

VYUŽITIE „CROSSFLOW“ MIKROFILTRÁCIE V PIVOVARNÍCTVE

SATHI GRETA BUGAN, DANIELA ŠMOGROVIČOVÁ, ZOLTÁN DÖMÉNY, JÁN STOPKA, ŠTEFAN SCHLOSSER,
Katedra biochemickej technológie, Chemickotechnologická fakulta, STU Bratislava

Kľúčové slová: *mikrofiltrácia, keramické membrány, zvyškové pivo*

1 ÚVOD

V súčasnosti vznikajú nové techniky, ktoré využívajú membránové separačné procesy v potravinárstve. Účinnosť a uzavretý systém sanitácie umožňujú využitie týchto techník aj v odvetviach, ktoré obyčajne využívali odstredivky a vákuové filtre s kremelinou. Membránové procesy okrem toho uľahčujú vývoj nových potravinárskych produktov, ktoré vyhovujú požiadavkám trhu.

Pivovarnícka výroba zahŕňa celú sé-

riu separácie pevných častíc počnúc výrobou mladiny a končiac filtráciou piva pred fľašovaním. Niet divu, že mnohé separačné techniky sa už uplatnili v mnohých pivovaroch na svete. Z novších techník sa dnes výrazne uplatňujú hlavne membránové separačné procesy [1].

Využitie mikrofiltrácie cez keramické membrány v technológii výroby piva je veľmi aktuálne. Jednou z možností je využitie mikrofiltrácie ako náhrady kremelinových naplavovacích filtrov pri čírení

a finálnej úprave piva, čím sa odstránia problémy spojené s likvidáciou sekundárneho odpadu a navyše sa získa sterilný produkt. Ďalším uplatnením mikrofiltrácie je získavanie zvyškového piva z kvasničných kalov.

Jednou z výhod „cross-flow“ mikrofiltrácie (CMF) oproti tradičným technológiám, ako sú tlakové filtre a separátory kvasníc, je vysoká kvalita získaného zvyškového piva a vysoké mikrobiologické zabezpečenie procesu.

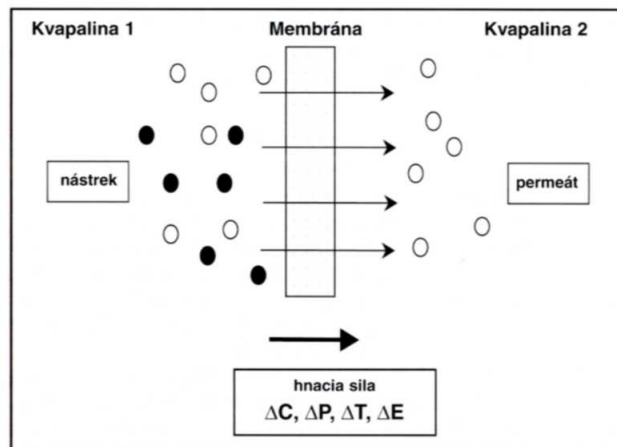
2 MEMBRÁNOVÉ PROCESY

Pri *membránových procesoch* je separácia založená na rôznej priepustnosti membrán pre jednotlivé zložky kvapalných zmesí. Spoločným znakom všetkých membránových procesov je, že separáciu zabezpečuje membrána. Membrána je „srdcom“ každého membránového procesu a môže byť definovaná ako čiastočná bariéra medzi dvoma kvapalinami [2]. Z tejto definície vyplýva, že nie všetky látky prechádzajú cez membránu rovnakou rýchlosťou, takže pomocou nej možno deliť zložky kvapalnej zmesi, kvapalinu zmes čistiť alebo ju zakonzentrovávať. Schematické znázornenie membrány je na obr. 1.

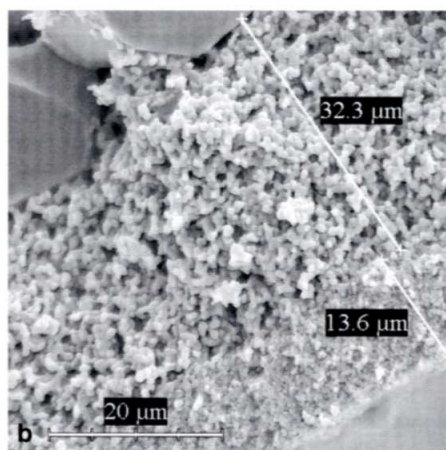
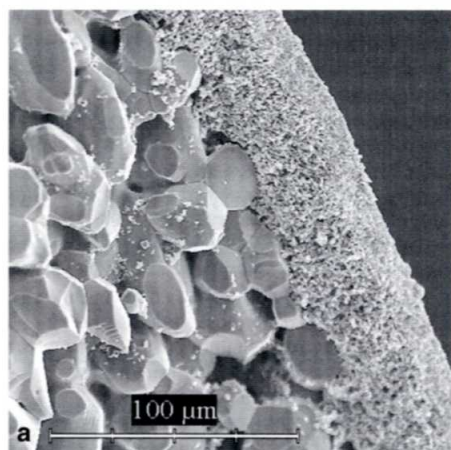
Deliaci účinok membrán:

- 1) *Síťový efekt* podľa veľkosti molekúl alebo častíc (makromolekuly, koloidy, mikročastice)
- 2) *Fyzikálne a chemické interakcie* zložiek zmesi s membránou.

brán oproti organickým je práve v ich vysokej mechanickej, chemickej a tepelnej stabilite. Nedochádza k ich deformácii, majú dlhú dobu životnosti, odolnosť voči vysokým teplotám, tlakom a korozívnym účinkom. Detailná štruktúra keramickej membrány je na obr. 2.



Obr. 1 Schematické znázornenie systému dvoch kvapalín oddelených membránou



Obr. 2 Mikroštruktúra keramickej trubice
a) lomová plocha s detailmi nosiča membrány b) detail dvojvrstvy membrány

Materiály membrán a ich štruktúra môžu byť rôzne a práve to je rozhodujúcim faktorom pre oblasť ich využitia. Prvotne možno membrány rozdeliť na 2 základné skupiny, biologické a syntetické. Biologické membrány sú nevyhnutné pre existenciu života na Zemi. Každá živá bunka je obklopená membránou a tieto sa od syntetických líšia v štruktúre a funkcii. Syntetické membrány sa ďalej delia na organické (polysulfón, estery celulózy, teflón, polypropylén, atď.) a anorganické (keramické, uhlíkové, sklenené, kovové). Tieto môžu byť kvapalné alebo tuhé, porézne alebo neporézne, nabité alebo neutrálne, symetrickej alebo asymetrickej štruktúry, z keramických, polymérnych alebo kompozitných materiálov. Možnosti použitia organických membrán sú obmedzené ich tepelnou, chemickou a najmä mechanickou stabilitou. Výhoda anorganických mem-

Klasifikácia rôznych membránových procesov z hľadiska hnacej sily:

- *tlakový gradient* (obr. 3): mikrofiltrácia, ultrafiltrácia, nanofiltrácia, reverzná osmóza,
- *koncentračný gradient*: dialýza, pertraktácia, pervaporácia, permeácia plynov a pár, difúzia plynov,
- *gradient elektrického potenciálu*: elektrodialýza, elektroforéza,
- *teplotný gradient*: termoosmóza, Soretov efekt.

Tab. 1 poskytuje prehľad aplikácií a základné charakteristiky rôznych membránových techník.

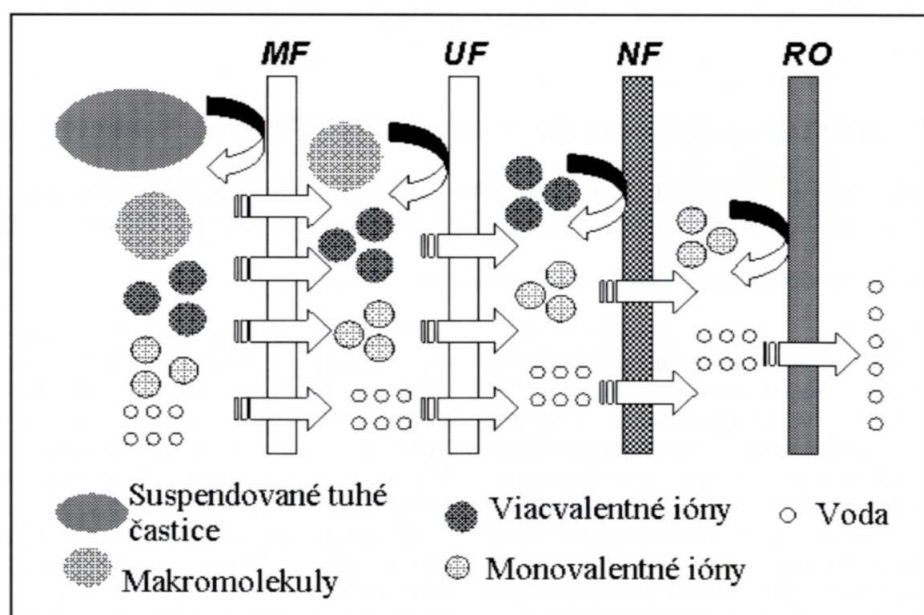
3 „CROSSFLOW“ MIKROFILTRÁCIA

Princíp: Filtrovaná kvapalina prúdi cez viackanálové póry pozdĺž povrchu membrány. Časť produktu prechádza cez membránu a cez pórovitú podložku ako filtrát. Vysoká rýchlosť filtrácie cez kanály tvorí turbulencie a udržiava povrch membrány

čistý (obr. 4).

V poslednej dobe sa CMF chystá zaviesť do viacerých odvetví priemyslu a medicíny. Vývin polymérnych filtračných membrán s dostatočne úzkym priemerom trubice umožnil separáciu filtrácie v celom rozsahu roztokov od iónov a malých molekúl po koloidné častice a bunky [3]. Tento proces je závislý na viacerých faktoroch, hlavne na transmembránovom tlaku, „crossflow“ rýchlosti, koncentrácii suspenzie, povrchu častíc, teplote, ale aj vlastnostiach membrány [4, 5].

Hnacou silou je transmembránový tlak, ktorého hodnota lineárne rastie až po limitnú hodnotu, ktorá závisí od filtrovanej zmesi, operačných podmienok,



Obr. 3 Porovnanie zadržiavacích schopností pre membránové procesy

Tab. 1 Prehľad aplikácií membránových procesov

Membránový proces	Typ membrán	Mechanismus delenia	Hnacia sila	Aplikácie procesu
Mikrofiltrácia (MF)	Mikropórovité, lyogélové	Sitový efekt 0,1–20 µm	Δp 0,1–0,3 MPa	Oddelovanie biomasy čistenie, sterilizácia
Ultrafiltrácia (UF)	Mikropórovité, lyogélové	Sitový efekt 3–100 nm	Δp 0,3–1,0 MPa	Čistenie, purifikácia, ČOV
Nanofiltrácia (NF)	Lyogélové s nabitými skupinami	Sorpčno-difúzny efekt	Δp 0,5–4,0 MPa	Demineralizácia, purifikácia, zakonzentrovanie
Reverzná osmóza (RO)	Lyogélové, nepórovité	Sorpčno-difúzny efekt	Δp 3,0–10 MPa	Odsolovanie, zakonzentrovanie, purifikácia
Pervaporácia (PV)	Nepórovité	Sorpčno-difúzny efekt	Koncentračný gradient	Zakonzentrovanie, dehydratácia org. rozpušťačov
Elektrodialýza (ED)	Nepórovité s viazaným nábojom	Elektrické odpudzovanie iónov	Gradient elektrického potenciálu	Delenie aminokyselín, demineralizácia, ČOV, výroba kuchynskej soli
Permeácia plynov a pár (P)	Nepórovité Mikropórovité	Sorpčno-difúzny efekt Knudsenovská difúzia	Koncentračný gradient	Zakonzentrovanie, separácia plynov, sušenie vzduchu a plynov
Kvapalná membrána (KM)	Kvapalina je imobilizovaná v póroch membrány	Sorpčno-difúzny efekt	Koncentračný gradient	Separácia plynov, získavanie látok z vodných a nevodných roztokov

veľkosti pórov a rýchlosti prietoku suroviny [6, 7]. Vyššie tlaky sa očakávajú nárazom nepriepustných látok cez póry membrány na jej povrch a dochádza ku kontinuálnemu znižovaniu prietoku filtrátu [8]. Veľmi dôležitý je vzťah medzi transmembránovým tlakom a tokom permeátu. Zvyšovaním tlaku sa zvyšuje prietok len do určitej maximálnej hodnoty, potom sa ustáli [3]. Najdôležitejším faktorom je prietok filtrátu [9]. Platí tu Darcyho zákon:

$$J = \frac{P_m}{\mu (R_m + R_t)}$$

J – prietok filtrátu, P_m – tlakový rozdiel, R_m – odpor membrány, R_t – odpor filtračného koláča, μ – viskozita filtrátu.

Na realizáciu CFM vplyva viacero parametrov, a to: pH, teplota, viskozita, prietok, veľkosť častíc, ich koncentrácia a povaha [1]. Ak sa zvýši prietok suroviny, strháva so sebou vytvorený filtračný koláč, a tiež sa zvyšuje prietok filtrátu [10, 11]. Súčasne sa však zvýši rýchlosť znečisťovania membrány [12]. Prietok filtrátu sa zvyšuje aj so stúpajúcou teplotou, pretože sa zníži viskozita [13]. Dôležité je zabezpečiť priepustnosť membrány pre charakteristické komponenty piva na zachovanie kvality produktu, ale rozsiahla adsorpcia proteínov, sacharidov ako β -glukány a škrob, a tiež minerálov, nastane vždy vo vnútri pórov mem-

brány [14]. Účinok biomasy na membránové znečistenie možno vyjadriť rovnicou:

$$J = J_0 - k \cdot \ln X_T$$

J – prietok filtrátu, J_0 – počiatočný prietok filtrátu, k – charakteristika membrány, X_T – množstvo biomasy.

Čiastočná cirkulácia buniek znižuje akumuláciu na membráne. Úplná zriedovacia rýchlosť (D) vo filtračnom procese je vyjadrená ako súčet zriedovacej rýchlosti retentátu (D_r) a permeátu (D_p) a je závislá od kapacity filtrácie na membránovej jednotke:

$$D = D_r + D_p$$

Zriedovacia rýchlosť retentátu je jedným z najdôležitejších parametrov pre proces optimalizácie, ustáluje rastový

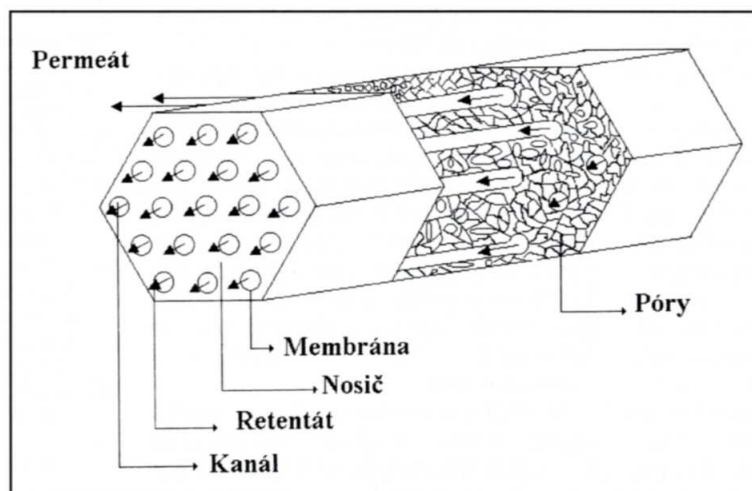
rýchlosť, stabilizuje koncentráciu buniek, znižuje akumuláciu buniek na membráne a jej upchávanie a tak zvyšuje účinnosť procesu filtrácie [15].

Veľmi dôležitým faktorom pri „cross-flow“ mikrofiltrácii je veľkosť pórov membrány. Je jasné, že použitím membrány s menšími pórmi sa dosiahnu vyššie prietoky. Toto potvrdzuje, že jeden z hlavných mechanizmov upchávania je v hĺbke pórov. Od veľkosti pórov závisí aj výsledná kvalita piva. Treba si uvedomiť, že hlavné komponenty piva nemôžu byť odstránené, ale kvasinky a baktérie sa musia odseparovať. Membrány s veľkosťou pórov 0,5 µm sú schopné prepúšťať niektoré proteínové komponenty, pričom 0,2 µm póry majú tendenciu ich zadržiavať. Póry veľké 200 nm zachytávajú niektoré charakteristické zložky piva, a preto sa z mnohých výskumov zistilo, že pre filtráciu piva je výhodnejšie z hľadiska zachovania kvality produktu použiť membrány s veľkosťou pórov 0,5 µm [14, 1]. Z toho vyplýva, že výber správnej membrány je veľmi dôležitý. Postupne zvyšovanie vstupného tlaku vedie ku zvyšovaniu prietoku. Na povrchu membrány sa očakáva väčší odpor, gélová vrstva akumulovaných látok rastie [8]. Axiálne tlakové zmeny spolu s prietokom permeátu a hrúbkou filtračného koláča môžu byť aj predpovedané aplikáciou špeciálneho modelu. Mechanizmus indukovanej difúzie je používaný pri experimentoch obmedzených na častice s priemerom 0,5–20 µm, ale procesy môžu byť rozšírené aj pre transportné mechanizmy iných častíc úpravou podmienok. Pokles axiálneho tlaku má veľmi výrazný účinok na rovnovážny tok permeátu [16].

Hlavné parametre, ktoré sa musia dodržať, sú pôvodná hustota, pH, farba, množstvo alkoholu, dusíkatých a horľavých látok [17].

Realizujú sa experimenty na porovnanie membrán s rôznymi veľkosťami pórov. Najlepšie filtračné výkony sa dosiahli pri použití membrány s veľkosťou pórov 0,2 µm, a to 35 $\text{lm}^{-2}\text{h}^{-1}$, zatiaľ čo pre 0,1 a 0,5 µm to bolo 20 $\text{lm}^{-2}\text{h}^{-1}$ a 15 $\text{lm}^{-2}\text{h}^{-1}$. Najmenší výkon membrány s 0,5 µm pórmi sa vysvetľuje čiastočnou akumuláciou vo vnútri pórov membrány. Keď bol spätný tok zastavený, asi po 4 hodinách filtrácie, tok permeátu sa pomaly znižoval až klesol na hodnotu 20 $\text{lm}^{-2}\text{h}^{-1}$ pri 0,2 µm póroch. Životaschopnosť buniek po mikrofiltrácii bola nezmenená [17].

Ďalšími činiteľmi ovplyvňujúcimi priebeh mik-



Obr. 4 Princíp „crossflow“ mikrofiltrácie

rofiltrácie sú transmembránový tlak a rýchlosť prietoku filtrátu. Bol pozorovaný limitovaný transmembránový tlak 0,8 bar pre ustálenú „crossflow“ mikrofiltráciu bez spätného toku. Keď bol vo viacstupňovom systéme použitý program spätného toku, tok sa výrazne zlepšil so vzrastom transmembránového tlaku. Rýchlosť pri filtrácii pri alebo pod $0,75 \text{ m.s}^{-1}$ má malý vplyv na zmeny v prúde [14]. Spotreba energie je priamo úmerná „crossflow“ (CF) rýchlosti. Ak je CF-rýchlosť dvojnásobná, spotreba energie sa zvýši takmer sedemkrát. Pri zväčšení priemeru potrubia sa síce zvýši turbulencia, ale klesne rýchlosť [1].

Výťažok procesu CMF sa určuje ako extrakt filtrácie a hmotnostná bilancia musí zahŕňať množstvo sušiny vo všetkých prúdoch. Potom:

$$VÝŤAŽOK = \frac{(TDS_C - TDS_F)}{(TDS_C - TDS_P)}$$

TDS_C – celková sušina v koncentrácii [%],

TDS_F – celková sušina v prírode [%],

TDS_P – celková sušina v permeáte [%].

Pri aplikácii CMF je súčasťou procesu aj čistenie filtračnej membrány. Rozličné membrány sú rôzne odolné voči čistiacim prostriedkom, práve tu majú veľa predností keramické membrány. Dôležité parametre sú teplota čistenia a koncentrácia čistiacich prostriedkov. Počítateľné zvýšenie prietoku permeátu počas čistenia je vysvetlené v podmienkach odstránenia nevhodného materiálu, ktorý je pôsobením čistiacich prostriedkov ľahko rozpustný. Ďalej dochádza k zmene v morfológii usadenín, ktoré sa dostanú do kontaktu s čističom. Zvyšné znečistenie, prítomné po čistiacom procese, zodpovedá za pokles pôvodnej priepustnosti a selektivity membrány [18].

4 APLIKÁCIA „CROSSFLOW“ MIKROFILTRÁCIE V PIVOVARNÍCTVE

„Crossflow“ filtrácia je vhodná pre malé a stredné prevádzky. Touto metódou môže byť znovu získaných až 50 % z 1 % celoročne produkovaného odpadu.

„Crossflow“ princíp je použitý vo filtračných systémoch so špeciálnou keramickou membránou. Počas filtrácie prechádza suspenzia kvasiniek turbulentným tokom paralelne s membránou. Nefiltrálny priestor, kde suspenzia cirkuluje vysokou rýchlosťou, a filtračný priestor sú oddelené filtračnou membránou. Rozdiel tlakov medzi týmito dvoma priestormi umožňuje filtráciu (pivo) pretekať do filtračného priestoru. Tuhé častice usadené na povrchu filtračnej membrány sú unášané suspenziou kvôli jej turbulentnému toku. Tok filtrátu zostáva prakticky konštantný a dosiahne sa rov-

nováha medzi usadzovanými a unášanými časticami.

Kvasinky sú obvykle považované za neužitočný odpad z kvasenia. Staršie technológie kvasenia neumožňovali získanie kvalitného piva z kvasiniek usadených v kvasných kadiach. Kvasinky boli obvykle sušené v sušiarňach a používané ako suché krmivo, alebo predávané v kvapalnej forme. Pivovarské kvasinky obsahujú vysoko kvalitné proteíny, sacharidy, vitamíny a pozostávajú výhradne z organických zložiek.

Biomasa kvasiniek počas kvasenia sa zväčší 3 až 4-násobne, takže prebytočné kvasinky predstavujú asi 2–3 % celoročnej produkcie. Z tohto prebytku je možné znovu získať 50–60 % kvalitného piva, ktoré je analyticky porovnateľné s vyrobeným pivom. Najvhodnejší čas na filtráciu kvasiniek je ihneď po ukončení kvasenia.

Cylindrické fermentačné tanky sú dnes štandardom v modernom pivovarníctve, a tiež umožňujú oddelenie kvasiniek v uzavretom automatickom systéme za biologicky optimálnych podmienok. Získanie zvyškového piva „crossflow“ filtráciou je nová technológia moderného pivovarníctva, ktorá umožňuje kontinuálnu a ekonomicky výhodnú výrobu bez použitia filtračných materiálov, ako sú kremelina alebo perlit. Koncentrované kvasinky neobsahujú žiadne zvyšky filtračných materiálov a môžu byť použité v potravinárstve alebo farmácii. V iných odvetviach sa „crossflow“ mikrofiltrácia tiež používa na oddelenie buniek.

Výhody keramických membrán:

- odolnosť voči nárazovému tlaku do 100 atm,
- inertný materiál,
- dlhé servisné intervaly,
- oteruvzdorné,
- garantovaná filtračná účinnosť a rýchlosť,
- odolnosť voči čistiacim prostriedkom ako sú detergenty, kyseliny a lúhy v rozsahu pH 0–14, okrem kyseliny fosforečnej,
- vhodné na čistenie parou a pri teplotách do 130 °C.

Odpadové pivo môžu byť spracované spolu s kvasinkami, takže pasteurizácia alebo iná finálna úprava piva nie je potrebná. Výhodná je inštalácia dvoch kvasničných tankov, jeden pre zbieranie dennej produkcie, druhý sa môže zatiaľ čistiť. Recirkulačné čerpadlo na premiešavanie zozbieraných kvasiniek zabraňuje usadzovaniu. Objem nádrží na znovuzískané pivo je približne 60 – 70 % objemu nádrží na kvasničné kaly.

Všetky parametre procesu, ako sú teplota, tlak, rýchlosť recirkulácie a rýchlosť filtrácie, sú nastavované podľa požiadaviek procesu a nastavené hodnoty sú automaticky regulované ria-

diacou jednotkou počas celého procesu.

Prerušenie medzi ukončením a začatím nového procesu je 60 minút. Čistenie horúcou sódou a kyselinou je potrebné každý týždeň. Sôda aj kyselina môžu byť znovu a znovu použité. Tento čistiaci proces trvá približne 2,5 hodiny. Žiaden ďalší obsluhujúci personál nie je potrebný, všetky prevádzkové úkony ako filtrácia a čistenie sú úplne automatické.

Literatúra

- [1] LEEDER, G., GIRR, M.: Tech. Q. Master. Brew. Assoc. Am. **31**, 1994, s. 58
- [2] MULDER, M.: Basic principles of membrane technology, ed. K. A. Publishers. 1991, Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers
- [3] VASSILIEFF, S. Ch.: Adv. Coll. Interf. Sci. **40**, 1992, s. 1
- [4] TARLETON, E.S., WAKEMAN, R.J.: Chem. Eng. Res. Des. **72**, 1994, s. 431
- [5] CHANG, D.J., HSU, F.C., HWANG, S.J.: J. Membrane Sci. **98**, 1995, s. 97
- [6] LOJKINE, M.H., FIELD, R.W., HOWELL, J.A.: Crossflow microfiltration of cell suspensions: A review of models with emphasis on particle size effects. Trans. Ichem. E **70C**, 1992, s. 149
- [7] SHIMIZU, Y., SHIMODERA, K.I., WATANABE, A.: J. Ferment. Bioeng. **76**, 1993, s. 493
- [8] FERNANDEZ, V.M., ROMANO, J.M., OTERO, M.A.: Acta Biotechnol. **12**, 1992, s. 49
- [9] SHEEHAN, J.J., HAMILTON, B.K., LEWY, P.F.: Pilot-scale membran filtration process for recovery of an extracellular bacterial protease. In: Downstream Processing and Bioseparation: Recovery and Purification of Biology Products. ACS Symposium Series 419, 1990, s. 130
- [10] Memtech Ltd: The use of crossflow membranes to clarify and stabilize beer. Filtration and Separation, 1998, s. 860
- [11] B. JEFFERSON et al.: Water. Sci. Technol. **26**, 2000, s. 41
- [12] HUISMAN, I.H., TRAGARDH, G., TRAGARDH, C.: Chem. Eng. Sci. **54**, 1999, s. 281
- [13] SCOTT, J.A.: Process Biochem. **23**, 1988, s. 146
- [14] GAN, Q., et al.: Beer clarification by crossflow microfiltration: Fouling mechanisms and flux enhancement. Trans. Ichem. E **75A**, 1997, s. 3
- [15] LAFFORGUE-DELOREME, C., DELORME, P., GOMA, G.: Biotechnol. Lett. **16**, 1994, s. 741
- [16] ARORA, N., DAVIS, R.H.: Chem. Eng. Commun. **132**, 1995, s. 51
- [17] STOPKA, J., et al.: Microfiltration of beer from concentrated yeast suspensions on ceramic membranes. V materiáloch kurzu Tempus, 1997, ChTF STU (edit. Š. Schlosser, E. Sabolová)
- [18] BARTLETT, M., BIRD, M.R., HOWELL, J.A.: J. Membrane Sci. **105**, 1995, s. 147

Bugan, S. G. – Šmogrovičová, D. – Dömény, Z. – Stopka, J. – Schlosser, Š.: Využitie „crossflow“ mikrofíltrácie v pivovarníctve. Kvasny Prum. 47, 2001, č. 4, s. 97–101.

Získavanie zvyškového piva z použitých kvasiniek filtráciou keramickými membránami je súčasťou prevádzkovej technológie dnešného moderného pivovarníctva. Keramické membrány vyrobené z vysoko čistého alfa-oxidu hlinitého preukázali vhodnosť a spoľahlivosť. Membránovou filtráciou sa dá produkovať číre pivo bez buniek kvasiniek a baktérií. Nehrozí tu nebezpečenstvo rozbitia buniek, takže nenarastá množstvo mastných kyselín ani proteázová aktivita.

Modulárny design filtračných prevádzok poskytuje flexibilitu pre akúkoľvek veľkosť pivovaru a neskoršie zvýšenie kapacity. Zvlášť pre pivovary so zvyšujúcou sa kapacitou má zariadenie CMF výhody kvôli možnosti ľahkého postupného zvyšovania kapacity aj na viac ako 100 %.

Bugan, S. G. – Šmogrovičová, D. – Dömény, Z. – Stopka, J. – Schlosser, Š.: Application of the „Crossflow“ Microfiltration in the Brewing Industry. Kvasny Prum. 47, 2001, No. 4, p. 97–101.

The recovery of rest beer from used yeast by way of filtration on ceramic membranes is a component of the plant technology in the present modern brewing industry. The ceramic membranes made from highly clean alpha-aluminium oxide have proved their

suitability and reliability. The membrane filtration can produce clear beer without yeast cells and bacteria. There is no danger of cell breakage so that the amount of fatty acids and the protease activity would not increase. The modular design of filtration operations provides flexibility for whatever size of brewery and its future capacity increase. Especially for breweries with enhanced capacity, the CMF equipment affords advantages due to its possibility of easy gradual capacity increase up to more than 100 %.

Bugan, S. G. – Šmogrovičová, D. – Dömény, Z. – Stopka, J. – Schlosser, Š.: Applikation der „Crossflow“-Mikrofiltration in den Brauereien. Kvasny Prum. 47, 2001, Nr. 4, S. 97–101.

Die Gewinnung der Restbieres aus der Abfallhefe mittels Filtration durch keramische Membranen gehört zu der Betriebstechnologie der heutigen modernen Brauwesens. Die keramischen Membranen, aus einem hochreinen Alfa-Aluminiumoxid hergestellt, haben ihre Eignung und Verlässlichkeit bestätigt. Mittels Membranfiltration kann ein klares Bier ohne Hefen und Bakterien produziert werden. Es besteht keine Gefahr der Zellenzerstörung, sodass weder die Menge der Fettsäuren noch die Protease-Aktivität wächst.

Das modulare Design der Filtrations- Betriebe und -Stationen bietet Flexibilität für verschiedenste Brauereigrößen und nachfolgende Erweiterungpläne der Brauereikapazität. Insbesondere für Brauereien, die mit

einer Kapazitätserhöhung rechnen, bieten die Einrichtungen der „Crossflow“-Mikrofiltration (CMF) gravierende Vorteile, denn mit diesen Systemen sind schrittweise Kapazitätssteigerungen bis um mehr als 100% wesentlich erleichtert.

Буган, С. Г. – Шмогрови́чова, Д. – Дэмены, З. – Стопка, З. – Шлоссер, Ш.: Использование фильтрования „crossflow“ (CMF) при производстве пива. Kvasny Prum. 47, 2001, № 4, стр. 97–101.

Получение промывного пива из отработанных дрожжей при помощи фильтрования керамическими мембранами представляет один шаг современного технологического процесса производства пива. Керамические мембраны изготовленные из чистого альфа-оксида алюминия оказались совсем подходящим и высоконадежным элементом фильтрующего устройства. Использование этих мембран позволяет производить прозрачное пиво без клеток и бактерий, исключая опасность разрушения клеток, в следствие чего не повышается количество жирных кислот и активность протеаз.

Дизайн использующий модульное построение фильтрующей линии позволяет приспособление для пивоваренного завода любой производительности и ее последующее повышение. Фильтрующее устройство CMF выгодно прежде всего для тех пивзаводов, где предусматривается постепенное повышение емкости на больше чем 100 процентов.