

Z výzkumu a praxe

NOVÉ MOŽNOSTI VYUŽITÍ MONITORŮ TEPLOTY V PIVOVARSTVÍ

Ing. JAN ŠAVAL, CSc., Budějovický Budvar, n. p., Č. Budějovice

Klíčová slova: pivo, teplota, monitory teploty, využití

1. ÚVOD

Průběh reakcí, probíhajících v pivovarství, závisí na teplotě. Záznam průběhu teploty v jednotlivých místech technologických procesů je velmi důležitý. Podle teplotní křivky se hodnotí průběh jednotlivých operací, např. mletí, kvašení, hlavního kvašení, dokvašování, pasterace aj. Průběh teploty ve skladovacích prostorách, nebo v deponáži pivovaru, popř. v prostředí jednotlivých výrobních středisek, rozhoduje o výsledné biologické stabilitě piva.

V některých případech je rychlost těchto reakcí alespoň v určitém teplotním intervalu monotónní funkcí teploty, v jiných případech tomu tak není. Například letální rychlost tepelného hynutí mikroorganismů vždy s rostoucí teplotou roste, podobně jako rychlost smyslového poškození piva. Naproti tomu růstová rychlost mikroorganismů nebo rychlost enzymových reakcí mohou napřed vzrůstat, ale pak v důsledku inaktivace klesat. Závislost reakční rychlosti na teplotě je exponenciální a vyjadřuje se buď klasickým Arrheniovým vztahem s absolutní teplotou ve jmenovateli exponentu, nebo jednoduchou exponenciální funkcí s teplotou v Celsiusových stupních v exponentu.

2. LETÁLNÍ ÚČINEK PASTERACE

V české i zahraniční literatuře existují souhrnné práce o teorii pasteračního účinku [1–4]. Z tohoto důvodu se uvádějí pouze základní definice jednotlivých parametrů a funkcí, používaných k hodnocení pasterace.

Parametr z (°C) udává zvýšení teploty, potřebné pro desetinásobné zkrácení doby ohřevu se stejným pasteračním účinkem při hynutí mikroorganismů. Decimální redukční doba D (min) je čas, potřebný pro desetinásobný pokles obsahu mikroorganismů během pasterace při konstantní teplotě. Obvykle se uvádí decimální redukční doba D , při referenční teplotě t_r .

Relativní účinek teploty při hynutí mikroorganismů v pivu se vyjadřuje letální rychlostí, nebo letálním podílem L_R , definovaným jako:

$$(1) \quad L_R = 10^{\frac{(t-t_r)}{z}}$$

kde t je teplota pasterace a t_r je referenční teplota, smluvně zvolená jako 60 °C (140 °F). Hodnotu z stanovili Del Vecchio et al. pro kulturu cizích kvasinek, které nejvíce odolávaly laboratorní pasteraci [5]. Bohužel i oficiální publikace uvádějí nepřesnou hodnotu z , což vyplývá z převodu °F na °C.

Změřené hodnotě $z = 12,5$ °F totiž přesně neodpovídá obvykle udávaná hodnota 6,94 °C.

V tabulkách, uvádějících hodnoty L_R na čtyři platné číslice, se u vyšších teplot mohou vyskytnout rozdíly už na třetím místě [1]. Tak např. pro 79,3 °C uvádí tato práce hodnotu 600,1, zatímco správná hodnota je 601,5. Přesný vztah pro výpočet L_R má tvar, uvedený v práci [6]:

$$(2) \quad L_R = 10^{0,144(t-60)}$$

V pivu ovšem nejsou pouze divoké kvasinky s hodnotou $z = 12,5$ °F (1/0,144 °C), ale i mikroorganismy s jinou tepelnou odolností. Tabulky uvádějí hodnoty tepelné odolnosti pro mikroorganismy vyskytující se v pivu, takže je možné sledovat teplotní účinek i pro jiné populace mikroorganismů [1, 3, 7]. Ačkoliv se hodnoty u různých autorů liší, uvádíme jako příklad pro kulturní kvasinky $z = 5$ °C, $D_{60} = 0,05$ min, pro rezistentní laktobacily $z = 8$ °C, $D_{60} = 2$ min.

V tabulkách se rovněž uvádějí hodnoty decimálního redukčního času D_r pro referenční teplotu t_r . Z těchto údajů je pak možné vypočítat relativní pokles počtu mikroorganismů nejen při konstantní teplotě, ale i pro teplotní křivku podle vztahů v práci [1–4]. Relativní pokles počtu mikroorganismů je poměr mezi koncentrací c_0 původně přítomných aktivních mikroorganismů a koncentrací mikroorganismů c , přežívajících po pasteraci. Obvykle se používá hodnota $\log(c_0/c)$.

V pivovarství se požaduje různý stupeň jistoty pro výskyt přežívajících mikroorganismů v pasterovaném pivu. V konzervárenství je obvyklý tzv. koncept $12 D$, což znamená, že se může vyskytnout 1 obal s nedostatečným tepelným ošetřením z celkového počtu 10^{12} . V pivovarství postačuje nižší poměr 1:10⁹. S touto hodnotou lze potom určit z tabelovaných parametrů D_{60} a z potřebnou pasterační dávku přímo v pasteračních jednotkách.

3. NOVÉ FUNKCE PRO HODNOCENÍ PASTERACE

Pasterační monitory obvykle kromě záznamu teplotní křivky uvádějí rovněž průběh hodnoty L_R včetně výsledného celkového pasteračního účinku. Náznornější jsou funkce, udávající pro každý bod pasterační křivky v čase τ hodnoty:

$$(3) \quad \int_0^{\tau} L_R [t(x)] dx$$

$$(4) \quad \log [c_0/c(\tau)] = \frac{1}{D_r} \int_0^{\tau} L_R [t(x)] dx$$

kde τ je doba od počátku pasterace. Funkce (3) se nazývá okamžitá hodnota celkového letálního účinku, funkce (4) je okamžitá hodnota celkového relativního poklesu počtu mikroorganismů. Pro výpočet funkce (3) postačuje znalost průběhu teplotní křivky a parametru z , zatímco vztah (4) vyžaduje ještě hodnotu D_r . Obě funkce umožňují stanovit okamžik, při kterém se již dosahuje potřebné úrovně pasterace. Výpočty hodnot funkcí uvádějí práce [3, 4].

V původní práci Del Vecchia et al. bohužel chybí údaj o původním počtu mikroorganismů ve vzorku, takže pro klasickou škálu pasteračních jednotek je možné počítat pouze funkcí (3). Z pozdějších sdělení stejných autorů lze pouze odhadnout, že hodnota funkce $\log [c_0/c(\tau)]$ by se mohla pro úplný úhyn mikroorganismů pohybovat mezi 9 až 10, což při zjištěné potřebné dávce 5,6 pasteračních jednotek (PU) odpovídá přibližně hodnotě parametru $D_{60} = 0,6$ min.

4. SENZORICKÝ ÚČINEK PASTERACE

Pro vhodné rozmezí teplot lze použít podobné postupy, jako při hodnocení letálního účinku. Nejzávažnější z nich je současné hodnocení smyslového poškození během pasterace. Ze skutečnosti, že pivo z průtokového pasteru je podstatně méně smyslově poškozené než při tunelové pasteraci, rovněž vyplývá, že hodnota z pro smyslové poškození je vyšší než pro úhyn mikroorganismů.

Pro určitý druh piva lze laboratorní pasteraci stanovit závislost intenzity smyslového poškození na teplotě pasterace. Z této závislosti je pak možné vypočítat hodnotu parametru, která podle našich měření činila $z = 45$ °C.

Stupeň senzorického poškození při pasteraci závisí na dalších faktorech, např. na obsahu rozpuštěného kyslíku, podobně jako letální pasterační účinek závisí také na pH, druhu mikroorganismů apod. Přesto je užitečné použít příslušnou hodnotu z spolu s maximální dávkou přípustného tepelného zatížení, kterou lze ještě u daného piva připustit.

Podobně lze stanovit závislost smyslového poškození piva při skladování, pro tento případ však dosud nebyla stanovena hodnota parametru z . Podle údajů z literatury, vycházejících ze závislosti tvorby těkavých aldehydů, které jsou v korelaci s intenzitou cizí vůně a chuti, lze očekávat hodnotu z okolo

20 °C. Tato hodnota je o něco nižší, než odpovídá všeobecně uznávané zásadě pro zdvojnásobení reakční rychlosti se zvýšením teploty o 10 °C ($z = 33,2$ °C).

5. VLIV TEPLoty NA BIOLOGICKOU TRVANLIVOST

V rozmezí teplot 5 až 25 °C se mohou použít podobné vztahy i pro kažení piva mikroorganismy. Vzhledem k pomalejšímu průběhu kažení piva je ovšem vhodnější definovat jednotku mikrobiálního poškození piva GU (growth unit) jako mikrobiální účinek tepelného působení po dobu 1 dne při 20 °C. Podle současných zvyklostí se pro nepasterované pivo, dodávané na domácí trh, požaduje odolnost alespoň 25–30 GU.

Za předpokladu exponenciálního růstu kontaminace v pivu lze příslušné vztahy odvodit z hodnot specifické růstové rychlosti μ a stanovit tak i formální parametr D . Mezi parametrem D , který má v tomto případě význam času, potřebného pro desetinásobné pomnožení mikroorganismů a specifickou růstovou rychlostí μ , platí vztah:

$$(5) \quad D = \frac{\ln 10}{\mu}$$

Relativní pomnožení počtu mikroorganismů se obdobně vyjadřuje poměrem c/c_0 , kde c_0 je počáteční, c je konečná koncentrace pomnožených mikroorganismů. Označí-li se kritická hodnota, při které je již dobře patrný mikrobiální zákal v láhvi jako koncentrace c_z , platí pro celkovou předpokládanou trvanlivost T vztah:

$$(6) \quad T = \frac{\ln (c_z/c_0)}{\mu}$$

Obvykle se za c_z volí koncentrace 10^6 mikroorganismů/ml, čemuž odpovídá koncept $6D$. Podle našich výsledků se mohou hodnoty z pro růst nebezpečných mléčných bakterií v pivu pohybovat okolo $z = 17$ °C, pro kulturní kvasinky je $z = 33$ °C, jako všeobecnou hodnotu bez rozlišení kontaminace lze použít $z = 23$ °C. Hodnota D_{20} pro 12% pivo je pro nebezpečné mléčné bakterie 1 den, pro kvasinky asi 1,5 dne.

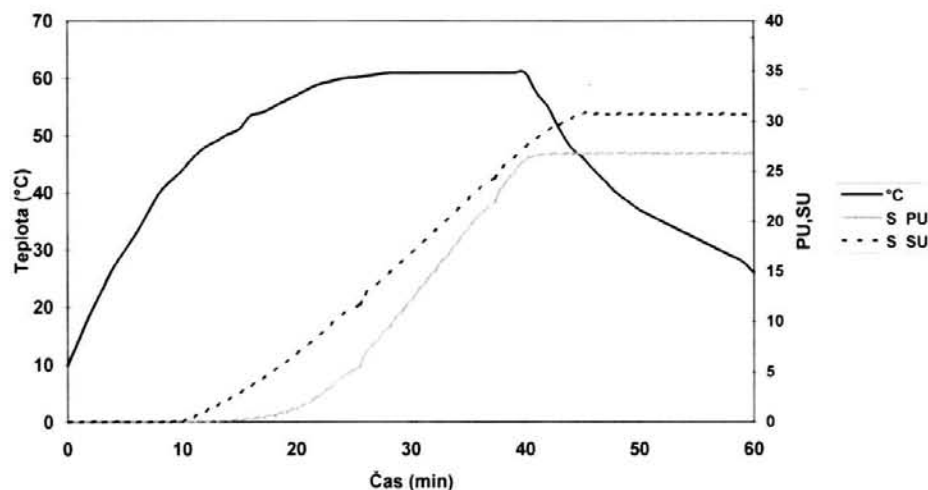
6. OBECNÉ HODNOCENÍ TEPLOTNÍCH ZÁVISLOSTÍ

Z uvedeného přehledu vyplývá možnost hodnotit průběh vybraných, na teplotě závislých procesů, jednotným způsobem. Časový průběh teploty tvoří základ pro výpočet příslušných hodnot specifických jednotek na základě těchto zobecněných parametrů:

Parametr z (°C) udává potřebné zvýšení teploty pro desetinásobné zkrácení doby příslušné reakce, závislé na teplotě. Parametr D (min, h, dny, měsíce) je čas, potřebný pro desetinásobnou změnu koncentrace sledované složky. Při pasteraci se např. sníží koncentrace přežívajících mikroorganismů v pivu, při kažení piva naopak koncentrace mikroorganismů v pivu vzrůstá.

Referenční podíl příslušné teplotně závislé reakce je podíl rychlostních konstant při teplotě t a referenční teplotě t_r .

Obr. 1 Průběh teploty, součtu letálních (S_{PU}) a senzorických (S_{SU}) pasteračních jednotek při pasteraci v tunelovém pasteru



Tab. 1 Letální podíl při pasteraci piva L_R ($z = 1/0,144$ °C)

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
45	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009
46	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012	0,013	0,012
47	0,013	0,014	0,014	0,015	0,015	0,016	0,016	0,017	0,018	0,018
48	0,019	0,019	0,020	0,021	0,021	0,022	0,023	0,024	0,024	0,025
49	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035
50	0,036	0,038	0,039	0,040	0,041	0,043	0,044	0,046	0,047	0,049
51	0,051	0,052	0,054	0,056	0,058	0,060	0,062	0,064	0,066	0,068
52	0,070	0,073	0,075	0,078	0,080	0,083	0,086	0,089	0,092	0,095
53	0,098	0,101	0,105	0,108	0,112	0,116	0,120	0,124	0,128	0,132
54	0,137	0,141	0,146	0,151	0,156	0,161	0,167	0,173	0,178	0,184
55	0,191	0,197	0,204	0,210	0,218	0,225	0,232	0,240	0,248	0,257
56	0,265	0,274	0,284	0,293	0,303	0,313	0,324	0,335	0,346	0,358
57	0,370	0,382	0,395	0,409	0,422	0,437	0,451	0,466	0,482	0,498
58	0,515	0,533	0,551	0,569	0,588	0,608	0,629	0,650	0,672	0,694
59	0,718	0,742	0,767	0,793	0,820	0,847	0,876	0,905	0,936	0,967
60	1,000	1,034	1,069	1,105	1,142	1,180	1,220	1,261	1,304	1,348
61	1,393	1,440	1,489	1,539	1,591	1,644	1,700	1,757	1,816	1,878
62	1,941	2,006	2,074	2,144	2,216	2,291	2,368	2,448	2,530	2,616
63	2,704	2,795	2,889	2,987	3,087	3,192	3,299	3,410	3,525	3,644
64	3,767	3,894	4,025	4,161	4,301	4,446	4,596	4,751	4,911	5,077
65	5,248	5,425	5,608	5,797	5,992	6,194	6,403	6,619	6,842	7,073
66	7,311	7,558	7,813	8,076	8,348	8,630	8,921	9,221	9,532	9,854
67	10,186	10,529	10,884	11,251	11,631	12,023	12,428	12,847	13,280	13,728
68	14,191	14,669	15,164	15,675	16,203	16,749	17,314	17,898	18,501	19,125
69	19,770	20,436	21,125	21,837	22,574	23,335	24,121	24,934	25,775	26,644
70	27,542	28,471	29,431	30,423	31,449	32,509	33,605	34,738	35,909	37,119
71	38,371	39,664	41,002	42,384	43,813	45,290	46,817	48,395	50,026	51,713
72	53,456	55,259	57,122	59,047	61,038	63,096	65,223	67,422	69,695	72,044
73	74,473	76,984	79,579	82,262	85,035	87,902	90,866	93,929	97,096	100,369
74	103,753	107,251	110,866	114,604	118,468	122,462	126,590	130,858	135,270	139,830
75	144,544	149,417	154,454	159,661	165,044	170,608	176,360	182,306	188,452	194,805
76	201,372	208,161	215,179	222,433	229,932	237,684	245,697	253,980	262,543	271,394
77	280,543	290,001	299,778	309,885	320,332	331,131	342,295	353,834	365,763	378,094
78	390,841	404,017	417,638	431,718	446,272	461,318	476,870	492,947	509,565	526,744
79	544,503	562,859	581,835	601,451	621,727	642,688	664,355	686,752	709,905	733,838

Relativní změna obsahu sledované složky je podíl mezi výchozí a aktuální koncentrací složky, volený tak, aby výsledná hodnota byla vždy větší nebo rovna jedné. Proto se např. při pasteraci volí podíl c_0/c , při kažení piva c/c_0 . Uvedená koncepce vychází z kinetiky prvního řádu, ale je ji možné zobecnit i pro kinetiku jiných řádů [2].

V režimu základního výpočtu (bez znalosti D_r) se stanoví pouze příslušný počet specifických jednotek jako obecné kritérium účinku teplotně závislého procesu. Při změnách počtu mikroorganismů bývá rovněž užitečné znázornit průběh relativní změny počtu mikroorganismů.

7. PŘÍKLADY SPECIFICKÝCH JEDNOTEK PŘI HODNOCENÍ TEPLOTNĚ ZÁVISLÝCH PROCESŮ

7.1 Letální účinek pasterace

1 pasterační jednotka (pasteurization unit, PU) je letální účinek referenční teploty 60 °C po dobu 1 min. Pro teplotní rozmezí 45 až 80 °C se používá obecná hodnota $z = 1/0,144 = 6,94444$ °C. Obecně se pro pasteraci 10% a 12% piva doporučuje dávka 20 až 30 PU, pro nízkoalkoholová piva až 60 PU [1]. Letální podíl L_R se počítá podle vztahu (1).

7.2 Senzorický účinek pasterace

1 senzorická pasterační jednotka (sensory pasteurization unit, SU) je senzorický pasterační účinek referenční teploty 60 °C po dobu 1 min. Pro teplotní rozmezí 45 až 80 °C doporučujeme obecnou hodnotu $z = 45$ °C. Obecně přijatelná dávka pro 10% a 12% lahvová piva 15 až 25 SU vyplývá z konstrukčních možností tunelových pasterů, u průtokových pasterů lze dosáhnout dávek okolo jednotek SU. Referenční podíl senzorického poškození piva pasterací S_R se počítá podle vztahu (1).

7.3 Senzorický účinek skladování

1 senzorická jednotka skladování (senso-ric chemical unit, CU) je senzorický účinek referenční teploty 20 °C v průběhu přiroze-

Tab. 2 Referenční podíl senzorického poškození při pasteraci S_R ($z = 45$ °C)

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
45	0,464	0,467	0,469	0,471	0,474	0,476	0,479	0,481	0,484	0,486
46	0,489	0,491	0,494	0,496	0,499	0,501	0,504	0,506	0,509	0,512
47	0,514	0,517	0,519	0,522	0,525	0,527	0,530	0,533	0,536	0,538
48	0,541	0,544	0,547	0,550	0,552	0,555	0,558	0,561	0,564	0,567
49	0,570	0,573	0,575	0,578	0,581	0,584	0,587	0,590	0,593	0,596
50	0,599	0,603	0,606	0,609	0,612	0,615	0,618	0,621	0,625	0,628
51	0,631	0,634	0,637	0,641	0,644	0,647	0,651	0,654	0,657	0,661
52	0,664	0,667	0,671	0,674	0,678	0,681	0,685	0,688	0,692	0,695
53	0,699	0,703	0,706	0,710	0,713	0,717	0,721	0,724	0,728	0,732
54	0,736	0,739	0,743	0,747	0,751	0,755	0,759	0,762	0,766	0,770
55	0,774	0,778	0,782	0,786	0,790	0,794	0,798	0,802	0,807	0,811
56	0,815	0,819	0,823	0,828	0,832	0,836	0,840	0,845	0,849	0,853
57	0,858	0,862	0,867	0,871	0,875	0,880	0,884	0,889	0,894	0,898
58	0,903	0,907	0,912	0,917	0,921	0,926	0,931	0,936	0,940	0,945
59	0,950	0,955	0,960	0,965	0,970	0,975	0,980	0,985	0,990	0,995
60	1,000	1,005	1,010	1,015	1,021	1,026	1,031	1,036	1,042	1,047
61	1,053	1,058	1,063	1,069	1,074	1,080	1,085	1,091	1,096	1,102
62	1,108	1,113	1,119	1,125	1,131	1,136	1,142	1,148	1,154	1,160
63	1,166	1,172	1,178	1,184	1,190	1,196	1,202	1,208	1,215	1,221
64	1,227	1,233	1,240	1,246	1,253	1,259	1,265	1,272	1,278	1,285
65	1,292	1,298	1,305	1,312	1,318	1,325	1,332	1,339	1,346	1,352
66	1,359	1,366	1,373	1,380	1,387	1,395	1,402	1,409	1,416	1,423
67	1,431	1,438	1,445	1,453	1,460	1,468	1,475	1,483	1,491	1,498
68	1,506	1,514	1,521	1,529	1,537	1,545	1,553	1,561	1,569	1,577
69	1,585	1,593	1,601	1,609	1,618	1,626	1,634	1,643	1,651	1,660
70	1,668	1,677	1,685	1,694	1,703	1,711	1,720	1,729	1,738	1,747
71	1,756	1,765	1,774	1,783	1,792	1,801	1,810	1,820	1,829	1,838
72	1,848	1,857	1,867	1,876	1,886	1,896	1,905	1,915	1,925	1,935
73	1,945	1,955	1,965	1,975	1,985	1,995	2,005	2,016	2,026	2,037
74	2,047	2,057	2,068	2,079	2,089	2,100	2,111	2,122	2,132	2,143
75	2,154	2,165	2,177	2,188	2,199	2,210	2,222	2,233	2,244	2,256
76	2,268	2,279	2,291	2,303	2,314	2,326	2,338	2,350	2,362	2,374
77	2,387	2,399	2,411	2,424	2,436	2,448	2,461	2,474	2,486	2,499
78	2,512	2,525	2,538	2,551	2,564	2,577	2,590	2,603	2,617	2,630
79	2,644	2,657	2,671	2,685	0,698	2,712	2,726	2,740	2,754	2,768

ných chemických změn při stárnutí piva po dobu 1 dne. Pro teplotní rozmezí 5 až

35 °C doporučujeme obecnou hodnotu $z = 20$ °C. Pro skladování piva se zajištěnou biologickou stabilitou se stanoví maximální dávka podle garanční lhůty s ohledem na přípustné senzorické poškození piva, např. 30 CU.

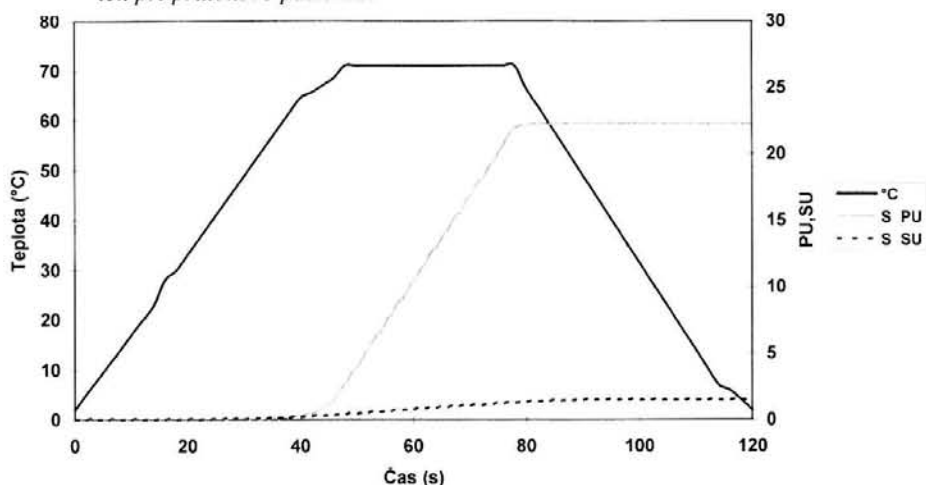
Referenční podíl senzorických změn vlivem skladování C_R se počítá podle vztahu (1). Takto definovaná stupnice umožňuje hodnotit vliv skladovacích podmínek na senzorické vlastnosti piva.

7.4 Biologický účinek skladování

1 růstová jednotka (growth unit, GU) biologického kažení je biologický účinek referenční teploty 20 °C při pomnožení mikroorganismů po dobu 1 dne. Pro teploty 5 až 25 °C se používá obecná hodnota $z = 23$ °C. Pro skladování nepasterovaného piva se stanoví maximální dávka podle garanční lhůty, např. 30 GU.

Referenční podíl biologického poškození G_R se počítá podle vztahu (1). Také zde je

Obr. 2 Průběh teploty, součtu letálních (S PU) a senzorických (S SU) pasteračních jednotek při průtokové pasteraci



Tab. 3 Referenční podíl sensorického poškození při stárnutí piva chemickými změnami C_R ($z = 20\text{ }^\circ\text{C}$)

$^\circ\text{C}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
5	0,178	0,180	0,182	0,184	0,186	0,188	0,191	0,193	0,195	0,197
6	0,200	0,202	0,204	0,207	0,209	0,211	0,214	0,216	0,219	0,221
7	0,224	0,226	0,229	0,232	0,234	0,237	0,240	0,243	0,245	0,248
8	0,251	0,254	0,257	0,260	0,263	0,266	0,269	0,272	0,275	0,279
9	0,282	0,285	0,288	0,292	0,295	0,299	0,302	0,305	0,309	0,313
10	0,316	0,320	0,324	0,327	0,331	0,335	0,339	0,343	0,347	0,351
11	0,355	0,359	0,363	0,367	0,372	0,376	0,380	0,385	0,389	0,394
12	0,398	0,403	0,407	0,412	0,417	0,422	0,427	0,432	0,437	0,442
13	0,447	0,452	0,457	0,462	0,468	0,473	0,479	0,484	0,490	0,495
14	0,501	0,507	0,513	0,519	0,525	0,531	0,537	0,543	0,550	0,556
15	0,562	0,569	0,575	0,582	0,589	0,596	0,603	0,610	0,617	0,624
16	0,631	0,638	0,646	0,653	0,661	0,668	0,676	0,684	0,692	0,700
17	0,708	0,716	0,724	0,733	0,741	0,750	0,759	0,767	0,776	0,785
18	0,794	0,804	0,813	0,822	0,832	0,841	0,851	0,861	0,871	0,881
19	0,891	0,902	0,912	0,923	0,933	0,944	0,955	0,966	0,977	0,989
20	1,000	1,012	1,023	1,035	1,047	1,059	1,072	1,084	1,096	1,109
21	1,122	1,135	1,148	1,161	1,175	1,189	1,202	1,216	1,230	1,245
22	1,259	1,274	1,288	1,303	1,318	1,334	1,349	1,365	1,380	1,396
23	1,413	1,429	1,445	1,462	1,479	1,496	1,514	1,531	1,549	1,567
24	1,585	1,603	1,622	1,641	1,660	1,679	1,698	1,718	1,738	1,758
25	1,778	1,799	1,820	1,841	1,862	1,884	1,905	1,928	1,950	1,972
26	1,995	2,018	2,042	2,065	2,089	2,113	2,138	2,163	2,188	2,213
27	2,239	2,265	2,291	2,317	2,344	2,371	2,399	2,427	2,455	2,483
28	2,512	2,541	2,570	2,600	2,630	2,661	2,692	2,723	2,754	2,786
29	2,818	2,851	2,884	2,917	2,951	2,985	3,020	3,055	3,090	3,126
30	3,162	3,199	3,236	3,273	3,311	3,350	3,388	3,428	3,467	3,508
31	3,548	3,589	3,631	3,673	3,715	3,758	3,802	3,846	3,890	3,936
32	3,981	4,027	4,074	4,121	4,169	4,217	4,266	4,315	4,365	4,416
33	4,467	4,519	4,571	4,624	4,677	4,732	4,786	4,842	4,898	4,955
34	5,012	5,070	5,129	5,188	5,248	5,309	5,370	5,433	5,495	5,559

Tab. 4 Referenční podíl biologického poškození piva G_R ($z = 23\text{ }^\circ\text{C}$)

$^\circ\text{C}$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
5	0,223	0,225	0,227	0,230	0,232	0,234	0,237	0,239	0,241	0,244
6	0,246	0,249	0,251	0,254	0,256	0,259	0,261	0,264	0,267	0,269
7	0,272	0,275	0,278	0,280	0,283	0,286	0,289	0,292	0,295	0,298
8	0,301	0,304	0,307	0,310	0,313	0,316	0,319	0,323	0,326	0,329
9	0,332	0,336	0,339	0,343	0,346	0,350	0,353	0,357	0,360	0,364
10	0,367	0,371	0,375	0,379	0,382	0,386	0,390	0,394	0,398	0,402
11	0,406	0,410	0,414	0,419	0,423	0,427	0,431	0,436	0,440	0,444
12	0,449	0,453	0,458	0,463	0,476	0,472	0,477	0,482	0,486	0,491
13	0,496	0,501	0,506	0,511	0,516	0,522	0,527	0,532	0,538	0,543
14	0,548	0,554	0,560	0,565	0,571	0,577	0,582	0,588	0,594	0,600
15	0,606	0,612	0,618	0,625	0,631	0,637	0,644	0,650	0,657	0,663
16	0,670	0,677	0,684	0,690	0,697	0,704	0,711	0,719	0,726	0,733
17	0,741	0,748	0,756	0,763	0,771	0,779	0,786	0,794	0,802	0,810
18	0,819	0,827	0,835	0,844	0,852	0,861	0,869	0,878	0,887	0,896
19	0,905	0,914	0,923	0,932	0,942	0,951	0,961	0,970	0,980	0,990
20	1,000	1,010	1,020	1,030	1,041	1,051	1,062	1,073	1,083	1,094
21	1,105	1,116	1,128	1,139	1,150	1,162	1,174	1,186	1,197	1,210
22	1,222	1,234	1,246	1,259	1,272	1,284	1,297	1,310	1,324	1,337
23	1,350	1,364	1,378	1,391	1,405	1,420	1,434	1,448	1,463	1,478
24	1,492	1,508	1,523	1,538	1,553	1,569	1,585	1,601	1,617	1,633

možné hodnotit vliv podmínek při skladování nepasterovaného piva.

7.5 Tabulky referenčních podílů chemických a biologických reakcí

Příslušné hodnoty podílů rychlostních konstant, vztažených k referenčním teplotám, uvádějí tab. 1 až 4. Hodnoty v tabulkách 2 až 4 vycházejí z vlastního pozorování, u každého druhu piva lze stanovit stupnici referenčních podílů individuálně.

7.6 Příklady výpočtů

Příklad 1. Pasterace piva v tunelovém pasteru

Pivo se pasterovalo v tunelovém pasteru při současném záznamu teplot pasteračním monitorem. Obrázek 1 znázorňuje průběh teploty, celkového letálního a sensorického pasteračního účinku. Celkový účinek pasterace byl 27 PU a 32 SU.

Příklad 2. Pasterace piva v průtokovém pasteru

Pivo se pasterovalo v průtokovém pasteru při současném záznamu teplot pasteračním monitorem. Obrázek 2 znázorňuje průběh teploty, celkového letálního a sensorického pasteračního účinku. Celkový účinek pasterace byl 23 PU a 2 SU.

Příklad 3. Biologické poškození piva při skladování

Sudové pivo se skladovalo při $15\text{ }^\circ\text{C}$. Jak se změní biologická trvanlivost, jestliže výrobce udává záruku 60 dní při $10\text{ }^\circ\text{C}$, tj. $60 \times G_R(10\text{ }^\circ\text{C}) = 60 \times 0,367 = 22,2\text{ GU}$? Očekávaná biologická trvanlivost = $22,2/G_R(15\text{ }^\circ\text{C}) = 22,2/0,606 = 37$ dní.

Příklad 4. Sensorické poškození piva při skladování

U lahvového pasterovaného piva se prokázaly změny chuti a vůně po 2 měsících stárnutí při $20\text{ }^\circ\text{C}$ (60 CU). Jak dlouho se toto pivo může skladovat při $8\text{ }^\circ\text{C}$? Očekávaná sensorická stabilita = $60/C_R(8\text{ }^\circ\text{C}) = 60/0,251 = 239$ dní = 8 měsíců.

8. MOŽNOSTI VYUŽITÍ MONITORŮ TEPLOTY

Dosud se tento typ přístrojů používal především jako pasterační monitor. Při použití záznamového zařízení teplotních křivek lze na základě uvedené teorie hodnotit jejich účinek jednotným způsobem. Tak se může z teplotní křivky odhadnout různý stupeň poškození piva v jeho jednotlivých vlastnostech. Pro tyto účely lze použít moderní teplotní monitory se záznamem dat na vhodná paměťová média a příslušným software. Takové přístroje je nyní možné získat komerčně. Další uplatnění přístrojů spočívá ve sběru dat pro statistickou kontrolu procesů, řízených teplotou, jako je např. varný proces.

Naopak, při snadném analytickém stanovení některé složky piva, měnící se v závislosti na teplotě definovaným způsobem, je možné považovat tento systém za druh teplotního monitoru a součet specifických jed-

notek stanovit podle obsahu sledované složky. Tohoto postupu jsme použili při návrhu tzv. furfuralové jednotky pro hodnocení stárnutí piva [8].

LITERATURA

[1] Beer pasteurization: (manual of good practice). EBC Techn. Eng. Forum. Hans

Carl, Getränke-Fachverl., Nürnberg 1995.

[2] ŠA VEL, J.: Kvas. prům. **24**, 1978, s. 99.

[3] ŠA VEL, J.: Kvas. prům. **30**, 1984, s. 78.

[4] ŠA VEL, J.: Kvas. prům. **30**, 1984, s. 194.

[5] DEL VECCHIO, H. W.–DAYHARSH, C. A.–BASELT, F. C.: Proc. ASBC, **45**, 1951, s. 45.

[6] ŠA VEL, J.: Kvas. prům. **27**, 1981, s. 199.

[7] O CONNOR–COX, E. S. C.–YIU, P. M., INGLEDEW, W. M.: Techn. Quart. MBAA, **28**, 1991, s. 67.

[8] ŠA VEL, J.–ZDVIHALOVÁ, D.: Kvas. prům. **24**, 1978, s. 30.

*Lektoroval ing. J. Cuřín, CSc.
Do redakce došlo 10. 9. 1996*