

# Nové možnosti využití hydrocyklonů v cukrovarnické technologii

NEW APPLICATION POSSIBILITIES OF HYDROCYCLONES IN SUGAR TECHNOLOGY

Evžen Šárka<sup>1,2</sup>, Michal Čajan<sup>3</sup>, Vladimír Pour<sup>1,2</sup>, Simona Gillarová<sup>1,2</sup>, Svatopluk Henke<sup>1,2</sup>, Petr Koting<sup>4</sup>, Ivo Mikstein<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Technopark Kralupy Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, Kralupy nad Vltavou

<sup>2</sup> Ústav sacharidů a cereálií, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

<sup>3</sup> Český institut výzkumu a pokročilých technologií – CATRIN, Univerzita Palackého v Olomouci

<sup>4</sup> FUTURECYCLING Technology, a. s., Praha

Hydrocyklony slouží k dělení pevných částic v kapalně fázi; využívají se ke koncentrování suspenzí, dělení částic podle velikosti, hustoty nebo tvaru, k vypírání pevných částic či k odplynění suspenzí. Kromě širokého využití mají řadu dalších výhod, jsou spolehlivé a účinné, mají nízké investiční a provozní náklady, vyžadují minimální údržbu. V potravinářství se využívají především ve škrobárenském průmyslu (oddělování škrobových zrn od hlízové vody, k rafinaci a zahušťování škrobového mléka), při praní brambor ve zpracovatelských technologiích a v průmyslu výroby olejů (1). Ve třtinovém cukrovarnictví jsou hydrocyklony využívány k oddělování písku ze třtinové šťávy (1, 6).

Suspenze se do hydrocyklonu přivádí tangenciálně dýzou v jeho horní části. Část pevné fáze odchází dnem (vrcholem kónusu) hydrocyklonu, řídký podíl odchází víkem s otvorem v jeho horní části. Na pohyb částic v hydrocyklonu má vliv celá řada faktorů, z nichž nejvýznamnější roli hrají hmotnost a rychlost jejich pohybu, tedy hybnost. Z dalších lze potom vyzdvihnout velikost částic, jejich povrchové vlastnosti či viskozitu kapalně fáze.

Ve škrobárenském průmyslu se používají malé hydrocyklonky, které jsou osazeny v hydrocyklonové baterii. Tyto baterie jsou pak řazeny v sérii, což umožňuje oddělování nečistot a rozdělení větších a menších částic škrobu (u pšeničného škrobu označované jako A- a B-škrob) (2, 3, 4).

## Hydrocyklony v řepném cukrovarnictví

Separace písku z vápenného mléka pomocí hydrocyklonů je dnes běžnou součástí hašenky cukrovaru. Praxe ukázala, že nejlépe vyhovuje hydrocyklon o průměru 80–100 mm. Neosvědčily se malé hydrocyklonky, protože průměry trysek jsou příliš malé a snadno se ucpou (5).

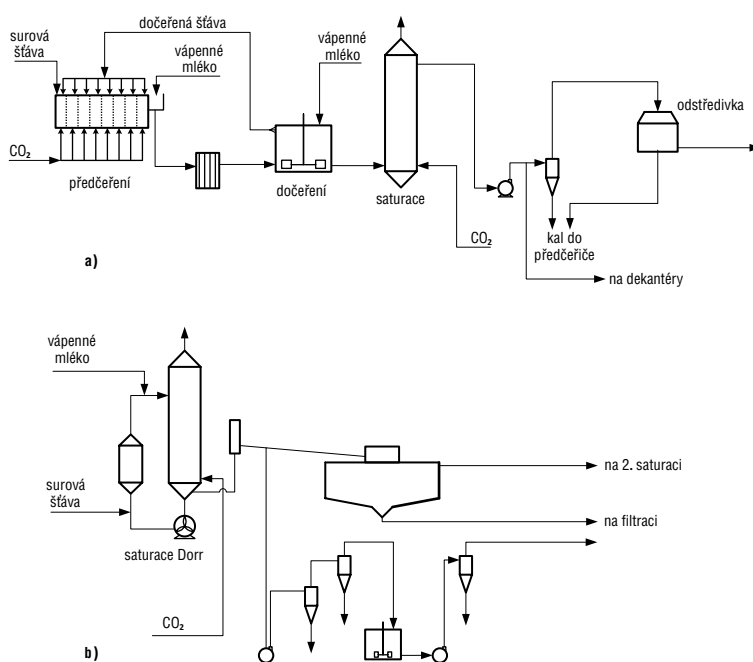
Další možností je využití hydrocyklonů pro epuraci. Již v padesátých letech minulého století bylo zkoušeno zahuštění saturační sraženiny na hydrocyklonech (obr. 1.), v porovnání se šťávou z dekantéru šťáva vystupující z hydrocyklonů byla poněkud zakalená. Hydrocyklony se však osvědčily na separaci

kalu z 2. saturevané šťávy (7). V Belgii Schaus zkoušel systém s oddělováním předčeřené sraženiny v dekantéru, která byla posléze filtrována. Veškerá 1. saturevaná šťáva procházela dvoustupeňovou stanicí hydrocyklonů. Hrubé částice z 1. stupně se vracely do surové šťávy a jemné (z 2. stupně) do poslední zóny předčeřiče (7).

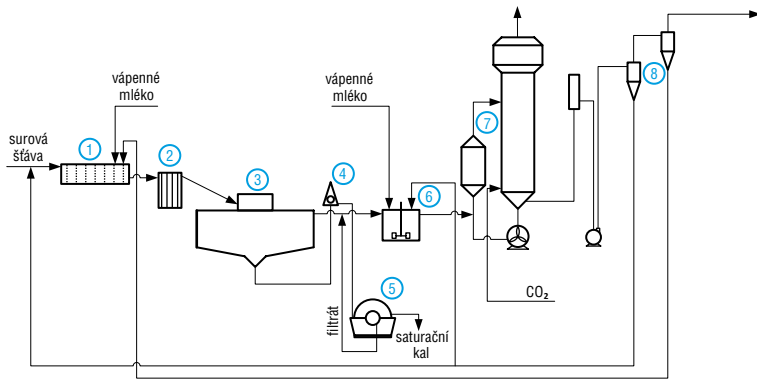
GALE (7) zkoušel promytí saturačního kalu vodou pro jeho dávkování do surové šťávy včetně separace jemných částic pomocí hydrocyklonu (obr. 2.). Docházelo ke snížení spotřeby vápna.

V České republice se se stejným cílem, tedy ke snížení spotřeby vápna v cukrovaru, začátkem devadesátých let zaváděl systém MZ (9, 10, 11). Dělení na hydrocyklonech v technologii MZ potvrzuje (8) efektivní separaci malých a velkých částic (obr. 3.).

Obr. 1. Schémata epuračních linek s prvními aplikacemi hydrocyklonů: a – Německo 1955/1956, b – Itálie 1956)



Obr. 2. Schéma epurace s vypíráním kalu a zařazením hydrocyklonů (7)



1 – předčeřič, 2 – zahřivač, 3 – dekantér, 4 – čerpadlo, 5 – vakuový rotační filtr, 6 – dočeřič, 7 – saturace, 8 – stanice hydrocyklonů

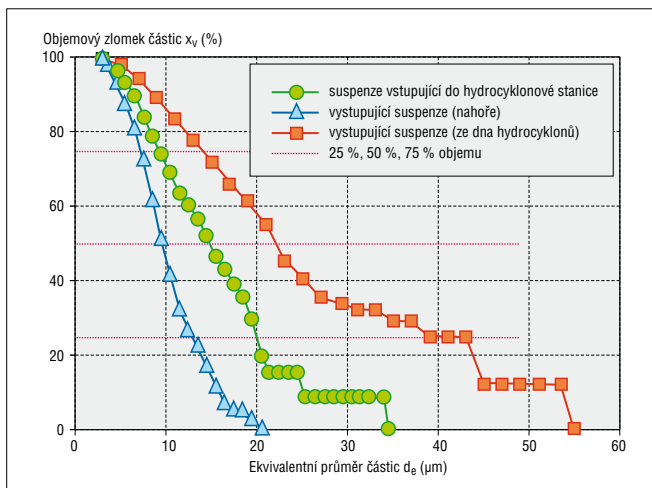
**Použití hydrocyklonů s novou technologií RECLIME**

Systém RECLIME umožňuje snížit spotřebu vápna v epuraci. Schéma technologie je na obr. 4. Stručný popis: Zahuštěný podíl 1. saturované šťávy z dekantéru vstupuje do recyklátoru, jehož hlavní součástí je hydrocyklonová stanice, která dělí vstupní proud na řídký podíl, odcházející k filtraci na kalolisech, a na hustý podíl, který vstupuje do homogenizátoru. Odtud suspenze přechází do reaktoru, kam se přivádí vápnenné mléko, výstupní produkt je označován jako RECLIME mléko, které vstupuje do předčeření, kde zajišťuje progresivní nárůst alkality.

Plnoprovozní epurační linka o kapacitě asi 3 000 t·d<sup>-1</sup> řepy (dále ř.) s technologií RECLIME byla po dobu dvou kampaní (2019/2020 a 2020/2021) úspěšně provozována v cukrovaru Prosenice (Hanácká potravinářská společnost, s. r. o.).

Předpokladem dosažení úspor ve spotřebě vápna bylo zajištění vhodné filtrovatelnosti a sedimentovatelnosti saturační sraženiny. Nižší spotřeba vápna pro epuraci umožnila ve sledovaném období kampaně 2019/2020 dosažení spotřeby vápence pro technologii 13,42 kg·t<sup>-1</sup> ř., ve sledovaném období v kampani 2020/2021 pak dosažení spotřeby vápence 12,91 kg·t<sup>-1</sup> ř. Snížila se rovněž produkce saturačního kalu a emisí saturačního plynu,

Obr. 3. Kumulativní distribuční křivka ekvivalentního průměru částic (8)



s vyplývajícími pozitivními ekonomickými i ekologickými efekty (8).

Nový postup RECLIME neprodukuje žádné odpadní vody ani jiné odpady. K recirkulaci částic saturační sraženiny v porovnání s metodou MZ nepoužívá suspenzi kalu ve vodě, ale ve šťávě.

V technologii je zajištěno bezobslužné automatické řízení včetně zajištění čištění hydrocyklonů.

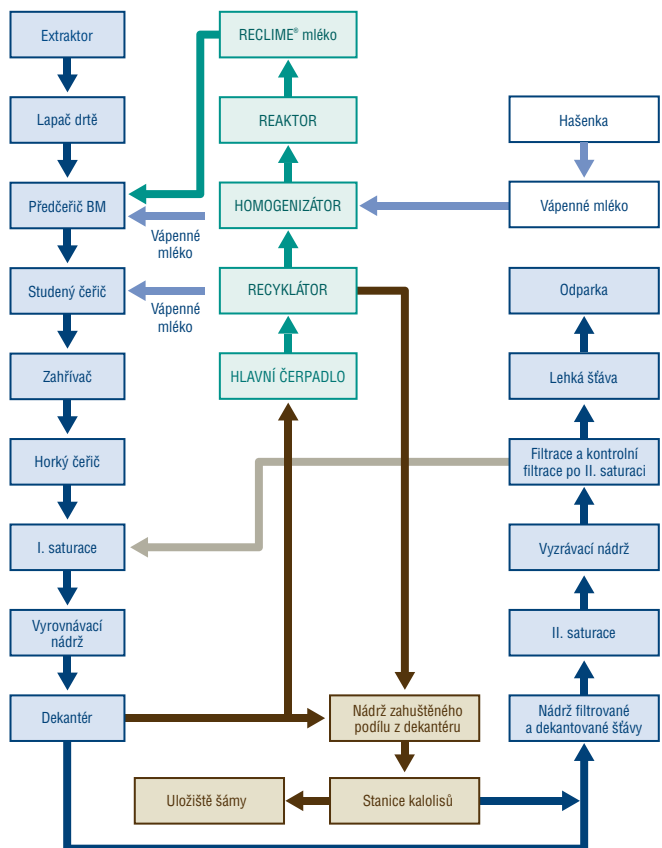
Náš článek se věnuje efektivitě hydrocyklonové stanice v recyklátoru, a to jak z hlediska separace částic kalu, tak i obsažených necukrů. Tento klíčový uzel technologie rozhoduje o velikosti částic kalu v suspenzi odcházející na kalolisy (řídký podíl) a v suspenzi recirkulovaného podílu (hustý podíl) odcházejícího do homogenizátoru. Článek se proto zabývá velikostí částic saturační sraženiny, úzce souvisejících se sedimentovatelností a filtrovatelností saturačního kalu. Mimo to je zaměřen na kvalitu kalu v obou výstupních proudech (obsah anorganických a organických látek).

Technologické zhodnocení celé stanice RECLIME bude předmětem dalšího sdělení.

**Technologické výsledky separace na hydrocyklonech v kampani 2020/2021**

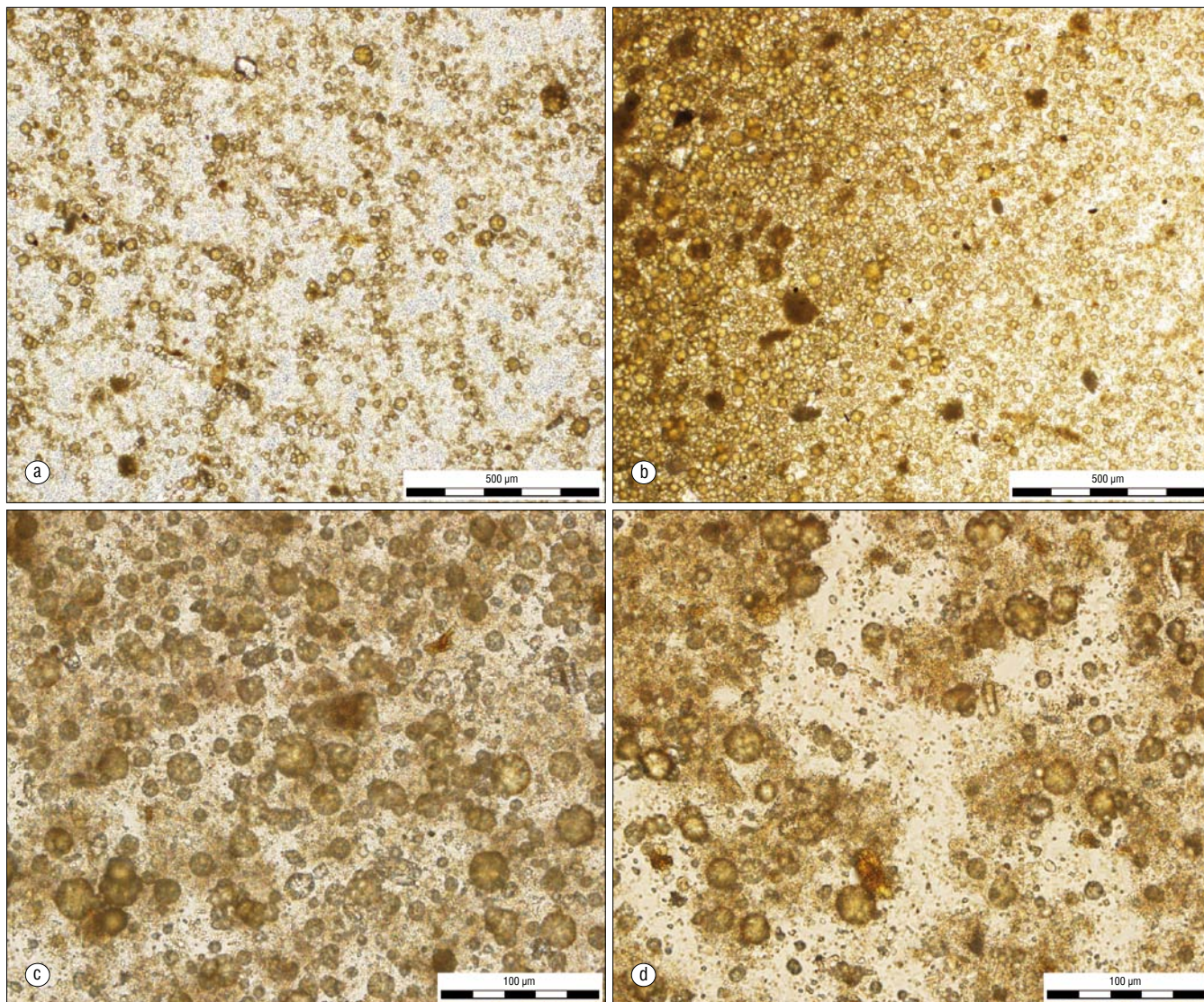
Ke zhodnocení technologických výsledků tohoto úseku technologie RECLIME byla použita řada analytických metod. Pro určení velikosti částic byla využita optická a skenovací elektronová mikroskopie. Ke zhodnocení chemického a prvkového

Obr. 4. Schéma epurace se zařazením technologie RECLIME





Obr. 5. Snímky suspenze řídkého (a, c) a hustého (b, d) podílu z hydrocyklonů při různém zvětšení, vzorek ze 7. 1. 2021



složení anorganických látek v pevné fázi výstupních proudů hydrocyklonů byly využity energiově disperzní spektroskopie, rentgenová fluorescenční analýza a rentgenová difrakční analýza. Obsah rizikových aniontů, které mohou způsobovat inkrustace na topných plochách zahřívačů a odparky, byly sledovány pomocí izotachoforesy. Celkový obsah organických látek ve sraženině byl určen gravimetricky po žihání sraženiny.

#### *Velkost aglomerátů saturačního kalu sledovaná pomocí optické mikroskopie*

Velikost částic byla analyzována pomocí mikroskopu Olympus IX70 s objektivy Olympus CPlan 10×/0,25 PhC a Olympus LUCPlanFLN 40×/0,60 Ph2.

Snímky suspenzí řídkého i hustého podílu jsou prezentovány na obr. 5. Zobrazení s různým zvětšením ukazují, že v suspenzi řídkého podílu jsou větší částice rovnoměrně a relativně volně distribuovány a prostor mezi nimi je vyplněn částicemi malými. Největší částice mají průměr asi 50 μm, nejmenší viditelné potom asi 1 μm. V případě hustého podílu mají částice zjevnou tendenci agregovat do větších uskupení zahrnujících jak částice větší,

maximální průměr se opět pohybuje okolo 50 μm, tak i částice velmi malé. Podíl malých částic je potom výrazně nižší než v případě řídkého podílu.

#### *Měření velikosti částic skenovací elektronovou mikroskopií*

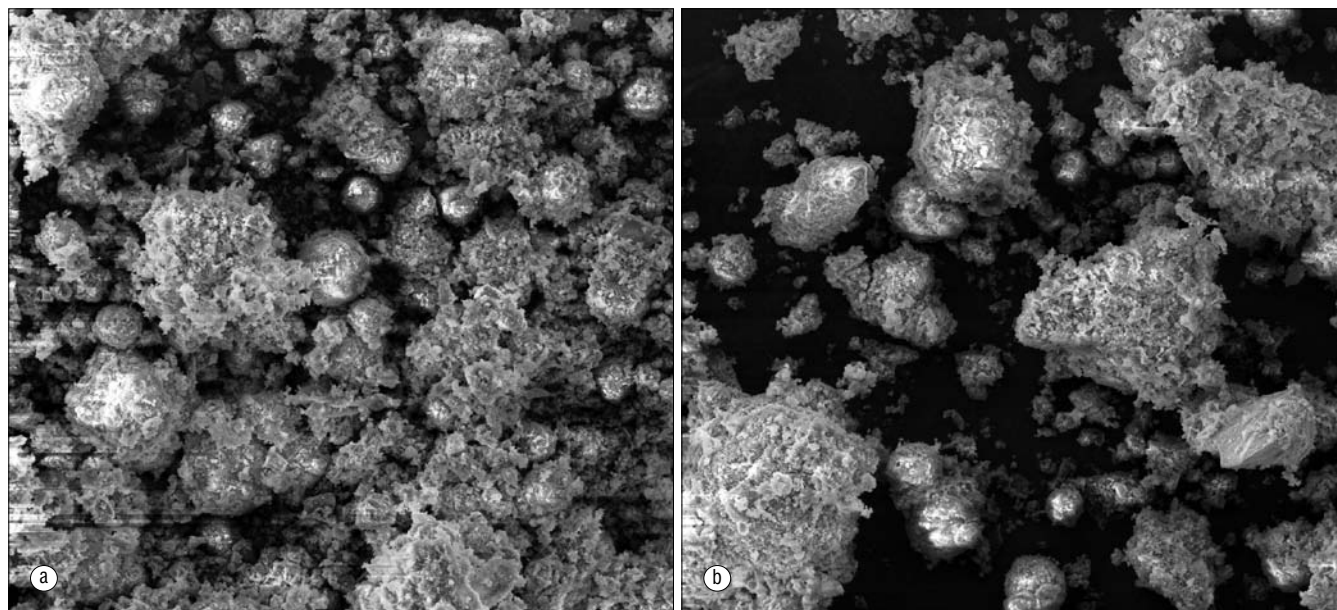
Agregáty saturačního kalu v saturované šťávě jsou složeny z drobných krystalků, především  $\text{CaCO}_3$ . Sraženina bez přidavku flokulantů obsahuje asi 400 000–600 000 malých krystalů (o velikosti 0,2–0,5 μm) na jeden agregát (12). Většina krystalků je umístěna uvnitř agregátů sraženiny.

Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) sraženiny byla prováděna pomocí mikroskopu VEGA 3 LMU (Tescan) vybaveného  $\text{LaB}_6$  katodou, detektorem sekundárních elektronů (SE) a detektorem zpětně rozptýlených elektronů (BSE). K získání mikrofotografií vybraných detailů materiálu bylo použito urychlovacího napětí 30 kV a režim „rozlišení“.

Pozorování získaná SEM mikroskopií jsou prezentována na obr. 6. Jak v řídkém, tak i hustém podílu, se potvrzuje přítomnost malých krystalků, které mají velký adsorpční povrch. SEM umožňoval pozorovat i aglomeráty dosahující velikosti



Obr. 6. SEM snímky řídkého (a) a hustého (b) podílu z hydrocyklonů, vzorek 7. 1. 2021



přibližně 50  $\mu\text{m}$ . Řídký podíl byl bohatší na aglomeráty s průměrem menším než 10  $\mu\text{m}$ . Tato pozorování korespondují s výsledky získanými optickou mikroskopií. Malé krystalky v agregátech saturačního kalu jsou v obou podílech dobře patrné.

#### Energiově disperzní spektroskopie

Složení materiálů z hlediska poměrného zastoupení vybraných prvků bylo analyzováno metodou energiově disperzní spektroskopie.

Energiově disperzní spektroskopie (EDS) byla realizována na spektrometru Quantax 200 (Bruker, USA) vybaveným detektorem XFlash<sup>®</sup>6|10, implementovaným do mikroskopu VEGA 3 LMU. Spektra EDS byla měřena v rozsahu 0,25–20,00 keV. Prvkové složení vybraných částic bylo stanoveno pomocí softwaru Esprit 1.9 (Bruker, USA) standardizovanou metodou PB-ZAF z dekonvoluovaných spekter korigovaných na brzdné záření a úhel náklonu  $-18^\circ$ . Spektrometr EDS byl kalibrován pro specifickou oblast měření (20 keV) s použitím  $K_\alpha$  čáry mědi při 8,0463 keV.

Spektrální záznamy a procentuální obsah prvků v pevné fázi řídkého a hustého podílu z hydrocyklonů jsou prezentovány na obr. 7. Z provedených analýz vyplývá, že z kvalitativního hlediska mají oba materiály prakticky stejné složení. Z kvantitativního pohledu oba materiály obsahují shodně přibližně 34 % hm. kyslíku jako majoritní složky. Co se vápníku týče, vzorek řídkého podílu obsahoval 25,7 %, v hustém podílu je zastoupení vápníku o něco nižší, konkrétně 22,3 %. Z ostatních prvků jsou potom významněji zastoupeny křemík (6,18/5,16 % – ŘP/HP), hořčík (2,23/2,16), fosfor (2,01/1,96), hliník (1,67/1,48) a železo (1,54/1,28). V malých množstvích byly detekovány také draslík (0,68/0,46) a síra (0,08/0,08).

#### Dělení anorganických necukrů v kapalně fázi na hydrocyklonech

Pokud jde o kapalnou fázi, lze předpokládat, že rozpuštěné látky by měly být v obou výstupních proudcích hydrocyklonů přibližně ve stejné koncentraci.

Tab. 1. Obsah síranů a fosforečnanů ve výstupních proudcích hydrocyklonů

Datum odběru	Obsah síranů (g·100 ml <sup>-1</sup> )		ŘP/HP	Obsah fosforečnanů (g·100 ml <sup>-1</sup> )		ŘP/HP
	řídý podíl	hustý podíl		řídý podíl	hustý podíl	
27. 10. 2020	0,0067	0,0064	1,05	0,0219	0,0193	1,13
28. 10. 2020	0,0054	0,0051	1,06	0,0220	0,0164	1,34
2. 11. 2020	0,0078	0,0084	0,92	0,0064	0,0057	1,12
2. 11. 2020	0,0078	0,0080	0,98	0,0069	0,0061	1,13
3. 11. 2020	0,0056	0,0061	0,92	0,0082	0,0081	1,01
14. 11. 2020	0,0068	0,0080	0,85	0,0076	0,0074	1,03
11. 12. 2020	0,0076	0,0074	1,02	0,0068	0,0075	0,91
12. 12. 2020	0,0083	0,0097	0,86	0,0099	0,0105	0,94
12. 12. 2020	0,0099	0,0104	0,95	0,0101	0,0101	0,99
12. 12. 2020	0,0071	0,0085	0,83	0,0110	0,0113	0,97
Průměr	0,0073	0,0078	0,94	0,0111	0,0103	1,06
SD			0,08			0,13

SD – směrodatná odchylka

K ověření pravdivosti této hypotézy byly odebrány vzorky řídkého a hustého podílu a byla analyzována jejich kapalná fáze. Filtrace proběhla za podtlaku na běžném filtračním papíru a ionty ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $(\text{COO})_2^{2-}$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$  a  $\text{PO}_4^{3-}$ ) ve filtrátu byly po různých ředěních stanoveny pomocí izotachoforesy na izotachoforetickém analyzátoru IONOSEP 2003 (RECMAN, Ostrava). Při této metodě se ionty dělí na základě elektroforetických mobilit. Pro vyhodnocení analýz byl použit software Winosep (RECMAN). K určení kalibračních závislostí byly použity standardy  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  p. a.,  $\text{C}_2\text{K}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  p. a.,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  p. a.,  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  p. a. (PENTA s. r. o., ČR). Postupovalo se dle aplikačního listu č. 11, vedoucím elektrolytem pro stanovení aniontů byl roztok s koncentracemi 10 mM HCl, 10 mM  $\beta$ -alanin, 3 mM 1,3-bis[tris(hydroxymethyl)methylamino]propan, 0,1 % hydroxypropylmethyl celuloza a koncovým elektrolytem roztok s 10 mM mléčnanem lithným. Separací proud byl nastaven na 80  $\mu\text{A}$ , po 650 s byl snížen na 30  $\mu\text{A}$  pro omezení vlivu generovaného tepla na detekci analytů (13). Před každou analýzou vzorků byl přístroj IONOSEP 2003 propláchnut 20% ethanolom a demineralizovanou vodou.

Obsah fosforečnanů a síranů zobrazuje tab. I. Štavelany, mravenčany ani siričity nebyly v roztoku prokázány.

V porovnání s řídkým podílem byla u hustého podílu v kapalně fázi zjištěna slabě nižší koncentrace fosforečnanů (statisticky nevýznamný rozdíl), rovněž u síranů nebyl zjištěn významný rozdíl. Nebylo prokázáno uvolňování anorganických necukrů v hydrocyklonu vlivem sřížných sil do kapalně fáze, což by mohlo hypoteticky měnit složení recirkulovaného saturačního kalu. Příznivá nejmenší hodnota poměru ŘP/HP pro fosforečnan i pro sírany byla zjištěna pro vysoké hodnoty hustot hustého podílu, což mohlo být způsobeno určitou abrazí agregátů a větší recirkulací kalu v epurační lince. Pro detailní posouzení by bylo potřeba mít k dispozici větší soubor dat.

#### Dělení organických necukrů v pevné fázi na hydrocyklonech

Filtrační koláč získaný z obou výstupních proudů hydrocyklonů byl sušen při 70 °C do konstantní hmotnosti a uskladněn v zipovém sáčku. Následně byl po rozdrčení a rozetření v jednotlivých koláčích stanoven obsah organických látek. Do porcelánového kelímku předem vyžeháného a zváženo na analytických vahách bylo naváženo přibližně 5 g vzorku. Následně byly vzorky žíhány v elektrické peci při teplotě 640 °C za přístupu vzduchu po dobu 180 minut. Po zchlazení na pokojovou teplotu v exikátoru byly zváženy.

Nepotvrdila se korelace mezi obsahem organických látek v řídkém a hustém podílu ( $r = 0,01$ ), z tab. II. vyplývá, že větší část organických látek zůstala v řídkém podílu, který obsahuje saturační sraženinu odcházející na kalolisy. Dle údajů v tab. II. lze očekávat vyšší podíl organických látek ŘP/HP v druhé polovině kampaně, což je zjištění pozitivní, protože v takovém případě zvýšený obsah organických látek ve štávě odchází k filtraci na kalolisy, tedy již mimo epurační proces.

Tab. II. Obsah organických látek ve výstupních proudech hydrocyklonů

Datum odběru	Organické látky (%)		
	ŘP	HP	ŘP/HP
27. 10. 2020	26,79	19,98	1,34
2. 11. 2020	29,00	26,97	1,08
2. 11. 2020	28,04	25,64	1,09
3. 11. 2020	37,55	25,13	1,49
11. 12. 2020	27,64	17,78	1,55
12. 12. 2020	28,23	21,54	1,31
12. 12. 2020	30,08	20,71	1,45
12. 12. 2020	35,60	18,65	1,91
Průměr	30,37	22,05	1,40

#### Rentgenová fluorescenční analýza a rentgenová difrakční analýza pevné fáze ve výstupních proudech hydrocyklonů

Při dělení na hydrocyklonech by bylo vhodné, aby necukry vysrážené vápenatými ionty při předčeření (např. nerozpustné soli) odcházely spíše v proudě směřujícím na kalolisy, čímž by se neměly ve zvýšené míře vracet zpět do předčeřiče, což by mohlo způsobit jejich postupné zakonzentrování v recirkulační smyčce. Filtrační koláče (viz předchozí kapitola) byly po vysušení a vyžehání dále analyzovány rentgenovou fluorescenční analýzou a práškovou rentgenovou difrakční analýzou.

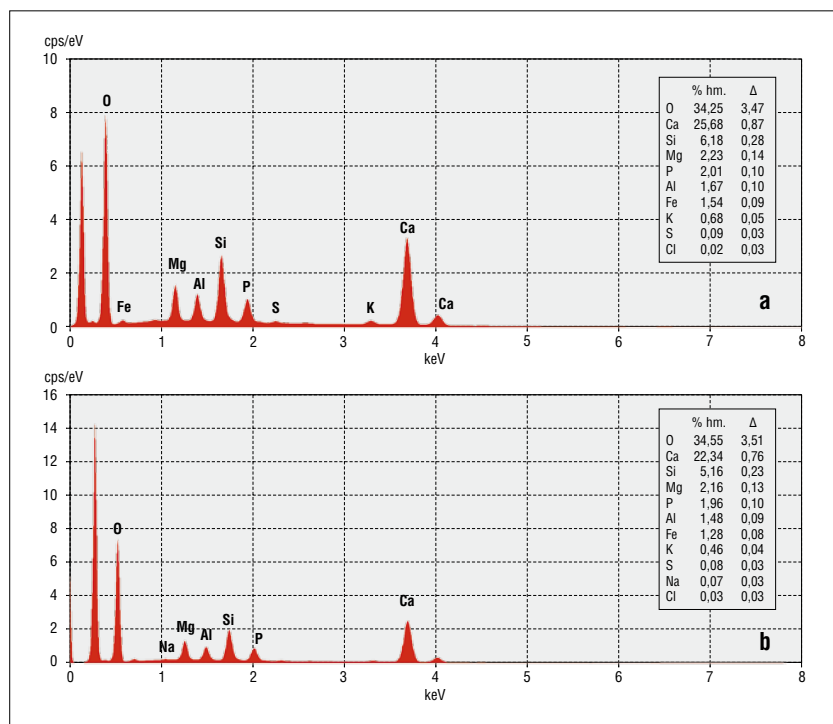
Prvkové analýzy RFA (rentgenová fluorescenční analýza) byly provedeny na rentgenfluorescenčním spektrometru ARL 9400XP+ firmy THERMO SCIENTIFIC, pro výpočet koncentrací byl využit semikvantitativní vyhodnocovací program UniQuant.

Rentgenové práškové difrakční experimenty (XRD) byly prováděny na difraktometru X'Pert PRO MPD (PANalytical). Difraktometr pracuje v geometrii Bragg-Brentano a je vybaven zdrojem záření  $\text{CoK}\alpha$ , polohově citlivým detektorem X'Celerator

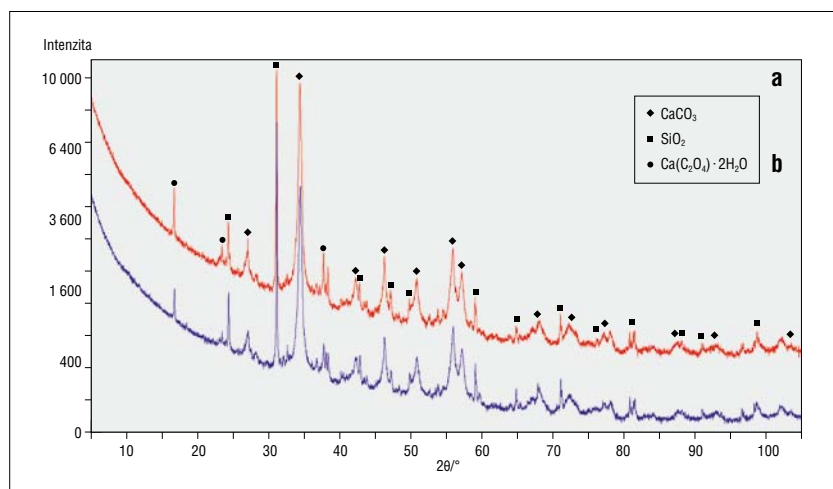
Tab. III. Výsledky prvkové analýzy filtračních koláčů

Prvek	Vzorek 12. 12. 2020				Vzorek 2. 11. 2020			
	ŘP	HP	ŘP po žíhání	HP po žíhání	ŘP	HP	ŘP po žíhání	HP po žíhání
Na	0,15	0,19	0,21	0,20	0,29	0,31	0,36	0,35
Mg	2,92	2,05	3,07	2,12	3,56	3,51	3,99	3,93
Al	2,17	1,76	2,25	1,79	5,03	4,99	5,44	5,42
Si	5,99	6,94	6,40	7,13	14,60	15,00	15,39	15,62
P	2,36	1,59	2,37	1,60	2,22	2,22	2,30	2,31
S	0,54	0,54	0,57	0,54	0,43	0,43	0,44	0,42
K	0,84	0,68	0,84	0,69	1,87	1,85	1,88	1,86
Fe	1,66	1,31	1,44	1,20	4,00	3,86	3,54	3,46
Ca	82,71	84,36	81,09	84,19	67,09	66,87	65,77	65,71

Obr. 7. EDS spektra řídkého (a) a hustého (b) podílu hydrocyklonů, vzorek 7. 1. 2021



Obr. 8. Práškové difraktogramy řídkého (a) a hustého (b) podílu z hydrocyklonu, vzorek 7. 1. 2021



a programovatelnými divergentními a štěrbinami pro omezení rozptylu paprsku. Difraktogramy byly zaznamenány při  $2\theta$  v rozsahu od 5 do  $105^\circ$  (rozlišení  $2\theta$   $0,0167^\circ$ , rychlost skenování  $0,51^\circ \cdot \text{min}^{-1}$ ) při laboratorní teplotě. Práškovou rentgenovou analýzou bylo posuzováno kvalitativní a zčásti také kvantitativní složení pevné fáze řídkého i hustého podílu z hydrocyklonu.

Naměřené výsledky prvkové analýzy filtračních koláčů (tab. III.) lze hodnotit velmi pozitivně. Obsah jednotlivých prvků v pevné fázi řídkého podílu směřujícího na kalolisy (kromě vápníku) jsou vyšší nebo rovny obsahům v hustém podílu (recirkulujícím do předčeřiče), odchází tedy z epurace prioritně pryč, a nedochází tak k jejich zakoncentrování v systému RECLIME.

Pomocí rentgenové difrakční analýzy byly ve filtračních koláčích řídkého i hustého podílu identifikovány sloučeniny uhličitán vápenatý, oxid křemičitý a šťavelan vápenatý (obr. 8.).

V některých jiných odebraných vzorcích byly kromě uvedených krystalických látek ve sraženině ještě v menších množstvích identifikovány následující krystalické látky: fosforečnan vápenatý, hlinito-křemičitan vápenatý a draselný, křemičitan hořečnatý, uhličitán železnatý a křemičitan vápenatý.

Podobně jako v předchozím případě se ukázal příznivý efekt, že obsah necukrů ve sraženině řídkého podílu byl vyšší než v hustém podílu (chemické složení se v průběhu kampaně však lišilo, data nejsou prezentována).

## Závěr

Hydrocyklony se využívají v řadě separačních procesů. Článek se věnuje zhodnocení technologie RECLIME umístěné v epurační lince cukrovary Prosenice, která umožnila nižší spotřebu vápna pro epuraci. To se ve sledovaném období v kampani 2019/2020 projevilo dosažením spotřeby vápence pro technologii  $13,42 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$  ř. a ve sledovaném období v kampani 2020/2021 snížením spotřeby na  $12,91 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$  ř. Pomocí optické a elektronové mikroskopie byla sledována separace kalu na hydrocyklonech; bylo zjištěno, že velikost částic až  $50 \mu\text{m}$  v řídkém podílu byla plně dostačující pro práci kalolisové stanice.

Několika instrumentálními metodami (EPS, XRF a XRD) bylo prokázáno, že obsah necukrů ve sraženině (především ve formě drobných krystalů) odchází do řídkého výsladu na kalolisy. To platilo i pro amorfni organické necukry. V obou výstupních proudcích se kromě  $\text{CaCO}_3$  vyskytovaly v menším množství ještě další krystalické látky, jejichž složení se v průběhu kampaně měnilo. Pokud jde o anionty v kapalně fázi, nebyl zjištěn významný rozdíl mezi řídkým a hustým podílem v hydrocyklonech.

Separace necukrů na hydrocyklonech se ukázala jako efektivní, technologii RECLIME

tak lze plně doporučit ke snížení spotřeby vápna v cukrovare. Nadále je třeba věnovat pozornost kvalitě řepy, jejímu kvalitnímu vyprání, separaci písku z vápenného mléka a odkalování epuračních těles, a zamezit tak vyšší koncentraci šťavelanových nebo křemičitanových iontů ve šťávě, které následně mohou způsobovat nežádoucí inkrustace zahřívavačů a odparky.

Výzkum byl realizován v rámci projektu MPO, č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/17\_176/0015758, „Vývoj nové generace jednotky recyklace RECLIME pro recyklaci sloučenin vápníku ( $\text{Ca}^{++}$ ) využívaných při epuraci (čištění) surových cukerních šťáv z cukrové řepy a cukrové třtiny“. Děkujeme také dr. Markétě Havrdové, doc. Jánovi Vančovi, dr. Janu Filipovi a dr. Josefovi Kašíkovi za pomoc s realizací experimentů.

## Souhrn

Hydrocyklony se využívají v potravinářství především v cukrovarnickém a škrobárenském průmyslu, při zpracování brambor a v průmyslu výroby olejů. Jsou jednoduché a levné, mají nízké investiční a provozní náklady a vyžadují minimální údržbu. Zvláštní pozornost článku je věnována vyhodnocení technologie RECLIME, při jejíž aplikaci byla spotřeba vápence v cukrovaru Prosenice snížena na asi 13 kg t<sup>-1</sup> ř. K analýze vzorků byla využita optická a skenovací elektronová mikroskopie, energiově disperzní spektroskopie, izotachoforesa, rentgenová fluorescenční analýza a rentgenová difrakční analýza. Granulometrie sraženiny i její chemické složení ve výstupních proudech z hydrocyklonové stanice se lišilo, vyšší obsah CaCO<sub>3</sub> a nižší obsah anorganických a organických necukrů byl zjištěn v proudu vystupujícím ze dna hydrocyklonů, v porovnání s řídkým podílem, odcházejícím k filtraci na kalolisy.

**Klíčová slova:** hydrocyklon, epurace, spotřeba vápna, EPS, XRD, XRF.

## Literatura

- SVAROVSKY, L.: *Solid-Liquid Separation*. 4. vyd. Oxford; Boston: Butterworth-Heinemann, 2000, ISBN 978-0-7506-45687.
- ŠÁRKA, E.; BUBNÍK, Z.: Morfologie, chemická struktura, vlastnosti a možnost využití pšeničného B-škrobu. *Chem. listy*, 104, 2010, s. 318–325.
- ŠÁRKA, E. ET AL.: Zpracovatelské technologie. In VOKÁL, B. (ED.): *Brambory – šlechtění – pěstování – užití – ekonomika*. Praha: Profi Press s. r. o., 2013, s. 138–150, ISBN 978-80-86726-54-0.
- GROMMERS, H. E.; VAN DER KROGT, D. A.: Potato starch: production, modifications and uses. In BEMILLER, J.; WHISTLER, R. (ED.): *Starch: Chemistry and Technology*. Burlington, London, San Diego, New York: Elsevier, 2009, s. 512–539, ISBN 978-0-12-746275-2.
- GEBLER, J. ET AL.: Výroba saturačního plynu a vápenného mléka. *Cukrovarnický kalendář 1997*, Praha: VUC, 1997, s. 214–216.
- LETCHER, T. M.: *Future Energy. Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet*. Oxford, Paris, San Diego etc.: Elsevier, 2014, ISBN: 978-0-08-099424-6.
- GALE, F.: Effect of solids recirculation on purification of raw juices. *J. Amer. Soc. Sugar Beet Technol.*, 12, 1963 (5), s. 378–392.
- ŠÁRKA, E. ET AL.: The particle size of carbonation mud, and possibilities for influencing it. *J. Food Eng.*, 87, 2008, s. 45–50.
- MOC, D.; ZÁRUBA, J.: Regenerace saturačního kalu. *Listy cukrov. a řepař.*, 109, 1993 (2), s. 41.

- MOC, D.; ZÁRUBA, J.: The MZ method of raw juice purification. The use of regenerated CaCO<sub>3</sub> crystals from first carbonation mud. *Int. Sugar J.*, 97, 1995 (1158B), s. 287–291.
- VAN DER POEL, P. W.; SCHIWECK, H.; SCHWARTZ, T.: *Sugar Technology. Beet and Cane Sugar Manufacture*. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens, 1998, s. 512, ISBN 3-87040-065-X.
- ŠÁRKA, E. ET AL.: Krystalické modifikace uhličitanu vápenatého, jeho vznik při epuraci, velikosti agregátů a jejich dopady na čištění šťáv. *Listy cukrov. a řepař.*, 130, 2014, s. 361–364.
- KVASNIČKA, F.; PARKIN, G.; HARVEY, C.: Capillary isotachopheresis as a new tool in sugar factory analysis. *Int. Sugar J.*, 95, 1993, (1139), s. 451–458.

## Šárka E., Čajan M., Pour V., Gillarová S., Henke S., Koting P., Mikstein I.: New Application Possibilities of Hydrocyclones in Sugar Technology

In the food industry, hydrocyclones are used mainly in the sugar and starch industries, in potato processing and in the oil industry. They are simple and inexpensive; have low investment and operating costs and require minimum maintenance. Particular attention is paid to the evaluation of the RECLIME technology, the application of which reduced the consumption of limestone in Prosenice sugar factory to about 13 kg t<sup>-1</sup> beet. The samples were analyzed using optical and scanning electron microscopy, energy dispersive spectroscopy, isotachopheresis, X-ray fluorescence analysis and X-ray diffraction. Granulometry of the precipitate and its chemical composition in the underflow and overflow from the hydrocyclone differed, with higher CaCO<sub>3</sub> content and lower inorganic and organic non-sugar content found in the underflow, compared to the overflow leaving for filtration by filter-presses.

**Key words:** hydrocyclon, juice purification, lime consumption, EPS, XRD, XRF.

## Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Evžen Šárka, CSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Ústav chemie a technologie sacharidů, Technická 5, 166 28 Praha 6 – Dejvice, Česká republika, e-mail: evzen.sarka@vscht.cz