

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA PEDAGOGICKÁ

KATEDRA CHEMIE

**VÝROBA CUKRU V ČESKÝCH ZEMÍCH DŘÍVE A NYNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Lukáš Maděra**

Chemie, biologie se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: Doc. Mrg. Václav Richtř, CSc.

**Plzeň, 2016**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni dne: 30.6.2016

.....

Vlastnoruční podpis

## Obsah

1. Úvod.....	6
2. Teoretická část .....	7
2.1. Botanický pohled na cukrovku.....	7
2.2. Vegetační rok cukrovky .....	8
2.2.1. Osevní postup .....	8
2.2.2. Úprava půdy .....	9
2.2.3. Hnojení.....	10
2.3. Choroby a škůdci .....	11
2.4. Výnos a sklizeň .....	12
2.5. Jakost cukrovky.....	13
2.6. Složení řepy.....	14
2.6.1. Necukry bezdusíkaté .....	15
2.6.2. Necukry dusíkaté.....	16
2.6.3. Necukry anorganické.....	17
2.6.4. Barevné látky.....	17
2.7. Historie výroby cukru v českých zemích .....	17
2.8. Technologie výroby cukru a její vývoj .....	23
2.8.1. Přejímka .....	23
2.8.2. Manipulace s řepou.....	24
2.8.3. Doprava a praní.....	24
2.8.4. Doprava a řezání .....	25
2.8.5. Extrakce a difuze .....	26
2.8.6. Lisování, silážování a sušení řízků .....	27
2.8.7. Čištění šťáv .....	27
2.8.8. Zahřívání šťáv .....	30
2.8.9. Krystalizace.....	31
2.8.10. Rafinace.....	32
2.8.11. Sušení a chlazení cukru .....	32
2.8.12. skladování .....	33
2.8.13. Výrobky .....	33
3. Praktická část .....	35
3.1. Příprava řízků.....	35
3.2. Extrakce .....	35

3.3. Čerění, saturace, filtrace, šíření.....	35
3.4. Odpařování.....	37
4. Závěr .....	40
5. Resumé.....	41
6. Seznam použité literatury.....	42

#### Poděkování:

Rád bych poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce Doc. Mgr. Václavu Richtrovi, CSc. za jeho vstřícnost a pomoc při mé práci v laboratoři. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni i přátelům za psychickou podporu během zpracovávání.

# 1. Úvod

Cílem této práce je popsat historii a současný stav výroby cukru v českých zemích a provedení některých postupů zpracování cukrové řepy v laboratoři.

Cukrovarnický průmysl má pro náš stát veliký význam ve světovém měřítku s ohledem na kvalitu vyrobeného cukru i energetickou spotřebu při výrobě, kdy patříme ke světové špičce. Nebylo tomu tak vždy. Tato práce se zaměřuje na vývoj získávání cukru z různých zdrojů, z nichž v současné době dominuje cukrová řepa. Ve své práci se zabývám i různými souvislostmi, které se výroby cukru týkají, jako jsou například odpadní produkty.

## 2. Teoretická část

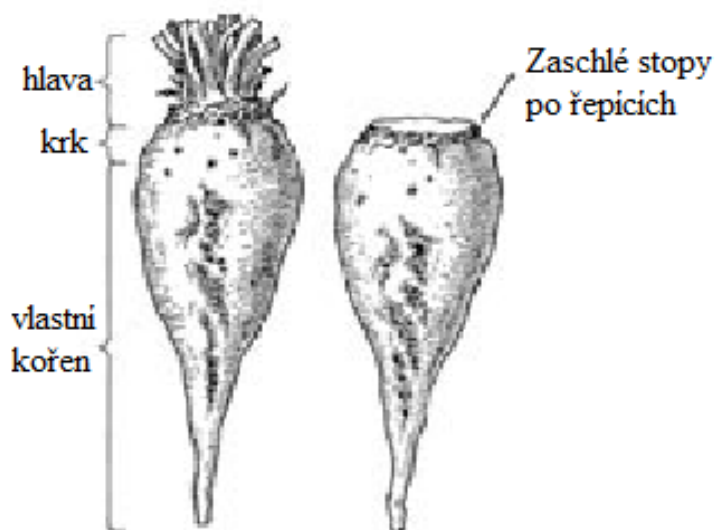
### 2.1. Botanický pohled na cukrovku

Cukrovka (*Beta vulgaris*) patří do čeledi merlíkovitých. Plodem cukrovky je nažka uzavřena ve ztvrdlém okvětí. Cukrovka, kterou známe dnes, vznikla z planě rostoucích přímořských řep a jiných řep divokých. Rostlina má na svém vrcholu soubor listů, tzv. chrást a tělo tvoří zdužnatělý kořen neboli bulva. Kořen cukrovky je vřetenovitého tvaru se dvěma podélnými rýhami, ze kterých nejvíce vyrůstají postranní kořínky. Kořen se zužuje v kulovitý kořínek a hloubka, do které proniká je 1,5 až 2 m. Postranní kořínky mají funkci výživnou, kdy čerpají živiny a vláhu z 1 m okolo sebe. Většinu pletiv, která se v cukrovce vyskytují, tvoří zásobní parenchym.

V době sklizně se udává, že má zdravá řepa kolem třiceti listů. V samotných listech se vytváří sacharosa procesem zvaným fotosyntéza. Jedná se o reakci, kdy je na její průběh spotřebováána energie. V tomto případě se jedná o energii tepelnou ze slunečního záření. Tímto procesem jako první vznikají monosacharidy, které jsou účinkem enzymů přeměněny na sacharosu. Sacharosa následně odchází vodivým pletivem do bulvy, v níž se ukládá. Největším problémem při tvorbě cukru mají tedy listové choroby a olamování chrástu.

Veliký význam má šlechtění cukrovky, kde se sleduje výnos, cukernatost, obsah necukrů, náchylnost k chorobám atd. Cukrovka je rostlinou cizosprašnou, což znamená, že je opylena pylem jiné rostliny a ne vlastním. Tohoto jevu je využíváno při získávání heterozního semene. Dělá se to tak, že se vedle sebe pěstují dvě odrůdy cukrovky, mezi kterými dochází k přirozenému opylení a oplození. Během pěstování řepného semene je v prvním roce vypěstována tzv. sázečka a v druhém semenice. Sázečky se nesmí pěstovat vedle semenáčků. Jedná se o jeden z nejhorších přestupků, kterých se může pěstitel dopustit. Důvodem je přenos viróz. Vzdálenost těchto polí vedle sebe musí být nejméně 500 m, lépe však 1000 m.<sup>1</sup>

U nás v České republice najdeme oblasti s nejvhodnějšími podmínkami pro pěstování cukrovky, kterými jsou hlavně Polabí, dolní Povltaví a údolí Ohře, na Moravě je to oblast Hané, Hodonínsko, Břeclavsko, Znojemsko a Opavsko.<sup>2</sup>



Obr. 1: Stavba řepné bulvy a správně seříznutá bulva<sup>3</sup>

## 2.2. Vegetační rok cukrovky

Ještě než se začne cukrovka sít, musí se půda správně připravit. Musí být dobře prohnojena a důkladně nakypřená. Aby byla cukrovka co nejvýnosnější, je dalším důležitým předpokladem její správné zařazení do osevního postupu. Cukrová řepa se většinou seje po ozimé pšenici či jetelotravínách. Po ní se sejí jařiny, zejména pak ječmen. Vegetační doba cukrové řepy je 180 až 200 dnů.<sup>1</sup>

### 2.2.1. Osevní postup

Vzhledem k tomu, že se jedná o plodinu pro půdu náročnou, byl pro ni doporučen tří, lépe čtyřletý odstup pěstování.<sup>4</sup> Pro dnešní dobu se jedná spíše o věc těžce splnitelnou než realitu. Nebylo by možný rychle zásobit spotřebitelský trh. Ve skutečném provozu se proto pracuje především s krátkými osevními postupy. Do osevních sledů spolu s cukrovkou je nevhodné zakomponovat řepku a hořčici. Tyto dvě plodiny jsou totiž hostiteli hád'átka.<sup>3</sup>



Příklady osevních postupů:

- Cukrovka (pozdní sklizeň) → jarní ječmen (nebo jarní pšenice, hrách, brambory) → ozimá pšenice → cukrovka
- Cukrovka → obilnina → slunečnice, hrách, brambory → ozimá pšenice (ozimý ječmen) →cukrovka<sup>4</sup>

Osevní postupy mají své výhody i nevýhody. Mezi nevýhody patří:

- Vzhledem k dlouhé vegetační době cukrové řepy je množství jařin v osevním postupu limitováno dobou zasetí cukrovky.
- Řepka je v řepařském osevním postupu hostitelem pro háďátka řepné.
- Herbicidy na bázi sulfonylmočoviny použité u pšenice zaseté před řepou. Mohou cukrovou řepu poškodit. Vysoké dávky ethofumesátu mohou naopak poškodit obilninu zasetou po řepě.<sup>4</sup>

Mezi pozitiva se řadí:

- Cukrovka zasetá mezi obilninami snižuje infekční působení houbových chorob.
- Při zaorávání chrástu cukrové řepy se do půdy dostávají živiny, které jsou srovnatelné s hnojením hnojem.
- Během pěstování se odplevelují pozemky.
- Kořeny cukrové řepy odčerpávají z hlubších vrstev půdy nitratový dusík, který by se jinak dostal do spodních vod.<sup>4</sup>

### 2.2.2. Úprava půdy

Pod úpravu půdy řadíme její zpracování, které má pro nadcházející sázení řepy připravit co možná nejlepší podmínky. Nejdůležitější je fyzikální stav půdy. Její nakypřenost a obsah vody ovlivňují další podmínky, které umožňují lepší uvolňování a čerpání živin.<sup>3</sup>

Úpravu půdy lze rozdělit do dvou etap. Na podzimní a jarní úpravu. Obě úpravy se ukázaly jako velice důležité přípravy pro následující sadbu řepy.

Cílem podzimní úpravy půdy je zlepšit fyzikální stav ornice, její biologické a chemické vlastnosti.

Cílem jarní úpravy půdy, je předseťová příprava půdy navazující na podzimní orbu či jiné kypření. Cílem jarní přípravy je konečné dorovnání pozemku, rozmělnění hrud a úprava fyzikálních vlastností půdy.<sup>1</sup>

### 2.2.3. Hnojení

Listové růžice a kořenový systém převládají ve využití asimilátů do konce června. Od července se zhruba 50 % asimilátů ukládá jako sacharosa a 50 % slouží k růstu listové růžice a bulvy. Na konci září tvoří přírůstky cukru na celkovém přírůstku sušiny 80–90 %.(cit.3) Na plánovaném výnosu a vegetačních podmínkách roku i obsahu minerálních látek v půdě závisí odběr živin cukrovou řepou z půdy. Na produkci 100 t bulev se obvykle uvádí spotřeba látek kolem 40 kg N, 7 kg P a 50 kg K. Pokud nadejde sušší rok, má cukrovka menší požadavky na K a P, ale větší na N. Během roku, který je vlhčí, je tomu naopak.<sup>1</sup> Spotřeba vody řepou se různí a vyjadřuje se tzv. transpiračním koeficientem, tedy množstvím vody na jednotku sušiny. Většinou se ale uvádí, že průměrná spotřeba řepy je 400g vody na 1g sušiny.

Dusík přijímá cukrová řepa většinou v nitrátové formě. Nitráty Jsou následně transportovány asimilačními pletivy do listů. Na přehnojení dusíkem je cukrová řepa velice citlivá a vede k nižší cukernatosti. Někdy i k poklesu celkovému výnosu. Nedostatek dusíku se u cukrové řepy projevuje zesvětlením listů. Listy jsou celkově malé, s tenkými řapíky a vnější listy rychle stárnou. Nadbytek dusíku lze rozpoznat temně zelenou barvou listů a velké zvlnění čepelí.

Fosfor je cukrovou řepou přijímán jako ortofosfát. V organismu se uplatňuje především fosforečná skupina. Biochemická fosforylace, kdy se tato skupina přenáší, tvoří v rostlině základ přenosu energie. Fosfor je cukrovkou přijímán rovnoměrně až do srpna a ani v září není zanedbatelný. V tomto období se začíná tvořit velké množství sacharosy a na její tvorbu a transport je zapotřebí mnoho energie. Efektivním se ukázalo přihnojování fosforečnými hnojivy postřikem na list během srpna a září. Nedostatek fosforu je spíše vzácným případem. Typickým příznakem nedostatku fosforu je temně zelená barva listů a zjevné zpomalení růstu. Na starších listech lze často při nedostatku pozorovat načervenalé zbarvení. Začne se objevovat červenohnědá nekróza bez předchozího zežloutnutí. Na čepelích lze spatřit hnědou síťovitou kresbu. Na kořenech způsobuje nedostatek fosforu vousatost.

Draslík má veliký význam pro cukernatost sklizených bulev. Jeho negativum je, že je podstatnou součástí rozpustného popela cukrové řepy, čímž působí velmi

negativně při zpracování. Nedostatek draslíku lze pozorovat podvinováním listů. Kolem cévních svazků se objevuje modrozelené zbarvení a barva čepelí se změní na olivově zelenou, nebo dokonce na bronzovou. Začínají se objevovat nekrotické skvrny ve tvaru trojúhelníků na okrajích listů.

Organická hnojiva jsou součástí systému výživy a hnojení cukrové řepy. Nejvíce používanými hnojivy jsou hnůj a kompost.<sup>3</sup> Množství hnoje při hnojení by nemělo překročit 50 tun na hektar, neboť by dusík mineralizovaný pod cukrovou řepou v příštím létě snížil cukernatost.<sup>4</sup>

Vápnění má v hnojení také své místo, protože upravuje pH půdy.

Tabulka 1: **Přehled hlavních hnojářských zásahů a jejich zjištění (upraveno dle ŘI Semčice)**<sup>3</sup>

Hnojářský zásah	Termín		Vhodné hnojivo	Omezující podmínky
	optimální	nejpozdější		
Vápnění	k předplodině	na zmrzlou půdu	šáma, vápenec	do jiné vrstvy než N-NH <sub>4</sub>
Hnojení fosforem a draslíkem	srpen	před poslední orbou	Superfosfát, draselná sůl	zaorat do orničního profilu
Hnojení dusíkem před setím či při výsevu	březen, duben	do 30. 5.	LAV, DAM 390, Síran amonný, Močovina	do 100 kg.ha <sup>-1</sup> aplikací nena-dělat koleje, dávku přes 60 kg aplikovat 10 dní před setím
Přihnojení N	květen	do 30. 5. do růstové fáze 31	Ledek vápenatý, LAV	do 60 kg.ha <sup>-1</sup>
Hnojení hořčíkem	březen	červenec	Kieserit, síran hořečnatý	při prokázaném deficitu v půdě či rozboru rostlin
Hnojení bórem	červen	do 30. 7.	Solubor, kyselina boritá, Borax	při prokázaném deficitu v půdě či rozboru rostlin

### 2.3. Choroby a škůdci

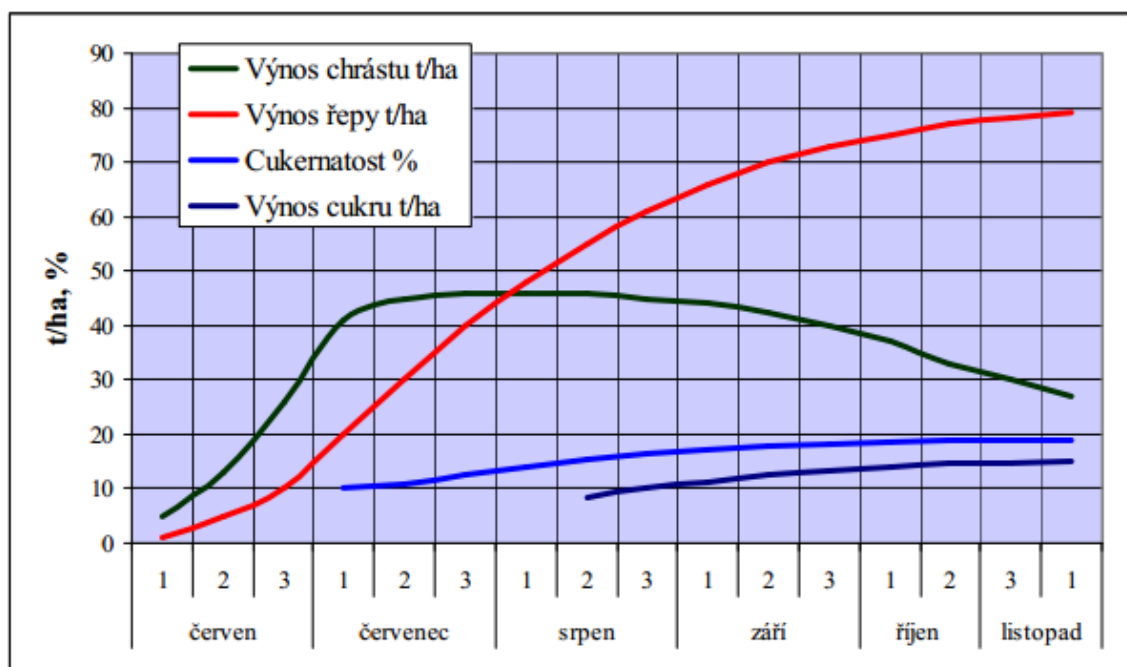
Choroby nejsou tak nebezpečné jako škůdci, ale dokáží též způsobit škody. K chorobám patří například cercospora a spála řepy. Tyto choroby jsou nejčastější. K méně častým chorobám listů patří peronospora, plíseň řepná nebo padlí řepné. Větší poškození působí choroby virové, jako je mozaika. Virové choroby jsou dnes již na ústupu vlivem insekticidům proti jejich přenašečům.<sup>3</sup>

Škůdců řepy je mnoho. K nejvíce nebezpečným patří nosatci, hlodavci, housenky můry osenní a háďátka řepné.

Důležitá je též ochrana před plevele, které odebírají živiny z půdy a spolu s nimi i vláhu. Dále mohou být přenašeči chorob a škůdců. Příkladem může být třeba Merlík, který je zdrojem virové žloutenky a virové mozaiky. Rdesno je zase zdrojem cercospory. Šťovík je přenašečem hád'átka řepného. Likvidace plevelu se dělá obděláváním půdy a dnes se s úspěchem proti nim bojuje pomocí herbicidů. Těsně před setím se například používá Avadex BW a TCA. Po dvou až třech dnech po zasetí se používají Pyramin, Burex a Venzar. V pozdější době růstu se užívají herbicidy ničící pouze plevel.<sup>1</sup>

## 2.4. Výnos a sklizeň

Řepy, které se pěstují dnes, mají menší chrást, a přesto jsou jejich výnosy znatelně vyšší než dřív. Dnešní odrůdy mají totiž dlouhou životnost listů, jejich obměňování během vegetace neprobíhá tak často. Při svém vegetačním období tudíž spotřebovávají méně vody, dusíku a dalších živin. Podle řepařského institutu Semčice jsou dnešní výnosy cukru kolem 10 t/ha, z čehož se může odhadovat, že zhruba 20 % z toho přirůstá v období sklizně, tedy zhruba od 20. září do konce října. Denní přírůstek je odhadován asi na hodnotu 0,35 t/ha.<sup>4</sup>



Obr. 2: Výnos cukrové řepy a jejich jednotlivých složek<sup>4</sup>

Sklizeň cukrové řepy začíná zpravidla koncem září a končí koncem listopadu.<sup>5</sup>

## 2.5. Jakost cukrovky

Jakost cukrovky většinou chápeme jako její chemické složení a vlastnosti související s cukrovarnickým zpracováním. Dnes je důležitější širší pohled, který se spíše označuje jako jakost dodávky. Do tohoto pohledu spadá to, jak si pěstitel a cukrovar řepu mezi sebou předávají, jak bezproblémová je přejímka cukrovky pro samotný cukrovar, což zahrnuje dodržení harmonogramu, přístupnost dodávky pro techniku cukrovaru a příměsi v dodávce samotné. Velké neshody bývají o sřez řepy, neboť v řepné hlavě je cukernatost nízká a obsahuje vysoký obsah melasotvorných látek. Tento případný podíl řepných hlav označuje cukrovar jako „příměs“, který nezapočítává do dodávky a za tento podíl dodávky neplatí. Nejdůležitějším kritériem je cukernatost, tedy procentuální obsah sacharosy. Sacharosa se ale v cukrovaru nedá plně získat, protože řepa obsahuje některé látky, které její výtěžnost snižují. Zapříčiňují tvorbu melasy neboli cukerného sirobu, ze kterého už nejde běžnými postupy cukr vykristalizovat. Jakost cukrovky udávají tedy i tyto melasotvorné látky.

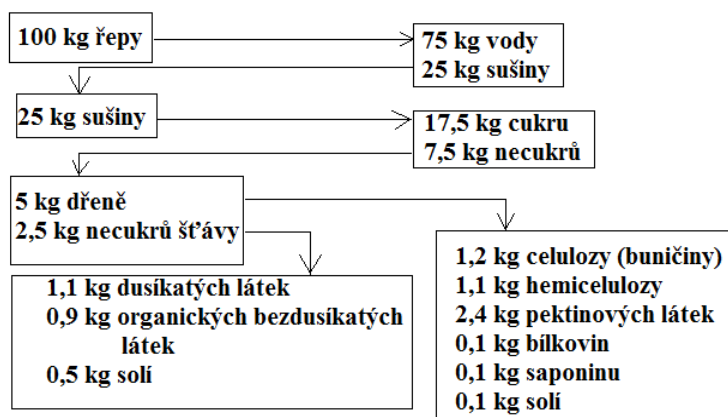
V cukrovarech se běžně stanovuje obsah těchto látek:

- rozpustného sodíku spolu s draslíkem. Vyjadřují se v mmol/100 g řepy. Jejich běžné obsahy jsou 0,5 – 2,0 u Na a 3,0 – 5,0 u K.
- $\alpha$ -amino dusíku, tzv. „škodlivého dusíku“. Vyjadřuje se také jako draslík a sodík v mmol/100 g řepy a tady bývá obsah 1,0 – 2,0.

Tyto látky, tedy sodík, draslík a  $\alpha$ -amino dusík snižují výtěžek rafinády cukru v závislosti na jejich obsahu v řepě na 80 – 90 %. Tzn., že 10 – 20 % cukru zůstává v melase.<sup>4</sup>

## 2.6. Složení řepy

Na celkové složení řepy má vliv složení půdy, semeno řepy, klimatické podmínky atd. Složení řepy si lze představit do následujícího schématu, kde hmotnosti složek jsou orientační.<sup>1</sup>



Obr. 3: Orientační schéma složení 100 kg řepy, upraveno podle<sup>1</sup>

Sacharosa je v cukrové řepě obsažena okolo 16 – 18 %. Obsah sušiny (% hm.) se u roztoků stanovuje nepřímou pomocí refraktometrie a nazývá se sacharizace, značí se S. Obsah sacharosy se stanovuje polarimetricky a nazývá se polarizace značí se P. Rozdíl mezi sacharizací a polarizací je v obsahu necukrů značících se N. Velice důležitou veličinou, která udává jakost, je čistota (dříve kvocient čistoty) Q, vyjadřuje obsah sacharosy v sušině. Obsah popela se stanovuje konduktometricky.<sup>2</sup>

To co cukrovar nejvíce zajímá, je složení řepné šťávy. Řepná šťáva tvoří přibližně 92% hmotnosti bulvy. Hlavní součásti, které ji tvoří, jsou voda, necukry a sacharosa. Z technologického hlediska se řadí veškeré látky kromě sacharosy a vody do skupiny necukrů, i když některé z nich patří mezi cukry. K těmto necukrům také patří látky obsažené v řepné dřeni jako celulóza, hemicelulóza, pektin a jiný.<sup>1</sup>

Necukry můžeme rozdělit následovně:

- necukry bezdusíkaté
- necukry dusíkaté
- necukry anorganické
- barevné látky

### 2.6.1. Necukry bezdusíkaté

#### a) Sacharidy

Důležitými monosacharidy obsaženými v řepě L-arabinoza jako složka hemicelulozy, D-galaktoza, složka trischaridurafinosy a D-glukoza společně s D-fruktosou, což jsou produkty metabolických pochodů. Redukujících cukrů je v difúzní šťávě 0,05 až 0,10%, jejichž množství se zvyšuje při skladování či poškození cukrovky. Při polarimetrickém stanovování sacharosy způsobuje přítomnost rafinózy zkreslení. Obsah rafinózy v řepě činí 0,3 až 1,2%. Podobně jako sacharosa je rafinóza velmi stálá a prochází celým výrobním procesem, kdy se koncentruje v melase. V melase jí bývá i více než 2%.

#### b) Organické bezdusíkaté kyseliny

Tyto necukry se v řepě nacházejí zejména ve formě solí. Jejich obsah je malý, hodně se tvoří v průběhu výroby cukru jako rozkladné produkty organických látek účinkem enzymů, mikroorganismů nebo čeráním. Organické bezdusíkaté kyseliny najdeme v difúzní šťávě ve formě neutrálních a kyselých solí a po saturaci ve formě neutrálních a alkalických solí. Nejvyšší množství těchto kyselin v difúzní šťávě zastává kyselina citronová (18,4%), a kyselina šťavelová (10,7%).

#### c) Lipidy

Obsah lipidů se v řepě pohybuje mezi hodnotami 0,01 až 0,03%. Nejvíce je zastoupeno kyseliny olejové (0,01%).

#### d) Saponin

V řepě je saponin jako bezdusíkatý glykosid. Obsahuje oleanolovou kyselinu  $C_{30}H_{46}O_3$  a  $\beta$ -D-glukoronovou kyselinu  $C_6H_{10}O_7$ . V řepě je obsažen v množství kolem 0,3% a z toho kolem jedné třetiny v difúzní šťávě ve formě hořečnaté soli.<sup>1</sup>

## 2.6.2. Necukry dusíkaté

### a) Bílkoviny

Bílkoviny, které řepa obsahuje, jsou převážně bílkoviny globulárního typu. Základem stavby molekuly bílkovin jsou  $\alpha$ -aminokyseliny navzájem spojené peptidickou vazbou.

### b) Amidy

Z amidů jsou v řepě přítomny zejména polyamidy asparagin, glutamin a oxaminová kyselina.

### c) Aminokyseliny

Ve strukturách bílkovin obsažených v řepě bylo určeno 26 aminokyselin. V řepné šťávě byla určena  $\gamma$ -aminomáselná kyselina, vzniklá dekarboxylací kyseliny glutamové. Aminokyseliny přecházejí snadno v alkalickém prostředí do roztoku, odkud je vápnem nelze vysrážet. Procházejí tedy celým výrobním procesem až do melasy.

### d) Rostlinné zásady

Sem řadíme jednu z nejdůležitějších dusíkatých látek řepy, kterou je betain. Betain je stálý a prochází celým výrobním procesem až do melasy, kde je jeho množství 4 až 6%. Hospodářské využití betainu bylo malé a omezeno jen na farmacii. Studie Steinmetzera a Huchlera vysvětlily úlohu betainu ve výživě zvířat. Kdy poskytuje organismu při látkové výměně metylové skupiny a tím přispívá při nabývání na hmotnosti.

### e) Puriny, pirimidiny a ribosidy

Tyto látky jsou složkami nukleových kyselin a bílkovin. Pyrimidiny a ribosidy patří k důležitým látkám řepné tkáně a žádná z těchto látek se během výrobního procesu neodstraní. Vstupují tedy až do melasy.

### f) Enzymy

Jedná se katalyzátory reakcí probíhající v cukrovce. Znalost enzymů v cukrovce má převážný význam pro zjištění optimálních podmínek při dlouhodobějším skladování. Mezi významné enzymy, které jsou v cukrovce obsaženy, patří  $\beta$ -fruktofuranosidáza,  $\alpha$ -amyláza a kataláza.



#### g) Vitamíny

Vyloužené řízky obsahují okolo 10 mg na 1 kg řepy vitamínu C. Při sušení se asi 70% tohoto vitamínu zničí.

#### i) Aromatické látky

Řepa obsahuje alkoholy pyrrolové řady. Obsah těchto alkoholů je pod 0,005%. Z aromatických látek byl u řepy izolován vanilin a acetamid.<sup>1</sup>

### 2.6.3. Necukry anorganické

Jsou též nazývaný jako popeloviny. Jejich obsah v řepě velmi kolísá. Představu o jejich zastoupení v bulvě lze učinit rozbory difúzní šťávy. Tyto rozbory každoročně provádí Výzkumný ústav cukrovarnický v Praze už od r. 1919. Obsah popelovin postupem let klesal, což bylo zapříčiněno šlechtěním odrůd.<sup>1</sup>

### 2.6.4. Barevné látky

Samotná řepná šťáva je bezbarvá a barevné látky vznikají během technologického procesu. Jejich vznik je spojen s rozkladem cukru, což lze označit jako ztráty. Barevné látky bývají povrchově aktivní a adsorbují se na krystaly sacharosy, čímž obchodní hodnotu cukru snižují. Barevné látky také snižují rychlost krystalizace sacharosy. Barevné látky v pracovním postupu směrem k produktu stoupají ve své koncentraci a jejich největší množství najdeme v melase.<sup>1</sup>

## 2.7. Historie výroby cukru v českých zemích

Předchůdcem cukru vyráběného z cukrové řepy je cukr z cukrové třtiny.<sup>6</sup> V českých zemích je cukr známý od doby Karla IV, první zmínka se datuje do roku 1344, kdy k nám byl třtinový cukr dovážen z Egypta. Napoleonův boj s Anglií přerušil významným způsobem dovoz cukrové třtiny, tzv. uzávěrou pevniny, která do určité míry omezila dovozcům cukr z třtiny dovážet. Uzavření evropské pevniny bylo v roce 1806.(cit.1) Nastal nedostatek tohoto sladidla a začaly se hledat alternativní způsoby zisku cukru.<sup>6</sup> U nás se zkoušel vyrábět cukr z různých rostlin, jako třeba mrkve. Největší význam pro výrobu cukru v té době však měla javorová šťáva.<sup>1</sup> Zvláště po roce 1810. Největší překážkou výrob cukru z javorové šťávy byl nízký počet stromů, které byly navíc roztroušené po velikých lokalitách lesů a v některých případech se nacházely

i na nebezpečných stanovištích.<sup>5</sup> U nás byla tehdejší výroba cukru nejvíce rozsáhlá ve východních Čechách. V roce 1812 bylo v této oblasti Čech vyrobeno 3 068 kg cukru a 4 860 kg sirobů z javorové šťávy. Výroba cukru z javorové šťávy však nebyla levnou záležitostí, a proto z tohoto důvodu výroby postupně zanikaly. V roce 1816 byla výroba cukru touto cestou zastavena.<sup>1</sup> Během uzavření evropské pevniny byla vedle výroby cukru z javorů na českém území i rafinace surového třtinového cukru. Tato rafinace byla u nás známá delší dobu než výroba z javoru. Rafinace cukru v Praze (1787–1834), v Novém Dvoře (1788–1798).<sup>6</sup> V Čechách vznikla první rafinérie v roce 1787 na Zbraslavi. V ní byly také první pokusy v roce 1795 s výrobou cukru z řepy. V témže roce Zbraslav navštívil i Achard, který vypěstoval odrůdu řepy na cukr bohatší. Obsah sacharosy měla 5 – 8% a roku 1802 v Kurnerách, což byla osada v dnešním Polsku, založil Achard první řepný cukrovar na světě.<sup>1</sup>

Zkušenosti s výrobou cukru měli tedy lidé ještě dříve, než došlo k uzavření pevniny. Využíval se jak řepný sirob, jako tekutá podoba cukru, tak bílá krystalická forma, využívaná jako sladidlo. Nebyla to ovšem žádná velká množství. Mnohem běžnějšími sladidly byly včelí med, nebo sirupy z rostlin a stromů vyskytujících se v přírodě. Větší množství řepného cukru se u nás začalo vyrábět v roce 1810 v Žákách u Čáslavi. Druhý cukrovar u nás byl založen v Liběchově u Mělníka. Zde ho na svém panství založil zbohatlý tkadlec a velkostatkář Jakub Veith. Cukrovar nebyl provozován jen pro tento účel, ale fungoval i s další potravinářskou výrobou a pravděpodobně proto nakonec Liběchovský cukrovar pracoval nejdéle ze všech cukrovarů českého řepného cukrovarnictví. Roku 1811 se dále připojily lokality Čáslav, Chlumecko, Kbel, Křesetice, Semily, Žleby, a také samotná Praha. V Praze vznikly výroby cukru na Vinohradech v usedlosti Kanálka a dále v usedlosti Petynka. Roku 1812 vznikly další cukrovary a to cukrovary Blatná, Bukovany, Mitrovce, Trója, Zbraslav a Žleby. V roce 1813 nebyl založen už žádný.



**Obr. 4: Vyobrazení výroby cukru okolo roku 1812: Praní a krouhání řepy, lisování kaše<sup>6</sup>**

Po obnově dovážky třtinového cukru byly výroby řepného cukru pomalu zavírány<sup>1</sup> a jako poslední byl zavřen cukrovar v Liběchově v roce 1821.<sup>6</sup> Důvodem byl malý výtěžek cukru, se kterým šla ruku v ruce jeho vysoká cena.

Mezi výše zmíněnými výchy lokalit není ani jedna lokalita z Moravy. Na Moravě vznikl první cukrovar v roce 1832 v Horní Suché na Karvinsku. Vývoj cukrovarů na Moravě byl v té době rychlejší. Cukrovary byly výkonnější a větší. Morava Čechy nakonec předčila a ztrátu prvních let výroby cukru dohnala.

Polní hospodářství v letech 1830 až 1840 umožnilo rozvoj cukrovarnictví ve větším měřítku. První fungující cukrovar u nás vznikl v roce 1829 v Kostelním Vydří u Dačic, následně v roce 1830 v Chocomyšli u Domažlic a dále cukrovar v Bezděkově u Klatov. Cukrovarů postupně přibývalo a do roku 1840 byl jejich celkový počet 76.(cit.1)

Po roce 1850 došlo k rozvoji technologie a nastal prudký rozvoj v cukrovarnictví. Kampaň 1872/1873 čítala nejvyšší počet činných cukrovarů, kterých bylo v té době 214. Hodně z nich vzniklo bez ekonomické rozvahy a dále vznikaly v oblastech, které nebyly pro pěstování cukrové řepy příhodné. Z těchto důvodů hodně z nich zaniklo.<sup>7</sup>

V roce 1865/1866 bylo v celém Rakousko-Uhersku zpracováno 860 tis. t cukrové řepy. Během kampaně 1880/1881 to dokonce bylo 4,41 mil. t a z toho asi 3,5 mil. t bylo vyprodukováno a zpracováno na území Čech a Moravy.<sup>8</sup>

Rok 1843 byl velice významný pro cukrovar v Dačicích, kde Jakub K. Rad vyrobil první kostkový cukr na světě. V tomto městě lze nalézt pomník této události, a také muzeum věnované kostce cukru.

Roku 1863 byla ve Freyově cukrovaru v Praze ve Vysočanech poprvé představena nová metoda čištění řepné šťávy tzv. saturací, tedy vápenným mlékem a oxidem uhličitým. Tato metoda přinesla celosvětový přínos pro výrobu cukru z cukrové řepy. Vápenné mléko včetně oxidu uhličitého se získávaly z vápenky postavené u cukrovaru. O pokusy se saturací a pálení vápna koksem se zasloužil H. Jelínek. K oddělení kalu a šťávy zde byl prvně použit kalolis s dřevěnou konstrukcí. Později byla dřevěná konstrukce nahrazena kovovou sestavenou Č. Daňkem. Metoda čištění řepné šťávy saturací a filtrací se užívá prakticky dodnes na celém světě.<sup>7</sup>

S rozvojem technologie a se zvyšujícím se počtem cukrovarů během 19 století, začal být cukr exportován. Česká země se na evropském exportu podílela okolo 57%.<sup>(cit.7)</sup> V kampani v letech 1921/1922 dosáhlo Československo významného podílu výroby řepného cukru v celosvětové produkci. Onen podíl byl 16,9 % z čehož podíl Slovenska a Podkarpatské Rusi na tomto výsledku nebyl významný. Při srovnání s jinými státy to byla polovina produkce Německa, dvojnásobek produkce Francie a více než desetinásobek oproti Rusku a Ukrajině. Zajímavé srovnání je s Rakouskem, kdy se jedná o 40x větší produkci cukru.<sup>8</sup> Mezi I. a II. světovou válkou byla naše výrobní zařízení pro cukrovary nejlepší na světě a česká země se podílela na stavbě desítek cukrovarů po celém světě.<sup>7</sup> Vyšlechtěné odrůdy v českých zemích patřily též k nejlepším na světě co do cukernatosti, tak do výnosu. Díky tomuto si české řepářství i přes pokles plochy cukrovky udrželo konkurenceschopnost.<sup>8</sup>

Během druhé světové války byl provoz cukrovarnického průmyslu omezen nejen u nás, ale i jinde po světě. V roce 1945 došlo ke znárodnění prezidentem Edwardem Benešem a v roce 1948 došlo ke znárodnění nástupem komunistů k moci, což cukrovarnický průmysl velice zasáhlo. Během těchto let český cukrovarnický průmysl nezachytil rozvoj evropského cukrovarnictví. Důsledek toho bylo postupné zaostávání technické úrovně cukrovarů. Dále byla v rámci RVHP, neboli Rada vzájemné hospodářské moci výroba cukrovarnických zařízení přesunuta do Polska a ZVÚ Hradec Králové, dříve tradiční český výrobce pozměnil směr exportu převážně do SSSR.

Během kampaně roku 1970 bylo u nás zaznamenáno v provozu 65 cukrovarů. Průměrná denní zpracovatelská kapacita čítala 1157 t řepy. Do roku 1989 bylo 13 cukrovarů zrušeno a průměrná denní zpracovatelská kapacita se tak zmenšila pouze na 1362 t řepy. Jen pro srovnání, na „západě“ bylo kapacitní zpracování řepy vyšší. Zpracovalo se zde více jak 10 tis. t/d. Koncem osmdesátých let dosahováno řepářství výnosu rafinády 3,5 t/ha, ve vyspělých státech dosahovalo řepářství výnosu víc než 8,0 t/ha. Zároveň bylo koncem osmdesátých let rozhodnuto, že některé vybrané závody prodělají rekonstrukci. Spadala sem rekonstrukce Hodonína na kapacitu 3 000 t /d, tento cukrovar byl založen roku 1886 a byl roku 1995 zrušen. Dále rekonstrukce cukrovaru Kopidlno založeného roku 1871 nebyla dokončena a zaniká roku 1989.(cit.7)

Během let 1993–2003 klesl počet cukrovarů v ČR na zhruba deset.<sup>9</sup> Během změny hospodářské politiky byl ukončen dovoz cukru z Kuby a v roce 1993 státní podpora pro vývoz bílého cukru. Výroba řepného cukru se začala orientovat pouze pro domácí trh. V roce 1992 byla zahájena další privatizace. Dále bylo na dovoz cukru a melasy stanoveno clo a došlo k liberalizaci obchodu. Došlo k zavírání malých neperspektivních závodů. Během těchto změn vstoupily do českého cukrovarnického průmyslu zahraniční společnosti, například: francouzská SDA Origny, která je nyní známá jako Tereos, německý NordZucker AG, britsko-francouzská společnost EasternSugar a rakouská Agrana.

Ačkoli období devadesátých let nebylo pro řepářský průmysl jednoduché, bylo ve finále pozitivní. V roce 1999 se průměrná zpracovatelská kapacita jednotlivých závodů zvýšila z 1 362 t/d na 3 282 t/d, dále vzrostla cukernatost řepy z 14,70 % na 17,28 %, výnos kořene z 36,0 t/ha na 46,9 t/ha a produkce vzrostla z 3,84 t/ha na 6,87 t/ha.<sup>7</sup>

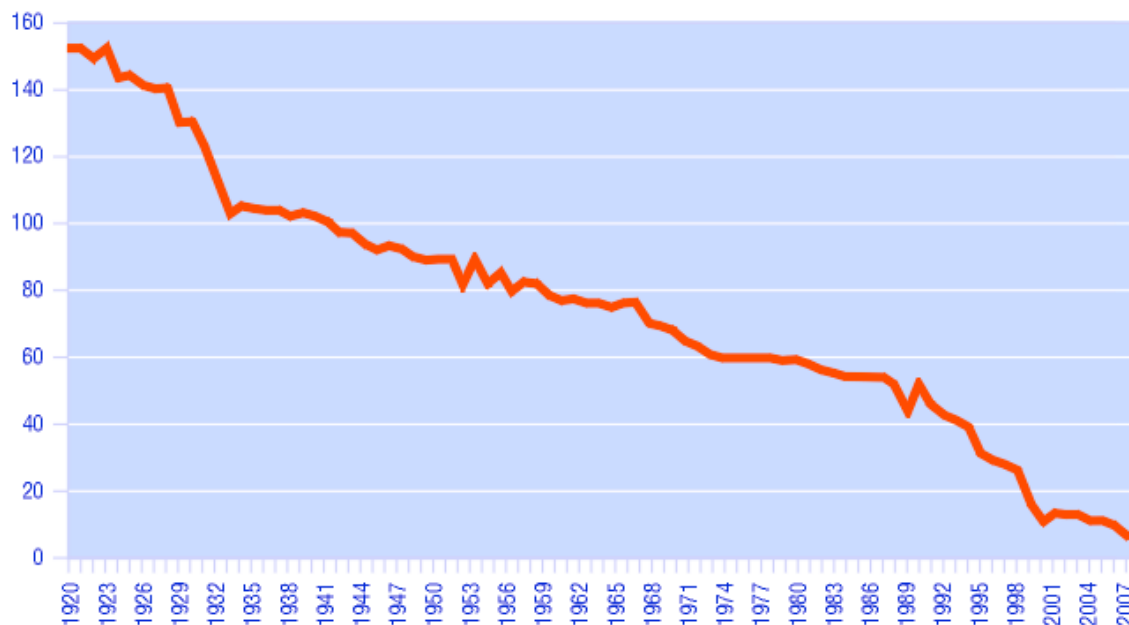
Po vstupu České republiky do EU dohnaly naše cukrovary technologickými parametry evropskou úroveň. Řada států po reformě Společné organizace trhu s cukrem zkráceně SOTC výrobu cukru zcela ukončila. Mezi země, které výrobu cukru ukončily, patří Bulharsko, Irsko, Lotyšsko, Portugalsko a Slovinsko. Země, které svoji výrobu omezily, jsou Řecko, Španělsko, Itálie, Maďarsko a Slovensko. V České republice se společnost Eastern Sugar vzdala své výrobní kvóty v množství 102 473 t cukru, to mělo za následek likvidaci cukrovarů Hrochův Týnec, Němčice a Kojetín. Po likvidaci těchto cukrovarů došlo k úbytku přes 11 000 ha plochy pro pěstování cukrovky. Česká republika i přes to pokračovala v pěstování cukrovky a výrobě cukru. V kampani 2009 bylo v provozu 7 cukrovarů. Jejich průměrná denní zpracovatelská kapacita řepy je více

než 5 000 t/d. Cukrovar Dobrovice u nás pracuje už přes 180 let. Patří mezi nejstarší a nejmodernější cukrovary v celé Evropě. V roce 2010 bylo zde otevřeno Muzeum cukrovarnictví, lihovarnictví, řepařství a města Dobrovice. Během posledních dvacet let prošel několika změnami. Mezi nejvýznamnější patří navýšení zpracovatelské kapacity z 1 000 t/d na více než 14 000 t/d a další významná změna je výstavba propojeného závodu na výrobu bioetanolu.

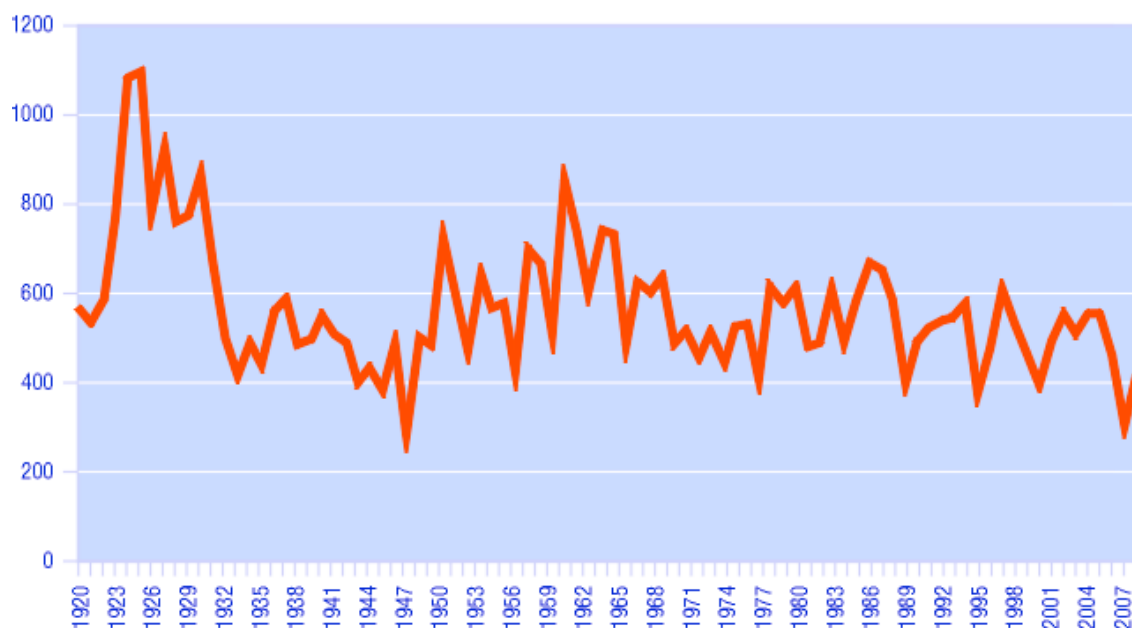
Výnosy a cukernatost cukrové řepy pěstované v Čechách patří mezi nejlepší v Evropě. Stejně tak i energetická spotřeba, mzdová a dalšími náklady na výrobu 1 t cukru dosahují naše cukrovary v rámci EU špičkové úrovně.<sup>7</sup>

Tabulka 2: Cukrovary v současné době fungující na českém a slovenském trhu<sup>9</sup>

Cukrovar	Lokalita	Stát	Kapacita zpracování řepy (t.d <sup>-1</sup> )
Cukrovar Vrbátky, a. s.	Vrbátky	ČR	2 000
Hanácká potravinářská společnost, s. r. o.	Prosenice		2 300
Litovelská cukrovarna, a. s.	Litovel		2 800
Moravskoslezské cukrovary, a. s. (Agrana/Südzucker)	Hrušovany		5 000
	Opava		3 700
Tereos TTD, a. s.	České Meziříčí		7 000
	Dobrovice	14 000	
Povážský cukor, a. s. (Nordzucker)	Trenčianská Teplá	SR	6 000
Slovenské cukrovary, s. r. o. (Agrana/Südzucker)	Sereď		5 000



Obr. 5: Počet činných cukrovarů v letech 1920 – 2007(cit.10)



Obr. 6: Hmotnost vyrobeného cukru (tis. t) v letech 1920 – 2007(cit.10)

## 2.8. Technologie výroby cukru a její vývoj

### 2.8.1. Přejímka

V 70. letech 20. století, vznikla přejímka podle cukernatosti, dříve se přejímalo podle hmotnosti.<sup>7</sup> Jedná se o příjmovou laboratoř, v nichž se stanovuje obsah cukru

polarimetricky, dále se stanovuje obsah K, Na a  $\alpha$ -aminodusík.<sup>2</sup> V těchto laboratořích se vypočítává předpokládané množství přijatého cukru do provozu.<sup>7</sup>

### 2.8.2. Manipulace s řepou

Manipulaci s řepou, tedy skládání z povozů, odstraňování nečistot a dopravu je možné provádět suchým, nebo mokrým způsobem. V našich cukrovarech převažuje způsob mokrý. Ten má i řadu nevýhod:

- Voda musí být čistá.
- Dochází k mechanickému poškození řepy.
- Cukrovka je náchylná na mikrobiální činnost.

V případě mokrého způsobu se řepa vykládá splachováním Elfou. Plavícím kanálem dále putuje k zvedači řepy, nebo řepnému čerpadlu. Před zvedači jsou ještě umístěné lapače k odstranění balastu.<sup>1</sup> Existují dva druhy lapačů. Lapače chrástu, na kterých se zachytává plevel, chrást a tráva. Dále lapače kamenů k zachytávání kamenů, písku a hlíny.<sup>2</sup> Odstraní se špinavá voda a po jejím oddělení se řepa plaví čistou vodou do cukrovaru nebo po odstranění vody na ukládku.

Suchý způsob se provádí tak, že se řepa vysype z vozidel do příkopu a odtud se řepa i balast dopravují k šikmým zvedačům. Následně k separační stanici, kde se balast odstraní a dopravníky se řepa dopravuje na ukládku. Oddělený balast padá do vozidla, nebo na zem. Suchý způsob má tu výhodu, že u řepy nedochází ke kažení kvůli vodě a nemusí se u tohoto způsobu dodržovat zásady jako je zajištění čisté a nekontaminované vody. Tento způsob lze využít v případě, pokud se řepa od hlíny dobře odděluje.<sup>1</sup>

### 2.8.3. Doprava a praní

Doprava řepy z ukládky se provádí suchou nebo mokrou cestou. Při suchém způsobu dopravy, se využívá pásový dopravník. Při mokrému způsobu je využíváno plavících kynet a žlabů s vodou. Rychlost proudu vody ve splavech musí být dostatečná, aby si přítomné nečistoty jako písek, kameny a hlína nesedaly na dno kynet, což by vedlo k jejich ucpání. V hlubokých kynetách jsou lapače kamenů a písku. Ty pracující na principu sedimentace při poklesu rychlosti proudění vody. Usazené nečistoty jsou z kynety vynášeny lopatkovými rameny. Z hluboké kynety je řepa s vodou zvedána do ocelového žlabu. Ke zvedání se nejvíce používají řepná čerpadla. Špinavá voda je



následně od řepy oddělována.<sup>2</sup> Teplota vody při praní je 20°C. Voda má být neutrální a co možná nejméně kontaminovaná.<sup>1</sup>

Všechny pračky, které se užívají, pracují protiproudě. Celkem rozeznáváme tři typy praček: Hřeblová, trysková vibrační a bubnová pračka. Moderní cukrovary užívají všechny typy praček spojený za sebou.<sup>2</sup>

Ještě než existovaly stroje, prala se řepa ručně kartáči. V 60. letech 19.století se přešlo k mechanickým bubnovým pračkám. Kanály, které byly zděné a sloužily pro plavení řepy do cukrovaru, vznikly poprvé v roce 1880. Wiesner z Kolína později zavádí hřeblovou pračku a kolo zvedající řepu spolu s vodou.<sup>7</sup> Kolo mělo průměr 10 m a bylo děravé k odvádění špinavé vody.<sup>1</sup> Dopravní cesta cukrové řepy byla později vybavena lapači písku a kamenů různých konstrukcí, o které se zasloužili například Arnošt Mik, Henčl a Zapletal. Lapače plovoucích nečistot jsou ruského původu podle Znamenského.<sup>7</sup>

#### **2.8.4. Doprava a řezání**

K tomu, aby se předešlo případné kontaminaci extraktoru, tak se vypraná řepa dezinfikuje. K dezinfekci se užívá vápenné mléko, nebo roztok chlornanu sodného a řepa postupuje k řezačkám.<sup>2</sup>

Řezačka řepy vznikla v roce 1865 za spolupráce Julia Roberta a brněnského konstruktéra Bedřicha Wanniecka, majitele strojírenského podniku „Vaňkovky“. Použité nože v té době nebyly ideální, protože se řízky trhaly. Existovalo hodně výrobců a vynálezců nožů od té doby, mezi ně patřil například A. Staněk, Egerle, Janáček, Wannieck a Daněk. Hlavní změna ve výrobě nožů nastala v místě Královo Pole u Brna, kde ředitel F. V.Gollera Fr. Wasgestian zavedli polořezné nože s profilem ostří rovnostranných trojúhelníků. Tyto nože vytlačily své konkurenty a užívají se dodnes. Řezačky rozlišujeme na tři typy:

- deskové – jedná se o řezací desku s noži, ty se otáčí ve vodorovné rovině,
- odstředivé, též turbinové – nože upevněny pevně v neotáčivém bubnu, kdy je řepa přitlačována k nožům odstředivou silou,
- bubnové - nože jsou vnitř bubnu rotujícího ve vodorovné ose. Jedná se o nejrozšířenější typ.

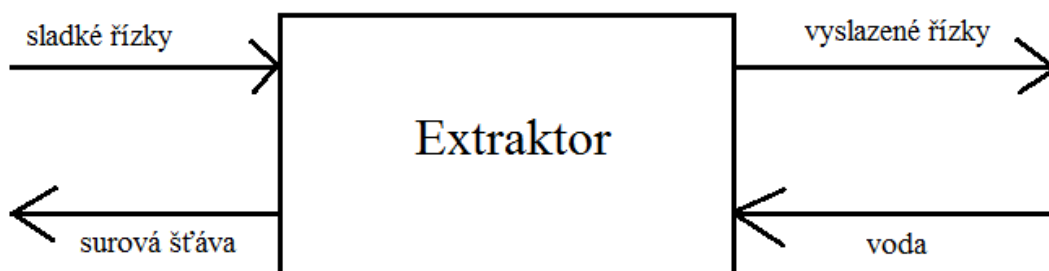
Řízky se dále dopravují pásovým dopravníkem k automatické pásové váze a následně do extraktoru.<sup>2</sup> Dříve se od pračky řepa zvedala kapsovým výtahem k registrační váze „Chronos“ na 350 – 500 kg.<sup>7</sup>

### **2.8.5. Extrakce a difuze**

Po nařezání řízků nadchází těžení šťávy. Při kterém se uplatňují dva pochody: volná extrakce a difúze. Při těchto pochodech se získávají látky z řepných řízků do roztoku. Aby byla buněčná stěna pro sacharosu v řepných řízcích propustná, je ji třeba denaturovat zvýšením teploty nad 70°C. Při extrakci a difúzi přechází kromě sacharosy do roztoku i jiné látky, které jsou pro výroby cukru nežádoucí. Jedná se hlavně o bílkoviny, pektiny a popeloviny. Aby byla extrakce co možná nejúčinnější, volí se tyto podmínky:

- teplota do 80°C, je ale vhodnější teplota 70 – 75°C,
- doba extrakce do 120 min.,
- pH při extrakci okolo 5,8.(cit.2)

Ještě před zavedením difúze, byla surová šťáva získávána lisováním řepné kaše, macerací nebo odstředováním. Florentin Robert a jeho syn Julius se v cukrovaru Židlochovice podrobně věnovali difúzi od r. 1846.(cit.7) V kampani 1864/1865 ji Robert poprvé realizoval.<sup>1</sup> Během dalších dvou let byla tato metoda zavedena v 27 cukrovarech a v dalších letech se prováděly úpravy za vzniku lépe mechanizovaných difúzí. Na úpravách se podíleli Bohumil Ferdinand Gross, Fr. Urbánek, Daněk, J. Diviš, Havelka a další. S Robertovou difúzí je spojena i výroba odměrky surové šťávy zavedená roku 1897, která byla v roce 1905 upravena.<sup>7</sup> Extraktory, které se dnes používají, jsou mechanizované a využívají protiproudňi systém. Extraktory užívané dnes jsou extraktory věžové, žlabové a bubnové.



Obr. 7: Schéma extrakce<sup>2</sup>

### 2.8.6. Lisování, silážování a sušení řízků

Během zpracování cukrovky jsou vyloužené řízky důležitým odpadem výroby. Jedná se o odpad užívaný jako krmivo.<sup>2</sup> Vyloužené řízky mají v sobě vodu, která se lisováním odstraňuje. Lisování prováděl i Robert, zlepšení však nastalo v r. 1871, kdy se zaváděly Klausemannovy lis, které lisovaly kontinuálně. Obdobný lis Astral byl vyráběn strojírnou Märky-Bromovskýroku 1881. Škoda vyráběla Jelínkův závitový lis. Na obsah sušiny lisovaných řízků má i vliv i pH. Tuto problematiku rozpracoval J. Dědek v roce 1951. S nižším pH je lisování řízků lepší.<sup>7</sup> Řepné řízky jsou dobrým krmivem.<sup>2</sup>

### 2.8.7. Čištění šťáv

Surová šťáva po extrakci obsahuje mimo sacharosy i řadu dalších látek. Patří sem především, bílkoviny, saponin, polysacharidy, barevné látky a další. Jelikož je získání cukru ze surové šťávy obtížné, prochází surová šťáva čištěním, neboli epurací. Výsledkem epurace je:

- odstranění velkého podílu rozpuštěných necukrů,
- neutralizace a dezinfikce,
- minimalizování rozkladu sacharosy.

Epurace je sled těchto operací: předčeření, dočeření, 1. saturace, separace kalu, 2. saturace, filtrace a úprava lehké šťávy před odparkou.<sup>2</sup>

Tento proces prošel dlouhým vývojem. Richter na Zbraslavi prováděl čerení fosforečnanem vápenatým. Balling spíše navrhoval chlorid vápenatý. Nakonec se začalo užívat vápno. K jeho odstraňování se namísto kyseliny sírové začal užívat oxid uhličitý. Hugo Jelínek a Bedřich Frey, syn majitele vysočanského cukrovaru v roce 1863 realizovali přidání vápenného mléka k cukernému roztoku s jeho následným vysrážením oxidem uhličitým v jedné nádobě. Uhličitán vápenatý, který touto cestou vzniká, slouží jako pomocný filtrační prostředek a současně jako adsorbent necukrů. Čištění šťávy ve Vysočanech touto cestou proslavil české cukrovarnictví a rychle expandoval do světa. Později se začaly užívat odměrky vápenného mléka.<sup>7</sup> Nejstarší odměrka je odměrka Černý-Štola, která dává vápenné mléko podle hustoty na plovákovém principu.<sup>1</sup> Ty byly později automatizovány a upravovány. Dnes se v cukrovarech užívají průtokoměry. Proces saturace se postupně zlepšoval až do dnešní podoby, kdy se saturace provádí nadvakrát.<sup>7</sup>

#### předčerení

Jedná se o důležitý proces, kde dochází k následujícím jevům:

- k vyloučení nerozpustných a těžko rozpustných vápenatých solí jako sraženin,
- k odstranění koloidně dispergovaných látek, kam spadají bílkoviny, pektinové a barevné.

PH se při předčerení postupně zvyšuje až k hodnotě pH 11. Doba předčerení závisí na teplotě. Při 30 °C je doba 25 min, Při 50-60 °C, je doba 10-15 min., u teploty 85 °C pak 5-7 min.<sup>2</sup>

#### Dočerení

Po vysrážení látek během předčerení následuje dočerení, kdy je přidán větší přídavek vápna. Dochází k rozkladu především amidů, aminokyselin a invertního cukru. Teplota dočerení je 85-90 °C a doba 10-15 min. K odměřování dávek vápenného mléka na předčerení a dočerení, jsou využívány odměrky různých typů. Většina odměrek dává objemově, přesnější jsou odměrky dávající podle hustoty.<sup>2</sup>

## 1. saturace

Cílem 1. Saturace je vysrážet krystalický uhličitan vápenatý, na kterém se adsorbují barevné látky, povrchově aktivní látky a další necukry. Do roztoku se zavádí oxid uhličitý, za rovnoměrného promíchávání. Teplota 1. Saturace je 80-82 °C. a pH 11.

### Separace kalu po 1. saturaci

Po 1. saturaci se provádí separace kalu. Provádí se dva způsoby filtrace:

- dvoustupňová filtrace – nejprve se zahušťuje kal v dekantérech nebo zahušťovacích filtrech, ten se pak filtruje na membránových komorových filtrech, mechanizovaných lisech nebo vakuových rotačních filtrech,
- jednostupňová filtrace – rovnou se filtruje na membránových komorových filtrech nebo mechanizovaných kalolisech.

V tomto procesu získáváme saturační kal, který je využíván jako hnojivo na úpravu kyselých půd.<sup>2</sup>

## 2. saturace

2. saturace hlavně slouží k snížení obsahu vápenatých solí na minimum a zvýšení čistoty šťávy. Šťáva se po 1. saturaci zahřívá na teplotu 95-98 °C a přidává se poslední část vápenného mléka.<sup>2</sup>

### Filtrace šťávy po 2. saturaci

Po 2. Saturaci se k separaci užívají zahušťovací filtry, nízkotlaké listové filtry, diskové filtry nebo naplavovací filtry. Po odfiltrování se získá lehká šťáva. Lehká šťáva má pH 9,0 – 9,5 a světle žlutou barvu. Následně se lehká šťáva síří probubláváním oxidem siřičitým za účelem snížení obsahu barevných látek.<sup>2</sup> Síření se provádí při teplotách 85 – 90 °C plynem SO<sub>2</sub> získaným spalováním síry, nebo plynným SO<sub>2</sub>

z bomb. Dále se v průmyslové výrobě cukru provádí změkčování šťávy na ionexech za účelem omezení tvorby inkrustací v odparce.<sup>1</sup>

Roku 1864 zkonstruoval Čeněk Daněk celoželezné filtry podle anglických dřevěných Needham-Kitteových kalolisů na kaolín k filtraci saturačních šťáv. Daňkův kalolis byl základem pro vznik několika dalších. Mezi ně patří kalolis z roku 1882 dle Ivana Čížka a velelis Čížek-Janáček z roku 1888. Po druhé světové válce se provozy cukrovarů u nás zaměřovaly na kontinualizaci a začaly zavádět zahušťovací filtry s označením KZF a vakuové rotační filtry VRF, které byly v 70 letech nahrazeny automatizovanými kalolisy řízenými počítačem.<sup>7</sup>

Po druhé saturaci ve šťávě nezůstalo tolik kalu amohly se použít k filtraci ced'áky, nejstarší u nás byl Šeborův ze 70. let 19. století. Jeho nástupce byl Prokšův uzavřený mechanický ced'ák z roku 1886. Ten v sobě měl vložky z vlnitého plechu, přes které se navlékaly tkaninové filtrační pytlíky. Beztlakové ced'áky zavedl jako první Mareš v kampani 1891, ty byly použity na lehkou šťávu a později i na těžkou šťávu spolu na siroby. Marešův ced'ák získal popularitu jak u nás, tak v zahraničí.<sup>7</sup>

#### **2.8.8. Zahřívání šťáv**

Při zahřívání šťáv se šťáva zahušťuje. Lehká šťáva o sacharizaci 15 % přechází na těžkou šťávu o sacharizaci 60-75%. Zahřívání šťáv se provádí v tepelných výměnících. Odparky jsou sestaveny z několika odpařováků. Odpařováky jsou většinou válcovitá tělesa, v nichž šťáva cirkuluje a dochází tak k odpařování v tenké vrstvě. První odpařovák odparky je vyhříván vratnou nebo redukovanou párou.<sup>2</sup> Redukovaná pára je taková pára, která je vedena z kotlů. Pára vratná je pára, která již vykonala práci ve strojích.<sup>1</sup> Ostatní tělesa odparky jsou vyhřívána brýdovými parami z tělesa před nimi. Během odpařování dochází k rozkladu sacharosy, dále k poklesu alkality z důvodů rozkladu amidů a invertního cukru a k zvýšení obsahu barevných látek. Během odpařování vznikají inkrustace. Aby se vzniku inkrustací zamezilo, používají se proti inkrustační přípravky na bázi polyakrylových derivátů. Ty zapříčiní to, že vytvořené inkrustace jsou tenké, měkké a lehce odstranitelné. Svařování šťáv se provádí za sníženého tlaku. Tímto se získává cukrovina. Jedná se o heterogenní směs krystalů a matečného sirobu.<sup>2</sup>

Odpařování šťáv dříve probíhalo za atmosférického tlaku v otevřených nádobách. Anglický chemik Edward Charles Howard se zasloužil o sestavení prvního

zrniče kulovitého tvaru na svařování cukroviny za sníženého tlaku v roce 1813. Během roku 1823 podobný zrníč u nás postavil A. Richter na Zbraslavi. Norbert Rillieux po roce 1880 uspořádal odparky za sebou jako členy, které kombinoval spolu se zrníči. Toto sestavení způsobilo ve světovém cukrovarnictví veliký převrat a vytvořil tak základ pro moderní vícestupňové odparky v cukrovarnickém, mlékárenském a chemickém průmyslu. Po zavedení této odparky u nás klesla spotřeba páry ze 160 na 70 kg páry na 100 kg řepy a později klesla až na 55 kg. Bylo to významné i z důvodů šetření paliv.

Důležitou součástí zrníčů se stala barometrická kondenzace s vývěvou, která zajišťuje potřebný podtlak. První odparku s podtlakem postavil Kestner v roce 1907 v Tířlemonu. Během roku 1916 byla v Brodku u Přerova postavena odparka Vincíková, jednalo se o trojčlen, kde třetí člen byl v podtlaku. Jiná tělesa používaná u nás byla typu Sázavský, Turek–Sázavský a další. Na přelomu 19 a 20. století byly do provozu zaváděny ležaté zrníče, kterým se podle jejich tvaru říkalo kufry. Jednodušší konstrukci nabízely vertikální zrníče, které se rychle rozšířily.<sup>7</sup>

### **2.8.9. Krystalizace**

Ze zrníčů odchází cukrovina ke krystalizátorům, kde krystaluje při postupném ochlazení a očkovaní. Doba pobytu cukroviny v krystalizátorech závisí na čistotě zpracované cukroviny. Cukrovina se v krystalizátorech ředí teplou vodou nebo sirobem za účelem snížení viskozity. K oddělování sirobu a krystalů slouží odstředivky. Tyto odstředivky pracují kontinuálně nebo periodicky. Odstředěním se získává surový cukr žlutohnědého zbarvení a melasa. Melasa obsahuje velké množství necukrů a je využívána pro kvasné biochemické technologie, které zahrnují výrobu droždí, ethanolu, kyseliny mléčné a citronové atd.<sup>2</sup> Melasa se dále užívá jako krmivo, její užití jako krmiva se datuje od první čtvrtiny 19. století.

Odstředivky k odstředění cukru byly u nás v provozu od 40. let 19. století. Starší typy odstředivek byly poháněny řemenovým převodem, novější pak elektrickým motorem. Odstředivky s elektrickým pohonem zavedla jako první německá firma AEG v Čakovicích v roce 1895. Před II. světovou válkou začaly Škodovy závody vyrábět odstředivky rychloběžné. Odstředivky byly během let zdokonalovány, začalo se dosahovat vyšších výkonů a vyšších dělicích efektů. Celkové ovládnutí odstředivek je dnes řízeno počítačem.<sup>7</sup>

### **2.8.10. Rafinace**

Rafinace slouží k převedení surového cukru na cukr bílý požadovaného tvaru. První zmínka o rafinaci cukru podle R. Bretschneidera pochází z roku 1637. Francouzský chemik Duhamel se Monceau zpracoval technologii rafinace knižně pod názvem *L'art de raffiner lesurce*, kdy tato kniha vyšla roku 1764 v Paříži. Na území naší republiky vznikla první rafinerie ve Zbraslavi u Prahy. Získaný cukr nebyl úplně bílý a měl žlutavý nádech. První kostkový cukr u nás byl vyroben roku 1841 v Dačicích.<sup>1</sup> Proces rafinace je takový, že se provádí oplachování cukru v odstředivce vodou nebo čistým cukerným roztokem. Cukr získaný touto cestou se nazývá afináda a má čistotu 99,5 %. Afináda se rozpustí ve vodě za vzniku kléru. Ten se alkalizuje vápenným mlékem, filtruje se na naplavovacích filtrech a ještě se případně odbarvuje pomocí aktivního uhlí nebo odbarvovacích ionexů.<sup>2</sup>

### **2.8.11. Sušení a chlazení cukru**

Po získání cukru nadchází jeho sušení. Povrch krystalu cukru obsahuje tenkou vrstvu nasyceného cukerného roztoku, ze kterého se při poklesu relativní vlhkosti okolního vzduchu začne uvolňovat voda. Jedná se o pomalý děj, který lze urychlit zvýšením teploty. K procesu sušení cukru jsou používány různé typy sušáren. Patří sem bubnová, talířová, turbinová a fluidní sušárna. Konečná vlhkost cukru je 0,05 %.

Cesta cukru od sušárny k chladicímu silu je dlouhá dopravní trasa. Jakmile cukr doputuje do chladiče, je cukr profukován chladným vzduchem, který cukr ochlazuje na teplotu 20°C a odfoukává prachové částice.

Usušený cukr v sobě obsahuje vázanou vlhkost. Ta se pozvolna z cukru uvolňuje a je třeba provádět stabilizaci cukru. To znamená, že dochází k dokrystalizaci sacharosy ze zbytkové povrchové vrstvičky sirobu. Uvolněnou vodu během dokrystalizace je nutno odvést odvětráním. Stabilizaci cukru lze provádět při dvou teplotách. Buď za normální teploty po dobu 5-6 dní nebo při teplotě 45-55 °C po dobu 24-48 hodin. Oba případy probíhají v provětrávaných prostorách.<sup>2</sup>



### **2.8.12. skladování**

Aby bylo zajištěno rovnoměrné zásobování spotřebitelského trhu, je třeba cukr ve velkých množstvích skladovat. Skladování se provádí ve vysokokapacitních silech o kapacitě 10 000 – 20 000 tun, kde se skladuje bezobalově. Část se pak skladuje v tradičních obalech, kterými jsou pytle. Aby se cukr mohl dlouhodobě a bezpečně skladovat, je třeba stanovit závislost vlhkosti cukru na vlhkosti vzduchu pro danou teplotu tzv. sorpční izotermu. Z toho se následně určují skladovací podmínky. Ty zahrnují teplotu 20-22 °C a relativní vlhkost 50-60 %. Vlhkost skladovacího cukru je maximálně 0,05 %, obsah popela max. do 0,02 %. Dále musí být cukr dokonale zbaven prachu. Suchý krystal se třídí podle velikosti na třídících, které vibrují. Vytříděný krystal se následně plní do pytlů.<sup>2</sup>

### **2.8.13. Výrobky**

#### a) Homole

Ty se vyráběly ještě za druhé světové války. Prvně se vyráběly velké homole o váze 12-13 kg. To se ukázalo jako nepraktické a začaly se vyrábět menší o váze 5 kg.

#### b) Kostkový cukr

Kostky se vyrábí lisováním ze směsi mletého cukru a krystalu. Později se s vývojem lisů daly vyrábět kostky různých tvarů.

#### c) Pilé

Jedná se o druh cukru, který se dnes již nevyrábí. Je to hrubší zrno, získané probělováním 2. rafinádni cukroviny v odstředivkách párou.

#### d) Kandys

Jsou to několik cm velké krystaly, které jsou bezbarvé, nažloutlé až hnědé. Bezbarvý kandys se vyráběl z prvního rafinádniho kléru, který se pečlivě odbarvoval.

#### e) Cukrová moučka

Původně se cukrová moučka vyráběla z odpadků při řezání homolí a kostek. Později se přešlo k mletí za pomoci mlýnů.

f) Cukr krystal

Krystalový cukr, se vyrábí výše uvedeným technologickým postupem výroby cukru.

g) Tekuté cukry

Jedná se o produkt určený převážně pro průmyslové odběratele. Pod pojmem tekutý cukr si lze představit tekutou sacharosu, tedy klér.<sup>7</sup>

### **3. Praktická část**

V této části práce je uveden pokus o realizaci některých technologických procesů do laboratorního měřítka.

#### **3.1. Příprava řízku**

Seřízlou řepnou bulvu zbavenou chrástu a nečistot jsem na tenkém (okurkovém) struhadle nastrouhal. Použil jsem část o hmotnosti 187g. Toto množství jsem v 1000 ml baňce zalil 500 ml vody.

#### **3.2. Extrakce**

Naplněnou 1000 ml baňku řízky a vodou jsem poté postavil nad kahan, kde jsem prováděl extrakci za občasného míchání v rozmezí teplot 70 - 80°C po dobu 90 minut. Po slítí extraktu jsem řízky zalil dalšími 500 ml vody a v extrakci jsem pokračoval stejným způsobem dalších 90 minut. Slitím extraktu přes Büchnerovu nálevku s následujícím odsátím byl získán další podíl extraktu.

#### **3.3. Čerění, saturace, filtrace, síření**

Když jsem získal difúzní šťávu, přišlo na řadu její čištění. Jelikož mají cukrovary i své vápenky, připravil jsem si i já vápenné mléko o koncentraci 2 %. Dále si sestavil aparaturu na saturaci, tedy probublávání CO<sub>2</sub> do roztoku s vápenným mlékem. CO<sub>2</sub> jsem vyvíjel odkapáváním zředěné HCl z dělicí nálevky do baňky s uhličitanem vápenatým. Unikající plyn jsem do cukerného roztoku vedl zaváděcí trubičkou. Do difúzní šťávy jsem po malých částech přidával vápenné mléko za stálého míchání, abych zajistil rovnoměrné promíchání po celém objemu. Přidávání vápenného mléka bylo prováděno při teplotě roztoku 85 - 90°C a následná saturace probíhala za stejných teplot. Po ukončení probublávání CO<sub>2</sub> bylo v roztoku patrné, že se objevily koloidní sraženiny necukrů. Tento roztok jsem přefiltroval přes skládaný filtrační papír umístěný v nálevce a začal saturaci číslo II. Zde jsem ale použil teplotu vyšší, 95 – 98°C z důvodů omezení tvorby hydrogenuhličitanů. I zde byly patrné vyloučené pevné částičky, kterých však bylo o poznání méně, pro jistotu jsem roztok nechal odstát a započal čerění i saturaci se stejnými podmínkami pro druhou difúzní šťávu. Mezitím se mi kal v roztoku I po druhé saturaci usadil a začal jsem jeho druhou filtraci přes dvojitý

skládání filtr. Stejný princip separace pevných částic, čehění i saturace jsem provedl v roztoku II. Těmito procesy jsem získal lehkou šťávu. Její pH bylo 9 a měla světle žlutou barvu.



Obr. 8: Saturace

Další proces, který jsem při výrobním postupu vykonával, bylo síření lehké šťávy, abych snížil obsah barevných látek v ní. K síření jsem využil stejnou aparaturu jako pro saturaci, ovšem za použití jiných chemikálií. Chemikálie použité při síření byly zředěná  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a siřičitan vápenatý. Teplota během tohoto procesu byla udržována v rozmezí 85 – 90°C.



Obr. 9: Získaná lehká šťáva

### 3.4. Odpařování

Po získání lehké šťávy zbavené některých necukrů, barevných látek i mikroorganismů nadešla fáze zahušťování na šťávu těžkou. V průmyslu se odpařování provádí v několika odparkách jdoucích po sobě. Já lehkou šťávu zahustil obyčejným svařením nad kahanem. Odpařování se v průmyslové výrobě provádí dále za sníženého tlaku, aby úroveň zahuštění byla ještě vyšší. Toto zahuštění v laboratorních podmínkách jsem vyřešil vodní lázní s několika plotýnkami. Na tyto plotýnky jsem umístil odpařovací misky a do každé odlil zahušťovanou šťávu. Zvýšením odpařovacího povrchu roztoku se mi těžkou šťávu podařilo ještě více zahustit. Roztoky jsem pak slil do jedné odpařovací misky, kde jsem odpařovací proces dokončil. Tento proces jsem použil pro oba roztoky. Na svém konci byly oba zahušťované roztoky kryty povrchově tvořeným filmem (škráloupem).





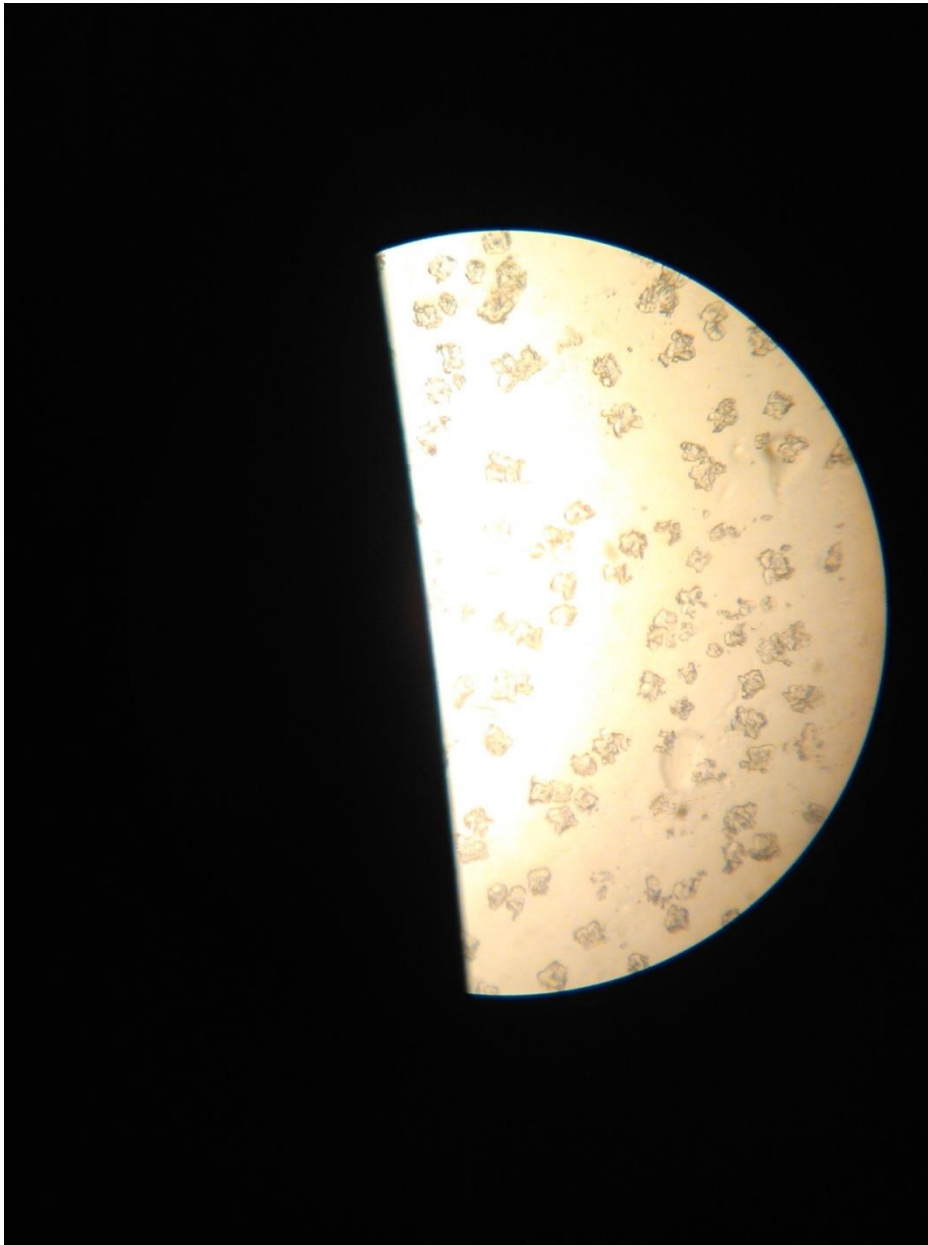
Obr. 10: Odpařování lehké šťávy nad kahanem



Obr. 11: Zahuštění lehké šťávy na těžkou šťávu

### 3.5. Krystalizace

Pokusy o krystalizaci med připomínající hmota oddělitelné krystalky nevytvořila. Přítomnost krystalků v této hmotě byla prokázána pouze pod mikroskopem bodotávku. Oddělitelné krystalky nevznikaly ani po opakovaném ředění vodou v kombinaci s očkováním.



Obr. 12: Krystalky pod mikroskopem bodotávku

## 4. Závěr

Ve své práci jsem se zabýval vedle historie výroby cukru v českých zemích především technologií výroby cukru a jejího vývoje. Složením cukrové řepy a jejím vegetačním rokem zahrnující i možné choroby a škůdce. Hnojením cukrové řepy a její jakostí.

Z práce je patrná markantní proměna cukrovarnické výroby v porevoluční době. Jedná se především o koncentraci výroby do menšího počtu vysoce výkonných cukrovarů. Podstatný vliv hraje i všeobecný rozvoj výzkumu ve všech oblastech. Předpokladem je i zavádění nových odrůd cukrové řepy s vyšším obsahem cukru. Sklizeň je v současné době jiná oproti minulosti. V současné době se jedná o kombajnovou sklizeň, která z polí zcela vytlačila dříve nezbytnou těžkou práci mnoha zemědělců.

Co se týká experimentu s přípravou cukru v laboratoři, je zřejmé, že k jejímu úspěchu by bylo třeba některé postupy upravit. Problémem není získání extraktu. Při pokusech nějakým způsobem napodobit průmyslové pochody ke konečnému produktu byl získán produkt v podobě medu podobné sirupovité hmoty, která obsahuje pod mikroskopem pozorovatelné krystalky. Tyto krystalky však z vysoce koncentrovaného roztoku větší krystalky nevytvořily. Bylo by vhodné dosavadní zkušenosti uplatnit později, při zpracovávání diplomové práce.



## 5. Resumé

This bachelor thesis deals with the production of sugar in the Czech lands before and now, along with making some processing procedures sugar beet in laboratory. The first chapters describes composition of the sugar beet, pests, diseases and of course fertilizing. Next chapters deals with the history of sugar production from sugar beet and developments in technology. Sugar production triggered the closure of Europe by Napoleon in 1806. The number of sugar mills were gradually rising alongside with technology development. In the 1872/1873 campaign there were 214 sugar mills. Economics together with politics caused a decrease in the number of sugar mills. Currently we have only 7 working sugar mills. In the experimental part there was a performing of some manufacturing process in the laboratory. The result was a syrupy mass similar to honey containing inseparable crystals which were visible under the microscope.

## 6. Seznam použité literatury

1. Bretschneider, R. *Technologie cukru*. Praha: SNTL, 1980. ISBN 04-820-80.
2. Kadlec, P. *Technologie potravin I*. VŠCHT, Praha 2002. ISBN 80-7080-509-9.
3. Josef Pulkrábek a kol.. *Řepa cukrová*. Praha: Kurent, s.r.o., 2007. ISBN 78-80-87111-00-0.
4. Chochola, J. *Průvodce pěstováním cukrové řepy*. Semčice, 2010.
5. Výroba cukru. *Cukrovar Prosenice*. [online]. 2016 [cit. 2016-06-05]. Dostupné z: <http://www.hps.cz/vyroba-cukru/>
6. Froněk, D. 200 let řepného cukrovarnictví v České republice. *Listy cukrovarnické a řepářské* **2010**, 126 (11), 358–359.
7. Gebler, J. *Pohled do vývoje cukrovarnictví*; Praha, 2011.
8. Smrčka, L.; Hönig, V.; Hromádko, J. Kde je budoucnost cukrovarnictví v České republice. *Listy cukrovarnické a řepářské* **2012**, 128 (5-6), 193–198.
9. Smutka, L.; Rovný, P.; Pulkrábek, J.; Řezbová, H.; Horská, E.; Urban, J. České a slovenské cukrovarnictví – více než dvacet let po rozpadu Československa. *Listy cukrovarnické a řepářské* **2016**, 132 (4), 144–149.
10. Statistika komodity cukrovka-cukr v České republice. *Listy cukrovarnické a řepářské*. [online]. 28.6.2016 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: <http://www.cukr-listy.cz/lc-statistika.html>