

## **PASTERACE PIVA A SOUČASNÉ METODY JEJÍHO MONITOROVÁNÍ**

Ing. JAROSLAV JÍRA, České vysoké učení technické, Praha

**Klíčová slova:** *pasterace piva, teorie úhynu mikroorganismů, průběh teploty v láhvi, pasterační monitor, vyhodnocení pasteračního účinku*

### **1. ÚVOD**

Je obecně známo, že pasterace je proces, jehož úkolem je zničit v pivu (obecně v nápoji) veškeré mikroorganismy, které způsobují jeho znehodnocení. V případě pasterace piva jde zejména o zničení kvasinek. V našich pivovarech se k tomu účelu nejvíce používají tunelové a průtokové pastéry. Tento článek se zabývá problematikou monitorování pasterace v tunelových pastérech. Zde se pasterace provádí ohřátím piva po dobu 30—45 minut s maximální teplotou okolo 63 °C.

Postačující informaci o stupni pasterace piva

nám dávají tzv. *pasterační jednotky* (PU). Pasterační jednotka udává hodnotu tepelné expozice nápoje 1 min při 60 °C. Změření této veličiny však není jednoduché. Přístroje pro stanovení pasteračního účinku se vyvíjejí již poměrně dlouhou dobu, avšak až do osmdesátých let se v našich pivovarech používaly téměř výhradně mechanické pasterační monitory, které však měly řadu nevýhod. S bouřlivým rozvojem elektroniky v 70. a 80. letech se nabízela možnost zkonstruovat elektronický pasterační monitor. U nás se koncem 80. let

začaly objevovat elektronické pasterační monitory z Německa a Nizozemí. Ve stejné době však byl již vyvinut i podobný přístroj na Českém vysokém učení technickém v Praze. Popis jeho funkce a konstrukce je hlavní náplní tohoto článku.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1. Tepelná rezistence mikroorganismů v pivu

Stanovení tepelné rezistence mikroorganismů je základním předpokladem pro určení správného způsobu pasterace. Pivovary, které nemají možnost kontrolovat stupeň pasterace jimi vyráběného piva, pasterují „pro jistotu“ při vyšších teplotách, aby se tak dosáhlo vysoké pravděpodobnosti usmrcení mikroorganismů. To má ovšem vedle zvýšených nákladů na pasteraci za následek zhoršení sensorické kvality pasterovaného piva, které pak často získává silnou pasterační příchutí a vůni. V extrémním případě může být takto poškozené pivo nepoživatelné [1, 2].

### 2.2. Teorie úhynu mikroorganismů

Dynamikou úhynu mikroorganismů se zabývá mnoho prací a bioinženýrských studií z různých oborů potravinářského průmyslu a kvasných výrob [3, 4, 5]. Z těchto prací vznikla teorie pasterace a **pasterační jednotka** jako míra pasteračního účinku na mikroorganismy při teplotě 60 °C po dobu 1 minuty. Tato teorie, která popisuje úhyn vegetativních forem mikroorganismů v pivu, předpokládá působení tepla na dokonale homogenní suspenzi mikroorganismů jednoho druhu. V praxi se za tento druh považuje nejvíce tepelně odolný mikroorganismus. Z mikroorganismů, které se v pivu nejčastěji vyskytují, lze za tepelně nejodolnější považovat divoké kvasinky druhu *Saccharomyces pastorianus* Hansen [6, 7].

Tepelný úhyn mikroorganismů se řídí kinetikou prvního řádu podle rovnice

$$dN/dt = -\alpha(\Theta) N \quad \alpha > 0, \quad (2.1)$$

kde  $N$  je počet živých mikroorganismů v čase  $t$   
 $\Theta$  je teplota,  $t$  je čas a  
 $\alpha$  je konstanta závislá na druhu mikroorganismu a teplotě.

Odvození tohoto vztahu je možno najít např. v [5]. Rovnice (2.1) je homogenní lineární diferenciální rovnice, jejímž řešením je exponenciální závislost:

$$\ln(N_0/N) = K \cdot \int \exp(\beta \cdot \Theta) \cdot dt \quad (2.2)$$

kde  $N_0$  je počet živých mikroorganismů v čase  $t = 0$

$N$  je počet živých mikroorganismů v čase  $t$   
 $K, \beta$  jsou konstanty závislé na druhu mikroorganismu.

$K$  snadnému posouzení pasteračního účinku

byla zavedena **pasterační jednotka (PU)**. Je to takový účinek tepla na mikroorganismy, kterého se dosáhne pasterací při teplotě 60 °C po dobu 1 minuty. Dalšími úpravami vztahu (2.2) dostáváme výraz pro součet pasteračních jednotek.

$$\Sigma PU = \int \exp(\beta \cdot (\Theta - 60)) \cdot dt = \int L_R \cdot dt \quad (2.3)$$

kde veličinu  $L_R$  nazýváme **letální rychlostí**.

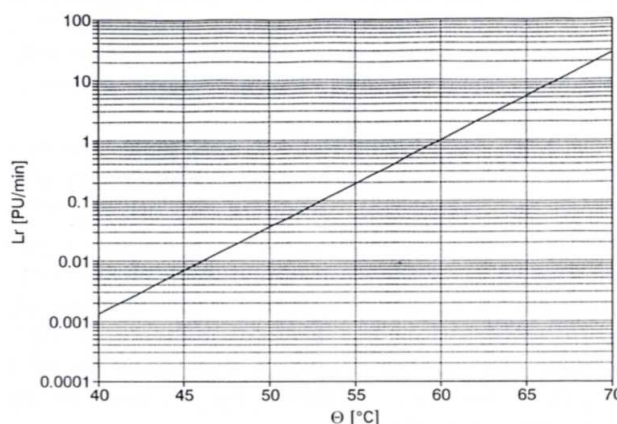
Experimentální stanovení závislosti doby nutné k usmrcení pivovarských kontaminantů na teplotě umožnilo určit hodnotu  $\beta = 0,3316 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Dosazením do (2.3) dostaneme vzorec pro výpočet letální rychlosti

$$L_R = \exp(0,3316 \cdot (\Theta - 60)) \quad (2.4)$$

Novější prameny uvádějí tento vztah ve tvaru

$$L_R = 10^{0,144(\Theta - 60)}$$

Na obr. 1. je znázorněna závislost letální rychlosti na teplotě v semilogaritmických souřadnicích. Z této závislosti lze též sestavit známou tabulku pasteračních jednotek.



Obr. 1. Závislost letální rychlosti  $L_R$  na teplotě  $\Theta$  pro minutový interval

### 2.3. Výpočet pasteračního účinku

Abychom mohli správně určit pasterační účinek na pivo v láhvi při průchodu pastérem, musíme v dané láhvi měřit po celou dobu průchodu teplotu a zaznamenávat ji. Takovýto registrační teplo-měr zaznamenává teplotu např. v minutových nebo půlminutových intervalech. Po průchodu pastérem se zaznamenané teploty vyhodnotí.

Ke každé naměřené teplotě nejprve přiřadíme příslušnou letální rychlost. Pro výpočet použijeme vztah (2.4) nebo tabulku letálních rychlostí (viz např. [5]). Tím získáme průběh  $L_R$  v čase. Integrací této závislosti v čase podle (2.3) získáme hledaný pasterační účinek.

Samotná integrace se provádí nejčastěji obdélníkovou metodou [8], což v tomto případě zname-



na sečíst všechny vypočtené letální rychlosti, čímž dostaneme sumu pasteračních jednotek.

Pokud jde o stanovení optimální dávky PU, jsou názory dosti odlišné. Podle základních prací z padesátých let [3] se mikroorganismy usmrtí již při expozici 5,6 PU, ale další studie prokázaly spolehlivý účinek i při mnohem menší expozici (až 0,4 PU).

V současné době se v našich pivovarech pasteruje v rozmezí 20–30 PU. Za limitní hodnotu bývá považováno 35–40 PU. Úmyslné přepasterování piva nad tuto hodnotu sice spolehlivě usmrtí mikroorganismy, ale má již dříve zmíněné negativní důsledky.

#### 2.4. Způsoby monitorování pasterace

Typickým příkladem registračního teploměru je známý a v některých pivovarech dodnes používaný mechanický pasterační monitor. Vzhledem k tomu, že princip jeho činnosti byl již v KP uveřejněn, omezím se pouze na shrnutí jeho nedostatků.

Je to zejména pracnost při výpočtu pasteračního účinku z nakresleného grafu, možnost omylu při odečtu a v neposlední řadě náročnost na spotřební materiál (speciální kruhový papír se stupnicemi a inkoust do písátka).

V době, kdy začaly být v ČSSR dostupné moderní elektronické součástky (a zejména mikroprocesory) se nabízelo mnohem elegantnější řešení tohoto přístroje na bázi mikropočítače. Tento přístroj by zaznamenával naměřené teploty do paměti, přímo z nich vypočítával pasterační jednotky a veškerá data přenášel do počítače. Výsledkem by byla jednak mnohem jednodušší obsluha a jednak by takový monitor nevyžadoval žádný spotřební materiál.

### 3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST — VÝVOJ ELEKTRONICKÉHO PASTERAČNÍHO MONITORU

#### 3.1. Základní požadavky na přístroj

Elektronický pasterační monitor vznikl za úzké spolupráce s PVS Braník, a jednotlivá zlepšení vznikala na základě jeho připomínek a později i dalších pivovarů.

Z principu činnosti mechanického pasteračního monitoru a z praktických požadavků pivovarů vyplynuly následující požadavky kladené na vyvíjený elektronický pasterační monitor:

- měřit a průběžně zobrazovat naměřené pasterační jednotky
- uchovávat po dostatečně dlouhou dobu změřený teplotní průběh
- přenést naměřené a vypočtené veličiny do počítače k archivaci
- možnost kalibrace měřené teploty

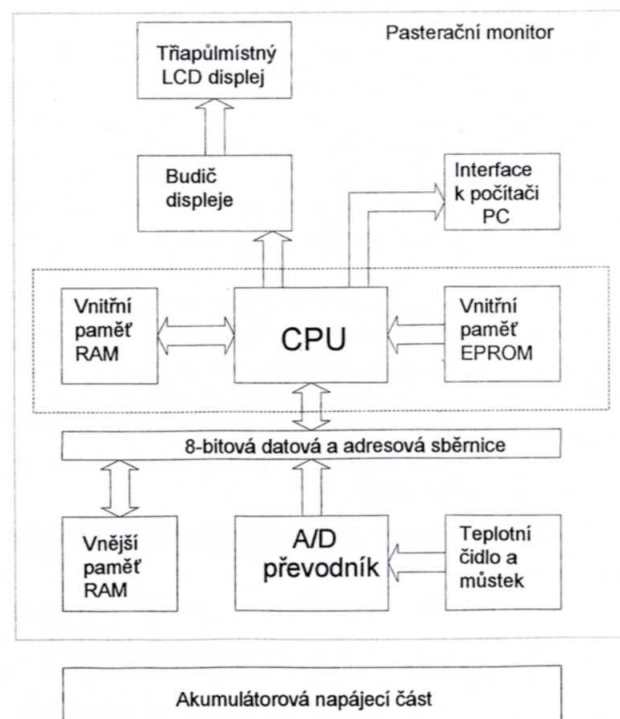
Vedle výše jmenovaných funkcí bylo ještě potřeba zajistit tyto vlastnosti vyplývající z pracovních podmínek:

- dokonalá vodotěsnost
- schopnost snášet teploty okolo 60–70 °C
- nezávislost na elektrické síti
- nízká spotřeba, aby při napájení z baterií bylo možno provést co nejvíc měřících průchodů pastérem
- snadná obsluha

Model, jehož konstrukce je zde popisována, je poslední z vývojové řady a obsahuje tedy již všechna vylepšení a konstrukční změny, které byly během vývoje prováděny.

#### 3.2. Blokové schéma pasteračního monitoru

Samotný návrh vychází z koncepce jednočipového mikropočítače 8748. Blokové schéma celé soustavy je na obr. 2



Obr. 2. Blokové schéma pasteračního monitoru

Základní část přístroje, mikropočítač 8748, je na schématu orámován čárkovanou čarou. V mikropočítači je kromě centrální procesorové jednotky integrována také vnitřní paměť EPROM a vnitřní paměť RAM. Paměť EPROM uchovává program, podle kterého se celá jednotka řídí a také je zde uložena tabulka pro přepočet teplot na letální rychlosti. K mikropočítači jsou přes osmi-bitovou datovou a zároveň adresovou sběrnici při-



pojeny tyto periferie: vnější paměť RAM, sloužící zejména k uchovávání naměřených teplot a analogově digitální převodník pro převod napětí z měřicího můstku.

Konečně jsou zde také dvě vstupně výstupní brány mikropočítače. Na první z nich je napojen budič a třípůlmístný LCD displej, který zobrazuje dosud naintegrované pasterační jednotky. Na druhou bránu je zapojena jednak sériová komunikace s personálním počítačem a jednak automatické vypínání napájení.

Napájení je realizováno sedmi NiCd akumulátory o kapacitě 1 500 mAh, které se po skončení měření dobíjejí ze síťového adaptéru — nabíječky.

### 3.3. Popis činnosti pasteračního monitoru

Monitor snímá teplotu platinovým čidlem Pt100 umístěným v láhvi. Toto čidlo je zapojeno do můstku, který převádí změnu odporu čidla na změnu napětí. Změna napětí je převedena 12bitovým A/D převodníkem do digitální formy. Mikroprocesor každou naměřenou teplotu zapíše do vnější paměti RAM a přepočte ji podle naprogramované tabulky letálních rychlostí na počet PU. Zjištěná hodnota PU je připočtena k dosud naintegrovaným pasteračním jednotkám a výsledek je zobrazen na LCD displeji. Odečty teploty probíhají v půlminutových intervalech. Přesnost jejich dodržování je zajištěna krystalovým oscilátorem.

Dalším režimem je přenos dat sériovým rozhraním do personálního počítače k dalšímu zpracování.

### 3.4. Mechanická konstrukce přístroje

Mechanická konstrukce pasteračního monitoru musela vyhovovat hned několika požadavkům:

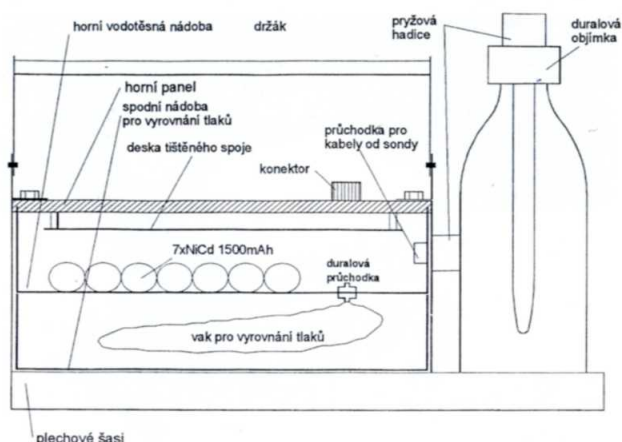
- dokonalá vodotěsnost
- tepelná odolnost konstrukce pro teploty do 90 °C
- dobrá tepelná izolace elektronických součástek
- mechanická odolnost při nárazech na stěny pastéru a okolní láhve
- korozivzdornost v agresivním kyselém prostředí
- nízká hmotnost

Konstrukce je patrna z *obr. 3, 4 a 5*.

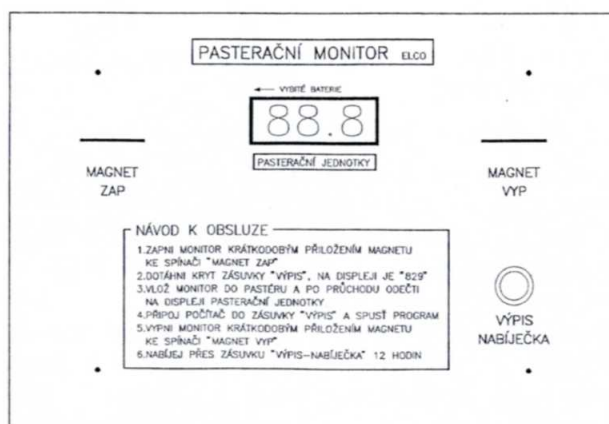
Monitor je montován na plechovém šasi z antikorozi oceli, které slouží rovněž jako držák pивní láhve. Na tomto šasi spočívají dvě nádoby — viz *obr. 3*.

Horní z těchto dvou nádob je vodotěsně spojena s vrchním panelem z plexiskla.

Uvnitř horní nádoby je umístěna deska tištěného spoje s veškerou elektronikou přístroje. Kromě elektroniky je zde umístěno i sedm NiCd akumulátorů, které se dobíjejí ze síťového adaptéru přes konektor na horním panelu. V pravé části je duralová



Obr. 3. Řezový boční pohled na pasterační monitor



Obr. 4. Pohled na horní panel pasteračního monitoru

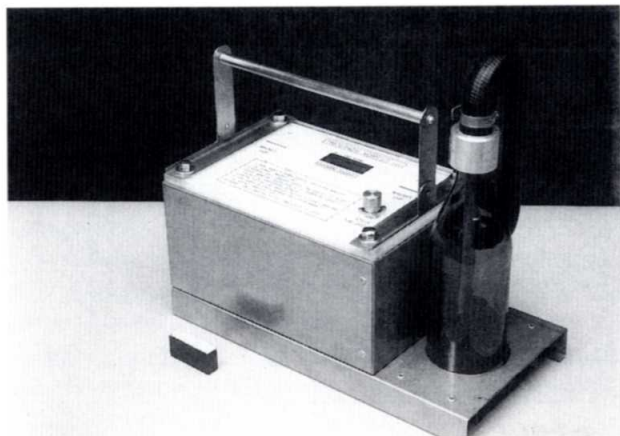
lová průchodka, kterou jsou vedeny přívody od měřicí sondy v láhvi.

Spodní elektroinstalační nádoba není hermeticky izolována. Slouží pro uložení pryžového vaku, který je s horní krabicí spojen duralovou průchodkou a plní funkci vyrovnávacího objemu při teplotních změnách během pasterace.

Obě elektroinstalační nádoby jsou opatřeny plechovým krytem opět z antikorozi oceli, který nádoby chrání před nárazy a bezprostředním kontaktem se stříkající vodou. V pravé části obrázku je potom pивní láhev se zavedenou sondou. Sonda je ve své horní části spojena duralovou objímkou s pryžovou hadicí, kterou jsou vedeny elektrické kabely od sondy.

Pokud jde o ovládací panel (*obr. 4*), je zde již zmíněný konektor, přes který se dobíjejí akumulátory a provádí výpis dat do počítače. Dále na panelu najdeme stručný návod k obsluze pasteračního monitoru, vyznačená příkladací místa pro magnetické zapínání a vypínání přístroje a v neposlední řadě také okénko pro třípůlmístný LCD displej, na kterém se zobrazují načítané pasterační jednotky a informace o vybitých bateriích.





Obr. 5. Celkový pohled na pasterační monitor. V popředí je spínací magnet.

#### 4. VÝSLEDKY — PROVOZ PASTERAČNÍHO MONITORU

##### 4.1. Základní technická data přístroje

Rozsah měřených teplot . . . . . 0—100 °C  
 Přesnost v rozsahu 50—70 °C . . . . .  $\pm 0,1$  °C  
 Tabulka paster. jednotek  
 v programu . . . . . 50—70,9 °C  
 Interval odečtu hodnot teploty . . . . . 30 s  
 Kapacita paměti RAM . . . . . 240 hodnot  
 Displej . . . . . LCD, 3 1/2 míst  
 Indikace k nabití akumulátorů . . . . . 7,8 V  
 Akumulátory NiCd, 1, 2 V, 1500 mAh . . . . 7 ks  
 Spotřeba monitoru . . . . . 100 mA/9 V  
 Rozměry monitoru . . . . . 330×170×160 mm  
 Hmotnost (bez láhve) . . . . . 3,5 kg  
 Doba nepřetržitého provozu monitoru při teplotě  
 okolí 20 °C a plně nabitých akumulátorech do in-  
 dikace „LO BAT“ . . . . . min. 8 h

##### 4.2. Obsluha pasteračního monitoru

Obsluha přístroje je velmi jednoduchá a lze ji svěřit i krátce zaškolenému pracovníkovi. Stručný návod k obsluze je uveden přímo na horním panelu přístroje. Zapínání a vypínání přístroje se provádí pouhým přiložením magnetu dodaného s přístrojem k místům označeným na horním panelu. Monitor před zahájením měření nevyžaduje žádnou přípravu ani nastavování. Stačí jej pouze zapnout a po průchodu pastérem odečíst naměřené PU, vypnout a připojit na nabíječku. Pokud příslušné pracoviště disponuje počítačem PC, je možný též přenos naměřených teplot do počítače.

##### 4.3. Uplatnění monitoru v praxi

Před zahájením výroby a distribuce pasteračního monitoru bylo nejprve nutno provést sérii provozních zkoušek. Tyto zkoušky probíhaly v brnickém pivovaru, odkud také přišlo v pozdějších

letech nejvíce připomínek a námětů na jeho vylepšení. Mezi prvními zájemci byly pivovary v Plzni, Mostě a Hradci Králové. V současné době je v provozu 26 přístrojů v 23 městech České a Slovenské republiky. Takřka všechny přístroje jsou nejnovějšího typu, neboť modely dodané v dřívějších letech byly postupně přestavovány na nové. Stinnou stránkou provozu pasteračních monitorů však zůstávají problémy se spolehlivostí, způsobené zejména agresivním prostředím v tunelových pastérech. S těmito problémy se však potýkají i zahraniční přístroje.

#### 5. ZÁVĚR

Největším přínosem elektronického monitoru zejména oproti mechanickému modelu je automatický výpočet pasteračního účinku. Odpadá tedy pracné a zdoluhavé odečítání a přepočítávání teplot na PU.

U elektronického monitoru je teplotní průběh uchovávan v paměti a po skončení pasterace lze hodnoty přenést do počítače. Odtud je možné teplotní průběh se všemi průvodními údaji (součet PU, datum, čas, název pivovaru, poznámky) kdykoli vytisknout na běžný kancelářský papír. Z toho vyplývá další výhoda: možnost kdykoli a v libovolném počtu kopií vytisknout i dříve pořízené průběhy, což je důležité v případě reklamace.

Je také třeba připomenout ekonomické hledisko kontroly funkce tunelového pastéru. Počet láhví procházejících tunelovým pastérem za 1 hodinu ve větších pivovarech je v řádu desítek tisíců, což představuje během jedné hodiny stotisícové hodnoty, které mohou být při nedostatečné pasteraci či přepasterování v různé míře znehodnoceny.

Co se týče budoucnosti pasteračního monitoru, projevuje se již nasycení domácího trhu. Aplikace tohoto přístroje by se tedy v budoucnu mohla vedle případného exportu zaměřit na další oblasti potravinářského průmyslu, jako je pasterace mléka, limonád, ale i sterilace masných výrobků. Není také vyloučena možnost adaptace na průtokové pastéry.

#### LITERATURA

- [1] ČURDA, D.: Vybrané kapitoly z mrazírenské a konzervárenské technologie, VŠCHT, 1992
- [2] VANČURA, M. a kol.: Pivovarsko-sladařská analytika, SNTL, Praha, 1966
- [3] BASELT, F. C., DAYHARSH, C. A., DEL VECCHIO, H. W.: ASBC Proceedings, 1954, s. 141
- [4] KRATOCHVÍLE, A.: Lahvárenská technika, SNTL, Praha, 1983
- [5] ŠAVEL, J.: Mikrobiologická kontrola v pivovarech, SNTL, Praha 1980
- [6] VRANÁ D. a kol.: Kvasinky ve výzkumu a praxi, Academia, Praha, 1986
- [7] DYR J.: Kvasná chemie a technologie I., SNTL, Praha, 1965
- [8] BARTSCH, H. J.: Matematické vzorce, SNTL, Praha, 1983

**Jíra, J.: Pasterace piva a současné metody jejího monitorování.** Kvas. prům., 41, 1995, č. 5, s. 138—144.

Jsou uvedeny vztahy pro popis pasteračního účinku a popis vývoje elektronického pasteračního monitoru, který se vyznačuje jednoduchou obsluhou, intervalem odečtu teploty 30 s, integrací naměřených hodnot do výstupního údaje ve formě pasteračních jednotek s možností přenosu dat sériovým rozhraním do personálního počítače k dalšímu zpracování.

**Jíra, J.: Beer Pasteurization and Present Methods for Its Monitoring.** Kvas. prům. 41, 1995, č. 5, pp. 138—144.

Basic relations are introduced for description of the pasteurization effect together electronical pasteurization monitor development's description, featured by simple operation, temperature substraction interval 30 s, integration of measured units into output data in the form of pasteurization units and a possibility of data transfer by means of a serial interface onto PC for further processing.

**Jíra, J.: Pasteurisierung des Bieres und die gegenwärtigen Methoden ihrer Monitorierung.** Kvas. prům. 41, 1995, Nr. 5, S. 138—144.

Es werden die Beziehungen für die Beschreibung des Pasteurisationseffekts angeführt sowie auch die Beschreibung des elektronischen Pasteurisationsmonitors, der durch folgende Eigenschaften bzw. Parameter gekennzeichnet ist: einfache Bedienung, Intervall der Temperaturablesung 30 s, Integration der abgelesenen Werte in die Austrittsangabe in Form von Pasteurisationseinheiten mit der Möglichkeit der Datenübertragung durch Serien-Interface in der Personal-Computer zur weiteren Verarbeitung.

**Йира, Я.: Пастеризация пива и современные методы ее мониторинга.** Квас. прум. 41, 1995, № 5, стр. 138—144.

Приводятся отношения для описания пастеризационного действия и описания разработки электронического пастеризационного монитора, отличающегося простым обслуживанием, интервалом отсчета температуры 30 сек, интегрированием измеренных величин в выходные данные в форме единиц пастеризации с возможностью передачи данных серийным разделом в персональную ЭВМ для последующей переработки.

*Lektoroval Ing. J. Šavel, CSc.*