa. Výhodami této metody je možnost použití vlhké nesusušené suroviny a provedení reakce bez regenerace kyseliny, z důvodu její malé spotřeby. Nevýhodami jsou vysoká spotřeba tepla na proces hydrolýzy, velké ztráty monosacharidů v důsledku rozložení v reakční zóně, vysoký stupeň znečištění hydrolyzátů nereagujícími zůstatky. Ale jednoduchost této metody našla využití ve velkém průmyslu SSSR [13].
- 2) Hydrolýza koncentrovanými kyselinami (většinou 30 – 40 % obj. HCl, 70 – 80 % obj. H_2SO_4) se provádí za teploty maximálně 60 °C. Vyrobené hydrolyzáty obsahují množství monosacharidů a zanedbatelný počet nečistot. Nicméně, pro fungování procesu je třeba používat více kvalitní suchou surovinu. Kromě toho,

pro průmyslovou výrobu je nutně doplnit linku regenerací minerálních kyselin a používat prostředky odolné proti agresivnímu prostředí.

Výsledné monosacharidy, po oddělení od ostatních produktů hydrolyzy, postupují na fermentaci, analogické výrobě etanolu ze škrobových surovin. Výsledný bioetanol se destiluje a následně se dehydratuje v molekulárních sítích (VIZ výroba 1. generace).

Doplňková výroba technických fermentů poskytuje zvýšení účinnosti výroby. Používají se většinou jako doplňky pracích prostředků, v potravinářském průmyslu (výroba lihu, pivovary, pekařství aj.), ve výrobě pokrmu atd. Lignin (nehydrolyzovaný zůstatek) představuje směs anorganických polymerů různé struktury. Může se použít jako palivo do pícek [14].

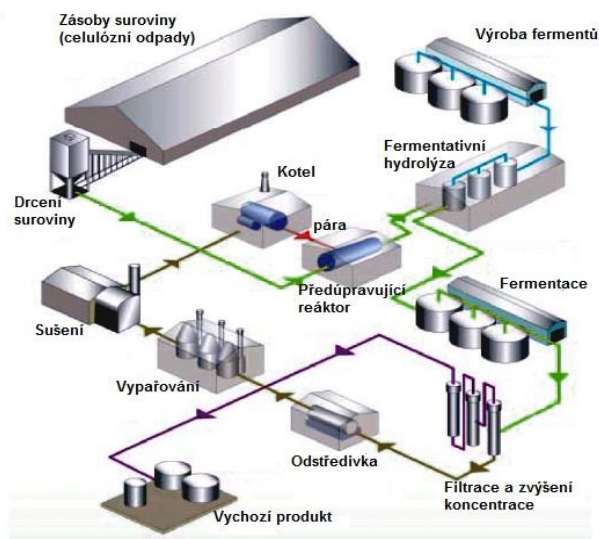
4.1.2 Výhody a nevýhody

Cena etanolu z fermentace celulózy dodnes je velmi vysoká, ve srovnání se škrobovými produkty, z důvodu několika faktorů [15]:

- Nízká výtěžnost cílového produktu
- Vysoká cena opracování celulózní suroviny
- Nízká rychlost fermentativní hydrolyzy celulózy

Světový chemický průmysl má velké zkušenosti ve výrobě ethylového lihu různými metodami. Ovšem stavba nových průmyslových továren, které by měly konkurenční sílu na palivovém trhu, potřebuje komplexní optimalizaci procesu výroby, kterou má poskytovat snížení spotřeby reagentů, zvýšení výtěžnosti a čistoty produktů a snížení negativního vlivu na okolní prostředí.

V současnosti ve vedoucích vědeckých centrech probíhají výzkumy nových metod (obr. 6). Zatím jsou však velice podobné, již popsaným metodám (viz výše) [16].



Obr. 6. Výroba celulózního bioetanolu s použitím fermentů (Du Pont Dansico Cellulosic Ethanol LLC). [10]

Nicméně, některé společnosti pracují na zlepšení a modernizaci speciálních fermentačních komplexů na výrobu bioetanolu a jiných látek z celulózy.

Například společnost Genecor, která je součástí mezinárodního koncernu DuPont, předvedla na trh fermentační zařízení Accellerase, které, jak říkají specialisti firmy, sníží spotřebu fermentů a nutných reagentů až trojnásobně a zvýší rychlost a objem přetvořené celulózy do etanolu. Dnes je již 30 zkušebních zařízení fungujících v USA, Jižní Americe, Asii a Evropě [17].

Firma Novozymes (Dánsko) také předvedla své zařízení Cellic CTec2, připravené pro komerční přeměnu celulózy do monosacharidů a oligosacharidů.

4.2 Bioetanol z rostlin druhů Heracleum

Další z možností výroby bioetanolu 2. generace je použití, jako základní suroviny, rostliny rodu Heracleum. Po celém světě je více jak 70 druhů bolševníku. V Evropě a zejména v ČR je nejrozšířenějším druhem bolševník velkolepý.

Poslední dobou se celý svět potýká s nebezpečnou invazí agresivně rostoucího bolševníku. Ten je schopen ničit původní ekosystémy na daném území. Rostlina může generovat desítky tisíc semenek, které se přenášejí větrem, vodou, zvěří i člověkem. Rostliny tohoto druhu jsou mrazuvzdorné, listy a stonek vydrží až -5 -6 °C. V zimě, za podmínek tlusté sněhové vrstvy, můžou vydržet až -40 °C. Růst těchto rostlin začíná téměř ihned po roztání sněhu. Maximální sklizeň zelené biomasy bolševníku je za 3-4 měsíce po začátku růstu. Poté rostlina znovu rychle vyrostе. Tím pádem za jednu sezonu máme i dvojnásobnou sklizeň, a to celkem 50 až 200 tun z hektaru [18].

Biomasa rostliny Heracleum je výborná jako skotu a má zvláštní chemické složení. Suchá hmota obsahuje 10-17 % hm. bílkovin, 3-5 % hm. tuku, 10-12 % hm. popelu a hodně vitamínu A a C. Ale důležitým faktorem pro nás je, že v období květu obsah bílkovin klesá z 20 do 10 % hm., a zároveň obsah cukru roste až do 30 % hm. Obecně biomasa z bolševníku má velkou konkurenční sílu na trhu palivových surovin (rychlý růst, odolnost proti klimatickým vlivům, agresivní půdě aj) [19].

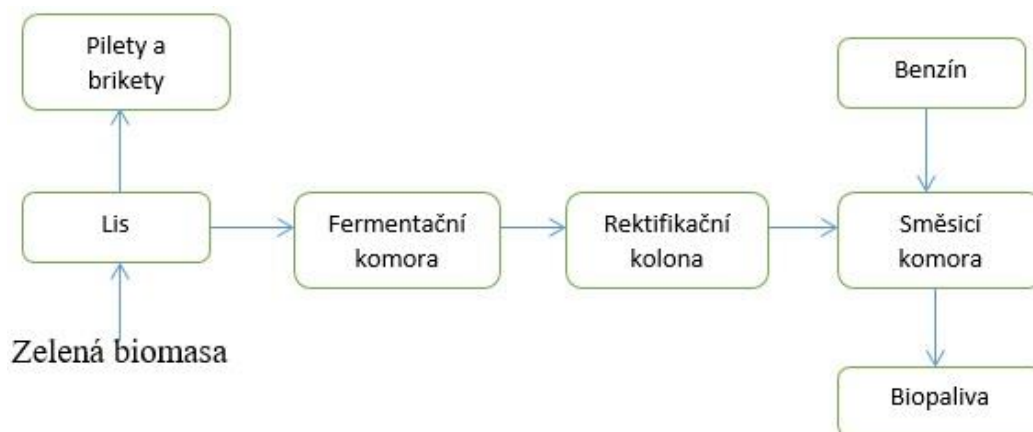
4.2.1 Účel využití

Invaze této rostliny nabývá dnes již katastrofických rozměrů. Proto se vůči bolševníku nasazují nejrůznější způsoby boje: vykopávání kořenů, kosení, ničení pomoci skotu, postřik herbicidy aj [20]. Ale většinou tyto způsoby bojů jsou těžké a málo efektivní. Proto je můžeme, bez starosti kosit s účelem následné výroby biopaliv. Teoretické výpočty ukázali, že při hodnotách sklizně 50 t/ha a 10 % hm. obsahem cukru bude zisk bioetanolu 2500l/ha, při hodnotách sklizně 200 t/ha a 31 % hm. obsahem cukru – 2900 l/ha. V tab. 6 jsou uvedeny hodnoty výroby bioetanolu a bionafty z různých kultur [21]. Při porovnání výsledku je vidět, že i při minimálním výstupu z bolševníku, je zde velká konkurenční síla, ve srovnání s ostatními.

Kultura	Skližeň, t/ha	Obsah významných prvků, % hm	Výstup, l/t	Výstup, l/ha
Cukrová třtina	65	Cukr 15% hm	70	4550
Čirok	1,3	Škrob 60% hm	380	494
Cukrový čirok	50	Cukr 18% hm	85	4250
Cukrová řepa	46	Cukr 24% hm	110	5060
Kukuřice	4,9	Škrob 65% hm	400	1960
Rýže	4,2	Škrob 70% hm	430	1806
Pšenice	2,8	Škrob 55% hm	340	952
Manioka	12	Škrob 24% hm	180	2070
Sója	2,7	Olej 22% hm	205	552
Slunečník	2,2	Olej 52% hm	441	970
Olejevá palma	17,8	Olej 25% hm	230	4092
Olejka	3,5	Olej 45% hm	435	1520
Topinambur	60	Cukr 14% hm	67	4020
Brambory	20	Škrob 20% hm	115	2400
Bolševníky	50-200	Cukr 10-31% hm	47-145	2500-29000

Tab. 6. Výroba biopaliv z různých surovin. [22]

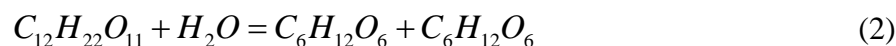
4.2.2 Technologie výroby



Obr. 7. Proces výroby bioethanolu z bolševníku

Rostliny se na začátku rozemelou, potom jdou na extrakční lis. Obvykle se extrudují dvakrát, po 1. operaci se biomasa promíchá s vodou a znovu se extruduje. Tímto zaručujeme rozpouštění zbývajících cukru. Účinnost tohoto procesu je 90-93 %. Z lisu nám vystupuje šťáva, která projde filtry, a tuhý zbytek, z které vyrábíme tuhá paliva (pelety, brikety). Malá část šťávy se odebere do kvasinkového reaktoru na výrobu droždí. Zbytek šťávy se smíchá s kváskem a jde do fermentačního tanku.

Pro kvašení se do šťávy dodává kultura *Saccharomyces cerevisiae*, která díky svým fermentům (invertáza a zimáza) přetváří cukr na etanol (r-ce 3).



Sacharóza glukóza fruktóza
 zimáza



glukóza/fruktóza etanol

V dobře kvašeném produktu musí být obsah etanolu více jak 10 % obj. ale méně než 13 % obl., koncentrace zbytkového cukru maximálně 0,45 % obj., kyselin max. 0,2 % obj. Na výstupu etanolu, rychlost jeho tvoření a fyziologický stav kultury *Saccharomyces cerevisiae* má velký vliv jejich koncentrace v kvasném produktu. Optimálně je to 15-20 g v jednom litru. Tato koncentrace droždí rychle přetvoří cukr, obvykle kolem 6-7 hodin, a výsledné množství etanolu dosáhne 57-59 litru ze 100 kg produktu [22].

Dále jde kvašený produkt na destilaci. Principem procesu je, že etanol a voda mají různou teplotu varu (100°C – voda, 78°C – etanol). Kromě vody a lihu obsahuje produkt velké množství nečistot. Lehké se začnou vypařovat při teplotě 68°C, těžké při 85°C. Proto je velmi důležité při destilaci dodržovat takovou teplotu, při které se etanol už vypařuje, ale přiboudliny ještě ne. Na výstupu z rektifikační věže máme čistý etanol 96-96,2 % obj. Dle technických požadavků, ve směsi s obsahem etanolu více než 10 % obj. je třeba použít absolutně čistý etanol (99,5 % obj.) [22].

Zbývající produkt po rektifikace jde na krmné směsi pro skot, protože má prakticky původní chemické složení, ale bez cukru a droždí. Taky na kapalně fázi odpadu je možnost pěstovat speciální droždí – aktinomicety, produkující antibiotika a vitamin B12.

Výsledný bioetanol se namíchá s benzínem a máme hotové palivo. Přidávání bioetanolu do benzínu nejen šetří spotřebu posledního, ale i poskytuje čistější splodiny.

4.3 Bioetanol z odpadů živočišného původu.

Taky je spousta jiných odpadů, ze kterých teoreticky je možné vyrábět etanol.

Velice zajímavé jsou také odpady živočišného původu, které jsou stejně objemné, jako suroviny rostlinného původu. Zejména roční objem fekálií z farem je jen v Rusku na 600 milionů tun [23].

Odpady mikrobiálního původu nejsou moc rozmanité. Většinou se jedná aktivovaný kal a kal obsahující zbytky, vznikající při biologickém zpracování odpadních vod. Roční výstup v Rusku je kolem 88 milionů m³ [24].

Z velkého množství odpadů, používaných jako surovina na výrobu biopaliv, jsou zajímavé tuhé komunální odpady – potravinářské a také papír, karton a dřevěné odpady. Společný objem tuhých komunálních odpadů v RF je 35 milionů tun ročně.

Kandidát biologických věd, docent katedry „Chemická technologie a biotechnologie“ Omské státní technické univerzity Světlana Čačina ukázala výsledky jedné své vědecké práce, zaměřené na zpracování různých odpadů pro následující fermentaci a výrobu bioethanolu.

Na základě patentů RF proběhlo 14 zkoušek z ledna 2013 do května 2014. V některých z nich se využily jenom potravinářské látky: brambory, řepa, banány a cukr, což nás v rámci uvedené problémy v tomto případě nezajímá. Proto jsem ukázal jenom část těchto zkoušek.

Zkouška 1

V souladu s patentem RF №1303034, C12P7/06 nepoužité zbytky brambor (4 kg) se drtili a míchali se s 0,04 kg zředěné 0,5 % obj. kyseliny sírové, s aktivovaným kalem (0,8 kg), získaného z čistíren odpadních vod, a s vodou (4 l). Ohřev reakční směsi se prováděl v laboratorní sušičce do teploty 200 °C v průběhu 2 hodin. Rychlost hydrolýzy celulózy rostlinné suroviny a polysacharidů je průměrně stejná, což za těchto podmínek poskytuje zvýšení výstupu monosacharidů a obohacuje hydrolyzát anorganickými mikro a makro elementy. Reakční směs, získaná z hydrolýzy, se odváděla z extruderu a šla na separaci. Odseparovaný zbytek (lignin) by se mohl dále použít na výrobu minerálních hnojiv. Odseparovaný hydrolyzát se neutralizoval 25 % obj. hydroxidem amoniaku. Výsledný hydrolyzát s pH 4,0 – 4,5 šel na fermentaci s přidávným objemem kvasinek 100 ml.

Zkouška 2

V souladu s patentem RF №1303034, C12P7/06 drcené listí a sláma (1 kg) se míchal se zředěnou 0,5 % obj. kyselinou sírovou, aktivovaným kalem (0,8 kg) a vodou (1 l). Ohřev se taky prováděl do teploty 200 °C v průběhu 2 hodin. Reakční směs, získaná po hydrolýze, postupovala na separaci. Odseparovaný hydrolyzát se neutralizoval 25 % obj. hydroxidem amoniaku. Výsledný roztok s pH 4,0 – 4,5 šel na fermentaci s objemem kvasinek 100 ml.

Zkouška 4

Zbytky odpadních vod (1,4 kg) se smíchali s 2 l vody a 100 ml kvasinek.

Zkouška 5

Rozdrcené zbytky brambor (1kg) se míchali s 0,002 kg kyseliny sírové, 2 l aktivovaného kalu, 2 l vody a prováděli hydrolýzu výše uvedeným způsobem při teplotě 200 °C.

Zkouška 6

150 g pilin se namíchali s 0,0025 kg kyseliny sírové a prováděli hydrolyzu při teplotě 200 °C v průběhu 2 hodin. Pak do hydrolyzátu dodali 600 ml vody, 100 ml kvasinek a 600 g cukru.

Zkouška 10

Koňské fekálie (0,5 l) se míchali s 0,0025 kg kyseliny sírové a prováděli hydrolyzu při teplotě 100 °C v průběhu 1 hodiny. Pak k výsledné reakční směsi přidávali obyčejnou křidu, pro likvidaci síry. Do ochlazené směsi dodávali 1,5 l vody, 50 ml kvasinek a 600 g cukru.

Zkouška 11

Kraví fekálie (0,5 l) se míchali s 0,0025 kg kyseliny sírové a prováděli hydrolyzu při teplotě 100 °C v průběhu 1 hodiny. Pak k výsledné reakční směsi přidávali obyčejnou křidu pro likvidaci síry. Do ochlazené směsi dodávali 1,5 l vody, 50 ml kvasinek a 600 g cukru.

Zkouška 12

Kuřecí fekálie (0,5 l) se míchali s 0,0025 kg kyseliny sírové a prováděli hydrolyzu při teplotě 100 °C v průběhu 1 hodiny. Pak k výsledné reakční směsi přidávali obyčejnou křidu pro likvidaci síry. Do ochlazené směsi dodávali 1,5 l vody, 50 ml kvasinek a 600 g cukru.

Zkouška 13

Rozdrcenou slámu (0,5 kg) namíchali s 0,0025 kg kyseliny sírové. Hydrolyza proběhla při teplotě 200 °C v průběhu 2 hodin. Pak k produktům hydrolyzy přidali 2,5 l vody, 50 ml kvasinek a 600 g cukru.

Zkouška 14

Rozdrcené padané listí (0,5 kg) namíchali s 0,0025 kg kyseliny sírové. Hydrolyza proběhla při teplotě 200 °C v průběhu 2 hodin. Pak k produktům hydrolyzy přidali 2,5 l vody, 50 ml kvasinek a 600 g cukru.

№	Surovina	Množství suroviny, [g]	H ₂ SO ₄ [g]	Aktivovaný kal, [g]	H ₂ O [l]	Kvasinky [ml]	Cukr [g]	Výtěžnost [ml]	Obsah etanolu, [% obj.]
1	Brambory	4000	150	800	4	100	0	0	-
2	Org. odpad	1000	40	800	1	100	0	0	-
4	Zbytky odpadních vod	1400	0	0	2	100	0	0	-
5	Brambory	1000	2	2000	2	100	0	0	-
6	Piliny	150	4	0	0	100	600	725	90
10	Fekálie koňské	500	25	0	1,5	50	600	200	90
11	Fekálie kraví	500	25	0	1,5	50	600	162	95
12	Fekálie kuřecí	500	25	0	1,5	50	600	195	95
13	Sláma	500	25	0	2,5	50	600	400	55

Tab. 5. Výsledky laboratorních zkoušek [8].

Výsledky zkoumání:

Ve zkouškách 1, 2, 4 a 5, kde byl použit aktivovaný kal odpadních vod, proces fermentace neproběhl kvůli toxicitě kalu.

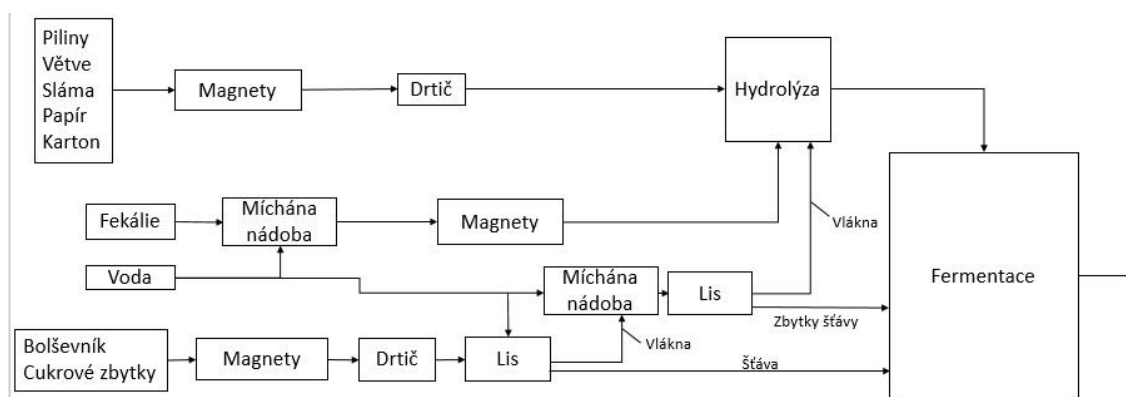
Zisk bioetanolu z živočišných odpadů ukázal na vysokou účinnost a nízkou cenu při použití výchozích surovin. Zkouška 10 měla výtěžnost 200 ml 90 % obj. etanolu. Cena 1 l byla 100 rublů. Zkouška 11 měla výtěžnost 162 ml 95 % obj. etanolu. Cena 1 l byla 123 rublů. Zkouška 10 měla výtěžnost 200 ml 95 % obj. etanolu. Cena 1 l byla 100 rublů [8].

Nejvíce levný a efektivní způsob výroby byl z kuřecích fekálií, které navíc řadíme mezi toxické odpady, které nemůžou být zutilizovány standartními způsoby. Tím pádem zpracováním těchto odpadů řešíme i některé vybrané ekologické problémy.

Vystup bioetanolu z celulóznic odpadů ukázal nejvyšší výtěžnost a nízkou cenu výstupního produktu. Nicméně, jak bylo řečeno dříve, průmyslová výroba ukazuje mnohem horší výsledky. Zkouška 6 měla 725 ml 90 % obj. lihu. Cena 1 litru byla 28 rublu. Zkouška 13 měla 375 ml 75 % obj. etanolu. Cena 1 l byla 54 rublů. Zkouška 14 měla 400 ml 55 % obj. lihu. Cena 1 l byla 50 rublů [8].

5 Předúprava surovin

Na základě probraných typů odpadů a jejich zpracování jsem se pokoušel vytvořit vlastní schéma předúpravy vstupní suroviny (obr. 8).



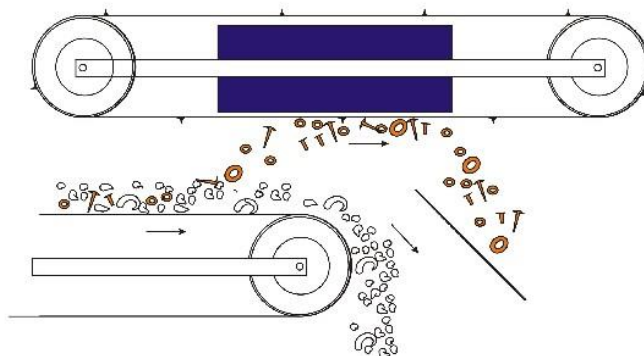
Obr. 8. Blokové schéma předúpravy odpadů dle 2. generace.

Jak bylo uvedeno dříve, od stádia fermentace je následující proces výroby stejný jako u výroby 1. generace. Proto u výroby 2. generace je třeba se zaměřit jen na předúpravu surovin (přetvoření celulózy a polysacharidů do monosacharidů). V prvním úseku použijeme celulózní odpady (piliny, větve, sláma, papír, karton). Za prvé by tyto suroviny měly projít magnety pro odstranění jakýchkoliv kovů. Dále jdou na drcení. Následně už mohou jít na hydrolýzu (podrobná technologie byla popsána výše). Ve druhém úseku použijeme fekálie obsahující velké množství polysacharidů. Stejně tak i ty by se měly projít přes magnety. Pak se mohou smíchat s vodou a pokračovat dále na hydrolýzu do stejného reaktoru. Je třeba si uvědomit, že proces hydrolýzy potřebuje vodu. I když ji nemáme skoro žádnou při předúpravě celulózních odpadů, do reaktoru se bude přidávat společně s fekáliemi. V posledním úseku se bude hlavně připravovat bolševník a jiné odpady, které by ale také mohly obsahovat monosacharidy. Stejně tak tyto odpady projdou magnety a následně se mohou lisovat. Šťáva, obsahující cukr, půjde přímo do fermentačního reaktoru. Tuhé zbytky, po omývání a sekundární lisování, můžeme dát do reaktoru s hydrolýzou (v podstatě stejně tak obsahují celulózu).

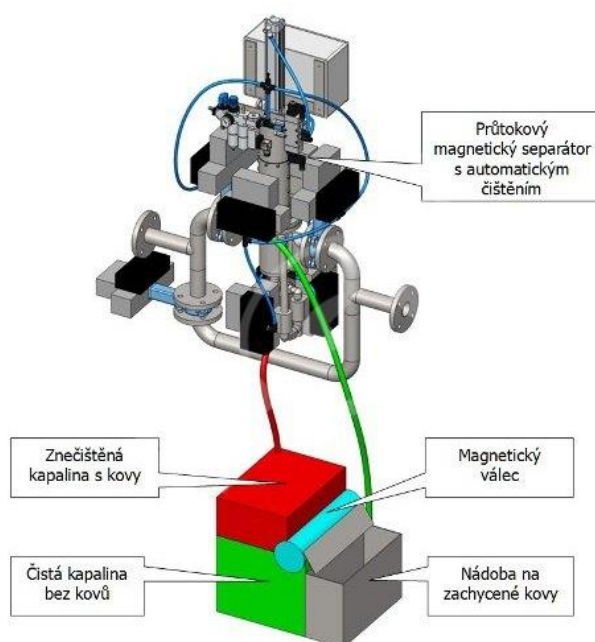
5.1 Návrh zařízení

5.1.1 Magnetická separace

Tím že jsou chemické a biologické procesy při výrobě bioetanolu velmi citlivé na obsah kovů (např. můžou zničit kvasinky při fermentace), měli bychom je odstranit ze suroviny ještě před zahájením samotné předúpravy. Navíc drtiče jsou určeny na mletí měkčích materiálů, proto by je mohly kovové částice zničit. Na odstranění použijeme magnetickou separaci, jejíž podstatou je použití obyčejných elektromagnetu. Existují různé typy separátoru, ale v našem schématu bylo nejvhodnější použít konstrukci magnetického separátoru kovu nad pasovým dopravníkem pro lignocelulózové odpady (obr. 9). Na separaci fekálii, tím že jsou velice tekuté, můžeme použít separátor tekutých směsí (obr. 10).



Obr. 9. Magnetický separátor kovů nad pasovým dopravníkem [25]



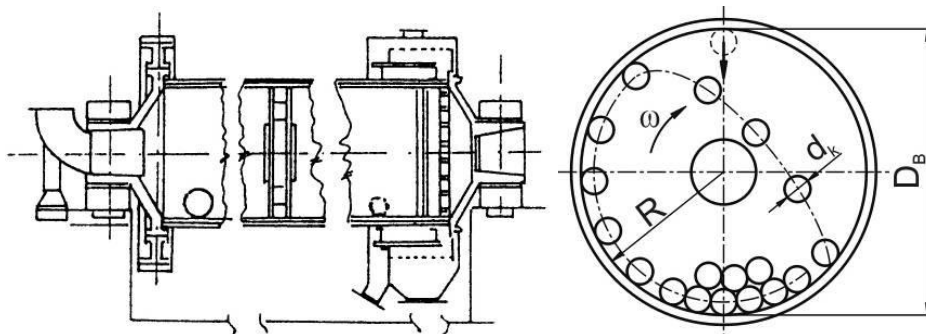
Obr. 10. Separátor tekutých směsí [25]

5.1.2 Drcení

Na tvrdé materiály různé velikosti se používají drtiče. V našem případě jsou těmito materiály dřevěné větve, piliny, karton, papír a sláma. Drtiče používají působení stříhových sil, které jsou v mlecí komoře vyvolány systémem vůči sobě opačně rotujících částí.

5.1.2.1 Kulový mlýn

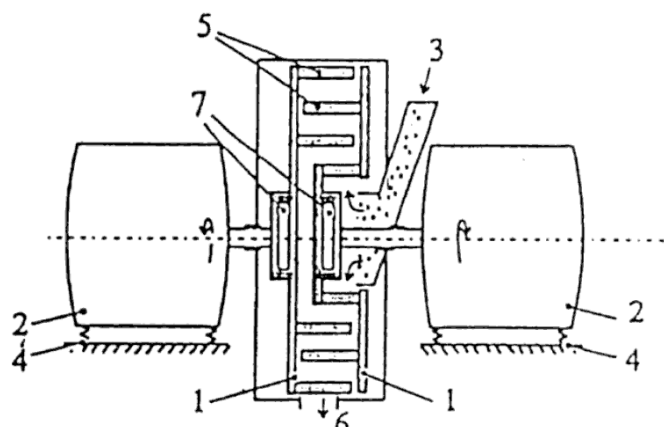
K dezintegraci materiálu v kulovém mlýnu (obr. 11) dochází pomocí volně uložených mlecích těles. Nejčastěji jsou mlecími tělesy koule. Tělesa jsou uloženy ve válcové části mlýnu – bubnu. Vnitřní stěny bubnu jsou obloženy oteruvzdorným materiálem. Při otáčení bubnu dochází k unášení mlecích těles, která při pádu drtí a rozpojují materiál. K dezintegraci materiálu dochází také vzájemným třením tělisky mezi sebou a mezi bubnem. V kulových mlýnech lze zpracovávat jakýkoliv materiál bez ohledu na obsah vlhkosti. Účinnost rozmělnění materiálu závisí na druhu rostlinné suroviny. Nejmenší účinnost mletí kulovým mlýnem je při mletí tvrdých odpadů, jako je např. dřevní štěpka [27].



Obr. 10. Kulový mlýn [27]

5.1.2.2 Koloidní mlýn

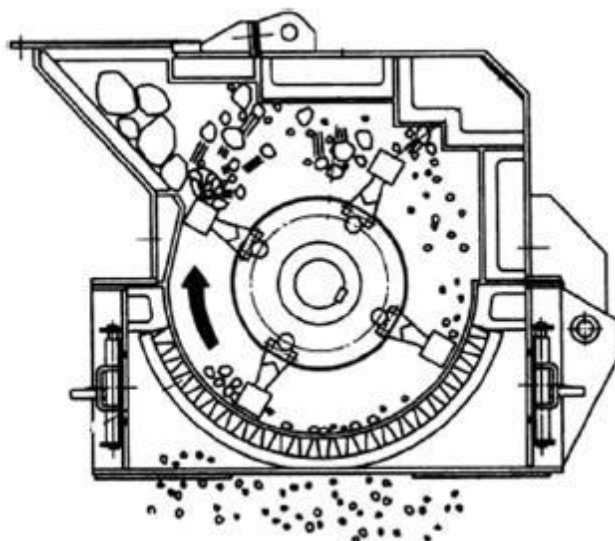
Princip dezintegrace koloidního mlýnu, viz obr. 2.9, spočívá na ořezu materiálu, ke kterému dochází působením smykových sil na částici materiálu mezi mlecími segmenty. Materiál je do mlecí komory přiváděn ve formě suspenze. Při průtoku úzkou štěrbinou mezi rotujícími disky je vystaven vysokým smykovým silám, a tím dochází k jeho rozpojení. Výstupní rozměr částičky je závislý na velikosti mezery mezi kotouči a rychlostí jejich rotace. Disky mohou být různě profilované. Pro zvýšení intenzity rozmělnění pevné fáze se na disky instalují segmenty s různým typem ostří. Doba mletí závisí na druhu zpracovávaného materiálu, velikosti mlecí mezery mezi disky a jeho viskozitě [27].



Obr. 12. Koloidní mlýn [27] 1-rotor, 2-motor, 3-plnění materiálu, 4-elastická plošina, 5-drtič součásti, 6-výstup materiálu, 7-adaptivní ovladač.

5.1.2.3 Kladivový mlýn

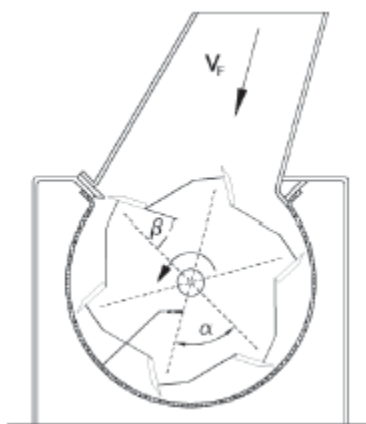
Klasický kladivový mlýn (obr. 13) se skládá z rotoru a skupiny kladiv. V průběhu otáčení rotoru kladiva drtí materiál a ten následně propadá síty. Kladivové mlýny jsou relativně levné stroje, které jsou zároveň lehce ovladatelné. Energetická náročnost této metody závisí hlavně na velikosti vstupního materiálu a na požadavcích na velikost materiálu výstupního. Dále také závisí na vlhkosti a charakteristice daného materiálu. Celý proces se dá regulovat pomocí změny otáček rotoru, změnou velikosti sít nebo změnou plnění stroje. Pomocí měření bylo zjištěno, že energetická náročnost metody roste s rostoucím obsahem vlhkosti v materiálu a s klesajícími požadavky na velikost výsledného materiálu [27].



Obr. 13. Kladivový mlýn [27]

5.1.2.4 Nožový mlýn

Pro předúpravu materiálu, který má vlhkost do 15 %, se používá nožových mlýnů (obr. 14). Velikost výstupního materiálu závisí hlavně na frekvenci plnění, rychlosti rotoru, na typu bubnové plochy a na úhlu natočení jednotlivých nožů. Obecně bylo zjištěno, že použití nožových mlýnů pro suché materiály je energeticky nejvýhodnější [27].

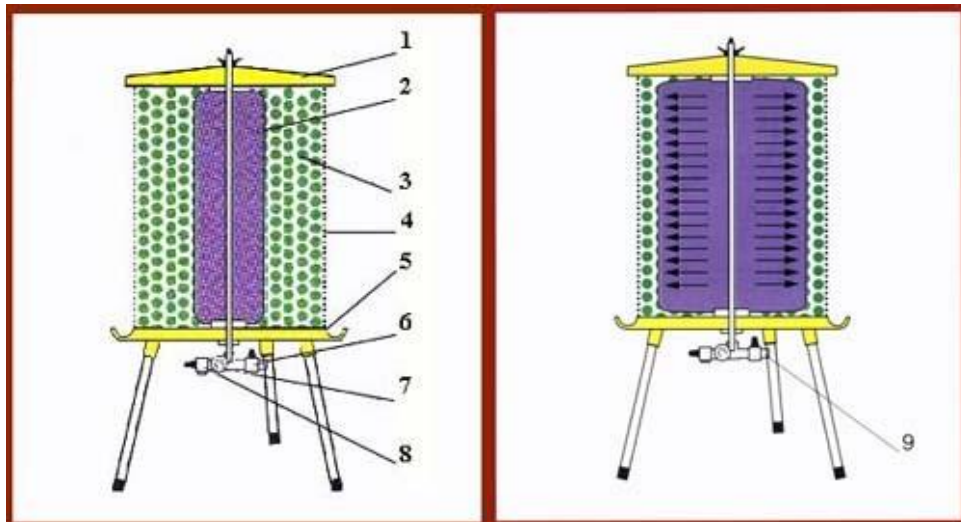


Obr. 14. Nožový mlýn [27]

5.1.3 Lisování

5.1.3.1 Hydraulický lis

Tyto lisy používají na lisování tlak vody. Jsou většinou složeny z podstavce, záchytné vany a vertikálního válcovitého koše uzavřeného v horní části víkem. Uvnitř je umístěn pryžový vak, který se při lisování postupně plní vodou. Vak se postupně plní a tlačí lisovaný produkt na vnitřní stranu lisovacího koše. Lisovací tlak se pohybuje na úrovni 2,6 -3 baru. Pomocí filtračního sáčku se nám podaří zároveň i filtrovat výchozí šťávu, což potřebujeme pro následující fermentaci [28].

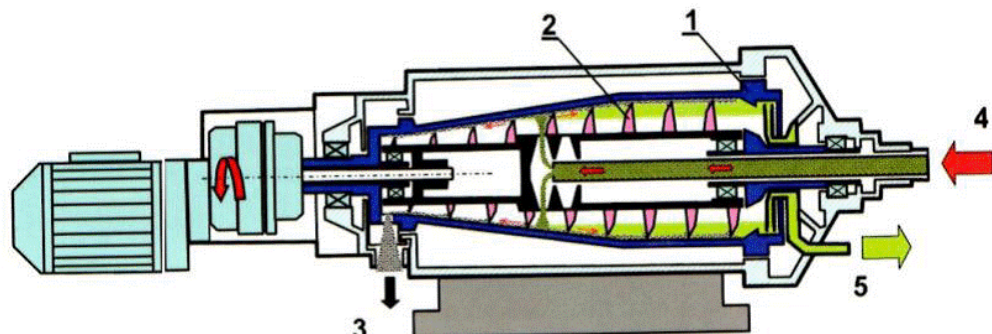


Obr. 15. Hydraulický lis [29] 1-víko lisu, 2-gumový vak, 3-lisovaná hmota, 4-lisovací koš, 5-vana lisu, 6-regulační ventil, 7-tlakoměr, 8-pojistný ventil, 9-tlaková voda

5.1.3.2 Šnekové a pasové lisy

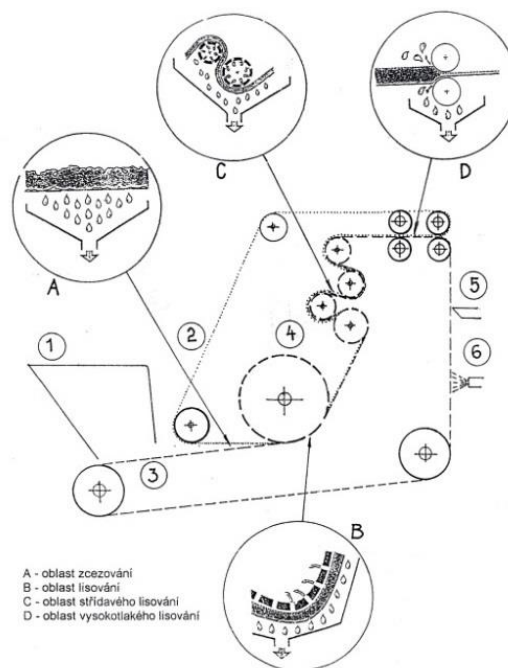
Jsou to lisy s průběžným (kontinuálním) pracovním procesem. Vysoká výtěžnost, běžně až 80 % obj., je dosažena díky vysokému tlaku v průběhu procesu (až 12 atmosfér). Ale nevýhodou je, že ve výsledné šťávě je rozpouštěno velké množství nečistot (15-18 % obj.). Proto je potřebná následná filtrace.

Šnekové lisy (obr. 16) pracují na principu závitu se zmenšujícím se stoupáním, nebo je lisovaný produkt posouván šnekovým dopravníkem v zužujícím se válci. Surovina je přiváděna širším čelem a odtud je dále posouvána do zužujícího se prostoru, přičemž dochází k oddělení šťávy [28].



Obr. 16. Šnekový lis [30] 1-buben, 2-šnekový dopravník, 3-odvod kalu, 4-přívod moštu, 5-odvod čistého moštu

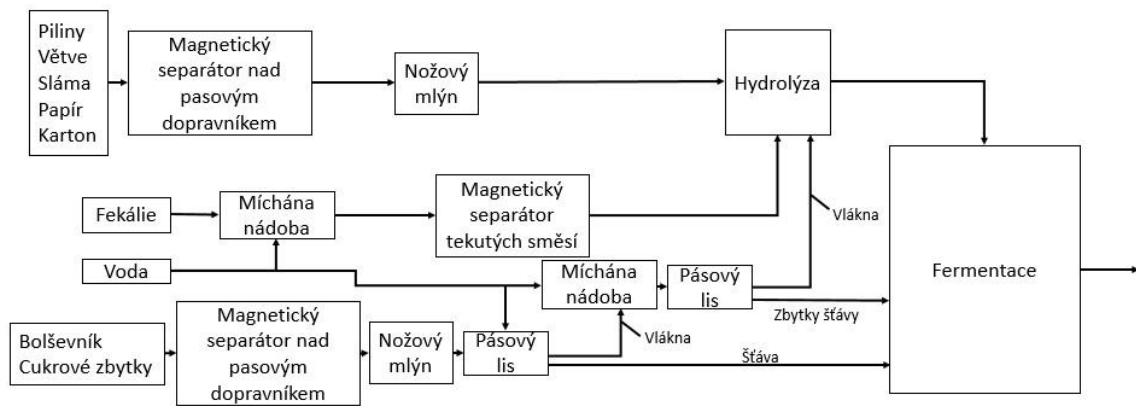
Pásový lis (obr. 17) se skládá ze dvou pracovních pásů, mezi které se přivádí lisovaný produkt. Pásky jsou vyrobeny z povlakovaného textilu s dostatečnou propustností pro vylisovanou šťávu. Pásky jsou vedeny systémem rotujících válců, které jsou poháněny elektromotorem. Proces lisování probíhá postupně, s nárůstem tlaku 0,1-2 MPa. Charakteristické jsou 4 zóny – scezování, lisování, střídavé lisování a vysokotlaké lisování. Vylisovaný produkt je odváděn do zásobníku. Plocha pásu je průběžně čistěna pomocí škrabky a ostříkovaná pomocí trysek umístěných nad pasem [28].



Obr. 17. Pásový lis [31] A-oblast zcezení, B-oblast lisování, C-oblast střídavého lisování, D-oblast vysokotlakého lisování, 1-násepka, 2-horní pracovní pás, 3-dolní pracovní pás, 4-lisovací válce, 5-čištění pásu, 6-čištění vodní sprchou

5.2 Použité zařízení

Při zkoumání vhodnosti zařízení bylo rozhodnuto o využitelnosti pouze některých typů. Protože používáme docela suchou lignocelulózovou surovinu, nejvíc se nám budou hodit nožové mlýny (obr. 14). Navíc, jsou univerzálnější než ostatní, což je také rozhodující kritériem pro výběr. Nemůžeme totiž přesně vědět, v jakém tvaru k nám přijde surovina: větve, karton anebo sláma. Šnekové (obr. 16) a pásové (obr. 17) lisy mají vyšší rychlost opracování než hydraulické nebo pneumatické, což bylo také jedním z hlavních kritérií při výběru lisů. Nižší čistota výchozí šťávy nemá takový význam, jako v potravinářském průmyslu. Navíc můžeme použít doplňkové filtry. Ohledně magnetů by bylo nejvhodnější použít konstrukci magnetického separátoru kovu nad pasovým dopravníkem pro lignocelulózové odpady (obr. 9). Na separaci fekálii, tím že jsou velice tekuté, můžeme použít magnetický separátor tekutých směsí (obr. 10). Konečným výsledkem Bakalářské práce je doplněné koncepční schéma výrobní linky předúpravy odpadů při výrobě bioetanolu 2. generace (obr. 18).



Obr. 18. Doplňené blokové schéma předúpravy odpadů dle 2. generace

Hlavní kritická místa tyto linky jsou:

- 1) Různá velikost a tvrdost lignocelulóзовých surovin, což by mohlo vyvolat problémy při drcení. Proto nejvhodnější bude doplňková separace v tomto úseku.
- 2) Bolševník můžeme používat jenom v určitém období. Proto tento úsek předúpravy pravděpodobně bude pracovat jenom v létě.
- 3) Různá homogenita a chemické složení živočišných odpadů ukazuje na nutnost průběžné kontroly přídavných materiálů při hydrolyze.

Nicméně, tyto kritická místa nejsou až tak kritická a nepotřebují zásadní změny v konstrukci linky.

6 Závěr

První část bakalářské práce byla věnovaná porovnání různých typů biopaliv, konkrétně pak bioetanolu. Dále bylo do hloubky probráno využití a výroba bioetanolu ve světě, ukázány různé typy paliv na základě bioetanolu a další možnosti využití etanolu v chemickém průmyslu.

Druhá část práce byla věnovaná výrobě bioetanolu 1. generace. Byly ukázány a prostudovány dvě základní technologie výroby ze surovin obsahujících škrob, a posouzeny výhody a nevýhody.

Třetí část práce byla zaměřená na výrobu bioetanolu 2. generace. Byly prostudovány různé typy odpadů, ze kterých by bylo možné vyrábět etanol. Ve výsledku byly vybrány tři hlavní skupiny těchto odpadů: lignocelulóзовé odpady, odpady obsahující cukr (bolševník a cukrové zbytky) a odpady obsahující polysacharidy (živočišné odpady). Byly prozkoumány jejich technologie předúpravy, ekonomické a technologické nároky, kde lignocelulóзовe odpady ukázali nejvyšší výtěžnost a koncentrace výchozího produktu, ale zároveň vysokou náročnost technologie předúpravy. Naopak, odpady obsahující cukr a polysacharidy ukázali o trochu nižší výtěžnost a koncentrace lihu, ale mnohem nižší náročnost technologie předúpravy.

V čtvrté části práce byly prozkoumány a vybrány potřebné typy zařízení na předúpravu: magnetické separátory, drtiče a lisy. Na konci, s použitím prozkoumaných údajů, bylo vytvořeno schéma předúpravní linky při výrobě bioetanolu 2. generace a posouzeno její kritická místa.

Obecně, na základě bakalářské práce bych chtěl upozornit, že výroba bioetanolu 2. generace je mnohem náročnější než výroba 1. generace, a to kvůli hydrolýze. Avšak při použití za účelu suroviny bolševníku mnohem se zjednoduší výroba, ale už nastává problém s dodáváním suroviny. Navíc výroba 2. generace je dražší. Nicméně, můj názor je, že výroba bioetanolu 2. generace má budoucnost. Za prvé, každým rokem roste světová spotřeba paliva, a orné půdy nemůžou splnit takové požadavky na poskytování surovin. Za druhé, toto je jedna z možností zpracování a využití odpadů.

7 Použitá literatura

- [1] БУЛАТКИН Г. А. Перспективы и ограничения производства биотоплива 2 поколения из растительного сырья. *Экологический вестник России* – 2009. №10 с. 49 – 52.
- [2] ВОРОБЬЕВ И. Г. О проблемах производства биотоплива в мире. *БИКИ № 8118872, 21.07.2005*. С. 12 – 14.
- [3] КАЛЮЖНЫЙ С.В. *Итоги науки и техники: ВИНТИ АН СССР*. М., 1988, Т. 21, с. 22 – 24.
- [4] WALKER G. M. Bioethanol: Science and Technology of Fuel Alcohol. *Ventus Publishing ApS, 2010*. P. 32.
- [5] КОКОРКИН А. О. Климат – проблема экономическая. *Академия энергетики*. – 2007. №5, с. 4 – 7.
- [6] MADSON P. W., MONCEAUX D. A. Fuel ethanol production. *KATZEN International, 2003*. P. 1.
- [7] ГАЛУЗИНСКИЙ О. Г. ЩУЦКИЙ И. В. *Сахар Украины*. – 2008. №1, с. 8.
- [8] ЧАЧИНА С. Б., ДВОЯН А. Б. Получение биоэтанола из органического сырья. *Омский научный вестник*. – 2014. №2 с. 134
- [9] КОЛЕСНИКОВ Б. А. Биотехнологическая переработка отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности. *Рос. Хим. Журн.* – 2011. Т. 1, № 1, С. 17 – 25.
- [10] JANIK J., WHIRKEY A. Trends in new crops and new uses. *ASHS Press, 2002*. P. 17.
- [11] БУДАЕВА В. В., МИТРОФАНОВ Р. Ю., ЗОЛОТОУХИН В. Н. *Ползуновский вестник*. – 2008. №3, С. 322.
- [12] КИСУРИН И. В., АРАПОВ К. А., ГУЩИН П. А., ИВАНОВ Е. В., ВИНОКУРОВ В. А. *Баи. Хим. Журн.*–2010. Т.17, №3, С. 167.
- [13] ХОЛЬКИН Ю. И. Технология гидролизных производств. М.: *Лесн. Пром-ть*, 1995. С. 190.
- [14] LEE J. *Journal of Biotechnology*.– 1997. №56, P. 1.
- [15] GREER D. *BioCycle*.– 2007. Vol.48, №.1, P. 46.
- [16] СИНИЦЫН А. П., ГУСАКОВ А. В., ЧЕРНОГЛАЗОВ В. М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов. М.: *Изд_во МГУ*, 1995. С. 3.
- [17] FUJII T., FANG X., INOUE H., MURAKAMI K., SAWAYAMA S. *Biotechnology for Biofuels*.–2009. №2, P. 24.
- [18] КУЛЕШОВ, Н.И. Разработка приемов возделывания борщевика Сосновского в условиях центральных районов Нечерноземной зон. *Автореферат диссертации*. М.,-1990.
- [19] НИЛЬСЕН, Ш. Коллектив авторов. Практическое пособие по борьбе с гиганскими борщевиками (на основе европейского опыта борьбы с инвазионными сорняками). *Hoersholm Denmark* - 2005. С. 43.

- [20] СОЦИОПЕРОВА И.Ф. Борщевики флоры СССР, Л.: Наука, 1984 г.
- [21] FAO. 2016. [Online] 2016. [Citace: 14.04.2016]
<http://www.fao.org/docrep/>
- [22] ДОРОЖИЕВ С.С., ПАТЕЕВА И.Б. Энергоресурсосберегающая технология получения биоэтанола из зеленой массы растений рода *Heracleum*. *Ползуновский вестник №2/2 – 2011*. С. 254
- [23] РОГОВИН, З. А. Химия целлюлозы. М. :Химия, 2009. С. 136.
- [24] РУСТАМОВ Н. А. Биомасса – источник энергии. *Энергия*. –2005. № 6, с. 20–28.
- [25] MAGSY, S. R. O. 2016. [Online] 2016. [Citace: 16.06.2016]
<http://www.magsy.cz/24669-magneticke-separatory-odlucovace-kovu>
- [26] RETSCH. 2016. [Online] 2016. [Citace: 16.06.2016]
<http://www.retsch.cz/cz/produkty/mleti/kulove-mlyny>
- [27] SETNIČKA, Antonín. *Návrh konstrukce macerátoru pro přípravu lignocelulózových odpadů o výkonnosti 3 th⁻¹*. ČVUT 2016. Diplomová práce, Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky.
- [28] MIKULICA, Petr. *Lisování, druhy lisovacích systému*. MENDLOVA UNIVERZITA V BRNĚ 2013. Bakalářská práce, Zahradnická fakulta v Lednici.
- [29] SCHIMANSKY, S. R. O. 2016. [Online] 2016. [Citace: 16.06.2016]
<http://www.schimansky.cz/stroje-hydrolisy/hydrolis-hl-90/#hydrolis-hl-90>
- [30] MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ. 2016. [Online] 2016.
[Citace: 16.06.2016]
http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=1213&typ=html
- [31] MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ. 2016. [Online] 2016.
[Citace: 16.06.2016]
https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=58520