

# ASŘ technologických procesů biotechnologií

## Problematika automatického systému řízení technologických procesů biotechnologií

Ing. VÁCLAV SOBOTKA, CSc., Výzkumný ústav chemických zařízení, Brno

*Klíčová slova: fermentace, ASŘTP, čidla, sběr dat, regulace, řízení, výpočetní systém, simulace*

### Úvod

Biotechnologie a mikroelektronika jsou dva obory, jejichž intenzivní vývoj a zejména praktické aplikace sledují vyřešení řady problémů současné společnosti nejen u nás, ale v celém světě. Tyto tak odlišné směry se spojují v oblasti automatizovaných systémů řízení technologických procesů v kvasném průmyslu. Obě složky přinášejí své specifické způsoby činnosti a působení podmíněné dosavadním separátním vývojem, odlišnými prostředky a technikami. Jejich postupné vazby směřující k podrobnějšímu a přesnějšímu poznávání principů a mechanismů biotechnologických procesů a k jejich využití pro ovládání, řízení a snad i optimalizaci v průmyslovém měřítku jsou provázány řadou problémů. Množství dosud nezodpovězených otázek se zatím spíše zvyšuje tak, jak se daří lépe formulovat požadavky na řešení. Obecné problémy a požadavky dalšího vývoje biotechnologií jsou uvedeny v [1]. Ukažme zde nejprve na požadavky specifické pro automatický systém řízení technologických procesů biotechnologií.

### Snímání dat

Samozřejmým předpokladem pro získání představy o jakémkoliv procesu je získání všech potřebných hodnot v číselné formě. Zatímco tento předpoklad je v současné době běžně zabezpečen u všech strojírenských odvětví a téměř vždy u chemických procesů, dostáváme se u komplikovaných mikrobiálních reakcí do potíží. Je to dáno jednak tím, že mikroby obsahují různé druhy enzymů katalyzujících mikrobiální reakce, které pak mohou obsahovat různé druhy různých silných řídících mechanismů. K tomu přistupuje i fakt, že mikrobiální charakteristiky se mohou měnit během doby [2]. Hlavní příčina je však v tom, že dosud neexistují vhodná čidla pro měření některých důležitých charakteristik fermentačních procesů (koncentrace biomasy, růstová rychlost). Přitom nelze počítat s tím, že by byla k dispozici v blízké budoucnosti, protože pro mnohé veličiny dosud nejsou vyvinuty základní principy detekce a pro známé metody představují náklady na vývoj a výrobu čidel neúnosně vysoké částky [3]. Mnohdy lze získat informace o přímo neměřitelných veličinách pomocí laboratorních metod a do systému je dodávat off-line; to má však nevýhody

v nižším počtu měření, v časovém zpoždění a v potřebě lidské práce.

V československých podmínkách k tomu ještě přistupuje to, že většina výrobců výpočetní techniky se vůbec nevěnuje problematice spojení počítače s technologickým prostředím. Zbývající dodavatelé dávají na trh potřebné prvky (multiplexory, analogově-číslicové převodníky) buď jako poslední částí celého systému (příklad — systémy SAPI Tesla), nebo v příliš precizní formě, kterou nelze v oblasti biotechnologií ani využít, ani ekonomicky zdůvodnit (příklad — Metra).

### Zpracování dat

Základní a běžně užívanou úroveň zpracování dat získávaných výpočetním systémem z fermentoru je jejich převod na inženýrské jednotky, zjištění věrohodnosti a jednoduché statistické zpracování (průměry, směrodatné odchylky). Pokud je k dispozici celý soubor potřebných hodnot — ať již z měření on-line nebo doplněných off-line — vypočítávají se v daných časových intervalech charakteristické hodnoty fermentačního procesu jako je růstová rychlost, respirační koeficient, přestup kyslíku, výtěžnost, produktivita i parametry ukazující na energetickou náročnost chodu technologie.

Interpretace získaných hodnot může přinést určité zklamání, zejména díváme-li se na ně jako na podklady pro možné následné řízení technologie. Každý proces — včetně kontinuální kultivace — vykazuje určité fluktuace základních veličin. Převezmeme-li tyto hodnoty do výpočtů charakteristických parametrů, můžeme u nich dostat směrodatné odchylky, které jsou srovnatelné s jejich průměrnými hodnotami. Jinými slovy jsou takto zvolené charakteristické parametry příliš citlivé na vstupní veličiny. Možností úprav je několik:

- zvážení vhodnosti definice dané charakteristické hodnoty pro zvolený proces,
- možnost úpravy (vyhlazení) vstupních veličin digitálními filtry,
- odmítnutí předpokladu, že všechny vstupní veličiny získané v určitém okamžiku mají vztah k okamžité hodnotě charakteristického parametru (vzhledem k rozdílným časovým konstantám v procesu by bylo správné



uvažovat relaci mezi vstupními veličinami časově posunutými).

První ze zmíněných cest se nejvíce jako příliš slibná zejména proto, že používané charakteristické parametry jsou v oblasti biotechnologie již vžitá a bez detailního rozboru, návrhu a zdůvodnění jiného systému parametrů jsou možné pouze malé modifikace. Druhá cesta je nejjednodušší a může vést — pro účely poznání celkového chování procesu — poměrně rychle k cíli; nevyhoví však, je-li účelem poznání pro následné řízení procesu. Za nejlepší — a ovšem i nejpracnější — pokládáme poslední možnost, která neovlivňuje vstupní ani výstupní veličiny, ale zpřesňuje znalosti o zkoumaném objektu. Praktické provedení je záležitostí aplikace statistických (korelačních) metod na změřená data při dostatečném počtu pokusů.

### Simulace procesu

Intenzivní snahy o vytvoření matematického modelu fermentačního procesu a o simulaci jeho chování se objevují zhruba od poloviny sedmdesátých let. Základem většiny prací bylo využití Monodova vztahu vyjadřujícího rychlost růstu biomasy

$$\frac{dX}{dt} = \mu X; \quad \mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_s + S},$$

kde  $X$  je koncentrace biomasy,  $\mu$  ( $\mu_{\max}$ ) je růstová rychlost (maximální),  $S$  je koncentrace substrátu,  $K_s$  je saturační konstanta.

Tento základní tvar byl mnohdy modifikován tak, aby se dosáhlo lepší shody s praktickými výsledky.

Pro kontinuální kultivace tvořily obvykle základ hmotnostní bilance biomasy.

$$\frac{dX}{dt} = (\mu - D) \cdot X$$

a substrátu

$$\frac{dS}{dt} = D \cdot (S_R - S) - \frac{\mu X}{Y},$$

kde  $D$  je zředovací rychlost a  $Y$  je výtěžnost.

Řada prací v tomto směru byla prováděna a publikována i v ČSSR [4–7]. Dosažené výsledky byly velice užitečné pro postupné poznávání procesu a předpokládané dynamiky jeho chování. Konfrontace simulovaných průběhů s experimenty opakovanými za stejných vnějších podmínek přinášela však dosti často zklamání; příčinou byly již zmíněné jevy specifické pro biotechnologické procesy.

Nový přístup se objevil v pracích uveřejněných v roce 1977 [např. 8], kde se vychází z obecné rovnice pro rovnováhu

$a(\text{substrát}) + b\text{O}_2 + c\text{NH}_3 \rightarrow (\text{biomasa}) + e\text{H}_2\text{O} + f\text{CO}_2$ ,  
která je podle typu procesu doplněna na pravé straně, popř. o člen  $+ g$  (produkt).

Z hmotnostních bilancí čtyř zastoupených prvků (C, O, N, H) lze získat 4 základní rovnice. Ty se dále doplní o vztahy zahrnující měřitelné parametry tak, aby bylo možno vypočítat neznámé stechiometrické koeficienty  $a$  až  $f$  (příp.  $g$ ). Je třeba mít na zřeteli, že se celý mechanismus bioreakce zjednodušuje na tuto základní rovnici, kde se neuvažuje možnost různých řídících mechanismů ani proměnné složení biomasy. Rozdíly mezi vypočítanými a experimentálními výsledky nejsou tedy překvapující. Nicméně, protože základní rovnice platí pro každý časový interval, lze uvedené metody použít principiálně pro ověřování chování i v přechodových stavech. V těchto případech se však objevují dodatečné nepřesnosti vlivem časových konstant procesu a měnicích se akumulovaných množství vstupujících a dosud nespotřebovaných surovin.

Pouhý výčet příčin nesrovnalostí mezi simulací a experimentem vede k myšlence zlepšit shodu použitím statistických metod a pomocí filtrů. Tyto směry se v posledních letech objevují v literatuře stále častěji. Z posledních uveřejněných prací jmenujme alespoň aplikace regresní analýzy [2], kde je jednoduše použito tohoto po-

stupe pro zjištění počtu nezávislých proměnných, které se mají do výpočtu zahrnout, nebo sérii příspěvků [9], kde zejména první dvě části obsahují popis metody a dále rozbor výsledků při zařazení Kalmanova filtru a srovnání se změřenými hodnotami a s hodnotami získanými blíže nespecifikovaným číslicovým filtrem.

Objevování použitelných způsobů pro simulace biotechnologických procesů a jejich aplikace dosud neskončilo a lze očekávat stále užší prolínání zmíněných cest. Jejich využití však klade také stále vyšší nároky na pracovníky, kteří se tímto oborem zabývají. Vyžadují se zde současně vysoké znalosti z bioinženýrství, matematiky, teorie systémů a schopnosti experimentátorské. Týmová práce je jediným možným řešením.

### Řízení fermentace

Většina současných fermentorů ať laboratorního, poloprodučního nebo provozního určení má zabezpečenu klasickou regulaci základních parametrů (teplota, pH, otáčky, průtok vzduchu) na konstantní hodnotu prostřednictvím analogových regulátorů. Tím jsou — alespoň do určité míry — zajištěny neměnné vnější podmínky provozu.

V souladu s postupně odvozovanými modely fermentačního procesu se objevovaly i způsoby řízení pomocí počítače. Nejprve to byly zpětnovazební jednoparametrové regulační obvody udržující na konstantní hodnotě buď koncentraci biomasy nebo koncentraci substrátu [5, 6]. Dále se objevily práce zabývající se syntézou optimálního řízení, které vycházejí z Pontrjaginova principu maxima [10]. Kritériem optimálního řízení je integrální funkce, zahrnující čtverce odchylek řízených a akčních veličin od žádaných hodnot násobených váhovými funkcemi. V [7] a podrobně v [11] se rozebírá  $P$ ,  $PI$  a časově optimální řízení koncentrací biomasy i substrátu. I když tyto práce jsou velice zajímavé z hlediska možného využití moderních metod automatického řízení, nebyly aplikovány na reálné fermentační zařízení.

Zajímavý praktický koncept řízení fermentoru je ve [12]. Zásahy v nátok substrátu a vzduchu se určují podle rozhodovací funkce ve tvaru matice, která obsahuje podmínky pro základní veličiny (respirační koeficient, koeficient přestupu kyslíku) a pro doplňující veličiny (zředovací rychlost, koncentrace substrátu a biomasy). Podle kombinace hodnot těchto veličin dojde pak k akčnímu zásahu. Podstatné zde nejsou absolutní hodnoty, ale jejich zařazení do skupin. Je vlastně možno hovořit o pokusu o fuzzy řízení, i když založeném na čistě praktických a intuitivních podkladech bez jakékoliv teorie.

Všechny zmíněné cesty představují však pouze začátek možného využití řízení. Dosud se zde neobjevují snahy o řízení fermentace v čase z hlediska optimálního splnění kritériální funkce celého procesu. Příčina je zřejmě v tom, že technologické podklady biotechnologů udávají parametry, které se mají — s určitými tolerancemi — dodržovat po celou dobu kultivace. Chybějí zde základní poznatky o závislostech mezi měřitelnými a odvozenými parametry a předpisy (nebo alespoň návrhy), jak je využít. Ani v biotechnologii nelze zanedbat pravidlo, že počítač může pomoci při řízení pouze tam, kde je jasný cíl řízené činnosti a jsou přesně definovány postupy, kterými je možno z výchozích dat určit nejlepší cestu k tomuto cíli [13].

### Výpočetní systém

Poměrně často diskutovanou otázkou je vhodnost využití určitého výpočetního systému pro studium a řízení biotechnologických procesů. Technické parametry, které musí systém splňovat, jsou tyto: minimální paměť 64kB, vnější disková nebo disketová paměť, klasické periferie, jednotka styku s prostředím (přepínače analogových signálů, Č/A a A/Č převodníky). Na rychlost systému neklade kvasné procesy — díky poměrně dlouhým časovým konstantám — zvláštní nároky. Z hlediska vybavení dodavatelskými programy je třeba, aby systém mohl pracovat v reálném čase a byl programovatelný ve vyšším jazyce i v assembleru.

Vzhledem k tomu, že sledování biotechnologických procesů je dlouhodobá záležitost, kdy jeden pokus trvá



desítky až stovky hodin, je třeba, aby systém měl dobrou spolehlivost a — což je neméně důležité — krátkou dobu opravy. Podle zkušeností vykazují i současné československé procesory přijatelné parametry spolehlivosti; většina poruch se objevuje v mechanických, pohyblivých se částech periférií (tiskárny, děrovače, mechaniky disket). Poruchy systému nelze však nikdy vyloučit a je nutno vytvořit všechny podmínky pro rychlou opravu v případě potřeby: vysoce kvalifikovaní servisní pracovníci, kteří systém znají i z praktického provozu, úplná dokumentace technického i programového vybavení, pokud možno úplná sada náhradních dílů ve formě funkčních jednotek (osazených a odzkoušených desek). Zkušenosti s dosavadním nasazením výpočetní techniky na biotechnologické procesy ukazují, že většinou vznikne minimální škoda (ve ztrátě dat nebo rozkolísání procesu), jestliže se vzniklá porucha ihned upozoruje, kvalifikovaně se v krátké době identifikuje její příčina a vymění se vadná deska nebo periferie. Tuto činnost lze zvládnout do 30 až 60 minut.

### Výzkum řízení fermentace ve VÚCHZ

Ve Výzkumném ústavu chemických zařízení v Brně se na problematice ASRTP fermentace pracuje od konce sedmdesátých let. V první fázi byl realizován — a dosud je využíván — ve zkušebně fermentorů v ústavu systém sběru dat, jejich vyhodnocení a řízení vybraných veličin procesu. Základem systému je procesor JPR12, který zajišťuje sběr dat, jejich jednoduché zpracování a kontrolu a výpisy. Dále pak tvoří část dvou uzavřených smyček pro řízení fermentoru a vybraná data předává po lince počítači M6000. Jeho úkolem je archivovat soubory dat, zpracovat je do hodnot charakteristických pro proces a předávat je ve zvolené formě (číselně, graficky) obsluze. Bližší popis tohoto systému je ve [14].

Funkce obou procesorů byly základem pro soubor realizovaný na velkokapacitním fermentoru 200 m<sup>3</sup> v n. p. Seliko v Kojetíně pomocí systému SAPI-R s procesorem JPR12-R; jedná se zde o ethanolovou technologii pro výrobu krmných bílkovin.

### Technické vybavení

Sestava počítače je osazena feritovou pamětí 32 kslov o délce 16 bitů (uživatelé je k dispozici 28 kslov), dvěma jednotkami pružných disků Momflex, displejem SM7202 a mozaikovou tiskárnou C2111; pro případ potřeby jsou k dispozici i snímač a děrovač děrné pásky. Spojení styku s procesem tvoří značnou část technického vybavení.

Principiálně lze rozlišit dvě skupiny analogových vstupů podle toho, zda jsou čidla zdvojená (první pro klasické měření, druhé pro počítač; sem patří např. všechny odporové teploměry) nebo nejsou (signál pro počítač se odvozuje z klasického okruhu měření obvykle proudovým bočnickem; u těchto signálů se zajišťuje galvanické oddělení od počítačového komplexu). Elektrické signály senzorů nebo zesilovačů se mění v měřicích převodnicích (typ APM Nová Paka) na napěťový rozsah 0–5 V a převádějí se přes multiplexory na analogově-číslicový převodník (MPX a ADP ze systému SAPI Tesla Strašnice), jejichž činnost řídí počítač.

Některá čidla (průtokoměry) poskytují pulsní signály používané pro integraci v čítačích (CNM2 systém SAPI) řízených počítačem.

Činnost akčních orgánů v systému DDC zajišťuje poměrně jednoduše dvoustupňová reléová sestava (SDV a JVR systém SAPI). Zpětné hlášení o poloze akčních orgánů se posuzuje jako běžný analogový vstup počítače.

### Programové vybavení

Operační systém pružného disku OSPD minipočítače JPR12-R umožňuje práci úloh na popředí a na pozadí. Uživatelský software byl naprogramován ve Fortranu a z menší části v assembleru. Od počátku prací bylo zřejmé, že potřebné programové vybavení pro sledování, vyhodnocování a řízení fermentace bude podstatně větší, než povoluje rozsah operační paměti. Proto jsme vypracovali program exekutivy reálného času RTE, která je rezidentní na popředí a obsahuje potřebné informace minimálně o 15 úlohách, které se mohou střídavě zpracovávat

vávat na pozadí. Každá z těchto úloh je charakterizována periodou a prioritou a RTE určuje momentální stav úlohy (probíhající, čekající, potlačená). Po ukončení úlohy probíhající na pozadí vybere RTE z vrcholu fronty čekajících úloh následující, jejíž program je přenesen z diskety do operační paměti a úloha se odstartuje. RTE povoluje uživateli vyvolání libovolné úlohy off-line, změnu period nebo potlačení (uspání) úlohy. Mezi další vlastnosti patří dále to, že jedna úloha může softwarově zajistit vyvolání následující úlohy nebo že při vyvolání stejné úlohy, jako byla poslední probíhající, se „nenatahuje“ úloha znovu z diskety do operační paměti, ale spouští se program dosud existující v paměti procesoru.

Uživatelské úlohy, které se na pozadí vyměňují, komunikují spolu prostřednictvím společné oblasti paměti, která je trvale přítomna na pozadí. Mezi 14 úlohy, které jsou v současné době pro fermentaci zpracovány a které se podle potřeb doplňují a modifikují, patří sběr dat z procesu, výpočty technologických parametrů, bilanční výpočty, průměrování vybraných hodnot významných pro posouzení produkce, možnost grafického vyjádření všech proměnných na displeji nebo na tiskárně, zrychlené sledování vybraných veličin, vkládání výsledků laboratorních analýz, regulace a řízení nátoků technologických surovin, záznam všech změřených a vypočtených hodnot na disketu a změnové řízení datové báze a všech důležitých konstant u všech programů.

Při vytváření programů byla věnována zvláštní pozornost komunikaci systému s obsluhou. Použitá konverzační metoda předkládá nejprve k posouzení přehled stávajících parametrů nebo konstant vyžádaného úseku úlohy a poté dává operátorovi otázky, které mu umožňují postupně uskutečnit žádané změny. Kontrolami se v maximální míře zamezuje chybným odpovědím.

### Činnost základních úloh

V pravidelných intervalech — v praxi se ustálily na 2 minutách — se uskuteční sběr dat s výpisem na displeji. Mezi měřenými veličinami jsou teploty fermentoru, technologického vzduchu, vstupů a výstupů na chladičích, nátoky vody, ethanolu a amoniaku, průtoky a zápary vody v chladičích, průtok odtahované zápary, pH, analýzy O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> v plynech a rozpuštěného kyslíku, elektrické parametry motoru míchadla, množství odpeňovacího oleje, hladiny ve fermentoru a další kontrolní a pomocné parametry. Pro každou veličinu je možno zařadit hlídání mezi s výpisem alarmu. Po hodinovém intervalu se takto změřené a akumulované hodnoty použijí pro výpočet průměrů, které se vypisují na tiskárnu a ukládají do souboru na disketu. Tento soubor dat, charakterizující proces během poslední hodiny, tvoří základnu pro následné výpočty a prezentaci dat (grafy, trendy).

Pro určení technologických parametrů je nutno znát koncentraci biomasy, která se získává ze zpožděním z laboratorního rozboru. Po jejím obdržení startuje operátor off-line úlohu, do které vloží mimo jiné též hodnotu koncentrace a program vypočítá asi 20 technologických parametrů. Patří mezi ně produktivita, růstová rychlost, specifická spotřeba energie, respirační koeficient, tepelná bilance, výtěžnost apod. Výsledky s udáním času sběru dat se tisknou a doplní odpovídající záznam změřených dat na disketě.

Při různých experimentech je vhodné mít možnost sledovat vybrané veličiny s krátkým vzorkovacím intervalem nezávisle na základním sběru dat. K tomu slouží zvláštní program, který může kontrolovat maximálně 10 čidel s intervalem vzorkování minimálně 1 s a hodnoty vypisovat na displej anebo tiskárnu.

Prostřednictvím počítače lze měnit polohy akčních orgánů na nátocích ethanolu (substrát), amoniaku, technologické vodě a vzduchu. Programově je dosud nejpracovnější část řízení nátok ethanolu a amoniaku. Změněná hodnota pH se zpracovává v adaptivním číslicovém filtru a používá se pro proporcionálně-derivační číslicový regulátor. Algoritmus dále zaručuje minimální dávku amoniaku. Dávka substrátu je vázána na dávku amoniaku vlitelným poměrem. Vlastní řízení je DDC a zajišťuje otevírání pneumatických dávkovacích ventilů na zjištěnou dobu.

Základní perioda regulačních zásahů je 1 minuta. Soft-



ware je navržen v maximální míře tak, aby operátor mohl provést beznárazové zapnutí regulace určité smyčky nebo její vyřazení a aby mohl měnit a doladovat potřebné konstanty. Stav regulačních obvodů se zobrazuje na displeji v číselné formě i ve tvaru histogramů a výpisy lze přepnout na tiskárnu.

Zmíňme se ještě o programu zajišťujícím semigrafické znázornění trendů měřených veličin. V úloze lze předem zvolit 14 grafických souborů, z nichž každý obsahuje 3 proměnné pro zobrazení včetně jednotek a rozsahů. Po volbě časového intervalu se na tiskárně vytiskne požadovaný graf.

### Rozšiřující software pro poznání procesu

Rozsáhlý soubor změřených hodnot dává možnosti k dalšímu zpracování ať již v průběhu kultivace nebo dodatečně z archivovaných souborů. Uvádíme hlavní směry, které jsme při této práci sledovali a které stále rozvíjíme.

**Zjišťování korelací mezi změřenými a vypočtenými hodnotami pro různá kultivační období.** Snahou je zjistit trvalé stupně závislosti mezi veličinami včetně nezávislých párů a skupin veličin. Program se zpracovává off-line po skončení experimentu.

**Výpočet růstové rychlosti a koncentrace biomasy z průměrných hodnot analýz plynů a nátok ethanolu za uplynulou hodinu.** Používá se čtyř různých metod podle vstupních parametrů a výsledky se vzájemně porovnávají. Program se spouští on-line v případě kontinuálního chodu fermentace.

**Rozšíření předchozího programu o matematické vyrovňování vstupních a výstupních hodnot a poukázání na chybějící údaje.** Program byl ověřován off-line a v době psaní příspěvku se převádí do tvaru vhodného pro zpracování v průběhu kultivace on-line.

### Časový průběh prací a zkušenosti se systémem

V první polovině roku 1982 proběhla projekce, výstavba a vybavení velitelního počítače v Kojetíně. V druhé polovině téhož roku byl systém SAPI-R instalován a propojena část čidel z fermentoru na počítač a koncem roku se uskutečnil první úspěšný 40hodinový provoz sběru dat s použitím programu pracujícím pod děrnopáskovým operačním systémem. V roce 1983 se postupně připojovala další čidla a akční orgány a systém byl — podle potřeby — v provozu asi při 20 fermentačních pokusech trvajících 1—3 dny. V posledním čtvrtletí 1983 byl pod disketovým operačním systémem zařazen soubor programů, o kterém je referováno výše. Od prosince 1983 do září 1984 byla sestava v činnosti v průběhu 12 čtyřdenních až šestidenních nepřetržitých kultivací. V průběhu pokusů a v mezidobí se uskutečnily různé úpravy a modifikace, které se ukázaly jako vhodné, zjednodušila se komunikace člověk—stroj a zahrnuly se nové, popř. rozšiřující požadavky uživatelů. Koncem minulého a počátkem letošního roku se pracovalo na rozšiřujícím programovém vybavení pro poznání procesu, o kterém budeme podrobněji informovat později.

Během provozu se objevilo několik závad v různých místech systému (procesor, interfacevé desky, multiplexor, měřicí zesilovač; řada problémů se vyskytla s čidly), které se však podařilo vždy rychle lokalizovat a výměnou desky odstranit. V průběhu vývoje bylo třeba nalézt a opravit rovněž několik chyb v dodaném operačním systému. Je možno říci, že systém jako celek prokázal svou schopnost pracovat v nepřetržitém provozu a bylo možno ho nechat v činnosti bez odborného dozoru pouze s bezpečnostním dohledem.

### Závěr

V první části příspěvku se věnuje pozornost problémům ASRTP biotechnologií a ukazují se směry, které se v současné době vývoje a znalostí jeví jako vhodné k řešení.

Druhá část je zaměřena na popis praktických prací realizovaných pracovníky VÚCHZ Brno na využití výpočetní techniky pro sledování, poznávání a řízení fermentačního procesu.

### Literatura

- [1] JIRKŮ, V., BASAŘOVÁ, G.: Biotechnologie, Kvas. prům. **30**, 1984, č. 11, s. 254—257.
- [2] KISHIMOTO, M., SAWANO, T., YOSHIDA, T., TAGUCHI, H.: Application of a Statistical Procedures for the Control of Yeast Production, Biot. and Bioeng. **26**, 1984, č. 8, s. 871—876.
- [3] MEINERS, M., RAPMUNDT, W.: Some Practical Aspects of Computer Applications in a Fermentor Hall, Biot. and Bioeng. **25**, 1983, č. 3, s. 809—844.
- [4] BURIANOVÁ, J., JANÁČKOVÁ, S.: Analýza dynamických vlastností fermentačního procesu jako objektu pro řízení, Chem. prům. **28**, 1978, č. 1, s. 3—7.
- [5] BURIANOVÁ, J., BURIAN, P.: Řízení fermentačních procesů, Chem. prům. **28**, 1978, č. 2, s. 62—64.
- [6] BURIANOVÁ, J., BURIAN, P.: Dynamické vlastnosti zpětnovazebních regulačních obvodů fermentačního procesu, Chem. prům. **28**, 1978, č. 5, s. 217—221.
- [7] BURIANEC, Z., BURIANOVÁ, J.: Optimální řízení fermentačního procesu, Chem. prům. **28**, 1978, č. 12, s. 617—620.
- [8] WANG, H. Y., CONNEY, CH. L., DANIEL, I. C.: Computer-Aided Baker's Yeast Fermentations, Biot. and Bioeng. **19**, 1977, č. 1, s. 69—86.
- [9] STEPHANOPOULOS, G., SAN, K. Y.: Studies on line Bioreactor Identification I. Theory, II. Numerical and Experimental Results, . . . , Biot. and Bioeng. **26**, 1984, č. 10, s. 1176—1218.
- [10] PONTRJAGIN, L. S.: Matematická teorie optimálních procesů, SNTL, Praha, 1964.
- [11] Obecná studie optimálního řízení kontinuální kultivace, VŠCHT, Katedra ASR, Praha, 1979, výzkumná zpráva.
- [12] SCHEFFLER, U., BÜCHEL, M., PILEPP, E.: Development of a loop-type bioreactor, VT Export-Journal 1980, č. 1, s. 30—33.
- [13] NAVRÁTIL, V.: Směry vývoje programových prostředků, Aktuality výpočetní techniky, 1984, č. 49, s. 21—28.
- [14] SOBOTKA, V., TOMÍŠKA, J.: Využití minipočítače pro výzkum řízení fermentace, Chem. prům. **33**, 1983, č. 7, s. 358—364.

Sobotka, V.: Problematika ASRTP biotechnologií. Kvas. prům. **31**, 1985, č. 7—8, s. 191—194.

První část příspěvku popisuje dosažený stav v oblasti sběru dat a jejich zpracování a cesty pro simulaci a řízení fermentačních procesů. Poukazuje se na problémy, na které se v uvedených směrech naráží a naznačují se cesty dalšího vývoje. Druhá část se věnuje popisu systému realizovanému pro sběr dat a řízení velkokapacitního fermentoru. Je ukázána filosofie výstavby výpočetního systému po stránce technického a programového vybavení a jsou dány základní informace o dosud využívaném i rozvíjeném software pro sledování, výzkum a řízení fermentace.

Соботка, В.: Проблематика АСУТП биотехнологий. Квас. прум. **31**, 1985, № 7—8, стр. 191—194.

Первая часть статьи описывает достигнутое положение в области собирания дат и их обработки и тоже пути симуляции и управления ферментационных процессов. Указывает проблемы, которые встречаются и возможности дальнейшего развития. Вторая часть посвящена описанию системы, которая была создана для собирания информации и для управления крупномасштабным ферментатором. Показана философия построения вычислительной системы как по техническому, так по программному оборудованию и изданы главные справки об используемых и развиваемых сейчас прикладных программах для исследования ферментационных процессов и управления ими.

Sobotka, V.: Problems of automatic control systems in biotechnologies. Kvas. prům. **31**, 1985, No. 7—8, pp. 191—194.

The first part of the paper deals with present state of data acquisition and further use of data and with methods of simulation and control of the fermentation processes. The main problems in the mentioned directions are stressed and the probable ways of future development are shown. The second part is devoted to description of the realised system for data collection and control of the fermentor tank with a big volume capacity. The principles of the computer construction both hardware and software are mentioned. The main information about the used and developed user's tasks for monitoring, research and control of the fermentation is given.

Sobotka, V.: Problematik der automatischen Steuerungssysteme der biotechnologischen Prozesse. Kvas. prům. **31**, 1985, Nr. 7—8, S. 191—194.

Der erste Teil des Beitrags beschreibt den erreichten Stand auf dem Gebiet der Datengewinnung und ihre Bearbeitung und die Wege der Simulation und Steuerung der Fermentationsprozesse. Es wird auf die in dieser Richtung auftretenden Probleme und auf Wege der weiteren Entwicklung hingewiesen. Der zweite Teil ist der Beschreibung des Systems, welches für die Datengewinnung und die Steuerung eines Großraum-Fermentors geschaffte wurde, gewidmet. Es wird die Philosophie der Bildung eines Rechnersystems wie in Hardware, so in Software gezeigt und es werden Grundinformationen über das zur Zeit benutzte und weiterentwickelte Gebrauchsprogramm für Feststellung des Standes, Forschung und Steuerung des Fermentationsprozesses gegeben.