

AUTOREGULAČNÍ SYSTÉM DÁVKOVÁNÍ KŘEMELINY PŘI FILTRACI PIVA

Ing. Jan VOBORSKÝ, Ing. Tomáš ŠRUMA, VÚPS Praha

Klíčová slova: autoregulační systém, křemelina, dávkování, filtrace piva

Ú V O D

Nejúspěšnějším způsobem filtrace piva je až dosud filtrace naplavovací. Průběh filtrace je v rozhodující míře závislý na volbě a způsobu dávkování pomocného filtračního prostředku. Nejlépe se pro tento účel osvědčila křemelina vyráběná řadou firem v různých druzích, lišících se průtočností a filtračním efektem. Optimální dávkovací směs a její množství lze odvodit od filtrovatelnosti piva a kompenzace někdy značných výkyvů ve filtrovatelnosti piva závisí na praktických zkušenostech a odbornosti obsluhy.

Filtrovatelnost piva je dána obsahem a charakterem vysrážených kalů a obsahem kvasinek. Zatímco zákal způsobený vysráženými kaly se do jisté míry v určitém období mění jen v úzkých mezích, obsah kvasinek může kolísat v průběhu filtrace v rozmezí až dvou řádů. Změny obsahu kvasinek jsou vyrovnávány trvalým přebytkem dávkovací směsi, často více než dvojnásobkem, ve snaze pojitit uspokojivý průběh filtrace. Tímto jednoduchým způsobem doporučuje dávkovat křemelinu většina firem dodávajících zařízení pro filtraci, i když ostatní fáze filtračního postupu mohou být zcela automatizovány.

Přesto, že přebytek při dávkování, oproti optimálnímu množství zajišťujícímu přijatelný tlakový nárůst, vede zjevně k vyšší spotřebě křemeliny, není tento způsob dávkování zárukou proti náhlému zvýšení tlakového rozdílu při nárazově vysoké koncentraci kvasinek v nefiltrovaném pivu např. při narážení, nebo zatahování ležáckých tanků.

Důsledkem je v takovém případě předčasné ukončení filtrace a další zvýšení provozních nákladů při opětovném naplavování filtru. Tento problém řeší nový způsob automatického dávkování křemeliny v závislosti na zákalu piva vstupujícího do filtru. Systém umožňuje regulovat nejen množství křemeliny, ale také měnit poměr jemné a hrubé křemeliny a tím permeabilitu filtrační vrstvy v průběhu filtrace. Teoretické podklady pro tento systém, vycházející z modelových filtrací byly zveřejněny již dříve [1] a jsou v tomto článku v základních rysech shrnuty.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PŘEDPOKLADY

Průběh filtrace je charakterizován:

- a) Časovým nárůstem rozdílu tlaků před a za filtrační přepážkou ($\text{kPa} \cdot \text{h}^{-1}$), což rozhoduje o množství zfiltrovaného piva v jednom filtračním cyklu.
 - b) Dosaženou čírostí (jEBC), která je měřítkem kvality filtrace
- Oba parametry jsou ovlivněny obsahem a velikostí zákalových částic, způsobem dávkování a volbou filtrační

směsi. Zákal v pivu je tvořen kvasinkami, eventuálně bakteriemi z provozní kontaminace a jemnými kaly vysráženými v průběhu technologického procesu složenými z komplexů bílkovin, polysacharidů a polyfenolů (*tab. I*). Tvorba jemných kalů, jejich množství a velikost závisí na celé řadě technologických faktorů a v ustáleném provozu se změny pohybují v poměrně úzkém rozmezí bez výraznějšího vlivu na filtrovatelnost piva. Dramatičtější posun je obvykle sezónní záležitostí (např. slad z nové sladovací kampaně), nebo je způsoben změnou v technologii. Filtrovatelnost se mění zpravidla postupně a průběh filtrace okamžitě neovlivňuje. Naopak obsah kvasinek v pivu vstupujícího do filtru může kolísat v průběhu jednoho filtračního cyklu např. od 50 000 do 5 milionů kvasinek v 1 ml (*tab. I*).

Tab. I. Velikost zákalových částic v nefiltrovaném pivu

Kvasinky:	4 - 8 μm
Bakterie:	1 - 4 μm
Jemné kaly:	0,2 - 2 μm
(komplexy bílkovin, polyfenolů a polysacharidů)	

Obsah kvasinek v 1 ml nefiltrovaného piva

Dobře sazené pivo	100 000 - 300 000
Středně sazené pivo	300 000 - 800 000
Hůře sazené pivo	nad 800 000
Nárazová koncentrace	2 - 5 milionů
při narážení nebo zatahování tanků	

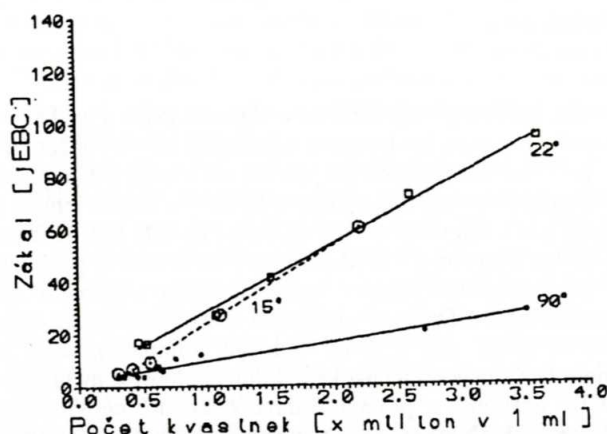
Změny v koncentraci kvasinek lze dobře postihnout vhodným nefelometrem, neboť obsah kvasinek je přímo úměrný zákalu. Intenzita rozptylu světla způsobená zákalovými částicemi může být pak snímána v úhlu 90° , přičemž se zachytí převážně koloidní částice pod $1 \mu\text{m}$, zatímco částice větší než $1 \mu\text{m}$ jsou lépe registrovány v dopředném úhlu $15^\circ - 25^\circ$.

Vztah mezi obsahem kvasinek v pivu a jeho zákallem je uveden na obrázku 1 při úhlu měření 90° , 22° a 15° . Pro měření koncentrace kvasinek v pivu před filtrací je výhodnější dopředný úhel, jak vyplývá ze strmější závislosti oproti úhlu 90° .

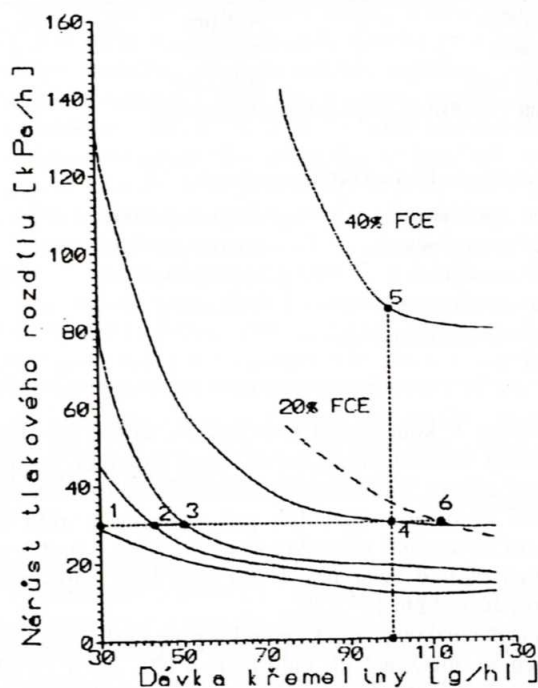
FILTRACE PIVA S RŮZNÝM OBSAHEM KVASINEK

Podle dříve popsané metodiky [2] byla uskutečněna serie filtrací na modelovém čtvrtprovozním svíčkovém filtru Stella Meta Filtres typ 1052 s filtrační plochou 140 cm^2 . V celé sérii filtračních zkoušek se filtrovalo stejné

pivo s různým obsahem kvasinek. Pivo s určitou koncentrací kvasinek se filtrovalo ještě s různou dávkou křemeliny. Při filtraci byl udržován konstantní průtok a sledován nárůst tlakového rozdílu a dosažená čírost po zfiltrování 12,5 hl.m⁻² piva.



Obr.1 Vztah mezi obsahem kvasinek v nefiltrovaném pivu a zákalem měřeným pod úhlem rozptylu 15°, 22° a 90°. Hodnoty při 15° byly měřeny na Katedře chemické fyziky MFF UK Praha (doc.Sladký).



Obr.2 Průměrné hodnoty nárůstu tlakového rozdílu při křemelinové filtraci piva v závislosti na dávce křemeliny a obsahu kvasinek v nefiltrovaném pivu. Křivky se liší počtem kvasinek (10⁶ v 1 ml) v nef. pivu: Křivka 1-0,25; 2-0,6; 3-1,0; 4-1,5; 5-2,5.10⁶ v 1 ml s obsahem 40 % křemeliny FCE v dávkovací směsi, křivka 6-2,6.10⁶ v 1 ml, 20% FCE (tabulka 2).

Vztahy mezi průměrným nárůstem tlakového rozdílu a mezi dávkou křemeliny při filtraci piv s různým obsahem kvasinek jsou zakresleny v obrázku 2. Na obrázku 3 jsou u stejných zkoušek vyneseny dosažené čírosti.

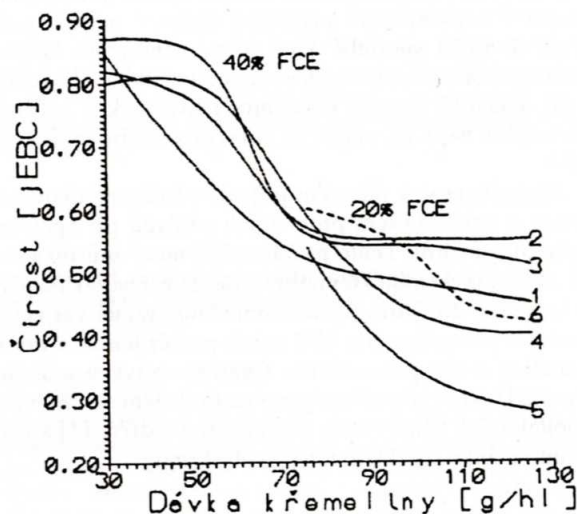
Tab.2. K obrázku 2

Při normálním obsahu kvasinek (do 1 milionu/1 ml) lze dosáhnout uspokojivého nárůstu rozdílu tlaku poměrně nízkou dávkou křemeliny. Se směsí 40%FCE + 60%HSC bylo dosaženo nárůstu tlakového rozdílu 30 kPa/h při obsahu kvasinek:

0,25 mil v 1 ml se spotřebou křemeliny 30 g/hl (křivka 1)
0,60 mil v 1 ml se spotřebou křemeliny 44 g/hl (křivka 2)
1,00 mil v 1 ml se spotřebou křemeliny 50 g/hl (křivka 3)
1,50 mil v 1 ml se spotřebou křemeliny 100 g/hl (křivka 4)

Při obsahu kvasnic 2,5 mil v 1 ml (křivka 5) bylo dosaženo dávkou 100 g/hl nárůstu rozdílu tlaku 90 kPa/h (bod 5) a ani vyšší dávkou se tato hodnota nesnížila pod 80 kPa/h. Při vysokém obsahu kvasnic (2,6 mil. v 1 ml - křivka 6) lze snížit nárůst tlakového rozdílu na 30 kPa/h snížením podílu jemné křemeliny v dávkovací směsi ze 40% na 20% a současně vyšší dávkou křemeliny (bod 6)

Z obrázku 2 a tabulky 2 je patrné, že průměrný nárůst tlakového rozdílu se daří korigovat na úroveň 30 kPa.h⁻¹ s poměrně jemnou směsí (40 % jemné křemeliny FCE) až do obsahu 1,5 mil kvasinek v 1 ml. Při vyšším obsahu kvasinek je nutno snížit poměr jemné křemeliny v dávkovací směsi (např. na 20 %), aby bylo dosaženo žádoucího nárůstu rozdílu tlaků (30 kPa.h⁻¹). V daném případě bylo nutno současně zvýšit dávku této směsi na 110 g.hl⁻¹. Na obrázku 3 je vidět, že čírost zfiltrovaného piva u této série zkoušek s 20 % jemné křemeliny (křivka 6) s dávkováním 110 g/hl byla na stejné úrovni nebo lepší než u série zkoušek se 40 % jemné křemeliny s nižším obsahem kvasinek (křivky 1,2,3). Lze to vysvětlit tím, že zvýšená koncentrace kvasnic ve filtrační vrstvě zvyšuje filtrační účinek podobně jako jemná křemelin.



Obr.3 Čírost piv z filtračních zkoušek z obr.2. Popis křivek se shoduje s obr.2.

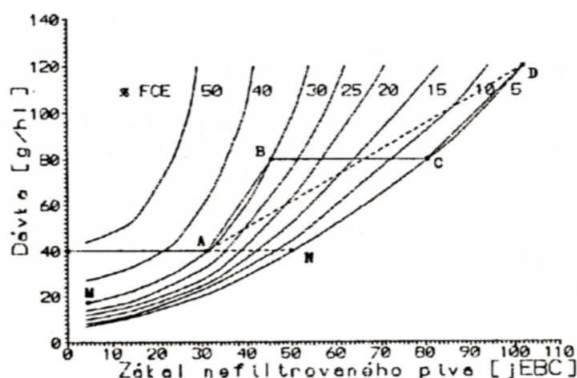
KŘIVKY KONSTANTNÍHO NÁRŮSTU ROZDÍLU TLAKU

Pro plynulý průběh filtrace je rozhodující udržet po celou dobu filtrace konstantní časový přírůstek rozdílu tlaku. Tato hodnota závisí na dovoleném maximálním tlaku filtru, na průtoku a na požadovaném množství

zfiltrovaného piva v jednom filtračním cyklu. Orientačně lze zvolit hodnotu $30 \text{ kPa} \cdot \text{h}^{-1}$.

Ze série filtračních zkoušek lze zkonstruovat vztah mezi zákaloměrů nefiltrovaného piva a množstvím dávkovací směsi s různým obsahem jemné křemeliny při filtraci, tak aby rozdíl tlaku narůstal pravidelně v průběhu filtrace o 30 kPa za hodinu. Čírost piva kolísá jen nepatrně, neboť nižší podíl jemné křemeliny je vykompenzován zvýšenou koncentrací kvasinek.

Z křivek na obrázku 4 lze vyčíst, jaká by měla být dávka křemeliny s určitým podílem jemné křemeliny (FCE), aby bylo dosaženo při určitém zákalu nefiltrovaného piva (což odpovídá určitému obsahu kvasinek) stejného nárůstu rozdílu tlaků ($30 \text{ kPa} \cdot \text{h}^{-1}$). Z obrázku je zřejmé, že při vyšším zákalu nefiltrovaného piva lze dosáhnout uvedeného nárůstu pouze s hrubší směsí křemeliny a tedy nižším podílem jemné křemeliny.



Obr. 4 Vztah mezi zákaloměrů nefiltrovaného piva (úhel měření 25°) a dávkou křemeliny pro konstantní nárůst tlakového rozdílu $\Delta p = 30 \text{ kPa/h}$ při různém obsahu jemné křemeliny (FCE) v dávkovací směsi s HSC.

NÁVRH SYSTÉMU DÁVKOVÁNÍ PODLE ZÁKALU NEFILTROVANÉHO PIVA

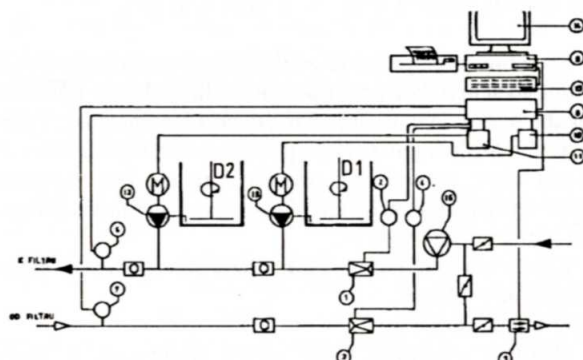
Konstrukce křivek konstantního nárůstu rozdílu tlaků na obr. 4 umožňuje dávkovat křemelinu podle různých alternativ v závislosti na zákalu nefiltrovaného piva. Zvolíme-li např. základní směs $70 \% \text{ HSC} + 30 \% \text{ FCE}$, byla by nejvhodnější varianta dávkování podle křivky MA až do $40 \text{ g} \cdot \text{hl}^{-1}$, dále by se při této dávce snižoval podíl jemné křemeliny až do bodu N a od bodu N by se dávka zvyšovala se směsí $95 \% \text{ HSC} + 5 \% \text{ FCE}$ podle křivky NCD. Ve skutečnosti se volí varianta s určitou rezervou, která kompenzuje případné rozdíly ve filtrovatelnosti piva vlivem jemných kalů.

Varianta zakreslená na obrázku čarou, spojující body 40, A, B, C, D, preferuje vyšší dávkování při nižších zákalech. Naopak varianta zakreslená čárkovaně (A D) je při nižších zákalech úspornější ale při vyšších zákalech se dávkuje oproti předchozí variantě křemeliny více.

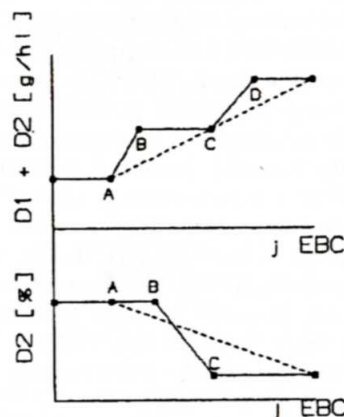
TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Vývoj celého systému automatické regulace dávkování filtračních prostředků na základě teoretických předpokla-

dů zpracovaných ve VÚPS hradila firma Destila Brno s cílem výrazně zvýšit technickou úroveň svých filtrů. Na vývoji zákaloměrů se podílel doc.ing.Petr Sladký, CSc., vedoucí oddělení optotermální spektroskopie a rozptylu světla, Katedra chemické fyziky Matematicko-fyzikální fakulty Karlovy university v Praze a ing.Jaroslav Novotný, JN Technik, sdružení ATRIMA Brno, který zároveň celý systém vybavil měřicími, řídícími a regulačními moduly se standardním personálním počítačem PC-AT a zpracoval řídící program "Filtrace". Základní schéma celého systému, jak ho dodává Destila Brno je uveden na obrázku 5.



Obr. 5 Blokové schéma systému automatické regulace dávkování křemeliny při filtraci piva. 1-clona odběru, 2-čidlo měření zákalu před filtrem, 3-clona odběru, 4-čidlo měření čírosti filtrátu, 5-čidlo měření průtoku filtrem, 6-snímání tlaku před filtrem, 7-snímání tlaku za filtrem, 8-řídící jednotka s příslušnými moduly, 9-počítač PC-AT, 10-frekvenční měnič otáček motoru 1, 11-frekvenční měnič otáček motoru 2, 12-dávkovací čerpadlo s motorem 1, 13-dávkovací čerpadlo s motorem 2, 14-monitor pro zobrazení všech údajů, 15-klávesnice, 16-hlavní čerpadlo.



Obr. 6 Programové schéma pro automatizaci dávkování křemeliny se dvěma dávkovači. Alternativa 1-plná čára, alternativa 2-čárkovaná čára.

Technické řešení je založeno na automatické regulaci dvou dávkovačů, přičemž v dávkovači D1 je křemelina nebo směs s vysokou průtočností a v dávkovači D2 křemelina nebo směs s nižší průtočností a výrazným filtračním efektem.

Dávkovací čerpadla jsou regulována na základě údajů z řídící jednotky (zákal, průtok) změnou otáček motorů

dávkoval pomocí frekvenčních měničů. Podle potřeby může být ještě nastaven maximální zdvih čerpadla, čímž se mění rozsah dávkování, respektive maximální dávka.

Programové schéma dávkování křemeliny je zakresleno na obrázku 6. Regulační konstanty A B C D se zvolí v příslušném konfiguračním souboru počítače podle filtrovatelnosti piva. Linearizovaný průběh od bodu A k bodu D se nastaví zvolením bodu B v těsné blízkosti bodu A a bodu C v těsné blízkosti bodu D. Po vyhodnocení filtračního cyklu, lze konstanty podle potřeby korigovat.

PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Stavebnicový systém se zvoleným typem mikropočítačů a komunikační linkou pro připojení k řídící jednotce umožňuje podle požadavků na stupeň regulace a automatizace vybavit systém příslušnými prvky v požadovaném rozsahu. Pokud postačí např. jednoduchý průběh regulace bez záznamu sledovaných hodnot nebo jen záznam jedné vybrané veličiny, není nutný počítač typu PC.

Zapojením počítače se však možnosti regulace a záznamu značně rozšiřují.

Systém pak umožňuje:

- sledovat okamžitý stav všech měřených a regulovaných veličin (zákal piva, průtok, dávkování křemeliny, tlak ap.)
- zobrazení žádaných údajů v časové závislosti na obrazovce monitoru, případně jejich vytištění
- snadná změna regulačních konstant i v průběhu filtrace (dávkování křemeliny, cirkulace piva)
- volbu průběhu regulačního procesu na základě požadavků obsluhy
- automatické hlídání kritických stavů

Systém může být dále vybaven modulem pro ovládání elektromagnetických ventilů filtru prostřednictvím výkonové jednotky (např. AURIC), pomocí níž lze automatizovat celý proces filtrace včetně čištění filtru. Popsaný systém automatického dávkování křemeliny podle zákalu je připojen k svíčkovému filtru Destila SUF 532 v pivovaru Vratislavice, kde pracuje již několik měsíců. Systém může být připojen k libovolnému typu křemelinového filtru.

Dosavadní výsledky prokazují jednoznačné úspory křemeliny. Podstatnější význam je však přikládán zkvalitnění průběhu filtrace a jeho nezávislosti na obsluze filtru. Záznam hodnot umožňuje pak dokonalou kontrolu okamžitého průběhu filtrace, korekci průběhu podle filtrovatelnosti piva, případně kontrolu předchozích filtrací, pokud jsou údaje archivovány. Podrobné zhodnocení výsledků z dlouhodobějšího provozu bude zveřejněno v některém z příštích čísel K.P.

LITERATURA

- [1] VOBORSKÝ, J., ŠURÁŇ, J.: Teoretické podklady pro autoregulaci dávkování křemeliny při filtraci piva, Kvas.prům., 33, 1987, s. 275.
- [2] KAHLER, M., VOBORSKÝ, J.: Filtrace piva, Praha, SNITL, 1981, s. 252.

Lektoroval: Ing. T. Lejsek, CSc.
Do redakce došlo 22.2.1994

VOBORSKÝ, J., ŠRUMA, T.: Autoregulační systém dávkování křemeliny při filtraci piva. Kvas.prům., 40, 1994, č. 4, s. 107 - 110.

V článku jsou uvedeny základní teoretické předpoklady pro automatizovaný systém dávkování křemeliny při filtraci piva. Na základě rozsáhlého souboru modelových filtrací byl navržen autoregulační systém umožňující podle zákalu nefiltrovaného piva kompenzovat nárazové koncentrace kvasinek a zároveň snížit spotřebu křemeliny. Je popsáno technické řešení realizované firmou Destila Brno k zvýšení technické úrovně svíčkových filtrů Destila SUF. Systém řízený počítačem PC AT je již několik měsíců v provozu. Systém lze aplikovat i u jiných filtrů.

VOBORSKÝ, J., ŠRUMA, T.: Auto-Regulation System Used in Kieselguhr Dosage during Beer Filtration, Kvas.prům., 40, 1994, No. 4, p. 107 - 110

The paper reviews basic theoretical preconditions applied for automated kieselguhr dosage during beer filtration. Outgoing from a vast model filtrations complex, an auto-regulation system has been designed, enabling in accordance with turbidity of unfiltered beer a compensation of the yeast impact concentration, while at the time decreasing kieselguhr consumption. Given main features of technical solution implemented by the Firm Destila Brno aimed at increasing of technical standard of Destila SUF candle filters. By means of PC AT operated system is being already run for several months. The system, can be applied with another filters.

VOBORSKÝ, J., ŠRUMA, T.: Autoregulationssystem der Kieselgur-Dosierung bei der Filtration des Bieres. Kvas.prům., 40, 1994 Nr. 4, S. 107 - 110

In dem Artikel werden die grundsätzlichen theoretischen Voraussetzungen für das automatisierte Gurdosierungssystem bei der Bierfiltration angeführt. Aufgrund von zahlreichen Modellfiltrationen wurde ein Autoregulationssystem vorgeschlagen, das die Kompensierung der momentanen Hefekonzentration je nach der Trübung des unfiltrierten Bieres und zugleich auch die Verminderung des Kieselgurverbrauchs ermöglicht. Es wird die technische Lösung beschrieben, die von der Firma Destila Brunn zur Erhöhung des technischen Niveaus der Kerzenfilter Destila SUF realisiert wurde. Das durch den Rechner PC AT gesteuerte System ist bereits seit einigen Monaten im Betrieb. Das System kann auch bei anderen Filteranlagen appliziert werden.

Воборки, Я. - Шрума, Т.: Авторегулирующая система дозирования диатомовой земли при фильтровании пива. Квас. прум., 40, 1994, №4, стр. 107 - 110

В статье приведены основные теоретические предположения для автоматизированной системы дозирования диатомовой земли при фильтровании пива. На основе обширной совокупности модельных фильтратий была предложена авторегулирующая система, дающая возможность по мутности нефiltroванного пива компенсировать ударные концентрации дрожжей и одновременно снизить потребление диатомовой земли. Описано техническое решение, реализованное фирмой Дестила Брно в целях повышения технического уровня патронных фильтров Дестила СУФ. Система, управляемая ЭВМ PC AT, уже несколько месяцев находится в эксплуатации. Систему можно применить и для других фильтров.