

Čištění šťáv (epurace) – jednotlivé operace a strojní zařízení

SUGAR TECHNOLOGY – JUICE PURIFICATION – INDIVIDUAL OPERATIONS AND MACHINERY

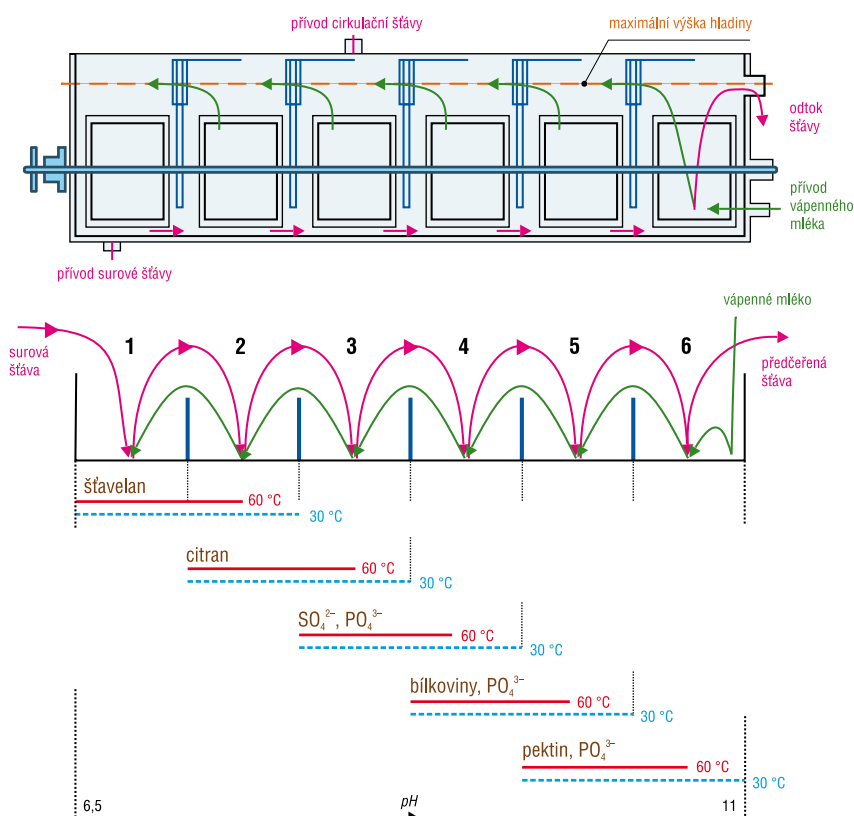
Evžen Šárka, Svatopluk Henke, Simona Gillarová – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Předčeření

Abychom se vyhnuli lokálnímu převápnění šťávy, bylo zavedeno tzv. progresivní předčeření protiproudem. Principem je vrácení tekutin z místa jejich vzájemného míšení v kontinuálním aparátu směrem proti přítoku šťávy. V českých cukrovarech pracuje buď předčeřič Brieghel-Müller nebo francouzský předčeřič Naveau (obr. 1 a obr. 2.).

Kromě dodržování správných provozních podmínek (teplota, doba zdržení, rovnoměrný průtok šťávy a vápenného mléka) je vhodné pro zajištění dostatečné velikosti částic recirkulovat do předčeření částečně kal z 1. saturované šťávy. Aby mohly být využívány k náhřevům šťáv v začátku epurace nízkoeenergetické páry, recirkuluje se k tomuto účelu zahuštěná suspenze saturačního kalu. Tou je obvykle část zahuštěného podílu získaného při separaci na dekantérech či zahušťovacích filtrech.

Obr. 1. Předčeřič Brieghel-Müller, dle REINEFELDA (1)



Dočeření

Dočeření se realizuje buď jako horké při teplotě 82–85 °C, nebo nejprve jako poloteplé a pak jako horké. Hlavní a žádanou chemickou reakcí při dočeření je rozklad invertního cukru. Realizace dočeření se v českých cukrovarech většinou děje v promíchávané nádobě.

Saturace

Při 1. saturaci se dočeřená šťáva saturuje oxidem uhličitým, který je součástí uhelky přiváděné z vápenky. 1. saturace se na efektu čištění v epurační lince podílí asi z jedné pětiny. Kystalický CaCO_3 vzniklý na 1. saturaci kromě adsorpčních účinků urychluje následující filtraci šťávy.

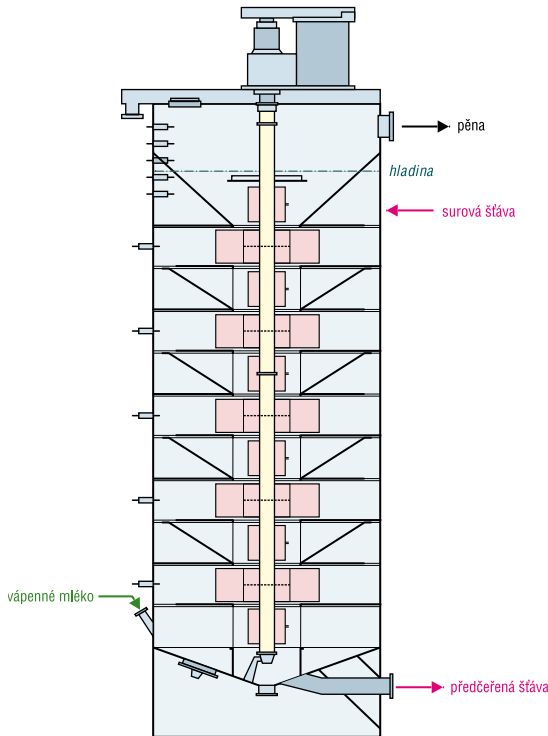
Saturák (obr. 3.) je vertikální těleso válcového tvaru o průměru obvykle 1,5–4,5 m, výšce 7 až 11 m (výšce hladiny 4–6 m), ve kterém je ve spodní části umístěn rozdělovač plynu různé konstrukce – zubový (Dorrův) nebo tzv. Richterův rozdělovač. Saturační nádoby mají přívod šťávy nahoře a odvod dole.

K zajištění homogenity obsahu může být 1. saturace vybavena vnější nebo vnitřní recirkulací šťávy a ke zvýšení efektu může být rozdělena na dvě tělesa. V některých cukrovarech se do saturace přidává ještě část vápenného mléka. Potřebná doba zdržení při saturaci je asi 15 min.

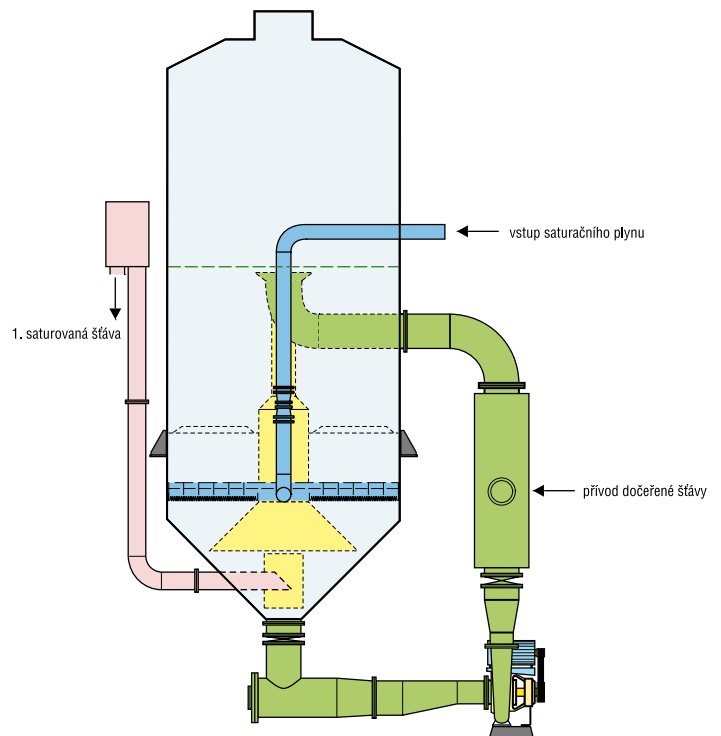
Rychlost absorpce oxidu uhličitého je přímo úměrná měrné ploše mezifázového rozhraní, která je svázána s konstrukčním řešením saturáku a rovnovážnou koncentrací oxidu uhličitého, která podle Henryho zákona závisí na jeho parciálním tlaku. Ten lze zvýšit vyšším obsahem oxidu uhličitého v uhelce, při obsahu nad 40 % může však dojít ke zhoršenému promíchávání při saturaci, takže výsledná šťáva by mohla být směsí přesaturované a nedosaturované šťávy. V těchto případech je nutné intenzifikovat promíchávání saturační nádoby.

Velmi důležitou veličinou je alkalita 1. saturace – správně vysaturovaná šťáva má alkalitu 0,08–0,10 g·100 ml⁻¹ (0,8–1,0 g l⁻¹). Při

Obr. 2. Předčeřič Naveau



Obr. 3. Saturák s vnější cirkulací a zubovým rozdělovačem plynu



alkalitě nad $0,1 \text{ g} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$ ($1 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) je šťáva ještě nedosaturovaná, špatně filtruje, pěnění a sraženina obsahuje cukr. Při nízké alkalitě se zvyšuje zabarvení a obsah vápenatých solí. Řízení alkality 1. saturace se děje s využitím provozních pH-metrů.

Při laboratorní kontrole vysaturované šťávy se kromě alkality určuje filtrační koeficient, sedimentační rychlost a objem kalu.

Sedimentace saturované šťávy

Sedimentace saturační sraženiny může být zařazena jako první stupeň separace kalu z 1. saturované šťávy. Výhodou dvoustupňové separace kalu, při které dochází v prvním stupni k zahuštění suspenze saturační sraženiny, je pro vyšší kapacity závodu snížení investičních nákladů a plynulejší provoz epurační stanice. V dekantéru (obr. 4.) dochází k usazování částic kalu a k vytvoření rozhraní mezi kalem a čistou tekutinou. Část zahuštěného podílu se poté filtruje a druhá část se vrací do přední části epurační linky.

Rychlost usazování ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) podle Stokesova zákona je dána vzorcem:

$$w = \frac{d^2 g (\rho_1 - \rho_2)}{18\eta} \quad (1)$$

kde d je průměr částic (m), g – tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$), ρ_1 – hustota částic ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), ρ_2 – hustota disperzního prostředí ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), η – dynamická viskozita kapalné fáze (Pa·s).

Z technologického hlediska je důležitý vliv doby zdržení šťávy v dekantéru na její jakost, s vyšší dobou zdržení se zvyšuje obsah vápenatých solí a barevných látek ve šťávě. Zkrácení doby zdržení lze dosáhnout umělou flokulací částic, neboť flokulační činidla mají podstatný vliv na sedimentační rychlost kalu. Lze tak významně zmenšit rozměry dekantéru. Doporučeným flokulačním činidlem je např. Magnafloc od firmy BASF.

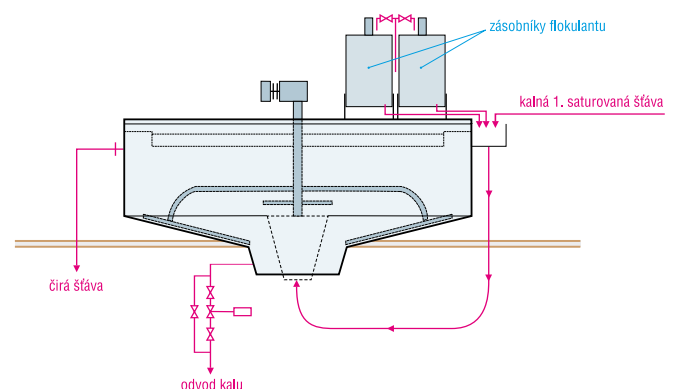
Flokulant se dává automaticky do vody v přípravné nádrži o objemu 1 m^3 , odtud se přečerpá do dávkovací nádrže. Odtud se regulovaně přidává dávkovacím čerpadlem do vstupu šťávy do rychlodekantéru. Doporučené dávkování flokulantu je $3 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ř., při zhoršené kvalitě řepy až $5 \text{ g} \cdot \text{t}^{-1}$ ř.. Graf na obr. 5. ukazuje, jak se změnila velikost částic saturačního kalu po dávkování flokulantu.

Filtrace saturované šťávy

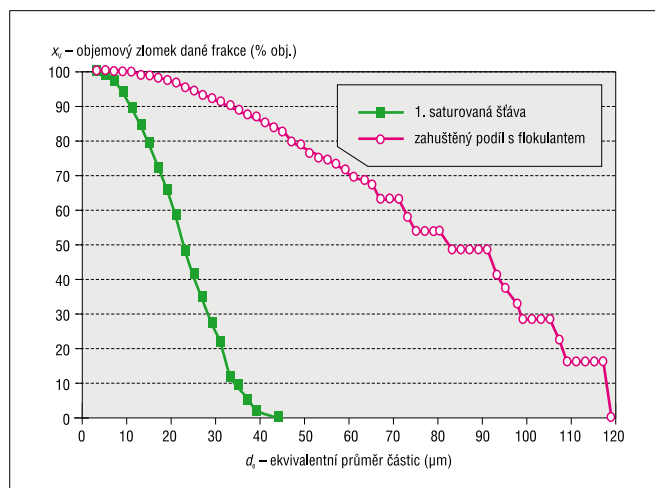
Filtrace je v podstatě oddělování suspendovaných hmot od roztoku filtrační přepážkou. Používají se mechanizované kalolisy, vakuové filtry nebo zahušovací filtry.

Aby filtrace probíhala, musí být tlaky před filtrační přepážkou a za ní rozdílné. Průběhem filtrace se filtrační odpor, skládající se z odporu přepážky a odporu filtračního koláče, zvyšuje. Pro rychlost filtrace platí rovnice:

Obr. 4. Jednopatrový dekantér (rychlodekantér)



Obr. 5. Kumulativní distribuční křivky ukazující účinek flokulantu



$$\frac{dV}{A d\tau} = \frac{\Delta p}{a \eta b} \quad (2),$$

kde V je proteklý objem filtrátu (m^3), τ – doba filtrace (s), A – filtrační plocha (m^2), Δp – tlakový rozdíl (Pa), a – měrný odpor vrstvy, jíž protéká roztok (tj. přepážky + filtračního koláče; m^{-2}), η – dynamická viskozita tekutiny (filtrátu; Pa.s), b – tloušťka kalového koláče (m).

Závislost tlaku na proteklém objemu filtrátu nebo protékajícího objemu při konstantním tlaku lze odvodit z této rovnice.

Odpor filtrační přepážky lze obvykle zanedbat. Měrný odpor filtračního koláče závisí u stlačitelného koláče na filtračním tlaku.

Filtrace kalolisy

Mechanizované kalolisy (obr. 6.) jsou tlakové rámové filtry vybavené mikroprocesorovým řízením. Kalolis může být osazen

klasickými komorovými deskami nebo membránovými deskami, jejichž výhodou je zvýšení kapacity filtru, ale desky mají omezenou životnost.

Filtrační cyklus (obr. 7.) při filtraci na membránovém kalolisu je sestaven z fáze filtrace (u zahuštěného podílu trvá 5–7 min), vylisování koláče, promytí (10 min) a dolisování koláče, vysušení tlakovým vzduchem (15 s) a shoz filtračního koláče (12–15 min).

Při lisování koláče (fáze C) je pod membrány na desce napuštěno tlakové médium, obvykle vzduch či voda, čímž se ještě ne zcela dotvořený koláč ztuhne a je z něho vytlačena přebytečná kapalina.

Tlakování membrán je potřeba věnovat značnou pozornost a vyplatí se řídicí program vybavit několikanásobným jistěním. Při natlakování membrán na prázdném filtru dojde k nevratnému poškození membrán (odtržení od nosné desky), a tím ke škodě pohybující se v řádu desítek tisíc korun u jedné desky s pevnými membránami, u desek s oddělitelnými membránami k vyražení membrán a k dlouhému prostoji v provozu. Pokud je filtr uzavřen, ale není ještě dostatečně naplněn kalem, může docházet k přílišnému vytahování membrán při jejich natlakování, což snižuje jejich životnost. Tento případ je na obr. 7. znázorněn pod písmenem „H“.

Vzhledem k těmto rizikům se membránové kalolisy již spíše nepoužívají. Při práci s komorovým kalolisem odpadají oproti předchozímu režimu lisovací operace.

Kalolisy mají ve srovnání s jinými způsoby filtrace tyto podstatné výhody:

- malé nároky na filtrační vlastnosti kalu,
- nízký obsah cukru v kalu,
- vysoká sušina kalu v porovnání s vakuovými filtry (výhodné pro jeho odvoz, manipulaci a skladování).

Filtrační plocha jednoho filtru pro cukrovarnické účely bývá 100–300 m^2 . Filtrát se odvádí společným potrubím tvořeným filtračními deskami – jedná se o kanál vytvořený otvory ve filtračních deskách.

Obr. 6. Kalolis MEKO osazený membránovými deskami, dodavatel VUC Praha



Filtrace na zahušťovacích filtrech

Tyto filtry slouží podobně jako dekantéry k získání zahuštěného podílu 1. nebo 2. saturované šťávy. U všech těchto typů zahušťovacích filtrů má filtr tvar vertikální válcovité nádoby s kónickým dnem, filtry se liší uspořádáním a tvarem vložek a systémem shazování kalu. V porovnání s kalolisem jde o kontinuální zařízení, výstupem z filtru není pevný saturační kal, ale zahuštěná suspenze saturační sraženiny.

Výhodou zahušťovacích filtrů je oproti dekantéru zaručená nízká doba zdržení, nevýhodou je omezení výkonu při nekvalitním kalu, složitost a vyšší cena zařízení. Saturační sraženina především nesmí vytvářet mazlavý koláč, neboť pak dochází k rychlému ucpání pórů filtračního

materiálu, a tím ke zvýšení odporu plachetky a měrného odporu kalového koláče.

Další možností využití zahušťovacích filtrů je dofiltrace lehké šťávy (filtrace 2. saturované šťávy je v tomto případě dvoustupňová).

V Česku jsou instalovány zahušťovací filtry ZVU typ KZF, filtry Grand Pont, filtry Putsch svíčkového typu a filtry DiaStar.

2. saturace

Hlavním úkolem 2. saturace je snížit obsah vápníku ve šťávě na minimum a dále zvýšit čistotu šťávy. Neodstraní-li se dostatečně vápenaté soli, odparka rychle inkrustuje. Sraženina z 2. saturace obsahuje téměř čistý uhličitán vápenatý a jen malé množství vysrážených a adsorbovaných necukrů.

Alkalita po 2. saturaci závisí při normální práci hlavně na přítomnosti K_2CO_3 . Tento nadbytek K_2CO_3 se nazývá přirozená alkalita. Přirozená alkalita je dvojitá:

- Teoretická přirozená alkalita je nadbytek K_2CO_3 (Na_2CO_3 , KOH nebo NaOH), který zůstane v roztoku po maximálně teoreticky dosaženém odstranění vápenatých solí.
- Praktická přirozená alkalita je nadbytek K_2CO_3 (nebo KOH), který zůstane v saturované šťávě po prakticky dosaženém vysrážení Ca^{2+} . Praktická přirozená alkalita je vždy vyšší než přirozená alkalita teoretická.

Přirozená alkalita je vždy vysoká v mokřých letech, u dlouho skladované a nezralé řepy je nízká.

Nádoby pro 2. saturaci jsou principiálně podobné nádobám pro 1. saturaci. Potřebná teplota je asi 90–95 °C. Využití saturačního plynu je na 2. saturaci menší než na 1. saturaci. Optimální alkalita se stanovuje minimálně 1× týdně laboratorním saturačním pokusem.

Zrání 2. saturované šťávy a úprava lehké šťávy

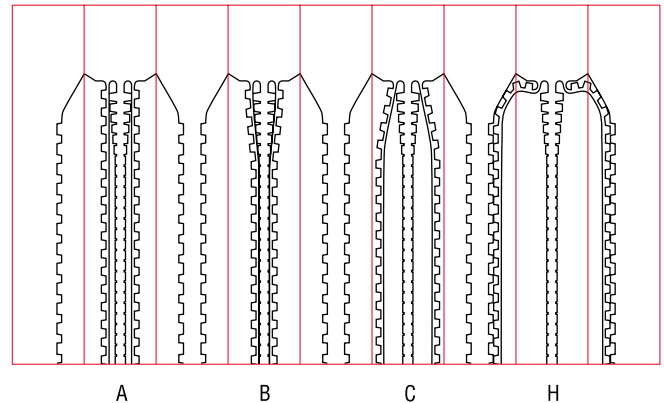
Aby lehká šťáva obsahovala minimum vápenatých solí, musí plně proběhnout krystalizace uhličitánu vápenatého v 2. saturované šťávě a současně musí být minimalizován obsah hydrogenuhlíčitých iontů. Posunu této rovnováhy se dosahuje působením intenzivního míchání v nádrži. Pro vlastní krystalizaci $CaCO_3$ je důležitá doba zdržení šťávy při této operaci, měla by být asi 20 min.

Změkčování šťávy je možné provádět chemicky nebo ionexy, smyslem je zabránit inkrustacím na odparce. Změkčování cukerné šťávy je pochopitelně složitější než změkčování vody vzhledem k jinému poměru jednomocných a dvojmocných iontů v lehké šťávě a k přítomnosti organických látek. Ekonomicky je velmi výhodný postup regenerace vyčerpaného katexu těžkou šťávou, která vznikne odpařením změkčené šťávy lehké.

Velmi nízkou přirozenou alkalitu lze upravit přidávkou sody, NaOH nebo MgO do nefiltrované či filtrované 1. saturované šťávy. Předností aplikace hořecnatých iontů je jejich menší schopnost vázat cukr do melasy oproti iontům sodným (nižší melasotvornost).

Jak bylo uvedeno v předchozím dílu (kapitola Síření), ke snížení barvy lehké šťávy se u nás obvykle používá síření oxidem siřičitým. Oxid siřičitý zabraňuje další tvorbě barevných látek blokováním karboxylové skupiny redukujících cukrů, čímž se brání Maillardově reakci. Současně se i zabraňuje tvorbě polyfenolových barevných látek. Aby bylo možné sít lehkou šťávu,

Obr. 7. Fáze činnosti membránového kalolisu



A – membránová deska v klidu, B – fáze filtrace, C – tlakování membrán, H – vytahování membrán při nedostatečně naplněném kalolisu.

je nutné předem zajistit dostatečnou přirozenou alkalitu šťávy, neboť při reakci se uhličitany vymění za siřičitany.

Z hlediska vhodného využití plynu je nutné sladění sytícího procesu s chodem sířící pece vhodné konstrukce.

Literatura

- REINEFELD, E., MIEHE, D.: „Beobachtungen und Untersuchungen im Saftreinigungprozess“. *Zuckerind.*, 113, 1988, s. 15–20.
- HENKE, S. ET AL.: *Technologie cukru*. Praha: Vydav. VŠCHT, 2024.
- VAN DER POEL, P. W.; SCHIWECK, H.; SCHWARTZ, T.: *Sugar Technology. Beet and Cane Sugar Manufacture*. Berlin: Bartens, 1998.
- ŠÁRKA, E.: Activation of carbonation slurry concentrate – a method of saving limestone. *Zuckerind.*, 124, 1999, s. 411–414.
- GRABKA, J.; BARYGA, A.: Možnosti zvýšení kvality šťávy při epuraci s aktivovaným kalem. *Listy cukrov. řepář.*, 118, 2002, s. 218–223.
- KOVAŘÍK, A.: Výzkum a vývoj v cukrovarnickém průmyslu. *Listy cukrov.*, 95, 1979, s. 253–256.
- ŠÁRKA, E.: Doby zdržení šťávy při epuraci. *Listy cukrov. řepář.*, 111, 1995, s. 158–161.

ROZHLEDY

Rackemann D., Marasinghe Ch. Optimalizace pH pro minimalizaci rozkladu šťávy během odpařování (Optimisation of pH for minimising juice degradation during evaporation)

Během odpařování šťávy může docházet ke ztrátám sacharosy v důsledku degradačních reakcí, které jsou ovlivněny teplotou, pH, dobou zdržení a obsahem sušiny. Vliv teploty lze kontrolovat pomocí návrhu procesu a zařízení. pH šťávy lze optimalizovat a snížit jeho vliv na rozkladné reakce. Byl proveden odběr vzorků šťáv z odpařovací stanice složené ze šesti Robertových odpařováků v sérii pro různé hodnoty pH šťávy a analyzovány ztráty sacharosy a celkový pokles pH. Naměřené ztráty byly porovnány s prediktivními korelacemi a ukázaly se jako velmi shodné. Byly simulovány dvě strategie regulace pH s cílem minimalizovat rozklad sacharosy a dopady na zpracování. Výsledky modelování zdůrazňují potenciální přínosy.

Sugar Ind., 149, 2024, č.3, s. 201–207.

Kadlec