

Bioreaktory

VIII. Reaktory s fluidní vrstvou a náplňové reaktory

Ing. JAN PÁČA, CSc., Vysoká škola chemickotechnologická, katedra kvasné chemie a bioinženýrství, Praha

Klíčová slova: fluidní vrstva, nosiče, imobilizované enzymy a buňky, otěr buněk, uvolňování buněk, hoblinová ocetnice, biologický filtr, anaerobní biologický filtr, anaerobní stacionární filmový reaktor, hranolový filmový reaktor, horizontální hranolový reaktor.

REAKTORY S FLUIDNÍ VRSTVOU

Prvními autory, kteří navrhli a rozpracovali možné aplikace tohoto typu reaktorů pro biologické systémy, byli Atkinson a Davies [1].

V biologických reaktorech s fluidní vrstvou lze použít tři typy částic:

a) *Flokulující mikroorganismy.* Mají nízkou prahovou rychlost fluidace, částice se při silném víření kapaliny zmenšují tím, že se odtrhávají shluky na povrchu a tyto lehčí malé částice se vyplavují ze systému.

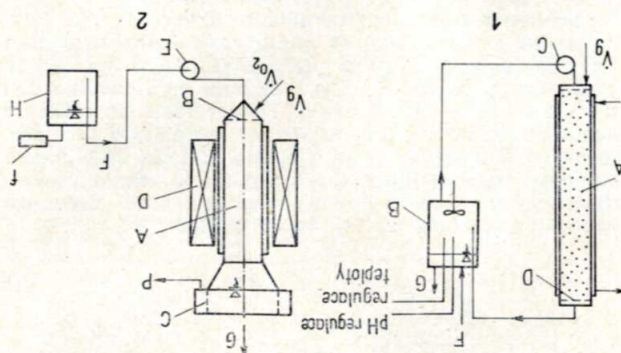
b) *Tuhé nosiče pro připojení buněk.* Mohou být jednak velkého rozměru s relativně velkou měrnou hmotností (dosáhne se rovnováhy mezi nárůstem buněk a jejich otěrem při vzájemných srážkách, tzn. konstantní množství biomasy v systému). Nebo jsou částice nosiče malé a lehké, dochází k akumulaci biomasy v systému a nerovnoměrné distribuci částic v systému (velké přerostlé částice nahoře, malé částice u dna).

c) *Nosiče pro imobilizaci buněk a enzymů.* Z hlediska biomasy v reaktoru může docházet ke dvěma stavům: ustálený stav (konstantní množství biomasy) nebo neustálený stav (vzrůst či pokles koncentrace biomasy).

Při použití lehkých částic se pro docílení fluidní vrstvy používá probublávaných reaktorů podle obr. 3 uvedeného v článku Bioreaktory. IV. část [2] nebo věžových reaktorů s perforovanými přepážkami podle obr. 4 a 5 uvedených v článku Bioreaktory. IV. část [2]. Používá se zde flokulujících kmenů mikroorganismů a aplikace jsou v pivovarství [3], octařství (kontinuální acetátová instalace ve Velké Británii v UK Malt, Vinegar Factory) [4], a čištění odpadních vod.

Pro kontinuální procesy využívající imobilizované buňky nebo enzymy se používá **kolonových reaktorů s fluidní vrstvou**, případně v kombinaci s míchaným reaktorem (obr. 1). Jako nosičů se obvykle používá Ca-alginát, K-carrageenan, polyakrylamid, agarosa, resp. jejich kombinace [5]. Fluidní vrstvy se dosáhne dosažením určité rychlosti průtoku kapaliny (u těžších částic pomůže intenzivnější recirkulace) a průtokem plynu. Naopak úletu částic z kolony se zabráňuje vložením síta. Míchaný reaktor se používá v kombinaci s kolonou i z důvodu snadnějšího provozu (např. úpravy pH, slouží i jako zásobník). Pro docílení vysoké koncentrace enzymu nebo buněk se musí použít vysoké koncentrace nosičů, čímž vzrůstá počet srážek (otěr buněk), viskozita, klesá koncentrace živin a vzrůstá koncentrace produktu [5]. Pro zabránění limitace živinami a inhibicí produktem je nutná vyšší rychlost průtoku kapaliny a je-li třeba i přidávání kyslíku. Vyšší průtoky kapaliny a plynu však působí intenzivnější promíchávání, jehož výsledkem je větší četnost srážek nosičů. To vede k poškození a uvolňování buněk z nosičů. Tuto nevýhodu částečně eliminuje použití porézních nosičů, kdy buňky se váží hlavně v prostoru pórů. Vyšší průtoky médií však mohou vést k nehomogenní distribuci částic nosičů v reaktoru (vytlačení k hornímu sítu). Aplikace těchto reaktorů byla ověřena s imobilizovaným chymotrypsinem pro separaci D-fenylalaninu a L-fenylalaninu [6], rostlinných buněk ke konverzi sacharosu na glukosu [7], k produkci ethanolu imobilizovanými buňkami *Zymomonas mobilis* v reaktoru se dvěma cirkulačními trubkami [8], resp. v třístunňovém systému [9, 10] nebo s vázanými kvasinkami [11–13]. Výhodou vícestupňového systému je možnost použití různého množství katalyzátoru (nosičů s buňkami) v jednotlivých reaktorech a tím dosažení optimálního průběhu procesu jak z hlediska inhibice produktem, tak s ohledem na destrukci nosičů příliš intenzivním mícháním vznikajícím CO_2 .

Pro dosažení lepší homogenity částic nosičů ve fluidní vrstvě byl použit nosič obsahující magnetit a v reaktoru bylo vytvořeno magnetické pole (obr. 2). Tento způsob byl ověřen jednak s vázanou ureasou [14] a také při oxidaci glukosy, kde vázanými enzymy byly glukosa-oxidasa a katalasa [15]. Získané laboratorní výsledky byly velmi pozitivní. Proto se tento systém doporučuje zvláště pro procesy s velkými průtokovými rychlostmi a u reakcí s absorpcí plynu.



Obr. 1. Cirkulační reaktor s fluidní vrstvou

A... kolona s imobilizovanými buňkami nebo enzymy, B... míchaný reaktor, C... cirkulační čerpadlo, D... síto, F... přítok substrátu, G... odvod plynů, P... odtok produktu, Vg... přívod vzduchu.

Obr. 2. Reaktor s fluidní vrstvou využívající magnetické pole

A... kolona s imobilizovanými enzymy, B... distributor plynu, C... síto, D... vlnitý vytvářející magnetické pole, E... čerpadlo, F... přítok substrátu, G... filtr, H... odvod plynů, I... zásobník substrátu, P... odtok produktu, Vg... přívod vzduchu, VO2... přívod kyslíku.

Celkově lze výhody a nevýhody reaktorů s fluidní vrstvou s imobilizovanými buňkami či enzymy shrnout do těchto bodů: snadná výměna náplně, dobrá dodávka kyslíku i distribuce aktivních buněk, nejsou potíže s odstraňováním vznikajícího CO_2 , malý otěr buněk z nosičů (jsou-li vázány uvnitř pórů nosiče), vhodné pro procesy s inhibicí substrátem i produktem, obtížný provoz z hlediska dosažení ustáleného stavu, obtížné převádění do většího měřítka a vysoká cena.

Reaktory s fluidní vrstvou se také významnou měrou využívají v procesech **biologického čištění odpadních vod** [16–18]. Používají se pro aerobní oxidaci uhlovodíkatých látek [19], při denitrifikaci [20–22], anaerobní fermentaci [23] a při produkci metanu z průmyslových odpadů [24]. Nosičem směsné mikrobiální populace je převážně písek o velikosti částic 0,2 až 0,5 mm [25, 26]. Průmyslově se využívá anaerobní reaktor s fluidní vrstvou k čištění odpadní vody z výroby nealkoholických nápojů v Birminghamu a odpadů ze zpracování sóji v Midwest ve Velké Británii [27, 28]. Komerčně vyrábějí reaktory s fluidní vrstvou pro anaerobní procesy biologického čištění odpadních vod firmy Dorr-Oliver Pty Ltd., Sydney, Australia (Anitron System), Biojet International, Ecotrol (Hy-flow) a Enso-Gutzeit (Enso-Fenox).

Ověřovala se též možnost kultivace kvasinek *Saccharomyces cerevisiae* [29, 30] a produkce ethanolu kvasinkou *S. cerevisiae* [29] v reaktoru s plynou fluidní

vrstvou. Buňky byly v průběhu fluidace míchány, aby se zabránilo tvorbě velkých shluků buněk. Stacionární stav byl udržován pečlivým dodržováním provozních podmínek. Přesto však jak nárůst biomasy, tak i produkce ethanolu byly podstatně menší než v případě submerzních procesů.

NÁPLŇOVÉ REAKTORY

Používají se k určitým biologickým procesům již velmi dlouho. Funkcí náplně je upoutání mikroorganismů na svém povrchu. Systém se chová jako tubulární reaktor s mikrobiálním filmem na povrchu inertních nosičů. Aplikace těchto reaktorů je však omezena podmínkami:

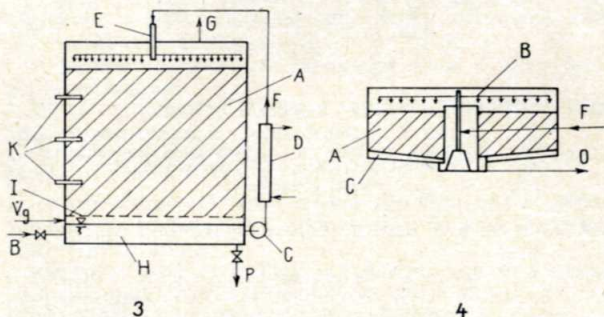
a) Lze používat pouze pro mikroorganismy schopné se zachytit na povrchu nosiče.

b) Možnost regulace množství biomasy rostoucí na nosiči (jinak nebezpečí ucpání náplně).

c) Vzhledem ke kolísání množství biomasy v náplni, mění se též značně účinnost konverze.

d) Biomasa z náplně nelze vratně použít.

Jedním z nejstarších náplňových aerobních reaktorů je **hoblinová očetnice**, tzv. **octogenerátor** (obr. 3) [31]. Na hoblinách jsou upoutány octové bakterie. Ředina (živný roztok s ethanolém) se naplní do dolního zásobníku (H). Čerpadlem se ředina přečerpává nahoru, přitom se předchlazuje na 26 až 28 °C. Vstupuje do rotačního distributoru (E) a zkrápí náplň. Protiproudě ke stékající kapalině proudí vzduch, přiváděný ventily pod perforované dno, nesoucí náplň hoblin. Ethanol je buňkami oxidován na kyselinu octovou. Proces je semikontinuální. Nevýhodou této očetnice je nehomogenní distribuce vzduchu a kolísání teploty uvnitř náplně [32].



Obr. 3. Hoblinová očetnice

A... náplň bukových hoblin s upoutanými buňkami, B... plnění ředinou, C... čerpadlo, D... chladič, E... několikaramenné nastřikovací kolo, F... cirkulující ředina, G... odvod plynů, H... zásobník řediny, I... perforované dno, K... teploměry, P... výstup octa, Vg... přívod vzduchu.

Obr. 4. Biologický filtr

A... hrubozrnná náplň s nárůstem mikrobiálního filmu, B... rotační distributor kapaliny, C... prostor pro vstup vzduchu, F... přítok odpadní vody, O... odtok vyčištěné vody.

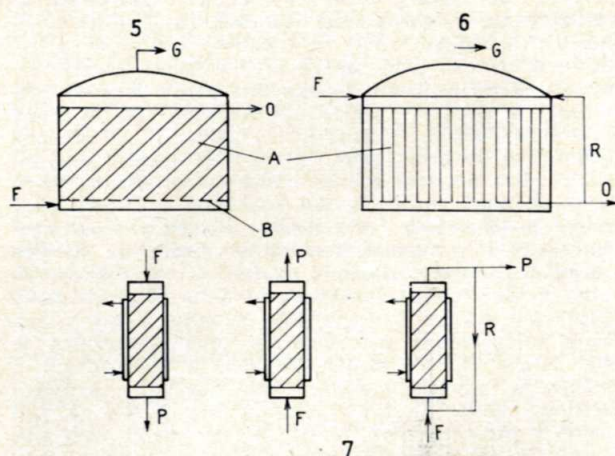
Jiným případem aerobního náplňového reaktoru je **biologický filtr** [33–35] používaný pro biologické čištění odpadní vody (obr. 4). Náplň je přírodní materiál (tzn. úlomky žuly, cihel, struska apod.) nebo materiál umělý (prvky z polyetylenu a polypropylénu) [36]. Na povrchu nosiče se zachytí vrstva směsné kultury různých skupin organismů, jejichž činností dochází k biologickému čištění odpadních vod [37]. Mechanicky předčištěná odpadní voda se rozstřikuje shora na vrstvu náplně většinou rotačním distributorem. Stéká rychle po náplni a nechává na ní tenkou vrstvu. Tento kapalným filmem absorbuje kyslík ze vzduchu proudícího mezerami náplně a umožňuje mikroorganismům aerobní podmínky. Regulace množství biomasy v náplni probíhá samovolně tím, že po vytvoření určité tloušťky mikrobiálního filmu jsou spodní vrstvy limitovány živinami včetně kyslíku a odumírají. Po zlyzování se naruší přilnavost mikrobiálního filmu k povrchu a nárost se odtrhne. Poté následuje nový cyklus tvorby nárostu.

V zapracovaném a nepřetěžovaném filtru se nadměrný nárost odtrhává kontinuálně (zvláště při větší recirkulaci), a proto jak množství biomasy, tak účinnost čištění příliš nekolísá. Reaktor pracuje kontinuálně. S hloubkou filtru vzrůstá stupeň vyčištění odpadní vody. Moderní zařízení používají v určitých ročních obdobích i nucenou aeraci vrstvy náplně pomocí ventilátorů [38, 39].

Anaerobní variantou náplňového reaktoru je **anaerobní biologický filtr** (obr. 5). Odpadní voda přitéká odspodu, je distributorem rovnoměrně rozdělena a protéká pozvolna náplní kolony vzhůru. Náplň tvoří kamínky o velikosti 2,5 až 7,5 cm, palčové kroužky nebo tělíska z plastické hmoty [27]. Biomasa (směsná kultura) roste jednak připojena k nosné náplni ve formě filmu a jednak ve formě vloček v prostoru mezer [40, 41]. Tato biomasa disimuluje organické látky přítomné v odpadní vodě jak rozpuštěné, tak ve formě částic tuhé fáze. Pro dosažení vysoké účinnosti tohoto zařízení je důležitá volba materiálu náplně, která významně závisí na druhu a velikosti znečištění odpadní vody a tím i na velikosti specifického povrchu náplně [28, 42]. Anaerobní biologické filtry prodává firma Celanese Corp. (USA) a používají se hlavně k čištění odpadních vod obsahujících sacharidické látky [42] a chemicky znečištěných vod [43 až 45]. Používají se také k produkci methanu [36] — v tom případě mají speciálně konstrukčně řešený horní prostor nad vrstvou náplně [28]. Obvykle pracují jako průtočné reaktory s pístovým tokem bez recyklu kapalně fáze [46]. Recykl se používá jen v případě nutnosti zředění organických látek, přítomných ve vysokých koncentracích, dále ke zředění toxických látek nebo pro regulaci pH.

Dalším typem náplňového reaktoru je **anaerobní stacionární filmový reaktor** (obr. 6). Reaktor je opatřen vertikálně uspořádanou vestavbou, která vytváří rovné kanály nebo trubky. Tok kapaliny je převážně shora dolů, ale může být i opačný [47–51]. Materiálem vestavby je polyester ve tvaru perforovaných tyčí, pálená hrnčířská hlína, drenážní hliněné trubky, trubky z PVC nebo skla a průměru 20 až 100 mm a výšky 600 až 1100 mm. Nedávno vyvinula firma Corning Glass Co. porézní nosič biomasy s velikostí pórů vhodnou pro fixaci bakteriálních buněk [52].

Náplňové reaktory v uspořádání podle obr. 7 se používají také pro aplikaci s **imobilizovanými enzymy** [53] ne-



Obr. 5. Anaerobní biologický filtr

A... náplň s nárůstem mikrobiálního filmu a vločkami buněk rostoucími v mezerách, B... jalové (perforované) dno nesoucí náplň a sloužící jako distributor kapaliny, F... přítok odpadní vody, G... odvod plynů, O... odtok vyčištěné vody.

Obr. 6. Anaerobní stacionární filmový reaktor

A... tubulární vestavby pro fixaci biomasy, F... přítok odpadní vody, G... odvod plynů, O... odtok vyčištěné vody, R... recykl kapaliny.

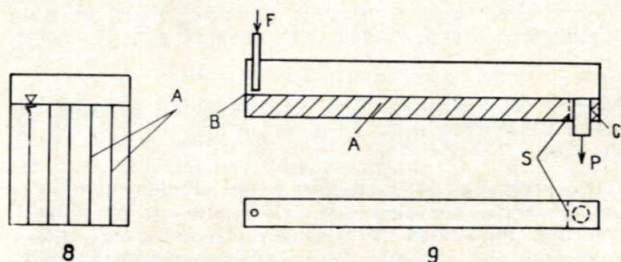
Obr. 7. Způsoby zapojení náplňových reaktorů s imobilizovanými enzymy nebo buňkami

F... přítok substrátu, P... odtok produktu, R... recykl.

bo buňkami [54–56]. Při produkci ethanolu imobilizovanými kvasinkami [57] se zjistilo, že produktivita procesu závisí kromě běžných technologických parametrů, jako je teplota, pH, složení média i na koncentraci nosičů v kolonovém reaktoru [58] a tím i na množství buněk [59]. Ze srovnání [60] vyplývá, že v náplňovém reaktoru se dosáhne podstatně vyšší produktivity tvorby ethanolu než v míchaném reaktoru (zřejmě důsledek otěru buněk a destrukce nosičů při vzájemných srážkách).

Dalším typem náplňového reaktoru je **hranolový filmový reaktor** (obr. 8) s buňkami vázanými na bavlněných tkaninách umístěných ve vertikálních rámech [61, 62]. Autoři použili kvasinek rodu *Saccharomyces* a *Kluyveromyces* ke konverzi sacharidů na ethanol. Nejlepších výsledků z hlediska produktivity se dosáhlo při vsádkovém způsobu se současnou recirkulací kapalného média reaktorem. Ve srovnání s imobilizací buněk *S. cerevisiae* na bavlněnou tkaninu preparovanou epichlorhydrinem a triethanolaminem [63] je použití nemodifikované bavlněné tkaniny jednodušší, méně nákladné a bez hygienického rizika. Další výhodou ve srovnání s klasickým válcovým reaktorem [63] je možnost jednoduchého převodu do většího měřítka v případě hranolového tvaru reaktoru.

Poslední práce [64] týkající se náplňových reaktorů ukázala, že **horizontální hranolový reaktor** (obr. 9) vykazuje lepší výsledky při kontinuální výrobě ethanolu než



Obr. 8. Přičný řez hranolovým filmovým reaktorem

A... rámy s bavlněnými plátekami.

Obr. 9. Horizontální hranolový reaktor

A... vrstva nosičů s buňkami imobilizovanými i volně sedimentovanými, B... trubka přítoku živného média (F), C... trubka odtoku média s produktem (P) i odvodu plynu; odvod plynu je záměrně veden s odtokem média vzhledem k ztrátám ethanolu úletem v plynné fázi, S... síto pro udržení nosičů s buňkami v reaktoru.

reaktory vertikální. Kvasinky *S. carlsbergensis* byly imobilizovány na agarových nosičích. Výhodou horizontálního uspořádání je fakt, že na produkci ethanolu se zde podílí i buňky volně rostoucí v suspendované, resp. sedimentované vrstvě v reaktoru. Tyto volné buňky vykazují podstatně rychlejší produkci ethanolu ve srovnání s imobilizovanými buňkami na nosičích, protože u nich se nezpomalují metabolické procesy v důsledku difuzní bariéry (limitace) nosiče.

Celkově lze použití náplňových reaktorů pro imobilizované buňky shrnout do těchto bodů.

Výhody: snadný provoz [65], malý otěr buněk z nosičů, nízká cena, snadné zvětšování měřítka. **Nevýhody:** velká tlaková ztráta, obtížné odstraňování biomasy, nedostatečné promíchávání (charakter pístového toku) a nedostatečná dodávka kyslíku buňkám [66], obtížná regulace provozu reaktoru [5], nevhodné pro procesy, kde dochází k substrátové inhibici. Zlepšení dodávky kyslíku, která byla limitujícím faktorem technického řešení reaktorů pro aerobní buňky, lze dosáhnout např. použitím emulze fluorovaných organických látek, ve kterých je kyslík podstatně více rozpustný než ve vodě [67].

Literatura

- [1] ATKINSON, B., DAVIES, I. J.: Trans. Inst. Chem. Eng. **50**, 1972, s. 208.
- [2] PÁČA, J.: Bioreaktory IV. Pneumatikky míchané reaktory s neuspřádáním proudění kapaliny, Kvas. prům., **33**, 1987, s. 146.
- [3] SHCRE, D. T., ROYSTON, M. G.: Chem. Engn. No. 218, 1963, s. 99.
- [4] GREENSHIELDS, R. N.: Acetic Acid: Vinegar in Economic Microbiology (Ed. Rose, A. H.), Vol. 2, Academic Press, London 1978, s. 121.
- [5] MATTIASON, B.: Immobilized Cells and Organelles, Vol. 2, CRC Press Inc., Boca Raton 1983, s. 140.
- [6] HALWACHS, W., WANDREY, C., SCHÜGERL, K.: Biotechnol. Bioeng. **19**, 1977, s. 1667.
- [7] HAMILTON, R.: MS Thesis, Rutgers University, New Brunswick 1983.
- [8] MARGARITIS, A., WALLACE, J. B.: Biotechnol. Bioeng. Symp. **12**, 1982, s. 147.
- [9] KLEIN, J., KRESSDORF, B.: Biotechnol. Lett. **5**, 1983, s. 497.
- [10] KLEIN, J., KRESSDORF, B.: 3rd Eur. Congress on Biotechnol., München 1984, Vol. 2, s. 375.
- [11] SAMEJIMA, H., NAGASHIMA, M., AZUMA, M., NAGUCHI, S., INUZUKA, K.: Enzyme Engineering Vol. 7, 1984, s. 434.
- [12] NAGASHIMA, M., AZUMA, M., NAGUCHI, S., INUZUKA, K., SAMEJIMA, H.: Biotechnol. Bioeng. **26**, 1984, s. 992.
- [13] SIVA RAMAN, H., SEETARAMA, R. B., PUNDLE, A. V., SIVA RAMAN, C.: Biotechnol. Lett. **4**, 1982, s. 359.
- [14] SADA, E., KATOH, S., SHIOZAWA, M., FUKUI, T.: Biotechnol. Bioeng. **23**, 1981, s. 2561.
- [15] SADA, E., KATOH, S., SHIOZAWA, M., MATSUI, I.: Biotechnol. Bioeng. **25**, 1983, s. 2285.
- [16] SCOTT, C. D., HANCHER, C. W.: Biotechnol. Bioeng. **18**, 1976, s. 1393.
- [17] COOPER, P. F., WHEELDON, D. H. V.: J. Water Pollut. Control **79**, 1980, s. 286.
- [18] BAKER, C. G. J., MARGARITIS, A., BERGOUNGOU, M. A.: Fluidization principles and applications to biotechnology in Advances in Biotechnology (Ed. Moo-Young, M.), Vol. 1, Pergamon Press, Toronto 1981, s. 635.
- [19] JERIS, J. S., OWENS, R.: Secondary Treatment of Municipal Wastewater with Fluidised Bed Technology in Biological Fluidised Bed Treatment of Water and Wastewater (Eds. Cooper, P. F., Atkinson, B.), Ellis Horwood, Chichester 1981, s. 112.
- [20] COOPER, P. F., WHEELAND, D. H. V.: Complete Treatment of Sewage in a Two-Fluidised Bed System in Biological Fluidised Bed Treatment of Water and Wastewater (Eds. Cooper, P. F., Atkinson, B.), Ellis Horwood, Chichester 1981, s. 121.
- [21] WALKER, J. F., HANCHER, C. W., GENUNG, R. K., PATTON, B. D., KOWALCHUK, M.: Biotechnol. Bioeng. Symp. **11**, 1981, s. 415.
- [22] TIMMERMAN, P., VAN HAUTE, A.: Appl. Microbiol. Biotechnol. **19**, 1984, s. 36.
- [23] JEWELL, W. J. in Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater (Eds. Cooper, P. F., Atkinson, B.), Ellis Horwood, Chichester 1981, s. 251.
- [24] HICKLEY, R. F., OWENS, R. W.: Biotechnol. Bioeng. Symp. **11**, 1981, s. 399.
- [25] JERIS, J. S.: US Patent 4 182 675.
- [26] HICKLEY, R. F., OWENS, R. W.: 3rd Symp. Biotech. in Energy Production and Conservation, Gatlinburg, Tennessee 1981.
- [27] BAKER, R. P. G.: Proc. of AIChE Conference 29 Aug.-1 Sep. 1982, Cleveland, Ohio.
- [28] SWITZENBAUM, M. S.: Enzyme Microb. Technol. **5**, 1983, s. 242.
- [29] MEBUS, O., TEUBER, M.: Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. **16**, 1982, s. 194.
- [30] MISHRA, I. M., EL-TEMAMY, S. A., SCHÜGERL, K.: Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. **16**, 1982, s. 197.
- [31] HEISS, R.: Lebensmitteltechnologie, J. F. Bergmann, München 1950, s. 297.
- [32] REHM, H. J.: Industrielle Mikrobiologie, Springer-Verlag, Berlin 1980, s. 228.
- [33] GENUNG, R. K., MILLION, D. L., HANCHER, C. W., PITT, W. W.: Biotechnol. Bioeng. Symp. **8**, 1979, s. 329.
- [34] HANCHER, C. W., TAYLOR, P. A., NAPIER, J. M.: Biotechnol. Bioeng. Symp. **8**, 1979, s. 361.
- [35] FAIR, G. M., GEYER, J. C.: Water Supply and Waste Water Disposal, Wiley and Sons 1954, s. 707.
- [36] CALLANDER, I. J., BARFORD, J. P.: Proc. Biochem. **18**, August 1983, s. 24.
- [37] FUJIE, K., SEKIZAWA, T., KUBOTA, H.: J. Ferment. Technol. **55**, 1977, s. 532.
- [38] FUJIE, K., FURUYA, T., KUBOTA, H.: J. Ferment. Technol. **57**, 1979, s. 99.
- [39] UEDA, S., SAMBUICHI, M., FUJIO, Y.: in Microbiology for Environment Cleaning (Ed. Arima, K.), Support Minist. Educ. 212204-1077, 1978, s. 215.
- [40] YOUNG, J. C., MCCARTY, P. L.: J. Water Pollut. Control Fed. **41**, 1969, s. R 160.
- [41] BRAUN, R., HUSS, S.: Water Research **16**, 1982, s. 1167.
- [42] BLAY, G. A., WITT, E. H.: US Patent No. 4 352 738 (1982).
- [43] WITT, E. R., HUMPHREY, W. J., ROBERTS, T. E.: Proc. 34th Ind. Waste Conf. Purdue 1979, s. 229.
- [44] RAGAN, J. L.: Proc. of Argonne Symp.: Anaerobic Filters, an Energy Plus for Wastewater Treatment ANL/CNSV-TM 50, 1981, s. 129.
- [45] SHAH, Y. T.: Gas Liquid Solid Reactor Design, McGraw-Hill, London 1979.
- [46] YOUNG, J. C., DAHAB, M. F.: Biotechnol. Bioeng. Symp. **12**, 1982, s. 303.
- [47] VAN DEN BERG, L., LENTZ, C. P.: Proc. 35th Waste Conf., Purdue 1980, s. 496.

- [48] VAN DEN BERG, L., LENTZ, C. P.: Proc. 34th Ind. Waste Conf. Pardue 1979, s. 319.
- [49] VAN DEN BERG, L., KENNEDY, K. J.: Biotechnol. Lett. **3** (4), 1981, s. 165.
- [50] KENNEDY, K. J., VAN DEN BERG, L.: Proc. 36th Ind. Waste Conf., Pardue 1982, s. 678.
- [51] VAN DEN BERG, L., KENNEDY, K. J., HAMADA, M. F.: Proc. 36th Ind. Waste Conf., Pardue 1982, s. 686.
- [52] MESSING, R. A.: Ann. Reports on Fermentation Processes **4**, 1980, s. 105.
- [53] KATCHALSKI-KATZIR, E., FREEMAN, A.: Trends Biochem. Sci. **7**, 1982, s. 427.
- [54] VELIKY, I., JONES, A.: Biotechnol. Lett. **3**, 1981, s. 551.
- [55] BRODELIUS, P., DEUS, B., MCSBACH, K., ZENK, M. H. in Enzyme Engineering (Eds. Weetall, H. H., Royer, G. P.), Vol. 3, Plenum Press, New York, 1980, s. 373.
- [56] WADA, M., KATO, J., CHIBATA, I.: Eur. J. Appl. Microb. Biotechnol. **11**, 1981, s. 67.
- [57] WILLIAMS, D., MUNNECKE, D. M.: Biotechnol. Bioeng. **23**, 1981, s. 1813.
- [58] CHIBATA, I., TCSA, T.: Ann. Rev. Biophys. Bioeng. **10**, 1981, s. 197.
- [59] BANDYCPADHYAY, K. K., GHOSE, T. K.: Biotechnol. Bioeng. **24**, 1982, s. 805.
- [60] LEE, T. H., AHN, J. C., RYU, D. D. Y.: Enzyme Microb. Technol. **5**, 1983, s. 41.
- [61] JOSHI, S., YAMAZAKI, H.: Biotechnol. Lett. **6** (2), 1984, s. 797.
- [62] SHARMA, S., YAMAZAKI, H.: Biotechnol. Lett. **6** (5), 1984, s. 301.
- [63] LEUNG, K. L., JOSHI, S., YAMAZAKI, H.: Enzyme Microb. Technol. **5**, 1983, s. 181.
- [64] TODA, K., ONTAKE, H., ASAKURA, T.: Appl. Microbiol. Biotechnol. **24**, 1986, s. 97.
- [65] ATKINSON, B., KNIGHTS, A. J.: Biotechnol. Bioeng. **17**, 1975, s. 1245.
- [66] BROOKS, C. H.: Biotechnology Process Development. Part 1 — Fermenter Design, Report of John Brown Engineers and Constructors Ltd., Portsmouth, England.
- [67] ADLERCREUTZ, P., MATTIASON, B.: Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. **16**, 1982, s. 165.

Lektoroval Ing. L. Chládek, CSc.

Páca, J.: Bioreaktory, VIII. Reaktory s fluidní vrstvou a náplňové reaktory. Kvas. prům. **33**, 1987, č. 11, s. 335 až 338.

Jsou popsány reaktory s fluidní vrstvou s imobilizovanými enzymy a buňkami, druhy nosičů používaných pro imobilizaci, využití těchto reaktorů v procesu čištění odpadních vod a reaktor s plynou fluidní vrstvou. Z náplňových reaktorů jsou popsány: hoblinová ocetnice, biologický filtr, anaerobní biologický filtr, anaerobní stacionární filmový reaktor, kolony s imobilizovanými enzymy a buňkami, hranolový filmový reaktor a horizon-

tální hranolový reaktor. U každého typu reaktoru je uveden princip, výhody, nevýhody a možná aplikace.

Паца, Я.: Биореакторы. VIII. Реакторы с флуидным слоем и реакторы с наполнением. Квас. прум. **33**, 1987, № 11, стр. 335—338.

Описаны реакторы с флуидным слоем с иммобилизованными ферментами и клетками, типы носителей, применяющихся для иммобилизации, использование этих реакторов в процессе очистки сточных вод и реактор с газовым флуидным слоем. Из реакторов с наполнением описываются стружковый окислительный чан, анаэробный биологический фильтр, анаэробный стационарный пленочный реактор, горизонтальный призматический реактор, и колонки с иммобилизованными ферментами и клетками. Для каждого типа реактора приведен его принцип, выгоды, недостатки и возможность применения.

Páca, J.: Bioreactors. VIII. Fluidized-Bed and Packed-Bed Reactors. Kvas. prům. **33**, 1987, No. 11, pp. 335—338.

Fluidized-bed reactors with immobilized enzymes or cells, types of beds utilized for an immobilization, application of these reactors for waste water treatment and gas fluidized bed reactors are described. From packed-bed reactors are described: fixed-bed acetifier, trickling filter, anaerobic filter, anaerobic stationary fixed-film reactor, fixed-bed column with immobilized enzymes or cells, rectangular film reactor and horizontal flow channel reactor. The principle, advantages and possible applications are discussed with each type of the reactor.

Páca, J.: Bioreaktoren. VIII. Reaktoren mit Fluidschicht und Füllungsreaktoren. Kvas. prům. **33**, 1987, Nr. 11, S. 335—338.

Beschreibung der Reaktoren mit Fluidschicht mit immobilisierten Enzymen und Zellen, die für die Immobilisierung benutzten Trägerarten; Ausnützung dieser Reaktoren im Prozeß der Abwasserreinigung, weiter auch Reaktoren mit Gas-Fluidschicht. Von den Füllungsreaktoren werden folgenden beschrieben: Holzspan-Essigbildner, biologische Filter, anaerobe biologische Filter, anaerobe stationäre Filmreaktoren, Kolonnen mit immobilisierten Enzymen und Zellen, Prismen-Filmreaktoren und horizontale Filmreaktoren. Bei jedem Reaktorentyp werden das Prinzip, die Vor- und Nachteile und die Applikationsmöglichkeiten angeführt.