

Ing. LADISLAV CHLÁDEK - Ing. JOSEF SKALIČKA, Výzkumný ústav potravinářského průmyslu, Praha

Do redakce došlo 6. srpna 1976

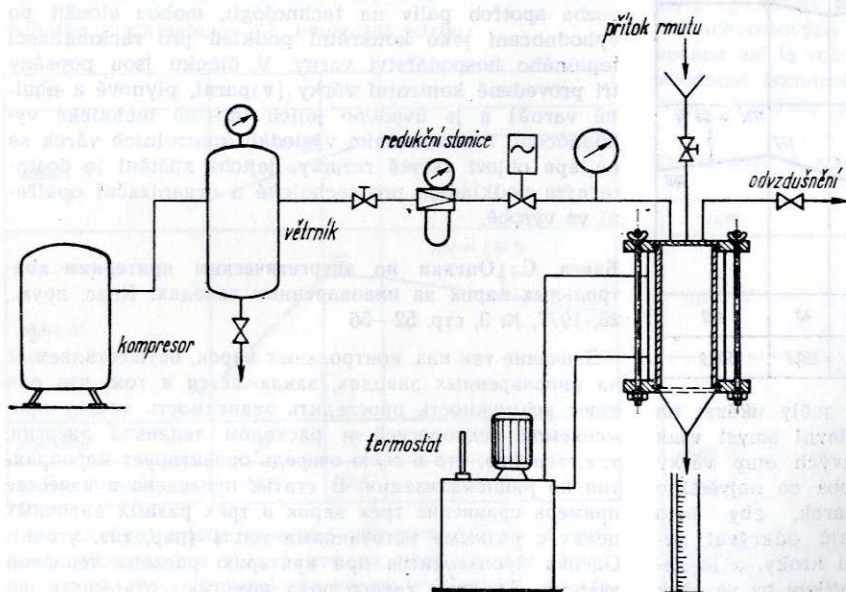
V posledních letech se stále ve větším měřítku zavádějí do procesu výroby sladiny filtry. Lze uvést například zařízení firmy Seitz, deskový filtr Buckau-Wolf, vakuový filtr BIW, pásový filtr v Novim Sadu a další. Z uvedených důvodů je věnována i zvýšená pozornost studiu procesu, který probíhá v těchto zařízeních. Obsahem této práce jsou poznatky získané z rozsáhlé experimentální práce v tomto oboru. Speciální pozornost je věnována tvorbě filtračního koláče v počáteční fázi děje. Dále je uveden teoretický popis děje a vyjádřeny filtrační závislosti pro sladinu, na základě provedené experimentální práce.

## Vznik filtrační vrstvy

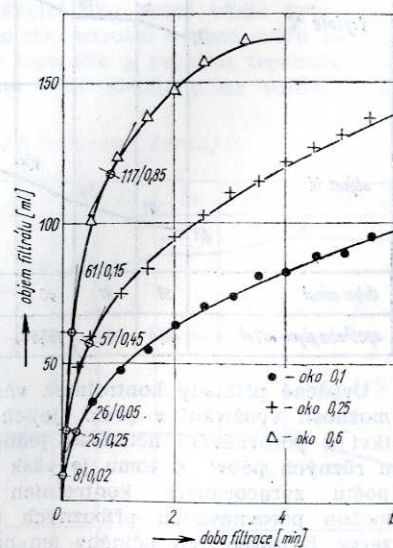
Důležitou podmínkou dosažení dobré účinnosti filtračního procesu a současně předpokladem platnosti dále uvedených filtračních vztahů je vytvoření základní fil-

trační vrstvy potřebné výšky již na začátku děje. Jedním z faktorů, který významně ovlivňuje tvorbu základní vrstvy, je propustnost filtrační podložky (plachetky, mřížky apod.). Při volbě podložky s příliš velkými otvory — oky se tvoří filtrační vrstva opožděně a získaný filtrát obsahuje neúměrně vysoký podíl kalů, proteklých v první části filtračního procesu. Naopak podložka s příliš malými otvory je příčinou předčasněho zablokování filtračního děje vytvořením souvislé vrstvy jemných kalů, kterou je nutno rozrušit. Je proto potřebné nalézt optimální průběh počátku filtrace, vhodnou velikost otvorů, popřípadě strukturu materiálu použité podložky, odpovídající filtrované suspenzi a podmínkám procesu.

Experimentální práce se konaly na laboratorním filtračním zařízení vlastní konstrukce (obr. 1). Skládalo se ze skleněné válcové části umožňující optickou kon-



Obr. 1. Schéma laboratorního filtračního zařízení

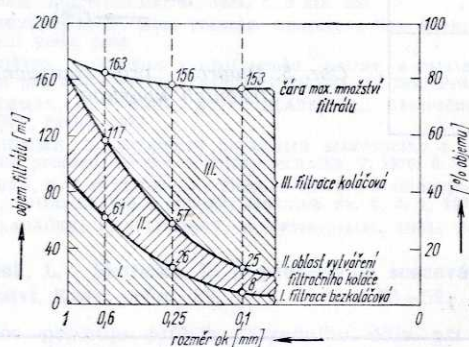


Obr. 2. Filtrační křivky při různých velikostech ok podložky



trolu děje, snímatelného temperačního pláště, dále ze zařízení na vytvoření přetlaku, popř. podtlaku a z přesně kalibrovaného odměrného válce pro jímání filtrátu. Filtrační podložka byla vkládána na podpěrný rošt, opatřený soustavou sběrných kanálků. Rmut byl připravován klasickým jednoramenným postupem ze šrotu provozní hrubosti [1], zcukření bylo kontrolováno jódovou reakcí (tzv. jódovou zkouškou). Koncentrace vyrobené sladiny se stanovovala běžnými metodami (sacharometricky a refraktometricky [2]).

Pro studium vzniku filtrační vrstvy a vyhledání vhodné struktury a materiálu podložky byla provedena série filtračních testů, jako podložky byly použity kovové tkaniny, křížové vazby s různými rozměry ok. Byl sledován zejména časový průběh tvorby filtračního koláče, od počátečního stadia, až k vyčištění proteklého filtrátu a dále sledován filtrační děj až do ukončení. Filtrace probíhala za konstantní teploty 78 °C a přetlaku 0,2 MPa.



Obr. 3. Závislost průběhu filtračního děje na velikostech ok podložky

Naměřené hodnoty množství shromážděného filtrátu v závislosti na čase jsou patrné z obr. 2. Z těchto křivek byl dále zpracován diagram (obr. 3), znázorňující průběh filtračního děje při různých velikostech ok podložky v závislosti na množství proteklého filtrátu. Znázorněné křivky rozdělují pole diagramu na tři oblasti, které lze podle charakteru probíhajícího filtračního děje označit:

- za oblast volného průtoku — zahrnující počáteční fázi děje před počátkem utváření koláče,
- oblast vytváření filtračního koláče,
- oblast koláčové filtrace — zahrnující podstatnou část filtračního děje.

Třetí oblast je shora ohraničena křivkou maximálního množství filtrátu, která zároveň dává představu o účinnosti procesu. Z obr. 3 je dále patrný podíl uplatnění koláčové filtrace v průběhu celého děje. Například při velikosti oka 0,25 mm proběhne asi 17 % tekutiny téměř volně, asi 20 % je zfiltrováno nedokonalé a zbytek 63 % představuje již vyhovující filtrát. Pro dosažení čirého filtrátu je nutné, aby filtrační proces probíhal co nejdéle v oblasti koláčové filtrace. Při použití ok příliš malých rozměrů se však neúměrně prodlužují filtrační časy a tím i nepříznivě ovlivňuje ekonomie procesu. Průběh filtračního děje je tedy nutné přizpůsobit tak, aby míra filtrátu v počátečních fázích procesu byla únosná, tj. najít optimum vzájemné souvislosti mezi velikostí ok, číroostí filtrátu a dobou filtrace při daných podmínkách procesu.

Pro filtraci sladinové suspenze se ukázaly jako nejvhodnější silonové a bavlněné plachetky s keprovou vazbou, tuzemské výroby (např. FH 304/13871, FS 574/

/13892 aj.), které umožnily dosáhnout potřebné číroosti filtrátu a rychlosti filtrace. Byly použity i při dále uvedené experimentální práci.

### Filtrační teorie

Scezování sladiny lze popsat jako filtrační děj při nestlačitelném filtračním koláči (vrstvě mláta [3]). Pro laminární průtok porézní vrstvou se vychází z d'Arcyho zákona [4]:

$$w = K \frac{\Delta p}{\mu \cdot h} \quad (1)$$

K vyjádření hodnoty permeability  $K$  je nutno určit porozitu filtračního koláče  $\varepsilon$  a jeho specifický povrch  $a_v$ . Vzájemným vztahem permeability, porozity a specifického povrchu se zabývalo více autorů (Brownell-Katz, Zavoronkov, Rose, Treybal a další) [5, 6, 7, 8]. Pro naši práci byl použit vztah, který odvodili Kozeny-Carman [6]:

$$K = \frac{\varepsilon^3}{5(1-\varepsilon)^2 a_v^2} \quad (2)$$

Výška nestlačitelného filtračního koláče se určí z předpokladu, že závislost mezi výškou koláče  $h$  a jednotkovým množstvím filtrátu  $v = V/F$  je lineární:

$$h = B \cdot v \quad (3)$$

Konstanta úměrnosti  $B$  se určí ze vztahu [6]:

$$B = \frac{x \rho_k}{(1-x)(1-\varepsilon) \rho_t - x \varepsilon \rho_k} \quad (4)$$

Filtrační rovnice (1) bude mít po úpravě tento tvar:

$$w \cdot v = \frac{K \Delta p}{\mu \cdot B} = A \quad (5)$$

Po substituci  $w = \frac{dv}{dt}$  a integraci, obdržíme koneč-

ný výraz pro filtrační rovnici:

$$v = \sqrt{2At} + C \quad (6)$$

Z počáteční podmínky vyplývá pro konstantu  $C$  nulová hodnota. Pro matematické vyjádření rovnice (6) bylo nutno experimentálně určit tyto fyzikální parametry mláta: porozitu  $\varepsilon$ , specifický povrch  $a_v$ , specifickou hmotnost kapalně a tuhé fáze  $\rho_k$  a  $\rho_t$ , hmotnostní poměr suspenze  $x$ . Hodnota viskozity byla převzata z literatury [9]. Hodnota porozity mláta byla stanovována dvojím způsobem. V prvním případě bylo použito metody vážení a volumetrického měření. Druhý postup vycházel ze stanovení porozity lisováním vzorku mokrého mláta při současném určení množství volné a kapalně fáze [10]. Experimentálně stanovená hodnota porozity oběma postupy se pohybovala v rozmezí  $\varepsilon = 0,52 - 0,59$ . Specifický povrch byl určen pouze experimentálně a zjištěna střední hodnota  $a_v = 2,14 \cdot 10^5 \text{ m}^{-1}$ . Specifická hmotnost sladiny [12] je  $\rho_k = 1,05 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , specifická hmotnost mláta  $\rho_t = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$  [11]. Pro hmotnostní poměr  $x$  byla určena hodnota  $2,56 \cdot 10^{-2}$ .

Po dosazení do vztahu (2) byla vypočtena hodnota permeability filtračního koláče  $K = 2,67 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$  a konstanty úměrnosti (3)  $B = 4,57$ . Pro výslednou filtrační rychlost (6), při daném režimu filtrace ( $\Delta p = 0,2 \text{ MPa}$  a  $t = 78^\circ \text{C}$ ) byla stanovena rovnice:

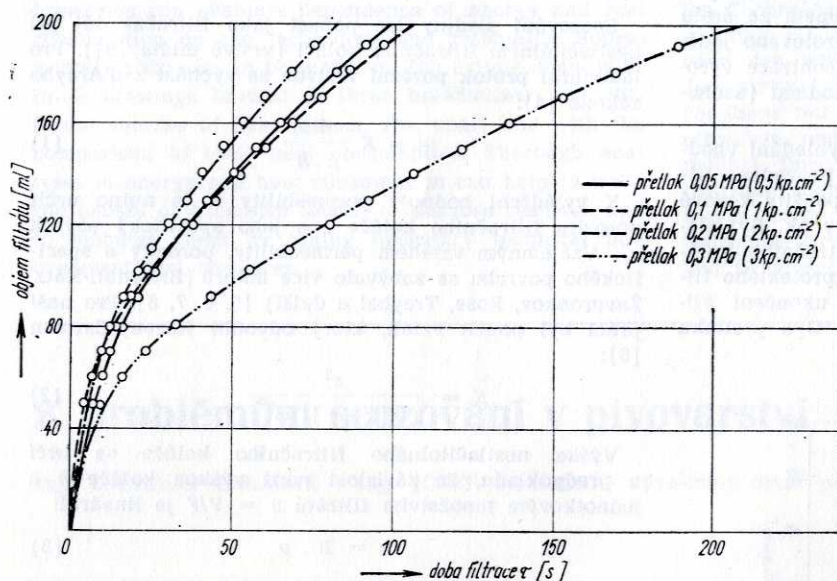
$$v = 0,139 \sqrt{t} \quad (7)$$

Rovnice (7) platí za předpokladu, že hodnoty fyzikálních parametrů mláta se během procesu nemění.

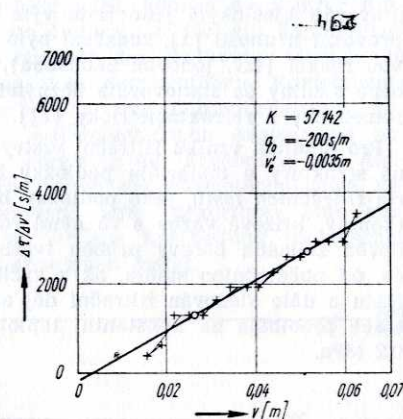


Experimentální práce však prokázaly značnou variabilitu uvedených konstant, kterou potvrdilo i porovnání výsledků, stanovených podle rovnice (7) s průběhem filtračních testů, patrných z obr. 4.

jako jsou jemnost mletí, druh sladu, cytologické rozluštění a dalších. Rovněž předpoklad nestlačitelnosti filtrační vrstvy nelze považovat z hlediska charakteru mláta za ideální.



Obr. 4. Filtrační křivky porovnávacích testů



Obr. 5. Diagram pro stanovení filtračních konstant

#### Graficko-početní stanovení filtrační závislosti

Postup vychází z graficko-početní metody stanovení konstant filtrační rovnice z průběhu filtračních testů. Byla sledována závislost množství proteklého filtrátu  $V$  na čase  $t$ , kterou lze popsat vztahem [6]:

$$(v + v_e) = 2a(t + t_e) \quad (8)$$

Po diferencování a úpravě obdržíme:

$$\frac{dt}{dv} = \frac{1}{a} v + \frac{v_e}{a} \quad (9)$$

K řešení této rovnice (9) postačí odečíst z grafu sestrojeného z naměřených hodnot příslušné konstanty:

směrnici přímky  $k = \frac{1}{a}$ , úsek na pořadnici  $q_0 = \frac{v_e}{a}$  a vodorovné ose úseček  $p_0 = v_e$ .

Byl proveden soubor měření za výše uvedených stejných podmínek. Konstanty pro vyjádření filtrační závislosti jsou odečteny z obr. 5. Celkový soubor naměřených hodnot je zpracován v tab. 1.

#### Diskuse

Z uvedených výsledků je patrný význam včasného vytvoření filtrační vrstvy na průběhu a účinnost filtračního děje. Experimentálně lze stanovit vliv rozměrů ok použité podložky na charakter průběhu celého procesu. Pro praktické stanovení filtračních závislostí pro sladinu je výhodnější použití metody stanovení filtračních konstant z naměřených hodnot. Teoreticky je vyjádření filtračních závislostí obtížné a pro praxi nepřesné, vzhledem k obtížnosti stanovení potřebných konstant, zejména porozity a specifického povrchu a permeability vrstvy. Tyto hodnoty se nemění během výrobního procesu a jsou závislé na řadě dalších faktorů,

Tabulka 1.

Tlakový gradient	Směrnice filtrační přímky [k]	Úsek na ose $q_0 = -\frac{\Delta\tau}{\Delta v}$ [s.m. <sup>-1</sup> ]	Úsek na ose $p_0 = v$ [m]
Přetlak			
0,05 MPa	57 142	-200	-0,035
0,1 MPa	64 516	-400	-0,0062
0,2 MPa	46 511	-150	-0,0032
0,3 MPa	100 000	350	0,0035
Podtlak			
13 332 Pa (100 mm Hg)	93 023	725	0,0073
26 664 Pa (200 mm Hg)	46 512	2 075	0,046
39 996 Pa (300 mm Hg)	71 428	1 000	0,014
53 328 Pa (400 mm Hg)	83 333	1 300	0,015

#### Použité symboly

$a$	— konstanta filtrační rovnice	[1]
$a_v$	— specifický povrch	[m <sup>2</sup> .m <sup>-3</sup> ]
$A$	— pomocná konstanta	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$B$	— konstanta úměrnosti	[1]
$F$	— filtrační plocha	[m <sup>2</sup> ]
$h$	— výška filtračního koláče	[m]
$k$	— směrnice filtrační přímky	[1]
$K$	— permeabilita (propustnost) koláče	[m <sup>2</sup> ]
$\Delta p$	— tlakový gradient	[Pa]
$p_0$	— úsek na vodorovné ose	[m]
$q_0$	— úsek na svislé ose	[m <sup>-1</sup> .s]
$t$	— čas	[s]
$t_e$	— čas vztažený na ekvivalentní tloušťku koláče	[s]
$v$	— výška sloupce filtrátu	[m]
$v_e$	— výška sloupce filtrátu pro ekvivalentní vrstvu	[m]
$V$	— objem filtrátu	[m <sup>3</sup> ]
$w$	— filtrační rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]



$x$	— hmota suspendovaných částic připadajících na jednotku hmoty suspenze	[kg.kg <sup>-1</sup> ]
$\varepsilon$	— porozita	[1]
$\mu$	— dynamická viskozita	[Pa.s]
$k$	— specifická hmotnost kapalně fáze	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$t$	— specifická hmotnost tuhé fáze	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\omega$	— tvarový součinitel	[1]

#### Literatura:

- [1] ČERMÁK, V. - GRÉE, R. - CHLÁDEK, L. a kol: Závěrečná zpráva VÚPP, Praha, 1975
- [2] LHOTSKÝ, A.: Pivovarská enzymologie, SNTL Praha, 1971
- [3] HOUGH, J. S. - BRIGGS, D. E. - STEVENS, H. S.: Malting and Brewing Science, London, Chapman & Hall Ltd, 1971
- [4] ANDĚL, A.: Základní pochody chemické a potravinářské výroby — pochody mechanické, skripta ČVUT FS, Praha 1966
- [5] PERRY, J. H.: Chemical Engineering Handbook, New York, Mc Graw-Hill Book, 1963
- [6] DOHNAL, J.: Základní pochody chemické a potravinářské výroby — pochody hydraulické, skripta ČVUT FS Praha 1966
- [7] RUMPF, H. - GUPTE, A.: Einflüsse der Porosität und Korngröße. Chem. Ing. Technik, 41, 1971, č. 3 str. 367
- [8] TREYBAL, R. E.: Mass Transfer Operation, New York, McGraw-Hill Book, 1968
- [9] MOŠTEK, J.: Výzkum využití zeměd., potrav. a ostatních surovin pro účely výživy. Závěrečná zpráva, VŠCHT, Praha 1974
- [10] ČERMÁK, V. - GRÉE, R. - CHLÁDEK, L.: Závěrečná zpráva VÚPP, Praha, 1974
- [11] CHLÁDEK, L.: Stanovení parametrů scezovacího a vyslázovacího procesu, Potrav. a chlad. technika, 7, 1976, č. 4 s. 386.106
- [12] GRÉE, R. - SKALIČKA, J.: Tlaková filtrace sladidlových suspenzí, Potravinářská a chladicí technika, sv. 2, č. 1, 1971, s. 6
- [13] HLAVÁČEK, F. - LHOTSKÝ, A.: Pivovarství, SNTL, Praha 1972

**Chládek, L. - Skalička, J.: K problémům scezování v pivovarství.** Kvas. prům. 23, 1977, č. 3, s. 56—59.

Práce popisuje průběh filtračního děje při nekonvenčním způsobu scezování na tlakových a vakuových filtrech. Na základě provedených filtračních testů je rozebrán a zhodnocen vliv použité podložky na vytváření filtračního koláče a následný průběh celého filtračního děje. Je proveden teoretický výpočet filtrační závislosti pro scezování na tlakovém filtru při použití šrotu provozního mletí. Teoretická závislost je porovnána s výsledkem filtračních testů a rozebrány vlivy na průběh filtrace v praxi. Jsou uvedeny hodnoty konstant sladidlové suspenze, zejména porozity, specifického povrchu a dalších, které jsou potřebné pro praktické, grafickopočetní vyjádření filtračního vztahu.

**Хладек, Л. — Скаличка, И.: К некоторым проблемам технологии процеживания сусла в пивоваренной промышленности.** Квас. прум., 23, 1977, № 3, стр. 56—59

В статье рассматривается ход процесса фильтрации в установках для процеживания сусла, работающих на принципе применения вакуума или давления. На осно-

вании результатов своих экспериментов авторы анализируют влияние материала фильтрующего слоя на образование лепешки и на ход процесса фильтрации в целом. Приведены теоретические показатели процеживания сусла под давлением для удаления из него дробины нормального размола. Теоретические данные сравниваются с фактическими и перечисляются фазторы влияющие на практике на ход фильтрации. Для облегчения расчета производительности и других показателей процеживания авторы приводят постоянные, характеризующие суспензию, состоящую из сусла и дробины, в том числе пористость и удельную поверхность.

**Chládek, L. - Skalička, J.: Some Problems of Straining Technology in Brewing Industry.** Kvas. prům. 23, 1977, No. 3, pp. 56—59.

The authors describe the course of filtration process taking place on unconventional pressure or vacuum filters. They analyze the results of a number of tests and evaluate effects filtering bed has on the formation of filter cake and filtration process as a whole. A detailed calculation shows theoretical parameters of the process when a pressure filter is employed for straining wort to separate normally ground spent grains. Theoretical values are compared with experimental ones and factors determining efficiency of filtration specified. To facilitate practical calculation — either graphical or numerical — of filtration speed and efficiency the authors enumerate all necessary constants of wort suspension, especially porosity and specific surface.

**Chládek, L. - Skalička, J.: Zu den Problemen der Abläuterung in den Brauereien.** Kvas. prům. 23, 1977, No. 3, S. 56—59.

In dem Artikel wird der Verlauf der Filtrationsvorgangs in nichtkonventionellen Anlagen — Druck- und Vakuumfiltern — beschrieben. Aufgrund durchgeführter Filtrationsteste wird der Einfluß der angewandten Unterlage für die Bildung des Filtrationskuchens und den nachfolgenden Verlauf des ganzen Filtrierprozesses beschrieben und ausgewertet. Es wird weiter auch die theoretische Berechnung der Filtrationsabhängigkeit für die Läuterung auf dem Druckfilter bei Anwendung von Betriebsschrot durchgeführt. Die theoretische Abhängigkeit wird mit den Ergebnissen der Filtrationsteste verglichen und die Einflüsse auf den Verlauf der Filtration in der Praxis werden diskutiert. Es werden die Werte der Konstanten der Süßwürzesuspension, vor allem der Porosität, der spezifischen Oberfläche und weitere Parametr angeführt, die für die praktische, graphisch-numerische Charakteristik des Filtrationsverhältnisses nützlich sind.