

Z výzkumu a praxe

REGULACE PRŮTOKOVÉ PASTERACE PIVA PŘI ZACHOVÁNÍ KONSTANTNÍHO PASTERAČNÍHO ÚČINKU

Ing. RICHARD GOLDMANN,
Ing. PETR TILLMANN, ESONIC, spol. s r. o.,
Ing. JOSEF ZÁKRAVSKÝ, Pivovar Velké Popovice, a. s.

Klíčová slova: *pasterační jednotka, pasterační účinek, průtoková pasterace*

PRŮTOKOVÁ PASTERACE

Průtoková pasterace piva přináší řadu prokazatelných výhod. Oproti tunelovým pasterům je to především úspora energie, obestavěného prostoru či provozních nákladů. Problematické již bývá dosažení určité jistoty pasteračního účinku v hotovém výrobku. Na výsledné mikrobiologické čistotě stočeného piva se kromě samotného pasteru podílí čistota lahví nebo KEG sudů spolu s čistotou zařízení za pasterem. Technická úroveň nově projektovaných a stavěných stáčíren požadavky na dosažitelnost mikrobiologické čistoty zařízení i samotného procesu stáčení v naprosté většině splňuje. Tím více se do popředí dostává otázka spolehlivé funkce průtokového pasteru. Je za všech okolností pasterační účinek dostatečný? Vždy existují mezní stavy, při kterých může docházet k průtoku málo pasterovaného nebo přepasterovaného piva. Jedná se zejména o najíždění pasteru, změnu sortimentu, ukončení pasterace, výrazné změny výkonu stáčecí linky a náhlé výpadky energie. V takových případech, aniž by paster vykazoval zjevnou závadu, proniká nedostatečně pasterované pivo do stáčecího zařízení. Ohrožuje tak jeho mikrobiologickou čistotu a snižuje kvalitu následně stáčeného piva.

Účinek tepla o velikosti 1 pasterační jednotky (PJ) odpovídá působení teploty 60 °C po dobu 1 minuty. Celkový účinek pasterace je potom dán vztahem:

$$PJ = \text{letální rychlost} \times \text{čas působení}$$

kde letální rychlost (L_R) má vždy pro určitou teplotu jedinou a stálou hodnotu. Na Del Vecchiové křivce [1] odpovídá teplotě 60 °C čas (t) = 5,6 min. K dosažení efektu pasterace je tedy zapotřebí 5,6 PJ, což při teplotě 60 °C odpovídá právě letální rychlosti 1 PJ.min⁻¹. Obecně pak pro libovolnou teplotu (t) platí matematický vztah:

$$L_R = 1,3932^{t-60} \text{ (PJ.min}^{-1}\text{)}$$

z něj lze odvodit že L_R :

$$\begin{aligned} \text{při } 53 \text{ }^\circ\text{C} &= 0,1 \text{ PJ.min}^{-1} \\ \text{při } 67 \text{ }^\circ\text{C} &= 10 \text{ PJ.min}^{-1} \\ \text{při } 74 \text{ }^\circ\text{C} &= 100 \text{ PJ.min}^{-1} \end{aligned}$$

Uvážíme-li, že běžně doporučená intenzita pasterace se pohybuje v rozmezí 22 až 30 PJ, přičemž teploty užívané v průtokových pasterech se vzhledem k technickým parametrům zařízení pohybují nad 70 °C po dobu několika desítek sekund, pak i nepatrné odchylky od nastavené teploty znamenají velké změny pasteračního účinku. Například jsme se přesvědčili, že při výkonu pasteru 200 hl/h a teplotě 72,8 °C je doba pasterace 22 sekund. Pokles teploty o 1 °C znamená za těchto podmínek snížení pasteračního účinku o 8 PJ. Je tedy zřejmé, že i zdánlivě zanedbatelný krátkodobý pokles teploty představuje vysoké riziko kontaminace stáčecího zařízení. Z mikrobiologického hlediska je nejdůležitějším požadavkem záruka, že pasterační účinek v žádném okamžiku nepoklesne pod nastavenou minimální mez. Ze sensorického hlediska naopak vadí nadměrná intenzita pasterace. Vzhledem k mnohdy velkým rozdílům ve výkonu pasteru, vyvolaným například nepravidelností chodu stáčecí linky nebo stáčením do různě velkých obalů (30 a 50 l KEG sudy, popř. 0,33 a 0,5 l láhve), je dokonalé řízení pasteračního procesu podmíněno vazbami mezi průtokem, teplotou a výškou hladiny ve vyrovnávacím tanku. Pro vyrovnanější chod pasteru a menší tlakové změny v deskovém výměníku lze tyto veličiny provázet s regulací tlaku ve výdržníku.

REGULACE PASTERU

Starší typy regulace výkonu využívaly jednoduchého řešení cirkulace piva propojením vstupu a výstupu (bypass). V lepších případech byl zařazen mezi paster a stáčecí stroj vyrovnávací tank. Ovšem i v tomto případě určoval jeho objem dobu oddálení od prosté cirkulace v samotném pasteru,

a tím i oddálení možných chuťových změn cirkulujícího piva. Při případných tlakových rázech existovala možnost kontaminace pasterovaného piva netěsností nebo pomalou reakcí cirkulačního ventilu. Podmínkou cirkulace piva bylo vybavení pasteru dochlazovací sekci tak, aby nedocházelo po delší době cirkulace k přehřátí pasteru.

S rozšířením frekvenčně řízených pohonů čerpadel se začala uplatňovat několikastupňová regulace výkonu pasteru, která lépe sleduje výkon plniče. Největším úskalím stupňovité regulace je negativní vliv tepelné setrvačnosti deskového výměníku. K potlačení vlivu velké tepelné setrvačnosti při změně výkonu až o 55 % jak během pasterace tak i při spouštění pasteru byl použit nový dynamický model řízení. K zaručení spolehlivého pasteračního účinku využívá plynulé změny průtoku a teploty v závislosti na odběru piva plničem, tj. změně výšky hladiny piva ve vyrovnávacím tanku.

Toto řešení zklidňuje chod pasteru, snižuje investiční náklady na dochlazovací sekci a velikost vyrovnávacího tanku. V provozních podmínkách pak snižuje spotřebu el. energie, spoří CO_2 malým rozkmitem hladiny a nevyžaduje použití chladicího média. Řízení chodu vychází z jednoznačně definovaných stavů pasteru. Pivo protéká do vyrovnávacího tanku pouze při splnění pasteračních

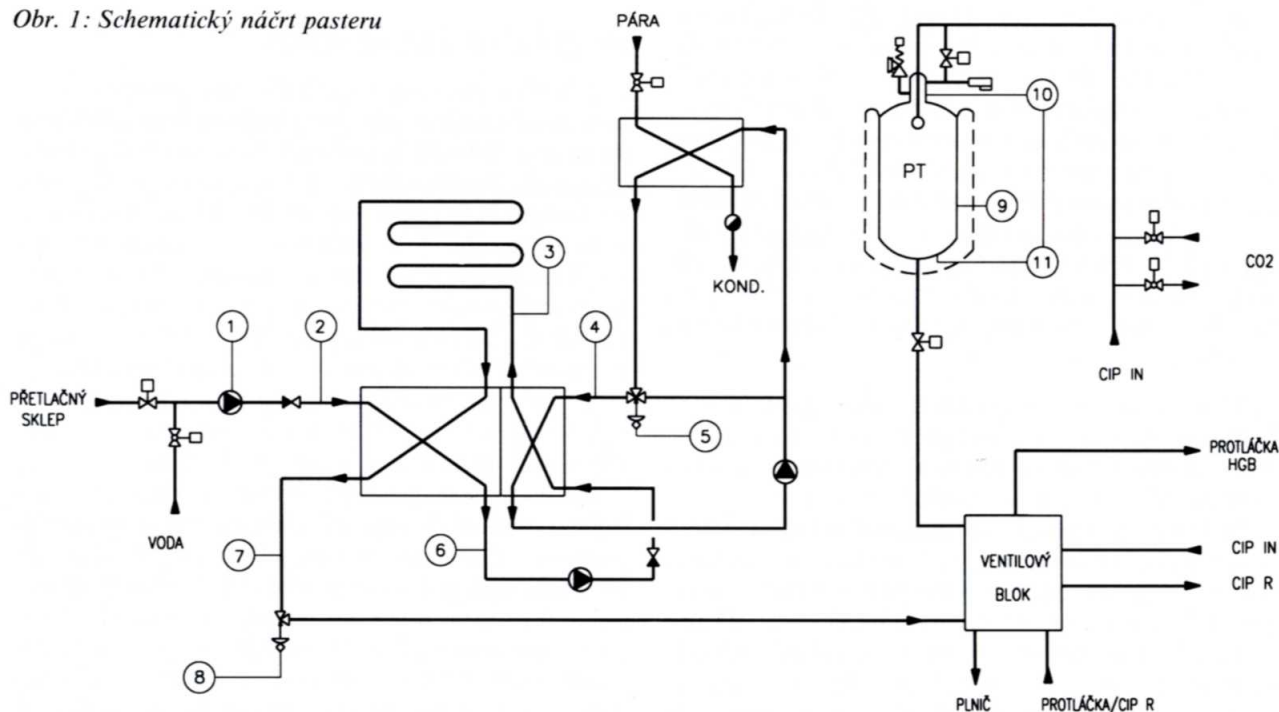
podmínek. V ostatních případech je odděleno do protlačkové větve a paster se protlačí vodou. Výkon pasteru se reguluje podle změny výšky hladiny piva ve vyrovnávacím tanku, jež nejlépe odráží výkon stáčecího stroje.

Vlastní regulace konstantního počtu PJ při pasteraci vychází ze změny výkonu, jemuž se přiřazuje odpovídající teplota. Změnami výkonu lze dosti věrně kopírovat výkonovou křivku stáčecího stroje a zároveň kompenzovat tepelnou setrvačnost výměníku.

POPIS PASTERU

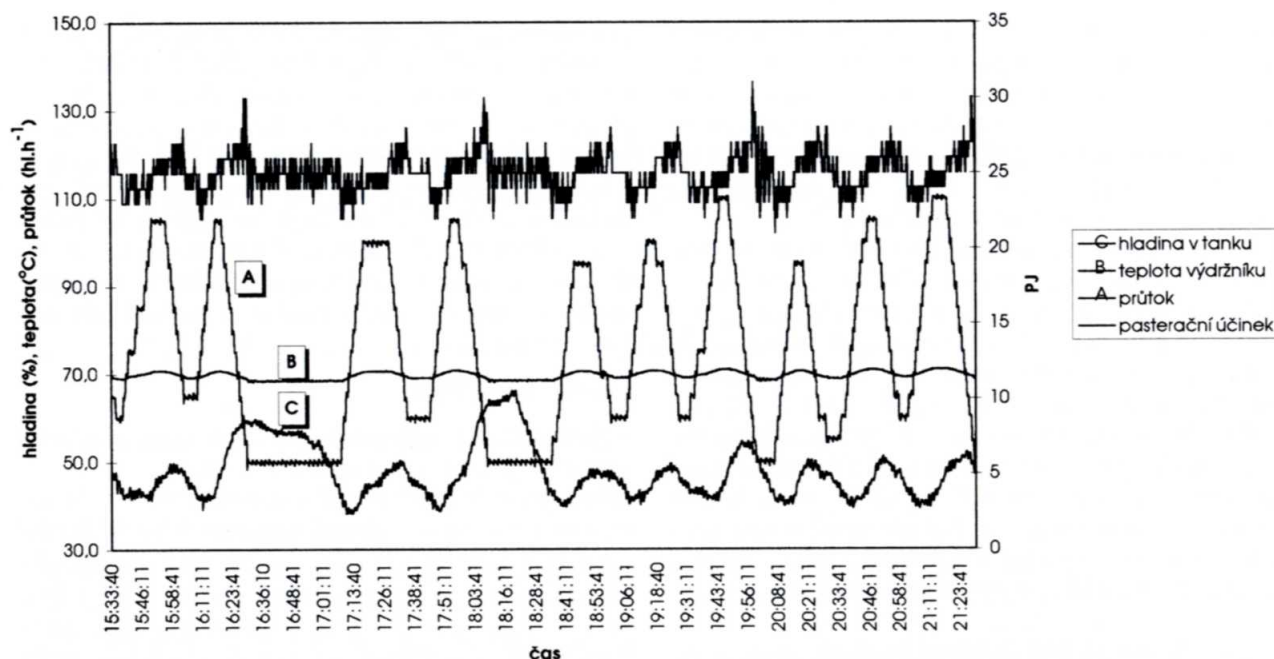
Schematický náčrt pasteru zobrazuje deskový výměník pouze s regenerační a dohřívací sekci, neboť při běžné účinnosti výměníků 90–92 % lze pasterovat pivo se vstupní teplotou 5–7 °C a stáčet pak s teplotou 8–11 °C. Zvolený model ale vyžaduje izolovaný vyrovnávací tank, aby i v létě bylo možné udržet teplotu pasterovaného piva maximálně v rozmezí 12–14 °C. V KEG sudu pak dosáhne hodnoty 17–19 °C, což při obsahu CO_2 5 g/l znamená horní hranici spolehlivého stáčení (např. Transomatic Duplex, fa. GEA Till). Při obdobných teplotních poměrech lze stáčet i lahvé pivo (např. VKV2, fa. Krones). U starších typů plničů se však doporučuje osadit paster dochlazovací sekci.

Obr. 1: Schematický náčrt pasteru



1. — frekvenční měnič pro regulaci tlaku
2. — průtokoměr
3. — teplota ve výdržníku
4. — teplota horké vody
5. — směšovací ventil

6. — tlakový snímač
7. — výstupní teplota
8. — regulace výkonu
9. — teplota ve vyrovnávacím tanku
- 10., 11. — měření tlaku CO_2 a výšky hladiny



Obr. 2 Záznam průběhu pasterace při nevhodně zvolených parametrech zařízení

Hlavním regulačním prvkem pasteru je směšovací ventil, který citlivě vyrovnává tepelnou bilanci pasteru. Stoupá-li výkon zařízení, ventil se otevírá, škrtí obchvatovou větev a umožňuje plný přestup tepla do horkovodního okruhu a tím i pokrytí vyšší spotřeby tepla. Klesá-li naopak výkon, vzniká v důsledku rekuperace přebytek tepla, který je nezbytně odvést. Ventil otevírá především obchvatovou větev a škrtí proud přes výměník. Poměr mezi výkonem a množstvím akumulovaného tepla se odráží ve strmosti náběhové, popřípadě sestupné směrnice regulační křivky. Strmost směrnice vychází především z konstrukce zařízení, ale i vazeb na okolí (velikost teplosměnné plochy výměníků, výkon, teplota vstupujícího piva, objem vyrovnávacího tanku, typ plniče, tlak páry aj.). Nevhodně navržený systém je dokumentován na obr. 2.

Malý objem vyrovnávacího tanku (pouze 43 % hodinového výkonu pasteru) a větší výkon výměníku horkovodního okruhu způsobuje častější překmit hladiny a tím i změnu výkonu.

Náklady na izolaci vyrovnávacího tanku se mohou v nejnáročnější verzi (PÚ pěna a skelná vata, trapézový plech, nerezový horní krycí lub a límce) přiblížit nákladům na dochlazovací sekci. Přesto přináší izolace mnoho provozních výhod: odpadá chladicí médium, jeho regulace a doprava, teplota stáčeného piva je během 24 hodin vyrovnána, což dává dobrý základ pro konstantní tlakové poměry na plniči. V případě poruchy a odstavení stáčení linky lze pivo stáčet i následující den.

Technologickou komunikaci s okolím zprostředkovává ventilový blok, který umožňuje jed-

notlivě funkce pasteru: nahřívání, protlačení, pasterace, změna sortimentu a ukončení provozu. Tyto funkce volí obsluha na čelní desce skříně řízení. Zvolená funkce se vypíše na displeji a po potvrzení obsluhou se zobrazují jednotlivé její sekvence. Ty zpětně potvrzují obsluhu její volbu.

PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI

Z našich poznatků vyplývá: Je-li jmenovitý výkon plniče 100 %, pak se výkon pasteru pohybuje na hranici 90–95 % a objem vyrovnávacího tanku odpovídá hodinovému výkonu pasteru. U linek na stáčení KEG sudů lze snížit objem vyrovnávacího tanku na 2/3 hodinového výkonu pasteru a výkon pasteru srovnat s výkonem plniče. Takto navržený systém nevykazuje v ustáleném stavu prakticky žádnou odchylku. Obr. 3 dokumentuje dynamické přizpůsobení pasteru výkonu plniče.

Z grafu je patrné, že ani při změnách výkonu v rozmezí 100 až 200 hl/h nevybočí odchylka pasteračních jednotek z bezpečných mezí.

Při najíždění pasteru, změně sortimentu, náhlých výpadcích tepelné energie nebo ukončení provozu oddělí systém vyrovnávací tank od pasteru dříve, než poklesne pasterační účinek pod stanovenou mez. Obr. 4 znázorňuje nahřívání a temperaci pasteru vodou. Po ukladnění systému a dosažení stabilního pasteračního účinku je od okamžiku znázorněného svislou čerchovanou čarou, zahájena pasterace a voda je protlačena pivem. Objemově stanovené množství směsného piva se oddělí do protlačkové větve.

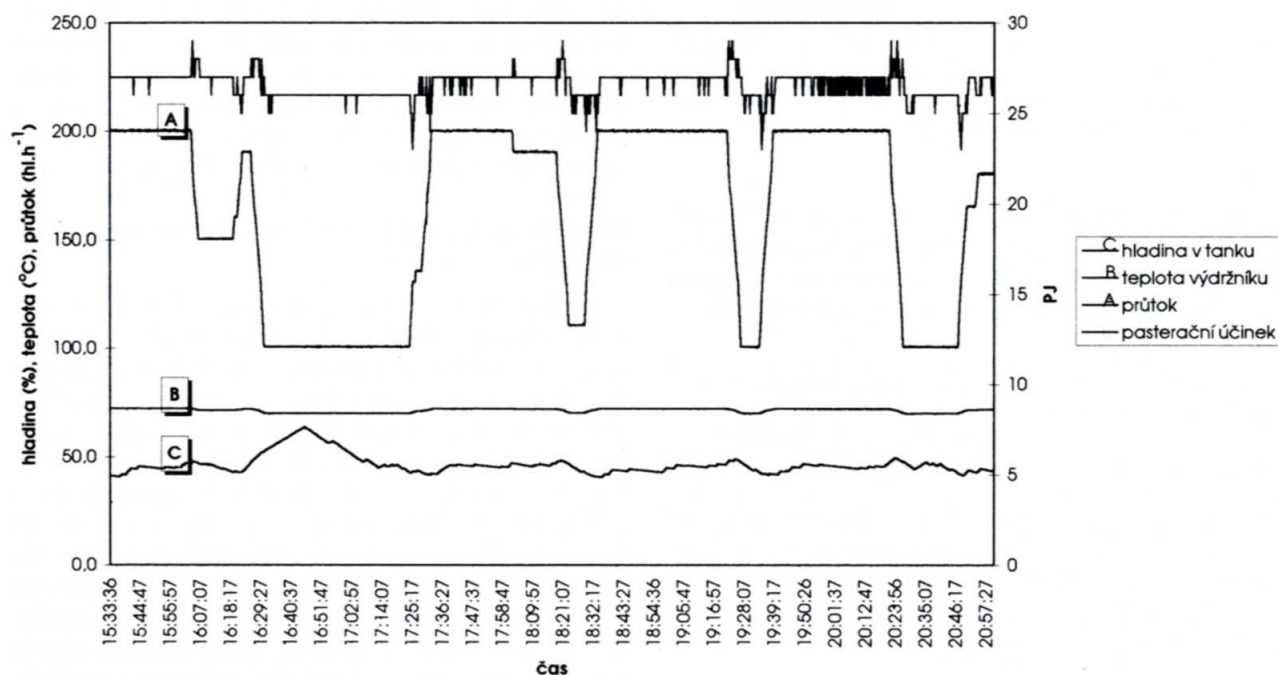
24hodinový průměr rozhodujících veličin je uveden v tabulce 1.

Tab. 1.: Záznam běžného režimu pasteru během 24 hodin

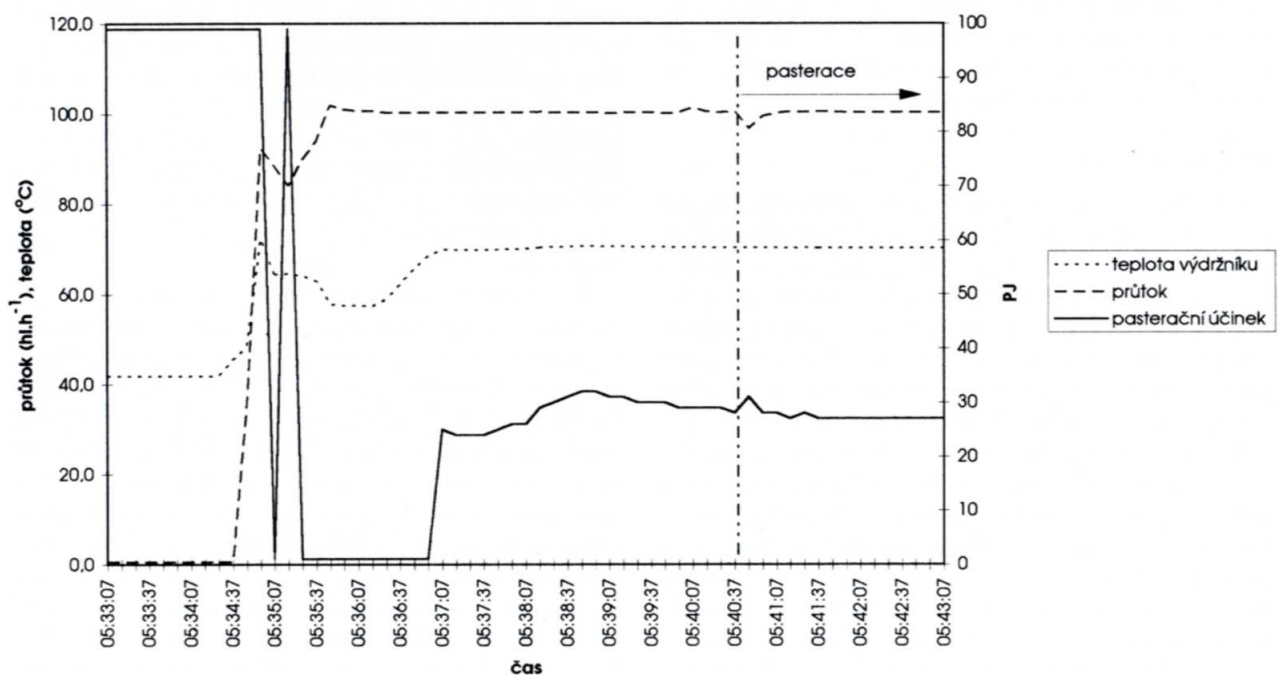
	maximum	minimum	průměr	st. odchylka
průtok piva (hl/h)	201,1	100,3	163,9	42,5
teplota výdržníku (°C)	72,3	69,9	71,9	0,93
pasterační jednotky	29,0	23,0	26,6	0,7
hladina v PT (%)	63,8	40,5	46,4	4,33

Z kruhového diagramu (obr. 5) lze vyčíst rozložení hodnot pasteračních jednotek během 24hodinového provozu pasteru. Procentické zastoupení hodnot PJ dává vysokou záruku spolehlivosti pasterace, přičemž ani okrajové hodnoty intervalu by neměly mít negativní vliv na mikrobiologickou a senzorickou kvalitu piva.

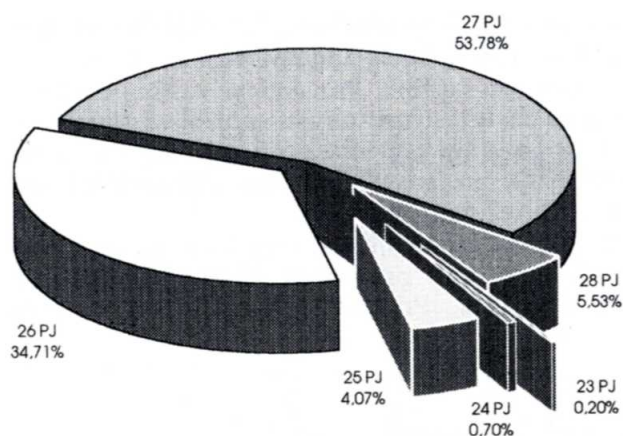
K ověření spolehlivosti regulace pasteračních podmínek byla provedena řada mikrobiologických kontrol. Pravidelně bylo odebíráno pivo



Obr. 3 Záznam průběhu pasterace v ustáleném stavu



Obr. 4 Záznam průběhu sledovaných veličin od spuštění pasteru do ustáleného stavu



Obr. 5 Rozdělení pasteračního účinku

před a za pasterem, 10 ml pak bylo přefiltrováno přes membránový filtr a tento byl kultivován na mladinovém agaru v případě stanovení kvasinek a na půdách P⁻ a MRS při stanovení bakterií.

Tab. 2.: Mikrobiologické vyhodnocení účinku pasterace

	před pasterem		za pasterem	
	kvasinky	mléčné bakterie	kvasinky	mléčné bakterie
kontaminace v 10 ml:				
celkový počet odběrů	74	74	74	74
max. počet zárodků	65	150	1	1
min. počet zárodků	0	0	0	0
průměr	5,04	9,73	0,01	0,01

Pozitivní nález v pasterovaném pivu byl v sérii 74 měření zjištěn 1 × u kvasinek a 1 × u bakterií a to ve výši 1 zárodek na 10 ml piva. S ohledem na pravděpodobnost chyby mikrobiologického stanovení, je tato hodnota zanedbatelná.

ZHODNOCENÍ

Použitý model regulace velmi šetrně pasteruje pivo. Nepřesnost regulace, vyjádřená směrodatnou odchylkou za 24 hodin proměnlivého výkonu, tedy včetně rozběhu, změn sortimentu a vytlačení nepřesáhla 0,7 PJ. Měřením a registrací objemů lze získat přehled o pohybu piva, směsného piva a vody v pasteru, případně směsného piva v protlačkové větvi. Tato registrace má význam nejen pro bezpečné stanovení rozhraní pivo—směs—voda, ale i pro ekonomické vyhodnocení provozu pasteru. Běžná hodnota objemu směsného piva v pasteru s výkonem 200 hl/h se pohybuje mezi 20–25 hl/den při průměrné původní koncentraci extraktu 6–7 % podle počtu změn sortimentu a jeho skladby. Zvolený princip definovaného oddělování rozhraní znamená, že pivo může pasterem pouze protékat, nikoli však stát v desko-

vém výměníku či výdržníku. Tento efekt zachovává jistotu pasteračního účinku a přitom negativně neovlivňuje chuť piva. Vyvolává však nutnost zpracování vzniklých protláček HGB či filtrací. Může se rovněž obrátit proti provozovateli, měnili se často sortiment, jsou-li časté výpadky páry nebo delší prostoje stáčecí linky. Proto se navržený a odzkoušený model více uplatní ve středních a velkých pivovarech s vyváženějším poměrem chodu filtrace a stáčecí linky. Sběr dat z pasteru v reálném čase umožňuje statisticky vyhodnocovat účinnost pasterace, optimalizovat konstanty regulátorů a kontrolovat průběh sanitací. Odchylky od standardů mohou být registrovány v poruchovém protokolu a podle závažnosti (teplota a doba CIP, pasterační teplota apod.) mohou být signálem k zablokování celého zařízení.

DALŠÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU

Automatický sběr dat, původně určených k okamžité regulaci pasteru, lze rovněž využít z dlouhodobého hlediska. Občasný 24hodinový průřez událostmi v systému a jeho statistické či grafické vyhodnocení je možné porovnat se záznamy optimálních parametrů (nejčastěji získaných při instalaci pasteru). Snadno se tak dají závčas diagnostikovat závady. Konkrétně jsme vždy po dobu 24 hodin každých 10 sekund zaznamenávali do databáze počet pasteračních jednotek, výkon pasteru, hladinu piva a tlak ve vyrovnávacím tanku, teplotu ve výdržníku, zvolený program a krok řízení pasteru. Vytvořená databáze pak byla graficky zpracována. Stejně tak je možné přímo v databázi vhodně zvolenými dotazy vyhledávat kritické okamžiky, při nichž se libovolná ze sledovaných hodnot odchýlila z povolených mezí. Tyto informace jsou nepostradatelné zejména při uvádění nového pasteru do provozu a při doladování podmínek pasterace například při trvalé změně výkonu pasteru (rozšíření stáčecí linky). Archivované údaje lze případně statisticky konfrontovat v reálném čase s mikrobiologickým stavem zařízení, trvanlivostí nebo chuťovou stabilitou.

Při vyšších výkonech stáčecích linek nebo při pasteraci několika pastery současně jsou kladené zvýšené nároky na obsluhu nejen těchto zařízení, ale i na plynulost dodávky piva ze zásobních tanků nebo přímo od filtru. Tam, kde není možná přímá komunikace mezi pracovníky, děje se tak nejčastěji pomocí telefonu, což nemusí být vždy optimální. Proto jsme navrhli a realizovali přenos vybraných dat ze stáčírny, kde jsou pastery umístěny, do velínu filtrace, ze kterého je také ovládáno plnění a stáčení zásobních tanků. V praxi to znamená, že obsluha tohoto střediska má kdykoliv možnost zobrazit si aktuální program a krok (např. rozběh, pasterace, protlačení), dále výkony

pasterů, teploty a tlaky ve výdržnicích, počty pasteračních jednotek a hladiny piva ve vyrovnávacích tancích. To vše jí umožňuje závčas reagovat na dění ve stáčírnách a snižuje tak riziko prostojů.

Vzájemná informovanost přinesla ještě jednu nezanedbatelnou výhodu. Programově jsme ošetřili vztahy mezi středisky. Prioritní je rozhodnutí obsluhy filtru a zásobních tanků. Lahvovna odesílá po komunikační síti pouze žádost. Například o pivo, změnu sortimentu nebo ukončení pasterace. Ve všech případech dojde k realizaci požadovaného až po odsouhlasení obsluhy filtru. Zvýšila se tím koordinace celého řetězce sklep—filtr—zásobní tanky—pasterace—stáčení, což se kladně projevilo na výkonech. Snižila se také možnost zhoršení kvality piva během stáčení. V tomto systému práce je totiž možné ošetřit, aby stáčírna nemohla ukončit stáčení, či změnit sortiment v situaci, kdy v zásobním tanku zůstává zlomek původního objemu piva. Ten by samozřejmě nejen blokoval tank nejméně do druhého dne, ale patrně také doznal senzorických změn.

Literatura:

- [1] Baselt, F.C., Dayharsh, C.A., Del Vecchio, H.W.: ASBC Proceedings, 1954, s. 141

Lektoroval Ing. T. Lejsek, CSc.

Tillmann, P.—Goldmann, R.—Zákravský, J.: Regulace průtokové pasterace piva při zachování konstantního pasteračního účinku. Kvas. prům., 41, 1995, č. 6, s. 174—179.

Jsou popsány praktické zkušenosti s využíváním dynamického modelu řízení průtokového pasteru piva, který využívá plynulé změny průtoku a teploty v závislosti na změně výšky hladiny piva ve vyrovnávacím tanku.

Toto řešení zklidňuje chod pasteru, snižuje investiční náklady na dochlazovací sekci a velikost vyrovnávacího tanku. Řešení rovněž umožňuje úsporu provozních nákladů snížením spotřeby elektrické energie, CO₂ a vyloučením použití chladicího média pro dochlazovací sekci jinak používanou při cirkulaci piva.

Tillmann, P.—Goldmann, R.—Zákravský, J.: Regulation of Beer Flow Pasteurization while Maintaining a Constant Pasteurization Efficacy. Kvas. prům., 41, 1995, No. 6, pp. 174—179.

Practical experience obtained during use of the dynamic model of beer flow pasteurization unit

control, based on continuous change of flow rate and temperature dependent on beer level variation in bright beer tank.

The given solution makes the pasteur unit operation smoother, decreases investment costs necessary for additional cooling section and reduces bright beer tank size. The solution enables at the same time savings of the electric power consumption, CO₂ and cooling medium exclusion necessary for additional cooling section used for beer circulation.

Tillmann, P.—Goldmann, R.—Zákravský, J.: Regulierung der Durchflußpasteurisierung des Bieres bei Einhaltung eines konstanten Pasteurisationseffektes. Kvas. prům., 41, 1995, Nr. 6, S. 174—179.

Es werden die praktischen Erfahrungen mit der Anwendung des dynamischen Modells, der Regulierung des Kurzzeiterhitzers für Bier beschrieben, das auf dem Prinzip der kontinuierlichen Veränderung des Durchflusses und der Temperatur in Abhängigkeit von der Änderung der Höhe des Bierspiegels in dem Ausgleichstank besteht.

Bei dieser Lösung ist der Arbeitsgang der Pasteurisanlage ruhiger und die Investitionskosten der Nachkühlsektion und des Ausgleichstanks geringer. Die beschriebene Lösung ermöglicht weiter auch Einsparungen der Betriebskosten durch Senkung des Verbrauchs an elektrischer Energie und CO₂ sowie auch durch Eliminierung des Kühlmediums für die Nachkühlsektion, die bei der Bierzirkulation angewendet wird.

Тиллманн, П.—Голдманн, Р.—Закравски, Я.: Регуляция проточной пастеризации пива при сохранении константного пастеризационного действия. Квас. прум., 41, 1995. № 6, стр. 174—179.

Описывается практический опыт по использованию динамической модели управления проточным пастеризатором пива, использующей непрерывные изменения протекания и температуры в зависимости от изменения высоты уровня пива в выравнивающем танке. Это решение действует успокаивающе на ход пастеризатора, понижает капвложения на секцию доохлаждения и величину выравнивающего танка. Решение также позволяет экономии производственных расходов при помощи понижения потребления электроэнергии, CO₂ и при исключении использования охладительной среды для секции доохлаждения, применяющейся при циркуляции пива.