

Tunelová výroba sladu*)

LUBOMÍR ŠOLEK, Projektový útvar Sdružení lihovarů a konzerváren, Praha

663.43

Pokusné zařízení v n. p. Pražské pivovary, závod Braník

Na podkladě usnesení technicko-ekonomické rady ředitele bývalého Sdružení pivovarů a sladoven bylo na podzim r. 1959 schváleno vybudovat v Praze-Braníku funkční model tunelové sladovny. V polovině roku 1960 bylo toto zařízení uvedeno do provozu a po jednokampaňovém chodu bylo dne 18. 8. 1961 usnesením vědecko-technické rady mínistra potravinářského průmyslu rozhodnuto urychleně vybudovat tunelovou sladovnu v provozním měřítku včetně sušení. Tato sladovna — tj. máčírna, výroba zeleného sladu a hvozdu bude vystavěna v Plzni v závodě Gambrinus. Dispoziční řešení pro tento účel na návrh investora je usměrněno tak, aby byly zároveň řešeny některé územní a architektonické problémy stavební proluky.

Branická linka je dlouhá asi 50 m, široká 3,20 m, obsahuje máčení ječmene a výrobu zeleného sladu na 18 pásech. Má jednu prací vanu.

Tunel není dokonalý a proto tam nelze, mimo chladné zimní měsíce, vytvořit optimální prostředí a zaručit odvod tepla. Nelze také prodloužit linku, což se ukázalo potřebné (např. větším počtem pásů a přesypů). Na uvedeném zařízení nebylo rovněž možné pro neúměrně malé, a tím i neekonomické jednotky, dát individuální náhony k jednotlivým pásům. Tím je zabráněno přizpůsobovat výšku hromad na jednotlivých pásech výhybkám od původně předpokládaných gradací ve vývinu teplot.

Pro malou délku linky bylo při zkouškách nutné vést klíčení pět dnů. Ječmen byl sprchově máčen asi 40 h. Hromady se předělávaly v průměru za 8 h a v období mladíka za 7 h. Výška vrstvy se pohybovala od 20 do 30 cm. Nepoužilo se žádných stimulatorů.

Celá linka byla poháněna přes převodovou skříň elektrickým motorkem o štítkovém výkonu 0,125

*) Podle přednášky autora na IV. pivovarsko-sladařském semináři dne 7. a 8. prosince 1961 v Plzni.

kW/h. Pod některé pásy byly volně umístěny šroubové ventilátorky průměru 450 mm, výkonu asi 1 m³ vzduchu/s, které měly při stoupnutí teploty jednotlivých hromad pomáhat v odvádění vodních par a tepla. Část těchto ventilátorků byla programově řízena a automaticky spínána tak, aby byla udržena stanovená teplota v hromadě.

Průměrná jakost hotových sladů z 10 cyklů sladování v měsíci dubnu a květnu 1961

		Tunelová výroba slad 5denní		Humna slad 7denní
Hl. váha	kg	59,6		56,3
Váha 1000 zrn v suš.	g	37,1		36,5
Vývin šidélka	%	0,59		0,67
Extrat v suš.	%	79,2		80,2
Zcukření	min.	10—15		10—15
Sladina stéká		sl. opal.—čife		sl. opal.—čife
Barva	v ml. 0,1 Nj	0,19—0,21		0,19—0,21
Diastatická mohut.	v suš. jedn.	197		269
Kolbachovo číslo		35,03		41,14

Srovnáván byl 5denní slad z pásů se 7denním sladem z humen. Klíčení na pásech probíhalo za vyšších teplot. Dalším negativním směrem působilo i nerovnoměrné domočení. Je nutné poznamenat, že výsledky rozborů, které byly prováděny vývojovým pracovištěm Braník v dřívějších měsících, se humnovému sladu blížily více.

Ze zkoušek a zařízení v Braníku lze učinit tyto závěry:

1. Výrobu sladu lze provádět plně kontinuálním způsobem.

2. Je možné nahradit těžkou konstrukcí lísek lehkým drátěným pletivem. Není možné použít pro pás nekovových hmot dosavadních kvalit (bylo zkoušeno také silonové pletivo).

3. Ječmen lze normálně domočit pásovým způsobem na zařízení, které je stejné jako v klíčírně, a to i výhradním zkrápěním. Kontinuální odvádění splavků v prací vaně je rovněž řešitelné. Pro dokonalejší funkci je třeba přidat ještě jednu vanu

a zvětšit počet přesypů pro větší zrovnoměnění máčení.

4. Je možné opustit pneumatický způsob výroby a dosáhnout přitom ovládnutí teplot. Při řízení klimatu budou důsledně respektovány technologické zásady klasického sladování na humnech v nízkých teplotách a vodním obsahu vzduchu v prostředí tunelu.

5. Opuštění pneumatického systému, rozvodů, kanálů a komor se projeví příznivě zejména ve stavebních konstrukcích. Uvolňuje prostory pro aplikace prefabrikovaných hal.

6. Dokázalo se, že používání lokálních ventilátorů je účinné a že, jak ukázaly rozbory, nedošlo k vysušování. Úbytek vlhkosti zeleného sladu byl stejný jako u srovnávaného vzorku z humen. Ventilátory je třeba umístit ve dvojicích, aby byla zaručena lepší příčná rovnoměrnost větrání.

Provozní linka tunelové sladovny pro Plzeňské pivovary, závod Gambrinus

Projekt, vypracovaný pro Plzeň na podkladě rozhodnutí vědeckotechnické rady ministra potravinářského průmyslu, řeší tunelovou sladovnu o kapacitě 7500 t/rok v jedné lince, včetně sušení. Po příslušném zvětšení zůstává zachován princip, jehož se použilo v Braníku. Přidává se jedna prací vana a zvětšuje se počet pásů na dvojnásobek z původních 18 na 36. Tím se zkracuje doba průměrného přesypu a předělání hromady na 4 h oproti původním 8 h. Celková délka haly, ve které je máčení a klíčení, je 55 m a šířka 10 m, takže je na tomto půdoryse 6 pásů o šířce 6 m a délce 9 m. Pásky jsou nad sebou v 6 etážích, přičemž pouze nejhořejších 6 pásů, na kterých probíhá máčení, je odděleno stropem.

Jestliže linka máčení a klíčení v Braníku byla celkem dlouhá asi 50 m, bude linka v Plzni dlouhá 300 m, z čehož vyplývá, že obvodová rychlost pásů bude řádově 6krát větší, to je necelé 4 cm za minutu. Objekt hvozdu nepokračuje pro malé stavební místo v přímém směru, ale je situován rovnoběžně s hlavní halou klíčírny s obrácením linky zpět o 180°. Máčírna je v hoření části hlavního tunelu.

Ječmen je přiváděn šnekem do vyrovnávacího zásobníku, kde se rozprostře na světlou šířku van a pásů, to je 5,7 m. Stěrbinou, kterou se reguluje výkon celé sladovny, vstupuje ječmen pod vodní hladinu první vany kde se vypere a splavky se odloučí. Pohybem lopatkového kola se posunuje do druhé vany, kde se tento proces opakuje, aby se ječmen důkladněji omyl a zbavil dosud zbylých splavků. Z druhé vany přepadáva mokřý ječmen na první pás, na kterém je stejně jako na dalších pěti pásech zkrápěn vodní mlhou. Zkrápí se pouze na přesypech, takže se stejnoměrně každému zrnu dostane stejného množství vody.

Na podkladě zkušeností z Braníka jsou voleny optimální rychlosti lopatkových kol a máčecích pásů. Individuální výkon každého pásu i vany je bez ohledu na otáčky a rychlost posunu stejný a mění se pouze výška nastřžení. Tato okolnost je důležitá zejména v další části klíčení, jednak při event. změně rychlosti některého pásu v souvislosti

se stanovením výšky vrstev, jednak při dimenzování chlazení, u kterého se počítá s rovnoměrným vývojem tepla na přizpůsobených výškách hromad. Na konci máčecí linky je otvor ve stropě, kterým domočený ječmen spadá na první pás klíčírny.

Vyrovnání stejného vývinu teplot u každého pásu (asi 12 000 kcal/h na pás) vyžaduje pracovat s vrstvami klíčícího ječmene výšky asi 29 až 46 cm.

Protože je v Plzni navržen sudý počet etáží, vrací se zelený slad do stejného půdorysného místa, jako byl přiveden ječmen. Aby mohla linka v další fázi pro shora zmíněné okolnosti pokračovat souběžně s klíčírny v protisměrném toku, je zelený slad z posledního pásu klíčírny přepraven na pás před-soušení hrabíčovým dopravníkem, jehož šikmo ukončené dno zajistí rovnoměrné nastřžení vrstvy vstupující do hvozdu. Hvozdu je v samostatném objektu a slad je sušen na stejných 6 pásech jako jsou v celé sladovně. Vzduch je odsáván rovnotlakým ventilátorem, umístěným na střeše. Jako důležitého ekonomického faktoru se využívá před-soušení na zvláštním páse separátním vzduchem, který se ohřívá na vzduchových kondenzátorech umělého chlazení.

Tunelová klíčírna z hlediska vlastností používaného vzduchu ve srovnání s pneumatickým sladováním

Klíčírna pneumatická

Téměř všechna dosavadní strojní zařízení, která se vedle humnového způsobu používají k výrobě zeleného sladu, staví svoji technologii na pneumatickém principu. Zejména kontinuální řešení a návrhy posledních let u nás i v zahraničí vycházejí výhradně z přetlakového způsobu. U pneumatické výroby je všechno teplo a voda odváděna výhradně vzduchem, který prostupuje hromadou pod určitým tlakem, a to v závislosti na rychlosti proudění, výšce vrstvy a stavu hmoty hodnoty asi 30 až 100 mm vodního sloupce. Aby mohl být vzduch pod tímto tlakem k hromadě dopraven a po jejím prostoupení opět odveden pryč nebo vrácen zpět k centrální úpravě svých vlastností, je třeba přetlakových komor a kanálů, jejichž dimenzování je v zájmu snížení rychlosti proudění a zmenšení ztrát na tlaku náročné na velikost, údržbu i stavební konstrukci. Vzduch se před vstupem do soustavy upravuje na vodních pračkách vzduchu, kde již začíná dosti složitá problematika pneumatické výroby sladu. Velký význam praček vzduchu spočívá (zejména v jiných průmyslových odvětvích) také v tom, že vzduch, který probíhá nuceně clonami rozprašené vody, se zbavuje prachu, všech zbylých mechanických částí vůbec a různých plynů. V našem případě je typické vyprání CO₂, což je však v některých fázích problematické a ne úplně žádoucí. V sladařském průmyslu spočívá význam vodních praček vzduchu především v tom, že vzduch je vlhčen a někdy též přichlazován nebo oteplován. Funkce pračky je na rozdíl od předchozího poslání v klimatizační oblasti velmi nedokonalá, a to zejména není-li doplněna zařízením na tepelnou úpravu vzduchu. Největší závada spočívá v tom, že se dostáváme do závislosti na silných proměnách počasí a na vlastnostech vzduchu vstupujícího do soustavy

s velmi proměnlivými tepelnými a vodními obsahy. Uváděnými výhradami není myšlena nedokonalost pouze ve smyslu technickém. Z nedokonalosti technické vyplývají i nevýhody ekonomické. Ztráty na kvalitě sladu i ve výkonnosti představují v létě pro tepelné výkyvy značný finanční objem. Vodní pračka vzduchu s normální spotřebou vody a s teplotou vody asi 11 °C plní funkci regulátoru vodního obsahu vzduchu vystupujícího z pračky pouze pokud se týká relativní nasycenosti. To znamená, že vodu do vzduchu buď přidává, anebo také odebírá. Výsledné tepelné hodnoty vzduchu vystupujícího z pračky málokdy odpovídají naší potřebě, jsou závislé na počasí a vnějším vzduchu s celým rozsahem jeho výkyvů.

Vezmeme-li hromadu zeleného sladu, která představuje 8,1 t ječmene, uvolní se každou hodinu v období mladíka 15 000 kcal tepla. Uvažujeme-li vstupující vzduch do hromady 10 °C a $\varphi = 90\%$, vystupující vzduch 14 °C a $\varphi = 90\%$, pak k odvedení tepla je zapotřebí 6000 kg vzduchu, který současně odvedl 13 500 g vody.

Připustíme-li ohřátí vzduchu v hromadě na 17 °C, což je běžné, stačí k odvedení tepla 3750 kg vzduchu, avšak tento vzduch odvede již 16 000 g vody.

Z uvedeného vyplývají tyto závěry:

1. Z hlediska optimálnějšího odběru vody hromadě je příznivější pracovat s menšími teplotami vstupujícího vzduchu i za cenu jeho větších kvant. U pneumatické výroby by to bylo na úkor příkonů elektrické energie (pro stoupnutí odporů v hromadě ze zvýšení rychlostí) a dosáhlo by se přílišného podchlazení díla. Rozdíl teplot spodní a horní vrstvy zeleného sladu by se tím snížil. Dosáhlo by se menšího vysoušení než je při oběhu vzduchu podle současných zvyklostí. Dosavadní mínění většiny odborníků bylo, že je nutné pracovat v klíčrně výlučně s vlhkým vzduchem a někdy též dodávat vodu hromadě. Vodu je nutné hromadě odebírat, avšak úměrně a takovým způsobem, abychom udrželi její přebytky. Potom nevádí i přebytky vzduchu, musí být však chladný.

2. Zelený slad je u pneumatické výroby neustále na hranici vysušování, protože tvorba vody v zrně stačí velmi těžko požadavkům proudícího, poměrně teplého vzduchu. Podle údajů inž. M. Růžičky o uvolňování vody, které jsou ve srovnání s dosud uváděnými čísly vysoké, by hromada produkovala vody pouze 12,7 kg/h, což je méně, než vyžaduje vzduch v uvedeném příkladě. Nejen teorie, ale i praxe dokazuje, že v mnohých případech skutečně dochází k dosti velkému vysušování. Přitom nikde na cestě nelze přidat další vodu do vzduchu procházejícího hromadou. Teorie o vysokém objemu vydýchané vody je prokázána tím, že nakonec ani u pneumatické výroby nedorazí až k abnormálnímu vysušování. Toto by muselo nastat v okamžiku, kdy by vydýchané vody bylo třeba jen asi o 20 % méně, než uvádí inž. Růžička. Se stoupající teplotou vzduchu neustále stoupá možnost odebírat vodu. Je odebírána v každém případě a to téměř na hranici plné sytosti vzduchu vystupujícího z hromady. U humen i tunelu je pro chladný režim příznačný přebytek vody.

3. Tím, že jsme u pneumatické výroby přinuceni šetřit vzduchem, dosahujeme toho, že v každém kilogramu vzduchu jsou velká kvanta vodních par; opustí-li hromadu, zkondenzují a napadají vše, co tepelně neodpovídá těmto mimořádným vlastnostem. Kromě toho se uplatňuje difúze vody, která prostupuje do hloubky stavebních konstrukcí a není-li zaručena dostatečná poréznost konstrukce v kombinaci alespoň s jednostranným odpařováním suším vzduchem, dochází k trvalému rozrušování zevnitř. U humen podobné problémy neznáme, protože voda je buď z váhové jednotky hromady odváděna relativně velkými kvanty chladného vzduchu, a to nejkratší cestou ven do atmosféry, anebo kondenzuje na relativně velkých plochách vlastních i přilehlých prostorů. Po této regeneraci se vzduch vrací k dalšímu použití. Tato okolnost nutí k zamýšlení zejména ve vztahu k problémům souvisejícím se stavebními, strojními a elektrotechnickými zařízeními a jejich provozem. Skutečnost, že voda byla z humen odvedena větším kvantem vzduchu, než je u pneumatické výroby, dokazuje to, že na humnech se téměř vždy vyskytuje vzduch studenější a méně nasycený vodou. U tunelové sladovny se analogicky jako u humen odvádí voda neustále chladným vzduchem o střední teplotě 12 °C k žebrovcím umělého chlazení.

4. Tepelná setrvačnost celé hmoty zeleného sladu v klíčrně je malá. Vezme-li se na jedné straně v úvahu vývin tepla a naproti tomu měrné teplo zeleného sladu, stoupne teplota hromady asi o 3 až 4 °C/h, má-li být všechno vyvinuté teplo pohlceno a spotřebováno k ohřátí hromady. Při výpočtu klimatizace není možné uvažovat s podstatnější akumulací tepla a nelze tedy brát v úvahu střední denní teploty, vyrovnávající rozdíly mezi nocí a dnem. Časový rozestup je již tak velký, že si nemůžeme noční chlad akumulovat, stejně jako není možné počítat s roční střední teplotou a akumulovat chlad ze zimního období.

K používání vratného vzduchu:

Vzduch, který prošel u pneumatické klíčrny hromadou, zvětšil svůj tepelný i vodní obsah a může odejít buď ven do atmosféry, anebo se vrátit plně nebo částečně zpět do celé soustavy. Doposud převládá názor, že je třeba tohoto vratného vzduchu používat k míchání se vzduchem vnějším.

Pro ilustraci je uveden příklad, kdy všechny vzduch se vrací a potřebný odvod CO₂ je zprostředkován vodou. Jde o případ, který podle dosavadních názorů a teorií by přicházel v úvahu v teplém období v zájmu zabránění přístupu vnějšího tepla do soustavy. Za uvedeného stavu bude vzduch v pračce vodu odevzdávat, stejně tak jako teplo, kterým se bude ohřívat voda vytékající z pračky.

Vzduch vratný je teplý 16 °C a $\varphi = 95\%$, mokrá teplota 15,5 °C; vzduch z pračky má vystupovat 11 °C, $\varphi = 95\%$, mokrá teplota 10,5 °C. Teoretické ochlazení

$$\frac{i_1 - i_2}{\xi} = \frac{10,4 - 7,4}{0,8};$$

teplota vody před pračkou $t_{v1} = 10$ °C,
teplota vody za pračkou $t_{v2} = 11$ °C,

$$\frac{i_1 - i_2}{t_{v_2} - t_{v_1}} = \frac{3,75}{11 - 10} = 3,75 \text{ kg vody na 1 kg vzduchu.}$$

Půjde-li o sladovnu s výkonem 30 000 t sladu ročně, bude třeba odvést každou hodinu asi 1 100 000 kcal. K tomu je nutných 345 000 kg vzduchu uvedených vlastností a $345\,000 \times 3,75 = 1\,295\,000 \text{ kg vody/h} = 358 \text{ l/s}$.

Vypočtená spotřeba vody odpovídá potřebě města asi o 100 000 obyvatelích. To dokazuje, že je prakticky vyloučené, aby se u pneumatické výroby sladu pouhou vodou dosáhlo odvedení tepla při úplném vracení vzduchu.

Potřeba kyslíku a jeho případný vliv na směšování vzduchu je velmi malý. Pro uvedenou kapacitu 30 000 t ho postačí asi $300 \text{ kg/h} = 1500 \text{ kg vzduchu}$, což představuje pouze 0,5 % celkového objemu obíhajícího množství.

Objasňuje se tím i nevhodnost používání vratného vzduchu mimo zimu vůbec, protože jakékoli jeho přimíchání zvýší enormně nároky na vodu anebo zhorší tepelný režim. Kysličník uhličitý se již za pračkou ve vzduchu neobjevuje, čili vracení z tohoto hlediska nemá rovněž význam. Je možné tedy doporučit zrevizování této záležitosti i v všech nových zařízeních a vratný vzduch používat pouze v době, kdy by bylo nebezpečí z přechlazení. Pro úplnost je třeba poznamenat, že vratnému vzduchu v uvedeném příkladě o tak zvané mokré teplotě $15,5^\circ\text{C}$ odpovídá teplota vzduchu, např. 24°C a $\varphi = 60\%$ nebo 20°C a $\varphi = 75\%$. Znamená to, že přibližně do této hodnoty venkovního vzduchu je při uvedené náročnější úrovni klimatizačního procesu nesprávně jakékoli míchání.

Složitost naznačených problémů a skutečnost, že dosud není zevrubněji zpracována tato hlavní stránka pneumatické výroby dokazuje náročnost a složitost pneumatické výroby sladu vůbec.

Klíčirna tunelová

Tunelová výroba sladu ve fázi klíčení se od uvedených způsobů odchyluje. Jejím cílem je kromě jiného právě odstranění pneumatiky, a tím zjednodušení provozu a stavby.

Tunelová výroba sladu ve fázi klíčení vychází z hlavních fyzikálních principů humnového systému. Na humnech se převážná část tepla odejímá klíčicímu sladu tím, že vydýchaná voda je při přetlačování hromady odpařována s povrchu zrn, a to při nízkých teplotách okolního vzduchu. Téměř všechna zrna přicházejí vidrováním a oráním rovnoměrně do styku se vzduchem, který má (při optimálních podmínkách) neustále teplotu kolem 12°C , ať už je to vzduch, jehož relativně velká kvanta odchází ven do atmosféry nebo se po oddělení vody a ochlazení na okolních stěnách vrací zpět.

Stejně je tomu u tunelové výroby zeleného sladu. Na přesypech, jejichž počet odpovídá řádově počtu předělávek na humnech, se všechna zrna dostávají v průměru vždy po 3 až 5 h do styku se vzduchem, který má malý absolutní tepelný a vodní obsah a teplotu asi 12°C , tak jak to odpovídá dobrému režimu na humnech. Na rozdíl od humen však tento režim bude zachován trvale bez ohledu a závislosti

na počasí. Pomůže tomu umělé chlazení, jehož žebrovaná tělesa budou rovnoměrně rozptýlena nad každou putující hromadou. I tato okolnost je analogická se sladováním humnovým. Prostředí a plocha chladicích těles nerespektuje gradaci ve vývinu tepla na různých starých hromadách, ale výška hromady je upravena rychlostí pásu tak, aby vývin tepla byl rovnoměrný a v kterékoli fázi na plošnou jednotku hromady stejný. Právě tak je tomu na humnech při ideálním povolování hromady. Rovněž i časnost přesypů se tomu přizpůsobuje a je při stejné délce pásů přímoúměrně dána zmenšováním vrstvy (tj. zrychlováním pásu), přičemž hodinový výkon jednotlivého pásu se změnou jeho rychlosti nemění a je dán výhradně výkonem vstupního zařízení, tj. vyrovnávacího zásobníku a nastavením uzávěru.

Zelený slad postupuje na širokých nekonečných pásích z drátěného pletiva v uzavřeném tunelu. K hromadě je pro prostupnost pásu přístup vzduchu umožněn shora i zdola a hlavně na zmíněném čelním přesypu. Bez kanálů a přetlakových komor se bude používat značných kvant vzduchu. Bude to výhradně vzduch vratný, a to jak již bylo dříve řečeno, s tou výhodou, že má standardní, neměnné vlastnosti. Neprochází však omezenými kanály. Pohybuje se v mnohonásobně velkém průřezu celého tunelu a proto s malými neznatelnými rychlostmi v krátké vzdálenosti asi 1 m pouze mezi hromadou a chladicími tělesy.

Stejně jako v optimálních případech na suteréních humnech je v tunelové sladovně část tepla odváděna konvekcí (drátěným pásem a železnými válci) a sáláním (mezi žebrovicemi chlazení a hromadou).

Odvádění části tepla konvekcí a sáláním je výhodné jednak pro absolutní snížení teploty, ale i pro zmenšení pravděpodobnosti vysušování, protože se zmenšuje množství vzduchu potřebné pro odvod tepla pouze na takový objem, který je nezbytný k odvedení vydýchané vody. Jak je známo z pneumatického sladování, potvrzuje se výhodnost sladenosti kvant vzduchu a vydýchané vody skutečností, že zelený slad bývá velmi často méně svěží než na humnech a není proto téměř (tj. pro malé dílo) možné vyrobit doluštěný slad dostatečné kvality, např. za 6 dnů tak, jak se to dá dokázat na humnech.

Zmenšení náročnosti na kvantum vzduchu pro odvod tepla a proto zvětšení přebytků vody v hromadě u humnové a tunelové výroby je důležité i pro další výhody. Umožňuje také účinnější chlazení tím, že se dá pracovat se vzduchem nasyceným vodními parami pouze do asi 90 %. Tato výhoda, spočívající i ve snížení agresivity prostředí vůči instalovaným zařízením a stavbě, bude příležitostně využívána zejména lokálními ventilátory, které budou ofukováním, zvětšováním a usměrňováním rychlosti proudění, jakož i nepatrným protlačováním vzduchu podle nastavené teploty buď automaticky střežit event. stoupnutí teploty, anebo při práci s vyššími vrstvami udržovat podle nařízeného programu průběh teplot v jednotlivých hromadách. V okamžiku zapnutí dvojice ventilátorů pod některým pásem se

dosáhne rychlejšího transportu chladného vzduchu k hromadě přes těleso umělého chlazení.

Voda bude z hromad odváděna po žebrovcích chlazení, kde nastane kondenzování a předávání tepla. Odpařovací teplota čpavku v žebrovcích bude 0°C . Předané teplo čpavku bude využito a vráceno na vzduchových kondenzátorech do předsoušení a sušení hvozdů.

Hvozďení

Sušení sladu je z hlediska fyzikálního jednodušší problém než klíčení. Již dávno jsou známy základní zákony, zejména pokud se týká průběhu gradace teplot sladu a vzduchu v závislosti na vlhkosti. Méně už je toho známo o tom, do jaké míry rozhodují ještě určité absolutní nebo relativní vlastnosti vzduchu pokud se týká tepelných a vodních obsahů. Závislost na čase není již tolik podstatná a jak prokázaly některé zkoušky Výzkumného ústavu pivovarského a sladařského i provoz v zahraničí, je možné vžitý cyklus 2×12 h zkrátit.

Kontinuální sušení má oproti běžným klasickým způsobům mnoho výhod. Stejně jako u celé tunelové výroby se tu zmenšuje obestavěný prostor i stavební náklady, dosahuje se dokonalejší technologie spočívající hlavně v tom, že automatika nastavených teplot může při své neměnnosti parametrů vstupujícího a vystupujícího vzduchu spolehlivě zaručit lepší průběh a rovnoměrnost než obsluha u normálních hvozďů. Zvyšuje se produktivita práce. Nevýhodou tohoto způsobu je malá vhodnost napojení na stacionární klíčirny.

První uvedená nevýhoda nepřichází u komplexně kontinuální sladovny v úvahu. Tunelová výroba umožňuje navázání plynulého toku hmoty, takže každé zrnó zůstává v sušárně stejný čas. Vznikají odlišné tepelné problémy. Otázka úspor tepla si vyžádala mnoho početních a grafických srovnání, ze kterých se dá prokázat, jak je někdy, zvláště s ohledem na naše proměnlivé klima, snadné vybudovat nebo i na dobrém zařízení provozovat hvozďení velmi neekonomicky a naopak.

Teplo potřebné k sušení má ve sladovně z hlediska energetiky největší význam a několikanásobně převyšuje náklady na elektrickou energii. Důležitým faktorem úspor tepla je aplikace tepelného čerpadla, tj. využití odpadního tepla ze vzduchových kondenzátorů umělého chlazení, které při kondenzační teplotě asi 20° až 40°C předají každou

hodinu 300 000 kcal odejmutých klíčirně (počítáno při kapacitě sladovny 7500 t/rok sladu).

Avšak to by samo o sobě nebylo ekonomicky dostatečující, nehledě na to, že se tím zvětšují další problémy, jako např. nesoulad potřeby kvant vzduchu pro hvozď s potřebou vzduchu, které potřebuje umělé chlazení pro odvedení tepla z kondenzátorů. Bylo zapotřebí najít početně cestu, jak se vyrovnat s uvedenými disproporcemi vzduchu, aby přitom byla plně respektována technologická a tlaková hlediska (zejména v případě míchání vzduchu různých vlastností) a hlediska různých charakteristik ventilátorů, a to vše podřídit hledisku maximálních úspor na teple.

Z uvedených postupů vyplynuly tyto závěry:

1. Kontinuální hvozďení je výhodné zejména v návaznosti na kontinuální klíčirnu a umožňuje sušení za trvale nastavených a automaticky regulovaných hodnot bez ohledu na vliv a výkyvy počasí. Předpokládá se přitom nucený oběh vzduchu jako jediná záruka racionálnosti a dokonalé technické zvládnutelnosti.

2. Pro dosažení maximální tepelné hospodárnosti je nutné

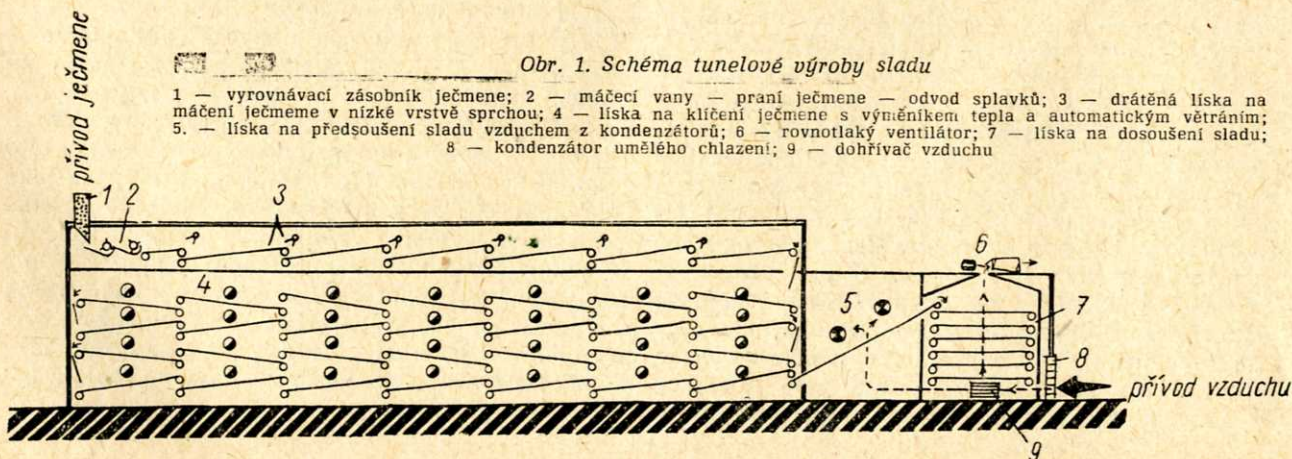
- využít pro sušení všechno teplo z klíčirny;
- využít v příhodných obdobích v plné míře přirozeného tepelného obsahu vnějšího vzduchu ve větších kvantech.

Oba body se s ohledem na velkou potřebu vzduchu na kondenzátorech umělého chlazení doplňují. Aby mohl být tento závěr respektován bez dalších negativních technologických nebo tlakových důsledků, jsou převážně kvanta asi $\frac{2}{3}$ objemu vzduchu o nízkých teplotách vedeny odděleně na tzv. předsoušecí pás, který zároveň zprostředkovává výškovou přepravu zeleného sladu na hvozď. Malá část vzduchu (asi $\frac{1}{10}$ objemu), který neprochází dohříváním na dotahovací teploty, může být z technologických důvodů přidávána ke zmenšení teplot pod horní lísky.

Potvrdí-li se teoretické předpoklady, pak toto oddělené předsoušení za zvýšené frekvence poměrně chladného vzduchu bude ekonomicky výhodnější, než kdyby se stejně vysoké množství vzduchu (smícháním s ostatním přehříváním vzduchem určeným k dotahování) nechalo prostupovat normálními lískami.

Obr. 1. Schéma tunelové výroby sladu

- 1 — vyrovnávací zásobník ječmene; 2 — máčecí vany — praní ječmene — odvod splavků; 3 — drátěná líska na máčení ječmene v nízké vrstvě sprchou; 4 — líska na klíčení ječmene s výměníkem tepla a automatickým větráním; 5 — líska na předsoušení sladu vzduchem z kondenzátorů; 6 — rovnoláký ventilátor; 7 — líska na dosoušení sladu; 8 — kondenzátor umělého chlazení; 9 — dohříváč vzduchu



Výhoda je nejen v energii tepelné, ale i elektrické, protože by se neúměrně zvětšily odpory vyplývající jednak z třináásobně zvětšené rychlosti proudění vzduchu na 4 horních lískách a jednak z toho, že by přísávanému vzduchu musel být ve vstupních otvorech nastaven stejný odpor jako má všech 6 lísek, aby nenastalo přetahování vzduchu výhradně z přidavných otvorů.

3. Z početních a grafických příkladů vyplývá i určitý poznatek z používání přidavného vzduchu u klasických hvozdů. Ponechá-li se stranou okolnost technologického přichlazování horní lísky (je již mnoho hvozdů, které vůbec přidavného vzduchu nepoužívají) je možné říci, že vychází tepelně hospodárnější nepoužívat v zimě přidavného vzduchu vůbec a pracovat s minimálním kvantem ohřívání vzduchu. V teplém období je však používání přidavného vzduchu příznivé a není-li velká jeho relativní nasycenost vodou je možné jeho většími kvanty snižovat potřebu ohřívání vzduchu, a tím šetřit teplo.

4. Předsušení odděleným vzduchem na dopravníkové lince bude mít své oprávnění tehdy, jestliže bude vycházet dostatečně nasycený vzduch z vlastní sušárny. Proto je použito 6 lísek nekonečných pásů umístěných nad sebou, které snadněji umožní, aby vzduch v poměrně velkých rychlostech (asi 0,35 m/s) se stačil neustále sytit v dostatečné míře vodou (na $\varphi = 85\%$) i přesto, že z předsušecího pásu bude na vlastní hvozd přicházet slad o vlhkosti jen asi kolem 35 %.

Použitím 6 lísek se dosáhne snížení pravděpodobnosti v rozdílných teplotách spodní i horní části vrstvy a zvětšení počtu přesypů. Blahodárnost každého přesypu spočívá v tom, že na rozdíl od normálního obráčeče na hvozd se každé zrno pro nepřerušovaný kontinuální pohyb zdrží na hořejší i dolní části přesypu v odkrytém stavu poměrně dlouhou dobu. Zmenšuje se tak nebezpečí vyskytující se u normálních obráčečů, kde se po obrácení dostávají zkondenzované částky vody na hořejších zrnech znovu dolů k lísce. Na přesypu se získává čas k odpaření těchto kondenzátů.

Sušení je tedy v tunelové sladovně řešeno tak, aby vedle hlavního efektu v produktivitě a automatizaci a vedle snížení investičních nákladů bylo dosaženo značných úspor na tepelné energii. Autor přistoupil k závěrům, které ještě na VTR ministra nebyly uvedeny a sice, že bude možné ponechat v chodu umělé chlazení i v zimním období, takže ani po krátkou dobu nejchladnějšího zimního období nebude brán k sušení vzduch z klíčirny tunelu, jak se původně předpokládalo.

Využití velkých kvant letního vzduchu k předsušení a proto zvětšení tepelné úspory vedou podle teoretických předpokladů z hlediska ekonomického k myšlence, že by mezikampaňová přestávka mohla být v době největších mrazů, kdy nás dohřívání vzduchu pro hvozd stojí více než chod umělého chlazení klíčirny v létě. Je však třeba upřesnit vypočtené předpoklady na lince v Plzni, kde bude důležité kromě jiného potvrdit teorii kvalitní výroby zeleného sladu v létě, přesvědčit se o dobrém chodu vzduchových kondenzátorů, které jsou novinkou i vzorem pro celý průmysl našeho hospodářství a

dokázat, aby každá jednotka vzduchu ze sušárny odnášela maximální množství vody.

Máčení

Sladěnost kontinuity celé linky je zvětšena tím, že důslednost pásové výroby je aplikována i na máčírnu. Rozhodujícím momentem je nízká vrstva namáčeného ječmene (asi 50 cm) a velký počet přesypů. Již v branické modelové lince se na velmi nedokonalém zařízení začala ukazovat prospěšnost přebytků kyslíku a kontinuálního přísunu čerstvé vody. Zkrátí se domácí doba, sníží se plíseň, urychlí se klíčení a zlepší se rovnoměrnost domočení.

Souhrn hlavních záměrů tunelového sladování

1. *Dosáhnout vysoké produktivity práce vytvořením předpokladů pro snadnou automatizaci*

Byla volena cesta, která opouští dosud převládající směr stacionárních a v poslední době i kontinuálních způsobů pneumatického sladování. Tunelem se vytváří velký společný prostor, ve kterém jsou postupující přesýpané hromady umístěny tak, aby umožňovaly častý a rovnoměrný styk co největšího množství zrn ve volných plochách přesypů s okolním vzduchem. Četnost tohoto styku zrn se vzduchem se svojí funkcí odvodu tepla a vody podobá humnovému sladování. Zatímco u pneumatické výroby je s ohledem na složitost rozvodu kanálů a přetlakových komor obtížné budovat automatické ovládání všech zařízení tak, aby se v hromadě dosáhlo příslušného tepelného a vodního režimu, je u tunelového způsobu udržována pouze konstantní teplota a vlhkost v celém prostoru stejná, a to po celý rok neměnná. Opuštěním složitých přetlakových soustav, a tím zmenšenou náročností na těsnosti, napnutí pásů apod. se ve srovnání s pneumatickými systémy usnadňuje řešení a vylehčení konstrukce.

2. *Navázat fyzikálními procesy na klasický způsob výroby zeleného sladu*

Stejně jako při výrobě zeleného sladu na humnech bude tunelová výroba z hlediska fyzikálně technologického charakterizována těmito znaky:

a) teplo z hromady bude odváděno vzduchem o nízkých teplotách a z určité části i konvekcí a sáláním;

b) vydýchaná voda bude odváděna rovněž vzduchem o teplotách pouze asi 12 °C;

c) v hromadě vzniknou přebytky vody tím, že se zmenší nároky na množství vzduchu částečným odvodem tepla, konvekcí a sáláním a zejména tím, že se pracuje s chladným vzduchem, který, jak dokazuje uvedený příklad, odvádí méně vody; tato okolnost je rozhodujícím činitelem, který, tak jako na humnech, připustí používání částečně suššího vzduchu a lokálních ventilátorů; hromada bude na rozdíl od pneumatického sladování trvaleji v „díle“;

d) odvádění tepla z příslušné vrstvy bude řízeno a vymezeno časovými i výškovými proměnami, takže obdobně jako na humnech při povolování hromady se dosáhne rovnoměrného vývinu tepla z celého půdorysu všech pásů.

3. *Aplikovat pokrokové způsoby výstavby a zlepšení poměru stavebních a strojních nákladů*

Opuštěním pneumatického sladování se dosáhne podstatného urychlení výstavby zjednodušením stavební části na lehkou halu, kterou lze plně prefabrikovat a vybudovat malým nákladem.

4. *Odstranit těžkosti vznikající u pneumatické výroby napadáním konstrukcí kondenzovanou a difundovanou vodou*

V tunelu klíčirny nastane absolutní snížení vodního obsahu vzduchu tím, že se bude pracovat se vzduchem chladnějším a ne úplně nasyceným vodními parami. Vzduch odcházející z pneumatického sladovacího procesu má v každém kilogramu vzduchu při 18 °C a 100% ϕ 13,3 g vody a vzduch v tunelu bude mít při 12 °C a 90% ϕ 8 g vody. Bude vytvořeno takové prostředí a klima, jaké je na humnech, čímž odpadnou těžkosti, známé např. z posuvných hromad.

5. *Zmenšit tepelně energetickou náročnost a dosáhnout úspor na sušení*

Hlavního efektu bude dosaženo použitím přečerpávání tepla z klíčirny a používáním odděleného předsušení velkými kvanty vzduchu o nízkých teplotách. Hospodárné sušení se neobejde bez důkladných teoretických rozvah. Bude proto třeba,

aby byl provoz na sušárně veden podle předem připraveného programu a jakékoli zásahy aby byly dělány pouze při větší změně počasí, a to opět podle předepsaného řádu.

6. *Provádět máčení na zařízení, které je stejné jako v klíčirně a pracovat s nízkou vrstvou ječmene*

Dokonalá synchronizace celé výroby bude usnadněna v máčírně (stejně jako v sušárně) tím, že zařízení umožňuje svým charakterem logickou plynulost toku veškeré hmoty. Neobvykle nízká vrstva namáčeného ječmene a četnost přesypů znamená dokonalý přístup kyslíku i neustále čerstvé vody.

Závěrem je možné říci, že tunelová výroba sladu má hlavní význam ekonomický. Projevuje se v oblasti investiční, ale zejména v nákladech provozních. Pronikavé úspory tepla na sušení, vzniklé využitím odpadního tepla a odděleným předsušením a úspory vody budou představovat značný objem. Stejně významný bude zisk vyplývající z toho, že roční výroba bude vytvořením chladného klimatu v tunelu znamenat vyrovnanou technologii. Bude dodržena optimální kvalita sladu i v mimozimních měsících. U sladovny kapacity 30 000 t/rok budou celkové roční úspory na provozu a kvalitě sladu představovat více než miliónové hodnoty.

Došlo do redakce 13. 2. 1962.

ТУННЕЛЬНАЯ СОЛОДИЛЬНАЯ
УСТАНОВКА НЕПРЕРЫВНОГО
ДЕЙСТВИЯ

В рамках изучения технологии соложения в установках непрерывного действия автор со своими сотрудниками разработал проект так называемой туннельной установки, рассчитанной на производство 7500 тонн солода в год. Мочка и проращивание ячменя осуществляются на 36 ленточных конвейерах расположенных в шести ярусах и занимающих помещение длиной 55 м и шириной 10 м. Солодосушильня непрерывного действия находится в отдельном корпусе.

В статье рассматриваются опытные данные приобретенные при эксплуатации экспериментальной установки созданной на пивоваренном заводе в Бранике. Туннельная установка сравнивается с показателями пневматических типов. Рассматриваются требования предъявляемые к качеству применяемого воздуха и к работе сушилен. В заключительной части формулируются основные правила технологии солодоращения в туннельных устройствах.

TUNNELMÄLZEREI

Im Rahmen der Entwicklung kontinuierlicher Mälzungssysteme wurde von dem Autor und seinen Mitarbeitern das Projekt einer sog. Tunnelmälzerei mit der jährlichen Kapazität 7500 t Malz ausgearbeitet. Der Weich- und Keimungsprozess verläuft auf 36 beweglichen Bändern in 6 Etagen, und zwar in einer Halle, deren Länge cca 55 m und Breite 10 m beträgt. Die kontinuierlich arbeitende Darre ist in einem selbständigen Objekt situiert. In dem Artikel werden die Erfahrungen aus den Versuchsmälzungen auf einer Modelleinrichtung beschrieben, welche in der Braniker Mälzerei in Prag installiert wurde. Die Keimung in dem Tunnelsystem wird mit der pneumatischen Mälzerei verglichen und zwar hauptsächlich mit der Hinsicht auf die Eigenschaften der benutzten Luft. Es werden die Grundlagen des kontinuierlichen Darrens sowie auch die wichtigsten Ziele der kontinuierlichen Mälzung im Tunnelsystem angeführt.

TUNNEL MALTING PLANT

In the frame of research works aimed at developing efficient methods of continuous malting the author and his co-workers have elaborated plans of a tunnel type malting plant of 7500 t/year capacity. Steeping and germinating take place on 36 belts arranged in 6 stages and installed in a 55 x 10 m room. A continuous malt kiln is located in a separate building.

To verify new ideas incorporated into the project a model of the plant has been installed at the Braník brewery. The authors compare the tunnel installation with pneumatic one, formulate some requirements to the properties of air and outline the basic principles of continuous tunnel malting, adjusting them duly to the specific features of modern kilns.