

Ultrafiltrácia na necelulóзовých membránach typu PL

JOZEF DENDIŠ — PETER BROKEŠ

Súhrn. V článku sa opisujú pokusy ultrafiltrácie odstredeného mlieka na necelulóзовých membránach typu PL pri vyšších teplotách (do 60 °C) a tlaku (do 0,5 MPa), ako povolujú technicko-dodávateľské podmienky UFZ 400 pri použití estercelulóзовej ultrafiltračnej membrány (teplota maximálne 35 °C a tlak 0,3 MPa).

Potvrdilo sa, že na zamedzenie rozmnožovania mikroorganizmov v mlieku počas ultrafiltrácie treba pracovať pri teplote aspoň 60 °C a že pri vyššej teplote a tlaku sa podstatne zvýši výkon ultrafiltračného zariadenia (dvojnásobne až päťnásobne), na druhej strane dochádza však za týchto podmienok často k mechanickému porušeniu ultrafiltračných membrán typu PL a polyetylénových podporných dosiek ultrafiltra. Preto je nevyhnutné zamerať ďalší vývoj práve na zlepšenie ich mechanických vlastností.

Ultrafiltračné membrány a zariadenia, vyvinuté v rámci riešenia štátnej výskumnej úlohy P11-529-264-06 Membránové procesy v potravinárstve uplatnili sa už pri viacerých aplikáciách ultrafiltrácie v potravinárskom priemysle i mimo neho. Pri ich dlhšej prevádzke v praxi sa veľmi výrazne prejavili ich výhody a nedostatky z hľadiska jednotlivých aplikácií. Bez problémov boli naše zariadenia použité tam, kde je separovaná kvapalina stála, nekazila sa, pretože buď nebola vhodným prostredím pre rozvoj mikroorganizmov (napr. oplakované vody z elektroforetického nanášania lakov), buď z nej boli mikroorganizmy a iné nerozpustné častice pred ultrafiltráciou odstránené (napr. mikrofiltráciou alebo baktofugáciou). Na druhej strane sa objavovali väčšie či menšie problémy predovšetkým tam, kde sa ultrafiltráciou spracúvali kvapaliny, ktoré sú mimoriadne vhodným prostredím pre rozvoj mikroorganizmov (napr. mlieko, krv a pod.) alebo obsahovali priveľa nerozpustných častíc, ktoré sa za-

Ing. Jozef Dendiš, Stredoslovenské mliekárne, n. p., 960 01 Zvolen.

Ing. Peter Brokeš, CSc., Výskumný ústav LIKO, Miletičova 23, 824 62 Bratislava.

chytávali na povrchu ultrafiltračných membrán, pričom tento nános okrem znížovania priepustnosti membrán bol aj centrom mikrobiálnej nákazy. Riešenie uvedených problémov sa v zásade orientuje troma smermi:

- uskutočnením ultrafiltrácie za podmienok nevhodných pre rast a rozmnožovanie mikroorganizmov (napr. pri vysokej alebo nízkej teplote),
- usmernením technológie pred vlastnou ultrafiltráciou tak, aby mikroorganizmy a nerozpustné častice boli zo separovanej kvapaliny odstránené ešte pred ultrafiltráciou,
- zlepšením chemicko-inžinierskych parametrov ultrafiltračného zariadenia a kontinualizáciou procesu, čím sa zníži možnosť rozvoja mikroorganizmov a tvorby nánosu na membránach, keďže sa skráti čas zdržania ultrafiltrovanej kvapaliny v ultrafiltračnom zariadení.

Pri voľbe teploty, prípadne tlaku sú možnosti bežných ultrafiltračných membrán na báze esteru celulózy, ako aj ultrafiltračných zariadení obmedzené platnými technickými podmienkami použitia. Pri teplote je hranicou hodnota do 35 °C a pri pracovnom tlaku do 0,3 MPa. Pri poslednom type ultrafiltračného zariadenia VÚ LIKO typ UFZ-400 je z hľadiska výkonu najvýhodnejšia prevádzka pri teplotách 30 °C až 35 °C, čo sú však optimálne teploty pre rast a rozmnožovanie mikroorganizmov. Ak teda chceme rozvoj mikroorganizmov v separovanej kvapaline obmedziť, treba viesť proces ultrafiltrácie pri teplote okolo 10 °C. To je síce na zariadeniach UFZ-400 možné, ale z hľadiska nevyhnutného poklesu výkonu nevýhodné. Preto je pochopiteľné, že pri ďalšom vývoji ultrafiltračných zariadení sa uvažuje s vývojom jednotlivých súčastí, ktoré by mohli pracovať pri vyšších teplotách ako 35 °C, konkrétne až pri teplotách okolo 60 °C, a mali by teoreticky stačiť na potlačenie rozvoja mikroorganizmov v separovanej kvapaline. Prevádzka pri takých vysokých teplotách nie je však všeobecným riešením. Nedá sa napr. použiť pri tých aplikáciách, kde separovaná kvapalina obsahuje termolabilné látky. Napomôže však pri zavedení ultrafiltrácie napr. do priemyselného spracúvania želatíny a do praxe v mliekárenskom priemysle.

V práci sme odskúšavali možnosti použiť necelulózové ultrafiltračné membrány typu PL (PL-10, PL-15 a PL-25), vyvinuté v rámci riešenia štátnej výskumnej úlohy S11-529-110-05 Aplikácia membránových procesov vo vodnom hospodárstve a v technológiách potravinárskeho priemyslu, ako aj spevnené podporné dosky vyvinuté v tejto úlohe pri teplotách a tlakoch vyšších, než povoľujú platné technické podmienky použitia ultrafiltračného zariadenia typu UFZ-400. Sledovali sme, ako sa zvýšenie teploty a prevádzkového tlaku prejaví na funkcii a parametroch UFZ-400, ako aj na jeho poruchovosti. Necelulózové membrány typu PL sa totiž poloprevádzkovo vo väčšom rozsahu testovali až v týchto pokusoch. Už pri predchádzajúcich skúškach membrán PL v laboratóriu sa zistilo, že okrem svojich predností — výborných funkčných vlastností a chemickej

a tepelnej odolnosti — majú tieto membrány veľkú nevýhodu, ktorá spočíva v malej mechanickej pevnosti.

Na zvýšenie mechanickej pevnosti membrán typu PL sa vyvinula technológia ich odlievania na textilné podložky rozličného typu.

Ako separovaná kvapalina sa v práci odskúšavalo odstredené mlieko. Dosiahnuté výsledky sa porovnali so zahraničnými výsledkami, ako aj s našimi výsledkami ultrafiltrácie odstredeného mlieka v minulosti [1].

Použité metódy a zariadenia

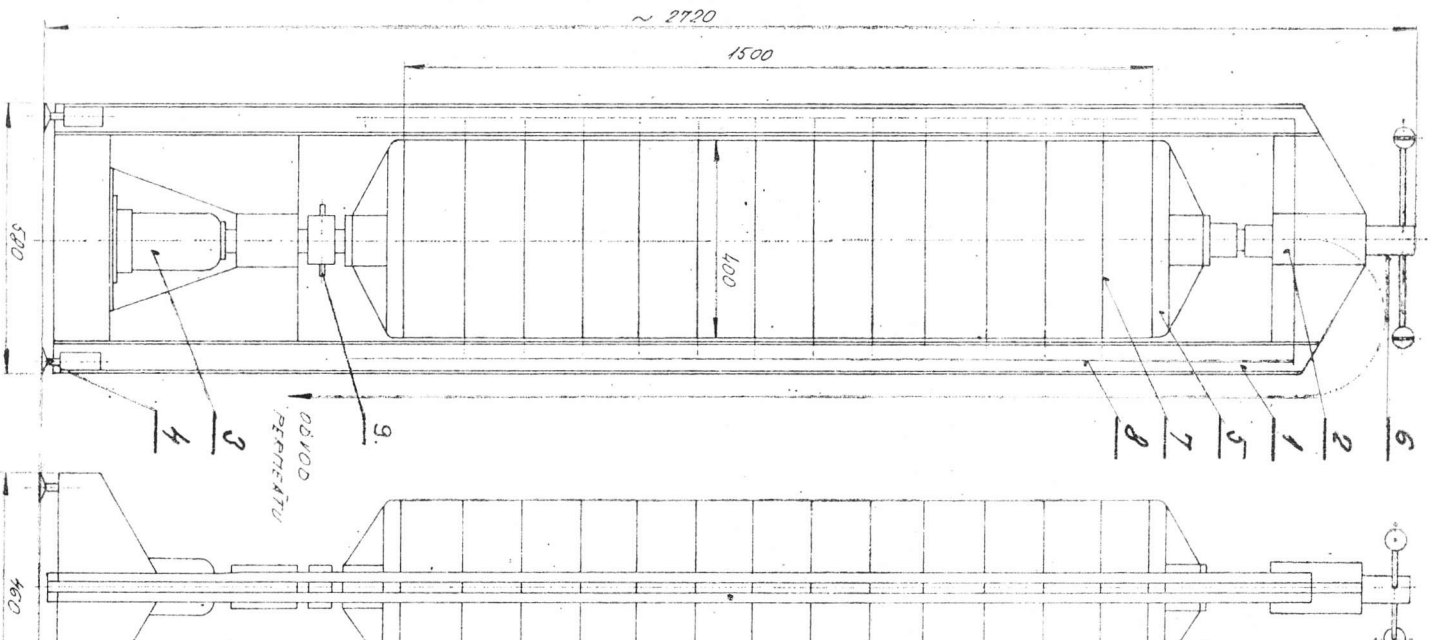
Stanovenie dusíka — princíp podľa Kjeldahla [2]

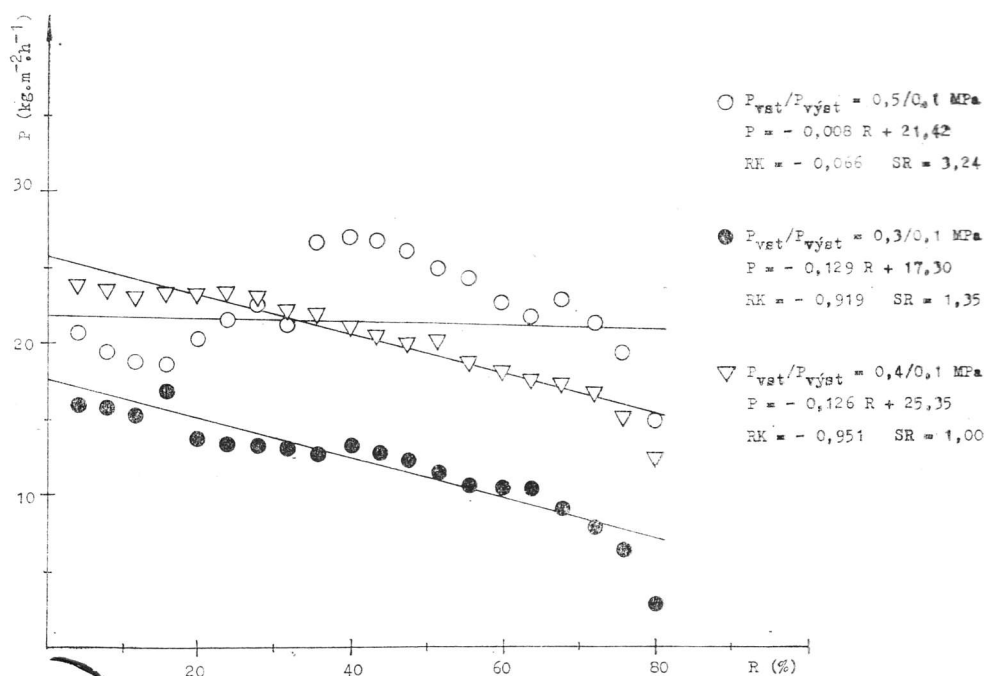
Mikrobiologické skúšky — podľa ČSN 56 0100 [3]

Ultrafiltračné zariadenie UFZ-400 a opis jeho činnosti

V práci opísané pokusy sa urobili na necelulózových ultrafiltračných membránach typu PL, vložených v ultrafiltračnom zariadení typu UFZ-400 (výrobca VÚ LIKO) upravenom pre dané skúšky. Kostru UFZ-400 (obr. 1) vytvára nosný rám (1) v tvare stojana z U-profilu. V hornej časti nosného rámu je upevnená horná traverza, pozostávajúca z matice (2) so skrutkou (6), na ktorej je upevnené horné čelo (5). Horným čelom teda možno čiastočne manipulovať pomocou skrutky. V dolnej časti je umiestnená dolná traverza, ktorej skrutka s dolným čelom je dotláčaná pomocou hydraulického zdviháka (3), ktorý umožňuje takmer bez námahy stlačenie náplne kostry medzi čelami na dosiahnutie tesnosti zariadenia. V stlačenom stave sa modul zaistuje aretačnou maticou (9), ktorá zároveň odľahčuje počas prevádzky hydraulický zdvihák. Nosná konštrukcia stojí na nastaviteľných nohách (4). Medzi čelami sú stlačené podporné dosky, membrány, podložky pod membrány a tesnenia, pričom sú rozdelené medzi doskami (7) do sekcií. Úlohou medzidosiek je taktiež zabezpečiť odvod permeátu ultrafiltrácie z každej sekcie zvlášť do zberného potrubia (8) zariadenia. Rozdelenie modulu do sekcií umožňuje v prípade poruchy pomerne presné zistenie jej miesta, ľahké odstránenie poruchy bez potreby rozoberania a kontroly ostatných sekcií v module.

Funkciou podpornej dosky je zároveň privádzať nad povrch membrány ultrafiltrovaný roztok a odvádzať spod membrány permeát. Do sekcií sú podporné dosky s membránami pospájané paralelne, sekcie sú uzavreté prekladovým tesnením a vzájomne pospájané do série. Ultrafiltrovaný roztok čerpadlo ženie otvorom v spodnom čele do zariadenia, prúdi súčasne nad povrchom každej membrány v prvej sekcii, odkiaľ ho prekladové tesnenie núti prejsť do druhej





Obr. 2. Závislosť toku permeátu membránou PL-25 od stupňa skoncentrovania ($T = 50^\circ\text{C}$).

Fig. 2. Dependence of the permeate flow through PL-25 membrane on concentration degree ($T = 50^\circ\text{C}$).

sekcie, a tak postupuje jednotlivými sekciami, až postupne prejde celým zariadením a opúšťa ultrafilter otvorom v hornom čele (4).

Oproti UFZ-400 bolo pri upravenom zariadení, s ktorým sme pracovali, možné meniť výšku náplne zariadenia presunutím hornej traverzy, a tak ľubovoľne voliť využiteľnú plochu membrán v zariadení.

V práci opísané pokusy ultrafiltrácie odstredeného mlieka na membránach typu PL sa uskutočnili na využiteľnej ploche membrány 1 m^2 ; v zariadení bolo inštalovaných 15 ks podporných dosák s membránami rozdelených do troch sekcií po 5 ks. Z toho vyplývajúca dráha prúdenia ultrafiltrovaného mlieka v zariadení bola asi 1 m . Na pokusy sa použila monopumpa Sigmata ($H = 50 \text{ m}$, $Q = 1800 \text{ l/h}$), ktorou sa prečerpávalo odstredeného mlieko z duplikátorovej nádoby 100 l cez zariadenie späť. Nádoba bola v dvojitém plášti ohrievaná horúcou vodou, čím sa mlieko ohrialo na požadovanú teplotu.

V jednotlivých pokusoch bolo vždy spracovaných po 100 l odstredeného mlieka, v priebehu každého pokusu bolo vždy oddelených 80 l permeátu v dávkach po 4 l . Stanovil sa čas, za ktorý vždy natiekli 4 l permeátu, teplota a refrak-

tometrická sušina permeátu, ďalej čírosť a pri niektorých vzorkách aj obsah dusíka. Zároveň sa tie isté údaje zisťovali aj v ultrafiltrovanom mlieku — koncentráte. Pred začiatkom a po skončení pokusov sa vždy stanovil aj prietok roztoku zariadením za jednotku času. Pred každým pokusom a po každom pokuse bolo ultrafiltračné zariadenie premývané vodou, roztokom pracieho prášku Biomat, a v niektorých prípadoch aj roztokom peroxidu vodíka. Účelom premývania bolo dokonalé vypláchnutie zariadenia, jeho čiastočná dezinfekcia a regenerácia povrchu membrán zbavením nánosov. Počas každého premývania sa meral tok permeátu membránami, a tak sa sledovalo, či premývanie spĺňa svoj účel a či sa pôvodná hodnota permeability P znovu dosiahla.

V prípade poruchy ultrafiltračného zariadenia, pretože išlo o pokusy pri extrémnych podmienkach pre toto zariadenie, čo sa prejavilo zvýšenou hodnotou refraktometrickej sušiny v permeáte a jeho zákalom, ultrafiltračné zariadenie sa rozobralo a chybná membrána, tesnenie alebo podporná doska vymenili. Samozrejme, poruchy sa starostlivo zaznamenávali do zápisov zo skúšok.

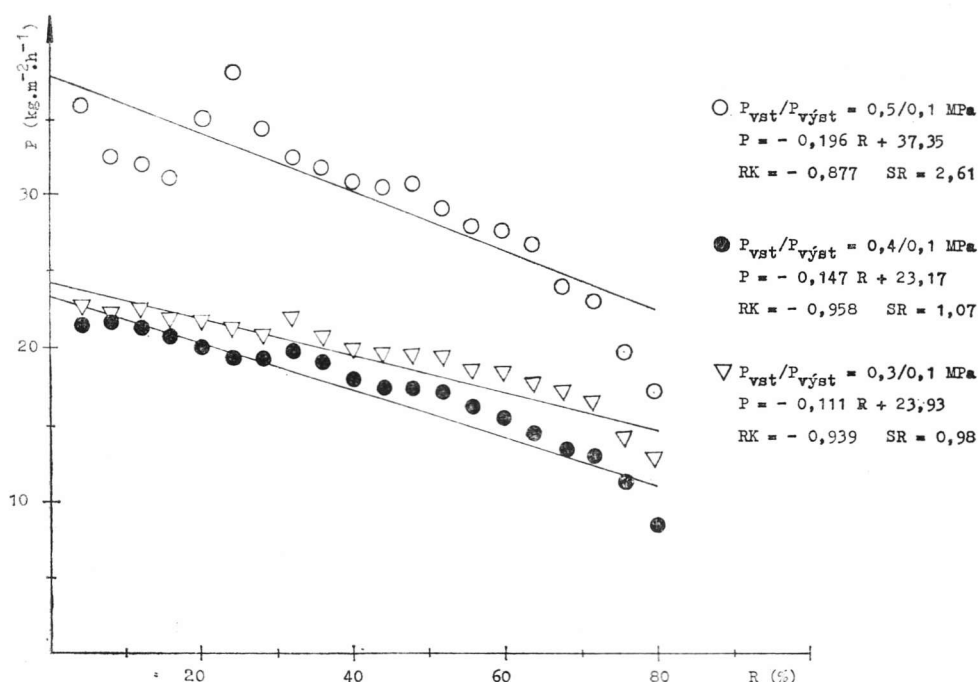
Výsledky a diskusia

Cieľom práce bolo opísať priebeh ultrafiltrácie odstredeného mlieka v poloprevádzkových podmienkach na necelulózových ultrafiltračných membránach PL-10, PL-15 a PL-25, a to pri hodnotách prevádzkového tlaku a teploty vyšších, ako povoľujú platné technické podmienky použitia ultrafiltračného zariadenia UFZ-400.

Priebeh ultrafiltrácie v jednotlivých pokusoch sa sledoval ako závislosť medzi tokom permeátu P membránou ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) a stupňom skoncentrovania recovery R (%). Tok permeátu membránou sa pritom definoval ako hmotnosť permeátu v kg, ktorý pretiekol jednotkovou plochou membrány v m^2 za jednotku času (h) pri daných podmienkach ultrafiltrácie (teplota, tlak, rýchlosť prúdenia roztoku nad povrchom membrány). Stupeň skoncentrovania recovery R sa definuje ako percentuálny podiel objemu permeátu k celkovému objemu ultrafiltrovaného roztoku.

Obrázky 2—7 graficky znázorňujú uvedené závislosti medzi P a R pre jednotlivé membrány pri rôznych hodnotách vstupného a výstupného tlaku, a to vždy zvlášť pre teplotu 50°C a 60°C . Tieto závislosti sa spracovali aj počítačom, regresnou analýzou sa zistili ideálne priebehy priamok z uvedených údajov.

Na ohrev ultrafiltrovaného mlieka v nádobe sa používala teplá voda z vodovodnej siete. Jej teplota občas kolísala, takže sa vždy nepodarilo udržať zvolenú teplotu mlieka bez výkyvov, čo bolo aj najdôležitejšou príčinou nepravidel-



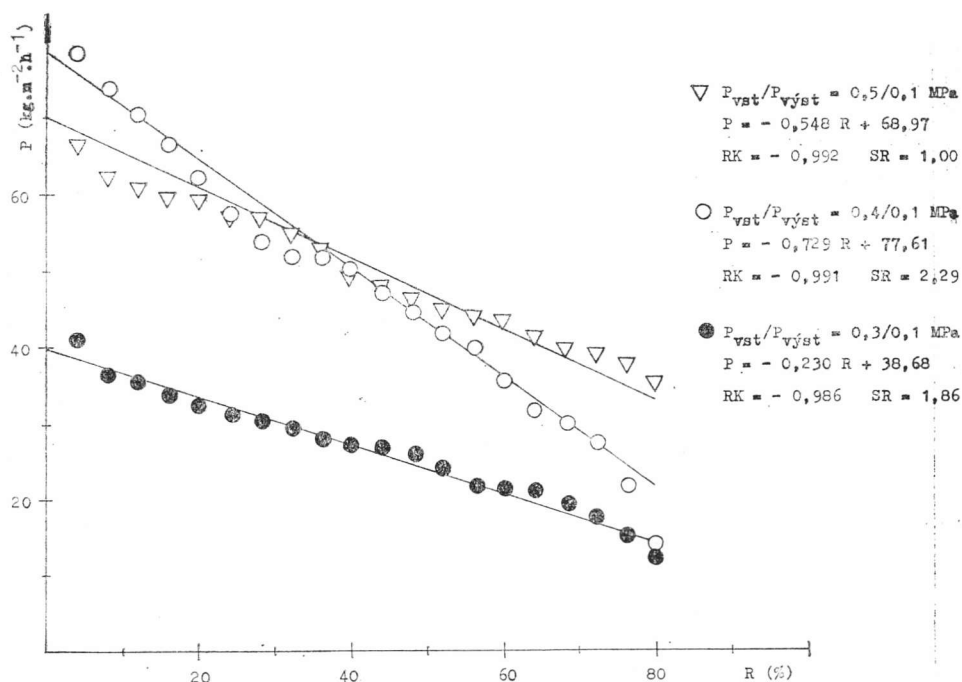
Obr. 3. Závislosť toku permeátu membránou PL-25 od stupňa skoncentrovania ($T = 60^\circ\text{C}$).

Fig. 3. Dependence of the permeate flow through PL-25 membrane on concentration degree ($T = 60^\circ\text{C}$).

ného poklesu toku permeátu membránou so stúpajúcim stupňom skoncentrovania.

Výsledky pokusov uvádzajú tabuľky 1—6. Zaujímavým údajom sú tu priemerné hodnoty toku permeátu cez membránu, ktoré vlastne určujú výkon ultrafiltračného zariadenia za daných podmienok. Predovšetkým treba konštatovať, že priemerné hodnoty toku permeátu membránou v týchto pokusoch ($20\text{--}50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) boli oveľa vyššie ako priemerné hodnoty toku permeátu membránou pri predošlých skúškach v prevádzke závodov SSM Tvrdošín a Rimavská Sobota — poloprevádzkové odskúšavanie s priemernou hodnotou toku permeátu cez membránu okolo $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$. Je to dôsledok vyššej priepustnosti membrán typu PL oproti estercelulóзовým membránam, ale najmä dôsledok priebehu ultrafiltrácie pri vyššej teplote ako doteraz, ba v niektorých pokusoch aj pri vyššom tlaku.

Porovnanie hodnôt priemerného toku permeátu membránou v jednotlivých pokusoch je skomplikované tým, že membrány sa medzi jednotlivými pokusmi regenerovali iba preplachom. Takto zabezpečiť dokonalú regeneráciu membrán



Obr. 4. Závislosť toku permeátu membránou PL-15 od stupňa skoncentrovania ($T = 50^\circ\text{C}$).

Fig. 4. Dependence of the permeate flow thorough PL-15 membrane on concentration degree ($T = 50^\circ\text{C}$).

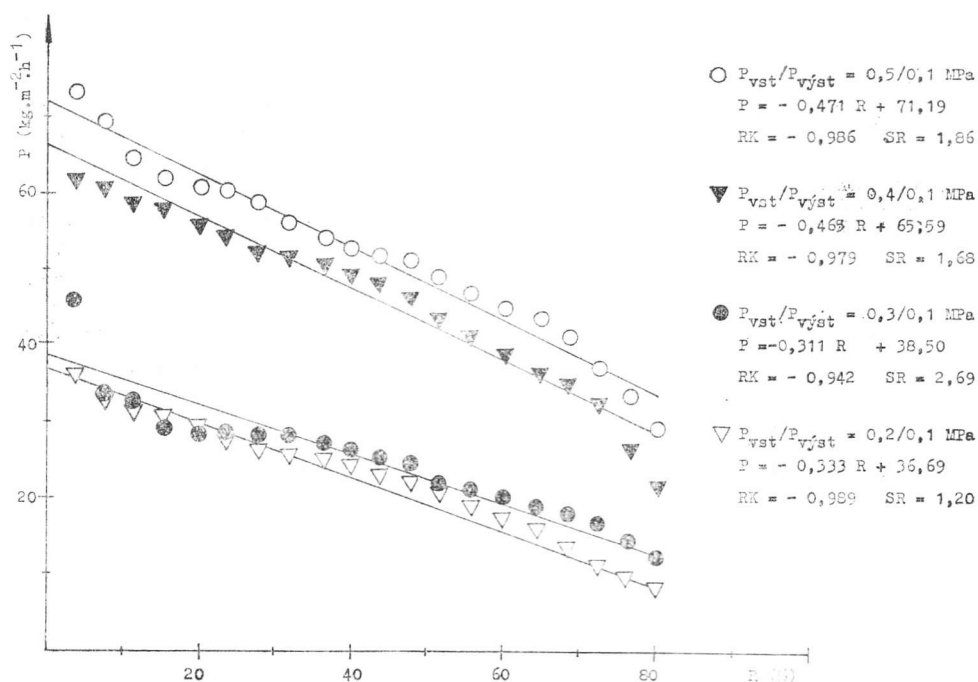
Tabuľka 1. Závislosť priemerného toku permeátu P membránou PL-25 od parametrov pokusu (teplota, tlak) pri ultrafiltrácii odstredeného mlieka na upravenom zariadení UFZ-400

Table 1. Dependence of the mean flow of the permeate P through membrane PL-25 on experimental parameters (temperature, pressure) during ultrafiltration of centrifuged milk adjusted apparatus UFZ-400

| Čís. pok. ¹ | Tlak ² (P) | | Teplota ⁵ (T) | | Čas trvania pokusu ⁸ [h] | Refrakt. sušina permeátu [%] | Refrakt. sušina koncentráty ¹⁰ [%] | Priemerný tok permeátu P ¹¹ [$\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$] |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---|---|-------------------------------------|------------------------------|---|---|
| | vstup ³ [MPa] | výstup ⁴ [MPa] | perm. ⁶ [$^\circ\text{C}$] | konc. ⁷ [$^\circ\text{C}$] | | | | |
| 1 | 0,5 | 0,1 | 45 | 50 | 3,0 | 4,5—8,0 | 21,0 | 24,55 |
| 2 | 0,3 | 0,1 | 45 | 50 | 5,6 | 4,5—5,5 | 21,0 | 12,36 |
| 3 | 0,4 | 0,1 | 45 | 50 | 4,1 | 4,5—6,0 | 21,0 | 19,49 |
| 4 | 0,3 | 0,1 | 55 | 60 | 4,6 | 4,5—5,5 | 21,0 | 19,30 |
| 5 | 0,4 | 0,1 | 55 | 60 | 4,5 | 4,5—5,5 | 21,0 | 19,00 |
| 6 | 0,5 | 0,1 | 55 | 60 | 2,75 | 4,5—6,0 | 21,0 | 28,37 |

Dosiahnutý stupeň skoncentrovania R : 80 %; využiteľná plocha uf-membrán: 1 m^2 ¹²

¹No. of experiment; ²Pressure; ³Input; ⁴Output; ⁵Temperature; ⁶perm.; ⁷konc.; ⁸Experiment duration; ⁹Refractometric dried matter of the permeate; ¹⁰Refractometric dried matter of the concentrate; ¹¹Mean flow of the permeate P ; ¹²Final concentration degree R : 80 %; utilizable surface of uf-membranes: 1 m^2 .



Obr. 5. Závislosť toku permeátu membránou PL-15 od stupňa skoncentrovania ($T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

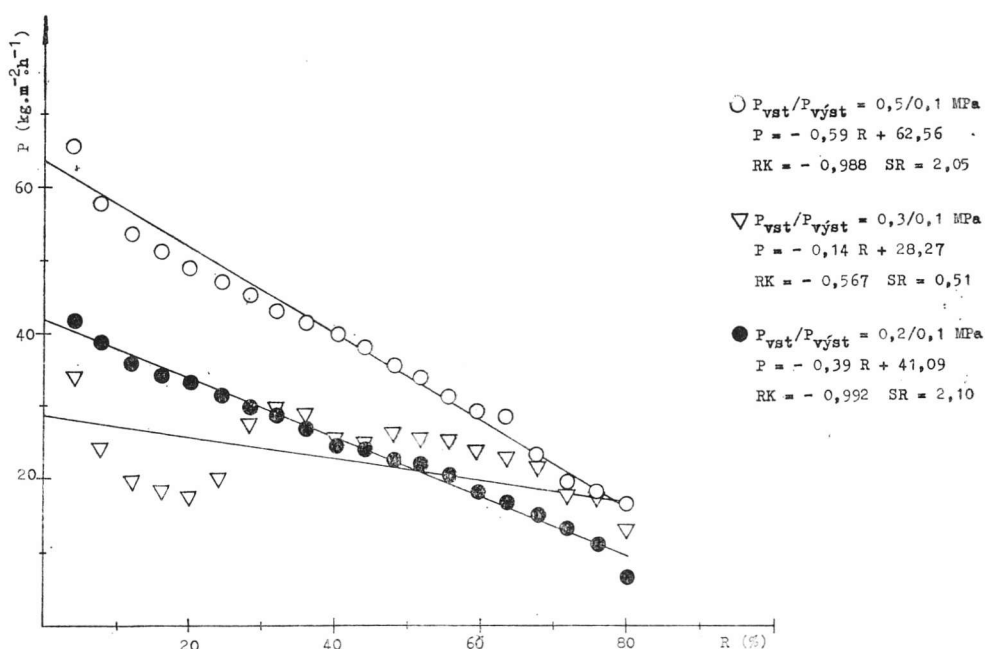
Fig. 5. Dependence of the permeate flow through PL-15 membrane on concentration degree ($T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Tabuľka 2. Závislosť priemerného toku permeátu P membránou PL-15 od parametrov pokusu (teplotu, tlak) pri ultrafiltrácii odstredeného mlieka na upravenom zariadení UFZ-400

Table 2. Dependence of the mean flow of the permeate P through membrane PL-15 on experimental parameters (temperature, pressure) during ultrafiltration of centrifuged milk using adjusted apparatus UFZ-400

| Čís. pok. ¹ | Tlak ² (P) | | Teplota ⁵ (T) | | Čas trvania pokusu ⁸ [h] | Refrakt. sušina permeátu ⁹ [%] | Refrakt. sušina koncentráty ¹⁰ [%] | Priemerný tok permeátu P ¹¹ [kg.m ⁻² .h ⁻¹] |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---|---|---|
| | vstup ³ [MPa] | výstup ⁴ [MPa] | perm. ⁶ [°C] | konc. ⁷ [°C] | | | | |
| 7 | 0,3 | 0,1 | 47 | 50 | 3,1 | 4,5—6,0 | 21,0 | 24,82 |
| 8 | 0,3 | 0,1 | 54 | 60 | 3,0 | 4,5—6,2 | 21,0 | 25,0 |
| 9 | 0,4 | 0,1 | 46 | 50 | 1,5 | 5,0—6,4 | 21,0 | 45,80 |
| 10 | 0,4 | 0,1 | 56 | 60 | 1,6 | 5,0—9,0 | 21,0 | 45,38 |
| 11 | 0,5 | 0,1 | 56 | 60 | 1,5 | 5,0—11,5 | 21,0 | 50,99 |
| 12 | 0,5 | 0,1 | 47 | 50 | 1,7 | 4,5—9,0 | 21,0 | 47,0 |
| 13 | 0,2 | 0,1 | 54 | 60 | 3,7 | 4,5—5,0 | 21,0 | 21,30 |

Dosiahnutý stupeň skoncentrovania R : 80 %; využitelná plocha uf-membrán: 1 m².¹²
 For explanations see Table 1.



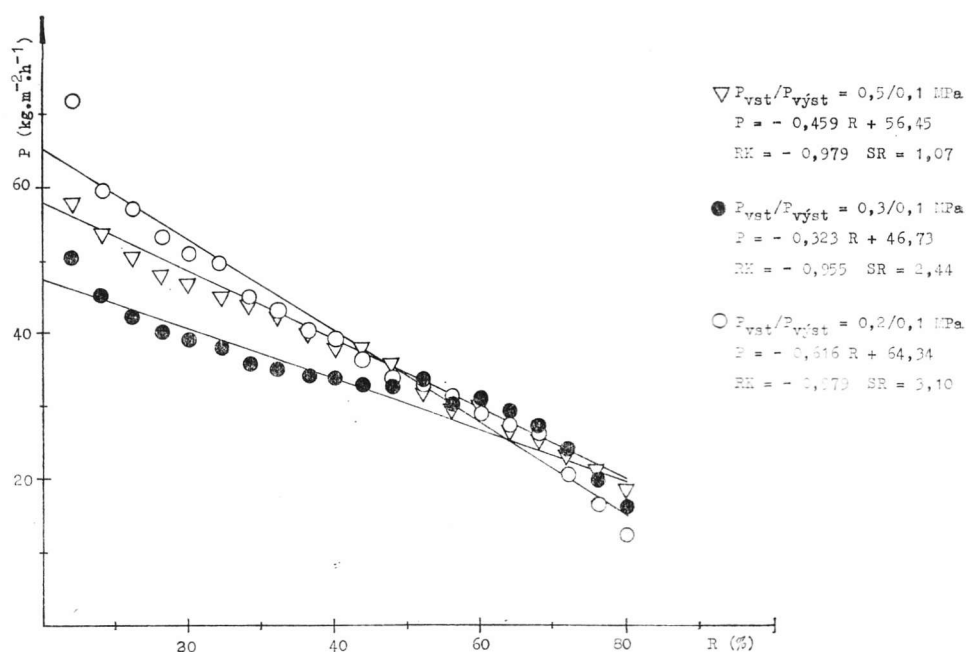
Obr. 6. Závislosť toku permeátu membránou PL-10 od stupňa skoncentrovania ($T = 50$ °C).

Fig. 6. Dependence of the permeate flow through PL-10 membrane on concentration degree ($T = 50$ °C).

Tabuľka 3. Závislosť priemerného toku permeátu P membránou PL-10 od parametrov pokusu (teplota, tlak) pri ultrafiltrácii odstredeného mlieka na upravenom zariadení UFZ-400
 Table 3. Dependence of the mean flow of the permeate P through membrane PL-10 on experimental parameters (temperature, pressure) during ultrafiltration of centrifuged milk using adjusted apparatus UFZ-400

| Čís. pok. ¹ | Tlak ² (P) | | Teplota ⁵ (T) | | Čas trvania pokusu ⁸ $\Sigma \tau$ [h] | Refrakt. sušina permeátu ⁹ [%] | Refrakt. sušina koncentráty ¹⁰ [%] | Priemerný tok permeátu P ¹¹ [kg·m ⁻² ·h ⁻¹] |
|------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|--|--|--|
| | vstup ³ [MPa] | výstup ⁴ [MPa] | perm. ⁶ [°C] | konc. ⁷ [°C] | | | | |
| 14 | 0,5 | 0,1 | 48 | 50 | 2,1 | 4,5—5,0 | 21,0 | 36,0 |
| 15 | 0,5 | 0,1 | 57 | 60 | 2,3 | 4,5—5,2 | 21,0 | 35,40 |
| 16 | 0,2 | 0,1 | 55 | 60 | 2,5 | 5,0—6,0 | 21,0 | 31,59 |
| 17 | 0,2 | 0,1 | 47 | 50 | 3,1 | 5,0—6,0 | 21,0 | 23,57 |
| 18 | 0,3 | 0,1 | 55 | 60 | 2,3 | 5,0—5,5 | 21,0 | 32,86 |
| 19 | 0,3 | 0,1 | 47 | 50 | 3,1 | 5,0—5,5 | 21,0 | 22,28 |

Dosiahnutý stupeň skoncentrovania R : 80 %, využitelná plocha uf-membrán: 1 m² ¹²
 For explanations see Table 1.



Obr. 7. Závislosť toku permeátu membránou PL-10 od stupňa skoncentrovania ($T = 60^\circ\text{C}$).

Fig. 7. Dependence of the permeate flow through PL-10 membrane on concentration degree ($T = 60^\circ\text{C}$).

Tabuľka 4. Nárast počtu mikroorganizmov počas ultrafiltrácie odstredeného mlieka na upravenom zariadení UFZ-400 (pokús 18)

Table 4. Increase in the number of microorganisms during centrifuged milk ultrafiltration on an adjusted apparatus UFZ-400 (experiment No. 18)

| Odber vzorky ¹ | Teplota vzorky ² | Počet mikroorganizmov v 1 ml ³ | | |
|------------------------------|-----------------------------|---|------------------------|-----------------------|
| | | termofilné ⁴ | mezofilné ⁵ | kvasinky ⁶ |
| Začiatok pokusu ⁷ | 60 °C | 2,7 · 10 ³ | 130 | 280 |
| Koniec pokusu ⁸ | 60 °C | 5,0 · 10 ³ | 270 | 470 |

¹Sampling; ²Sample temperature; ³Number of microorganisms in 1 ml; ⁴Thermophilous; ⁵Mesophilous; ⁶Yeasts; ⁷At the begin of experiment; ⁸At the end of experiment.

je obťažné, napriek tomu, že sa pri vyššej teplote výborne uplatnil preplach roztokom enzymatického pracieho prášku Biomat alebo roztokom peroxidu vodíka. Tento spôsob preplachu rozhodne prevýšil doteraz používané spôsoby

Tabuľka 5. Nárast počtu mikroorganizmov počas ultrafiltrácie odstredeného mlieka na upravenom zariadení UFZ-400 (pokus 19)
Table 5. Increase in the number of microorganisms during centrifuged milk ultrafiltration on an adjusted apparatus UFZ-400 (experiment No. 19)

| Odbor vzorky ¹ | Teplota vzorky ² | Počet mikroorganizmov v 1 ml ³ | | |
|------------------------------|-----------------------------|---|------------------------|-----------------------|
| | | termofilné ⁴ | mezofilné ⁵ | kvasinky ⁶ |
| Začiatok pokusu ⁷ | 50 °C | 0 | 2.10 ⁴ | 3 310 |
| Koniec pokusu ⁸ | 50 °C | 0 | 21.10 ⁴ | 4 480 |

For explanations see Table 4.

Tabuľka 6. Obsah dusíka a refraktometrická sušina odstredeného mlieka pred ultrafiltráciou koncentráta a permeátu ultrafiltrácie z pokusu 5
Table 6. Content of nitrogen and refractometric dried matter in centrifuged milk before ultrafiltration of the concentrate and ultrafiltration permeate from experiment No. 5.

| Vzorka ¹ | Obsah dusíka ² [%] | Refraktometrická sušina ³ [%] |
|--------------------------------|----------------------------------|---|
| Odstredené mlieko ⁴ | 0,148 | 9,5 |
| Koncentrát ⁵ | 0,890 | 25,5 |
| Permeát ⁶ | 0,035 | 5,5 |

¹Sample; ²Nitrogen content; ³Refractometric dried matter; ⁴Centrifuged milk; ⁵Concentrate; ⁶Permeate.

preplachovania membrán v zariadení. Napr. v pokuse 2 sa dosiahla nižšia hodnota priemerného toku permeátu membránou, než by bolo možné očakávať v porovnaní s ostatnými pokusmi, čo si vysvetľujeme práve nedokonalým preplachom.

Vcelku možno konštatovať, že priemerný tok membránou typu PL stúpa so stúpajúcou teplotou a stúpajúcim tlakom, pričom závislosť od tlaku je oveľa výraznejšia ako od teploty. Napr. pri membráne PL-15 sa zvýšenie teploty z 50 °C na 60 °C neprejavilo vôbec.

Z hľadiska funkčných vlastností jednotlivých membrán typu PL sa dosiahli najvyššie hodnoty priemerného toku membránou na membráne PL-15 a najnižšie na membráne PL-25. Z hľadiska mechanickej pevnosti jednotlivých membrán radu PL je poradie PL-25 > PL-15 > PL-10. Tak možno tvrdiť, že optimálnou membránou z týchto troch typov pre danú aplikáciu ultrafiltrácie je membrána PL-15.

Hlavným cieľom práce však bolo sledovať poruchovosť ultrafiltračného zariadenia pri vyššej teplote. Poruchy zariadenia sa prejavovali výrazným zakalením permeátu a vzostupom hodnoty jeho refraktometrickej sušiny. Za prí-

pustnú možno pokladať hodnotu v permeáte 4,5—5,0 % refraktometrickej sušiny na začiatku pokusu a 5,5—6,0 % refraktometrickej sušiny na konci pokusu, keď aj stupeň skoncentrovania ultrafiltrovaného mlieka stúpol. Zvýšenie obsahu refraktometrickej sušiny v permeáte nad tieto hodnoty signalizuje poruchu membrány.

Celkove možno konštatovať, že napriek tomu, že necelulózové membrány typu PL pri testovaní s roztokom amylázy v laboratórnych podmienkach vykazovali dobrú selektivitu, pri väčších plochách strojovo odlievajúcich membrán sa zatiaľ vyskytujú drobné trhlinky v štruktúre, takže ich selektivita sa tým znižuje. Tieto nedostatky vyplývajú zatiaľ z nedokonalého technického prevedenia kontinuálneho strojového odlievania týchto membrán, čo sa po určitých úpravách zariadenia a technológie odlievania v budúcnosti odstráni.

Teraz k najhlavnejším príčinám poruchovosti spôsobených zvýšenou teplotou a tlakom oproti povoleným hodnotám.

Poruchy vznikajú predovšetkým poškodením podporných dosák, ktoré pri tlakoch nad 0,3 MPa a pri vyšších teplotách pomerne rýchle praskajú. Tu sa výrazne neprejavila ani úprava tvaru podpornej dosky zmenou odstrekovacej formy, spojená so zvýšením hmotnosti dosky o 15 %.

Čo sa týka membrán, vyskytlo sa niekoľko menších trhlín pri tlakoch vyšších ako 0,3 MPa, a to takmer výlučne v miestach, ktoré boli vplyvom zatiaľ nedokonalnej technológie strojového odlievania príliš tenké, a teda aj slabšie, alebo naopak prilipnuté, a preto nepružné. Pri membránach typu PL-25 sa nezistili nijaké trhliny v ich štruktúre, a to ani pri tlaku 0,5 MPa.

Záver

Uskutočnené pokusy ultrafiltrácie odstredeného mlieka na membránach typu PL v upravenom zariadení UFZ-400 v štvrtprevádzkovom rozsahu poukázali na tieto fakty:

- necelulózové ultrafiltračné membrány typu PL sa dajú použiť aj dlhší čas bez podstatných zmien svojich funkčných a mechanických vlastností na ultrafiltráciu pri teplotách 50 °C až 60 °C,
- necelulózové ultrafiltračné membrány typu PL, použité na ultrafiltráciu odstredeného mlieka, možno účinne čistiť 0,5% roztokom pracieho prášku Biomat,
- na ultrafiltračných membránach radu PL sa pri ultrafiltrácii odstredeného mlieka pri teplotách 50 °C až 60 °C dá dosiahnuť podstatne vyšší tok permeátu membránou (20 až 50 kg.m⁻².h⁻¹) ako na doteraz používaných ester-celulózových membránach X-50-25-60 (okolo 10 kg.m⁻².h⁻¹),

- z hľadiska mechanickej pevnosti je najodolnejšia z membrán radu PL membrána PL-25 a najmenej membrána PL-10,
- najvyššie hodnoty toku permeátu membránou dosahuje membrána PL-15, potom PL-10 a najmenej membrána PL-25,
- podporné dosky, ktoré sú odstrekované na strekolise z polyetylénu VA-20-12 (Bralen) nezniesú pri tlaku vyššom ako 0,3 MPa pôsobenie vyšších teplôt (50 °C až 60 °C) dlhší čas.
- pri teplote okolo 60 °C sa v ultrafiltrovanom mlieku mikroorganizmy prakticky nemnožia, pri teplote okolo 50 °C prežívajú termofilné mikroorganizmy.

Literatúra

1. BARABÁŠ, J. — KRČÁL, Z. — BROKEŠ, P. — KUBICA, O.: Výroba koncentrátov mliečnych bielkovín pomocou ultrafiltrácie. In: Zborník 3. celoštátnej konferencie o membránových procesoch PERMEA '81, Pezinok-Baba. ČSVTS pri ChTF SVŠT, Bratislava, s. 67.
2. DAVÍDEK, J. a KOL.: Laboratorní příručka analýzy potravin. Praha, SNTL 1977, s. 182.
3. ČSN 56 0100. Mikrobiologické zkoušení poživatin, předmětů běžného užívání a prostředí potravinářských provozoven 1970.
4. Ultrafiltračné zariadenie UFZ-400 — Dodávateľské technické podmienky a technické podmienky použitia. Bratislava, VÚ LIKO 1982, s. 12.

Ультрафилтрация на нецеллюлозных мембранах типа PL

Резюме

В статье описываются опыты по ультрафилтрации обезжиренного молока на нецеллюлозных мембранах типа PL при более высоких температурах (до 60 °C) и давлении (до 0,5 МПа), чем допускают технические условия поставок UFZ (ультрафилтрационного оборудования) 400 при использовании эфироцеллюлозной ультрафилтрационной мембраны (температура максимально 35 °C и давление 0,3 МПа).

Было подтверждено, что для ограничения размножения микроорганизмов в молоке во время ультрафилтрации необходимо работать при температуре хотя бы 60 °C, и что при более высокой температуре и давлении существенно повышается производительность оборудования для ультрафилтрации (в два и даже пять раз), однако, с другой стороны, при этих условиях часто происходит механическое разрушение ультрафилтрационных мембран типа PL и полиэтиленовых поддерживающих пластин ультрафилтра. Поэтому необходимы дальнейшие исследования направить именно на улучшение их механических свойств.

Ultrafiltration using PL-type noncellulosic membranes

Summary

In this paper ultrafiltration experiments with centrifuged milk are described that were made using PL-type noncellulosic membranes at higher temperatures (reaching 60°C) and pressure (up to 0.5 MPa) than those allowed by the standard technological and production parameters valid for the ultrafiltration apparatus UFZ-400 when ester cellulosic ultrafiltration membranes are used (with maximum permissible temperature 35°C and maximum pressure 0.3 MPa).

The experiments have shown that ultrafiltration at a temperature of at least 60°C inhibits the multiplication of microorganisms in milk and that higher temperatures and pressure increase considerably the efficiency of ultrafiltration apparatus (two or even five times). On the other hand, however, these conditions may often lead to a mechanical damage of the PL-type ultrafiltration membranes and polyethylene supporting plates of the filter, which points to the necessity of improving their mechanical properties in the future.