

CUKROVARNICKÁ TECHNOLOGIE – DÍL IV.

Těžení šťávy – část 1. Základní pojmy

SUGAR TECHNOLOGY – JUICE EXTRACTION – PART 1. BASIC DEFINITIONS

Svatopluk Henke, Pavel Kadlec, Evžen Šárka – Vysoká škola chemicko technologická v Praze

Těžení šťávy je základním technologickým procesem výroby cukru z řepy. V tomto seriálu budou těžení šťávy věnovány tři části. V této první části jsou uvedeny a vysvětleny základní pojmy, fyzikálně chemický základ těžení šťávy, jak se hodnotí extrakční proces, včetně hmotnostní bilance a dalších kritérií (1–4).

Surová šťáva se těží ze sladkých řízků tak, že se polopropustné membrány řepných buněk nejprve tepelně denaturují zahřátím na teplotu 70–75 °C, což umožní vstup sacharosu buněčnou stěnou do extrakční vody. Do surové šťávy přechází vedle 97–99 % sacharosu, obsaženého v řízku, také určité množství dalších látek (necukrů), které je nutno při následujícím čištění (epuraci) ze šťávy odstranit. Vyslazené řízky se dále lisují na vyšší sušinu v řízkolisech a jsou jedním z vedlejších výrobků cukrovaru: buď se expedují, nebo se suší. Obecné schéma těžení šťávy je znázorněno na obr. 1.

Základní pojmy

Těžení šťávy probíhá v zařízení, které se nazývá extraktor, v němž se sladké řízky extrahují protiproudým tokem extrakční vody. Cílem těžení šťávy je získání cukru z řepy ve formě surové šťávy o nejvyšší čistotě, při minimalizaci spotřeby energie, extrakční vody a ztrátách polarizačního cukru.

Sacharosa jako zásobní látka je uložena v parenchymatických buňkách řepy. Jejich velikost je v průměru 0,09 mm. Buňku tvoří buněčná stěna, bílkovinná cytoplazma s polopropustnou membránou a buněčný obsah – řepná šťáva, obsahující vodný roztok sacharosu a dalších rozpustných látek. Extrakce buněčného obsahu je možná až po rozřezání bulevek na sladké řízky a po denuraci polopropustné membrány buněčné stěny (plasmolýze) účinkem teploty. Tím se dostáváme k popisu dvou fyzikálních pochodů, které při těžení surové šťávy v extraktoru probíhají. Jedná se o:

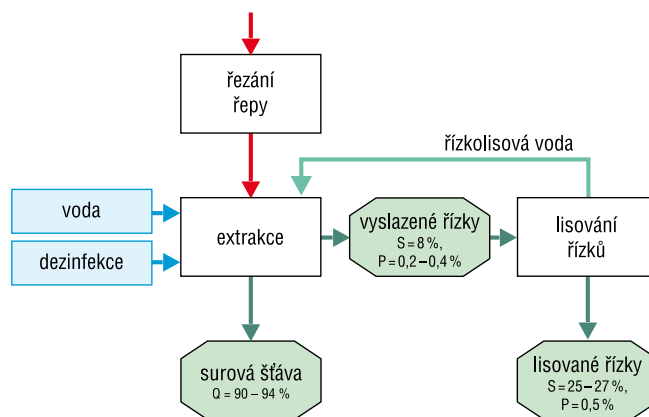
- volnou extrakci látek řepné šťávy z mechanicky otevřených buněk při řezání řepy,
- difuzi látek řepné šťávy denaturovanou polopropustnou membránou buněčné stěny.

Extrakce závisí na povrchu řízku a na stupni otevření (poškození) řepných buněk při řezání řepy. V praxi se jedná asi o jednu třetinu buněk, a tudíž se jedna třetina celkového množství cukru z řepy dostane do extrakční vody volnou extrakcí, vyluhováním. Podle volné extrakce je také možné hodnotit kvalitu řízku. Rozdrcená řepa je z hlediska dalšího zpracování nepřítužná.

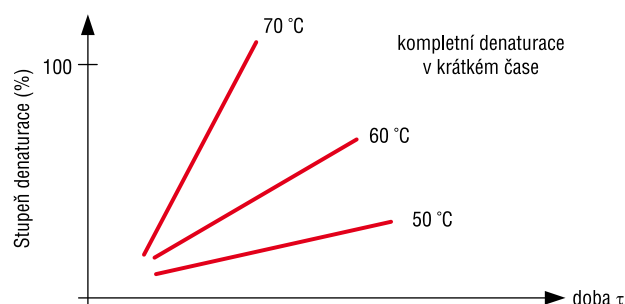
Difuzí látek řepné šťávy denaturovanou polopropustnou membránou buněčné stěny se získají zbývající dvě třetiny množství cukru. Při difuzním procesu těžení šťávy dochází vedle fyzikálního přestupu látek z buněčné šťávy do okolního roztoku k dalším chemickým, enzymovým a mikrobiologickým přeměnám látek, které se difuzním procesu účastní.

U zdravé buněčné tkáně není difuze sacharosu možná vzhledem k propustnosti membrány buněčné stěny, která je propustná pouze pro nízkomolekulární látky, jako je voda, elektrolyty, ale ne pro sacharosu, ostatní sacharidy a většinu rozpuštěných necukrů. Aby se buněčná stěna stala i pro tyto látky propustnou, je nutno polopropustnou membránu buněčné stěny denaturovat. Toho se dosáhne zahřátím na teplotu nad 70 °C, ev. účinkem organických rozpouštědel, např. acetonu.

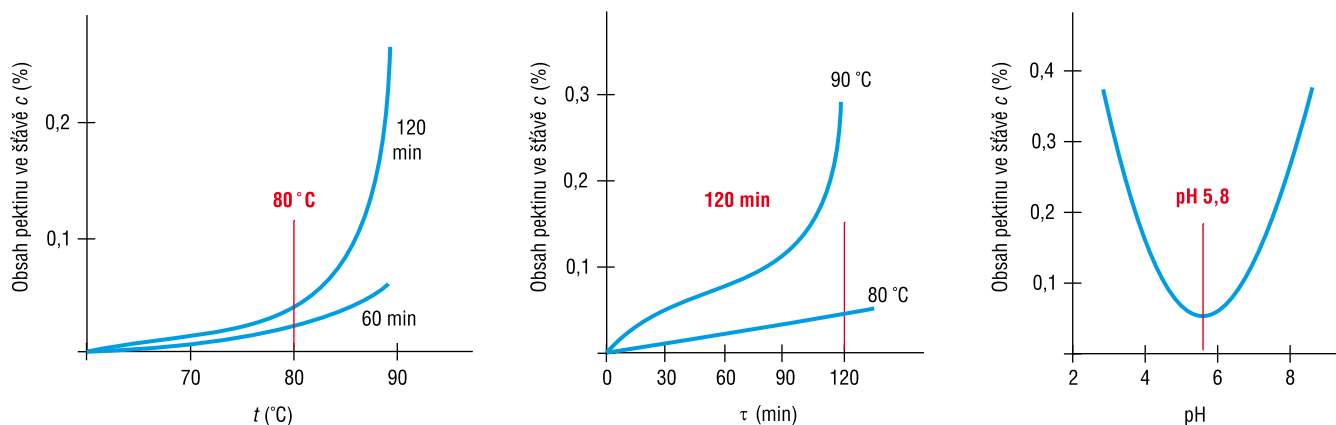
Obr. 1. Schéma těžení šťávy



Obr. 2. Průběh denaturace polopropustné membrány při různých teplotách



Obr. 3. Vliv teploty, doby a pH na rozpouštění pektinových látek



K denaturaci 90 % polopropustné membrány buněk dochází při teplotě 60 °C za 12 min, při 70 °C za 8 min a při teplotě 80 °C za 5 min (obr. 2.). Teplota ovlivňuje kromě denaturace bílkovin i difuzi sacharosy, dále bakteriologickou a enzymovou aktivitu.

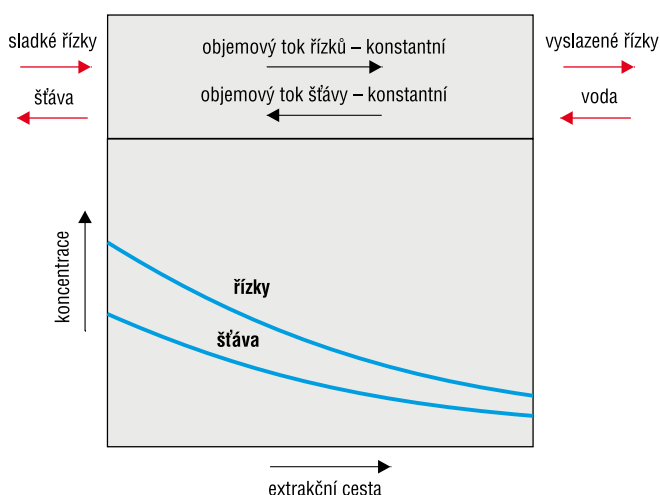
Rychlá denaturace polopropustné membrány je žádoucí, ale teplotu nelze zvyšovat libovolně, neboť nad 75 °C dochází ke zvýšenému rozpouštění pektinových látek z dřev. Při extrakci a difuzi totiž přecházejí z řepné šťávy i z dřev do roztoku kromě sacharosy i další rozpuštěné látky, jako jsou pektiny, bílkoviny a popeloviny, a tento přechod do roztoku silně ovlivňují základní parametry extrakčního procesu, tj. teplota, doba a pH.

S ohledem na požadovanou minimalizaci přechodu pektinových látek do roztoku je nutné dodržovat při extrakci tyto podmínky (obr. 3.):

- Teplota se nesmí zvyšovat nad 80 °C (bývá mezi 72–78 °C), záleží i na kvalitě řepy; u zdravé lze pracovat s vyšší teplotou, u alterované cukrové řepy je nutné pracovat s nižší teplotou.
- Doba pobytu řízků v extraktoru by neměla být delší než 120 min.
- pH při extrakci je nutné udržovat na hodnotě okolo 5,8–6,2.

Rozpuštění pektinových látek je technologicky závadné, neboť větší část rozpuštěných pektinových látek (asi dvě třetiny)

Obr. 4. Rozdíl mezi koncentrací sacharosy v řízkách a v roztoku v extraktoru



se při následujícím čištění šťáv neodstraní, v alkalickém prostředí se vytváří pektát vápenatý a ten způsobuje potíže nejen při extrakci, ale také při filtraci, krystalizaci i odstředování a projevuje se rovněž ve zvýšené tvorbě melasy, což má za následek i vysoké ztráty cukru.

Bílkoviny přecházejí při extrakci do šťávy ve značném množství, ale to technologicky není na závadu (na rozdíl od pektinových látek), neboť bílkoviny při čištění šťávy koagulují a spolehlivě se odstraní.

Fyzikálně chemický základ těžení šťávy (Fickovy zákony)

Přestup hmoty přes fázové rozhraní, v našem případě přestup sacharosy difuzí z řepné buňky přes denaturovanou polopropustnou membránu buněčné stěny do extrahující vody, můžeme popsat Fickovými zákony:

- Fickův zákon (v diferenciální formě) vyjadřuje, na jakých parametrech závisí množství sacharosy m , které přechází do roztoku:

$$dm = -DA \frac{dc}{dx} d\tau \quad (1)$$

- Fickův zákon (ve tvaru parciální diferenciální rovnice) popisuje změnu koncentrace sacharosy s časem:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

kde m – množství difundující sacharosy; D – difuzní koeficient; A – plocha fázového rozhraní (povrch extrahovaných řízků); c – koncentrace sacharosy; τ – doba extrakce; x , y , z jsou lineární rozměry řízku.

Vliv jednotlivých parametrů na množství difundující sacharosy m :

- Rozdíl mezi koncentrací sacharosy v řízkách a v roztoku je hlavní hnací silou procesu extrakce i difuze. Největší koncentrační rozdíl je na tzv. sladkém konci extraktoru (kde vstupují sladké řízky a vystupuje surová šťáva), nejmenší na vodním konci extraktoru (kde vstupuje extrakční voda a vystupují vyslazené řízky) (obr. 4.). Budou-li se řízky extrahovat větším množstvím vody, bude klesat koncentrace sacharosy v surové šťávě, koncentrační rozdíl se zvýší, a tím se zvýší i množství cukru m , které se extrahuje do šťávy. Získá se současně i větší

množství surové šťávy, tzv. odtah. Průtočné množství surové šťávy se měří průtokoměrem a vyjadřuje se v % ř. (% řepy). Vzhledem k pění surové šťávy však údaj průtokoměru nemusí být správný a je vhodné hodnotu odtahu kontrolovat bilancí (viz dále). Obvyklá hodnota hmotnostního odtahu se pohybuje od 105 do 115 % ř. Pokud by se hodnota odtahu zvyšovala ke 120 % ř. a více, bylo by to nežádoucí z hlediska zvýšené energetické spotřeby na odpařování vody ze zbytečně naředěných šťáv.

2. Prodlouží-li se doba extrakce τ , zvětší se rovněž množství cukru m (ale i necukrů), které přechází difuzí do surové šťávy. Doba pobytu řízků v extraktoru se pohybuje od 60 do 120 min, vyslazené řízky opouštějí extraktor ve velkém rozptylu několika desítek min. Pro přechod cukru difuzí je rozhodující doba pobytu řízků v extraktoru při teplotách vyšších než 70 °C.
3. Zvýší-li se teplota t , zvýší se rovněž m , neboť na teplotě závisí hodnota difuzního koeficientu sacharosy D , a sníží se také viskozita šťávy. Jedná se o známý Einsteinův výraz pro D :

$$D = \frac{kT}{a\eta r} \quad (3),$$

kte k je Boltzmanova konstanta; T – teplota (K); a – tvarový faktor; η – dynamická viskozita; r – poloměr částic.

Teplota by neměla překročit 80 °C, neboť pak dochází ke spaření řízků, rozpouštění pektinových látek a ke změně struktury řízků.

4. Zvětší-li se měrná délka sladkých řízků, úměrně tomu se zvětší i jejich povrch A , a tím i hodnota m .
5. Čím bude menší tloušťka řízků x , tím více cukru se vyextrahuje, a tím i poroste hodnota m . Na průběh extrakce velmi negativně působí především kolísání tloušťky řízků, což má za následek, že tenčí části řízků jsou příliš extrahovány, včetně nežádoucího množství necukrů, a na druhé straně silnější části řízků mohou být vyslazené nedostatečně.

Jak už bylo v předchozím textu uvedeno, hnací silou difuze je rozdíl koncentrací cukru v extrahovaném materiálu (řízkách) a v extrakční kapalině (vodě). Zatímco v roztoku probíhá transport sacharosy způsobený difuzí volně ve směru maximálního koncentračního spádu, difuze sacharosy řepnou tkání je zpomalována sítí buněčných stěn, přes které musí molekuly sacharosy projít. To znamená, že rychlost difuze ve vodném roztoku představuje maximální rychlost, kterou mohou být sacharosa a ostatní látky řepné šťávy extrahovány. Skutečná rychlost difuze je však nižší a závisí na velikosti buněk a tloušťce buněčných stěn řepné tkáně (a tedy na tloušťce řízku).

Získaný extrakt, surová šťáva, obsahuje složky o různé velikosti částic, od hydratovaných jednoduchých iontů (z kationtů zejména K^+ a Na^+), přes sacharosa až po koloidně dispergované látky. Protože rychlost difuze částic je nepřímo úměrná jejich velikosti, difundují z denaturovaných buněk nejrychleji jednoduché soli, zřetelně pomaleji sacharosa, nejpomaleji pak koloidně dispergované látky. Dlouhá doba extrakce je tedy nevýhodná, protože dochází ke zhoršení jakosti šťávy přírůstkem obsahu necukrů.



Hodnocení extrakčního procesu

Jednou ze základních charakteristik provozování extraktoru je množství surové šťávy neboli hmotnostní odtah surové šťávy. Objemový průtok surové šťávy se měří provozním průtokoměrem. Vzhledem k tomu, že surová šťáva pění, často nelze využít přepočít údaje objemového průtoku z provozního průtokoměru na hmotnostní odtah surové šťávy.

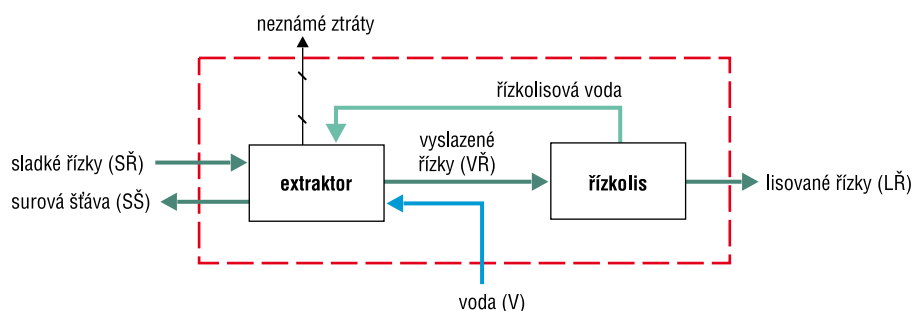
Odtah lze pro kontrolu vypočítat z bilance sušiny a bilance cukru, vycházející z bilančního schématu extraktoru na obr. 5.

Při těžení šťávy ze sladkých řízků extrakčním procesem dochází ke ztrátám cukru. Rozlišují se známé ztráty při extrakci Z_E , což jsou ztráty polarizačního cukru v lisovaných řízcích a neznámé ztráty Z_N , které vznikají během extrakce především rozkladem sacharosy, hlavně v důsledku mikrobiální činnosti. Pro zjednodušení bilančních výpočtů budeme předpokládat, že neznámé ztráty, které jsou v bilančním schématu na obr. 5. znázorněny jako fiktivní proud, jsou nulové.

Vycházíme-li z předpokladu, že známe obsahy sušiny S a obsahy sacharosy P v jednotlivých proudcích a vztahujeme-li základ výpočtu na hmotnostní tok, resp. množství sladkých řízků ($G_{SR} - 100\%$), pak platí pro bilanci sušiny a sacharosy rovnice:

$$G_{SR} S_{SR} = G_{SS} S_{SS} + G_{LR} S_{LR} \quad (4),$$

Obr. 5. Bilanční schéma extrakční a řízkolisové stanice



$$G_{SR} P_{SR} = G_{SS} P_{SS} + G_{LR} P_{LR} \quad (5)$$

Z těchto rovnic pak po úpravě a eliminaci neznámé hodnoty G_{LR} dostaneme výraz pro výpočet hmotnostního odtahu surové šťávy G_{SS} (% ř.):

$$G_{SS} = \frac{S_{LR} P_{SR} - S_{SR} P_{LR}}{S_{LR} P_{SS} - S_{SS} P_{LR}} G_{SR} \quad (6)$$

Tento způsob bilance extrakční stanice, resp. výsledná rovnice (6) pro výpočet hmotnostního odtahu surové šťávy, má jednu praktickou nevýhodu, neboť v běžné laboratorní praxi cukrovarnické laboratoře se nestanovuje obsah sušiny sladkých řízku S_{SR} , a tak se rovnice (6) používá pouze pro speciální bilanční a kontrolní výpočty, kdy se hodnota S_{SR} v laboratoři dodatečně stanoví.

Další vztahy pro výpočet hmotnostního odtahu jsou uvedeny v Cukrovarnickém kalendáři (5). Rovněž při odvození rovnic (7–9) bylo předpokládáno, že neznámé ztráty jsou nulové:

$$G_{SS} = 100 \frac{P_{SR} - Z_E}{P_{SS}} \quad (7)$$

$$Z_E = 0,01 G_{LR} P_{LR} \quad (8)$$

$$G_{LR} = 100 \frac{S_{SR} (Q_{SS} - Q_{SR})}{S_{LR} (Q_{SS} - Q_{LR})} \quad (9)$$

Hodnota G_{LR} se v průběhu kampaně příliš neliší a lze ji vysledovat z hmotnosti expedovaných lisovaných řízků z cukrovaru.

Neznámé ztráty lze snížit již dezinfekcí řepy v pračce a během dopravy do řezaček a hlavně dezinfekcí stanice těžení šťávy (extraktor), okruhu řízkolisové vody a dodržováním správného pH při extrakci. Při dodržení technické sterility extraktoru mohou být tyto neznámé ztráty nižší než 0,1 % ř. Celkové ztráty cukru při extrakci, tj. součet známých a neznámých ztrát, obvykle nepřesahují 0,4 % ř., v dobře vedených provozech klesají až na 0,2 % ř.

Pro hodnocení reálného extrakčního procesu byl italskými autory MARIGNETTI, MANTOVANI A LANDI (5) navržen postup, který

využívá k modelování parametry, které mají zásadní význam pro praktický průběh procesu extrakce. Odvodili semiempirický vztah, v němž jsou známé ztráty cukru při extrakci Z_E (% ř.) vyjádřeny jako funkce 5 parametrů: průměrné teploty při extrakci T_m , délky řízků L , hmotnostního odtahu surové šťávy G_{SS} , střední doby zdržení řízků v extraktoru τ a konstanty extraktoru K .

$$\frac{Z_E}{P_{SR}} = e^{-0,01 T_m L G_{SS} \tau K} \quad (10)$$

kde T_m je teplotní faktor $T_m = (t + 273,15)/(10 \eta)$; η – viskozita vody (mPa·s) při teplotě t (°C); L – měrná délka sladkých řízků (Silinovo číslo) ($m \cdot 100 g^{-1}$); G_{SS} – hmotnostní odtah surové šťávy (% ř.); τ – střední doba zdržení řízků v extraktoru (min); K – konstanta extraktoru, charakterizující extraktor podle konstrukce a způsobu činnosti.

Ze známých ztrát cukru při extrakci Z_E a 4 parametrů v rovnici (10), můžeme vypočítat konstantu K , která je praktickým a charakteristickým parametrem pro dané extrakční zařízení a dané provozní podmínky. Střední doba zdržení řízků v extraktoru je delší než doba extrakce o časový interval, který je nutný k ohřátí extrahovaných řízků na 60 °C, většinou je tato doba o 10 % delší než doba extrakce.

Literatura

1. HENKE, S.; BUBNÍK, Z.; KADLEC, P.; ŠÁRKA, E.; GILLAROVÁ, S.; POUR, V.: *Technologie cukru*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2024.
2. KADLEC, P.: Manipulace s řepou. Těžení šťávy. In BUBNÍK, Z. ET AL.: *Úvod do cukrovarnické technologie*. Praha: VŠCHT a VUC, 2006.
3. KADLEC, P. ET AL.: *Přednášky z Technologie cukru pro bakalářské a magisterské studium*. Praha: FPBT VŠCHT, 2022.
4. KADLEC, P.: Technologie cukru. In KADLEC, P.; MELZUCH, K.; VOLDRICH, M. (ED.) ET AL.: *Technologie potravin – Přehled tradičních potravinářských výroby*. Ostrava: KEY Publishing, 2012, s. 429–448.
5. GEBLER, J. ET AL.: Těžení surové šťávy. In *Cukrovarnický kalendář 1995*. Praha: Cukrpol Praha – Modřany, Výzkumný ústav cukrovarnický, 1995, s. 313–320.

