

LABORATORNÍ PŘÍSTROJE A POSTUPY

VYHODNOCENÍ KVALITY CUKROVKY POMOCÍ KRYSTALIZAČNÍCH TESTŮ S TĚŽKOU ŠTÁVOU

ZDENĚK BUBNÍK A PAVEL KADLEC

Ústav chemie a technologie sacharidů, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
e-mail: zdenek.bubnik@vscht.cz

Došlo dne 23.IV.2002

Klíčová slova: výtěžnost cukru, kvalita cukrovky, krystalizační testy

Úvod

Jedním ze základních ukazatelů, jež charakterizuje úspěšnost získávání sacharosy z cukrovky, je výtěžnost bílého cukru. Z ekonomického pohledu je zapotřebí klást důraz na minimalizaci výrobních nákladů při maximální výtěžnosti. Na výtěžnost cukru má vliv celá řada faktorů, zejména technologická jakost cukrovky, technika použitá jak při sklizni, tak i při následném zpracování a technologická kázeň u zpracovatele v cukrovaru.

Technologickou jakostí cukrovky se rozumí komplex mnoha vlastností řepy, mezi které patří vedle chemického složení též vlastnosti biologické, fyzikálně-chemické i mechanické. Z biologických vlastností jsou to zejména: tvar, velikost a hmotnost bulvy, její vyzrállost, zdravotní stav, odolnost vůči skládkovým chorobám, aktivita enzymů (především invertasy) a mikrobiologická činnost. Z mechanických vlastností jsou důležité, jak z hlediska sklizně, dopravy a skladování, tak i vlastního zpracování: pevnost, pružnost a odpor k řezání. Konečně z fyzikálně-chemických vlastností se uplatňují při těžení a čištění šťávy pH řepné šťávy a její osmotický tlak.

Otázce technologické jakosti cukrovky se věnuje zvýšená pozornost jak ze strany pěstitelů, tak i cukrovarnických technologů u nás i v mezinárodním měřítku. Významné aktivity vyvíjí zejména mezinárodní organizace cukrovarnických technologů C.I.T.S., která má ustavenou sekci Technologická jakost cukrovky. Na zasedáních vědeckého výboru C.I.T.S., jsou pak prezentovány odborné referáty^{1,2} k tomuto tématu prakticky ze všech cukrovarnických významných zemí Evropy.

Chemické složení cukrovky má rozhodující vliv na kvalitu šťáv a je dáno zejména obsahem popelovin (tj. draselných a sodných solí), dusíkatých sloučenin (α -aminodusík, betain a jiné) a dále např. monosacharidů, organických kyselin aj. Z hlediska kvality cukrovky jsou nejdůležitější tzv. melasotvorné látky, jež mají schopnost zvyšovat rozpustnost sacharosy. Kvantitativně je melasotvornost (neboli míra zadržení cukru v melase) vyjádřena melasotvorným koeficientem ne-

cukrů MK . Je to bezrozměrné číslo vyjádřené hmotností cukru, kterou jednotka hmotnosti necukru zadržuje v melase. Z hlediska melasotvornosti se necukry rozdělují do tří skupin:

- silně melasotvorné ($MK > 2,4$)
- středně melasotvorné ($0,8 \leq MK \leq 1,1$)
- slabě melasotvorné ($MK < 0,8$)

K nejvíce melasotvorným necukrům patří sodík, draslík a α -aminodusík. Tyto látky se také nejvíce vyskytují v empirických vztazích, které jsou v různých zemích odvozovány s cílem kvantifikovat uvedené efekty. V našich předchozích pracích^{3,4} jsme uvedli přehled výpočetních vztahů, používaných pro výpočet teoretického zůstatku cukru v melase v závislosti na složení řepy a provedli rozbor dvou nejnámějších výpočetních vztahů, a sice Reinefeldova vzorce⁵ a nového Braunschweigského vzorce⁶.

Obecný tvar vztahu pro výpočet teoretického zůstatku cukru v melase v závislosti na koncentraci alkalických kovů a amidového dusíku lze vyjádřit rovnicí:

$$C_M = a [K + Na] + b [\alpha N] + c \quad (1)$$

kde C_M je teoretický zůstatek cukru v melase (hm.%, vztaženo na řepu), $[K + Na]$ – koncentrace iontů K^+ a Na^+ v řepě (mol/dt = mmol/100 g řepy), $[\alpha N]$ – koncentrace α -aminodusíku v řepě (mol/dt), a, b, c – empirické koeficienty.

Nejnámějším vztahem je Reinefeldův vzorec⁵:

$$C_M = 0,343 [K + Na] + 0,094 [\alpha N] - 0,31 \quad (2)$$

Výsledkem nákladného výzkumu, který byl organizován Zuckerinstitutem Braunschweig v Německu, byl tzv. nový Braunschweigský vzorec⁶ pro výpočet C_M , kde jako proměnné opět vystupují analytické hodnoty koncentrace iontů alkalických kovů a amidového dusíku v řepě:

$$C_M = 0,12 [K + Na] + 0,24 [\alpha N] + 0,48 \quad (3)$$

Vhodnost uvedených vztahů byla ověřována i pro naše podmínky⁴. Jak ukázaly vypočtené výsledky, pro aplikaci vztahů v podmínkách jiných zemí, a to platí i pro Českou republiku, je nezbytné provést zpřesnění vztahu rozsáhlým doplňováním provozních dat a jejich statistickým zpracováním nebo na základě vlastních experimentů.

V této práci shrnujeme rozsáhlé experimenty z oblasti hodnocení kvality cukrovky, které byly prováděny v minulém desetiletí na Ústavu chemie a technologie sacharidů VŠCHT ve spolupráci s VUC Praha, a. s. Výzkum byl založen na vlastní metodice, která vycházela z krystalizačních testů s těžkou šťávou. Dílčí výsledky výzkumu byly publikovány v několika předchozích sděleních⁷⁻¹⁰.

Experimentální část

Hlavní oblasti experimentální práce je možno shrnout do čtyř základních okruhů:

- vývoj metodiky na stanovení technologické kvality cukrovky,
- způsob výběru rajónů, odběru a zpracování vzorků,
- návrh, simulace a modelování krystalizačních postupů s těžkou šťávou, včetně vypracování potřebného software,
- vyhodnocení vztahů mezi teoretickým zůstatkem cukru v melase a složením cukrovky.

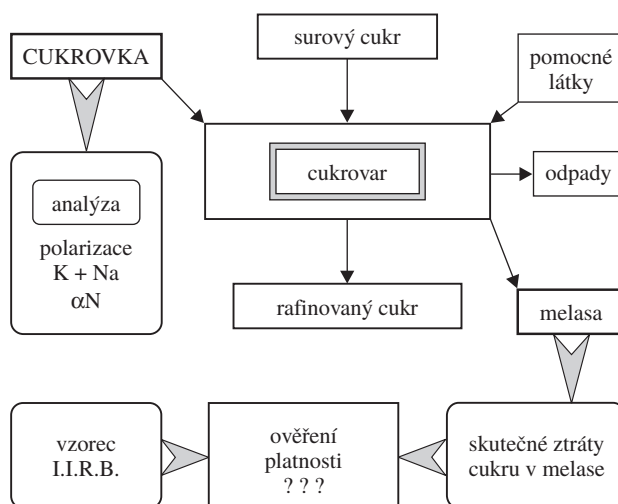
Vývoj a ověření metodiky byly základními a podmiňujícími parametry pro řešení zadaných cílů. Bylo nutno vyřešit především způsob vzorkování odpovídajících si vzorků řepy a těžké šťávy, navrhnout a realizovat krystalizační aparaturu včetně separačních a regulačních prvků, a konečně vyvinout software pro bilance, modelování, simulace, přípravu a vyhodnocování krystalizačních testů. Uvedený soubor úkolů byl řešen v průběhu celého projektu a na základě získaných výsledků byl neustále zpřesňován a zdokonalován. Celá metodika i její jednotlivé části a podpůrné programy byly již částečně publikovány^{8,9,11}, a proto budou v dalším textu zmíněny pouze hlavní principy.

Princip metody na stanovení technologické kvality cukrovky

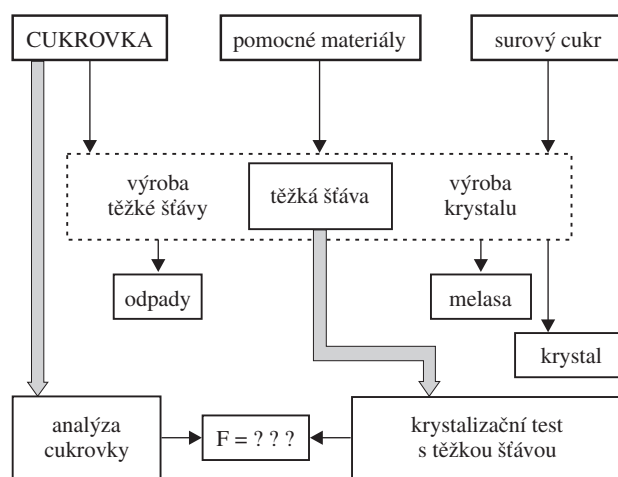
Základní úvahy při návrhu metody jsou graficky znázorněny na obrázcích 1 a 2. Na obrázku 1 je schematicky znázorněn standardní a dosud používaný postup zkoumání vlivu kvality řepy na výtěžnost v předcházejících pracích. Porovnání mezi složením řepy a odpovídající melasy je zatíženo značnou nepřesností, neboť časová diference mezi okamžikem zpracování řepy a získáním melasy je až několik dnů, což téměř znemožňuje získat zcela korespondující vzorky. Situace je dále zkomplikována faktem, že v některých cukrovarech je současně zpracováván surový cukr z jiných závodů a do procesu jsou vnášeny necukry s jiným složením. Tyto necukry též přecházejí spolu s řepnými necukry do melasy. Uvedené závěry vysvětlují příčiny velkých rozdílů mezi skutečnými ztrátami cukru v melase a mezi hodnotami vypočtenými z teoretických vztahů zahrnujících složení vybraných řepných necukrů, což ve svém důsledku brání uplatnění získaných poznatků v praxi.

Náš návrh řeší výše uvedené problémy způsobem, jenž je schematicky naznačen na obrázku 2. Jako meziprodukt plně charakterizující složení melasotvorných necukrů řepy a korespondující zpracovávané partii řepy, byla vybrána těžká šťáva. Zdržení mezi řepou a těžkou šťávou je jen několik hodin, a metoda tak umožňuje získat odpovídající si vzorky. Z dalších výhod je možno uvést, že složení necukrů není ovlivněno žádným cizím vstupem.

Hlavním procesem navržené metodiky je transformace těžké šťávy na melasu. Tento proces byl modelován podle skutečné průmyslové výroby v cukrovaru, tj. s cílem zachovat základní podmínky, při nichž výroba cukru probíhá. Podstatou procesu je dvoustupňová krystalizace, jejíž schéma je zobrazeno na obrázku 3. V prvním stupni probíhá krystalizace za izotermního odpařování, matečný sirob je po dosažení určité čistoty (příp. daného obsahu krystalů v cukrovině) odseparován a podroben analýze. Zbytek sirobu je podroben krystalizaci ve druhém stupni. Zde proces nejprve probíhá opět za izotermního odpařování a pak následuje chladicí krystalizace za atmosférického tlaku. Po dosažení rovnováhy se opět odseparuje matečný sirob (v tomto stupni odpovídá melase) a provede se jeho rozbor.



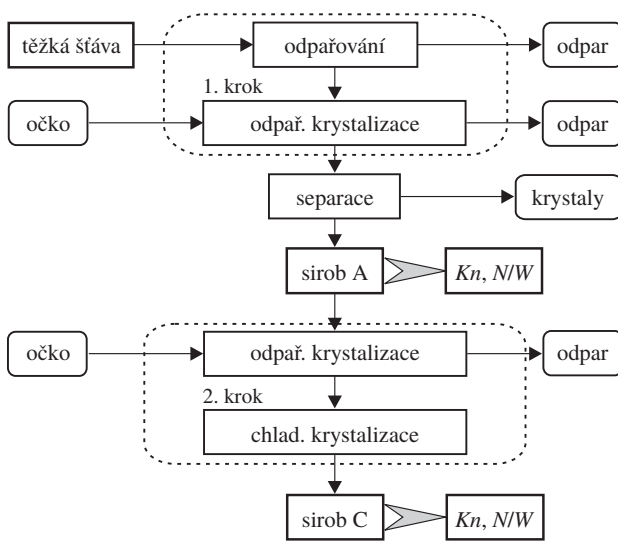
Obr. 1. Schéma postupu při vyhodnocování vztahu mezi složením řepy a výtěžností cukru



Obr. 2. Schéma metody navržené v této práci

Sacharizace S (rozpuštěná sušina v %) a polarizace P (obsah cukru v %) matečného sirobu v rovnovážném stavu, tj. rozpustnost sacharosy při dané teplotě a složení necukrů, je hlavním výstupem krystalizačních testů. Z těchto dat je vypočten koeficient nasycení Kn a poměr necukrů N/W . Koeficient nasycení Kn je definován jako poměr mezi rozpustností sacharosy v technickém a v čistém cukerném roztoku při stejných podmínkách. Rozpustnosti jsou zde vyjádřeny jako hmotnostní poměry sacharosy a vody. Obsah nečistot, které se v cukrovarnictví nazývají necukry, se vyjadřuje jako hmotnostní poměr necukrů $N(\%)$ a vody $W(\%)$.

Pro každou zkoumanou těžkou šťávou je potřeba provést 6 až 8 krystalizačních testů v rozmezí koncentrací necukrů odpovídajících reálně dosahovaným hodnotám v praxi. Pomocí naměřených a vypočtených hodnot dvojic veličin Kn a N/W je pro každou těžkou šťávou vyhodnocen průběh tzv. rozpust-



Obr. 3. Navržené schéma krystalizačního procesu

nostní křivky (tj. závislost koeficientu nasycení Kn na poměru necukrů N/W):

$$Kn = A \cdot N/W + B + (1 - B) \cdot \exp(C \cdot N/W) \quad (4)$$

Další důležitou ideou navrženého postupu je výpočet čistoty melasy pro tzv. „standardní podmínky“, jež je možno definovat pro daný region (stát) a pro daný standardně používaný technologický postup výroby cukru. Pro podmínky České republiky navrhuje na základě dlouholetých technologických ukazatelů následující data: teplota $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, konečné přesycení matečného sirobu $Kp = 1,075$ a poměru necukrů $N/W = 2,4$. Koeficient přesycení Kp je definován jako poměr mezi koncentrací sacharosu v přesyceném a nasyceném cukerném roztoku. Koncentrace sacharosu jsou zde opět vyjadřovány jako hmotnostní poměry sacharosu a vody. V některých zemích EU je čistota při standardních podmínkách nazývána jako „Target Molasses Purity“ (TMP).

Hodnota stanovené čistoty melasy – TMP při zvolených standardních podmínkách je charakteristikou dané řepy a odpovídající těžké šťávy a může být tedy korelována s analytickými rozborů dané řepy a příslušné těžké šťávy. Bilančním výpočtem za použití vyhodnocené veličiny TMP a složení příslušné těžké šťávy je možno získat údaj o množství cukru v melase. Při zahrnutí výrobních ztrát, např. 0,6 hm.%, vztaženo na řepu, můžeme vypočítat výtěžnost bílého cukru z řepy. Vztahy získané v dostatečně rozsáhlého počtu měření umožňují pozvednout metodiku hodnocení kvality cukrovky na kvalitativně mnohem vyšší úroveň a poskytují řadu velmi cenných výstupů:

- nákup cukrovky podle skutečně získatelného cukru,
- ocenění sort cukrovky z hlediska šlechtitelského,
- volbu nejvhodnější odrůdy v daném rajonu,
- optimalizaci způsobu výživy cukrovky,
- vhodnost daného druhu cukrovky pro alternativní užití.

Způsob výběru rajónů, odběru a zpracování vzorků

Při výběru míst odběrů vzorků v cukrovarech bylo nutno brát v úvahu, zda výkup a zpracování cukrovky v cukrovaru jsou organizovány postupně podle jednotlivých pěstitelů. To znamená, že po určitou dobu (požadovány alespoň 2 směny) je zpracovávána řepa od jednoho dodavatele.

Dále bylo nutno sledovat, zda je v cukrovaru používán standardní způsob epurace (čištění šťáv), tj. bez změkčování šťáv výměnou iontů, bez přídavku MgO a dalších zásahů – např. přídavek fosforečnanu sodného na odparce, alkalizace šťáv a pod. Bylo nutno stanovit co nejpřesněji zdržení mezi vstupem řízků do extraktoru a výstupem odpovídající těžké šťávy z odparky.

Při vlastním odběru a zpracování vzorků se postupovalo následujícím způsobem:

- v době zpracování řepy od daného pěstitele byly po dobu 12 až 16 hodin odebrány v hodinových intervalech sladké řízky a po stanovené době zdržení po stejnou dobu a ve stejných intervalech vzorky těžké šťávy (1 kg šťávy za hodinu nebo 0,5 kg šťávy každých 30 minut),
- pro jednu vyhodnocovanou partii cukrovky se celkem odebralo 10 l šťávy, které se spojily do 1 vzorku. Pro lepší skladovatelnost byl vzorek konzervován formaldehydem a skladován v chladné místnosti,
- u řízků byla stanovena polarizace, α -aminodusík a popel, výluh byl dále skladován ve zmrazeném stavu pro pozdější stanovení obsahu alkalických kovů a zemin, betainu, redukujících látek (glukosy a fruktosy) a případně i dalších látek,
- u vzorků těžké šťávy byla stanovena sacharizace, polarizace a popel a část vzorku byla uchována pro další rozborů,
- byl sestaven grafický průběh jednotlivých sledovaných parametrů, a tím bylo možno zkontrolovat, zda se jedná o cukrovku s vyrovnanými vlastnostmi, a případně vyloučit část krajních vzorků.

Použité analytické metody vycházejí ze standardní metody pro cukrovnické laboratoře¹².

Návrh, simulace a modelování krystalizačních postupů s těžkou šťávou včetně vypracování potřebného software

Rozhodujícím procesem celé vyvinuté metody jsou krystalizační testy s těžkou šťávou. Celý krystalizační proces i experimentální aparatura procházely během řešení projektu vývojem s cílem získat obecněji použitelnou metodu pro cukrovnické laboratoře a dále zvýšit produktivitu práce, tj. zkrátit proces a provést v daném časovém úseku na daném zařízení co největší počet testů.

První návrh krystalizačního postupu zjednodušeným způsobem modeloval proces probíhající v průmyslových aparátech. Jednalo se o schéma, jehož blokový diagram je znázorněn na obrázku 3. V prvním stupni byl krystalizován sběrný vzorek těžké šťávy. Po zahuštění při $80 \text{ }^\circ\text{C}$ na přesycení 1,10–1,15 a zaočkování krystaly o střední velikosti 0,02–0,05 mm byla těžká šťáva navářena při stejné teplotě po dobu 4–5 h. Ze získané cukroviny (suspenze) byly odděleny 3 vzorky, které byly použity jako základ pro následné krystalizace ve druhém stupni. Krystaly byly tlakově odfiltrovány a získaný matečný

sirob byl použit k naváření ve druhém stupni, které probíhalo opět za podtlaku při 80 °C po dobu 3–6 h. Rovnovážného stavu pak bylo dosaženo následující chladicí krystalizací v závislosti na konečné čistotě matečného sirobu za 12–20 h. Po skončení pokusu byl nasycený matečný sirob separován na tlakovém filtru. Cílem tedy bylo získat 3 cukroviny, jejichž matečné siroby měly poměr necukry/voda v rozmezí hodnot 1,5 až 3,0 g necukrů na 1 g vody. Tento proces sice splnil zadané požadavky a byl úspěšně aplikován např. při řešení projektu⁷ GA ČR, ale na druhé straně byl velmi pracný a výsledná produktivita byla nízká. Vzhledem k výše popsaným důvodům byly studovány další krystalizační postupy. Jako nejlepší řešení byla vyhodnocena jednostupňová odpařovací krystalizace s periodickým odběrem tuhé fáze. Tato metoda⁸ zvýšila produktivitu práce na jedné laboratorní aparatuře na dvojnásobek, tj. během 1 týdne bylo možno provést na 1 zařízení krystalizační test se 4 různými těžkými šťávami.

Krystalizační aparatura a postup práce

Vyvinutá krystalizační aparatura umožnila studovat různé fáze a typy postupů při krystalizaci těžké šťávy i jiných technických cukerných roztoků, což umožnilo určitou optimalizaci při výběru a modifikacích navrhovaných postupů. Při těchto pracích byla získána řada cenných výsledků i v oblastech modelování a dynamické simulace procesů, vyhodnocování kinetických parametrů krystalizace a nukleace, počítačového monitorování a řízení krystalizačního procesu a hmotnostní a entalpické bilance procesů^{10,11,13}. Schéma použité laboratorní krystalizační aparatury a jeho podrobný popis, včetně pracovního postupu a způsobu odběru vzorků bylo detailně popsáno v práci⁸.

Postup při vyhodnocování výsledků

Z rozborů nasycených matečných roztoků byly vypočteny hodnoty koeficientů nasycení Kn a hmotnostního poměru necukrů a vody N/W . Regresní analýzou byly vypočteny koeficienty závislosti $Kn = f(N/W)$, nazývané též rozpustnostní křivka. Pomocí rozpustnostní křivky byla pro zvolené standardní podmínky vypočtena čistota „cílové“ melasy, TMP. Pro cukrovary v České republice byly navrženy podle dlouhodobých průměrných výsledků rozborů melas následující standardní podmínky: konečná teplota chlazení zadinové cukroviny 50 °C, koeficient přesycení $Kp = 1,075$ a hmotnostní poměr necukrů a vody $N/W = 2,4$ g necukrů na 1 g vody. Čistota TMP může sloužit buď přímo ke korelaci se složením např. těžké šťávy nebo může být použita k výpočtu teoretického zůstatku cukru v melase či výtěžnosti cukru z řepy nebo z těžké šťávy.

Výsledky a diskuse

Ověření metodiky na modelových vzorcích

O tom, že metodu krystalizačních testů je možné aplikovat na předpověď teoreticky dosažitelné výtěžnosti cukru z dané těžké šťávy, svědčí výsledky testů s modelovými roztoky těžké šťávy, ve kterých byl měněn obsah hlavních melasogenních necukrů – draslíku, sodíku, αN (reprezentovaného kyselinou

Tabulka I
Výsledky krystalizačních testů s modelovými roztoky těžké šťávy

Obsah látky [%]	Původní těžká šťáva	Přídavek			
		[K + Na] 100 %	[K + Na] 200 %	[Mg] 100 %	[αN] 100 %
K	0,47	0,94	1,41	0,47	0,47
Na	0,09	0,18	0,27	0,09	0,09
MgO	0,23	0,23	0,23	0,55	0,23
Kys. glutamová	0,030	0,030	0,030	0,030	0,060
Kys. asparagová	0,003	0,003	0,003	0,003	0,006
Q_{TMS}	57,4	62,7	64,8	55,7	63,0

glutamovou a asparagovou) a také hořčíku. Výsledky jsou dokumentovány v tabulce I.

Přídavek melasogenních látek zvýšil rozpustnost sacharosu, což mělo za následek získání výsledného matečného sirobu o vyšší čistotě. Zdvojnásobení obsahu alkalických kovů vyvolalo zvýšení čistoty melasy z 57,4 na 62,7, ztrojnásobení obsahu těchto látek dále zvýšilo čistotu melasy na 64,8 %. Podobnou tendenci zvýšení čistoty vykázal též zdvojnásobený přídavek kyseliny glutamové a asparagové (zvýšení čistoty na 63,0 %). Opačný účinek prokázal přídavek MgO, kde výsledná čistota melasy poklesla na hodnotu 55,7 % oproti původnímu vzorku těžké šťávy.

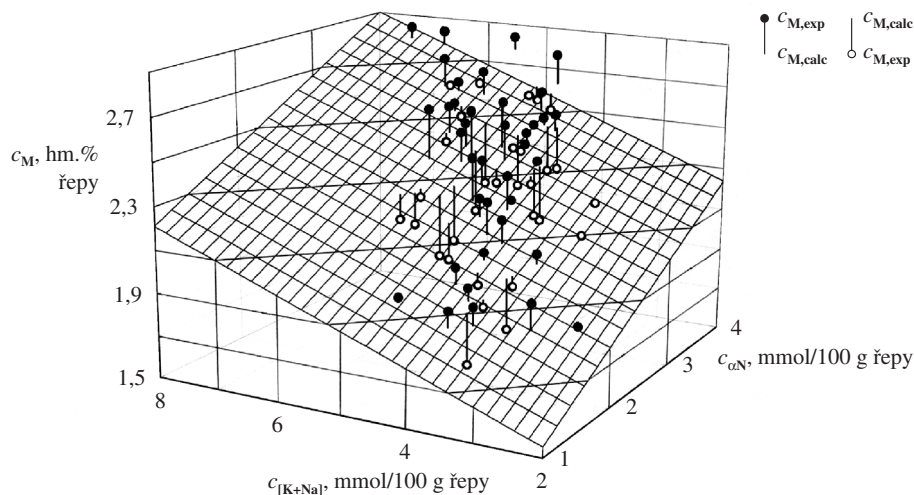
Vytvoření databanky pro pěstitele i zpracovatele cukrovky

Jedním z hlavních cílů práce bylo vyhodnotit vztah mezi teoretickým zůstatkem cukru v melase (výtěžností cukru) a složením cukrovky, pokud možno s co nejširším rozsahem platnosti. Proto bylo snahou vybrat cukrovary ve všech významných řepných rajónech Čech a Moravy. Měření probíhalo v následujících oblastech: severní Čechy (Žatecko), střední Čechy a Kolínsko, východní Čechy (Polabí), střední Morava (Haná), severní Morava a Slezsko.

Rozsáhlé experimenty byly prováděny v minulém desetiletí na Ústavu chemie a technologie sacharidů VŠCHT ve spolupráci s VUC Praha. Úvodní nejrozsáhlejší soubor dat byl získán při řešení grantového projektu⁷ GA ČR. Po ukončení projektu byla vzhledem k velké náročnosti pokusů v dalších letech prováděna jen jednotlivá měření určená k ověření získaných dat i v měnících se klimatických podmínkách. Celkem bylo odebráno 83 sérií vzorků řepy a těžké šťávy, což je dohromady více než 1700 vzorků. Jako série se rozumí 10 po sobě odebraných vzorků sladkých řízků a těžké šťávy, jež odpovídají jedné partii řepy – od jednoho dodavatele, z jednoho rajónu. Z každé série odebraných těžkých šťáv byl proveden jeden krystalizační test.

Vyhodnocení vztahů mezi výtěžností cukru z cukrovky a jejím složením

Výsledky rozborů odpovídajících si vzorků cukrovky a těžké šťávy a z krystalizačních testů s těžkou šťávou byly zpracovány statistickými metodami, především regresní a korelační



Obr. 4. Výsledky statistického zpracování naměřených dat pro závislost obsahu cukru v melase na obsahu draslíku, sodíku a α -aminodisíku

analýzou. Byly hledány a vyhodnocovány vztahy umožňující výpočet teoretického zůstatku cukru v melase (výťažnosti cukru) jako funkce složení rozhodujících melasotvorných necukrů obsažených v cukrovce (tj. koncentrace sodíku, draslíku a α -aminodisíku). Kromě těchto hlavních necukrů byl studován i vliv dalších látek, především betainu, redukujících látek (tj. glukosy a fruktosy) a některých kationtů. Obdobným způsobem byly hledány i vazby mezi složením cílové melasy a výťažností cukru z těžké šťávy.

Pro korelaci se složením cukrovky není hodnota čistoty cílové melasy TMP vhodná, protože nezahrnuje ztráty cukru ve výrobě. Proto bylo počítáno s poměrovými veličinami C_M nebo $C_{MT\check{S}}$ které udávají množství cukru přecházejícího do melasy. Obě uvedené veličiny byly vypočteny pomocí hmotnostní bilance za předpokladu, že množství necukrů v těžké šťávě a melase, jež z ní byla vyrobena, jsou z hlediska přesnosti těchto výpočtů shodné. Pro výpočet veličiny C_M je nutno dále uvažovat výrobní ztráty. Ve shodě se zahraničními zkušenostmi i naší praxí byla zvolena hodnota 0,6 % hmotnosti řepy.

V dalším textu budou uvedeny hlavní výsledky dosažené korelací.

Korelace mezi teoretickým zůstatkem cukru v melase C_M a složením cukrovky

Obsah draslíku a sodíku [K + Na] (mmol/100 g řepy)

Byla vyhodnocena závislost ve tvaru:

$$C_M = 0,19 [K + Na] + 1,38 \quad (5)$$

kde korelační koeficient $r = 0,60$, směrodatná odchylka $s = 0,23$ (10,1 %).

Konduktometrický popel A (%)

U této veličiny byla prokázána korelace a nalezený korelační koeficient dosáhl hodnoty 0,64, směrodatná odchylka $s = 0,28$ (12,1 %). Korelace byla provedena v návaznosti na

statistickou analýzu, která umožnila vyřadit data zatížená hrubou chybou, jejíž příčina nebyla během měření odhalena.

$$C_M = 6,01 A - 0,50 \quad (6)$$

α -Aminodisík αN (mmol/100 g řepy)

Průběh této závislosti ukazuje, že vliv α -aminodisíku je prokazatelný i při jeho samostatné korelaci s hodnotou C_M , a potvrzuje tak významný vliv tohoto necukru na výťažnost cukru:

$$C_M = 0,29 [\alpha N] + 1,47 \quad (7)$$

kde korelační koeficient $r = 0,74$ a směrodatná odchylka $s = 0,19$ (8,4 %).

Glukosa, fruktosa, vápník a betain

Pro doplnění této analýzy byly ještě zkoumány korelace mezi C_M a obsahy glukosy, fruktosy, vápníku a betainu v cukrovce. V žádném z uvedených vztahů se závislost prokázat nepodařilo.

Celkový výsledný vztah pro výťažnost

Koeficienty rovnice, vyjadřující závislost mezi teoretickým zůstatkem cukru v melase C_M a složením řepy byly vypočteny pro celý soubor experimentálních dat. Získaná výsledná rovnice má tvar:

$$C_M = 0,11 [K + Na] + 0,23 [\alpha N] + 1,10 \quad (8)$$

kde směrodatná odchylka $s = 0,17$ (7,4 %). Hodnoty naměřené i vypočtené z rovnice (8) jsou znázorněny v prostorovém grafu na obrázku 4.

Výsledky ukazují velmi důležitý závěr, že α -aminodisík má stoupající nepříznivý vliv na teoretický zůstatek cukru v melase, a tím na výťažnost cukru. Z číselných hodnot koefi-

cientů v rovnici (8) je zřejmé, že koeficient u $[\alpha\text{N}]$ je téměř dvakrát vyšší než u $[\text{K} + \text{Na}]$, což odpovídá dvojnásobně vyššímu efektu α -aminodusíku na výtěžnost, než je vliv koncentrace alkalických kovů.

Korelace mezi složením těžké šťávy a čistotou cílové melasy Q_{TMP}

U závislosti Q_{TMP} na koncentraci alkalických kovů $[\text{K} + \text{Na}]_{\text{TS}}$ v těžké šťávě byl vypočten korelační koeficient 0,65. Korelace mezi Q_{TMP} a obsahem redukujících látek RL, stejně jako mezi Q_{TMP} a obsahem betainu nebyla prokázána, korelační koeficient byl v obou případech menší než 0,3.

Korelace mezi složením těžké šťávy a teoretickým zůstatkem cukru v melase C_{MTS} (vztaženo na cukr v těžké šťávě)

Závislost veličiny C_{MTS} na koncentraci alkalických kovů $[\text{K} + \text{Na}]_{\text{TS}}$ v těžké šťávě se ukázala být, jak bylo očekáváno, ze všech sledovaných závislostí nejtěsnější. To dokazuje i hodnota korelačního koeficientu 0,70. U dalších sledovaných látek v těžké šťávě, tj. u betainu, redukujících látek a vápníku dosahovaly korelační koeficienty pouze hodnot nižších než 0,5.

Závěr

Pro vyhodnocení kvality cukrovky byla navržena a úspěšně ověřena experimentální metodika založená na krystalizačních testech s těžkou šťávou. Byl navržen standardní postup odběrů vzorků a jejich zpracování včetně programů pro přípravu, řízení a vyhodnocení testů. Metodiku je možno využít u šlechtitelů, pěstitelů i zpracovatelů cukrovky pro hodnocení technologické kvality cukrovky.

S využitím nově vyvinuté metodiky byla vyhodnocena kvalita cukrovky v různých rajónech ČR. Na základě dosažených výsledků je možno uvést tyto hlavní závěry:

- Statisticky byl prokázán vliv složení cukrovky a těžké šťávy na zůstatek cukru v melase, resp. závislost výtěžnosti cukru na koncentraci draslíku, sodíku a α -aminodusíku. Byla vyhodnocena rovnice umožňující vypočítat teoretický zůstatek cukru v melase ze složení cukrovky nebo těžké šťávy a dále i očekávanou čistotu cílové melasy.
- Významná korelace byla získána i mezi obsahem konduktometrického popela v cukrovce a těžké šťávě a výtěžností cukru.
- Vliv obsahu redukujících látek (glukosy a fruktosy), hořčičku a vápníku nebyl prokázán.
- Cukernatost řepy neprokázala statisticky významnou korelaci s výtěžností.
- Navzdory tomu, co vyplývá ze stávajících rovnic popisujících vztah mezi teoretickým zůstatkem cukru v melase, resp. výtěžností cukru, a složením cukrovky, byl nalezen výrazně stoupající vliv α -aminodusíku.

Při rozsáhlých experimentech byl získán cenný soubor dat, který má význam i jako dokument současného stavu kvality

cukrovky v ČR. Je možno získat i pohled na používané agrotechnické způsoby (např. hnojení), případně i na kvalitu různých odrůd a vliv půdních podmínek v daném rajónu. Všechny získané údaje jsou uloženy u autorů tohoto článku a jsou k dispozici jednotlivým závodům, pěstitelům i jiným zájemcům.

LITERATURA

1. *Proceedings of the 20th General Assembly of C.I.T.S., Munich, 26–30 June 1995*, str. 85. Verlag, Berlin 1996.
2. *Proceedings of the 21st General Assembly of C.I.T.S., Antwerp, 25–28 May 1999*. Verlag, Berlin 2000.
3. Brůhová P., Bubník Z., Kadlec P.: *Listy cukrov. rep. 111*, 153 (1995).
4. Kadlec P., Bubník Z.: *Listy cukrov. rep. 113*, 294 (1997).
5. Reinefeld E., Emmerich A., Baumgarten G., Winner C., Beiss U.: *Zucker 27*, 2 (1974).
6. Buchholz K., Märländer B., Puke H., Glattkowski H., Thielecke K.: *Zuckerindustrie 120*, 113 (1995).
7. Bubník Z.: *Závěrečná zpráva projektu GA ČR 510/93/0956* (1996).
8. Bubník Z., Kadlec P.: *12th Congress CHISA, Prague, 25–30 August 1996*.
9. Bubník Z., Kadlec P.: *Meeting of C.I.T.S., Marrakech, 15–18 June 1997*.
10. Bubník Z., Kadlec P.: *Proc. ACoFoP IV (Aut. Control of Food and Biological Processes). Gotenborg, 18–21 Sept. 1998*, str. 344.
11. Bubník Z., Kadlec P.: *Ind. Aliment. Agric. 113*, 536 (1996).
12. Friml M, Tichá B.: *Laboratorní kontrola cukrovarnické výroby*, díl A a B. VÚPP STIPP, Praha 1986.
13. Bubník Z., Kadlec P.: *12th International Conference on Crystal Growth ICCG-12, Jerusalem, 26–31 July 1998*. Book of Abstracts, str. 434.

Z. Bubník and P. Kadlec (*Department of Carbohydrate Chemistry and Technology, Institute of Chemical Technology, Prague*): **Quality Evaluation of Sugar Beet by Crystallization Tests with Thick Juice**

The article deals with the evaluation of sugar beet based on crystallization tests of thick juice. A standard methodology was developed of measuring the yield of sugar based on crystallization tests with thick juice, including programs for preparation, control and evaluation of tests and the relations between the composition of nonsugars in sugar beet and the sugar residue in molasses or the yield of sugar. The methodology can be utilized by cultivators and processors of sugar beet for evaluation of technological quality of sugar beet. A valuable result of the project is the extensive data bank of properties of sugar beet pertinent to current conditions of its cultivation in the Czech Republic. The data bank can be used by sugar beet cultivators, the sugar manufacture community and in projects dealing with new perspectives and potentials of sugar beet utilization.