

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STROJNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

MARTIN MATĚJEC

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Matějec** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **467316**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Stroje a zařízení v lihovarnictví**

Název bakalářské práce anglicky:

**Machinery for ethanol production**

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte literární rešerši se zaměřením na výrobu kvasného lihu a používaná strojní zařízení. Při zpracování rešerše se zaměřte zejména na:

- \* Suroviny používané pro výrobu kvasného lihu
- \* Postup výroby kvasného lihu.
- \* Schéma linky na výrobu kvasného lihu.
- \* Stroje a zařízení používaná při výrobě kvasného lihu.

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **07.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2020**

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení

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

V Praze dne: .....

.....

Martin Matějec

## Poděkování

Chtěl bych na tomto místě poděkovat doc. Radku Šulcovi, který mi i přes četné komplikace způsobené pandemií nemoci COVID-19 vždy vyšel vstříc a ač jsme byli při dálkových konzultacích vzdáleni mnoho kilometrů, tak jsem se od něj vždy dozvěděl spoustu cenných rad, které jsem následně zužitkoval při psaní mé bakalářské práce na téma „Stroje a zařízení v lihovarnictví“.

## Anotační list

**Jméno autora:** Martin

**Příjmení autora:** Matějec

**Název práce česky:** Stroje a zařízení v lihovarnictví

**Název práce anglicky:** Machinery for ethanol production

**Rozsah práce:** počet stran: 47

počet obrázků: 19

počet tabulek: 4

počet příloh: 0

**Akademický rok:** 2019/2020

**Jazyk práce:** český

**Ústav:** Ústav procesní a zpracovatelské techniky

**Studijní program:** B2342 Teoretický základ strojního inženýrství

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.

**Konzultant práce:**

**Zadavatel:** Ústav procesní a zpracovatelské techniky

**Anotace česky:** Bakalářská práce je zaměřena na výrobu kvasného lihu a stroje a zařízení používané na jeho výrobu. V práci jsou popsány suroviny, které se pro výrobu ethanolu využívají a další látky jako jsou enzymy a kvasinky. Dále jsou v práci uvedeny postupy výroby lihu z jednotlivých vstupních surovin od předúpravy vstupní suroviny přes kvašení až po destilaci. Jsou uvedena a popsána schéma průmyslového melasového lihovaru, zemědělského lihovaru zpracovávajícího obilí i schéma výroby bioethanolu z lignocelulózy obsažené v nezpracovaných surovinách. Dále jsou popsány vybrané stroje a zařízení používané při výrobě kvasného lihu. V části zaměřené na výrobu technického lihu jsou popsány způsoby odvodňování azeotropické směsi ethanol-voda pro využití ethanolu jako paliva. Další část je věnována denaturaci lihu a používaným denaturačním činidlům.

**Anotace anglicky:** The bachelor's thesis is centered around the production of fermented alcohol and the machines and processes used during production. The thesis includes explanations of raw materials used for making ethanol, and compounds such as enzymes and yeast cells. The thesis also explains the step by step processes of making different types of ethanol and the methodology of industrial distilleries using molasses, agricultural distilleries using wheat and the production of bioethanol from lignocellulose contained in raw unprocessed materials. The thesis also explains the function of certain machines used to make fermented alcohol. In the chapter concerning the production of technical alcohol, the processes of water extraction from the azeotropic compound of ethanol and water for the purpose of using ethanol as fuel are explained. Another chapter is dedicated to the process of denaturing alcohol.

## Obsah

Obsah .....	6
1. Úvod .....	8
2. Využití lihu .....	9
3. Suroviny a další látky pro výrobu lihu .....	13
3.1 Suroviny .....	13
3.1.1 Monosacharidické suroviny .....	13
3.1.2 Škrobnaté suroviny .....	14
3.1.3 Ostatní polysacharidy .....	14
3.2 Kvasinky .....	16
3.3 Enzymy .....	16
4. Výroba kvasného lihu .....	18
4.1 Výroba melasového lihu .....	18
4.1.1 Kvašení melasy .....	19
4.1.2 Destilace a rektifikace melasového lihu .....	21
4.2 Výroba lihu ze surovin obsahujících škrob .....	22
4.2.1 Příprava zápary ze škrobové suroviny .....	23
4.2.2 Kvašení obilných zápar .....	25
4.2.3 Destilace a rektifikace obilného lihu .....	25
4.3 Výroba ovocných destilátů .....	27
4.3.1 Kvašení drti (šťávy) .....	28
4.3.2 Destilace a rektifikace ovocného destilátu .....	28
4.4 Výroba lihu z lignocelulózových materiálů .....	31
4.4.1 Předúprava vstupní suroviny .....	31
5. Potravinářský líh .....	34
5.1 Zařízení v potravinářském průmyslu .....	34
5.1.1 Měděný katalyzátor .....	34
5.1.2 Plnicí linka .....	35
6. Technický líh .....	37
6.1 Generace paliv .....	38
6.2 Zařízení pro výrobu bezvodého lihu .....	38
6.2.1 Odvodňování tlakovou (azeotropická) destilací .....	38
6.2.2 Odvodňování membránovými procesy .....	38

6.2.3	Odvodňování kapalinami .....	39
6.2.4	Odvodňování tuhými látkami .....	39
6.2.5	Odvodňování molekulárními síty.....	39
6.3	Denaturace .....	41
7.	Závěr.....	43
8.	Literatura.....	44

## 1. Úvod

Ethanol neboli líh je za normálních podmínek těkavá bezbarvá kapalina, jejíž význam si lidé začali uvědomovat už před několika tisíci lety. Může se vypít a ovlivnit tak lidskou mysl, dá se s ním svítit či ho použít jako palivo. Je to taky účinná dezinfekce povrchů a jeho zdanění přináší státu nemalé prostředky. Kvůli tomu všemu má již po staletí pevné místo v životě lidí, i když si to každý člověk nemusí uvědomit.

Bakalářská práce na téma „Stroje a zařízení v lihovarnictví“ se věnuje výrobě kvasného lihu a zařízením, strojům i jednotlivým procesům, které jeho výroba obnáší.

Kapitola dvě se zabývá tím, kde všude se ethanol používá. Je také popsáno jeho využití v minulosti a nastíněny trendy v jeho budoucím použití. Líh je zde rozdělen do kategorií definovaných zákony České republiky.

Třetí kapitola se zabývá surovinami pro výrobu kvasného lihu. Jsou popsány výhody a nevýhody plodin obsahujících monosacharidy, škroby a ostatní polysacharidy, jako jsou lignocelulóza a inulin. Také jsou tam popsány ostatní látky nezbytné pro výrobu ethanolu, jako jsou enzymy a kvasinky.

Čtvrtá kapitola se věnuje výrobě kvasného lihu. Je rozdělena podle použité suroviny na čtyři podkapitoly. Nejprve jsou tam popsány používané způsoby předúprav vstupních surovin a rozdíly mezi nimi. Dále jsou ukázány způsoby kvašení a vysvětlená technologie pro to používaná. Závěr čtvrté kapitoly je vždy věnován destilaci konkrétního typu lihu. U lihu vyráběného ze škrobnatých surovin je navíc doplněno srovnání jeho destilace v průmyslovém a zemědělském lihovaru.

Pátá kapitola je zaměřena na specifika výroby lihu pro potravinářský průmysl. Jsou zde popsány stroje a zařízení v potravinářské výrobě používané. Je zde popsáno zařízení pro odstraňování nežádoucích látek vznikajících při výrobě, které mohou ohrožovat lidské zdraví. Je zde ukázána linka pro plnění lihovin do lahví.

Poslední kapitola se věnuje výrobě technického lihu s důrazem na produkci ethanolu určeného jako automobilové palivo. Je zde popisován proces dehydratace azeotropické směsi ethanol – voda pěti různými odvodňovacími způsoby včetně zařízení pro to používaných.

Tato bakalářská práce si klade za cíl na základě literární rešerše tohoto tématu popsat rozdíly ve výrobě potravinářského a technického lihu, ukázat používané stroje a zařízení v lihovarech, vysvětlit způsob výroby kvasného lihu a v neposlední řadě ukázat suroviny a ostatní látky, které se s jeho výrobou váží.



## 2. Využití lihu

Lih neboli ethanol se používá ve formě alkoholických nápojů, jako palivo pro silniční vozidla anebo například jako dezinfekční prostředek. První z jmenovaných způsobů užití je zároveň nejstarším dochovaným způsobem užití lihu. „*Ve formě vína ho lidé pili již před osmi tisíci lety. Je o něm zmínka v Eposu o Gilgamešovi (3. - 4. tisíciletí př. n. l.). Čistý alkohol dostal název „al kuhul“ – arabský výraz pro „něco nejlepšího“.* [1] V Evropě byl však poprvé získán až v 11. století na jihu Itálie, podle jiných zdrojů ve Španělsku. Problém získávání lihu od začátku byla kvalita destilace, která začala být uspokojivá až v novověku. Při požití ethanolu člověkem dochází k intoxikaci organismu, následkem čehož dochází k přímému ovlivnění neurotransmiterů. Tento stav se nazývá opilost a je pro něj typické zvýšené sebevědomí, změny nálad a snížení morálních zábran. Na druhou stranu ale dochází k poruše pozornosti a někdy se objevuje i agresivita. [1] [2]

Druhé zmiňované použití ethanolu jakožto paliva probíhá dvěma způsoby. Zaprvé je v současnosti u čerpacích stanic prodáváno palivo označené jako E85 (ČSN EN 15293). Tato tekutina je směs ethanolu s bezolovnatým benzínem v poměru 85:15. Zadruhé se bioethanol přimíchává jako tzv. povinná biosložka do paliva pro zážehové motory (benzínu). Zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. § 19 „*Povinnost zajistit minimální množství biopaliv za kalendářní rok*“ říká:

**(1)** *Dodavatel motorového benzínu nebo motorové nafty je povinen zajistit, aby v těchto pohonných hmotách, které uvádí do volného daňového oběhu na daňovém území České republiky pro dopravní účely za kalendářní rok nebo které byly uvedeny do volného daňového oběhu v jiném členském státě Evropské unie a jsou dodávány na daňové území České republiky pro dopravní účely za kalendářní rok, bylo obsaženo i minimální množství biopaliva podle jiného právního předpisu upravujícího pohonné hmoty*

**a)** *ve výši 4,1 % objemových z celkového množství motorových benzínů přimíchaných do motorových benzínů,*

**b)** *ve výši 6,0 % objemových z celkového množství motorové nafty přimíchaných do motorové nafty.*

Ze znění výše uvedeného zákona jasně vyplývá, že sice nemusí úplně každý prodávaný druh benzínu v sobě mít ethanol (výrobci často u tzv. „prémiových paliv“ ostatně uvádějí, že biosložku neobsahují), avšak ostatní jimi prodávané benzíny ji v tu chvíli musejí mít o to větší.

Vyhláška 141/1997 Sb. §5 „*Členění základních druhů lihu a jejich kvalitativní znaky*“ definuje následující druhy lihu v tabulce č. 1:

Tabulka č. 1 Členění základních druhů lihu a jejich kvalitativní znaky [3]

Druh lihu	Ethanol v % objemových nejméně	Methanol v g/la* nejvýše	Vyšší alkoholy v mg/la* nejvýše	Aldehydy v mg/l*	Fural v mg/la* nejvýše	Octová v mg/la* nejvýše	Volné kyseliny jako kyselina octová v mg/la* nejvýše	Dusíkaté zásady jako methylamin v mg/la* nejvýše	Odparek sušený při 105 °C v mg/la* nejvýše	Estery v mg/la* nejvýše
Syntetický destilačně rafinovaný	95,7		50	50		10		10	25	
Syntetický bezvodý	99,7		250			50		30		
Syntetický technický	92,9		300			15		25		
Sulfitový surový	95,0	40,0	400	500	0,1	40,0				
Kvasný surový:										
- bramborový	80,0	3,0	3500	500	2,0	200				
- obilní	80,0	1,0	4000	500	5,0	200				
- škrobový	80,0	3,0	3500	500	1,0	200				
- droždářský	85,0			4500	0,01	500	150			
- melasový	85,0		3000	700	0,01	300				
- datlový	70,0	15,0	5000	800	6,0	500				
- řepný	80,0		3000	700	5,0	250				
- z ovocných odpadů	70,0	15,0	5000	800	6,0	500				
Kvasný rafinovaný:										
- jemný	95,7	0,8	35	20	negativní	25	1	10	50	
- velejemný	96,0	0,0	1	5	negativní	10	0	5	30	
-velejemný neutrální	96,0	0,3	5,0	5,0	neprokazat elný	15	1,0	15	13	
- technický	95,7	2,4	150	100	negativní	50	2	15		
Kvasný bezvodý: -k průmyslovým účelům	99,8	3,0		750		30		20		
- ke zvláštním průmyslovým účelům	99,7	1,0	60	50		60		10		

-k analytickým a zvláštním zdravotním účelům	99,7	0,1	10	20	10		10	
Ovocné a jiné destiláty (polotovary):								
- borovičkový	37,5 až 70							
- hruškový	38 až 75	15		40				
- jablečný	38 až 75	15		40				
- meruňkový	38 až 75	15						
- slivovicový	38 až 75	15		50				
- třešňový	38 až 75	15		40				
- vinný	37,5 až 75	2		80				
- whiskový	40 až 94	15		40				
- broskvový	38 až 75	15						
- višňový	38 až 75	15		40				
- obilní	40 až 94	15		20				
Zvláště denarovaný kvasný								
- hydrogenačně rafinovaný	90***	0,39		316	25	20	25	790
- bezvodý, určený a) do motorových paliv***** b) pro výrobu ETBE	99,7***		16000		60			
- ostatní	72***							
Zvláště denaturovaný syntetický	95,7***							
Zvláště denaturovaný syntetický technický	92,9***							
Obecně denaturovaný kvasný:								

- 92%	92,0***					150		250	
- 95 %	95,0***					150		250	
-99,7%, určený	99,7%***								
a)do motorových paliv*****									
b) pro výrobu ETBE									
Obecně denaturovaný syntetický	95,0***								
Ukapy	93,1****								
Dokapy	88,0*****								

Poznámka:

\* la = 1 litr ethanolu o koncentraci 100 % objemových

\*\* hodnotí se ze vzorku po zředění vodou na 30 % objemových ethanolu a při teplotě 30 až 35 stupňů Celsia

\*\*\* před přidáním denaruračního prostředku

\*\*\*\* neplatí pro výrobu a rektifikaci ovocných a jiných destilátů

\*\*\*\*\* kvalitou musí splňovat ČSN 65 6511.

### 3. Suroviny a další látky pro výrobu lihu

Kvasný ethanol se vyrábí ze surovin obsahující cukry. Jednoduché cukry (monosacharidy) jsou přímo zkvasitelné, polysacharidy musí nejprve projít předúpravou vstupní suroviny.

#### 3.1 Suroviny

##### 3.1.1 Monosacharidické suroviny

Sacharóza je nejjednodušší zásobní látka rostlin, je kvasinkami přímo zkvasitelná na alkohol, a proto není nutná hydrolýza substrátu na směs jednoduchých sacharidů, jako je tomu u škrobu. V současnosti se v ČR ethanol vyrábí z produktů cukrové řepy, v zahraničí také z produktů cukrové třtiny, travního čiroku či kaktusů a sukulentů. Nejběžnější způsob úpravy řepy před fermentací je její zpracování v cukrovaru na některý z mezivýrobků – nejčastěji melasa, dále taky surová šťáva, těžká šťáva a siroby. Z ekonomických důvodů (vysoká cena energií a nízká cena cukru) se v cukrovaru při výrobě nekystalizuje cukr úplně, zbyde melasa s asi 50 % sacharózy a ta se nechá zkvasit a vyrobí se z ní líh. Z ní se vyrábí většina českého lihu. Melasa má podobu hustého hnědého sirupu a její zápary v kvasírně mají nedostatek fosforu, který se musí přidávat. Melasa se skladuje ve vysokých válcových zásobnících viz obrázek č. 1 z lihovaru v Kojetíně. [4]

Dalším monosacharidem používaným k výrobě lihu je fruktóza, která je obsažená v ovoci, která je také snadno zkvasitelná. V pěstitelských pálenicích je ovoce hlavní surovinou, v průmyslové výrobě se nepoužívá z důvodu velké ceny a malé výtěžnosti. [4] [5]



Obrázek č. 1 Zásobník melasy v lihovaru v Kojetíně [6]

### 3.1.2 Škrobnaté suroviny

Škrob je zásobní polysacharid rostlin, tvořený molekulami glukosy, které jsou navzájem spojeny glykosidovou vazbou. Ve škrobovém zrně jsou přítomny dvě frakce – amylopektin (75 – 80 %) a amyloza (20 – 25 %). Ze škrobnatých surovin se v ČR k průmyslové výrobě lihu v současné době využívají pouze obiloviny, v minulosti se ve větší míře používaly i brambory. Problém zpracování škrobnatých surovin oproti monosacharidickým surovinám je nutnost rozbít škrobovou vazbu na monosacharid. [4]

Obiloviny mají nízký obsah vody a díky tomu se dobře skladují. Nejvíce se zpracovává kukuřice, pšenice, žito a tritikale (kříženec pšenice a žito). Z nich lze vyrobit neutrální alkohol, který není cítit po vstupní surovině a je velmi dobré kvality. Ječmen a oves se používají ke zpracování na líh zřídka, protože obsahují hodně pluch tvořících deky na povrchu zápar, které se pak špatně destilují. Lze zpracovávat i havarované obiloviny, například napadené broukem. Brambory se v současné době zpracovávají na líh pouze v případě nadprodukce. V průměru je v hlíze sice obsaženo asi 18 % škrobu, problém zde ale nastává při jejich skladování (jsou náchylné k chorobám). Mají nižší výtěžnost než obiloviny a při jejich zpracování vzniká více odpadu. V některých státech se k výrobě lihu používá čirok na zrno, jehož semena obsahují až 70 % škrobu. [4] [7]

### 3.1.3 Ostatní polysacharidy

Inulin je polysacharid rostlin nahrazující škrob jako zásobní látku. Je složen z lineárních řetězců fruktózy. Poprvé byl izolován v roce 1804. Vyskytuje se v topinamburu hlíznatém a čekance obecné. Topinambur je rostlina vysoká kolem 3 metrů připomínající slunečnici, jeho hlízy obsahují kolem 16 % inulinu. Čekanka je až metr vysoká bylina, inulin se vyskytuje v jejím kořenu v koncentraci 15-20 %. [4] [8]

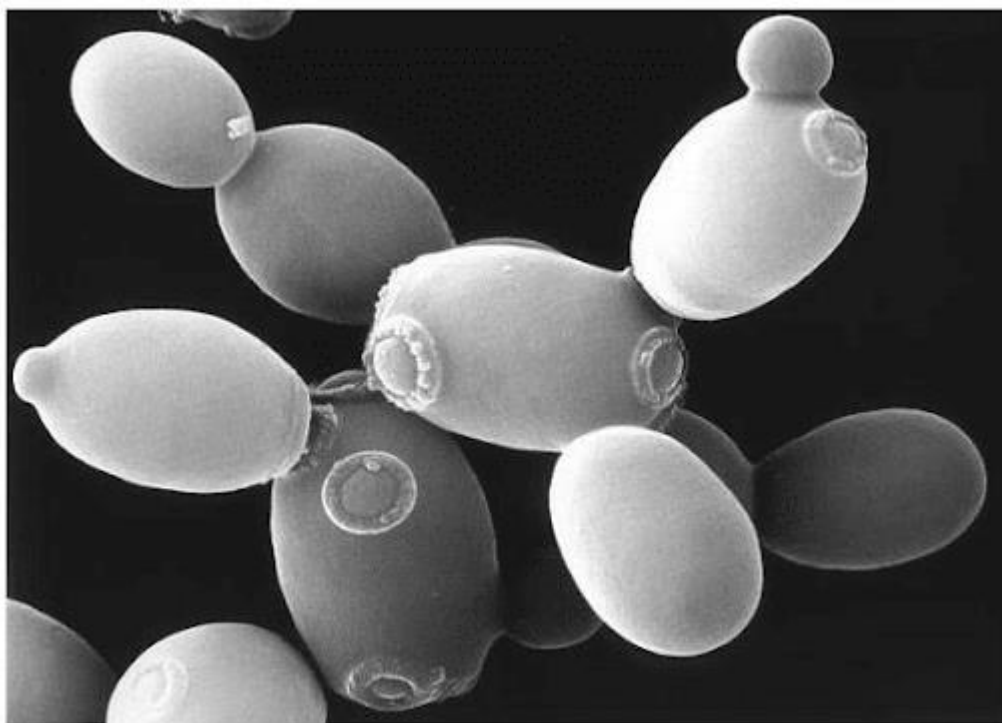
Využití odpadních materiálů na bázi lignocelulózy jako suroviny pro výrobu bioethanolu je velkou výzvou do budoucnosti. Důvodem je snížení závislosti na ropě, redukce emisí (spalování biopaliv produkuje méně CO<sub>2</sub> i oxidů NO<sub>x</sub>) a hlavně využití jinak nevyužitelných (odpadních) částí rostlin. Využití odpadních částí je důležité proto, aby výroba bioethanolu nekonkurovala produkci potravin a nezvyšovala tak jejich cenu. Princip spočívá v tom, že celulóza je hydrolýzou štěpená na kratší řetězce. Lignocelulózu obsahují například obilná a kukuřičná sláma, rákosové traviny, dřeviny nebo komunální odpad. Celulózu obsahuje odpadní papír, možno zpracovat i ten. [4] [9] Obsah celulózy, hemicelulózy a ligninu v jednotlivých materiálech zobrazuje tabulka č. 2.

Tabulka č. 2 Obsah celulózy, hemicelulózy a ligninu v konkrétních materiálech [4]

Lignocelulosový materiál	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignin (%)
štěpky z tvrdého dřeva	40 - 55	24 - 40	18 - 25
štěpky z měkkého dřeva	45 - 50	25 - 35	25 - 35
kukuřičný klas	45	35	15
tráva	25 - 50	35 - 50	10 - 30
borovice	44,55	21,9	27,67
topol	44,7	18,55	26,44
eukalyptus	49,5	13,07	27,71
trnovník akát	41,61	17,66	26,7
pšeničná sláma	30	50	15
listí	15 - 20	18 - 85	0
papír	85 - 99	0	0 - 15
novinový papír	40 - 55	25 - 40	24 - 29
dobytčí hnůj	1,6 - 4,7	35,7	6,4
prasečí kejda	6	1,4 - 3,3	2,7 - 5,7

### 3.2 Kvasinky

Kvasinky jsou jednobuněčné vřecovýtrusné houby, rozmnožující se pučením. Mají různé tvary – kulaté, oválné, citronovité, lahvicovité, protáhlé, vyskytují se ojedinelé i ve skupinkách. Využívají se kvůli látkovému metabolismu, energii získávají oxidací monosacharidů. Produkty přeměny jejich metabolismu záleží na přístupu kyslíku. Při aerobních podmínkách vzniká voda a oxid uhličitý, zatímco při anaerobních podmínkách vzniká ethanol, oxid uhličitý a další látky jako glycerol, vyšší alkoholy a kyseliny. V lihovarském průmyslu se proto používají anaerobně a jde o tzv. kulturní kvasinky, které jsou laboratorně množeny a uchovány. K dostání jsou na trhu dostupné různé kvasinkové mikroflóry, většinou v jejich složení dominuje kvasinka *Saccharomyces cerevisiae*. Ta je ukázána na obrázku č. 2 zvětšená elektronovým mikroskopem. [4] [10]



Obrázek č. 2 *Saccharomyces cerevisiae* (Kvasinka vinná) [11]

### 3.3 Enzymy

Enzymy katalyzují veškeré chemické reakce a změny při kvašení. Jsou vytvářeny jak rostlinnými a živočišnými buňkami, tak i mikroorganismy a všechny mají bílkovinný charakter. V současnosti je známo více než dva tisíce enzymů s různými schopnostmi. Roztoky enzymů vykazují všechny vlastnosti roztoků bílkovin, většinou jsou nestálé a různě citlivé vůči změnám vnějších podmínek. [12] [13]

Rozeznáváme endoenzymy působící uvnitř kvasničných buněk a exoenzymy působící v prostředí obklopujícím buňku. Enzymy vytvářené vlastními kvasničnými buňkami zajišťují alkoholové kvašení, zatímco enzymy přidané zvenčí slouží pro štěpení polysacharidů.

Rychlost enzymatických reakcí je úměrná koncentraci enzymů. Podmínky, při nichž se bílkoviny denaturují, snižují i aktivitu enzymů, např. teplota nad 50 °C, vysoké pH (nad 9), nízké



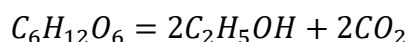
pH (pod 4) nebo značná koncentrace organických rozpouštědel. Úplná ztráta katalytické aktivity je označována jako inhibice nebo inaktivace enzymu. [12]

Enzym amyláza slouží k tomu, aby surovina obsahující škrob zkapalnila a zcukernatěla. Klíčící semena obilovin (slad) si amylázu vytváří, v dnešní době se v naprosté většině případů používají technické amylázy místo sladu. [12] [14]

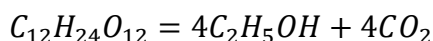
Pektinázy jsou enzymy rozkládající pektin. Ten je obsažen ve všech druzích ovoce, proto se pektinázy využívají v pěstitelských pálenicích. Kvůli různému obsahu a rozvětvení pektinů podle druhu ovoce a stupně zralosti vyplývá různá potřeba pektolytických enzymů. Měknutí ovoce během zrání ukazuje na působení přírodních enzymů, které jsou obsažené v ovoci. Zejména při delší době skladování ovoce v chladu již není aktivita enzymů v ovoci dostačující ke zkapalnění kvasu. [14]

## 4. Výroba kvasného lihu

Pod pojmem kvašení se rozumí anaerobní rozklad cukrů za vzniku ethanolu a oxidu uhličitého pomocí enzymů produkovaných mikrobakteriálními, resp. kvasničnými buňkami. Kvašením monosacharidů (glukóza, fruktóza) vzniká ethanol podle klasického schematického vztahu:



Kvašením sacharózy vzniká ethanol podle následujícího vztahu:

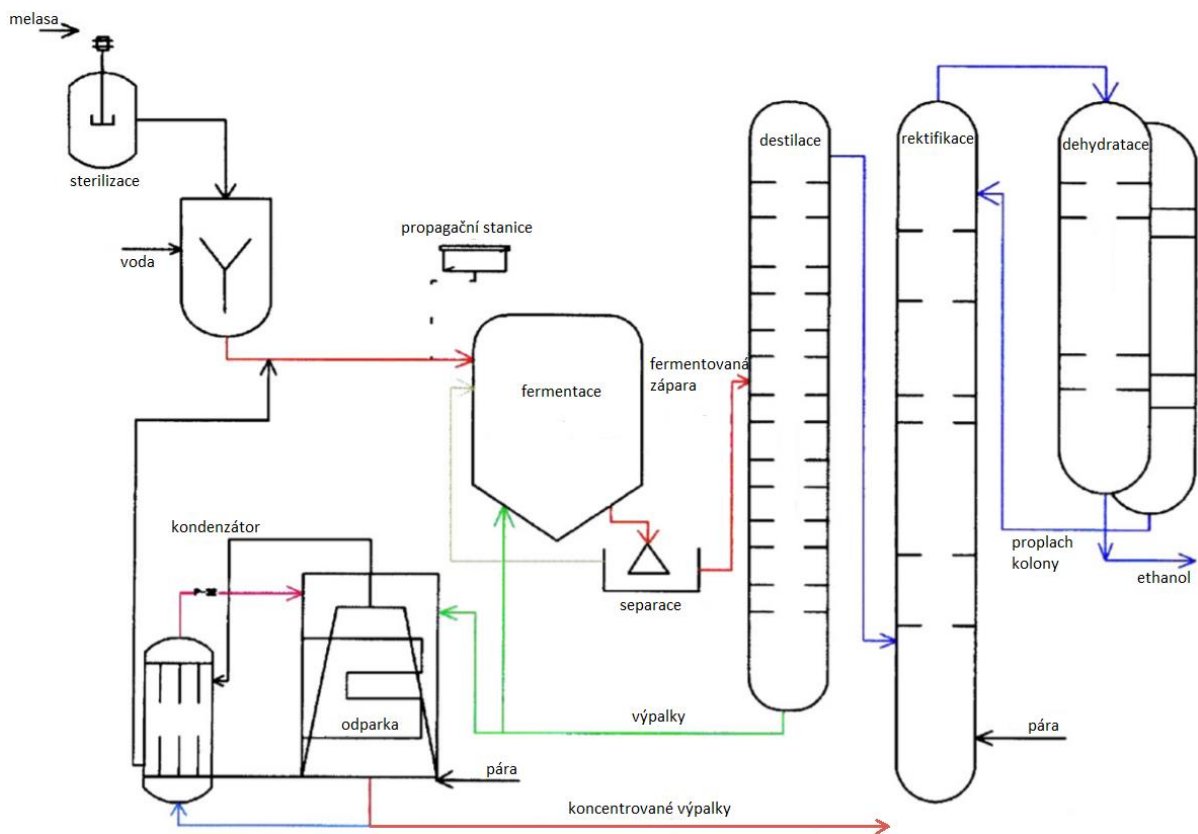


Zkvašení cukrů na alkohol a oxid uhličitý není jednoduchý jednostupňový proces, ale komplex po sobě následujících chemických reakcí, z nichž žádná neprobíhá dostatečně rychle, pokud není katalyzována vhodným enzymem. [12]

### 4.1 Výroba melasového lihu

Melasa je tmavě hnědá kapalina s vysokou viskozitou, která vzniká jako odpad při zpracování cukrové řepy na cukr. Obsahuje přímo zkvasitelný cukr sacharózu a je celkově výhodná pro výrobu ethanolu, protože se dá ředit a není potřeba ji jinak před samotnou výrobou připravovat, jako je tomu u sacharidových surovin. Proto se velké průmyslové lihovary většinou staví jako melasové. Cena, za kterou lihovary melasu od cukrovarů nakupují, se liší podle její hmotnosti i podle obsahu cukru.

Schéma melasového lihovaru je na obrázku č. 3. Dodávaná melasa se nejprve sterilizuje a zředí vodou. Přidají kvasinky z propagační stanice a následně se ve fermentačním tanku zředěná melasa fermentuje. Následuje separace v odstředivce, kde se oddělí kapalný a tuhý podíl. Kapalný podíl (fermentovaná zápara) se destiluje, vzniklý surový líh rektifikuje. V případě výroby bioetanolu jako palivové složky se destilát dehydratuje. Výsledkem je čistý ethanol. Tuhý podíl se z části vrací do fermentace. Výpalky z destilace se zahušťují v odparce. Koncentrované výpalky tvoří vedlejší produkt výroby ethanolu. Přidávají se do krmných směsí pro hospodářská zvířata.



Obrázek č. 3 Schéma melasového lihovaru [48]

#### 4.1.1 Kvašení melasy

Úlohou kvasírny lihovaru je výroba tzv. zápara a její fermentace (zkvašení). U lihovaru používajícího jako vstupní surovinu melasu to probíhá tak, že se melasa přečerpá do kvasírny, přičemž se do ní přidají živiny a kyseliny. Kvasírna lihovaru v Kojetíně je ukázána na obrázku č. 4. Melasa by měla být alespoň šest měsíců uležena z důvodu usazení kalů a vyloučení pěny. K čerpání se používají zubová čerpadla. [4] *Zápara se připravuje o různých koncentrací podle toho, pro který účel se použije. Slabší se hodí pro rozkvašení, koncentrovanější pro doplňování hlavních kvasných kádí.* [15] V současnosti se používají následující způsoby kvašení: [5]

**Klasický vsádkový (batch) proces** je nejjednodušší, má ale nízkou produktivitu a potřebuje delší dobu kvašení. Objem zápara se u něj nemění, je stejný od začátku do konce procesu.

**Přítokový (fed-batch) způsob** dosahuje dobré produktivity kolem 5 kg ethanolu/m<sup>3</sup>/h, přičemž je limitován maximální koncentrací ethanolu mezi 10-12 % obj. Jedna šarže trvá 17 – 18 h. Nevýhodou tohoto způsobu je nutnost neustále připravovat zákvas. Kvašení se začíná s vysokou koncentrací buněk (cca 10<sup>7</sup> buněk na 1 ml) na melasovém médiu o koncentraci sušiny 35–38 % hm. a další přítoky mají takovou koncentraci, aby zdánlivá koncentrace zápara nebyla vyšší než 12 – 13 % hm. Tento způsob je snadno převeditelný na semikontinuální.

**Proces s recyklací kvasinek** (s vratnou separací buněk) neboli „Melle – Boinotův způsob“ je znám od roku 1932 a je to nejrozšířenější způsob výroby ethanolu z melasy. Jeho schéma je ukázáno na obrázku č. 5. Kvasinky z prokvašené zápara se u něj opakovaně použijí

jako inokulum do nové fermentace. To šetří cukr potřebný k syntéze biomasy a je proto možné od začátku do konce pracovat s vysokou koncentrací buněk, což zrychlí kvašení. K separaci kvasinek se používají membránové filtrační jednotky a droždářské odstředivky. Kvasničné mléko se okyselí kyselinou sírovou na pH 2–3, čímž dojde k aktivaci kvasinek a usmrcení bakterií. Koncentrace kvasinek dosahuje až  $4 \cdot 10^8$  buněk/ml při použití odstředivky, u membránové filtrační jednotky ještě více.

Kvasírna s recyklací kvasinek pracuje následovně a skládá se z těchto nádob: [15]

První fáze kvašení probíhá v kultivačních nádobách. Ty jsou obvykle dvě, vyrobené z mědi nebo nerez. Nejdříve se použije menší, poté větší. Nádoba se naplní sterilní, přiživenou a okyselenou melasovou záparou. Nádobu je nutné ochladit na zákvasnou teplotu a poté záparu v ní zaočkovat čistou kulturou z laboratoře. Po kompletním prokvašení v první nádobě se obsah přečerpá do druhé větší kultivační nádoby. V celé téhle fázi přípravy zápary se větrá, aby se podpořil růst kvasničné hmoty.

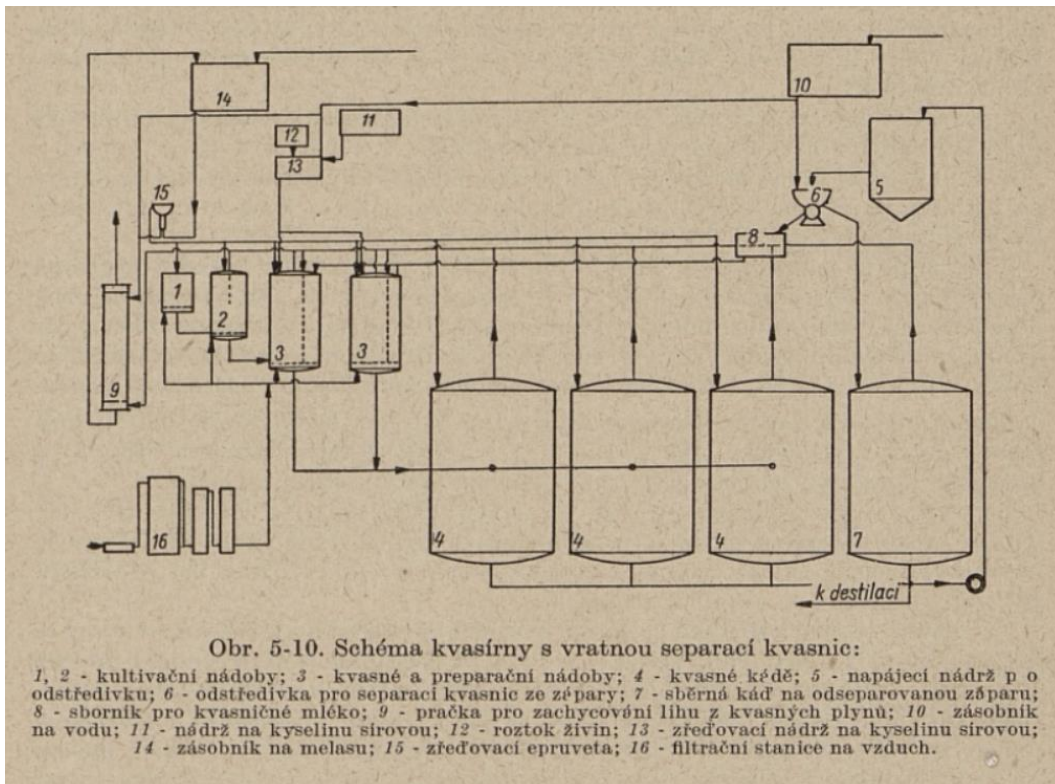
Dále se obsah přečerpá do propagační stanice. Tu tvoří obvykle dvě až tři měděné nebo nerezové nádoby. Jejím účelem je namnožení silné zdravé a silné kvasničné násady, a to ve větším množství než v kultivačních nádobách. V první nádobě se pomnoží kvasnice z kultivační nádoby. Větší část jejího obsahu se použije na zaočkování zákvasu, menší k zaočkování další nádoby propagační stanice. Součástí propagační stanice jsou zařízení pro větrání, chlazení, sterilizaci, vzorkování, očkování a převádění.

Následuje příprava zákvasu. Ten se připravuje v zákvasných kádích ze zápary okyselené, nesterilované a přiživené. Používá se mírné větrání. Kádě bývají obvykle tři, obvykle mnohem větší než propagační stanice. Když obsah prokvasí na požadovaný stupeň, tak se převede do hlavní kvasné kádě.

Hlavní kvasná kád' slouží k vlastní výrobě lihu. Je do ní přiveden zákvas, do kterého se přidává zápara, až je kád' naplněna. Koncentrace zápary je udržována tak, aby obsah lihu byl po prokvašení cca 10 % objemu.



Obrázek č. 4 Kvasírna v lihovaru v Kojetíně [6]



Obrázek č. 5 Schéma kvasírny [19]

#### 4.1.2 Destilace a rektifikace melasového lihu

Po dokončení fáze kvašení je potřeba zkvašenou záparu destilovat. Kvalitní destilace je nutná pro zvýšení obsahu ethanolu ve směsi s vodou (alkoholické nápoje) či jeho téměř úplné

oddělení (motorová paliva) a pro odstranění nežádoucích příměsí – především methanolu, vyšších alkoholů, esterů, aldehydů i nižších mastných kyselin. Princip destilace je založen na různé těkavosti jednotlivých složek, resp. na různé tenzi par. Směs se zahřeje na bod varu a z ní unikající páry se odvádějí a odděleně kondenzují. Ve zkondenzované páře nalezneme větší procento těkavější složky a v neodpařené části naopak nalezneme větší procento méně těkavé složky. Ethanol je těkavá kapalina s bodem varu 78,31 °C, teplota bodu varu vody je 100 °C. S vodou ale tvoří azeotropickou směs (95,15 % hm.) s bodem varu 75,15 °C, který je nižší než bod varu ethanolu, proto nelze směs destilací za normálního tlaku zcela rozdělit. Alkohol destilovaný za normálního tlaku může proto mít maximální čistotu 95,57 % hm. Rektifikací nazýváme opakovanou destilaci. [2] [16] [17]

Destilační kolony se podle způsobu práce dělí na dva typy. Prvním z nich, používaných především u menších produkcí, je periodická destilační kolona. Tam proběhne cyklus, vařák se vyprázdní a poté se může znovu použít. Druhým typem je kontinuální destilační kolona, kde dochází k nepřetržité výrobě a tím pádem k vyšší efektivitě. Tento způsob je používán v průmyslové velkovýrobě. Taková kolona je ukázána na obrázku č. 6. Dále je můžeme dělit podle provozního tlaku v koloně, způsobu použití, konstrukce dna, tvaru atd. [16]

Konstrukce destilační kolony je podřízena jejímu principu. Pára a kapalina se setkávají při proudění kolonou na patrech, vodorovných přepážkách destilační kolony. Každé patro je opatřeno přepadovou trubkou, ta udržuje konstantní hladinu kapaliny na patře a zajišťuje hydraulický uzávěr pro průtok kapaliny tím, že její spodní konec je ponořený do kapaliny na nižším patře. Páry z vařáku jsou přivedeny pod nejnižší patro kolony a na nejvyšší patro kolony přitéká zpětný tok (reflux). [18]

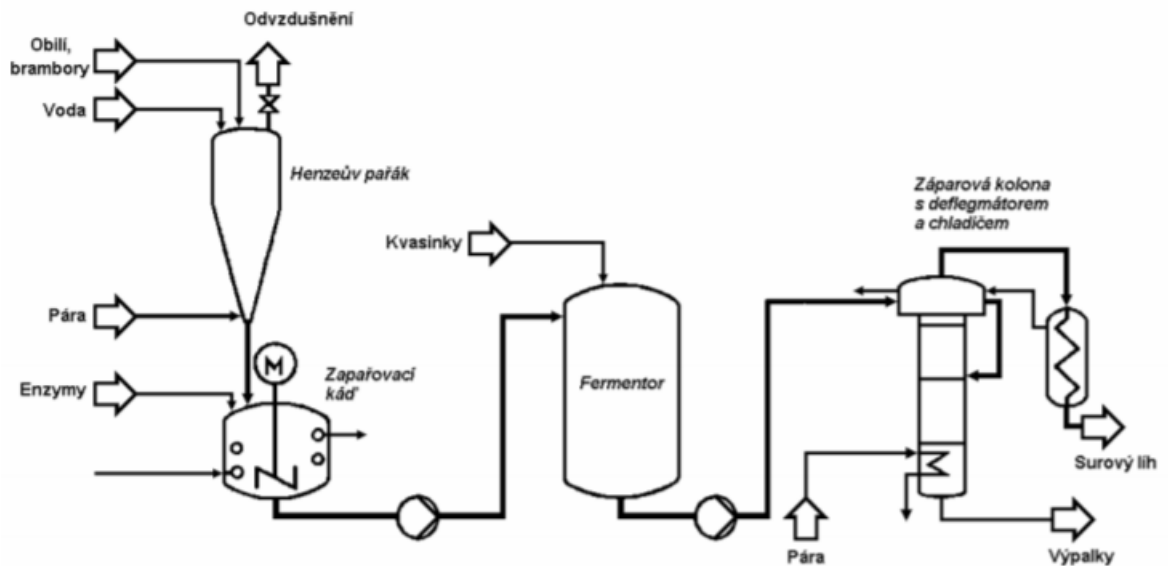


Obrázek č. 6 Destilační kolona lihovaru [20]

#### 4.2 Výroba lihu ze surovin obsahujících škrob

Škrob je substrát, který většina mikroorganismů produkujících ethanol není schopna přímo zkvašovat. Proto musí být nejdříve převeden na jednoduché sacharidy, které jsou přímo

zkrasitelné, tj. na glukosu nebo maltosu. V minulosti to bylo energeticky dost nákladné, dnešní použití vysoko aktivních enzymových preparátů k hydrolýze škrobu náklady snížilo. I proto máme v České republice v současnosti jeden lihovar produkující palivový bioethanol z kukuřice a jeden zpracovávající obilí a kukuřici. Kromě nich ethanol ze škrobnatých surovin vyrábějí i menší zemědělské lihovary, většinou doplněné o rafinační kolonu. Schéma zemědělského lihovaru je na obrázku č. 7. [5] [7] [21] [22] [23]



Obrázek č. 7 Schéma zemědělského lihovaru využívajícího tlakovou metodu paření [5]

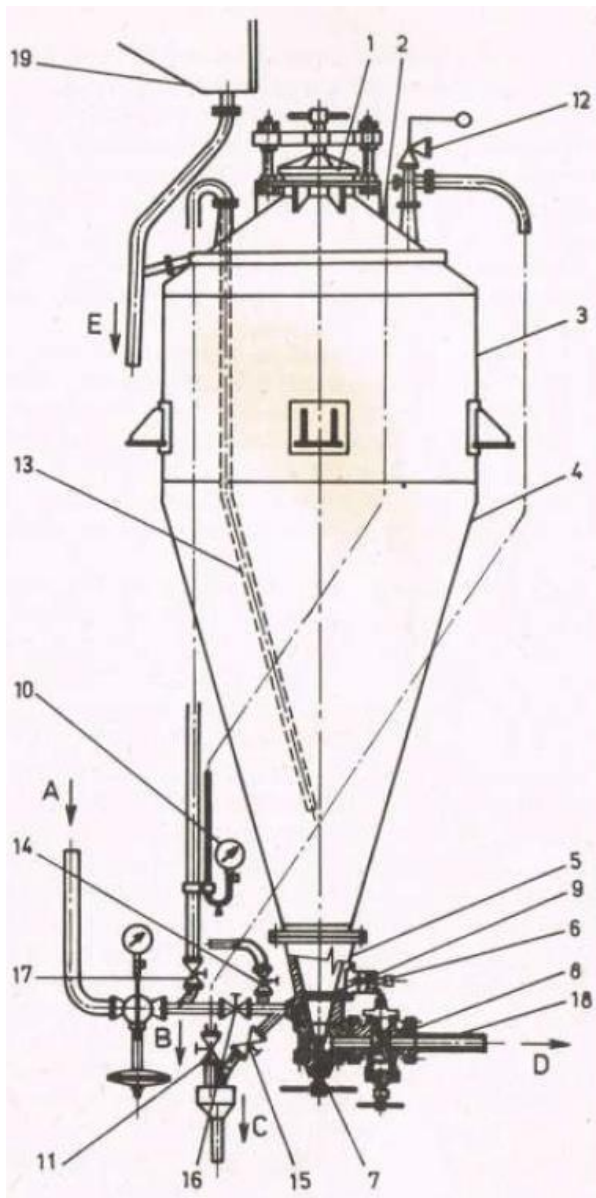
#### 4.2.1 Příprava zářary ze škrobové suroviny

Příprava zářary začíná rozmělněním zrn mechanickým způsobem na tzv. šrot. Na ten se nechají působit amylytické enzymy přidané zvenčí, čímž dojde k zpřístupnění zrn. Škrob nejdříve přejde do tekutého stavu a poté dojde ke zcukření. K přípravě zářary se používá infuzní a pařáková metoda.

**Infuzní nebo také beztlaková metoda** probíhá za atmosférického tlaku. Surovina se nejprve namele na malé částice a v suchém nebo mokřém stavu se dílo zahřívá na 65 °C (někdy až 95 °C dle druhu použitých enzymů), čímž dojde ke zmasovatění a ztekucení škrobu. Po ochlazení v zapařovací kádě škrob zcukří. V současnosti se i přes vyšší energetické náklady hlavně využívá metoda pařáková. [7]

**Pařáková nebo také tlaková metoda** paří zrna či hlízy zvýšeným tlakem na 0,2 MPa až 0,5 MPa při teplotě 120 °C. Surovina se nesmí pařit delší dobu tlakem vyšším než 0,3 MPa, protože poté karamelizuje. Nejčastěji se používá tzv. Henzeův pařák o objemu 4,5 – 6,5 m<sup>3</sup>. Z něj je dílo vyhnáno do zapařovací kádě a současně je chlazeno, přičemž se do něj přidávají ztekucující enzymy. Výhodou této metody je sterilizace zářary, což je vhodné i pro zpracování havarovaných surovin, nevýhodou vyšší spotřeba elektrické energie a následné dlouhé ochlazování díla v zapařovací kádě, aby do něj mohly být přidány lihovarské enzymy. Samotné paření se skládá ze třech fází a to propařování, paření pod tlakem a vyhánění díla. V první fázi

se vzdušníkem vypudí těkavé produkty havarované suroviny a vzduch, ve druhé fázi dochází k postupnému nárůstu tlaku, každých 15 minut o 0,1 MPa až do maxima. Délka paření se volí dle druhu suroviny a praktických zkušeností lihovárníka. Kukuřici a žito se propařuje cca 90 minut, pšenici cca 100 minut. Pařit se mohou i celá zrna. V poslední třetí fázi vyháníme propařené dílo do zapařovací kádě, kde dochází k enzymové hydrolýze zmazovatělého škrobu po přidání technických enzymů zvaných amylasy. Schéma Henzeova pařáku je zobrazeno na obrázku č. 8. [7], [15]



Obrázek č. 8 Schéma Henzeova pařáku [24]

- |                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| 1) uzavíratelný plnicí otvor | 5) špička                 |
| 2) horní kužel               | 6) dolní čistící uzávěrka |
| 3) válcová část              | 7) vyháněcí ventil        |
| 4) spodní kužel              | 8) roštová skříňka        |



- |                                 |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 9) rošt                         | 17) ventil přívodu horní páry    |
| 10) tlakoměr                    | 18) vyháněcí roura               |
| 11) odvzdušňovací ventil        | 19) zásobní bedna                |
| 12) pojistný ventil             | A) pára                          |
| 13) rozváděcí trubka horní páry | B) výstup z odvzdušňovací trubky |
| 14) ventil na vodu              | C) kondenzát                     |
| 15) pomocný ventil              | D) dílo                          |
| 16) ventil přívodu spodní páry  | E) odpad vody                    |

#### 4.2.2 Kvašení obilných zápar

Kvašení na obilných záparách probíhá na kapalné i pevné fázi, proto u něj nelze provádět zpětnou recyklaci buněk – zachytávaly by se na pevné fázi. Stejně jako u jiných surovin kvašení probíhá v uzavřených bioreaktorech. Ty obvykle nejsou opatřeny vzdušněním, jsou vyrobeny z nerezů a mají možnost regulace teploty a pH. Používají se následující způsoby kvašení: [2] [4]

**Periodické vsádkové (batch) fermentace** probíhají v jedné nádobě po celou dobu fermentace bez přítoku média. Je to nejméně efektivní způsob.

**Periodické přítokové (fed-batch) fermentace** spočívají v kontinuálním nebo diskontinuálním přiživování média v průběhu fermentace, tímto způsobem lze snížit množství zákvasu i na 5 % objemu zápary. Koncentrace kvasinek bývá vyšší a perioda rozkvašování téměř vymizí.

Semikontinuální a kontinuální fermentace se používají především u melasových zápar, ale jsou perspektivní i pro velké obilné lihovary. Charakteristický pro ně je neustálý přítok a odtok zápary. Je nutné v médiu udržovat potřebnou koncentraci kvasinek, jinak by docházelo ke zhoršení kvasného procesu. U semikontinuálních fermentací hlavní kvašení proběhne např. vsádkově a před dokvášením se odebere část zápary (okolo 30 %), která se nechá dokvasit v jiné nádobě a na její místo přijde čerstvá zápara. Semikontinuální způsob se uplatňuje více při zpracování škrobnatých surovin než plně kontinuální.

#### 4.2.3 Destilace a rektifikace obilného lihu

Obilný líh se vyrábí v menších zemědělských i velkých průmyslových lihovarech. Destilace obilných zápar v průmyslovém lihovaru probíhá identicky jako destilace melasových zápar popsaná v kapitole 4.1.2. Destilační kolona firmy Sindalcool v Brazílii vyrábějící ethanol z kukuřice je ukázána na obrázku č. 9.

Destilace obilných zápar v zemědělském lihovaru probíhají na jednoduchém kontinuálně pracujícím kolonovém aparátu (záparové koloně). Surový líh v koncentraci 82 – 92 % obj. je odebírán z hlavy kolony. Z vařáku jsou odebírány řídké obilné výpalky. Někdy je používáno dvoukolonové uspořádání, první kolona slouží k vyvaření ethanolu ze zápary a druhá k zesílení lihových par. Surový líh může být dodáván průmyslovým lihovarům k dalšímu zpracování na líh rafinovaný. V současné době ale řada zemědělských lihovarů doplnila výrobní zařízení o rafinaci a rektifikaci. Jedná se o jednoduché tříkolonové aparáty (epyratér, rafinační kolona a dokapová kolona), které umožňují výrobu rafinovaného lihu přímo v zemědělském

lihovaru. [2] Epyratér slouží k oddělení úkapů, rafinační kolona odděluje hlavní složku a dokapová kolona odvádí dokapy.



Obrázek č. 9 – Destilační kolony firmy Sindalcool v Brazílii [25]

### 4.3 Výroba ovocných destilátů

Ovocné destiláty se zásadně vyrábějí ze zralého ovoce. Takové ovoce při česání musí jít ze stromu uvolnit bez použití větší síly. Pokud ho před dalším zpracováním na destilát čeká delší skladování, je třeba důkladně dbát na nepoškození plodů (např. dlouhými nehty, prstenem) a menší druhy (třešně, višně) raději sklízet i se stopkami. V našich podmínkách se nejčastěji pálí ze švestek domácích a dalších druhů slivoní, hrušek, meruněk, broskví, jablek, třešní a višní. Při posuzování vhodnosti daného ovoce je potřeba se zajímat o cukry, kyseliny sušinu i minerální látky v něm obsažené. Všechny tyto látky ovlivní výslednou pálenku. [26] [27]

Nejprve je potřeba očesané ovoce řádně umýt, vytřídit z něj nahnilé plody, listy, stopky, zbytky zeminy, mikroorganismy a rušivé rostlinné části, jako jsou chloupky u kdoulí. Pro mytí se používají speciální pračky na ovoce nebo rozduřovací pás, který slouží k transportu a mytí zároveň. Důležitý je volný odtok pracích vod. [28]

Následuje příprava rmutu. Ovoce musí být jemně rozmělněno, čímž se uvolní cukr z buněk, nesmí ale dojít k rozbití pecek. Ty obsahují glykosid amygdalin, ze kterého při kvašení vzniká jedovatý kyanovodík. Pro peckové a bobulové ovoce se používají speciální míchačky a řezačky, u jádrového se používají struhadlové nebo kladívkové mlýnky. Dále se používají pasírky a odpeckovací stroje, které si poradí i s nerozdrceným či jen mírně nadrceným ovocem a zbaví ho pecek. Odpeckovací stroje existují v provedení pro odpeckování před přípravou rmutu i po destilaci. Odpeckovací stroj pro odpeckování před začátkem přípravy rmutu je ukázán na obrázcích č. 10 a č. 11. Rozmělněné plody se dopravují čerpadly, obvykle excentrickými šnekovými, kterým nevadí ani přítomnost pecek, pokud jsou v drti ponechány. [27] [28]



Obrázek č. 10 Odpeckovací stroj, výrobce Kovoděl Janča, s. r. o. [29]



Obrázek č. 11 Pohled do vnitřku odpeckovacího stroje [30]

#### 4.3.1 Kvašení drti (šťávy)

Co nejdřív se musí v kvasné nádobě uvolnit dostatek šťávy, která začne kvasit, jinak by hrozilo zachvácení hnilobnými bakteriemi nebo plísněmi. Kvasné nádoby vždy obsahují kvasný uzávěr a jsou obvykle vyrobeny u větších provozů z ušlechtilé oceli s dvojitým nebo chladicím pláštěm, kde proudí chladicí voda a tím reguluje teplotu kvašení. U menších provozů se používají jednoduché plastové nádoby. Kvasný uzávěr umožňuje unikání oxidu uhličitého vznikajícího alkoholovým kvašením a zároveň zabraňuje vniknutí vzduchu, mikroorganismů a hmyzu. Jako uzavírací kapalina se používá 2% roztok kyseliny siřičité. [27] [28]

Do ovocné šťávy se přidá čistá kultura kvasinek, obvykle 10-20 g/100 l kvasu, výjimečně až 50 g/100 l. Čistá kultura zajistí nejvyšší možnou výtěžnost a pomůže potlačení sekundární flóry (bakterie, divoké kvasinky). Kvašení obsahuje několik etap. První fází je zahájení, kdy dochází k rozmnožování kvasinek. Poté následuje bouřlivé kvašení, kdy je největší intenzita kvasných pochodů a roste teplota. Pak je klidná fáze neboli dokvašování, kdy zkvašují už jen zbytkové cukry a ustává vývin oxidu uhličitého a po jeho skončení je třeba zkvašené šťávy destilovat, jinak by docházelo ke ztrátám na alkoholu a celkovému snížení kvality. Celkově trvá proces kvašení zhruba 14 dní při teplotě 20-25 °C, jako optimální se ale uvádí 3-4 týdny při teplotě okolo 17 °C, kdy je výtěžnost alkoholu stejně jako obsah aromatických látek vyšší. [26] [27] [31] [32]

#### 4.3.2 Destilace a rektifikace ovocného destilátu

K destilaci neboli pálení se používají jednokotlové nebo tradiční dvoukotlové systémy. Mezi výhody jednokotlových systémů s rektifikační kolonou patří menší prostorové nároky, úspora energie, vyšší výtěžnost, vyšší čistota pálenky a nižší pořizovací náklady. Dvoukotlový systém má výhody v silnějším aroma a menších nárocích na údržbu. Z těchto důvodů se

provádí většina nových instalací jako jednokotlové. Dvoukotlová kolona je ukázána na obrázku č. 12, jednokotlová na obrázku č. 13. [27] [34]

Destilace v tradičních dvoukotlových pálenicích probíhá ve dvou krocích. Nejprve se provádí ohřev ve velkém kotli s míchadlem. *Nad středem kotle je umístěn klobouk (dóm, přílba), který znemožňuje překypění kvasu do přestupníku a zesiluje lihové páry. Z klobouku vystupuje trubkový přestupník, který odvádí páry z klobouku do chladiče.* [27] V přestupníku dochází k ochlazení a kondenzaci lihových par a vytéká z něj surový destilát neboli lutr. Čím je klobouk větší a ohřev pomalejší, tím bude lutr obsahovat více alkoholu a aromatických látek a méně nežádoucích látek (kyselina octová, vyšší alkoholy). Lutr se skládá z vody, ethanolu, methanolu, kyanovodíku, aromatických látek, esterů a vyšších alkoholů. První destilace se obvykle končí s lihovitostí 18-36 %. Ze 100 l kvasu lze dostat 20-30 l lutru. Druhá destilace (rektifikace, rafinace) se zaměřuje na zvýšení obsahu alkoholu a maximální snížení obsahu nežádoucích látek. Provádí se v menším destilačním kotli bez míchadla. Tento proces se dělí na tři frakce – úkap, prokap a dokap. Úkap je první destilát, který z destilační kolony vyteče. Obsahuje 75-80 % alkoholu. Kromě ethanolu a vody jsou v něm ale obsaženy i složky s nižším bodem varu jako acetaldehyd, akrolein, kyanovodík, methanol, octan etylnatý. Prokap (jádro) je nejjakostnější destilát, je určen k pití a musí z něj být cítit použité ovoce. Dokap vzniká v poslední fázi destilace, má nižší obsah alkoholu (20-40 %) a obsahuje látky s vyšším bodem varu, jako kyselina octová a přiboudlina. Právě zvýšení obsahu kyseliny octové a snížení obsahu ethanolu je důvodem k zastavení destilace, neboť už žádná kvalitní pálenka nevyteče. Výsledný destilát se ředí destilovanou vodou na požadovaný obsah alkoholu, obvykle 45-50 %. [26] [27]



Obrázek č. 12 Dvoukotlová kolona vytápěná plynem, Sajókaza (HU), výrobce Kovoděl Janča, s. r. o. [33]

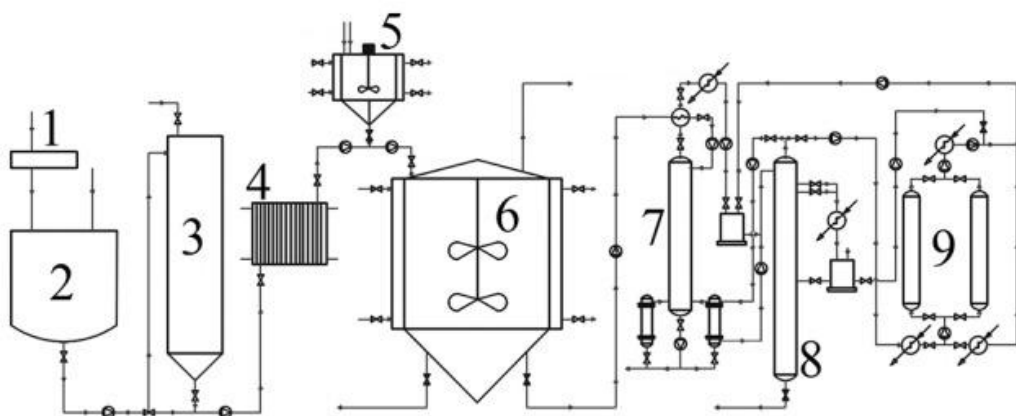
Moderní provozy jsou vybaveny jednotkovou rektifikační kolonou. V té současně probíhá hrubá (první) i jemná (druhá) fáze destilace. Rektifikační kolona je kromě jednoho kotle vybavena několika vzhůru stoupajícími kloboučkovými patry, na kterých se koncentrují těkavější páry a méně těkavé stékají dolů. Dále je tato kolona vybavena deflegmátorem, který má vodou nebo vzduchem chlazené plochy na kterých se sráží látky s vyšším bodem varu. Naopak nízkovroucí látky (ethanol) procházejí, zesilují se a pokračují dál do katalyzátoru. Ten odstraňuje jedovatý kyanid a karcinogenní ethyl-karbamát, které vznikají působením amygdalinu z pecek. Pak už destilát prochází pouze chladičem, aby vytékal chladný (cca 20 °C). Ten je obvykle vyroben z ušlechtilé oceli a funguje na protiproudém principu. [27]



Obrázek č. 13 Jednotková kolona vytápěná plynem s deflegmátorem a katalyzátorem 300 l, Jastrabie nad Toplou (SK), výrobce Kovoděl Janča, s. r. o. [34]

## 4.4 Výroba lihu z lignocelulóзовých materiálů

Technologie výroby ethanolu z fytomasy je výhodná kvůli zpracování téměř bezcenných odpadních částí rostlin. Hlavní překážkou masivního využití lignocelulosových materiálů je zejména komplexita materiálu, který kromě celulózy obsahuje i hemicelulózu a lignin, jež jsou vzájemně pevně provázány a tvoří komplexní rigidní matici, proto je předúprava vstupní suroviny poměrně komplikovaná. *Kromě těchto tří hlavních složek se v malém množství vyskytují též proteiny, pektiny, minerální látky, taniny nebo tuky, struktura a zastoupení jednotlivých složek se liší v závislosti na typu biomasy, stanovišti a klimatických podmínkách oblasti, v níž byly vypěstovány.* [9] V současné době probíhá intenzivní výzkum této metody a její komerční využití se předpokládá v horizontu 10–15 let. Samotná výroba se skládá ze čtyř procesních kroků. Prvním je předúprava vstupní suroviny, druhým je vlastní hydrolýza celulózy na zkvasitelné sacharidy, třetím kvašení získané směsi sacharidů a poslední je separace bioethanolu. Schéma výroby lihu z lignocelulózy je zobrazeno na obrázku č. 14. [4] [9]



Obrázek č. 14 Schéma výroby bioethanolu z lignocelulózy obsažené v nezpracovaných surovinách [39]

1=mletí, 2=předúprava vstupní suroviny, 3=sacharizace, 4=výměník tepla, 5=propagační stanice, 6=bioreaktor 7=stripovací kolona, 8=rektifikační kolona, 9=molekulární síta

### 4.4.1 Předúprava vstupní suroviny

Biotechnologicky nejdůležitější složkou fytomasy je celulóza. Ta je lineárním polymerem složeným z D-glukózových jednotek vázaných  $\beta$ -1,4 glykosidovými vazbami a vyskytuje se převážně v krystalické i amorfní formě. Aby bylo možné lignocelulosový materiál využít pro mikrobiální výrobu biopaliv, je nutné jeho komplexní matici narušit a upravit tak, aby byly získány fermentovatelné cukry, které mohou být mikroorganismy využity pro růst a produkci metabolitů. Byly odzkoušeny různé metody prvotního zpracování lignocelulosových materiálů, podle jejich principu je lze rozdělit do pěti skupin: fyzikální, chemické, oxidační, biologické a fyzikálně-chemické metody. Často se uplatňují kombinace dvou nebo více metod. [4] [9] [35]

#### 4.4.1.1. Fyzikální metody

Fyzikální metody zpracování lignocelulózových materiálů spočívají ve zmenšování velikosti částic. Tím se zvýší dostupný povrch materiálu pro kontakt s hydrolytickými enzymy, sníží se krystalinita a stupeň polymerizace celulózy. Proto dojde ke zvýšení zpracovatelnosti lignocelulózové biomasy. Používají se metody mletí, sekání, drcení, štěpkování, frézování, extruze (vytlačování) a pyrolýza. První tři způsoby zmenší biomasu na velikost 10-50 mm, štěpkování 10-30 mm a frézování na 0,2-2 mm. Bylo ale prokázáno, že další snížení velikosti částic biomasy pod 0,4 mm má malý vliv na výtěžky hydrolýzy biomasy. [35] Doba rozkladu materiálu se sníží o 23 – 59 % a absolutní účinnost hydrolýzy se zvýší o 5 – 25 %. [4] [35]

#### 4.4.1.2. Chemické metody

Chemické metody spočívají v předúpravě pomocí zásad, kyselin (převážně zředěných), oxidačních činidel a organických rozpouštědel. [35] Do chemických metod řadíme kyselou a alkalickou hydrolýzu, solvolýzu a ozonolýzu. *Velkou nevýhodou těchto metod je tvorba toxických látek, inhibitorů hydrolýzy a korozivní napadání materiálu reaktorů. Dalším mínusem je finanční náročnost spojená s regenerací a recyklací použitých chemických látek. Mezi klady patří jejich velká účinnost v porovnání s ostatními metodami.* [4] [35]

Alkalická metoda je založená na tom, že existují chemikálie, která mají vliv na nativní strukturu lignocelulózové biomasy. Používají se alkálie (NaOH, KOH,  $Ca(OH)_2$ , hydrazin, bezvodý amoniak), které způsobují zduření celulózy. To obnáší zvětšení vnitřního povrchu a snížení stupně polymerace a snížení krystalinity. Při rozpouštění v silně koncentrovaných zásadách také dochází k odštěpování koncových skupin a může dojít i k degradaci a rozkladu rozpuštěných polysacharidů. [35]

Kyselá předúprava používá zředěné roztoky kyseliny sírové (4 % hm.), chlorovodíkové a fosforečné pro hydrolýzu biomasy. Koncentrované kyseliny se nepoužívají kvůli korozivním účinkům a jejich ceně. Díky kyselině se při hydrolýze hemicelulózy uvolní její monomerní jednotky, tím celulóza více zpřístupní. Lignin se sráží a kondenzuje během tohoto druhu předúpravy. Předúprava pomocí kyseliny může vyžadovat následnou neutralizaci alkáliemi. [35]

#### 4.4.1.3. Fyzikálně-chemické metody

Do této kategorie spadá většina technologií pro předběžné úpravy. Existuje mnoho možností, jakým konkrétním způsobem tuto předúpravu provést. Jedná se například o parní expanzi (autohydrolýzu), předúpravu v horké vodě, expanzi za přítomnosti amoniaku (AFEX), ozonolýzu nebo kombinace mikrovlnno – chemické předúpravy. Aby byly získány fermentovatelné sacharidy, je nutno takto upravený materiál podrobit ještě enzymové hydrolýze pomocí celulólytických preparátů. [4] [9]

Parní expanze (exploze) spočívá v působení na biomasu tlakem a vysokou teplotou (do 240 C). Po uběhnutí dané doby se pára uvolní a biomasa se rychle ochladí. Cílem této předúpravy je rozpuštění hemicelulózy, aby byla celulóza lépe přístupná. [35]



Předúprava v horké vodě místo páry používá horkou vodu. Cílem vody je rozpouštět hemicelulózu, aby celulóza byla lépe přístupná pro následnou hydrolyzu. Kvůli zamezení tvorby inhibitorů fermentace se musí udržovat hodnota pH mezi 4-7. [35]

Amonikální expanze lignocelulózovou biomasu vystaví roztoku  $\text{NH}_4\text{OH}$  při vysoké teplotě a tlaku po určitou dobu, poté se tlak náhle sníží. Tato předúprava výrazně zlepšuje rychlost fermentace bylinných plodin a trav. [35] Obvykle se používá teplota 60–100 °C a doba zádrže 30 minut. Po dekompresi následuje fázová změna amoniaku z kapalné na plynnou. S touto souvisí objemová změna, která zajistí intenzivní rozmělnění substrátu. [4]

#### 4.4.1.4. *Biologické metody*

Biologické metody využívají k předúpravě biomasy plísně a houby. Nejvyšší výtěžnosti je dosahováno při použití kmenů bílých hub. Výhodou biologických metod je nízká spotřeba energie, nevýhody jsou časová náročnost a nízká výtěžnost. [4]

#### 4.4.1.5. *Oxidační metody*

Oxidační předúprava se zakládá na přidání oxidační sloučeniny do biomasy. Cílem je odstranění hemicelulózy a ligninu. Jako oxidační činidlo se používají například peroxid vodíku nebo kyselina peroctová. Pro správný průběh oxidační metody je nutné dodržet správné pH a správnou koncentraci, použití  $\text{H}_2\text{O}_2$  vyžaduje pH 10 - 11,5 o koncentraci peroxidu vodíku alespoň 1 %. [35]

*Během oxidativní předúpravy probíhá několik reakcí, například elektrofilní substituce, přesunutí postranních řetězců, štěpení alkyl aryl etherových vazeb nebo oxidační štěpení aromatických jader. V mnoha případech není použité oxidační činidlo selektivní, a proto může dojít ke změnám hemicelulózy a celulózy. Také je přítomné vysoké riziko tvorby inhibitorů – oxidace ligninu a tvorba rozpustných aromatických sloučenin. [35]*

## 5. Potravinářský líh

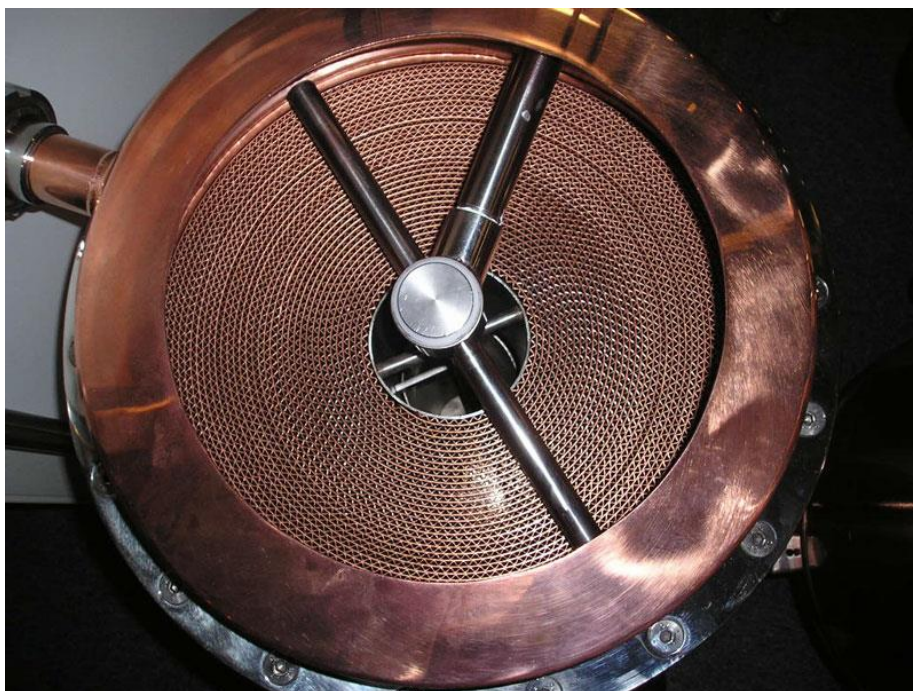
### 5.1 Zařízení v potravinářském průmyslu

#### 5.1.1 Měděný katalyzátor

Měď použitá k výrobě katalyzátoru reaguje s kyselinou kyanovodíkovou na těžko těkavé sloučeniny mědi, které nemohou přecházet do destilátu. Tím se sníží obsah jedovatého kyanidu a karcinogenního ethyl-karbamátu, které vznikají působením amygdalinu z pecek při výrobě pálenek. Katalyzátor sestává z lamel, náplňových tělísek nebo z kroužků pro zvětšení kontaktního povrchu a trvale zaručuje předepsané mezní hodnoty těchto nežádoucích látek. Zabudovává se do destilačního zařízení mezi deflegmátor a chladič buď kolmo na kolonu, stranou stojící nebo horizontálně. Během destilace může být vyřazen. Před každou destilací se musí vypláchnout horkou vodou a pro správnou funkci je nutné ho pravidelně čistit louhem nebo kyselinou citronovou, protože kyselina kyanovodíková a další látky z kvasu reagují s jeho povrchem a tvoří vodu odpuzující povlaky. Měděný katalyzátor pro odstraňování kyanovodíku lamelové konstrukce výrobce Arnold Holstein je ukázán na obrázcích č. 15 a č. 16 [18] [28]



Obrázek č. 15 Měděný katalyzátor pro odstraňování kyanovodíku, lamelová konstrukce, pro vertikální instalaci nad deflegmátor, výrobce Arnold Holstein [18]



Obrázek č. 16 Detailní pohled dovnitř měděného katalyzátoru pro odstraňování kyanovodíku, lamelová technologie, pro vertikální instalaci nad deflegmátor, výrobce Arnold Holstein [18]

### 5.1.2 Plnicí linka

Alkoholické nápoje jsou obvykle baleny do skleněných lahví o objemu od 0,2 l do 1 l, vyskytují se ale i jinak velká balení. Někdy se též používají plastové nádoby, není to však příliš časté. Pro plnění lahví se používá plnicí linka, která většinou zvládá lahev naplnit, uzavřít i nalepit etiketu. Taková linka od výrobce Altec Chotěboř je ukázána na obrázcích č. 17 a č. 18.



Obrázek č. 17 Linka na stáčení lihovin do lahvíček 0,05 a 0,2 l pro Rudolf Jelínek – Vizovice, výrobce Altec Chotěboř [17]



Obrázek č. 18 Linka na stáčení lihovin do lahvíček 0,05 a 0,2 l pro Rudolf Jelínek – Vizovice, výrobce Altec Chotěboř [17]

## 6. Technický líh

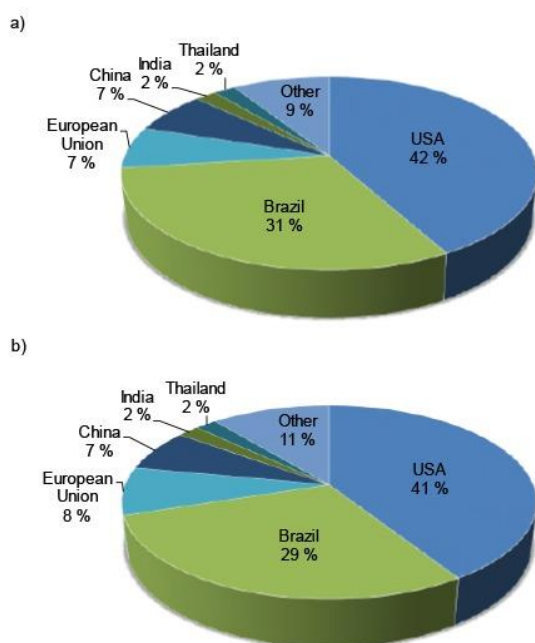
Technický líh je souhrnné označení pro ethanol určený pro petrochemický a chemický průmysl. Takový ethanol se tedy používá po úpravě jako palivo pro zážehové spalovací motory nebo se s ním může se s ním svítit, topit, dezinfikovat nebo třeba odmašťovat.

Jednoznačně největším využitím technického lihu je právě palivo pro zážehové motory. Zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. § 19 „Povinnost zajistit minimální množství biopaliv za kalendářní rok“ nařizuje aby 4,1 % objemu prodaného benzínu bylo tvořeno biosložkou neboli bioethanolem. Dále je na českém trhu prodáváno palivo označené E85 (ČSN EN 15293, což je směs ethanolu s bezolovnatým benzínem v poměru 85:15. Tabulka č. 3 zobrazuje domácí produkci palivového ethanolu, jeho dovoz, vývoz, změnu zásob a hrubou spotřebu podle dat Ministerstva průmyslu a obchodu ČR.

Tabulka č. 3 Produkce, dovoz, vývoz, změna zásob a hrubá spotřeba bioethanolu v ČR 2007-2019 [38]

Rok	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Domácí produkce	26509	60236	89625	94523	54412	102195	104488	104112	104715	115575	102346	75069	93040
Dovoz	0	20404	32939	10361	35696	5184	1979	37352	37342	30205	44 936	44304	70549
Vývoz	17027	31909	50953	36556	7378	16664	17475	22812	31066	52489	30 160	3071	18476
Změna zásob	9195	-1990	-3325	-710	3769	1144	2561	-390	-8558	7473	595	-4754	3871
Hrubá spotřeba	287	50721	74937	69037	78961	89592	86432	119042	119042	85819	116526	121084	141242

Současné celosvětové snahy o snížení závislosti na ropě a o co nejvyšší využití obnovitelných zdrojů energie naznačují, že výroba bioethanolu v následující dekádě klesat nebude. Obrázek č. 19 ukazuje odhad světové produkce bioethanolu a odhad světové spotřeby v roce 2024.



Obrázek č. 19 Odhad světové (a) produkce, (b) spotřeby bioethanolu v roce 2024 [39]

## 6.1 Generace paliv

Většina v Česku vyprodukovaného technického lihu vzniklého kvasným procesem se využívá jako palivo pro zážehové motory vozidel. V současnosti se v Česku používají biopaliva tzv. první generace. Ty jsou získávány ze surovin cukernatých, škrobnatých nebo olejnatých. V našich zeměpisných podmínkách nejčastěji z cukrové řepy. Její výnosy jsou větší než při výrobě bioethanolu z obilí. [10] V teplejších oblastech je pro tuto výrobu používána taktéž cukrová třtina. Nejčastěji zmiňovaný problém biopaliv první generace je konkurování potravinářské výrobě, z čehož může pramenit zvyšování cen jídla. Také zde dochází k mnohem většímu vysílení půdy intenzivním pěstováním rostlin, které by bez biopaliv vůbec nebyly zasety. [14]

Biopaliva druhé generace jsou založena na zpracování nepotravinářských plodin a nepoživatelných částí potravinářských rostlin. To řeší problém paliv první generace, protože zde již nedochází ke konkurování potravinářské výrobě a pole nejsou uměle posety rostlinami, které se jinak nezužítují. Zde se především používá odpad jako je dřevní štěpka nebo tráva a tím se zužítují dosud nevyužívané půdy nebo jde produkce zcela mimo půdu. Problémem paliv druhé generace je ale obtížné štěpení jejich celulózy na jednoduché molekuly.

Třetí generace paliv je založena na úpravě struktury řas tak, aby produkovaly uhlovodíky. Toto je ale zatím teprve ve fázi výzkumu. Také se pracuje s myšlenkou výroby suroviny z řas na celulózové bázi. Kromě řas jsou zkoumány i mikroorganismy. [14]

## 6.2 Zařízení pro výrobu bezvodého lihu

Ethanol s vodou tvoří azeotropní směs, která není za atmosférického tlaku destilací zcela rozdělitelná. Proto lze běžnou destilací získat alkohol o maximální koncentraci 95,57 % hm., který představuje složení v tzv. azeotropickém bodu (bod varu 78,15 °C). Zbývající více jak čtyři procenta vody sice nevádí v potravinářském průmyslu ani při výrobě dezinfekce, při použití ethanolu jako paliva či v chemickém průmyslu jsou ale nepřijatelná. Proto se již od počátku dvacátého století, hlavně kvůli nedostatku benzínu ve válečných létech, řeší odvodnění lihu. Lze to provést tlakovou destilací nebo použitím dalších látek jako jsou benzen, pentan, cyklohexan, hexan, heptan, isooktan, aceton a diethylether. [23] [43]

### 6.2.1 Odvodňování tlakovou (azeotropická) destilací

Složení azeotropické směsi ethanol – voda se při sníženém tlaku na 9,3 kPa posune na téměř 100% ethanol. Tento způsob odvodňování ale není ekonomicky výhodný, potřebuje kolonu s velkým průměrem se silnými stěnami, má vysokou spotřebu elektrické energie a vyžaduje uzavřený obvod chladicí vody k chlazení par o nízké teplotě. [23] Proto se u této metody používají dvě kolony, přičemž druhá má zvýšený tlak.

### 6.2.2 Odvodňování membránovými procesy

Jsou známé technologie pervaporace a pertrakce. Průmyslově se zatím nepoužívají. [23]

**Pervaporace** je metoda založená na použití selektivní membrány, [44] při kterém dochází k dělení kapalných směsí jejich částečným vypařováním přes neporézní polymerní

membránu. Je založena na difúzi. Rozděluje se na vakuovou pervaporaci a na pervaporaci do nosného plynu. Kapalina na vstupu je v kontaktu s povrchem membrány, zatímco výsledný pervaporát je v parní fázi odstraňován z opačné strany membrány odsáváním (vakuová pervaporace) nebo proudem nosného plynu (pervaporace do nosného plynu). Je výhodné používat pervaporaci tehdy, kdy ostatní separační procesy jsou neúčinné. [45]

**Pertrakce** je metoda založená na použití neselektivní hydrofobní membrány. Membrána zajišťuje kontaktní plochu mezi ethanolem a vodou a zároveň zabraňuje promíchání obou složek. [46]

### 6.2.3 Odvodňování kapalinami

Používají se dva principy pro odvodňování kapalinami. Prvním je azeotropická destilace ternární směsi ethanol-voda-třetí složka, přičemž tato směs se destiluje při teplotě nižší, než je bod varu ethanolu. Jako třetí složka se používá benzen, trichlorethylen nebo cyklohexan. Obsah vody v takto vyrobeném bezvodém ethanolu je jen několik desetin procenta. [23]

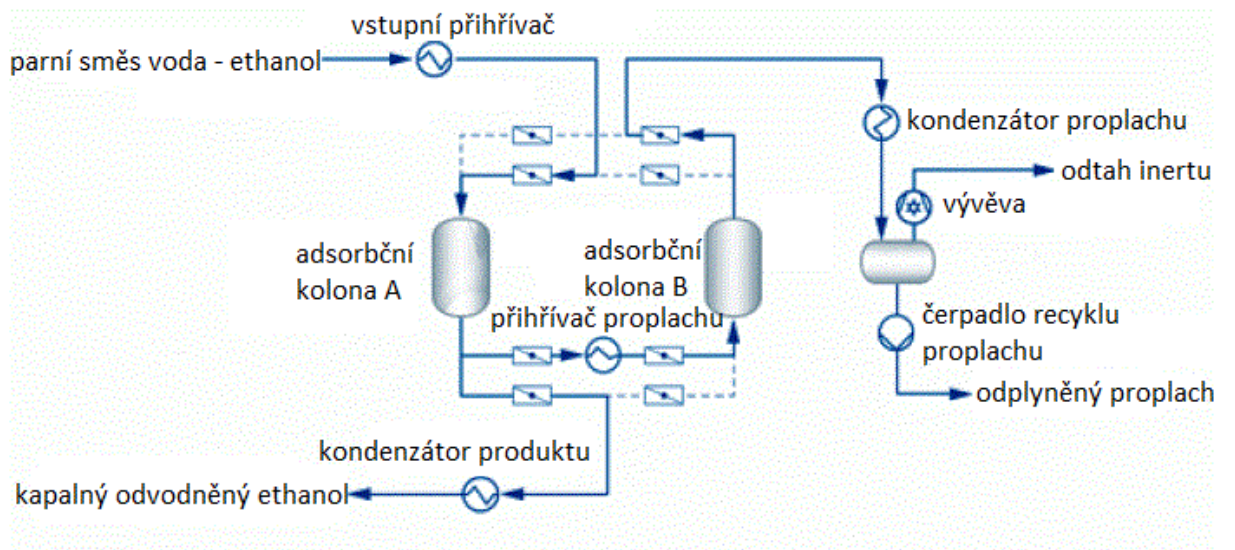
Druhým principem je extraktivní destilace. Používají se hygroskopické kapaliny (vážící vodu) jako glycerol a etylenglykol, ty po přidání do destilační kolony naváží vodu a alkohol destiluje při svém bodu varu 78,3 °C. Po oddestilování lihu se zvýší teplota a destiluje voda a zbytek glycerol. Podobně funguje i extrakce organickými rozpouštědly jako je benzín. Tím se vyextrahuje část alkoholu bez vody a tato fáze se rovnou použije jako palivo. Zbýlý benzín s vodou pak jde do kolony, kde se benzín od vody oddělí. [23]

### 6.2.4 Odvodňování tuhými látkami

Tuhé látky se dnes již k odvodňování příliš nepoužívají. Jedná se o nejstarší odvodňovací metodu, která se hodí jen pro menší množství. Princip spočívá v použití látek na sebe vážících vodu, jako je např. pálené vápno, chlorid vápenatý, octan sodnodraselný, sádra atd. [23]

### 6.2.5 Odvodňování molekulárními sítý

Molekulární síta jsou založena na přírodních nebo syntetických látkách nazývaných zeolity, které adsorbují selektivně molekuly menší než určitá velikost. V případě výroby lihu do pórů zeolitu vstupuje voda, ethanol naopak nevstupuje. Zařízení pro tento způsob odvodňování se skládá ze dvou adsorbčních kolon, přičemž jeden cyklus trvá jen několik minut. Jeho schéma je vyobrazeno na obrázku č. 20. Parní směs vody a ethanolu (voda tvoří cca 5 % hm.) vstupuje po průchodu vstupním přehříváčem do první adsorbční kolony. Při průchodu kolonou se část alkoholu a všechna voda adsorbují v adsorbentu. Po nasycení kolony se proces přepne na druhou adsorbční kolonu. Životnost zeolitů je asi jeden rok, poté se musí vyměnit. Adsorbční kolony se regenerují propařováním parou nebo se proplachují částí dohřívaného produktu. Přehříváče jsou u odvodňování ethanolu molekulárními sítý nutné z důvodu zabránění předčasné kondenzace plynného ethanolu v kolonách. [23]



obrázek č. 20 Schéma odvodňování ethanolu molekulárními sítý [47]



### 6.3 Denaturace

Kvůli rozdílnému zdanění lihu pro rozdílné použití (potravinářský, pro vytápění atd.) se do lihu přidávají různá denaturační činidla, aby nešel ethanol prodaný jako technický (díky nižší dani levnější) použit jako potravinářský. Znemožní se tím jeho pití, nesmí však bránit žádanému a dovolenému upotřebení. Denaturační prostředek pro obecnou denaturaci nesmí být toxický nebo jinak zdraví škodlivý, musí ale mít nepříjemnou chuť a zápach. Nesmí také být z technického lihu jednoduše odstranitelný a nesmí být příliš drahý. Nemá být korozivní a neměl by v lihu tvořit sediment. Běžně se používá směs několika látek, jejichž složení a množství výrobce jednou za čas se mění. K denaturaci se obvykle používá ethanol s podřadnější jakostí. [16] [23]

Činidla pro denaturaci lihu jsou určena v České republice vyhláškou ministerstva zemědělství č. 141/1997 Sb. Vyhláška definuje 26 látek a směsí. Tyto látky a směsi jsou popsány v tabulce č. 4. Pro různé využití lihu jsou záměrně zvolena jiná denaturační činidla a v jiném množství, aby nebránila plnohodnotnému využití ethanolu v dané aplikaci. Nazývá se to tzv. zvláštní denaturací. Zvláště denaturovaný líh se používá např. při výrobě octa, jako denaturační činidlo v tomto případě slouží kyselina octová. [3] [16] [23]

Tabulka č. 4 Denaturační činidla pro denaturaci ethanolu v ČR [3]

Pořadové číslo	Denaturační prostředek	Nejmenší přírůstek denat. prostř. na 1 l ethanolu při 20 °C	Účel použití denaturovaného lihu
1	Benzín lékařský	10 ml	a) k laboratorním účelům, b) k použití ve zdravotnických zařízeních a lékárnách, c) k výdeji v lékárnách v balení do 200 ml, d) k dodávkám distributorům léčiv, e) k výrobě pektinu, léčiv, dezinfekčních roztoků nebo f) k čištění a dezinfekci výrobního zařízení v potravinářství.
2	Benzín lékařský	20 ml	K technickému použití všeho druhu mimo prodeje.
3	Benzín technický	20 ml	K technickému použití všeho druhu mimo prodeje.
4	Toluen	20 ml	K technickému použití všeho druhu mimo prodeje.
5	Ajatin	10 g	K maskérským účelům
6	Aceton	50 ml	K výrobě čistých chemikálií, kovových katalyzátorů, polovodičů. Při výrobě a údržbě elektropřístrojů.
7	Hexan	10 ml	K laboratorním účelům.
8	Methanol	50 ml	K laboratorním účelům.
9	Ocet kvasný lihový o koncentraci 10 až 20 %	100-200 ml	K výrobě kvasného lihového octa o koncentraci 10 až 20 % hm. tak, aby líh po denaturaci obsahoval minimálně 20 ml kyseliny octové na 1 l absolutního alkoholu.
10	Octan ethylnatý	20 g	K výrobě barev, ředidel a k ředění barev sloužících k potisku obalových materiálů.
	Denatonium benzonát	30 mg	
11	2-propanol	100 ml	K výrobě čistých chemikálií, katalyzátorů, kosmetických a dezinfekčních přípravků. K odmašťování desek plošných spojů. Při výrobě měřících a leteckých přístrojů.
12	Denatonium benzonát	30 mg	K výrobě kosmetických přípravků, které nepřichází do styku s dutinou ústní.
13	Diethylftalát	5 g	K výrobě kosmetických přípravků.
	Terciální butanol	789 mg	
14	Mentol	8 g	K výrobě kosmetických přípravků, které přichází do styku s dutinou ústní.

15	Thymol	8 g	K výrobě kosmetických přípravků, které přichází do styku s dutinou ústní.
16	2-propanol	20 ml	K výrobě parfémů a toaletních vod.
	Denatonium benzonát	10 mg	
17	Terciální butanol	780 mg	K výrobě parfémů a toaletních vod.
	Denatonium benzonát	10 mg	
18	2-propanol	20 ml	K výrobě ústních vod pro ústní nebo zubní hygienu.
19	Terciální butanol	780 mg	K výrobě ústních vod pro ústní nebo zubní hygienu.
20	Denatonium benzonát	10 mg	K výrobě drogistického zboží a aditiv do motorových paliv.
	Methylethylketon	15 ml	
	2-propanol	10 ml	
21	Denatonium benzonát	20 mg	K výrobě gelových podpalovačů, lihového paliva do bio krbů a hořlavých past.
	Methylethylketon	10 ml	
	2-propanol	10 ml	
22	Motorové palivo vyhovující ČSN EN 228	20 ml	K výrobě motorového paliva nebo Etyltercbutyletheru.
23	Etyltercbutylether	20 ml	K výrobě Etyltercbutyletheru.
24	Metyltercbutylether	20 ml	K výrobě Etyltercbutyletheru.
25	Denatonium benzonát	30 mg	K výrobě nemrznoucích směsí, autokosmetiky a čisticích přípravků.
	Methylethylketon	15 ml	
	2-propanol	10 ml	
26	Denatonium benzonát	30 mg	K výrobě nemrznoucích směsí, autokosmetiky a čisticích přípravků.
	2-propanol	10 ml	
	Terciální butanol	10 mg	

## 7. Závěr

Lihovarnictví je obor, který s příchodem jednadvacátého století svůj význam nezmenšil, naopak kvůli důrazu na produkci paliv z obnovitelných zdrojů, touze lidí se bavit u skleničky alkoholického nápoje či potřeby použití ethanolu jako dezinfekce povrchů svoji důležitost nadále zvyšuje. Je to stále výzva, a proto je potřeba nezdokonalovat pouze proces výroby lihu, jak je již několik století znám, ale hledat nové cesty, jak ho vyrobit levněji a s menším dopadem na životní prostředí. V tomto ohledu je velkou perspektivou do budoucnosti využití materiálů na bázi lignocelulózy, čímž se zužitkují jinak nevyužitelné zelené části rostlin, dřevěná štěpka nebo třeba použitý papír.

V práci jsou popsány suroviny, které se pro výrobu ethanolu využívají. Tyto suroviny jsou rozděleny podle druhů obsažených cukrů: suroviny monosacharidické, škrobnaté a na suroviny obsahující ostatní polysacharidy. Dále jsou popsány také další látky používané při výrobě lihu, jako jsou enzymy a kvasinky.

Dále jsou v práci uvedeny postupy výroby lihu z jednotlivých vstupních surovin od předúpravy vstupní suroviny přes kvašení až po destilaci. Jsou uvedena a popsána schéma průmyslového melasového lihovaru, zemědělského lihovaru zpracovávajícího obilí i schéma výroby bioethanolu z lignocelulózy obsažené v nezpracovaných surovinách. Dále jsou popsány vybrané stroje a zařízení používané při výrobě kvasného lihu.

V části zaměřené na výrobu technického lihu jsou popsány způsoby odvodňování azeotropické směsi ethanol-voda pro využití ethanolu jako paliva. Další část je věnována denaturaci lihu a používaným denaturačním činidlům.

## 8. Literatura

1. MUŽÍKOVÁ, Michaela. *ALKOHOLISMUS – HISTORIE A SOUČASNOST*. Plzeň, 2012. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce PhDr. Michal Svoboda, Ph. D.
2. Lihovarnictví a výroba lihovin. *DURATIVA S.R.O.* [online]. Ostrožská Nová Ves [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.durativa.com/files/sylabus%20l%C3%ADh.pdf>
3. Vyhláška 141/1997 Ministerstva zemědělství o technických požadavcích na výrobu, skladování a zpracování lihu. *Ministerstvo vnitra České republiky* [online]. 1997 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: [https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=141/1997&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=141/1997&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy)
4. FLAJSL, Roman. *Průmyslová výroba lihu*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Jiřina Omelková, CSc.
5. KADLEC, Pavel. *Technologie potravin II*. Praha: VŠCHT, 2002. ISBN 978-80-7080-510-7.
6. ŠPATINA, Antonín. Sto let výroby lihu v Kojetíně. *Listy cukrovarnické a řepařské* [online]. 2014, 318-322 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: [http://www.cukr-listy.cz/on\\_line/2014/PDF/318-322.pdf](http://www.cukr-listy.cz/on_line/2014/PDF/318-322.pdf)
7. ŘEZNÍČKOVÁ, Pavla. *Technologie výroby rumu*. Zlín, 2015. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Jiří Mlček, Ph.D.
8. FOJTÍKOVÁ, Hana. *Aplikace inulinu do dětských ovocných výživ*. Zlín, 2012. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Ladislava Mišurcová, Ph.D.
9. PAULOVÁ, L., E. PAVLOVÁ a V. OLŠAN. Využití odpadních materiálů na bázi lignocelulózy jako suroviny pro výrobu bioethanolu. *Chemagazín* [online]. Praha, 2010, 16-18 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: [http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin\\_2010/file/CHEMAGAZIN\\_XX\\_5\\_cl3.pdf](http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/CHEMAGAZIN_XX_5_cl3.pdf)
10. BŘEZINA, Tomáš. *Možnosti technologie přípravy rýžových destilátů*. Brno, 2012. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Gregor, Ph.D.
11. Scanning electron microscopy image of *Saccharomyces Cerevisiae* the budding yeast cells. *Biologics International* [online]. 2018 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.biologics-intl.com/scanning-electron-microscopy-image-of-saccharomyces-cerevisiae-the-budding-yeast-cells/>
12. GRÉGR, Vratislav a Jiří UHER. *Výroba lihovin*. 2., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974. Řada potravinářské literatury.
13. JASINSKÁ, Eva. *Produkce amyláz vybranými kmeny kvasinek pomocí biofermentorů a jejich využití při výrobě potravin*. Brno, 2011. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Gregor, Ph.D.
14. Role enzymů při výrobě destilátů. *Proneco* [online]. 2017 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.proneco.cz/clanek/role-enzymu-pri-vyrobe-destilatu/>

15. DYR, Josef. *Lihovarství: 1. díl*. Praha: SNTL, 1956.
16. DYR, Josef. *Lihovarství: 2. díl*. Praha: SNTL, 1963.
17. KADLEC, Pavel, Karel MELZOCH a Michal VOLDŘICH. *Procesy a zařízení v potravinářství a biotechnologiích*. Ostrava: Key Publishing, 2013. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-163-4.
18. AUDY, Dan. *Energetická spotřeba rovnotlaké a různotlaké destilace technického lihu*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. QUIDO SMEJKAL, Ph.D.
19. HAMPL, Bohuš. *Přehled potravinářského a kvasného průmyslu: vysokoškolská učebnice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. Obecná chemická technologie.
20. Molasses Alcohol. *Bulk, Wine, and Spirits* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.bulkwineandspirits.com/product/molasses-alcohol/>
21. Úvod. *Ethanol Energy* [online]. Vrdu [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.novyethanolenergy.cz/>
22. Základní části výrobního procesu. *Liberta Energy* [online]. Trmice [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.liberta-energy.com/cz/process.html>
23. DOMINIK, Petr. *Výroba bioethanolu z kukuřice*. Brno, 2008. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Dr. Ing. Luděk Hřivna.
24. HAMROVÁ, Ludmila. *Technologie zemědělského lihovarství*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988. Technika a technologie potravinářského průmyslu.
25. BARBOSA, Daniel Coelho. Are US, Brazil Ethanol Industries Ready to Dance? *Ethanol Producer Magazine* [online]. 2013, 2013 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.ethanolproducer.com/articles/9470/are-us-brazil-ethanol-industries-ready-to-dance>
26. ŠKOPEK, Josef. *Výroba destilátů z vlastního ovoce*. České Budějovice: Dona, 2003. ISBN 80-7322-045-8.
27. BALAŠTÍK, Jaroslav. *Jak vypálit lepší slivovici*. Ostrožská Nová Ves: J. Balaščík, 2010. ISBN 978-80-86704-71-5.
28. HAGMANN, Klaus a Birgit ESSICH. *Pálíme ovoce: jak co nejlépe zužitkovat vlastní úrodu*. 2. vyd. Přeložil Helena UHROVÁ. Líbeznice: Víkend, 2009. ISBN 978-80-7433-011-7.
29. Odpeckovací stroj. *Kovoděl Janča s.r.o* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.kovodel.cz/prislusenstvi-k-destilaci/odpeckovavaci-stroj/>
30. GORGOL, Marek. *Využití Human Activity Analysis workbench při návrhu odpeckovače ovoce*. Ostrava, 2009. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Dr. Ing. Plchová Anna.

31. Prokvášení destilátů – kvasinky pro výrobu destilátů. *Proneco* [online]. 2017 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.proneco.cz/clanek/prokvaseni-destilatu-kvasinky-pro-vyrobu-destilatu/>
32. Spiriferm. *Vyrobtesipivo.cz* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.vyrobtesipivo.cz/spiriferm-p235>
33. Pěstitelské pálenice – dvoukotlový systém. *Kovoděl Janča s.r.o* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.kovodel.cz/destilacni-zarizeni/pestitelske-palenice/>
34. Pěstitelské pálenice – jednokotlový systém. *Kovoděl Janča s.r.o* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.kovodel.cz/destilacni-zarizeni/pestitelske-palenice-jednokotlovy-system/>
35. KOVÁŘOVÁ, Markéta. *Studium předúpravy a následné hydrolýzy vybraných lignocelulóзовých materiálů*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Stanislav Obruča, Ph.D.
36. Copper catalyst. *Arnold Holstein* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://a-holstein.de/en/distilleries/options/copper-catalyst/>
37. Vybrané reference. *Altec spol. s r.o. Chotěboř* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.altec-chotebor.cz/3-reference.html>
38. Domácí produkce, dovoz, vývoz, změna zásob a hrubá spotřeba bioethanolu (pro pohon motorů) v ČR v letech 2007 až 2019 (v tunách). *Ministertvo průmyslu a obchodu* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/kapalna-biopaliva/2020/6/Kapalna\\_biopaliva\\_2019CZ\\_12Cs.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/kapalna-biopaliva/2020/6/Kapalna_biopaliva_2019CZ_12Cs.pdf)
39. Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review. *US National Library of Medicine* [online]. 2018 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6233010/>
40. AZAD, Kalam. *Advances in eco-fuels for a sustainable environment*. Cambridge, MA: Woodhead Publishing, an imprint of Elsevier, [2019]. Woodhead Publishing in energy. ISBN 978-0-08-102728-8.
41. HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER, Vladimír HÖNIG a Pavel ŠTĚRBA. Výroba bioetanolu. *Listy cukrovarnické a řepařské* [online]. Praha, 2010, 2010, 267-270 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: [http://www.cukr-listy.cz/on\\_line/2010/PDF/267-271.PDF](http://www.cukr-listy.cz/on_line/2010/PDF/267-271.PDF)
42. VANĚK, Václav. Biopaliva druhé a třetí generace. *Třípól* [online]. 2012, 2012 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/987-biopaliva-druhe-a-treti-generace>
43. KISTER, Henry Z. *Distillation Design*. 1. vyd. [s.l.]: McGraw-Hill, 1992. ISBN 0-07-034909-6
44. JANOŠKOVÁ, Lenka. *Možnosti fermentační výroby butanolu jako suroviny pro motorová paliva – úvodní studie*. Brno, 2008. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Gabriel.

45. IZÁK, Pavel, Milan ŠÍPEK a Jiří HODEK. Aparatura pro pervaporační dělení kapalných směsí plochými polymerními membránami. *Chemické listy* [online]. Praha, duben 1999, 254-258 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1999\\_04\\_254-258.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1999_04_254-258.pdf)
46. Pertraction. *Emis* [online]. 2010 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://emis.vito.be/en/bat/tools-overview/sheets/pertraction>
47. Molecular Sieve Dehydration. *Vogelbusch* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.vogelbusch-biocommodities.com/process-units/dehydration/molecular-sieve-process/>
48. İÇÖZ, Erkan, K. MEHMET TUĞRUL, Ahmet SARAL a Ebru İÇÖZ. Research on ethanol production and use from sugar beet in Turkey. *Biomass and Bioenergy* [online]. 2009, 33(1), 1-7 [cit. 2020-07-30]. DOI: 10.1016/j.biombioe.2008.05.005. ISSN 09619534.