

Meranie hladiny (objemu) pri droždiiarenskom kvasení

FRANTIŠEK VAŇO, VÁCLAV STUHLÍK, Ústredný výskumný ústav potravinárskeho priemyslu a výkupu, pobočka Bratislava

663.1:330.651

Úvod

Pri kvasení droždiiarenských mladín sa tvorí pena, ktorá je najmä pri veľmi jemnom keramickom vetraní obzvlášť jemná a hustá, čo znemožňuje spoľahlivé odmeranie množstva tekutiny vo fermentačných nádobách. Až po čiastočnom odstránení peny pomocou odpeňovacích prostriedkov možno odhadnúť množstvo tekutiny podľa zaplavenia vnútornej armatúry, prípadne odmernou latou.

Takéto meranie je však nepresné, lebo v dôsledku intenzívneho prevzdušňovania mladiny nastáva súčasne aj vzdutie hladiny a okrem toho pridávanie odpeňovacích prostriedkov vo väčšom množstve nielen zvyšuje náklady na výrobu droždia, ale môže mať aj nepriaznivý vplyv na priebeh fermentačného procesu.

Prísne požiadavky na sterilitu, vysoká vrstva peny, nepokojná hladina a vzdutie tekutiny spôsobené prevzdušňovaním znemožňuje použitie bežných, u nás vyrábaných meračov hladiny.

Pri hľadaní princípů merania hladiny je potrebné vychádzať z technologických pomerov. V spomínanom prípade nás zaujíma predovšetkým množstvo tekutiny, ktoré sa v nádobe nachádza, alebo ktoré sa má priebehom výrobného procesu premiestiť. Z príčin, ktoré sme už uviedli (vznik peny,

vzdutie a pohyb hladiny), nemôžeme použiť plávajúce zariadenie. Vyskúšali sme preto spôsob merania hladiny na princípe merania hydrostatického tlaku. Ukázalo sa, že pre riešený prípad má tento princíp veľké prednosti pred meraním pomocou priamych ukazateľov hladiny.

Pri technologickom postupe výroby droždia, najmä pri spôsoboch polokontinuálnych a kontinuálnych je dôležité sledovať v časových intervaloch množstvo mladiny v kvasných kadiach. Keďže poloha hladiny sa počas fermentačného procesu nepretržite mení doplňovaním, podľa množstva vzduchu, ktorým sa prevzdušňuje, ako aj podľa hrúbky vrstvy peny nad tekutinou, výška hladiny, zisťovaná obvyklými nedokonalými spôsobmi, nezodpovedá skutočnému množstvu tekutiny.

Teoretické odôvodnenie použitia hydrostatického systému

V tekutinách vzniká za kludu sila P , pôsobiaca kolmo na plochu F tlakom p . Môžeme teda písať

$$P = F \cdot p \quad (1)$$

Sila P je vždy kolmá na styčnú plochu v uvažovanom bode, pričom mierou špecifického tlaku je výška hladiny nad uvažovaným bodom.

Ak špecifickú váhu tekutiny označíme γ (kg/m^3) a výšku hladiny nad vodorovnou plochou, na ktorej urč-

jeme tlak, označíme h (m), pre silu P pôsobiacu na plochu F platí

$$P = F \cdot h. \quad (2)$$

Po dosadení rovnice (1) do rovnice (2) dostávame tlak na jednotku plochy

$$p = h \cdot \gamma \quad (3)$$

Z rovnice (3)

$$h = \frac{p}{\gamma}$$

tj. zo známeho špecifického tlaku môžeme vypočítať výšku stĺpca tekutiny.

To, že prevzdušňovanie obsahu kade, vzdušie a menlivá vrstva peny nad skutočnou hladinou nepôsobia na meranie, môžeme dokázať týmto príkladom:

Naplníme nádobu o výške 5 m do $\frac{4}{5}$ peniacou tekutinou o špecifickej váhe $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$. Hydrostatický tlak vypočítame z rovnice (3):

$$p_{\text{tek}} = h \cdot \gamma_{\text{tek}}$$

$$p_{\text{tek}} = 4 \text{ m} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 = 4000 \text{ kg/m}^2$$

Predpokladajme, že tekutinu prevzdušníme takým množstvom vzduchu, že sa jej hladina zvýši o 1 m, tj. do výšky 5 m. Hoci sa vzduch v tekutine rozptýli v bublinkách, môžeme urobiť zjednodušujúci predpoklad, že vzduch vytvorí súvislú 1 m vysokú vrstvu pod 4 m vysokou vrstvou tekutiny.

$$\text{Potom tlak } p_{\text{vzd}} = h \cdot \gamma_{\text{vzd}}$$

$$p_{\text{vzd}} = 1 \text{ m} \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3$$

(vzduch nasýtený vodnými parami pri 30°C — *Fyzikálna chemická tabuľky* — Kolektív pracovníkov Výzkumných ústavů MChP).

Celkový tlak stĺpca tekutiny a vzduchu je

$$p = p_{\text{tek}} + p_{\text{vzd}}$$

$$p = 4000 + 1,25 = 4001,25 \text{ kg/m}^2$$

Z uvedeného je zrejmé, že pri zväčšení objemu tekutiny vplyvom prevzdušňovania sa hydrostatický tlak tekutiny prakticky nemení. Správnosť tohto predpokladu potvrdili laboratórne pokusy uskutočnené na ÚVÚPPV, pobočka v Bratislave, ako aj prevádzkové pokusy vykonané v n. p. Kvasný priemysel v Trenčíne.

Opis merača množstva tekutiny v kvasných kadiach

Schéma celého zariadenia je na obr. 1. Z rozvodného potrubia A sa privádza stlačený vzduch ku redukčnému ventilu B. Vzduch potom ide cez ihlový ventil C, ktorým sa nareguluje potrebný prietok vzduchu do kontrolného prebublávača D. Paralelne s meracou trubicou je pripojený nádobkový manometer E so skloneným meracím ramenom. Tlak vzduchu za kontrolným prebublávačom závisí od výšky hladiny tekutiny nad spodným koncom meracej trubice a od špecifickej váhy tekutiny.

Pretože sa špecifická váha tekutiny mení len v hraniciach požadovanej presnosti, údaj na manometri závisí iba od množstva tekutiny v kvasnej kadi.

O tom, že sa špecifická váha mení len v rámci požadovanej presnosti, môžeme sa presvedčiť týmto dôkazom:

Špecifická váha tekutiny (droždziarskej mladiny, včítane kvasiniek, prípadne aj liehu) v kvasnej kadi sa mení od 1004 do 1010 kg/m^3 , čo zodpovedá zmene 1 až 2,5 ‰. Stredná hodnota špecifickej váhy je teda 1007 kg/m^3 .

Kolísanie hydrostatického tlaku pri maximálnej výške hladiny (bez prevzdušnenia) spôsobené zmenou špecifickej váhy uvádzajú nasledujúce príklady:

a) Hydrostatický tlak tekutiny pri najvyššej špecifickej váhe a maximálnej výške hladiny

$$p_{\text{max}} = \gamma_{\text{max}} \cdot h_{\text{max}}$$

$$p_{\text{max}} = 1010 \text{ kg/m}^3 \cdot 4 \text{ m} = 4040 \text{ kg/m}^2$$

b) Hydrostatický tlak tekutiny pri najnižšej špecifickej váhe a maximálnej výške hladiny

$$p_{\text{min}} = \gamma_{\text{min}} \cdot h_{\text{max}}$$

$$p_{\text{min}} = 1004 \text{ kg/m}^3 \cdot 4 \text{ m} = 4016 \text{ kg/m}^2$$

c) Hydrostatický tlak tekutiny pri strednej špecifickej váhe a maximálnej výške hladiny

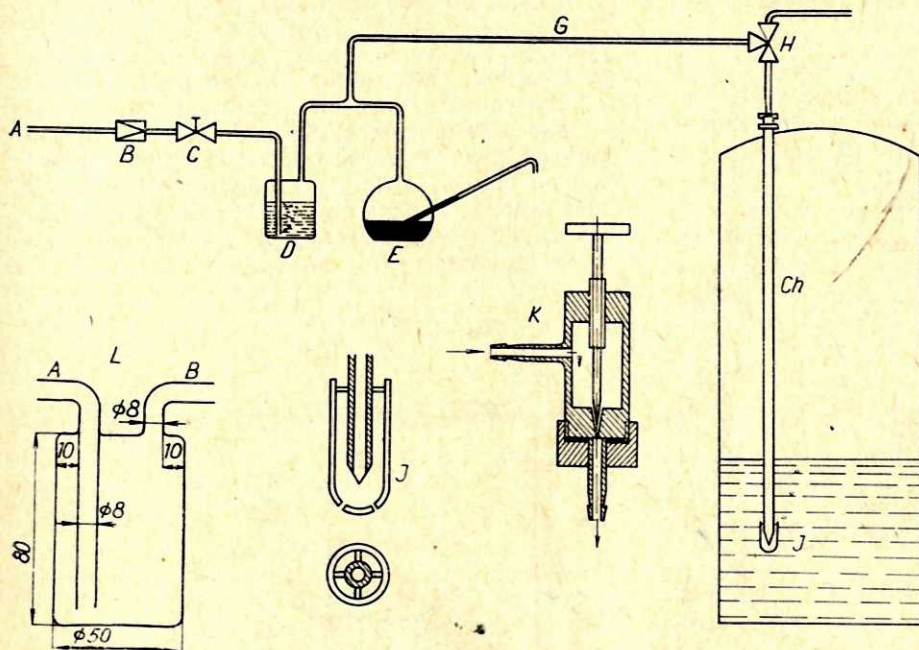
$$p_{\text{stred}} = \gamma_{\text{stred}} \cdot h_{\text{max}}$$

$$p_{\text{stred}} = 1007 \text{ kg/m}^3 \cdot 4 \text{ m} = 4028 \text{ kg/m}^2$$

Ak berieme ako základ stredný špecifický tlak pri maximálnej výške hladiny, kolíše hydrostatický tlak o $\pm 12 \text{ kg/m}^2$. Ak je požadovaná presnosť určená kolísaním hladiny o $\pm 5 \text{ cm}$, pri valcovitom fermentačnom tanku se základňou o ploche 18 m^2 to predstavuje kolísanie objemu o $\pm 9 \text{ hl}$.

Ak pri strednej špecifickej váhe $\gamma_{\text{stred}} = 1007 \text{ kg/m}^3$ stúpne hladina o 1 cm, tj. zo 400 na 401 cm, zvýši sa tlak z $p = 1007 \cdot 4 = 4028 \text{ kg/m}^2$ na tlak $p = 1007 \cdot 4,01 = 4038 \text{ kg/m}^2$, čiže o 10 kg/m^2 .

Kolísanie špecifického tlaku o $\pm 12 \text{ kg/m}^2$ predstavuje teda zmenu hladiny o $\pm 12 \text{ mm}$. Takéto kolísanie pri najvyššej hladine 4 m (bez vzdušia a peny) zapríčiňuje chybu, ktorej veľkosť je pod hranicu požadovanej presnosti a predstavuje len asi 30 ‰ z celkového objemu (ak sa plní asi 750 hl).



Obr. 1. Schematický náčrt celkového usporiadania meracieho zariadenia

A — rozvodné potrubie, B — redukčný ventil, C — ihlový ventil, D — kontrolný prebublávač, E — nádobkový manometer, G — privádzne potrubie, H — trojcestný kohút, Ch — meracia trubica, J — púzdro a detail ukončenia meracej trubice, K — rez ihlovým ventilom, L — kontrolný prebublávač D

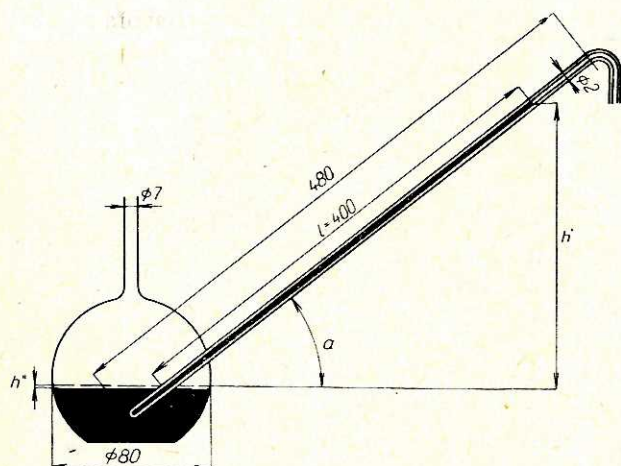
Opis najdôležitejších častí meracieho zariadenia

1. Redukčný ventil slúži na redukovanie tlaku vzduchu od kompresora.

2. Ihlový ventil je vyrobený podľa nákresu K na obr. 1 a slúži pre regulovanie potrebného prítoku vzduchu.

3. Kontrolný prebublávač L (obr. 1) umožňuje kontrolu množstva vzduchu privádzaného do meracej trubice. Prebublávač je do výšky asi 60 mm naplnený glycerolom. Vzduch privádzaný z ihlového ventilu do trubice A, ponorenej do glycerolu, prechádza vo forme bublín glycerolom a trubicou B je odvedený k meraciemu potrubiu. Vnútny priemer trubice A asi 8 mm sa zistil experimentálne vzhľadom na priemer trubice a požiadavku, aby bolo možné podľa počtu bublín nastaviť správne množstvo vzduchu pretekajúceho meracím potrubím. Optimálny počet bublín je 25–60 za 1 min (podľa priemeru meracej trubice).

4. Nádobkový manometer so skloneným meracím ramenom (obr. 2).



Obr. 2. Nádobkový manometer — výpočet sklonu ramena

Výpočet sklonu ramena

Zmena hydrostatického tlaku tekutiny v kadi sa prejaví ako zmena tlaku na hladinu ortuti v manometri:

$$\Delta p = \gamma \cdot \Delta h$$

$$\Delta h = (\Delta h' + \Delta h'')$$

Priemer otvoru v ramene manometra je 2 mm. Objem ortuťového stĺpca o dĺžke $l = 400$ mm je $1256,6 \text{ mm}^3$. Objem 1 mm vysokého ortuťového stĺpca v nádobke manometra s vnútorným priemerom 80 mm je $5026,5 \text{ mm}^3$.

Podľa toho pri maximálnej dĺžke ortuťového stĺpca v sklonenom ramene, tj. pri maximálnej hladine klesne hladina ortuti v nádobe asi o 0,25 mm. Z toho vyplýva, že pri meraní, ako aj pri výpočte sklonu ramena možno zanedbať klesnutie hladiny ortuti v nádobke manometra. Môžeme preto počítať se zmenou výchylky $\Delta h = \Delta h'$.

Potom

$$\Delta p = \gamma \cdot \Delta h' \quad (4)$$

$\Delta h'$ možno vypočítať z rovnice

$$\Delta h' = \Delta l \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

Po dosadení $\Delta h'$ z rovnice (5) do rovnice (4) dostaneme

$$\Delta p = \gamma \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

Z tejto rovnice vypočítame potrebný sklon ramena manometra.

Ak tlak vzrastie z $p = 0$ na $p = 4028 \text{ kg/m}^2$ (p_{stred}) a dĺžka ortuťového stĺpca má vzrásť z $l = 0$ na $l = 402,8 \text{ mm}$, potom $\Delta p = 4028 \text{ kg/m}^2$ a $\Delta l = 402,8 \text{ mm}$.

Z rovnice (6)

$$\sin \alpha = \frac{\Delta p}{\gamma \cdot \Delta l}$$

$$\sin \alpha = \frac{4028 \text{ kg/m}^2}{13\,533 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,4028 \text{ m}} = 0,73894$$

$$\alpha = 47^\circ 38'$$

(Počítali sme so špecifickou váhou ortuti pri 25°C .)

Ak sa má v kvasnej kadi stúpnuť hladina o 1 cm prejaví ako predĺženie ortuťového stĺpca v ramene manometra o 1 mm, musí byť rameno sklonené pod uhlom $\alpha = 47^\circ 38'$.

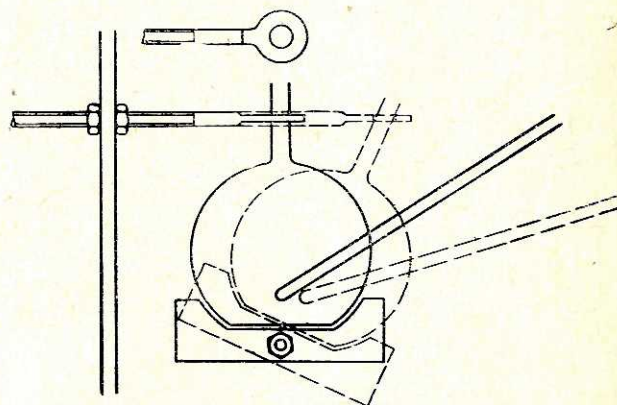
Pretože sa sklárove ťažko podarí dodržať predpísaný sklon ramena, je potrebné upevniť nádobkový manometer tak, aby bolo možné aspoň v malom rozmere meniť jeho sklon. Příklad vhodného zariadenia je na obr. 3. Aby sme mohli presne sledovať stúpanie ortuti, pripevníme k sklopnému ramenu manometra stupnicu (napr. milimetrový papier vložený medzi dve tenké plexisklá).

5. Prívodné potrubie má mať priemer 6 až 10 mm.

6. Meracia trubica [najlepšie z nehrdzavejúcej ocele] má vnútorný priemer asi 10 mm. Na konci je z obidvoch strán zrezaná pod uhlom 45° .

Pri laboratórnych pokusoch sa zistilo, že vzduchové bubliny, vznikajúce v tekutine pri prevzdušňovaní obsahu kade, pôsobia proti výstupu vzduchu z meracej trubice, čo skresluje údaje manometra.

Urobili sa pokusy s rôznym zakončením meracej trubice za účelom odstránenia vplyvu prevzdušňovania tekutiny v kadi na meranie. Najvhodnejšou a najúčinnnejšou ochranou proti vplyvu prevzdušňovania je puzdro tvaru skúmavky (obr. 1) o výške 50 až 70 mm, ktoré má vnútorný priemer o 5 až 10 mm väčší, ako je vonkajší priemer trubice. Dno puzdra musí byť vzdialené 10 mm od spodného okraja meracej trubice a je opatrené dvoma až štyrmi otvormi o priemere 1 mm, ktoré slúžia na odtok tekutiny pri klesnutí hladiny pod koniec trubice. Pri meraní s takto upravenou meracou trubicou prevzdušňovanie obsahu kade, ako sme zistili, vôbec nevlýva na meranie.



Obr. 3. Příklad zariadenia umožňujúceho zmenu sklonu ramena

Keďže toto zariadenie sa prakticky vyskúšalo pri keramickom, veľmi jemnom prevzdušňovaní, bude ešte potrebné vyskúšať, ako vplyva na meranie trubicový dierkový vetrací systém, pri ktorom dochádza k intenzívnejšiemu pohybu fermentovanej tekutiny. Nevyriešenou otázkou zostáva, aký vplyv na meranie bude mať vetranie za súčasného miešania.

7. *Trojcestný kohút H* — najlepšie trojcestný upchávkový ventil alebo kohút používaný na stavovznakoch parných kotlov.

Funkcia merača, postup pri meraní a kalibrácii

Najprv sa presvedčíme, či trojcestný kohút je v polohe, ktorá umožňuje prechod vzduchu smerom *meracie potrubie* — *meracia trubica*. Otáčaním skrutky ihlového ventilu doľava naregulujeme podľa počtu bublín v kontrolnom prebublávači potrebný prietok vzduchu. Privádzaný vzduch vytlačí tekutinu z meracej trubice a súčasne vytlačí i ortuť z nádoby manometra do jeho skloneného ramena.

Ortuť v manometri stúpa dotiaľ, kým sa tlak vzduchu nevyrovná hydrostatickému tlaku tekutiny. Potom už pri ďalšom privádzaní vzduchu ortuť nestúpa a privádzaný vzduch uniká v podobe bublín z meracej trubice.

Spočiatku kým vytlačíme tekutinu z meracej trubice, môžeme naregulovať aj väčší prietok vzduchu (počet bublín i nad 100 za min). Vytlačenie tekutiny z meracej trubice poznáme podľa slabého „pulzovania“ ortuti v ramene manometra (ak z meracej trubice unikne bublina vzduchu, ortuť

nepatrne poklesne). Ak spozorujeme „pulzovanie“, zmenšíme ihlovým ventilom prietok vzduchu na potrebnú mieru (počet bublín asi 60 za min) a odčítame. Už na tomto mieste treba upozorniť, že spoľahlivosť meracieho systému závisí od dokonalej tesnosti celého zariadenia, o ktorej sa môže presvedčiť týmto spôsobom:

Privádzaním vzduchu vytlačíme ortuť na ľubovoľný dielik stupnice manometra. Po zastavení prítoku vzduchu musí ortuť zostať na tom istom dieliky stupnice. Ak ortuť klesá, je to znakom netesnosti.

Kalibráciu uskutočňujeme tak, že kaďu plníme na odmerané alebo vypočítané objemy, ktoré chceme sledovať a pri tom robíme meranie. Po naplnení opakujeme meranie sledovaných objemov pri vypúšťaní. Keď chceme, aby mm ortuťového stĺpca znamenali celé jednotky, tj. objemové jednotky alebo cm tekutinového stĺpca, upravíme sklon ramena manometra pomocou zariadenia znázorneného na obr. 3.

Súhrn

Bolo opísané zariadenie pre pomerne spoľahlivé meranie hladiny (objemu) pri droždiarenskom kvasení na princípe hydrostatického tlaku, ktoré možno využiť vo všetkých prípadoch, kde ide o meranie hladiny (objemu, váhy) tekutiny v nádobách, ktoré majú vo vertikálnom smere konštantný prierez. Podmienkou spoľahlivej funkcie zariadenia je dokonalá tesnosť všetkých spojov a dodržanie experimentálne zisteného množstva vzduchu privádzaného do meracej trubice.

Došlo do redakcie 30. 1. 1959.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ И ОБЪЕМА БРОДЯЩЕЙ МАССЫ НА ДРОЖЖЕВЫХ ФАБРИКАХ

MESSUNG DES FLÜSSIGKEITSSPIEGELS (VOLUMEN) BEI DER GÄRUNG IN HEFENFABRIKEN

MEASURING THE LEVEL AND VOLUME OF FERMENTING SUBSTANCES IN YEAST PLANTS

В статье описывается прибор разработанный для измерения уровня и объема бродящей массы на дрожжевых фабриках, дающий сравнительно точные результаты. Прибор работает на принципе определения гидростатического давления. Его можно с успехом использовать во всех случаях, где требуется определить уровень, а следовательно и объем и вес, жидкостей находящихся в сосудах с постоянным сечением в вертикальном направлении. Предпосылкой правильной функции прибора является герметичность всех соединений и точная подача в измерительную трубку количества воздуха рассчитанного на основании экспериментов.

Es wird eine Einrichtung zur verhältnismässig exakten Messung des Flüssigkeitsspiegels (Volumen) bei der Gärung in den Hefefabriken beschrieben. Die Einrichtung, die auf dem Prinzip des hydrostatischen Druckes beruht, kann überall benützt werden, wo es sich um Messung des Flüssigkeitsspiegels (Volumen, Gewicht) in Gefässen handelt, welche in vertikaler Richtung einen konstanten Querschnitt haben. Bedingungen für die verlässliche Funktion der Einrichtung sind: die vollkommene Dichtigkeit aller Verbindungen und Einhaltung der experimentell festgestellten Luftmenge, welche in das Messungsrohr eingeführt wird.

The article deals with a device developed for comparatively reliable measuring of level and volume of fermenting substances in yeast plants. The apparatus is based upon the principle of hydrostatic pressure and can be successfully applied everywhere for measuring the level, and consequently volume and weight, of liquids contained in vessels with constant cross-section in vertical direction. On the main conditions for obtaining reliable readings is perfect tightness of all connections. Further it is necessary to supply into the measuring tube precisely the quantity of air determined by experiments.