K ekonomickému hospodaření s vodou na pneumatických sladovadlech

628.1:663

DOLEŽALOVÁ A., NENTWICHOVÁ M., VLČEK J., Výzkumný ústav pivovarský a sladařský Praha, pracoviště Brno

Zaváděním nové techniky v našich sladovnách hlavně nových pneumatických zařízení na úseku výroby zeleného sladu, vzrůstá spotřeba vody proti klasickému humnovému sladování, a tím i zájem o otázku vodního hospodářství. Vedou k tomu jednak důvody ekonomické, jednak má tato otázka velkou důležitost při dislokaci nových sladoven z hlediska vydatnosti vodních zdrojů pro dostatečné zásobování vodou.

Autoři měli možnost sledovat na několika posuvných hromadách veškeré údaje, týkající se spotřeby vody, hlavně u klimatizace. Zprvu překvapily vysoké naměřené hodnoty na 1 tunu vyrobeného sladu. Byla proto voda, potřebná ke klimatizaci posuvných hromad v jednotlivých měsících, teoreticky vypočtena a zjištěno, že tato teoretická spotřeba je značně nižší proti spotřebě skutečné. Bylo to způsobeno nesprávným používáním klimatizačního zařízení, jeho špatným udržováním a nedostatečnými teoretickými znalostmi nezaškoleného obsluhujícího personálu.

Při zkušebním provozu v červnu a červenci na prototypu posuvné hromady a při zkouškách v listopadu a prosinci ve dvou sledovaných závodech, kdy autoři sami řídili výrobu sladu i chod klimatizace na těchto zařízeních, přesvědčili se o správnosti svých výpočtů. Spotřeba vody klesla na hodnoty velmi blízké vypočteným hodnotám teoretickým.

Některá základní fakta, která ovlivňují výpočet množství vody pro klimatizaci:

Při větrání posuvných hromad je možno používat dvou různě chlazených nebo sycených vzduchů, vháněných částí klíčovla podle potřeby klíčícího díla; přitom má být dodržována zásada, že rozdíl teplot mezi vzduchem vháněným do klíčící hromady a vzduchem z ní vycházejícím se má pohybovat v rozmezí 3 až 5 °C.

V teplém období se používá pro větrání hromad pouze venkovního vzduchu, zatímco v chladném období se přihřívá vzduchem vratným tj. vzduchem, který již hromadou prošel a ohřál se na teplotu 16 až 19 °C. Vratný vzduch se před použitím propírá jemně rozptýlenou vodou v čisticích komorách, aby se zbavil mechanických nečistot, mikroflory i agresivní kyseliny uhličitě, kterou odnáší z díla. Smísením chladného venkovního vzduchu se vzduchem vratným ve vhodném poměru se vzduch ohřeje na požadovanou teplotu a téměř pravidelně i dosytí na 100% relativní vlhkost.

V teplém období, tj. tehdy, kdy je venkovní vzduch teplejší, je naopak zapotřebí větrací vzduch ochladit na požadovanou teplotu. K tomu se v první řadě využívá fyzikálních zákonů, že vzduch teplý, nižší relativní vlhkosti se dosycením vodou, která se v něm odpaří, podstatně ochladí. Tímto dochlazováním se vystačí zpravidla i v další části teplejšího sladovacího období. Teplý venkovní vzduch,

téměř vždy o nižší relativní vlhkosti, lze dosycením lépe ochladit než vratný vzduch, který má nasycení téměř 100%, což je velmi dobře patrné z Ramzin-Molièrova diagramu pro vlhký vzduch. Právě pro tuto skutečnost se nesmí v teplejším období používat vratného vzduchu.

Mohou nastat ovšem i případy, a to ve zvláště teplých a vlhkých obdobích, kdy dosycením nelze snížit teplotu na požadovanou hodnotu a je nutno ochladit tento vzduch konvekci, tj. přímým stykem se studenou vodou.

Teoretický propočet vody

Při klíčení je nutno odvádět z klíčícího díla ono množství tepla, které vzniká exotermickou reakcí při dýchání zrna. Teplo, které vzniká touto reakcí při spalování škrobu a tuku má podle novějších poznatků hodnotu 21 500 kcal/100 kg sušiny ječmene. Od této hodnoty nutno odečíst 1500 kcal potřebných k růstu klíčků a 9440 kcal, potřebných k odpaření vody, vzniklé dýcháním zrna a úbytkem vlhkosti na posuvné hromadě o 2 až 4 %. Tím se dostáváme přibližně k hodnotě 11 000 kcal/100 kg sušiny ječmene, z níž je ve výpočtech počítáno.

V dalších výpočtech uvádíme teoretickou spotřebu vody pro klimatizaci. Ve výpočtech jsou uvažovány průměrné měsíční parametry podle údajů Státního ústavu meteorologického v Praze a z nich vycházející výsledky za jednotlivé měsíce. Měřilo se i v kratších časových intervalech po celých 24 hod, přitom se teoreticky vypočetla spotřeba vody pro klimatizaci pro kratší denní úseky, které zachycovaly změny teplot. Ověřilo se, že i tyto dílčí výsledky s měsíčními průměry souhlasí.

Pro teoretický výpočet se použilo těchto vztahů:

1. Vratný a čerstvý vzduch se mísí podle směsovacího pravidla pro teplotu $t^{\circ}\text{C}$ a absolutní vlhkost x . Odpovídající relativní vlhkost RVP byla zjištěna podle Ramzin-Molièrova diagramu pro vlhký vzduch při tlaku $H = 735,5$ mm Hg.

- $\bar{c}$ — (index) hodnoty pro čerstvý vzduch;
- v — (index) hodnoty pro vratný vzduch;
- s — (index) hodnoty pro výsledný vzduch vzniklý smísením vratného a čerstvého vzduchu;
- d — (index) hodnoty pro vzduch upravený dosycením na $\phi 100\%$;
- p — (index) hodnoty pro vzduch vháněný pod klíčidlo;
- $t_{\bar{c}}$ — teplota čerstvého vzduchu ve $^{\circ}\text{C}$;
- $\phi_{\bar{c}}$ — relativní vlhkost čerstvého vzduchu v %;
- $x_{\bar{c}}$ — absolutní vlhkost čerstvého vzduchu v g/kg.

2. Potřebné množství vzduchu pro odvod tepla, vzniklého při klíčení, je vypočteno podle vzorce

$$V_p = \frac{Q}{0,317 (t_v - t_p)}$$

kde V_p je potřebný objem vzduchu v $\text{m}^3/100$ kg sušiny ječmene;

- Q — odvedené teplo v kcal/100 kg sušiny ječmene;
 t_v — teplota přiváděného vzduchu do klíčidla ve $^{\circ}\text{C}$;
 t_p — teplota odváděného vzduchu (vratného) ve $^{\circ}\text{C}$;
 G_p — váha vzduchu v kg;
 0,317 — měrné teplo vzduchu v kcal/m³, $^{\circ}\text{C}$;
 1,293 — měrná váha vzduchu kg/m³ při 0 $^{\circ}\text{C}$ a tlaku 760 tor.

$$G_p = V_p \cdot 1,293$$

Potřebné množství vody na dosycení vzduchu zjistíme podle údajů absolutní vlhkosti v Ramzin-Molièrově diagramu.

$$V_d = \frac{(x_p - x_s) \cdot G_p}{1000}$$

kde V_d je množství vody v litrech;

x_p — absolutní vlhkost vháněného vzduchu do klíčidla v g/kg;

x_s — absolutní vlhkost výsledného smíchaného vzduchu nenasyčeného v g/kg.

3. Voda pro chlazení konvekci se vypočte podle těchto vztahů:

$$Q_k = (t_d - t_p) \cdot 0,245 \cdot G_p$$

kde Q_k je teplo odvedené konvekci v kcal na 100 kg sušiny ječmene;

t_d — teplota dosyceného vzduchu ve $^{\circ}\text{C}$;

t_p — teplota vháněného vzduchu ve $^{\circ}\text{C}$;

$$V_v = \frac{Q_k}{(t_2 - t_1) \cdot c}$$

kde V_v je objem vody v litrech/100 kg sušiny ječmene;

t_1 — teplota vstupující vody ve $^{\circ}\text{C}$;

t_2 — teplota vystupující vody ve $^{\circ}\text{C}$;

c — 1,00 kcal/kg $^{\circ}\text{C}$ měrné teplo vody;

0,245 — měrné teplo vzduchu v kcal/kg $^{\circ}\text{C}$.

Pro výpočet bereme v úvahu zpracování množství ječmene za den 37,5 tun 14% vlhkosti. Počítáme pro jednoduchost se sladovacím výtěžkem 80 %.

Propočtením vody na jednotlivé měsíce sladovací kampaně byly získány hodnoty uvedené v tab. 1.

Teoretický roční průměr celkové spotřeby vody pro klimatizaci je 3,26 m³ na 1 t sladu.

Celé roční období je možno rozdělit na 3 úseky:

Zimní období, kde vzduch pro klimatizaci dostaneme vhodným poměrem mísení velkého množství tepla a malého množství čerstvého vzduchu. Tento smísený vzduch je již nasycený na 100 %. Spotřeba vody se omezuje pouze na praní vratného vzduchu.

Jarní a podzimní období, kde vzduch vzniklý smísením vratného a čerstvého vzduchu dosytime vodou na RV 100 %. Tím snížíme teplotu na požadovanou hodnotu. Spotřeba vody bude pro dosycení vzduchu a pro praní vratného vzduchu.

Letní období, kdy se používá jen venkovního vzduchu, který se dosytlí na RV 100 %. Aby se ještě snížila jeho teplota na požadovanou mez, dochladí se konvekci. Spotřeba vody je pro dosycení čerstvého vzduchu a pro konvekci.

Je nutno konstatovat, že pro tyto výjimečné měsíce, resp. zvláště dusné počasí v ojedinělých dnech těchto měsíců je velmi obtížné dosáhnout žádaného ochlazení větracího vzduchu, a tím i díla na teplotu pod 20 $^{\circ}\text{C}$. Je nutno počítat s tím, že teplota v díle překročí poněkud 20 $^{\circ}\text{C}$ a že pro rychlejší růst bude zapotřebí zkrátit dobu klíčení. V těchto dnech se

Tabulka 1

Měsíc	Praní vratného vzduchu m ³ /l t sladu	Dosycování vzduchu m ³ /l t sladu	Chlazení vzduchu konvekci m ³ /l t sladu	Celkem m ³ /l t sladu
Leden	1	—	—	1
Únor	1	—	—	1
Březen	1	—	—	1
Duben	1	0,1	—	1,1
Květen	—	0,13	—	0,13
Červen	—	0,20	15	15,20
Červenec	—	0,30	13	13,30
Září	—	0,14	—	0,14
Ríjen	1	0,06	—	1,06
Listopad	1	—	—	1
Prosinec	1	—	—	1

s výhodou využívá nočního období s nižší venkovní teplotou, aby se hromady řádně provětraly a ochladily. Je však zapotřebí vyhýbat se teplotním poledním špičkám, v nichž se nevětrá nebo omezuje větrání na minimum.

V chladných měsících je nejen teoreticky, ale i prakticky možno pracovat bez dosycení vzduchu v klimatizačních komorách, neboť mísením vzduchu vratného se vzduchem čerstvým se dosáhne nejen žádané teploty výsledného vzduchu, ale i jeho 100% RV.

Praktické výsledky a jejich provozní využití

V listopadových a prosincových zkouškách, kdy byla klimatizace řízena podle zásad i - x diagramu pro vlhký vzduch, větralo se všemi ventilátory současně za použití příslušného poměru vratného a čerstvého vzduchu tak, aby do úseku prvního a druhého a třetího dne klíčení byl vháněn vzduch 12 $^{\circ}\text{C}$ teplý a do úseku 7., 8., 9. dne vzduch 16 $^{\circ}\text{C}$ teplý, oba se 100 % RV. Vzduch pro úsek 4., 5. a 6. dne měl teplotu 14 $^{\circ}\text{C}$ a byl směsí obou vzduchů. V činnosti byly pouze sprchové komory pro praní vratného vzduchu, zatímco trysek pro dosycení vzduchu v klimatizačních komorách se použilo pouze při podstatném stoupnutí venkovní teploty. Doba větrání nepřesáhla 16 hodin denně.

Ve spotřebě vody bylo dosaženo těchto průměrných výsledků:

Listopad

závod 1 — klimatizace a praní vratného vzduchu 3,1 m³/l t sladu

závod 2 — klimatizace a praní vratného vzduchu 3,8 m³/l t sladu

Prosinec

závod 2 — klimatizace a praní vratného vzduchu 3,2 m³/l t sladu

Porovnání teoretické hodnoty s hodnotami naměřenými v praxi ukazuje, že praxe zhruba potvrdila správnost teoreticky vypočtených hodnot. Spotřeba vody v praxi je samozřejmě vyšší než teoretická z těchto důvodů:

V zimních měsících, kdy se pracuje převážně bez dosycování vzduchu v klimatizačních komorách a používá se velkého procenta vratného vzduchu je spotřeba vody pro praní vratného vzduchu vyšší. Tato odchylka je dána nedostatkem samotného zařízení, neboť spotřeba vody při minimálně možném

počtu zapnutých trysek (100 trysek) je $2 \text{ m}^3/\text{l t}$ sladu, ačkoli by teoreticky dostačovalo množství $1 \text{ m}^3/\text{l t}$ sladu. Použití maximálního počtu trysek (200) je opodstatněno snad jen tenkrát, je-li venku příliš nízká teplota, takže se do hromad musí vhnět téměř 100 % vratného vzduchu, který již hromadou prošel a musí být řádně vyprán, aby se zbavil agresivní kyseliny uhličitě a všech nečistot.

Rovněž i spotřeba vody pro dosycování vzduchu v klimatizačních komorách je poněkud vyšší než teoretická, neboť je nutno vzhledem k zařízení pracovat vždy s přebytkem vody, která nevyužita odtéká do kanálu. V teplých letních měsících, kdy se nepoužívá vůbec vratného vzduchu je maximální spotřeba dána výkonem trysek pro klimatizaci (celkem 324 trysek). Podle měření autorů nemůže praktická spotřeba vody překročit teoreticky vypočtenou hodnotu $15 \text{ m}^3/\text{l t}$ sladu. Potvrzuje to i průměrná spotřeba vody pro klimatizaci v měsíci červnu a červenci $9,9 \text{ m}^3/\text{l t}$ sladu, naměřená na prototypu posuvné hromady při garantovaném zatížení.

Na základě výsledků, naměřených v praxi s přihlédnutím k teoreticky vypočteným hodnotám, se uvádí skutečná spotřeba vody v průměru pro jednotlivé měsíce, která se dosáhne při správném vedení klimatizace.

Měsíc	Průměrná spotřeba vody v $\text{m}^3/\text{l t}$ sladu
Leden	3,5
Únor	3,5
Březen	3,5
Duben	5,0
Květen	5,0
Červen	11,0
Červenec	11,0
Září	5,0
Ríjen	5,0
Listopad	3,5
Prosinec	3,5

Celkový roční průměr spotřeby vody pro klimatizaci, včetně praní vratného vzduchu, činí v praxi na posuvné hromadě $5,4 \text{ m}^3$ na 1 t sladu; přitom počítáno s teplotou vody v letních měsících 12°C .

Také je zapotřebí vzít v úvahu okolnost, že voda odcházející z klimatizačních komor je čistá (použita jen pro dochlazení konvekci a dosycování na RV 100 %) a je nevhodná ztrácet ji jako vodu odpadní. V tom smyslu vypracoval brněnský Potravinoprojekt návrh, ve kterém je této vody použito k máčení. Při použití tohoto návrhu, s ohledem na vodní hospodářství, bude nutno počítat jen s vodou na dosycení, praní vratného vzduchu a s vodou, která převyšuje spotřebu na máčení. Tím bude celková spotřeba na klimatizaci podstatně snížena.

Jak již bylo uvedeno, řídí se klimatizace posuvné hromady i ostatních pneumatických sladovadel teplotou a relativní vlhkostí venkovního vzduchu. Z $i-x$ diagramu pro vlhký vzduch se vypočte a stanoví:

- a) jakého vzduchu se má pro větrání používat;
- b) má-li se a do jaké míry výsledný vzduch vlhčit (tak aby vlhčení bylo dostatečné, ale hospodárné).

Řízení klimatizace je tedy dosti pracné, neboť teplota a relativní vlhkost venkovního vzduchu se během dne mění a stanovení z $i-x$ diagramu je nutno opakovat častěji. Přitom jsou kladeny vysoké ná-

roky na teoretické i praktické znalosti pracovníků obsluhujících posuvnou hromadu. Nedostatek teoretických znalostí vede k tomu, že klimatizace je řízena více méně empiricky, a to se projevuje v nadměrné spotřebě vody a často i nesprávné obsluze klimatizace. Tím je nepříznivě ovlivněna i kvalita vyráběného sladu.

Tento nedostatek řeší „Zařízení pro správné vedení klimatizace při pneumatickém sledování“, podle návrhu inž. J. Vlčka (obr. 1). Přístroj byl zhotoven na VÚPS jako prototyp pro posuvnou hromadu v závodě 1, strojně vybavenou firmou Seeger. Přístroj lze s menší obměnou použít také pro ostatní posuvné hromady a pneumatická sladovadla.

V dolní části přístroje (obr. 1) je umístěno celkem 60 vypínačů, z nichž každý odpovídá určitému rozmezí teploty (svisle) a relativní vlhkosti (vodorovně) venkovního vzduchu. Ve střední části přístroje je schematicky zakreslena klimatizace posuvné hromady s označením sprchových a klimatizačních komor. V horní části jsou příslušné světelné povely pro obě skupiny ventilátorů. Ventilátor I a 2 je seřízen pro výsledný vzduch 12°C a ventilátor II a 1 pro výsledný vzduch 16°C .

Pracovník, obsluhující posuvnou hromadu, zjistí teplotu (teploměrem) a relativní vlhkost (vlhko-

Obr. 1. Zařízení pro správné vedení klimatizace při pneumatickém sledování podle návrhu inž. Jiřího Vlčka

měrem) venkovního vzduchu, zapne příslušný vypínač a po stisknutí tlačítkem spínače ukazatelů se rozsvítí na určitou dobu světelné signály určující správné vedení klimatizace a vhodné použití vzduchu venkovního a vratného. Na obr. 1 svítí signály pro venkovní vzduch teploty 17 °C a RV 75%.

Pracovník realizuje signalizované prvky do provozu a polohu klapky u ventilátorů upraví tak, aby výsledný vzduch měl 12 a 16 °C. Složitý výpočet se tedy redukuje na pouhý mechanický úkon.

Při konstrukci přístroje bylo použito rozsahu teplot venkovního vzduchu od -20 °C do 30 °C a rozsahu relativní vlhkosti od 40 do 100 %. Všechny hodnoty byly vypočteny z *i-x* diagramu a v tom smyslu propojeny světelné signály s vypínači.

Závěr

Centrální ovládání klimatizačního zařízení s individuální přípravou vzduchu pro jednotlivá stadia klíčení je stavěno tak, aby vždy vhodně volený vzduch odpovídal potřebám jednotlivých úseků klíčení. Můžeme říci, že klimatizační zařízení je nejdůležitější částí posuvné hromady a jeho správné využití má podstatný vliv na kvalitu sladu a ekonomické ukazatele.

Protože sladování na posuvných hromadách je

u nás v začátcích, nebylo klimatizačního zařízení vždy, zvláště z ekonomického hlediska, vhodně používáno a počáteční problematika klimatizace byla pro obsluhující personál značně složitá. Teoretické výpočty a úvahy daly podnět k praktickým zkouškám, které plně potvrdily jejich správnost, že klimatizačního zařízení se dá, za velmi výhodných ekonomických podmínek (hlavně spotřeba vody), využít k výrobě kvalitního sladu během celé sladovací kampaně.

Dobrou pomůckou obsluhujícího personálu a provozním technikům bude přístroj pro správné vedení klimatizace, který usnadní řízení klimatizace a zaručí její správné využití z hlediska kvality i ekonomie.

Dokonalým zvládnutím problematiky klimatizačního zařízení na pneumatických sladovadlech budou dány předpoklady k celkové mechanizaci a automatizaci sladařského průmyslu.

Literatura

- [1] Kauert G.: Brauwelt 100, 551 (1960).
- [2] Lindeman M.: Brauwelt 97, 43/44 (1957).
- [3] Leberle H.: Technologie der Malzbereitung I. 1952.
- [4] Klazar G.: Závěrečná zpráva VÚPS 1959-60 I-II.
- [5] Růžicka M.: Připomínky k výstavbě nových sladoven v ČSSR.
- [6] Doležalová A.: Závěrečná zpráva VÚPS 7/61.

Došlo do redakce 25. 3. 1963.

ЭКОНОМНОЕ РАСХОДОВАНИЕ ВОДЫ В ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Исходя из теоретического анализа авторы объясняют популярной формой проблемы интересующие работников, обслуживающих пневматические солодильные установки, работающие на принципе передвижных грядок. Рассматривается механизм освобождения тепла при экзотермических реакциях, сопряженных с потреблением крахмала и жира при аспирации, а также механизм использования тепла при образовании новых веществ.

ZUR ÖKONOMISCHEN WASSERWIRTSCHAFT BEI DEN PNEUMATISCHEN MÄLZUNGSANLAGEN

In dem Artikel werden auf zugängliche Weise die Probleme der Wärmeentstehung bei der exothermischen Reaktion der Stärke- und Fetteverbrennung durch Atmung, sowie auch der Wärmeverbrauch beim Ausbau neuer Stoffe erörtert. Die Arbeit, die sich auf theoretische Erkenntnisse stützt, ist den Praktikern bestimmt, die die Klimatisierungseinrichtungen der Wanderhaufenanlagen bedienen und soll zu zielbewußter Ausnützung der Erkenntnisse im Betrieb anregen.

ECONOMICAL WATER CONSUMPTION

IN PNEUMATIC MALTING PLANTS

Starting from theoretical base the authors discuss in a comprehensible, popular form principal problems concerning operation of installations serving pneumatic malting plants employing the shifting heap technique. Important questions, as the mechanism of heat generation at exothermal reactions consuming starch and fat through aspiration, role of heat at the formation of new substances etc. are discussed in detail.