

Kontinuální lihové kvašení

M. ŠMIDRKAL, A. NEJEDLÝ
Výzkumný ústav kvasného průmyslu, Praha

663.5 : 338.54

V posledních letech vzbuzuje mezi našimi pracovníky v lihovarském průmyslu stále větší pozornost nový způsob zkvašování melasových zápar, t. zv. kontinuální kvašení. Tento způsob spočívá v tom, že kvasící zápara protéká nepřetržitě soustavou několika kádí, v nichž postupně prokvašuje a z poslední kádě je neustále odebírána prokvašená zápara k destilaci. Nepřetržitý přítok sladké zápary přichází buď jen do první, nebo do několika prvních kádí.

Tento způsob kvašení má proti dosavadním periodickým způsobům mnoho výhod. Je to především prakticky 100% využití kvasného prostoru, neboť všechny kádě jsou neustále naplněny kvasící záparou. Odpadají zde ztrátové časy, vznikající u periodických způsobů při vyprazdňování prokvašené kádě při jejím čištění, sterilaci a postupném doplňování. Proto je výrobní kapacita kvasného prostoru při kontinuálním kvašení podstatně vyšší než při způsobech periodických. Z 1 hl užitečného kvasného prostoru lze při kontinuálním kvašení získat průměrně 8 l absolutního alkoholu za 24 hod, zatím co při klasickém způsobu *Jacqueminově* s propagací kvasnic lze získat nejvýše 5 1/24 hod a při způsobu s vratnou separací kvasnic 6 1/24 hod, za předpokladu, že je přesně dodržován technologický postup.

Druhá výhoda kontinuálního kvašení je ta, že zápara a v ní obsažené kvasinky jsou v neustálém pohybu, čímž se zvyšuje jejich metabolismus. To se projevuje příznivě nejen s hlediska větší rychlosti prokvašování cukru a tvorby alkoholu, ale i určitým vzestupem výtěžnosti.

Při kontinuálním kvašení se za předpokladu pravidelného přítoku ustaluje v jednotlivých kádích určitý trvalý stav, t. zn., že sacharidace a obsah cukru, alkoholu a buněčné hmoty je v nich konstantní. Vytvoření konstantních podmínek v jednotlivých kádích působí velmi nepříznivě na celkový průběh kvašení.

Další výhodou tohoto způsobu kvašení, dosud při jeho provozní aplikaci plně nevyužitou, je možnost záměrně rozdělit a regulovat přítoky do více než jedné poloviny z celkového počtu všech kádí. Tak můžeme vytvořit v jednotlivých kádích optimální podmínky pro nejvyšší rychlosti kvašení udržováním určité konstantní hladiny cukru, buněčné hmoty, acidity a v určitých mezích i alkoholu. Tím můžeme zvýšit produktivitu kvasného prostoru z dosavadních 8 l absolutního alkoholu z 1 hl za 24 hod.

Kromě všech těchto výhod poskytuje kontinuální kvašení, jako všechny kontinuální procesy, možnost automatisace.

Určitou nevýhodou tohoto způsobu kvašení je však nebezpečí kontaminace, k níž dochází po několika dnech provozu. Všechny vlivy, které se příznivě projevují pro životní činnost kvasinek, t. j. stejnorodost a pohyb substrátu působí příznivě i na zvýšení metabolismu a rozmnožování infekčních mikroorganismů, přicházejících do procesu se zpracovávanou surovinou, t. j. melasou. Toto nebezpečí lze jednak snížit sterilací melasy nebo sladké zápary okyselením a přidávkou některých antiseptik,

nebo jej úplně odstranit postupným čištěním jednotlivých kádí bez přerušení celkového procesu vždy po několika dnech, než dojde k většímu výskytu infekce. Délka tohoto cyklu mezi jednotlivým čištěním se v literatuře udává 5—10 dní.

Největších úspěchů v propracování kontinuálního lihového kvašení dosáhli v Sovětském svazu, kde takto pracují všechny melasové lihovary.

V našem ústavě jsme prováděli laboratorní a čtvrtprovozní pokusy s kontinuálním kvašením v r. 1953–54 s cílem zavést i u nás tento nový způsob lihového kvašení v melasových lihovarech.

Podle výsledků tohoto výzkumu a s přihlédnutím k sovětské dokumentaci byl jedním z autorů článků vypracován v r. 1954 ideový návrh pokusného poloprovozního zařízení pro kontinuální lihové kvašení. Tento návrh byl realizován Strojírnami potravinářského průmyslu, n. p. v Pacově a zařízení bylo vybudováno v lihovaru v Praze-Libni.

Návrh byl proveden se zřetelem k možnému vyzkoušení všech používaných sovětských metod kontinuálního kvašení a k jejich srovnání s metodou, navrhovanou Výzkumným ústavem kvasného průmyslu (v dalším pouze VÚKP).

Zařízení se skládá (viz schema) ze tří přítokových kádí na melasovou záparu M_1 , M_2 , M_3 (dvě s obsahem po 22 hl, jedna s obsahem 12 hl) a jedné přítokové kádě na vodu V (obsahu 22 hl). Tyto kádě jsou spojeny příslušným potrubím přes vyrovnávací hladiny V_1 , V_2 , regulační kohouty a průtokové měřicí epruvety Ev , EO , E_1 – E_5 se zá-kvasnou kádí Z (obsahu 6 hl) a s prvými pěti kvasnými káděmi K_1 – K_5 (obsahu po 10 hl), v nichž probíhá hlavní kvašení. Další kvasné kádě K_6 – K_8 stejného obsahu slouží jako dokvašovací prostor. Kádě jsou vzájemně propojeny tak, že zápara prochází přes trojcestný kohout ode dna jedné kádě nad povrch hladiny kádě další. Kádě jsou uspořádány stupňovitě. Rozdíl výšky hladin zápary u dvou sousedních kádí je 10 cm. Kádě lze též propojit pryžovými hadicemi opačně, t. j. od povrchu hladiny zápary v jedné kádě ke dnu kádě následující. Trojcestným kohoutem pod kádí lze kteroukoli kád' vyřadit z baterie a vést průtok zápary mimo ní. Kádě se sterilují parou, která se nejprve přivádí do přestupníku spojujícího dvě kádě a odtud teprve přichází do kádě, která se steriluje. Prostor následující kádě se uzavře kohoutem, umístěným na přestupníku před vyústěním do této kádě. Ve schématu je pro zjednodušení zakreslena armatura, sloužící ke sterilaci kádí parou pouze na přestupníku mezi K_1 a K_2 . Při postupné sterilaci celé baterie kvasných kádí se použije cirkulační kádě CK (obsahu 12 hl). Na př. při sterilaci kádě K_1 se tato kád' přečerpá přes jímku K čerpadlem \check{C} do cirkulační kádě, odkud se vypouští pozvolna do kádě K_2 . Mezitím se kád' K_1 vyčistí, vysteriluje parou a znovu naplní kvasící záparou a stejným způsobem lze přistoupit k čištění kádě K_2 . Prokvašená zápara z K_8 přepadá do jímky J , odkud se čerpá čerpadlem \check{C} do jedné ze dvou kalibrovaných sběrných kádí SK_1 a SK_2 s obsahem po 34 hl. Z nich pak odchází k destilaci.

Všechny kádě jsou vybaveny příslušnými armaturami. Přítokové kádě jsou kalibrovány a opatřeny stavoznakem, vzorkovacími kohouty, teploměry a přívodem páry pro sterilaci. Obsah kádí M1, M2, a M3, které slouží k přípravě melasové zápary, lze míchat buď míchadlem, nebo vzduchem. Základná kádě a kvasné kádě mají teploměry, vzorkovací kohouty, povrchové chlazení, zařízení pro přidávání odpěňovacího tuku a vodní uzávěry, kterými probublává při kvašení vzniklý kyslíčník uhlíčitý. Základná kádě Z a první kádě K1 mají přívody vzduchu a větrací hady k provzdušňování. Poslední kvasná kádě K8 má v plášti nade dnem vířivé míchadlo, které zabraňuje usazování kvasnic a kalů. Toto míchadlo však nemohlo být dosud vyzkoušeno, protože nebyl dodán potřebný elektromotor. Zdánlivě je navržené zařízení poměrně složité. Je však třeba uvážit, že jde o pokusné zařízení, na němž musí být zkoušeny různé pracovní postupy a dána možnost provádět kdykoli potřebné materiálové bilance. Při provozní aplikaci odpadnou všechny přítokové a sběrné kádě i kádě cirkulační a jímka. Příprava zápary bude kontinuální, kádě budou uspořádány v jedné rovině a z poslední kádě bude čerpána zápara přímo k destilaci.

Výstavba zařízení byla dokončena až ke konci lihovarské kampaně a protože pokusy byly vázány na provoz lihovaru (odběr melasy a předávání prokvašené zápary k destilaci), zbyla na provádění pokusů jen velmi krátká doba 32 dnů. Během této krátké doby bylo možno pouze vyzkoušet zařízení, ověřit některé výsledky laboratorního a čtvrtprovozního výzkumu, zjistit maximální délku kvasného cyklu a maximální výkonnost zařízení. Proto mají dosud provedené pokusy jen informativní charakter.

Zakvašení baterie kvasných kádí

Při pokusech byla používána lihovarská kvasinka rasa VII, která se nejlépe osvědčila z osmi kultur, které byly vyzkoušeny v pokusném čtvrtprovozu. V laboratorii bylo obvyklým způsobem připraveno asi 20 l kultury, s níž byla zakvašena základná kádě. V základné kádě bylo připraveno a vysterilováno parou asi 80 l zápary o 10 °Bg, k níž bylo přidáno 20 l připravené kultury. Základ byl mírně větrán a jeho teplota udržována na 30 °C. Pro prokvašení na

sacharisaci 6 °Bg byl základ doplněn vodou a 60 °Bg melasovou záparou na 6 hl v takovém poměru, že jeho sacharisace byla 12 °Bg. Po prokvašení na 7 °Bg byl do základu zaveden nepřetržitý přítok asi 60 °Bg melasové zápary z kádě M3 v množství 15 až 20 l za hod a vody z kádě V v množství 70–80 l za hod. Po naplnění kádě K1 zákvase asi do $\frac{2}{3}$ obsahu byl do ní zaveden nepřetržitý přítok melasové zápary 60 °Bg z kádě M1 v množství asi 40–45 l za hod a vody z kádě V v množství 140–160 l za hod. Stejně se postupovalo při naplňování dalších čtyř kádí K2–K5 kvasící záparou jen s tím rozdílem, že do nich byl spouštěn pouze přítok husté 60 °Bg melasové zápary.

Příprava sladké zápary pro přítoky

Z lihovaru byla přejímána hustá melasová zápara sacharisace 60–61 °Bg, obsahu 39,5–40,5 cukru přímé polarisace. K zápaře připravené pro základ (v kádě M3) bylo přidáno potřebné množství koncentrované kyseliny solné (25–30 l na 12 hl husté zápary, podle alkality původní zápary) a živin ve formě diamonfosfátu (2,5 kg na 12 hl husté zápary) a důkladně promícháno vzduchem. K zápaře v kádích M1 a M2 připravované pro přítok do kvasných kádí bylo přidáváno poloviční množství kyseliny a 0,03 % formalinu a promícháno mechanickým míchadlem. Voda pro konečné zředování zápary na 23 až 25 °Bg, které se provádělo až v kvasných kádích, byla odebírána z provozu lihovaru a nebyla nijak zvlášť upravována.

Průběh kvašení

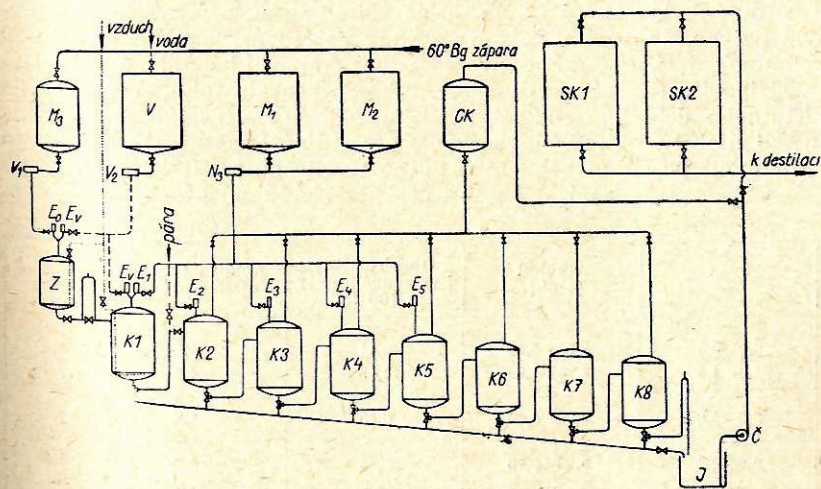
Kvašení v jednotlivých kádích probíhalo při udržování pravidelných přítoků pravidelně a nedocházelo k většímu kolísání v chemickém složení a obsahu jednotlivých kádí. Zvýšené pění, při němž bylo třeba použít odpěňovacího tuku, se vyskytovalo pouze občas u první kádě a u základu a jen zcela výjimečně u druhé kvasné kádě. Přítoky melasy byly rozděleny v tomto poměru: do základu 15–20 %, do první kádě 40–45 %, do druhé kádě 15–20 %, do třetí kádě 10–15 %, do čtvrté kádě 5–10 %, do páté kádě 3–5 % z celkového množství spotřebované husté zápary 60 °Bg, což činilo při pravidelném chodu kvašení v průměru 100 l za hod. Ojedinelé bylo dosahováno i zpracování 105 až 100 l husté zápary za hod, počítáno z celodenní spotřeby.

Kontrola průběhu kvašení

Každou hodinu byla sledována a zaznamenána u základu i kvasných kádí sacharisace a teplota. Pro každou kádě byla stanovena maximální sacharisace a teplota, které nesměly být překročeny. Kromě toho se každou hodinu zaznamenával přítok 60 °Bg melasy do základu, součet přítoků melasy do všech kvasných kádí a přítok vody, zjištěním údajů stavoznaků na jednotlivých přítokových kádích.

Analytická metodika

U prokvašené zápary odtékající z poslední kádě byl několikrát denně stanovován nezakvašený cukr



Obr. 1 — Schema poloprovozního zařízení pro kontinuální lihové kvašení

(resp. redukující látky) modifikovanou jodometrickou metodou podle *Somogyiho*. Jednou denně byla zjišťována acidita titrací 100 ml zápary 0,1N NaOH (na neutrální lakmusový papírek) po předchozím vyvaření CO₂, obsah alkoholu destilací zápary a stanovením specifické váhy destilátu při 20/20 °C pyknometrem. Stejně hodnoty byly stanovovány u všech naplněných sběrných kádí. Složení zápary a sacharisace v poslední kádě (a zejména obsah nezkašeného cukru, který byl zjišťován nejčastěji) se shodovaly se složením a sacharisací obsahu příslušné kádě, takže ve sběrných kádích nedocházelo k žádnému dokvašování. Kromě toho byl 2–3krát týdně zjišťován obsah cukru (po předchozí inverzi), alkoholu, kvasničné sušiny a stanovená acidita v zákvasu a v kádích 1, 3, 5, 7 pro podrobnější vyhodnocení celkového průběhu kvašení.

Některé průměrné technologické a analytické údaje z první etapy pokusů zachycující průběh kvašení v jednotlivých kádích při normálním chodu jsou uvedeny v tabulce.

Délka kvasného cyklu

Denně ve dvou směnách byla pravidelně prováděna mikroskopická kontrola zákvasu a všech kvasných kádí. Byl sledován především fyziologický stav kvasinek, který byl téměř po celou dobu trvání pokusů velmi dobrý. Určité zhoršení nastalo teprve 27.–28. den po zahájení kvašení, ačkoli se pracovalo bez výměny zákvasu stále s toutéž kulturou. Výskyt infekce byl v prvních dnech jen ojedinělý. Teprve 12. den od zahájení kvašení infekce poněkud zesílila a 17. dne od zahájení kvašení se zvýšila nad provozně únosnou mez. Toho dne byla provedena bilance zpracované melasy a vyrobeného lihu, stanovena výtěžnost a uzavřena první etapa pokusu. V pokusu bylo dále pokračováno bez přerušení a sledovala se možnost, jak potlačit infekci použitím některých technicky dostupných antibiotik. Jako infekční mikroorganismy byly určeny heterofermentativní bakterie mléčného kvašení (*Lactobacillus buchneri*, *Lactob. brevis*, *Lactob. vermiforme*). V průběhu této druhé etapy pokusů, která trvala 15 dní, se však nepodařilo zabránit dalšímu, i když jen pozvolnému pomnožování infekce. To se projevilo podstatným poklesem výtěžnosti lihu v této etapě. Zařízení sloužícího k postupné sterilizaci baterie kvasných kádí parou nebylo ani v této etapě použito. Z pokusu bylo patrné, že vhodným uspořádáním provozních podmínek, t. j. dodržením vyšší ochranné acidity a vyšší lihovitosti prokvašené zápary lze dosáhnout podstatného delšího kvasného cyklu 12–17 dní než uvádí literatura, t. j. 5–10 dní, při čemž můžeme dosáhnout požadované výtěžnosti.

Výtěžnost lihu

Množství odebrané husté melasy a cukru v ní obsaženého, stejně jako množství získané prokvašené zápary a v ní obsaženého lihu bylo pečlivě sledováno současně zaměstnanci ústavu i laboratoře OTK lihovaru. Hustá zápara 60 °Bg byla přejímána do kalibrovaných přítokových kádí M1, M2 a M3 a po společném odečtení obsahu byl před okyselením zápara odebrán vzorek, u něhož byla oběma stranami stanovena polarisace a sacharisace. Obdobně bylo postupováno při předávání prokvašené zápary lihovaru k destilaci, kde byl v odebraném vzorku stanoven obsah alkoholu. Je třeba konstatovat, že analytická stanovení obou stran se shodovala v mezích chyb používaných metod. V první etapě, která trvala 17 dní, bylo zpracováno 306,76 hl, t. j. 384,60 q husté asi 60 °Bg melasy, která obsahovala 158,02 q polarisačního cukru. Bylo vyrobeno 931,93 hl zápary průměrné lihovitosti 10,65 % obj., t. j. 98,29 hl absolutního alkoholu. Výtěžnost v této etapě tudíž činila 62,20 l lihu na 100 kg polarisačního cukru.

V druhé etapě, která trvala dalších 15 dní, bylo zpracováno 256,15 hl, t. j. 339,72 q husté asi 60 °Bg zápary, která obsahovala 132,65 q polarisačního cukru. Bylo vyrobeno 795,39 hl zápary průměrné lihovitosti 9,63 % obj., t. j. 76,60 hl absolutního alkoholu. Výtěžnost v této etapě byla vlivem dále stoupajícího množství infekce podstatně nižší a činila pouze 57,75 l lihu na 100 kg polarisačního cukru.

Výrobní kapacita pokusného zařízení

V prvních pěti dnech pokusu nebyla kapacita zařízení plně využita. Probíhalo zakvašování kvasné baterie, zaučování obsluhy, prováděla se postupná kalibrace jednotlivých přítokových měřicích epruvet, dokončovaly se ještě některé montážní práce a odstraňovaly se některé drobné nedostatky, vzniklé při montáži. V těchto pěti dnech bylo proto vyrobeno pouze 8,78 hl absolutního alkoholu. V dalších dvanácti dnech při normálním chodu kvasné baterie bylo vyrobeno celkem 89,51 hl absolutního alkoholu, t. j. 7,46 hl denně. Užitečný kvasný prostor činil: předkvas 6 hl a osm kvasných kádí po 10 hl, t. j. celkem 86 hl. Výrobní kapacita je 746 l = 8,67 l absolutního alkoholu z 1 hl kvasného prostoru za 24 h.

V druhé etapě bylo po několik dnů pracováno tak, že byla z baterie vyřazena zákvasná kád' a veškerý přítok melasy 60 °Bg (spolu s kyselinou a živnými solemi) a vody potřebné k zředění na 22–23 °Bg byl zaveden pouze do první kádě. Kád' byla větrána vzduchem, takže pracovala jako zákvasná. Šlo o aplikaci způsobu *Malčenko-Kryštulové* s přítokem sladké zápary v jediné koncentraci. Při tomto způsobu bylo nutno podstatně snížit kapacitu zařízení, měla-li z poslední kádě odcházet prokvašená

	Sacharisace °Bg	Teplota °C	Cukr %	Alkohol % obj.	Obsah sušiny kvasničné hmoty g/100 ml	Acidita 1, ON NaOH na 100 ml	pH
Zákvas	6,5–7,5	27–29	2,0–2,4	3,80–5,10	0,44	4,5–5,0	4,8
1. kád'	10,5–12	30–31	4,0–4,5	4,20–4,60	0,43	4,4	4,8
2. kád'	10,5–11,5	32–33	—	—	—	—	—
3. kád'	10–11	32–33	3,2–3,8	6,20–6,60	0,45	4,2	5,2
4. kád'	10–11	32	—	—	—	—	—
5. kád'	8,5–9,0	32	2,2–2,4	9,20–9,70	0,45	4,2	5,4
6. kád'	7,5–8,0	32	—	—	—	—	—
7. kád'	6,5–7,0	31	0,65–0,70	—	0,46	4,3	5,4
8. kád'	6,2–6,8	30	0,33–0,39	10,50–11	0,42	4,3	5,4

zápara. Celkem bylo možno zpracovat tímto způsobem za hodinu maximálně 80 l 60 °Bg zápary, což odpovídalo denní výrobě 5,76 hl absolutního alkoholu, t. j. kapacitě 576 l = 7,20 l absolutního alkoholu z 1 hl kvasného prostoru za 24 hod.

Podstatné zpomalení kvašení nastalo vysokým vzestupem sacharisace v prvních kádích na 17–20 °Bg. Současně v nich došlo k značnému poklesu obsahu alkoholu a kvasničné hmoty, která byla v prvních kádích vyplavována rychleji, než v nich stačila přirůstat. K zvýšení výkonu u tohoto způsobu by přispělo, kdyby bylo možno větrat též druhou káď. Toto naše zjištění pokládáme za informativní a bude námi znovu prověřováno v podzimní kampani, kdy budou porovnány všechny dosavadní způsoby kontroly kvašení se způsobem navrženým VÚKP a provedena aplikace tohoto způsobu s použitím vratné separace kvasnic.

Závěr z provedených pokusů

1. Byly potvrzeny a v mnohých směrech překročeny výsledky laboratorního a čtvrtprovozního výzkumu prováděného v r. 1953–54 ve VÚKP. Dosažené výsledky jsou rovněž ve shodě s údaji zahraniční dokumentace.

2. Byla zjištěna maximální délka kvasného cyklu, která činí 12–17 dní, za předpokladu dodržení ochranné acidity 4–4,5 ml 1,0N NaOH na 100 ml zápara a vyšší lihovitosti prokvašené zápara o 10,5 až 11,0 % obj. lihu.

3. Maximální výrobnost lihu na pokusném zařízení při způsobu rozdělení přítoku melasy do více kádí

podle návrhu VÚKP je 8,67 l absolutního alkoholu z 1 hl kvasného prostoru za 24 hod.

4. Maximální výrobnost lihu při použití způsobu přítoku sladké zápara jedné koncentrace do první kádě byla 7,20 l absolutního alkoholu z 1 hl kvasného prostoru za 24 hod.

5. Výtěžnost lihu v první etapě pokusů byla 62,20 l alkoholu ze 100 kg cukru přímé polarisace. Ve zpracované melase byl zvýšený obsah rafinosy, jak nasvědčuje značný obsah redukcujících látek v prokvašené zápara, který byl 0,33–0,39 %.

6. Navržené zařízení vyhovuje svému účelu a bude jej možno využít i jiným způsobem.

Literatura

- [1] Klimovskij D. N., Stabnikov V. N.: *Technologija spirtovovo proizvodstva*, Moskva, 1950, str. 261–265
- [2] Fuks A. A.: *Technologija spirtovovo proizvodstva*, Moskva, 1951, str. 527–534
- [3] Popov V. I., Dobroserdov L. L., Stabnikov V. N., Andreev K. P.: *Oborudovanije brodilnych proizvodst.* Moskva, 1949, str. 246–247
- [4] Popov V. I., Dobroserdov L. L., Stabnikov V. N., Andreev K. P.: *Technologičeskoje oborudovanije brodilnych proizvodstv*, Moskva, 1953, str. 210–213
- [5] Mariller Ch., Méjane, Martmaire M., Tourlière S.: *Fermentation continue des moûts de betteraves*, Industries agricoles et alimentaires (1952), č. 11, 775
- [6] Mamunja A. U., Giler E. E.: *Prjamotočnyj metod sterilisacii brodilnoj baterii pri proizvodstve spirita iz patoki*, Spirtovaja promyšlennost (1954), č. 4, 39
- [7] Seiler A.: *Kontinuální kvašení v melasovém lihovaru* Kvasný průmysl 1 (1955), č. 5, 98