

Teoretické podklady pro autoregulaci dávkování křemeliny při filtraci piva

663,46

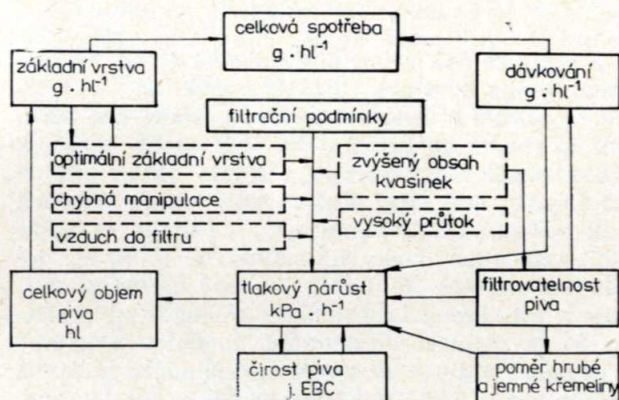
Ing. JAN VOBORSKÝ, Ing. JAN ŠURÁŇ, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha

Klíčová slova: pivo, filtrace, křemelina, dávkování, regulace, zákal, kvasinky, tlakový gradient, automatizace

ÚVOD

Považba a množství zákalových látek obsažených v pivu a vysoké požadavky na jiskrnost hotového výrobku určovaly v posledních desetiletích směr vývoje separačních zařízení. Zcela jednoznačně převládla až do současné doby naplavovací filtrace s pomocným filtračním prostředkem. Osvědčila se speciálně upravená křemelina, která je schopna vytvořit dostatečně porézní vrstvu a současně zachytit svou členitou mikroskopickou strukturou jemnější částice, než odpovídá pouhému síťovému efektu danému velikostí pórů filtrační přepážky.

Podstatou naplavovací filtrace je vytvoření základní vrstvy křemeliny a vrstvy tvořené v průběhu filtrace. Účelem filtrace je získat požadovanou jiskrnost filtrátu při nízké specifické spotřebě křemeliny. Souvislost obou parametrů a další vstupy ovlivňující čírost piva a spotřebu křemeliny jsou ve vzájemných vztazích znázorněny na obr. 1. [1].



Obr. 1. Souvislosti mezi parametry ovlivňujícími průběh filtrace

Klíčovým ukazatelem průběhu filtrace je tlakový nárůst, tj. zvyšování tlakového rozdílu filtrační přepážky v závislosti na čase. Tlakový nárůst je do určité míry v nepřímém vztahu k čírosti piva. Tyto dva důležité parametry jsou přímo ovlivňovány filtrovatelností piva, obsahem jemné křemeliny ve směsi a dávkováním křemeliny v průběhu filtrace. Podle filtrovatelnosti piva, která závisí na obsahu kvasinek a vysrážených kalů různé velikosti až ke koloidnímu rozměru, volí se poměr hrubé a jemné křemeliny a dávkované množství v průběhu filtrace. Zpětně je tím působeno na tlakový nárůst a čírost piva. Tlakový nárůst může být též nepříznivě ovlivněn filtračními podmínkami, jako je nesprávná volba a naplavení základní vrstvy, chybná manipulace při přepojování piva, vniknutí vzduchu do filtru, náhlé zvýšení koncentrace kvasnic např. při nará-

žení a zatahování tanku, nebo vysoký průtok piva filtrem.

Tlakový nárůst určuje také celkový objem zfiltrovaného piva v jednom filtračním cyklu, neboť konec filtračního cyklu je dán maximálně přípustným tlakem ve filtru. Množství zfiltrovaného piva v každém cyklu rozhoduje, jaká část křemeliny z celkové spotřeby připadne na základní vrstvu, která je vždy stejná. Celkovou spotřebu křemeliny lze pak ovlivnit množstvím dávkované křemeliny při filtraci tak, aby v závislosti na filtrovatelnosti byl tlakový nárůst v požadovaných mezích. Tím se zfiltruje dostatečné množství piva a klesne současně podíl základní vrstvy na celkové spotřebě.

MODELOVÉ FILTRACE — METODIKA [2]

Vliv jednotlivých parametrů na průběh filtrace byl zkoumán v rozsahu čtvrtprovozních pokusů, které zajišťují srovnatelné, předem zvolené podmínky. K modelovým filtracím byl využit svíčkový filtr Stella Meta Filters, typ 1052. Filtrační plochu tvoří jedna svíčka, umístěná ve skleněném pouzdře, o filtrační ploše 140 cm². Průtok je zajišťován šnekovým čerpadlem, kontrolován průtokoměrem a regulován obtokem. Dávkování je simulováno rozmícháním filtračního prostředku do nefiltrovaného piva. Při filtraci se udržuje konstantní průtok a měří se tlakový rozdíl filtrační přepážky v závislosti na čase. Po zfiltrování 12,5 hl.m⁻² piva se měří čírost filtrátu. Průměrný tlakový nárůst se přepočte na provozní podmínky, tj. na průtok $q = 5 \text{ hl.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ podle vztahu

$$\frac{\Delta p}{\tau} = \frac{\Delta p_m}{\tau_m} \cdot \left(\frac{5}{q_m} \right)^2$$

kde $\frac{\Delta p}{\tau}$ je tlakový nárůst

přepočtený na průtok $q = 5 \text{ hl.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} [\text{kPa.h}^{-1}]$

Δp_m — tlakový rozdíl na začátku a konci filtrace [kPa]

τ_m — doba zkušební filtrace [hl]

q_m — průtok při zkušební filtraci [$\text{hl.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$]

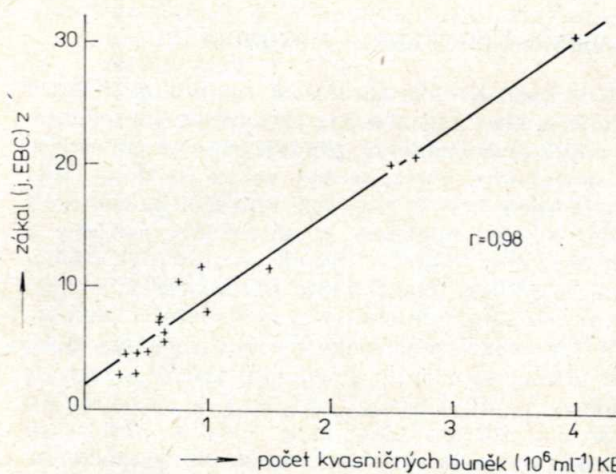
Čírost filtrátu byla měřena nefelometrem Sigrisť v j. EBC formazinového zákalu.

VÝZNAM PARAMETRŮ OVLIVŇUJÍCÍCH PRŮBĚH FILTRACE

Zákal nefiltrovaného piva

Charakter zákalu a jeho intenzita v nefiltrovaném pivu určuje obtížnost, s jakou lze dosáhnout požadovaného výsledku filtrace. Zákal je tvořen jednak kvasinkami, jednak kaly různé velikosti vzniklými z komplexů bílkovin, polysacharidů a po-

lyfenolů. Pokud se velikost těchto částic pohybuje v rozměrech koloidních disperzí, tj. $1\mu\text{m}$ až 1 nm , je jejich odstranění z piva v pomocné filtrační vrstvě křemeliny obtížné. Zachytí se jen zčásti a částečně protečou s filtrátem. Vzhledem k různé velikosti těchto částic je jejich vztah k nefelometrické hodnotě prakticky nedefinovatelný. Naopak obsah kvasinek, resp. jejich počet (KB), je v nefiltrovaném pivu v přímé závislosti k zákalu (Z). Tento vztah byl určen pokusně v pivech odebíraných před vstupem do filtru. Z naměřených hodnot je vypočtena regresní přímka $Z = 7,05 KB + C$ (1) a korigované hodnoty odpovídající uvedenému vztahu. Graficky jsou naměřené hodnoty spolu s regresní přímkou zpracovány v obr. 2. Korelační koeficient $r = 0,9796$ ukazuje na velmi těsnou závislost. Rozptyl hodnot od regresní přímky je způsoben převážně chybou při stanovení počtu kvasinek v Bürgerově komůrce. Konstanta C vztahu (1) je závislá na koloidním zákalu piva. Při nulovém počtu kvasinek ($KB = 0$) lze vypočítat ze vztahu (1) počáteční hodnotu zákalu měřených piv.



Obr. 2. Vztah mezi obsahem kvasinek a zákalu nefiltrovaného piva

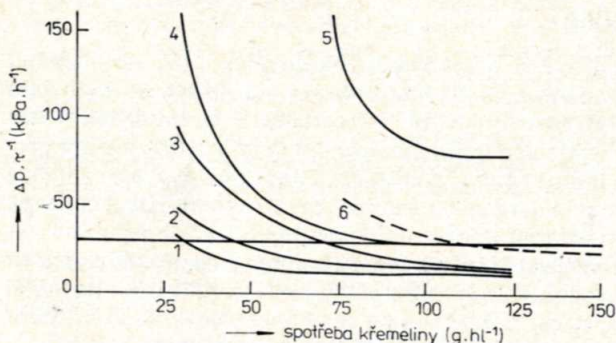
V praxi se zákal nefiltrovaného piva mění v průběhu filtrace zpravidla v závislosti na obsahu kvasinek. Složka zákalu odpovídající částicím nebo biologickým kalům je pro určité partie piva, vyrobené z přibližně stejných surovin stejnou technologií, téměř konstantní. Naopak obsah kvasinek může značně kolísat, zejména vlivem strhávání kvasnic z tanků na počátku nebo na konci vyprazdňování. Pro využití nefelometrického měření počtu kvasinek k ovlivnění spotřeby křemeliny při filtraci je nezbytné nalézt vztahy mezi obsahem kvasinek, resp. změnou zákalu a způsobem dávkování křemeliny.

Obsah kvasinek v nefiltrovaném pivu

Měřítkem filtrovatelnosti piva je tlakový nárůst při filtraci a čírost zfiltrovaného piva. Srovnatelné relativní hodnoty lze získat filtrací sledovaných piv za stejných podmínek. Filtruje-li se za standardních podmínek, lze podle vypracovaných kritérií posoudit filtrovatelnost kteréhokoliv piva [2, s. 257]. Obě uvedená kritéria, která jsou pro praxi do-

minantní, je možno ovlivnit množstvím dávkované křemeliny a poměrem jemné a hrubé křemeliny.

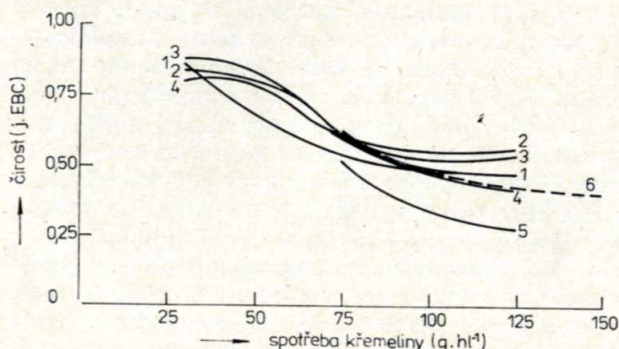
Závislost tlakového nárůstu na dávkovaném množství křemeliny, při různém obsahu kvasinek v nefiltrovaném pivu, je vynesena na obr. 3. Hodnoty byly naměřeny za přesně definovaných podmínek pokusných filtrací. K pokusům se zvolily křemeliny Celite Hyflo-Super-Cel (HSC) a Filter-Cel (FC).



Obr. 3. Vztah mezi spotřebou křemeliny a tlakovým nárůstem při různém obsahu kvasinek v nefiltrovaném pivu

Podmínky filtrace: Základní vrstva — 500 g.m^{-2} HSC + 250 g.m^{-2} dávkovací směsi; dávkovací směs: 60% HSC + 40% FC — pro křivky 1–5; 80% HSC + 20% FC pro křivku 6. Popis křivek (10^6 kvasničných buněk v ml piva): č. 1 — 0,25; č. 2 — 0,59; č. 3 — 1,0; č. 4 — 1,5; č. 5 a 6 — 2,5

Z grafu se dají vyčíst důležité souvislosti. Při nízkém obsahu kvasinek ($0,25 \cdot 10^6$ buněk. ml^{-1} — křivka 1) postačí k dosažení zvoleného tlakového nárůstu 30 kPa.h^{-1} dávka 25 g.hl^{-1} . Je-li obsah kvasinek $0,6 \cdot 10^6$ buněk. ml^{-1} (křivka 2), je tato dávka přibližně 40 g.hl^{-1} atd. Když však stoupne obsah kvasinek nad hodnotu $1,5 \cdot 10^6$ buněk. ml^{-1} — (křivka 4), nelze již zvyšováním dávky křemeliny se 40 % FC dosáhnout nárůstu 30 kPa.h^{-1} . Tlakový nárůst se zvyšuje a při obsahu kvasinek $2,5 \cdot 10^6$ buněk. ml^{-1} (křivka 5), je nejnižší dosažitelnou hodnotou 80 kPa.h^{-1} s dávkou 125 g.hl^{-1} . Řešení je možné pouze snížením podílu jemné křemeliny v dávkovací směsi, jak ukazuje křivka 6 zkonstruovaná z filtrčních pokusů s dávkovací směsí s 20 % jemné křemeliny FC.



Obr. 4. Vztah mezi spotřebou křemeliny a číroostí zfiltrovaného piva při různém obsahu kvasinek v nefiltrovaném pivu

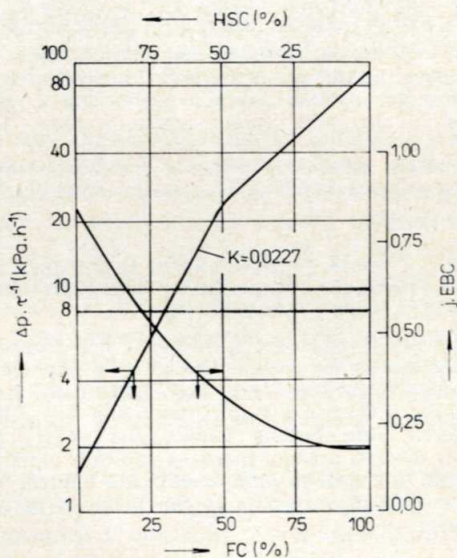
Podmínky filtrace a popis křivek stejné jako u obr. 3

Na obr. 4 jsou ze stejných pokusů zakresleny křivky, kde jsou na svislé ose místo tlakového nárůstu naneseny čirosti zfiltrovaného piva. Z křivek 1 až 4, odpovídajících obsahu kvasinek $0,25 \cdot 10^6$ — $1,5 \cdot 10^6$ buněk.ml⁻¹, je patrné, že dávka křemeliny nad 75 g.h⁻¹ se již příliš výrazně v čirosti neuplatňuje. Při vyšším obsahu kvasinek ($2,5 \cdot 10^6$ buněk.ml⁻¹ křivka 5) zvyšuje tato značná koncentrace kvasnic ve filtrační vrstvě ostrost filtrace. Sníží-li se proto podíl jemné křemeliny ve směsi, vyrovná se čirost filtrátu, jak vyplývá z porovnání křivek 1, 2, 3, 4, (40 % FC), s křivkou 6 (20 % FC).

Dávkovací směs křemeliny a její množství

Obsah jemné křemeliny v dávkovací směsi významně ovlivňuje tlakový nárůst i čirost zfiltrovaného piva, jak je zřejmé z obr. 5. Průměrný tlakový nárůst se zvyšuje s obsahem jemné křemeliny v dávkovací směsi. V semilogaritmickém měřítku ($\log \Delta p \cdot \tau^{-1}$ vers. % FC) je tato závislost lineární, avšak přímka se lomí při obsahu 50 až 60 % FC ve směsi. Směrnice v první části přímky má hodnotu $K_s = 0,0227$, při obsahu nad 60 % FC je směrnice přibližně poloviční. Uvedená hodnota dobře souhlasí s již dříve stanovenou hodnotou $K_s = 0,0225$ [2, s.213] pro rozsah 0 až 50 % FC, kterou lze použít k příslušným výpočtům i pro jiné druhy křemeliny (Clarcel CBL-3 nebo CBL, Calofrig F 4) v oblasti 0 až 50 %.

Odchytky od křemeliny FC nastávají až při obsahu vyšším než 50 % jemné křemeliny ve směsi.

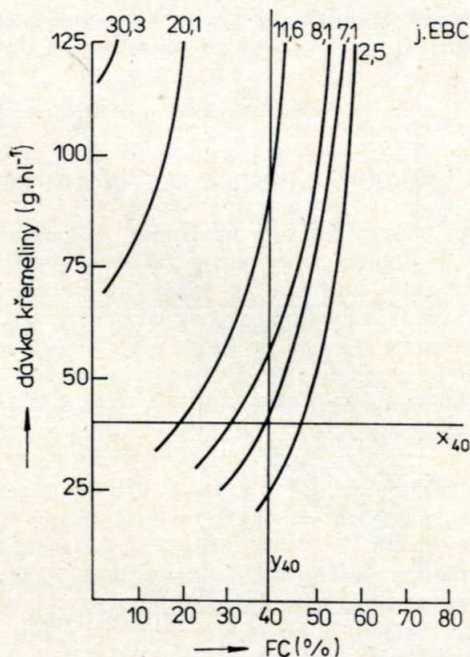


Obr. 5. Závislost tlakového nárůstu a čirosti zfiltrovaného piva na obsahu jemné křemeliny v dávkovací směsi při filtraci piva

Tato oblast není však pro filtraci piva již příliš zajímavá, neboť jak plyne ze závislosti % FC vers. čirost z téhož obrázku, zlepši se čirost zvýšením podílu jemné křemeliny nad 60 % již nevýznamně.

Vztah mezi tlakovým nárůstem a obsahem jemné křemeliny byl použit ke konstrukci závislosti mezi obsahem jemné křemeliny a dávkou křemeliny při různém obsahu kvasinek v nefiltrovaném pivu. Křiv-

ky na obr. 6 jsou vypočteny pro zvolený konstantní tlakový nárůst 30 kPa.h⁻¹. Obsah kvasinek je nahrazen základem podle vztahu [1].



Obr. 6. Spotřeba křemeliny při různém obsahu kvasinek (základu nefiltrovaného piva) a konstantním tlakovém nárůstu v závislosti na podílu jemné křemeliny v dávkovací směsi při filtraci piva

Z obr. 6 lze vyčíst, jaké dávky křemeliny při zvolené směsi je nutno použít k dosažení tlakového nárůstu 30 kPa.h⁻¹. Například zvolíme-li dávku 40 g.h⁻¹ (přímka x_{40}), můžeme použít až 45 % FC do výše základu nefiltrovaného piva 2,5 j. EBC, aniž by tlakový nárůst překročil hodnotu 30 kPa.h⁻¹. Při základu 11,6 j. EBC je naopak nutno obsah FC snížit na 20 %, aby se dosáhlo uvedené hodnoty. Při základu 20 j. EBC nelze již ani vyloučením FC ze směsi dosáhnout tlakového růstu 30 kPa.h⁻¹ a dávku by bylo nutno zvýšit na 75 až 100 g.h⁻¹ při obsahu FC 10 až 15 %.

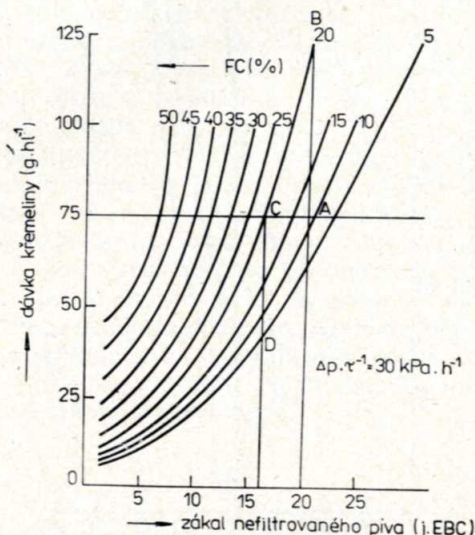
Dávkuje-li se naopak konstantní směs např. 40 % FC + 60 % HSC (přímka y_{40}), postačí dávka 40 g.h⁻¹ až do základu 7,0 j. EBC k dosažení tlakového nárůstu 30 kPa.h⁻¹. Při vyšším základu se dávka zvyšuje a při základech nad 12 j. EBC nelze již prakticky ani podstatně vyšší dávkou dosáhnout požadovaného tlakového nárůstu.

PRAKTICKÉ MOŽNOSTI AUTOREGULACE DÁVKOVÁNÍ KŘEMELINY

Vztah mezi základem nefiltrovaného piva a dávkováním křemeliny

Z křivek v grafu 6 lze zkonstruovat závislost mezi základem nefiltrovaného piva, vyjadřující změny koncentrace kvasnic v nefiltrovaném pivu na vstupu do filtru a potřebnou dávkou křemeliny při různém obsahu jemné křemeliny v dávkovací směsi, tak, aby tlakový nárůst (30 kPa.h⁻¹) byl přibližně konstantní.

Z grafu je např. patrné, že při zákalu 20 j. EBC lze při dávkování 75 g.h^{-1} docílit tlakového nárůstu pouze směsí, v níž je nejvýše 10 % FC, jak ukazuje bod A. Je-li ve směsi 20 % FC, je nutno při tomto zákalu dávkovat již 125 g.h^{-1} (bod B). Zvýší-li se podíl FC ve směsi, nelze již ani vyšší dávkou



Obr. 7. Závislost spotřeby křemeliny na zákalu nefiltrovaného piva při různém podílu jemné křemeliny v dávkovací směsi a konstantním tlakovém nárůstu při filtraci piva

obsluze, plynulý průběh filtrace a snížení spotřeby křemeliny. Systém je vhodný zejména v těch případech, kdy v průběhu filtrace silně kolísá obsah kvasnic v pivu přitékajícím do naplavovacího filtru.

Literatura

- [1] VOBORSKÝ J.: Przemysł fermentacyjny i owocowo-warzywny, **28**, 1984, s. 4.
- [2] KÄHLER M., VOBORSKÝ J.: Filtrace piva, Praha, SNTL, 1981.
- [3] TOPKA P., VACHALOVSKÝ P., VOBORSKÝ J., Způsob regulace dávkování křemeliny při filtraci, Autorské osvědčení č. 23 54 16, 1984.
- [4] VOBORSKÝ J., ŠURÁŇ J.: Racionální využití křemeliny při filtraci piva. [Závěrečná zpráva.] VÚPS Praha, 1985.

Voborský, J. - Šuráň, J.: Teoretické podklady pro autoregulaci dávkování křemeliny při filtraci piva. Kvas. prům. **33**, 1987, č. 8—9, s. 275—278.

Vztah mezi zákalem nefiltrovaného piva a obsahem kvasinek umožňuje jejich nefelometrické měření. Kolísání obsahu kvasinek ovlivňuje tlakový nárůst při filtraci. Filtračními pokusy se zjistily souvislosti mezi obsahem kvasinek, dávkováním křemeliny a složením dávkovací směsi ve vztahu k tlakovému nárůstu a čírosti zfiltrovaného piva. Zjištěné závislosti byly podkladem k vypracování systému autoregulace dávkování křemeliny podle měřeného zákalu nefiltrovaného piva.

Воборски, Я. - Шурань, Я.: Теоретические обоснования для авторегулирования дозировки инфузорной земли при фильтровании пива. Квас. прум. **33**, 1987, № 8—9, стр. 275—278.

Отношение между мутностью неотфильтрованного пива и содержанием дрожжей позволяет их нефелометрическое измерение. Колебание содержания дрожжей имеет влияние на рост давления при фильтровании. Путем фильтрационных экспериментов были определены связи между содержанием дрожжей, дозировкой инфузорной земли и составом дозируемой смеси в отношении к приросту давления и светлости фильтрованного пива. Установленные зависимости были материалом для разработки системы авторегулирования дозировки инфузорной земли по изменяемой мутностью неотфильтрованного пива.

Voborský, J. - Šuráň, J.: Theoretische Grundlagen für die Control of Kieselguhr Dosage During Beer Filtration. Kvas. prům. **33**, 1987, No. 8—9 pp. 275—278.

The relation between the turbidity of non-filtered beer and the yeast content permits the use of a nephelometric measurement. A fluctuation of the yeast quantity affects the pressure increase during filtration. From filtration experiments interrelations among the yeast content, kieselguhr dosage, pressure increase and beer clarity were determined. These data were used for a control of the kieselguhr dosage according to the turbidity of non-filtered beer.

Voborský, J. - Šuráň, J.: Theoretische Grundlagen für die Auto-Regulation der Kieselgurdosierung bei der Bierfiltration. Kvas. prům. **33**, 1987, Nr. 8—9 S. 275—278.

Das Verhältnis zwischen der Trübung des unfiltrierten Bieres und dem Hefengehalt ermöglicht ihre nephelometrische Messung. Die Schwankungen des Hefengehalts beeinflusst die Drucksteigerung bei der Filtration. In Filtrationsversuchen wurden die Zusammenhänge zwischen dem Hefengehalt, der Kieselgurdosierung und der Zusammensetzung des Dosierungs-Gemisches im Verhältnis zu dem Druckanstieg und der Klarheit des filtrierten Bieres ermittelt. Die festgestellten Verhältnisse dienten als Unterlage zur Ausarbeitung des Systems der Auto-regulation der Kieselgurdosierung nach dem gemessenen Trübungsgrad des unfiltrierten Bieres.

dosáhnout tlakový nárůst 30 kPa.h^{-1} . Sníží-li se zákal na 16 j. EBC, postačí dávka 75 g.h^{-1} a 20 % FC (bod C). Dávka může dále klesat, pokud lze, s ohledem na čírost piva, snižovat obsah FC ve směsi. Při obsahu 5 % FC stačí dávkovat pouze 45 g.h^{-1} , aby se dosáhlo při uvedeném zákalu požadovaného tlakového nárůstu (bod D).

Návrh systému autoregulace

Změny zákalu nefiltrovaného piva registrované před vstupem do filtru vhodným nefelometrem, indikují změny v obsahu kvasinek. Lze předpokládat, že koloidní zákal podílející se na nefelometrické hodnotě je v průběhu filtrace konstantní nebo se mění jen v poměrně úzkých mezích. Kolísání obsahu kvasnic podstatně ovlivňuje tlakový nárůst. Korekce pouhým zvyšováním dávky křemeliny vede k cíli jen v omezené míře. Při vyšším obsahu kvasinek je ovlivněn tlakový nárůst též obsahem jemné křemeliny ve směsi. Cílem autoregulace dávkování je udržet konstantní tlakový nárůst (nebo jeho mírné kolísání) po celou dobu filtrace při minimální spotřebě křemeliny. Dávkování je proto nutno volit tak, aby v závislosti na obsahu kvasinek se zvyšovala jednak dávka křemeliny a současně se uprvoval poměr jemné křemeliny v dávkovací směsi [3].

Autoregulační systém dávkování navržený na základě uvedených poznatků byl (včetně nefelometru, který byl konstruován pro tento účel [4]) vyzkoušen v provozních podmínkách. Systém funguje s přesností pro provozní podmínky zcela dostačující. Předností systému je nezávislost dávkování na