

Kontinuální výrobní postupy v kvasném průmyslu*)

JOSEF DYR, Katedra kvasné chemie a technologie při VŠCHT, Praha

683.15

Domnívám se, že význam kontinuální výroby není potřeba objasňovat ani zdůrazňovat, poněvadž tak bylo učiněno již mnohokrát z nejrůznějších hledisek. Ve svém sdělení chci hlavně poukázat na specifickou druhou kvašení i procesů, které s kvašením souvisí (např. příprava kvasného prostředí, účel, který se sleduje, faktory, které ovlivňují kontinuální výrobu apod.).

Dosti dobře jsou kontinuální pochody propracovány v lihovarství a drožďařství, spec. při výrobě krmného droždí. Již při těchto dvou výrobcích je podstatný rozdíl v účelu, zaměření a způsobu, jakým výrobu řídíme. V lihovarství se sleduje množství metabolitu získaného z dodaného substrátu, tedy změnou kvality výslovně kvantitativní výsledek. Mikroorganismus zde využívá dodaného cukru převážně jako energetického materiálu a vzniklý produkt alkoholické glykolýzy je ještě energeticky bohatý. Mikroorganismu je zde využíváno jako nosiče biokatalyzátorů umožňujících změnu cukru v ethanol a proto je snahou kvasné technika omezit všechny ostatní reakce, tedy i syntézu živé hmoty kvasinek tak, aby v optimální době vzniklo maximum alkoholu. Mikroorganismus je v tomto případě nutným prostředkem, nikoliv účelem.

Energetický zisk při alkoholovém kvašení je poměrně malý (2 makroergické vazby $\sim P$ po 12 000 cal/mol); značná část uvolněné tepelné energie se ztrácí vyzářením, zbytek je v anaerobním prostředí transformován v syntetizovaných polymerních látkách — při metabolismu. Právě s ohledem na uvedené skutečnosti je lihové kvašení z hlediska mikroba neekonomické, spotřeba substrátu asi 16krát větší než při aerobní glykolýze, což podstatně odlišuje způsob výroby alkoholu od výroby droždí — i když se popř. používá téhož mikrobu, *Saccharomyces cerevisiae* nebo *S. carlsbergensis*.

Při výrobě droždí jsou poměry zcela jiné. Zde je prostředkem i účelem produkce biomasy a potlačení produkce jakýchkoli metabolitů s určitým obsahem energie. Vznikající kyslíčnick uhlíčitý je energeticky bezvýznamný. Početně větší část uhlíku z dodaného zdroje je inkorporována v systému buňky cestou Krebsova cyklu (např. ketokyseliny jako prekursorů aminokyselin) nebo i jinou cestou, např. přímou

*) Předneseno na 3. pivovarsko-sladařském semináři pořádaném Čs. VTS v Plzni 9. XII. 1960.

oxydaci, kdy se získává nejen vysoký energetický výtěžek, ale uplatňuje se i při syntéze pentos pro nukleové kyseliny, koenzymy apod. Skutečně bylo zjištěno, že cestou přímé oxydace za aerobních podmínek je glukóza metabolizována u *Saccharomyces cerevisiae* z 0 až 30 %, u *Torulopsis* z 30 až 50 %.

Zdá se, že kontinuální kvašení bylo s úspěchem zvládnuto všude tam, kde účelem je získat maximální produkci biomasy — kvasinek, i jiných mikrobu. Za příznivých kultivačních podmínek lze udržovat mikroby při kontinuálním kvašení stále ve stadiu exponenciálního množení a vztah mezi dobou rychlosti růstu a substrátem lze vyjadřovat s dostatečnou přesností i matematicky.

Za optimálních podmínek lze např. zjistit množství kvasinek po čase t z rovnice:

$$X = X_0 e^{\mu t}$$

kde X_0 je množství kvasinek na počátku,

X — množství kvasinek po době t ,

μ — růstový koeficient, závisící na daných podmínkách, tj. principiálních faktorech, z nichž ani jeden nesmí být limitující.

Z uvedené rovnice potom vyplývá i rychlost růstu:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X_0 e^{\mu t} = \mu X; \mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{dX}{dt}$$

Integrací této rovnice lze potom vyjádřit hodnotu μ . Při tvorbě biomasy za vysloveně aerobních podmínek byla nalezena i závislost mezi asimilací cukru a rychlostí růstu. Vychází se ze zjištění, že z každé molekuly cukru jsou $\frac{1}{2}$ uhlíku inkorporovány v kvasince a $\frac{1}{2}$ přechází do kyslíčnicku uhlíčitého. Z toho vyplývá, že na 1 g kvasničné sušiny je zapotřebí 1,767 g hexózy. Proto váha cukru r , asimilovatelného kvasinkami za t , je 1,767krát váha vytěžených kvasinek

$$r = 1,767 (X - X_0), \text{ neboli } r = 1,767 X_0 (e^{\mu t} - 1)$$

Rychlost asimilace cukru v určitém časovém intervalu je

$$\frac{dr}{dt} = 1,767 \mu X_0 e^{\mu t} = 1,767 \mu X$$

Značně komplikovanější jsou vztahy za anaerobních podmínek, kde nutno sledovat produkci alkoholu i produkci biomasy ze stejného uhlíkatého zdroje.

Dalším typem kvašení jsou reakce podmíněné sice aerobním prostředím, ale nevedoucí k totální oxidaci substrátu nebo biosyntéze, nýbrž k látkám energeticky ještě významným. Je to kvašení citronové, ketokvašení, glukonové, fumarové, itakonové, konečně i octové apod. Mechanismy změn substrátu se liší, účelem je však opět metabolit s upoutanou energií.

Jiným typem kvašení je chemická transformace substrátu bez nám zřejmého účelu pro mikroba. Mám na mysli např. mikrobiologickou transformaci steroidů. Mikroby jsou schopny kvalitativně měnit substrát (steroid) oxydoredukčními reakcemi až k výslednému produktu. Jde o oxydace sekundárně alkoholické skupiny na ketoskupinu, vznik dvojné vazby mezi uhlíky steroidního skeletu, zavádění hydroxylové skupiny do různých poloh steroidu, zavádění kyslíku, hlavně do polohy 11, odštěpování postranních řetězců, otvírání D kruhu atd. Je zřejmé, že tyto reakce katalyzované určitým mikroblem a probíhající v určitých stadiích jsou zcela jiného typu než kvašení lihové, kyselinotvorné, nebo droždářské a řízení kontinuálních procesů bude vyžadovat specifických podmínek.

Také kontinuální výroba antibiotik, pokud se týče kvasného procesu, má své specifické podmínky i když nynější pokusy nasvědčují, že úkol je řešitelný. Pozoruhodnější výsledky jsou zatím známy z pokusů při výrobě penicilinu a chloramfenikolu. Např. při výrobě penicilinu jsou zkoušeny dva směry: Při prvním způsobu je narostlé mycel poutáno na nosiči (obdobu octogenerátoru) a substrát stále proudí přes mycel.

Podle patentu *Liebmann*a se kvasí ve dvou stupních: v první nádobě se propaguje plíseň a tvoří se jen asi 150 až 250 jednotek/ml, ve druhé nádobě substrát zcela prokvašuje.

McDaniel navrhuje polokontinuální způsob v jedné nádobě. První 2 až 3 dny se kvasí submersně a těsně před dosažením maxima produkce penicilinu se 20 % obsahu odtáhne a fermentor se doplní čerstvým živným roztokem. Opět po dosažení maximální hranice se 20 % odtáhne. To lze opakovat tak dlouho, pokud produkce neklesá. Jeden cyklus (doba odtahu) trvá 5 až 6 hod.

Velmi přesné studie byly provedeny při výrobě penicilinu a chloramfenikolu. Poloprodukt byl plně automatizován pro vzduch, plnění, odebírání vzorků, řízení teploty, pH, pneumatickou přepravu roztoků mezi nádobami apod. Limitujícím faktorem byla kontaminace. U chloramfenikolu byla produkce stejná jako při normální fermentaci, u penicilinu se dosáhlo dvojnásobné produkce ve srovnání s periodickou fermentací (vztaheno na kapacitu, nikoli na obsah antibiotika v 1 ml).

O řešení otázek při průtokové kultivaci mikrobů, tj. záměrné tvorbě biomasy se zasloužilo mnoho významných badatelů, jako *A. Novick*, *J. Monod*, *J. Málek*, *D. Jerusalimski*, *K. Andrejev*, *M. Kaljužnyj*, *D. Herbert*, *K. Butlin* a jiní.

Tito pracovníci stanovili několik postulátů, které jsou za určitých podmínek vodítkem i pro jiné procesy než kontinuální kultivace.

Má-li se udržet objem v kultivačních nádobách konstantní, musí do nich přitékat živná půda stálou rychlostí f , a také stejnou rychlostí vytékat. Pro rychlost množení mikrobů je důležitý poměr objemu živné půdy přitékající za jednotku času t k objemu půdy v nádobě. Pro tento poměr byl zaveden pojem zředovací rychlost D a je dán vztahem

$$D = \frac{f}{v}$$

Reciproká hodnota $\frac{1}{D}$ udává potom dobu, za kte-

rou se objem vymění a je totožná s tzv. střední generační dobou v daných podmínkách kultivace. Předpokladem ovšem je, že hustota mikrobů se nemění. Je-li koncentrace mikrobů v živné půdě x a jejich množení se zastaví aniž by se zastavil přítok živné půdy, dojde k jejich vyplavování určitou rychlostí (tzv. vyplavovací rychlost) danou vztahem

$$\frac{dx}{dt} = -Dx$$

Mezi růstem a spotřebou substrátu je jednoduchý vztah

$$\frac{dx}{dt} = -Y \frac{ds}{dt}$$

kde Y je tzv. výtěžková konstanta a s je substrát. Regulaci množství mikrobů v kultivační nádobě lze ovládat koncentrací přiváděného substrátu s_R , velikostí objemu kultivační nádoby v a přítokovou rychlostí za hodinu f .

Předpokládejme, že bakterie v kultivační nádobě rostou rychlostí jako při statické kultivaci v exponenciální fázi.

$$\mu = \frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{dt}$$

V kontinuálním systému jsou mikrobi současně vyplavováni a sice rychlostí Dx . Platí tedy: přírůstek bakterií se rovná jejich množení minus vyplavené množství:

$$\frac{dx}{dt} = \mu x - Dx \quad (1)$$

Teoreticky mohou nastat tyto případy:

1. Je-li $\mu > D$, je hodnota $\frac{dx}{dt}$ kladná a koncentrace mikrobů v nádobě stoupá.
2. Je-li $\mu < D$, hodnota $\frac{dx}{dt}$ je záporná a koncentrace mikrobů v kvasném systému klesá.
3. Je-li $\mu = D$, hodnota $\frac{dx}{dt} = 0$, koncentrace mikrobů v kvasných nádobách je stálá, má hodnotu x a je dosaženo rovnovážného stavu. Specifická rychlost růstu se rovná rychlosti vyplavování.

Pro úspěšnou kontinuální kultivaci je nutno udržet rovnovážný stav. Je především zapotřebí zjistit jak zředovací rychlost ovlivňuje rychlost množení mikrobů. Za tímto účelem je třeba vědět, jak zředovací rychlost ovlivňuje koncentraci substrátu. *Monod* již v r. 1942 ukázal, že mezi specifickou rychlostí růstu a koncentrací substrátu je velmi jednoduchý vztah:

$$\mu = \mu_m \frac{s}{K_s + s}$$

kde s je koncentrace substrátu,

μ_m — růstová konstanta, tj. maximální hodnota specifické rychlosti růstu μ při nadbytku substrátu,

K_s — tzv. saturační konstanta při níž se

$$\mu = \frac{1}{2} \mu_m$$

Jestliže se v kontinuálním systému ustaluje rovnováha mikrobiální sušiny, potom je koncentrace substrátu v nádobě ovlivněna koncentrací přitékajícího média (s_R), rychlostí spotřeby substrátu a zře-

řovací rychlostí. Bilanční rovnice pro změnu koncentrace substrátu je dána vztahem:

$$\frac{ds}{dt} = Ds_R - Ds - \frac{\mu x}{Y} \quad (2)$$

Z toho vyplývá, že změna koncentrace substrátu v časovém intervalu dt je rovna množství přitékajícího substrátu zmenšenému o množství odtékajícího substrátu a substrát spotřebovaný kulturou.

Základní rovnice pro kontinuální kultivaci se získá z rovnice (1) a rovnice (2):

1. Pro přírůstek mikrobů:

$$\frac{dx}{dt} = x \left[\mu_m \left(\frac{s}{K_s + s} \right) - D \right]$$

2. Pro změnu koncentrace substrátu:

$$\frac{ds}{dt} = D(s_R - s) - \frac{\mu x}{Y} \cdot \frac{s}{K_s + s}$$

Při užití těchto rovnic pro rovnovážný stav $\left(\frac{dx}{dt} = 0 \right)$

a $\left(\frac{ds}{dt} = 0 \right)$ lze sestavit rovnici pro rovnovážnou koncentraci substrátu v kultivačním prostředí (\bar{S}) a pro rovnovážnou koncentraci sušiny mikrobů v kultivační nádobě (\bar{X}).

$$1. \quad \bar{S} = K_s \frac{D}{\mu_m - D}$$

$$2. \quad \bar{X} = Y(s_R - \bar{S}) = Y \left(s_R - K_s \frac{D}{\mu_m - D} \right)$$

Z těchto rovnic lze vypočítat předem \bar{S} a \bar{X} , je-li dána počáteční koncentrace substrátu, zvolena ředovací rychlost a známe-li hodnoty μ_m , K_s a Y . Také je možné vypočítat potřebnou ředovací rychlost tak, aby vznikalo žádané množství mikrobiální sušiny.

Při kvašení, kde se substrátu užívá různým směrem nebo kde substrát není zdrojem pro syntézu biomasy ani jako energetický materiál, mohou nastat poměry odchylné od předešlých předpokladů. Např. při syntéze riboflavinu dochází k jeho zřetelné produkci až po vyčerpání uhlíkatého zdroje ze substrátu. U lihového kvašení není podmínkou množení kvasinek, k alkoholické glykolýze dochází při konstantní kvasničné sušině; bez množení.

Toto však není závažné a vhodným uspořádáním kvasného systému lze se opírat o zmíněné vztahy. Závažnější je okolnost, že kontinuální kvasný proces může značně ovlivnit např. výtěžky žádaného metabolitu (např. snížit výtěžnost lihu) nebo nepříznivě ovlivnit kvalitu biomasy (např. pekařské droždí). Je proto nutné řešit kvasný pochod z více hledisek než jen ukazují práce dříve zmíněných autorů a ve stručnosti uvedené matematické vztahy. Nemusí stačit pouze regulovat průtok, aby nedocházelo k vyplavování nebo koncentrování mikroba. Důležité je zachování optimální produkční schopnosti mikroba pro požadovaný metabolit, rychlost produkce metabolitu a omezení tvorby vedlejších metabolitů a biomasy.

V dalším bude stručně poukázáno na problémy souvisící s kontinuální výrobou v jednotlivých kvasných oborech.

Drožďářství

V drožďářské technologii můžeme s výhodou použít dříve uvedených matematických vztahů zvláště při výrobě droždí krmného. Skutečně také kontinuální výroba krmného droždí je známá a realizovaná v provozním měřítku více než 20 let. Bylo

prokázáno, že lze zde s výhodou využít lépe i diauxie, zvýšit kapacitu kvasného objemu, snadněji řídit, ovládat i stabilizovat výrobu. Počínaje přípravou zápary až po konečný produkt, tj. sušené droždí, lze provádět plynule a automaticky. Poněkud specifické jsou podmínky při zavedení kontinuálního kvašení s vracenými odseparovanými záparami podle patentu ČSSR 93376. Výroba pekařského droždí kontinuálním kvašením není dosud uspokojivá.

Kromě maximálních výtěžků nutno respektovat i kvalitu droždí z hlediska trvanlivosti, kynutí apod. Sladit uvedené zásady se u pekařského droždí dosud beze zbytku nepodařilo. Podrobný popis výroby pekařského droždí uvádí A. J. C. Olsen v Chemistry and Industry 1960, No 16 "Manufacture of Baker's yeast by continuous Fermentation".

Lihovarství

Je pozoruhodné, že tak poměrně jednoduchá výroba, při níž jediným ukazatelem je množství získaného ethanolu z dodaného cukru, nebyla dosud uspokojivě vyřešena. Právě pro nižší lihové výtěžky, jakých se dosahuje např. vratnou separací kvasinek. Při kontinuálním lihovém kvašení se snižují výtěžky o 1 až 3 % obj. Vysvětlení není dosud uspokojivé a proto není snadná ani náprava. Skutečností je, že vzniká nadbytečná produkce kvasinek a že vzniká i více vedlejších produktů, jako např. glycerol. Limitujícím faktorem by mohl být např. nedostatek dusíku, což ovšem by bylo u používané suroviny značně nesnadné. Vzácněji se setkáváme s případem vyplavování kvasinek, tedy podle pří-

padu, kdy μ je menší než D a hodnota $\frac{dx}{dt}$ záporná.

Vážným faktorem v těchto případech ($\mu > D$ a $\mu < D$) je způsob přivádění melasového roztoku, jeho koncentrace a rozdělování do jednotlivých členů kvasného systému. Pro sledování změn v průběhu kvašení byl vyvinut kolonový, vertikální způsob (Čs. patentu 86833). Počínaje přípravou zápary a konče finálním produktem, tj. čistým lihem, lze celou výrobu převést na kontinuální a plně automatizovat.

Uspokojivě probíhá kontinuální lihové kvašení v sulfitových lihovarech, kde fermentory jsou spojeny v baterii a opatřené agitátorem. Při některých způsobech se využívá principu octogenerátoru, tj. upoutaných kvasinek na náplň fermentoru.

Podobným způsobem, tj. upoutaným kvašením, lze vyrábět i kyselinu glukonovou.

Organická rozpouštědla (butanol, aceton)

V tomto kvašení byly získány potřebné podklady pro zavedení plynulého kvašení. Zvláštní pozornost bylo nutno věnovat fázovitosti kvasného procesu a respektovat především fázi množení bakterií (tzv. stadium kyselinotvorné). Toto stadium musí být striktně odděleno od stadia produkčního (redukčního), nemá-li ve velmi krátké době dojít k degeneraci bakterií, zastavení jejich růstu a převedení ze stadia narůstání kyselosti (I. nádoba) do stadia produkčního (II., ev. III. nádoba). S ohledem na tuto skutečnost je třeba dobře volit jak průtokovou rychlost tak rozměry jednotlivých členů kvasného systému.

Ocet a organické kyseliny

Je pozoruhodné, že se zcela upustilo od výroby octa na Schürenbachových očetnicích, které dovalovaly určitou kontinuitu a přešlo se na velkoocetnice; octogenerátory, dovolující plnou automatizaci i vyšší výtěžky. Nově zaváděný způsob submersní

probíhá dosud převážně periodicky. Bylo vypracováno několik metod pro kontinuitu, např. propojením více octogenerátorů.

Při výrobě organických kyselin, jmenovitě citrónové, nebylo dosud dosaženo žádných výsledků a nelze ani tento úkol řešit, dokud nebude zavedena výroba submersní.

Slibných výsledků bylo dosaženo v laboratorním měřítku při mléčném kvašení. Zdá se, že používané laktobacily jsou zvláště vhodné pro použití v kontinuálním procesu kvašení. Zachovávají velmi dlouho svoji vitalitu a nedegenerují. Dosud nedorušeným úkolem zůstává vhodná rozličná velikost kvasných nádob a účelné přiživování i neutralizace média. Whittier a Rogers již v r. 1931 realizovali kontinuální výrobu kyseliny mléčné ze syrovátky za použití *L. bulgaricus*. Dosahovalo se 80 % teoretického výťažku při průtokové rychlosti 1 objemu/24 hod. Přesto, že se dosáhlo příznivých výsledků, byla výroba zastavena. Kvašení bylo rušeno řadou vedlejších reakcí, které nebylo možno odstranit. Na melase konal pokusy Lendeking s použitím *L. delbrückii* ve víceúrovňovém fermentoru.

Vinařství

Uspokojivě bylo vyřešeno kontinuální kvašení ovocných vín na víceúrovňovém fermentoru. Révová vína se dosud kontinuálně nekvasí, vzhledem k citlivosti a ovlivnění charakteru typu vína.

Glycerin

Také tato výroba dává předpoklady pro kontinuální proces za využití odseparovaných kvasinek i použití vyizolovaného siřičitanu. Nasvědčují tomu pokusy při nichž (v provozu) bylo použito mnohonásobného rozdělování obsahu kvasných kádí za doplňování odpadajících kvasinek (asi 2 %).

Pivovarství

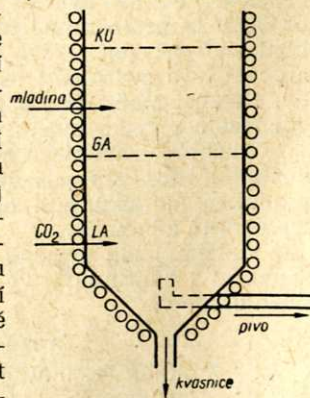
Vzhledem k shromážděným pracovníkům z pivovarství rád bych se déle zdržel u kontinuální výroby piva. Myslím, že podobně jako vinařství, má výroba piva zcela zvláštní požadavky na celý kontinuální postup a navíc ještě oproti vinařství specifické požadavky na výrobu suroviny (sladu) a na přípravu kvasného prostředí (mladiny). Je zřejmé, že v pivovarství musí být respektováno mnoho ukazatelů kvality i hospodárnosti, počínaje již máčením ječmene, přes klíčení, hvozdnění, mletí, rmutování, chmelovar, chlazení, hlavní kvašení, dokvašování a zrání piva. Každý jednotlivý z uvedených procesů může znatelně ovlivnit kvalitu piva a proto je ho nutno řešit při kontinuální výrobě samostatně, i ve vztahu k ostatním. Tyto úzké vztahy jsou známy každému pivovarníku. Je také známo, že lze, alespoň do jisté míry, každým následujícím úsekem výroby korigovat eventuální nedostatky při procesu předcházejícím a tak nakonec dospět k jakémusi průměru kvality. Zdá se, že při celokontinuální výrobě piva, má-li se dospět k dostatečné plynulosti, nebude snadné pronikavěji měnit jeden postup, aniž by se narušil potřebný sled. Mám na mysli především kolísající kvalitu ječmene, popř. sladu. Také změna výrobku (různá stupňovitost, barva), zvl. v krátkých intervalech, bude vyžadovat zvláštního řešení, např. více kontinuálních linek vedle sebe, nebo podstatné omezení v sortimentu. Je možné, že si kontinuální výroba vynutí zcela jiné nazírání na rmutování, chmelovar, chlazení, kvašení apod., a pronikavě změní strojní uspořádání, rozměry, doby i teploty.

Nebylo by jistě problémem zavést kontinuální výrobu piva, kdyby nebylo nutno tak úzkostlivě dbát

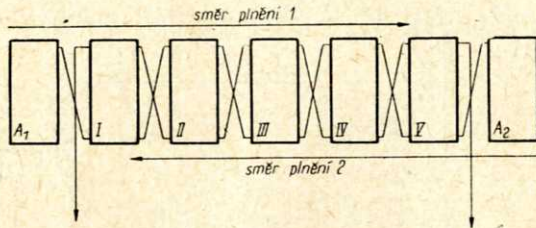
na jeho kvalitu, na tradiční znaky českého piva, které si stále udržuje světovou pověst. Proto každému zásahu do tradiční technologie musí předcházet velmi bedlivá studia příslušného výrobního procesu a podle výsledku výzkumu navrhnout změny v souladu s kontinuitou. Že k hlubokým změnám v látkové výměně dochází (ve srovnání se stacionárním postupem) bylo prokázáno např. při hlavním kvašení provedeném kontinuálně a následujícím dokvašování a zrání piva provedeném stacionárně. Zatím, co pivo vyrobené stacionárně při hlavním kvašení potřebuje k dokvašení a dozrávání několik týdnů nebo i měsíců, pivo z kontinuálního hlavního kvašení dosahuje ve sklepě stejné kvality za několik málo dnů.

Snaha zavést alespoň u některých operacích kontinuitu se neobjevuje teprve v posledních letech. Je známé, že v některých západních zemích, hlavně USA, Kanadě, byly vypracovány a zavedeny postupy jak pro sladování, tak pro vlastní výrobu piva. O podstatné většině různých způsobů a návrhů referuje F. Hlaváček v *Kvasném průmyslu* 5, 227, 250 (1959). Z jiných způsobů si zasluhuje pozornosti jednonádobový podle Waterplantera (USA) kde v jedné nádobě vysoké 10 m probíhá hlavní kvašení i dokvašování piva. Způsob využívá různé spec. váhy, vznikající jednak kvašením, jednak teplotou. Schéma je patrné z obr. 1. Kvasná nádoba je rozdělena na tři oddělení, nazvaná *Kühlung*, *Gärung* a *Lagerung* (spojením vždy dvou prvních písmen vznikne název Kugala, podle kterého je způsob publikován). Celá kád je povrchově chlazená potrubím. Do dolní části, která nahrazuje ležácký sud se přidává kysličník uhličitý. Poněvadž se mladina na rozhraní *Kü* a *Ga* prudce zahřeje a doleji chladí, proudí mladina směrem dolů do *Ga* a při dalším zchlazení do *La*. Autor uvádí při tomto způsobu výjimečnou biologickou stálost, výbornou pěnívost i chuť piva a uvádí, že systém může být v chodu bez přerušení po několik let. I když tento způsob vyvolává určité rozpaky, je svým pojetím pozoruhodný a nutí k prověření. V USA byl již v r. 1941 popsán polokontinuální způsob, který v modifikaci katedry kvasné chemie na VŠCHT je znázorněn na obr. 2. Z baterie stejně velkých nádob první a poslední lze označit jako zákvasné (A_1 , A_2). Zakvašená mladina v zákvasové kádí A_1 je stále doplňována čerstvou mladinou. Po dostoupení hladiny k přepadnímu potrubí, plní se nádoba I., potom II., až předposlední V. Po naplnění systému (až na poslední nádobu A_2) se přítok mladiny zastaví. Nejdříve dokváší kád v pořadí předposlední (V), a postupně dokvašení má opačný směr než bylo plnění. Zatím co je kád V sudována a čištěna, plní se kád A_2 (zákvasná). Z ní potom se plynule naplňují obráceným směrem kádě v pořadí IV, III, II a I. Rychlost průtoku (celková doba kvašení) je závislá na dodržovaných teplotách, stupňovitosti mladiny, požadavku na stupeň prokvašení apod. Jednotlivé kádě mají samostatné chlazení, jímž lze regulovat kvasný proces i sedimentaci kvasinek.

Nevýhodou tohoto postupu je rozdílná doba



Obr. 1. Schéma kvasného tanku podle Waterplantera, tzv. způsob KUGALA



Obr. 2. Schéma polokontinuálního kvašení v modifikaci Katedry kvasné chemie a technologie VŠCHT

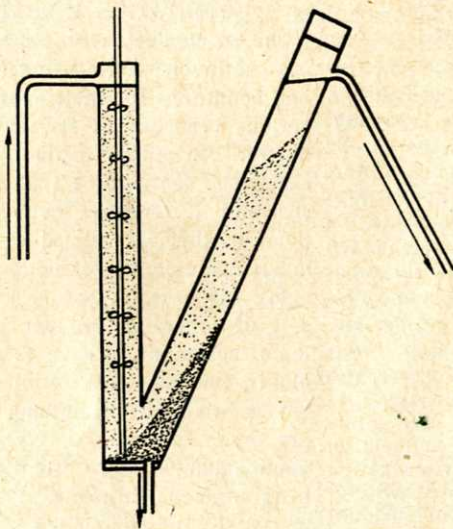
A₁ A₂ — zákvasné tanky; I-V — kvasné tanky

kvašení kontinuálního a stacionárního v jednotlivých kádích. Avšak vzhledem k plnění do tanků dochází k míchání a ev. různá kvalita se vyrovnává.

Hough a Ricketts uveřejnili kontinuální způsob kvašení ve dvou dole propojených válcích, z nichž první má míchadlo, patrně z obr. 3.

Podmínkou pro správný průběh kvašení je vhodný kmen kvasinek, které velmi dobře sedimentují. Po zakvašení systému se ponechají kvasinky rozmnožovat, až je dosaženo žádané hustoty a počnou sedimentovat. V té době se přivádí do prvního válce mladina za stálého míchání. Poněvadž ve druhém válci je mladina v poměrném klidu, kvasinky se usazují a odtékající mladé pivo má jen zcela malé množství kvasinek. Autoři uvádějí, že silně sedimentující kvasinky (při jejich nahromadění na dnu válce) zvýší produkci piva až patnáctkrát. Z popisu není jasné, jak usazené a jen málo vyměňované kvasinky ovlivní vlastnosti mladého piva. Dá se soudit, že při velkém nahromadění a malé výměně kvasinek dochází alespoň k částečné jejich autolýze. Tím se pivo obohacuje především o rozpustný podíl bílkovin (což může mít vliv na stabilitu piva) a také chuť i vůně piva může být ovlivněna.

Na Katedře kvasné chemie a technologie byla podle návrhu J. Dyrá konstruována aparatura na kontinuální rmutování (schéma obr. 4). Zatím, co nynější konstrukce odpovídají hlavně infúznímu způsobu rmutování, bylo snahou aparaturu přizpůsobit tak, aby byl zachován tradiční způsob rmutování dekockčního a přitom byla volitelná prodleva pro kyselinotvorný, bílkovintvorný a zcukřovací odpočinek a dextrinotvorná prodleva. Současně bylo



Obr. 3. Kontinuální hlavní kvašení, které navrhuji Hough a Ricketts

snahou považovat jen skutečně hustý podíl rmutu bez pluch a zachovat pro konečné dokvašování a štěpení výšemolekulárních látek pokud možno celý soubor enzymů obilky. Vzhledem k významu pH a jednotlivých frakcí bílkovin i pro koloidní stabilitu piva lze příslušné prodlevy libovolně prodloužit, což lze uplatnit i při různosti zpracovaných sladů.

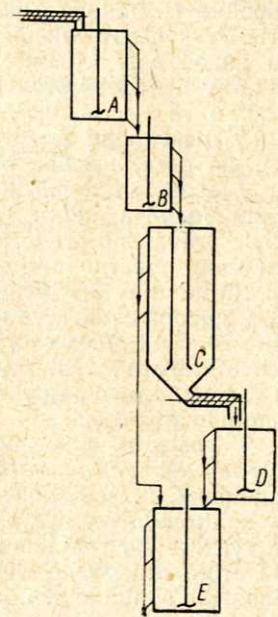
V první nádobě do níž je přiváděn sladový šrot s vodou lze podle potřeby dodržet kyselinotvornou prodlevu; druhá nádoba se stejným zařízením slouží k bílkovinnému odpočinku. Rmut stéká rourou ke dnu nádoby C. Špičky sladu a těžší podíly rmutu se usazují v konické části nádoby, odkud se šnekovým zařízením převádějí do varné nádoby D. Množství a resp. hustota tohoto podílu se řídí rychlostí šneku. K povrchu hladiny stoupají čisté pluchy a současně s jalovým rmutem stékají do varné nádoby E, kam také přepadá povařený hustý podíl. Podle potřeby v nádobě E rmut docukřuje. Informativní pokusy ukazují, že sladina se přinejmenším svojí kvalitou vyrovná mladině kontrolní a výtěžek extraktu se zvyšuje.

Byla také navržena kontinuální separace mláta a kontinuální chmelovar. Doposud však nemohly být provedeny orientační zkoušky.

Pokud se týče kvašení, je zajímavý i způsob, který zavedl Marton W. Coutts. Podle jeho australského patentu se dodržuje při kontinuálním přítoku kvasnic vyšší koncentrace kvasnic, vyšší kvasná teplota a míchání mladiny. Kvašení probíhá při 0 až 25° C. Množstvím kvasnic lze ovlivnit i chuť piva. Jejich rozmnožování se dá kontrolovat a řídit jejich koncentrací, teplotou a mícháním mladiny. Při obsahu 5 g/l v průtoku je pivo plnější a sladší, při 15 g/l je pivo více hořké a sušší. Prokvašené pivo se čerpá do separačního (usazovacího) tanku nebo přes odstředivku. Část separovaných kvasnic se použije znovu k zakvašení. Pivo prosté kvasnic se prohání kysličníkem uhličitým a převádí do sklepa.

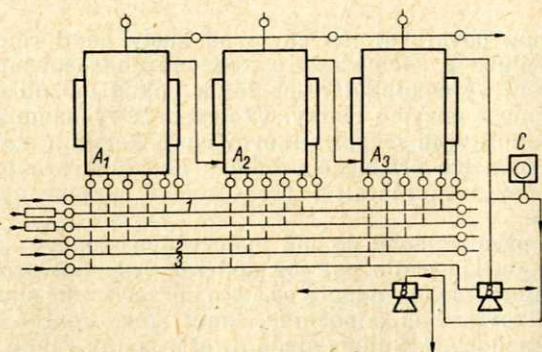
Na Novém Zélandu instalovaná kontinuální aparatura je sestavená ze dvou kádí, vyložených plastiglasem a je opatřena povrchovou hadovou temperací. Mladina se nejdříve chladí na bod blízký 0 (aby se vyloučilo pokud možno nejvíce koloidních látek) a při této teplotě se ponechá 48 hod. Potom se přivádí do fermentorů, kde se udržuje 15 až 17° C a asi 30 g kvasnic v litru (s 20 % sušiny). Prokvašené pivo stéká přes výměník tepla do separačního tanku. Z usazených kvasnic se část vrací. Pivo s asi 1 g/litr kvasnic se vede do ležáckých tanků.

Jiný princip vypracoval N. Geiger a J. Compton (Kanadský patent z r. 1957). Používají fermentorů rovněž povrchově chlazených a opatřených míchadlem; jak je patrné z připojeného schématu (obr. 5)



Obr. 4. Schéma kontinuálního rmutování

A — vystírání a kyselinotvorný odpočinek; B — bílkovinný odpočinek; C — zcukřování; D — vaření hustého rmutu; E — docukřování a dextrinotvorný odpočinek.



Obr. 5. Schéma kvasného systému podle Geigera a Comp-tona

A₁, A₂, A₃ — kvasné nádoby; B — separátory; C kontrola; 1 — vzduch, 2 — mladina; 3 — vracené kvasnice.

baterie má 3 členy. Z nich první pracuje hlavně jako propagátor, teplota se udržuje na 15° C a mírně se větrá. Se shora I. nádoby se vede mladina ke spodku II. nádoby a stejným způsobem do nádoby III. Prokvašené zelené pivo se vede přes separátor, z něhož část kvasnic se znovu použije. Mladina 11,6° v I. nádobě prokvasí na 8,9°, ve II. nádobě na 2,6° a ve III. na 2,5°. Systém je v rovnováze při 10 % lisovaného droždí (asi 500 mil. buněk v 1 ml), tj. asi desetinásobek obvyklého množství.

V laboratorním měřítku sledovali kontinuální kvašení Hough a Rudin. Schéma je na obr. 6. Kvašení bylo prováděno při 15 až 30° C. Průtok systémem se zvyšuje lineárně s teplotou. Při 25° C byl průtok u 10° mladiny 2,6 litrů za 24 hod. Zdánlivý extrakt v I. nádobě asi 5,3, ve druhé 2,8. Koncentrace kvasnic 20 až 25 g/l. Na tomto zařízení bylo možno pracovat několik týdnů při jediné inokulaci. Autoři uvádějí, že pivo se nelišilo od piva vyrobeného normálním způsobem.

V poslední době bylo publikováno v časopise *Revue des Fermentations* (1960, No 4) podrobné sdělení I. R. A. Pollocka (*La Brasserie en continu*) o kontinuální výrobě piva, s příslušnými analýzami a výkresy zařízení. Rmutování a chmelovar má zcela originální pojetí. Kvašení probíhá v jednom fermentoru s míchadlem, kvasinky jsou oddělovány separací.

Závěr

Z uvedeného přehledu je patrné, že snaha zavá-

НЕПРЕРЫВНЫЙ МЕТОД ПРОИЗВОДСТВА НА ЗАВОДАХ БРОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕН- НОСТИ

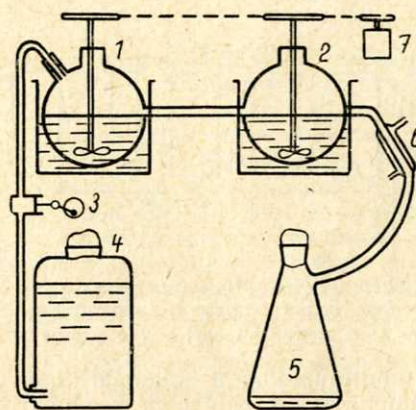
Автор занимается проблематикой технологии направленной на внедрение непрерывных броидильных процессов в разных отраслях броидильной промышленности. В статье объясняются отличительные знаки характеризующие разные виды процессов, результатом которых является в некоторых случаях получение определенного количества метаболита, как например на спиртовых заводах, в других случаях образование максимального количества биологической массы, что имеет место например при производстве дрожжей, коротко рассматриваются некоторые другие броидильные процессы т. е. производство уксуса, глицерина, органических кислот итп. Значительная часть статьи посвящена вопросам технологии непрерывного производства пива. Автор подчеркивает сложность проблемы вытекающую из специфичного вкуса чешского пива.

KONTINUIERLICHE PRODUKTIONS- VERFAHREN IN DER GÄRUNGSINDUSTRIE

Der Autor befasst sich mit der Problematik der kontinuierlichen Führung der Gärungsprozesse in den verschiedenen Gärungsindustriezweigen. Er erörtert die charakteristischen Unterschiede in den kontinuierlichen Prozessen, bei denen das gewünschte Ergebnis die Quantität des entstehenden Metabolits ist, wie z. B. bei der Alkohol-Erzeugung, oder die maximale Produktion der Biomasse, wie bei der Hefeproduktion. Zusammenfassend werden auch andere Gärungsprozesse, wie z. B. die Herstellung von Essig, Glycerin, organischen Säuren usw. angeführt. Der grösste Teil des Artikels ist der kontinuierlichen Bierfabrikation gewidmet. Es wird auf die Schwierigkeit der Lösung dieses Problems mit Rücksicht auf den charakteristischen Geschmack der böhmischen Biere hingewiesen.

CONTINUOUS METHODS IN FER- MENTATION INDUSTRY

The article deals with some problems of continuous fermenting processes and conditions for their application in various branches of fermentation industry. The author explains the characteristic features of typical processes and differences between them. Some of them are aimed at obtaining maximum amount of metabolite, this being the case of distilleries, the result of others is production of biological substance, as it is in yeast plants. Several other fermenting processes are briefly mentioned, as e.g. production of vinegar, glycerine, organic acids etc. Much attention is paid to continuous brewing. The author underlines the complexity of problem, aggravated by the characteristic taste and flavour of Czech beer.



Obr. 6. Schéma kontinuálního kvašení podle Hough a Rudina

1, 2 — fermentory; 3 — reciproké čerpadlo; 4 — mladina; 5 — pivo; 6 — chladic; 7 — pohon.

dět kontinuální metody je ve všech oborech kvasného průmyslu a že také v pivovarství bylo dosaženo značných pokroků — i když zatím nikoli pronikavých úspěchů. Je to způsobeno právě tím, že výroba piva zahrnuje řadu dílčích operací, z nichž každá se výrazně uplatňuje na kvalitě piva. Poněvadž pak charakter českého piva nesmí být narušen, je třeba k řešení kontinuálního procesu vyšetřovat nejdříve odděleně jednotlivé operace, potom vztahy mezi jednotlivými operacemi a podle výsledků výzkumu navrhnout vhodné řešení pro kontinuitu. Kromě jiného považují za velmi důležitý výzkum fyziologie kvasinek, jejich reakce na rovnovážný stav a tvorbu mutantů. Dá se soudit, že trvale rovnovážný stav ovlivní jejich biochemismus, který povede ke zvýšené tvorbě různých mutantů, degeneraci i jiným změnám. Také otázka kontaminantů může značně ovlivnit řešení kontinuity.

Každá kontinuita je úspěšná, je-li současně neměnná. Při výkyvech ve výrobě piva podle ročních období a hlavně klimatických podmínek je nutno zabývat se i takovým řešením provozu, aby byl splněn i požadavek snadno změnitelného výstavu piva.

Došlo do redakce 4. 1. 1961.