

Možnosti a potřeby strojního výzkumu pro realizace nových biotechnologií

Ing. JAROSLAV ŠVANDA, CSc., Výzkumný ústav chemických zařízení, Brno

Klíčová slova: zařízení pro biotechnologie, fermentory, separace bioproduktu, sušení, sterilace médií, filtrace vzduchu, vývoj zařízení pro biotechnologie, odpařovací zařízení, spotřeba energií, zkušební provoz, výkonové parametry

1. Úvod

Dlouhodobý komplexní program rozvoje a realizace biotechnologií na 8. a 9. pětiletku, předložený v červnu 1985 vládě ke schválení, je jasnou perspektivou bioprogramu v ČSSR. Aparátové nároky na strojní sféru nevyplývají pouze z tohoto programu, ale obsahují i kusové dodávky podle běžných obchodních případů, které nespecifikuje žádný program.

U nových neodzkoušených aparátů nebo aplikací technologických procesů ve vyvinutých zařízeních požaduje strojní výroba spolupráci strojního a chemicko-inženýrského výzkumu, který u převážné části zařízení pro biotechnologické linky zajišťuje VÚCHZ Brno. Jaké jsou možnosti této instituce, kterou má projít budoucí bioprogram před vlastní realizací?

2. Fermentory

Provozní odzkoušení 200 m³ zkušebního fermentoru v k. p. Seliko, v závodě Kojetín na výrobě krmných kvasnic ze syntetického ethanolu potvrdilo realnost dané koncepce fermentoru i splnění náročných technických parametrů.

U fermentoru nelze odzkoušet určité parametry na modelu. Zkoušky na provozních zařízeních jsou časově i finančně náročné. Při dobře připraveném zkušebním programu přinesou vždy dobrý ekonomický efekt.

Dnes je k dispozici nová koncepce fermentoru o objemu 200 a 800 m³ pro neaseptické provozy. Tato koncepce podle návrhu VÚCHZ nepoužívá reduktor otáček mezi elektromotorem a míchacím a aeračním systémem. Na hří-

deli, instalovaném zespodu nádoby, jsou umístěna nad sebou tři míchadla — aerační, homogenizační a vírník pro mechanické rozbíjení pěny a úpravu nátoku na střední homogenizační míchadlo. Homogenizace obsahu fermentoru je dosahováno cirkulací média vzestupem v části fermentoru u stěny a nátokem shora dolů ve střední části fermentoru ve vertikálně umístěném nátokovém válci, jehož horní hrana je výškově regulovatelná hydraulickým systémem, ovládaným čidlem, snímajícím výšku pěny.

V roce 1983 dal VÚCHZ podklady pro aseptický fermentor 150 m³ na submerzní výrobu kyseliny citrónové. V tomto případě obchodní zájem předběhl výzkum a výzkumný kolektiv ve spolupráci s VÚ LIKO má v programu proměřit a inovovat aseptické fermentory na kyselinu citrónovou s realizací při výstavbě nového závodu v Leopoldově.

Výsledky dosavadního výzkumu fermentorů ve VÚCHZ a úzká spolupráce s technologickými pracovišti v ČSSR potvrzují, že značná část provozovaných fermentorů nepracuje v optimálních parametrech. Jejich proměření a úpravou se dá zvýšit produkce, event. snížit energetické nároky.

Použitá koncepce míchadel u fermentorů 200 m³ dává na ethanolové technologii při běžné produkci přenosy kyslíku 150—180 mol O₂/m³.h. Změnou geometrických parametrů jednotlivých míchadel lze upravit podíl složky aerační a homogenizační. Přiblížením se k optimálním podmínkám snižujeme energetický příkon, který u těchto velikostí fermentorů s motorem o výkonu 200 kW je pro provozovatele významný. Při běžném provozu odebíral systém 2/3 z instalovaného příkonu.

Z výroby n. p. ZVÚ vyšla řada fermentorů. Mimo uvedené typy se na jejich proměřování VÚCHZ nepodílel. V blízké budoucnosti bude k dispozici řada fermentorů. VÚCHZ testuje procesy na svých laboratorních kovových fermentorech o objemu 50 a 100 l. Tyto fermentory nemají design, provedení a elektroniku jako dovážené laboratorní fermentory, používané ve většině technologických pracovištích. Lze však na nich měřit potřebná chemicko-inženýrská data pro orientační přepočít provozního fermentoru a určení potřebného příkonu elektromotoru. Zde je třeba upozornit, že se nejedná o univerzální zařízení, na kterém je možno otestovat každý proces. Zkušební zařízení neřekne nic o funkci a nárocích pomaluběžných fermentorů. Pro výzkumný kolektiv, který řeší ve VÚCHZ fermentaci, je velkým přínosem proto, že byl vytvořen odborníky, kteří se dříve zabývali mícháním a vývojem míchacích zařízení. Homogenizace fermentačního prostoru je jedním ze základních požadavků na konstrukci fermentoru.

3. Separace produktu

Je prokázáno, že úspěšně vyřešená separace produktu významně ovlivňuje ekonomiku procesu. Pochopitelně, že tento závěr platí pro velkokapacitní a středokapacitní výroby.

K orientační úvaze je možno vzít tento příklad. U odpařovacího uzlu se diskutuje, zda má spotřebu 0,3 kg páry na kilogram odpařené vody nebo 0,27 kg páry/kg o. v. Zařazením fluidní sušárny musíme počítat se spotřebou kolem 2 kg páry/kg o. v. Rozprašovací sušárny pracují se spotřebou nad 2,5 kg páry/kg o. v. Využití odpadního tepla u sušáren je spojeno s problémy únosu jemných frakcí ze sušáren a nalepování prášku na stěny výměníků, v mnohých případech je spojeno s ekologickými problémy.

Mechanická separace na odstředivkách je a bude záležitostí dovozu. Zcela jiná je situace u odpařování. ČSSR je schopno u těchto zařízení výzkumně a výrobně zajistit potřeby biotechnologického programu. VÚCHZ má zkušený kolektiv odborníků a širokou experimentální základnu. Byly vydány normy jak na trubkové odparky v Královopolské strojárně NKS 68 001-72, tak i na rotorové odparky ČSN 69 5159 a na vícestupňové odpařovací stanice ON 69 5105 a ON 69 5109. V minulosti nepřebírala výroba kusové požadavky na tyto aparáty. Pro dodávky celých biotechnologických linek se s vlastní výrobou odpařovacích uzlů počítá.

Je samozřejmé, že u vícestupňových stanic se počítá se zařazením termokompresoru. Máme již zkušenosti i s termolýzou zpracovávaného média jak v mlékárenském průmyslu, tak i při zpracování kvasničného mléka. Správně vedená termolýza potlačuje pěníení hlavně v prvním stupni odparky a snižuje inkrustaci pevné fáze na teplosměnných plochách.

Odpařovací linka na krmné kvasnici v SMC Paskov je v třístupňovém provedení s celkovou odpařovací plochou 590 m² a při spotřebě 0,28 kg páry/kg odpařené vody zahustí hodinově 24,4 t nástřiku ze vstupní koncentrace 14 % na výstupní koncentraci 25 % sušiny.

Jednoprocentní snížení koncentrace na výstupu z odparky sniží energetickou spotřebu páry asi o 85 kWh. Pro odstranění stejného množství vody v rozprašovací sušárně potřebujeme však 770 kWh. Pokud bychom v havarijním případě vyřazení odparky přiváděli produkt z odstředivky přímo do rozprašovací sušárny, musíme počítat na každou tunu usušeného produktu 4 600 kWh tepelné energie navíc.

4. Sterilizace kapalných médií

VÚCHZ zahrnul do svých programů výzkum a vývoj aparátů pro kontinuální sterilizaci médií. Zde se nebudě jednat pouze o potrubní trasu, kde se dosáhne tepelného ovlivnění médií po dobu 1/2 až 1 minuty při teplotách asi 130—140 °C, ale o celý energeticky náročný uzel, který bude obsahovat také aparáty pro zpětné využití tepla, dopravní čerpadla a hlavně měřicí a regulační techniku, která musí i při výpadku elektrického proudu zabránit proniknutí kontaminujících látek z kapalných médií do fermentačních prostorů.

Zcela jiná je otázka sterilizace médií a fermentorů u šaržového provozu malých objemů často ohřevem párou zaváděnou do pláště duplikátoru, kterou si musí určit technolog sám. V těchto případech se jedná o vhodnou kombinaci teploty a doby sterilizace pro danou technologii. Zde je nutno v provozu počítat s dlouhou dobou potřebnou na ohřev celého systému na předepsanou teplotu a téměř se stejnou dobou na opětovné zchlazení na fermentační teplotu.

5. Sterilizace vzduchu

Pro pracovníky vyvíjející zařízení pro sterilizaci vzduchu je řešení tohoto uzlu fermentační linky posuzováno z těchto hledisek:

— Velikost a členění zařízení podle potřebného množství sterilního vzduchu. Rozdělení celého procesu do vícestupňové filtrace je nutné z důvodu ochrany jemných koncových filtračních materiálů před znečištěním hrubými nečistotami, které jsou unášeny proudem vzduchu v potrubí od zdroje tlakového vzduchu. Počáteční stupně sterilační linky nebudou příliš náročné na investiční náklady ve srovnání s ostatními částmi celé linky, ale u velkých jednotek budou poměrně náročné na prostor. Filtrační náplně jednotlivých stupňů lze udržovat v provozuschopném stavu buď včasnou změnou vložek, kdy se nevyužije ve všech případech filtračních schopností použitých médií, nebo dostatečnou kontrolou mezních podmínek funkčnosti, což vyžaduje zvýšenou obsluhu nebo přístrojové vybavení.

Z konstrukčního hlediska je na celé trase nutno udržet přiměřenou těsnost, aby se do systému nedostal horší vzduch, než v daném místě systémem prochází.

— Zcela mimořádnou pozornost je třeba věnovat koncovému stupni a příslušné filtrační náplni. Četné výsledky laboratorních pokusů a testování nedají v každém případě odpovídající obraz provozních podmínek. Jak jednoduchá je projekční záležitost parních a vodních potrubí a přítom parní potrubí v provozu po jedné až dvou opravách se již běžně nedostanou do původního stavu. Zde nelze podceňovat ani mechanickou stránku věci, která podmiňuje dobrou funkci aseptického provedení.

Vlastní filtrační médium koncového stupně bude ještě dlouho záležitostí dovozu pro náročné provozy. Při rozšířeném bioprogramu v 8. a 9. pětiletce se vyplatí, aby v ČSSR bylo zřízeno všeobecně uznávané testovací centrum na kontrolu filtračních vlastností a schopností různých materiálů pro biotechnologie. Nákup filtračních vložek je dosud závislý na zkušenostech provozovatele, informacích z nabídkových prospektů a zkušebních testů vzorků v laboratorních podmínkách. Tento postup doporučujeme sjednotit a objektivizovat.

6. Separace a sušení produktu

Tato část výrobní linky je v provozu problematická. Nejčastěji se jedná o třístupňový proces, ve kterém se vyfermentované mléko nejprve mechanicky zbaví největšího podílu kapalně fáze na odstředivkách, dále ekonomicky zahustí na odparkách a neekonomicky usuší v rozprašovací sušárně. Náporný obraz dá příklad separace a sušení krmných kvasnic. Vyjdeme z koncentrace 20 g/l kvasnic, jak ji vyprodukuje fermentor, jejich zahuštění na 12 % sušiny na odstředivkách, zakonzentrování na 24 % na odparkách a vysušení na 92 % sušiny v rozprašovací sušárně.

$$\boxed{\text{fermentor}} \xrightarrow[2\% \text{ s}]{20 \text{ g/l}} \boxed{\text{odstředivka}} \xrightarrow[12\%]{\text{---}} \boxed{\text{odparka}} \xrightarrow[24\%]{\text{---}} \boxed{\text{sušárna}} \xrightarrow[92\%]{\text{---}}$$

Jaké množství kapaliny je třeba v tomto procesu v jednotlivých stupních odstranit, ukazuje *tabulka 1*.

Uvedená spotřeba energie nezapočítává energii na mechanický pohon odstředivky nebo dopravní čerpadla, vývěvu pro vakuové odpařování nebo pro rozprašovací mechanismus u sušárny atd.

Pro výpočet odparky byla vzata spotřeba topné vody 0,3 kg/kg odpařené vody a u sušárny 2,5 kg páry (ekvivalent) / na kg o. v. Údaj pro spotřebu sušárny udává spíše spodní limit. Přibližné srovnání spotřeby energie

Tabulka 1. Vztaženo na 1 t produktu o 100 % a. s.

Uzel/Vlhkost	Obsah kapaliny [t]	Množství odebrané kap. [t]	Spotřeba ¹⁾ energie [kWh]
Fermentor 98 %	49	—	—
Odstředivka 88 %	7,333	41,667	0
Odparka 76 %	3,166	4,167	700
Sušárna 8 %	0,086	3,080	4300

1) — pouze na odpaření vody

při zpracování 1 t produktu nám ukazuje, že sušárna odstraní asi o 25 % méně vody, avšak při 6násobné spotřebě energie.

Bude-li mít kvasničné mléko ve výstupu 13 % místo 12 %, ušetří se v odparkách 0,192 t páry/t produktu.

Jestliže bude z odparky vycházet koncentrát o sušině 25 % místo 24 % (při vstupní sušině 12 %), zvýší se spotřeba páry v odparce o 0,049 t/t produktu a sníží se spotřeba v sušárně o 0,415 t/t, což představuje absolutní úsporu 0,366 t páry/t produktu. Přepočteme na celkovou roční úsporu nám již ukazuje čísla, která stojí za zamyšlením. Toto zamyšlení v praxi znamená pouze pečlivě sledovat provoz a dodržovat vyprojektované a ověřené parametry.

Při havárii odparky a převedení její funkce na sušárnu, půjde 12 % kvasničného mléka přímo do sušárny (neuvažujeme-li kapacitní možnosti). Místo 700 kWh/t produktu a. s., které udává tabulka pro spotřebu odparky, je třeba přibližně počítat se zvýšením $2,5/0,3 = 8,3$ násobným, tj. 5800 kWh/t na odstranění 4,167 t vody/t produktu, které musí sušárna odpařit navíc a tedy její celková spotřeba by byla 10 000 kWh pro odpaření 7,427 t vody/t produktu. Zvolený příklad byl vzat z údajů blízkých projektovaným hodnotám.

7. Potřeby strojního výzkumu

Tato úvaha je dělána pro střední a velké technologické linky, vyvinuté v ČSSR. Rozdělením celého období výzkumu a výstavby nové linky na charakteristické dílčí úseky se dostáváme k úvahám, kdy má strojní výzkum vstoupit do spolupráce. Tyto úseky jsou:

- základní technologický výzkum,
- aplikovaný technologický výzkum,
- čtvrtprovozní strojní výzkum,
- poloprovozní strojně-technologický výzkum,
- zkoušební provoz výrobní jednotky.

V tomto rozdělení nejsou uvedeny projekční a výrobní složky, velmi důležité pro úspěch celé akce. Jedná se tedy jen o vazbu mezi strojním a technologickým výzkumem.

Jaké by měly být charakteristické výstupy těchto úseků?

- základní koncepce a bilance nové technologie,
- podklady pro investiční záměr,
- zpřesněné podklady pro projektový úkol,
- podklady pro výrobní dokumentaci,
- ověření garancí.

Z praktického hlediska se velmi osvědčilo, když aplikovaný technologický výzkum dal dostatečné podklady pro zpracování „procesní knihy“. Její obsah je dostatečným zadáním pro strojní výzkum. Již v několika případech zpracoval VÚAnCH v Ústí nad Labem tyto knihy a osvědčil se vstup tohoto neutrálního pracoviště mezi technologi a strojaře. Také obsah tohoto dokumentu nabyt již určité formy a poskytuje údaje pro první zpracování ekonomických rozborů. V žádném případě se nepřekládá, že by instituce zajišťující činnost v daném úseku mohla pracovat izolovaně a předávat výsledky pouze v písemné zprávě. Určitá spolupráce na různé úrovni je nutná mezi všemi uvedenými úseky zajišťujícími vývoj nové technologie.

Jedním z naléhavých požadavků výroby je včasné zadání podkladů pro objednání subdodávek s dlouhou dodací lhůtou. Kromě měření a regulace mezi ně patří i elektromotory, čerpadla, nerezavějící materiál apod.

Jde-li o velké fermentory, je určení výkonu elektromotorů jedním z rozhodujících údajů, který na jedné straně musí zaručit dobrou funkci fermentoru a na druhé straně ekonomiku fermentace. Technologická pracoviště pečlivě sledují na moderních laboratorních fermentorech řadu provozních údajů, avšak nemají vybavení k přesnému měření potřebného příkonu. Toto řešení bude účelné, pokud bude vázáno na určitou koncepci fermentoru.

Poloprovoz není určen jen pro produkci dostatečného množství produktu na odzkoušení, popř. na výzkum jeho dalšího zpracování. Slouží i k prověření nových strojních uzlů a provozních podmínek, jako je zanášení výměníků, čerpatelnost třířázových směsí a ověřování všech chemicko-inženýrských dat.

Pokud se technologická pracoviště věnují úspěšnému zvládnutí procesu, musí strojní výzkum sledovat vedle výzkumu zařízení i ekonomickou úvahu. Uvažme specifický příkon míchadel laboratorních fermentorů vztažený na jeho objem a jeho převedení na velké jednotky. Je proto nutný výzkum zařízení, která mají vyrobit stejné množství produktu, avšak s nižšími energetickými nároky.

Zvolíme-li tedy zpracování procesní knihy jako mezník pro určité stadium řešení technologie, lze předpokládat, že strojní výzkum bude do této doby spolupracovat s technologi při zvažování a posuzování formulací závěrů, zahrnutých do tohoto dokumentu, zatímco po tomto termínu bude mít strojní výzkum svou vlastní etapu řešení, s požadavkem na spolupráci technologů. Tato spolupráce je nutná z těchto důvodů:

- strojní výzkum nelze provádět s modelovými látkami a účast technologů při vedení technologického procesu je bezpodmínečně nutná. Jen tak lze vyloučit pozdější námitky, že proces byl špatně veden. Tím bude také zajištěna objektivní zpětná vazba na technologický kolektiv;
- procesní knihu nelze pokládat za ukončený technologický výzkum. Málo technologických pracovišť má za svůj cíl představu vedení procesu ve velkém objemu, v kovovém zařízení a s důsledky jiných geometrických parametrů fermentačního objemu;
- s předcházejícím bodem souvisí hydrodynamika procesu v provozním fermentoru. Velká zařízení vyvolávají nové parametry ke sledování s dopadem na technologii. Pokud proces v laboratorních technologických podmínkách jde dobře, nemá technolog důvod sledovat okrajové nebo odchylné podmínky. Tyto podmínky však jsou u velkých zařízení. Technologická zařízení musí být připravena dořešit tyto otázky převedení procesu do provozního měřítka ve spolupráci se strojním výzkumem.

8. Závěr

Dosavadní spolupráce technologů a strojařů ukázala potřeby nových vazeb a vztahů pro optimální postup vývoje nových technologií od základního výzkumu až po realizaci velkých zařízení.

Postupně se vytvářejí nové vztahy mezi kolektivy s rozdílným pojetím a zájmem pro postup řešení úkolu. Každá skupina sleduje jiné cíle, i když konečný cíl je společný. Spolupráce neprobíhá dobře, pokud formuluje technické podmínky jedna skupina a plnit je musí jiná skupina bez dřívějších sjednocení názorů. Skutečností nakonec zůstává, že vzájemná pochopení a respektování řešitelských kolektivů navzájem a dobré mezilidské vztahy pomáhají vyřešit i nejnáročnější technické úkoly. K tomuto postupu je řešitelský kolektiv VÚCHZ připraven, a to jak pro oblast fermentace, tak i odpařování, krystalizace, sušení apod.

Švanda, J.: Možnosti a potřeby strojního výzkumu pro realizaci nových biotechnologií. Kvas. prům. 31, 1985, č. 7—8, s. 197—200.

Československý strojírenský průmysl úspěšně vyřešil výrobu velkokapacitních fermentorů pro výrobu krmných kvasnic a provozně ověřil fermentory o objemu 800 m³ se třemi vestavěnými míchacími systémy použitými k produkci 24 000 t kvasnic/rok ze sul-

fitových výluhů. Byla provozně odzkoušena 3stupňová odpařovací stanice s termokompresorem na kvasničné mléko o výkonu 10,7 t odpařené vody za hodinu při zahuštění ze 14 % na 25 % sušiny. Výzkum připravuje podklady pro výrobu aseptických fermentorů, zařízení ke sterilaci vzduchu a kapalných médií a dále pro krystalizátory a sušárny submerzní kyseliny citronové.

Шванда, И.: Возможности и потребности машиностроительного исследования для реализации биотехнологий. Квас. прум. 31, 1985, № 7—8, стр. 197—200.

Чехословацкая машиностроительная промышленность с успехом завершила разработку высокопроизводительных ферментеров для получения кормовых дрожжей и в промышленном масштабе испытала ферментеры объемом 800 м³ с тремя встроенными системами перемешивания. Указанные аппараты находят применения для продукции 24 000 т/г дрожжей из сульфитных шелоков. В состав испытательной технологической линии входила трехступенчатая выпарная станция с термокомпрессором для дрожжевого молока мощностью 10 т/г вып. воды при сгущении с 14 % до 25 % сухо вещества. Планируемые научно-исследовательские работы будут основой создания стерильных ферментов, оборудования для стерилизации воздуха и жидкостей, разработки аппаратов для кристаллизации и сушки субмерсионной лимонной кислоты.

Švanda, J.: Possibility and necessity of machine research for realization new biotechnologies. Kvas. prům. 31, 1985, No. 7—8, pp. 197—200.

The production of large-scale fermentors has been successfully introduced by the Czechoslovak mechanical engineering. The operation of the fermentors with a capacity of 800 m³ fitted with three stirring units has been tested resulting satisfactorily as well as that of the three stage film evaporator arranged with the thermocompressor to produce yeast milk. The performance of the former equipment is 24 000 t SCP per year the product being obtained from waste sulfite liquors. The performance of the latter is 10,7 t evaporated water per hour the yeast milk being thickened from 14 mass % of dry matter to 25 mass %. Actually, the research is concerned with the preparation of the technical documentation for sterile fermentors, air- and liquid fluid sterilizers, crystallizers and citric acid driers.

Švanda, J.: Möglichkeiten und Erfordernisse der Maschinenforschung für die Realisierung neuer Biotechnologien. Kvas. prům. 31, 1985, Nr. 7—8, S. 197—200.

Für die Futterhefeherstellung wurde mit der Erzeugung von Großkapazitätsfermentoren angefangen und Fermentore mit 800 m³ Volumen mit drei eingebauten Rührsystemen wurden erfolgreich getestet. Die Fermentoren werden für die Produktion von 24 000 t Hefe/Jahr aus Sulfitablaugen benutzt. Auch die dreistufige Verdampferstation mit einem Termokompressor wurde im Betrieb erprobt. Bei der Kapazität 10,7 t v. W./h. wird das Produkt von 14 % TS auf 25 % TS eingedickt. Die Forschung hat zur Zeit die Vorbereitung von Unterlagen für die Herstellung von sterilen Fermentoren, Einheiten für Luft- und Mediensterilisation und weiters für Kristallisatoren und Wirbelschichttrockner für Zitronensäure in Auftrag.