

Kontinuální výroba sladu

II. Vývin tepla při klíčení a sladovací ztráta

JAN VOBORSKÝ, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha

663,43

Nové systémy, jejichž účelem je omezit manuální zásah a subjektivní řízení procesu na minimum, vyžadují zpřesnění určitých údajů, potřebných pro návrh a mnohdy i koncepci strojních prvků provozního zařízení. Vývin tepla klíčícího díla a zajištění jeho dokonalého odvodu je rozhodující pro úspěšnou realizaci navržené kontinuální pásové sladovny.

Vznik značného množství tepla při zpracování ječmene na zelený slad je důsledkem složitého komplexu biochemických reakcí, v němž z hlediska jejich tepelného zabarvení převažují reakce exotermické. Start tohoto procesu je závislý především na množství vody v zrně a na jeho klíčivosti, další jeho průběh na dostatečném přívodu kyslíku, odvodu CO_2 a tepla. Navenek se tento proces projevuje zvyšováním teploty vrstvy klíčícího ječmene. Pro výrobu sladu českého typu se požaduje tzv. studené vedení klíčení. Tím se rozumí maximální teplota díla 18°C . Přebytek vyvinutého tepla, jímž by se nadměrně zvýšila teplota vrstvy klíčícího ječmene nad požadovanou mez, musí být odveden do okolního prostředí. Tato hodnota má koncepční charakter a její význam je pro projektanta zřejmý.

Dosavadní způsob stanovení vývinu tepla při klíčení se opírá většinou o zjištění sladovací ztráty. Podle Kolbacha [1] jsou sladovací ztráty v sušině u sladů českého typu tyto:

ztráta výluhem	1,0 %
ztráta sladovým květem	3,7 %
ztráta výdechem	5,8 %
celková ztráta	10,5 %

Z údajů, které uvádí Engerth [2] podle měření chemicko-technologického Institutu ve Weiheinstephanu vyplývá, že ztráta na hmotě, způsobená výdechem, je tvořena z 93,3 % odbouráním škrobu a z 6,7 % odbouráním tuku. Podle starších měření [3] je tento poměr 94,4 : 5,6. Předpokládá-li se úplná přeměna škrobu a tuku na CO_2 a H_2O , lze vypočítat ze ztráty na hmotě a ze spalovacího tepla škrobu (4140 kcal/kg) a tuku (9400 kcal/kg) tomu odpovídající množství vyvinutého tepla. Kauert [4] odpočítává z výsledku 4,5 až 7 % tepla, které se spotřebuje na výstavbu nové hmoty. Podle Engertha je tato hodnota nejistá a nemá pro celkovou tepelnou bilanci význam. Oba autoři docházejí zhruba k stejnému výsledku za předpokladu 4,5 % (Engerth) a 5 % (Kauert) sladovací ztráty způsobené výdechem, tj. 20 000 kcal/100 kg suš. ječmene.

Pokusná část

Veškeré sladovací pokusy a příslušná měření byly prováděny na zařízení, které již bylo částečně popsáno [5]. Hlavní funkční částí je sklolaminátová skříň izolovaná vně i uvnitř polystyrenem,

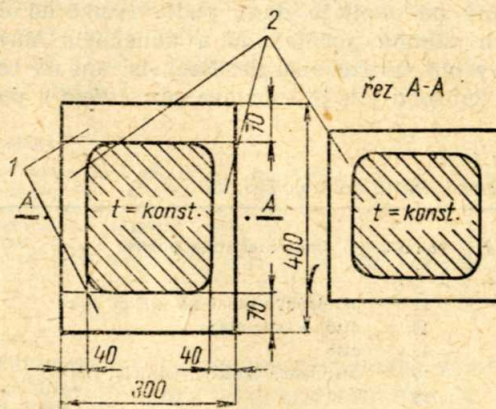
c rozměrech 300 × 300 × 500 mm. Na spodě skříně je děrované dno, povrch skříně je volný. Nejprve byla zjištěna izolační schopnost sladovací skříně měřením teplot ve vrstvě sladu na různých vhodně volených místech. Přesypem byla vyrovnána teplota v celé vrstvě zeleného sladu a v určitých intervalech byl měřen teplotní přírůstek. Rozdělení teplot ve vrstvě zeleného sladu je patrné z obr. 1.

V oblasti konstantní teploty se prakticky po dobu 9 hodin klíčení nevyměňuje teplo mezi okolím, pokud je vrstva po tuto dobu v klidu. Veškeré teplo, které se za těchto podmínek vyvine, akumuluje se ve středu vrstvy, takže vyvinuté množství tepla je úměrné vzrůstu teploty díla. Teplota při vlastních pokusech byla měřena ve středu vrstvy registračním odporovým teploměrem s přesností $0,2^\circ\text{C}$.

Celkové teplo vyvinuté při klíčení ΣQ bylo vypočteno na základě změřených teplotních přírůstků ve středu vrstvy mezi dvěma přesypy za těchto předpokladů:

- tepelný spád v místě měření je nulový,
- přesup tepla mezi zrnem a vzduchem ve středu vrstvy, tj. v místě měření je dokonalý a okamžitý,
- množství tepla, které se vyvine z jednotkového váhového množství sladu ve středu vrstvy je stejné v každém bodě celé vrstvy,
- při měření teplotních přírůstků v jednotlivých 4 až 5 hodinových úsecích nebyl mezi dvěma přesypy proveden s vrstvou žádný vnější zásah.

Modelem byly zcela splněny předpoklady a) a d), rovněž předpoklad b), vzhledem ke způsobu měření lze pokládat za splněný. Platnost předpokladu c) je do určité míry omezena a podle naměřených výsledků je vypočtené teplo poněkud vyšší. Vzestup teploty je sice v době mezi 2 přesypy, tj. v rozmezí teplot 12 až 18°C lineární, avšak přím-



Obr. 1. Izolační schopnost sladovací skříně — rozdělení teplot ve vrstvě díla po devíti hodinách klíčení

(rozměry jsou uvedeny v mm)

1 — oblast teplotního spádu 1; 2 — oblast teplotního spádu 2

ková závislost teplota — teplotní přírůstek má různou směrnici ve středu vrstvy a na okrajích vrstvy, kde je klíčení částečně ovlivněno vnějším prostředím. Množství tepla, vzniklého při klíčení, je

$$\Sigma Q = \frac{(\Sigma \Delta t) \cdot c_M}{100 - V} \cdot 100 \text{ [kcal/kg suš.]} \quad (1)$$

kde $\Sigma \Delta t$ je součet teplotních přírůstků v jednotlivých úsecích za celou dobu klíčení,

V — obsah vody ve sladu.

Součástí specifického tepla hmoty c_M , přejímající teplo při klíčení, je jednak specifické teplo zeleného sladu c_{Zel} , jednak specifické teplo vzduchu c_L . Poměr váhového množství sladu a vzduchu ve vrstvě sladu je přibližně 630 : 1, takže

$$c_M = c_{Zel} + \frac{c_L}{630} \text{ [kcal/kg } ^\circ\text{C}] \quad (2)$$

a člen $\frac{c_L}{630}$ lze vůči c_{Zel} zanedbat.

Specifické teplo zeleného sladu je

$$c_{Zel} = \frac{c_S \cdot (100 - V) + V \cdot c_V}{100} \text{ [kcal/kg } ^\circ\text{C}] \quad (3)$$

kde $c_S = 0,42 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$ je specifické teplo sladové sušiny,

c_V — specifické teplo vody.

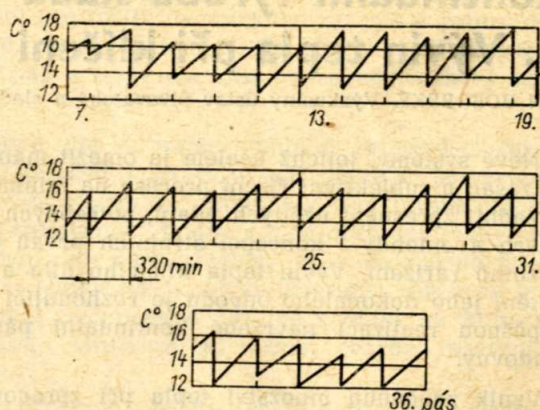
Při obsahu vody v zeleném sladu $V = 42 \%$ je $c_{Zel} = 0,66 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$ a množství tepla vyvinutého při klíčení je

$$\Sigma Q = \frac{(\Sigma \Delta t) \cdot 0,66}{100 - V} \cdot 100 \cdot 100 \text{ [kcal/100 kg suš.]} \quad (4)$$

Sladovací ztráta byla stanovena odvážením celého množství materiálu použitého ke sladování, tj. asi 10 kg sušiny ječmene, a určením obsahu vody v určitých typických úsecích sladování.

Pro výpočet tepla vyvinutého při klíčení na základě stanovení sladovací ztráty se předpokládá, že z celkového úbytku hmoty připadá na škrob 94 % a 6 % na tuk.

Celkové množství tepla ΣQ závisí na tepelném průběhu celého komplexu biochemických reakcí, v nichž převládají reakce exotermické. Teplo produkované do okolí je dáno podle fyzikálně chemických zákonů počátečním a konečným stavem soustavy její vnitřní energie. Nezávisí ani na cestě ani na způsobu jak je soustava převáděna z počá-



Obr. 2. Průběh teploty ve vrstvě dila při šestidenním vedení na klíčící lince

tečního stavu do konečného. Výpočet podle sladovací ztráty nebere v úvahu rozdíl vnitřních energií látek ječmene a zeleného sladu a předpokládá rovnost obou hodnot.

Výsledky a jejich diskuse

Způsob kontinuálního sladování, tak jak byl popsán v [5], vede k odlišnému průběhu teplot při klíčení proti dosud užívaným postupům. Typický průběh teplot ve vrstvě sladu pro šestidenní vedení na klíčící lince je znázorněn na obr. 2.

Obdobný teplotní režim byl zachován u všech 9 pokusů, jejichž charakteristika je uvedena v tabulce 1; ke stimulaci bylo použito dávky 3 mg kys. giberelové a 50 mg glukózy v litru vody na 100 kg ječmene.

Sladovací ztráta, které bylo dosaženo na modelovém zařízení podle popsaného sladovacího postupu [5], je vyčíslena v tabulce 2.

Tabulka 2

Sladovací ztráta v % v suštině

Charakteristika pokusu	V máččrně	V klíčrně	Na hvozdu	% kořrnků	Celková
Pětirnenní vedení na klíčrní lince, stimulace giberelrnem	1,78	2,70	0,32	1,90	6,70
Šestirnenní vedení na klíčrní lince	1,80	2,90	0,40	2,40	7,50

Tabulka 1

Analytická kritéria hotových sladů

Ječmen č.	Pokus č.	Charakteristika pokusu	DM - W. K. j/suš.	Vývin střelky		Kolbachovo číslo	Bílkoviny % v suš.	Hartongovo číslo
				0	1/2—3/4			
1	11	pětirnenní vedení na klíčrní lince	318	0,63	87	39,1	11,2	5,4
1	12	dtto + stimulace	318	0,65	71	40,6	11,3	7,8
1	13	dtto	333	0,67	70	42,7	11,0	7,8
1	14	šestirnenní vedení na klíčrní lince	280	0,64	87	39,4	10,9	8,4
1	15	dtto	291	0,62	89	39,2	11,0	8,2
2	16	pětirnenní vedení na klíčrní lince	303	0,62	91	38,5	10,5	5,7
2	17	šestirnenní vedení na klíčrní lince	248	0,63	90	39,1	10,7	5,7
3	18	pětirnenní vedení na klíčrní lince + stimulace	291	0,67	71	37,0	10,6	4,0
3	19	šestirnenní vedení na klíčrní lince	293	0,66	77	36,3	10,8	5,4

Tabulka 3

Vývin tepla při klíčení

Ječmen č.	Pokus č.	Zatížení sladovací plochy G_s kg suš./m ²	Výška vrstvy h cm	Průměrná teplota při klíčení $\varnothing t_K$ °C	Průměrný přrůstek teploty při klíčení $\varnothing \Delta t_K$ °C/h	Teplo vzniklé v máčírně $Q_{mā}$ kcal/100 kg suš.	Teplo vzniklé v klíčírně Q_k kcal/100 kg suš.	Celkové teplo ΣQ kcal/100 kg suš.	Sladovací ztráta v klíčírně Z_K % v suš.	Teplo vypočtené ze slad. ztráty v klíčírně Q_z kcal/100 kg suš.
1	11	101	29	13,4	0,82	1 150	11 090	12 240	—	—
1	12	101	29	14,0	0,92	950	12 580	13 530	—	—
1	13	107	30	13,8	0,91	620	12 400	13 020	2,70	12 030
1	14	107	30	11,8	0,70	750	11 430	12 180	2,40	10 690
1	15	154	41,5	14,5	0,94	980	15 390	16 370	2,90	12 930
2	16	90	27	14,3	0,89	920	11 480	12 400	—	—
2	17	111	31	14,6	0,84	1 010	13 670	14 680	—	—
3	18	111	31	15,8	0,76	870	10 370	11 240	—	—
3	19	111	31	15,4	0,78	710	12 750	13 460	—	—

Dosažená sladovací ztráta je asi o 3 % nižší proti údajům uváděným v literatuře. Pozoruhodný je změněný poměr dílčích sladovacích ztrát. Sladovací ztráta v máčírně je 1,8 % v suš. V tomto případě nejde však pouze o ztrátu výluhem. Ječmen je v máčírně 46 hodin, přitom již v polovině této doby sice málo, avšak zřetelně se vyvíjí teplo. Teplo, které se vyvine v máčírně, odpovídá asi 0,2 % ztrátě hmoty v sušině. Ztráta výluhem je tedy 1,6 % proti uváděné ztrátě 1 % v sušině při běžném sladování. Vyšší ztráta výluhem je způsobena použitým systémem sprchování.

Proti tomu se však velmi podstatně snížila sladovací ztráta způsobená výdechem, tj. asi na polovinu proti literárním údajům. Piratzky a Wiecha [6] naměřili za speciálních podmínek téměř stejnou hodnotu a pokládají ji za jakousi hranici minimální sladovací ztráty způsobené výdechem.

Zajímavé je poměrně nižší nárůstání kořínků, které je rovněž zhruba poloviční proti dosahovaným 3 až 4 % u běžného způsobu sladování.

Porovnáním obou pokusů z tabulky 2 je patrné, že prodloužením klíčení o 1 den se zvýší celková sladovací ztráta, přitom ztráta v máčírně je prakticky stejná. Zvýšení je tedy způsobeno delším vedením v klíčírně. Je třeba zdůraznit, že pokusy byly vedeny snahou, aby se konečný slad vyrovnal v kvalitě sladům vyráběným na dosud běžných typech sladovadel. Některá analytická kritéria hotových sladů jsou uvedena v tabulce 1. Je zřejmé, že nejde o slady málo rozluštěné, jak by se snad mohlo předpokládat podle nízké ztráty výdechem.

V relativní shodě se zjištěnou poměrně nízkou ztrátou výdechem jsou i hodnoty vývinu tepla, vypočtené z přímo naměřených teplotních rozdílů ve středu vrstvy mezi dvěma přesypy. ΣQ se pohybuje v mezích 11 200 až 16 400 kcal/100 kg suš. (tabulka 3). Více než 90 % z tohoto tepla připadá na klíčírnu; zbytek se vyvine v máčírně, kde se již začí-

nají projevovat životní pochody v zrně zvýšením jeho teploty. Vyvinuté teplo zjištěné přímým měřením ΣQ je o 10 až 20 % vyšší než teplo, získané nepřímě ze sladovací ztráty Q_z . Jednou z příčin by mohla být omezená platnost předpokladu c). Množství tepla, které se vyvine na povrchu v chladnějších vrstvách bude pravděpodobně nižší než ve středu vrstvy. Tento názor podporují pokusy č. 14 a 15, při nichž byla teplota klíčení rozdílná o 2,7 °C, přitom ΣQ bylo při teplejším vedení vyšší o více než 4000 kcal/100 kg suš.

Rozdíly ve vývinu tepla při klíčení se rovněž projevily srovnáním 3 různých ječmenů. Maximální rozdíl mezi pokusy č. 15, 17 a 19 je téměř 3000 kcal na 100 kg suš. Praxe potvrzuje, že některé ječmeny skutečně „hřejí“ více, jiné méně. Rozdíly by mohly být i vyšší srovnáním ječmenů různých ročníků.

Pokusy č. 11, 12 a 15 ukazují rozdíl ve vývinu tepla pro různé způsoby vedení v úseku klíčení. Nejvyšší hodnotu ΣQ vykazuje slad vedený 6 dnů na klíčicí lince. Stimulovaný slad má ΣQ o 1300 kcal/100 kg suš. vyšší než slad, vedený na klíčicí lince 5 dnů. Patrný je zvláště rozdíl mezi pětidením a šestidenním vedením, a to pro všechny použité ječmeny. Dá se říci, že prodloužením klíčení o 1 den za jinak přibližně stejných podmínek se zvýší i celkové množství vyvinutého tepla. To plyne i z toho, že průměrný teplotní hodinový přrůstek je prakticky stejný u pětidenního i šestidenního způsobu vedení, jak plyne z pokusů č. 12, 15 a 18, 19. Dalším vedením se úměrně zvýší i sladovací ztráta.

Literatura

- [1] De Clerck, J.: Lehrbuch der Brauerei I., str. 181, Berlin 1950.
- [2] Engerth, H.: „Brauwelt“, 97, 1957: 1711.
- [3] Schütt: „Woch. f. Br.“, 4, 1887: 693.
- [4] Kauert, G.: „Brauwelt“, 100, 1960: 551.
- [5] Sauer, Z.: „Kvasný průmysl“, 10, 1964: 197.
- [6] Piratzky, W.-Wiecha, G.: Woch. f. Br.“, 53, 1939: 56.

Došlo do redakce 4. 1. 1965.

ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОГО
СОЛОЖЕНИЯ. ЧАСТЬ 2.
ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА И ПОТЕРИ
ПРИ СОЛОДОВАНИИ

В статье описывается новый метод непосредственного определения количества тепла выделяемого при (Продолжение на стр. 78)

KONTINUIERLICHE MALZFABRIKATION II. WÄRMEENTWICKLUNG IM VERLAUF DER KEIMUNG UND DER MALZUNGSVERLUST

Es wird eine Methode zur direkten Bestimmung der Wärmeentwicklung während der Keimung beschrieben. (Fortsetzung auf Seite 78)

CONTINUOUS MALTING. PART II. HEAT GENERATION DURING GERMINATION AND MALTING LOSSES

The article deals with a new method which has been developed for direct (Continuation on page 78)