

Modelové čistenie odpadových vôd potravinárskeho priemyslu s využitím princípů kinetickej selekcie

VLADIMÍR HLAVAČKA

Súhrn. Práca sa zaoberá čistením potravinárskych odpadových vôd aktiváciou. V teoretickej časti sú podrobne rozobrané príčiny a vplyvy vláknitého napučievania aktivovaného kalu. Ďalej sa diskutuje o možnostiach potlačenia a prevencie vláknitého napučievania kalu. V experimentálnej časti je opísaný model selektorovej aktivácie s oddelenou regeneráciou kalu na čistenie odpadových vôd pšeničnej škrobárne. Vhodnosť procesu sa potvrdila za predpokladu úpravy pH, zníženia koncentrácie substrátu pred aktiváciou (vhodnou metódou predčistenia) a pri nižšom zaťažení kalu.

Odpadové vody potravinárskeho priemyslu majú od ostatných odlišný charakter, prejavujúci sa vysokým stupňom znečistenia a nerovnomernosťou produkcie. Je to spôsobené kampaňovitosťou, smennosťou, druhom, množstvom a kvalitou suroviny, úrovňou technologickej disciplíny. Tieto odpadové vody obsahujú látky ľahko odbúrateľné, prevažne glycidickej povahy, ďalej proteíny, minerálne zložky, lipidy, organické kyseliny a pod. Pri ich biologickom čistení prevažuje zatiaľ aktivačný proces v určitej modifikácii. Dôvodom týchto úprav je najmä sklon aktivovaného kalu k vláknitému napučievaniu. Zvláknený aktivovaný kal je objemný, vodnatý, voľnou sedimentáciou sa od vyčistenej vody ťažko oddeľuje, zle sa odvodňuje, čo veľmi sťažuje jeho ďalšie spracovanie a využitie. Pritom dobré aglomeračné a separačné vlastnosti zdravého aktivovaného kalu sú jednou z najcennejších vlastností tejto prirodzenej zmesnej kultúry mikroorganizmov.

Napučívanie aktivovaného kalu – príčiny a vplyvy

V praxi sa usadzovacie a zahusťovacie vlastnosti aktivovaného kalu posudzujú podľa kalového indexu (KI). Vo väčšine publikácií sa za napučaný považuje aktivovaný kal, ktorého hodnota KI presahuje 100 až 150 ml.g⁻¹ [1–3].

Takýto kal zle sedimentuje, usadzovacia rýchlosť je pod $0,5 \text{ m.h}^{-1}$, kým pri dobre flokulujúcom je vyše 4 m.h^{-1} . Napučaný kal sa veľmi ťažko zahusťuje, z čoho pramenia problémy s jeho úpravou a nasledujúcim spracovaním. Bežný je tiež únik jeho časti z dosadzovacej nádrže, čo ovplyvňuje čistiaci limit aktivačného procesu a zhoršuje pomery v recipiente (zvyšuje jeho kyslíkový deficit) [4].

Napučiavanie aktivovaného kalu môže byť nevláknité alebo vláknité. Nevláknité (označované aj ako zoogléálne) je pomerne zriedkavé, jeho bližšie príčiny zatiaľ neboli objasnené [1, 2]. Bežnejšie a problematickejšie je vláknité napučíavanie aktivovaného kalu, vyvolané nadmerným premnožením vláknitých mikroorganizmov, najčastejšie baktérií. Býva však spôsobené rôznymi mikroorganizmami, líšiacimi sa nerovnakými požiadavkami na prostredie, rýchlosťami rastu a vlastnosťami [1].

Vláknité mikroorganizmy sú prítomné prakticky v každom aktivovanom kale, dokonca sa vyznačujú vynikajúcim čistiacim efektom [2, 3, 5, 6]. Dlhé roky bol ako jediný pôvodca vláknienia označovaný druh *Sphaerotilus natans*. V súčasnosti je bližšie opísaných asi 30 ďalších druhov vláknitých mikroorganizmov aktivovaného kalu. Ide o rozsiahlu a ťažko určiteľnú skupinu mikroorganizmov, zahŕňajúcu rôzne taxonomické a fyziologické druhy. Častá je nejednotnosť terminológie, používa sa rad synonym, kódové značenie atď. Predovšetkým v poslednom období sa využíva určovací kľúč podľa Eikelbooma (citované v prácach [7–8]). Najčastejšie sa vyskytujú druhy *Sp. natans*, *Thiothrix sp.*, *Beggiatoa*, *Haliscomenobacter hydrossis*, *Nocardia sp.*, *Microthrix parvicella*, *Nostocoida limicola*, *Leucothrix mucor*, resp. *cohaerens*, Type 021 N, *Microscilla*, Type 0041, 0961, 1701, 0803, 0092, *Vitreoscilla*, *Achroonema*, *Toxothrix*, rôzne huby a pod. Frekvenciu výskytu vláknitých baktérií rozdelil Eikelboom do 5 kategórií.

Príčiny masového rozvoja vláknitých mikroorganizmov v zmesnej kultúre aktivovaného kalu sú rôzne. Na ich výskyt, život a správanie sa vláknitého kalu pôsobí veľa rôznych vplyvov. Faktory, ktoré vyvolávajú a ovplyvňujú vláknité napučíavanie aktivovaného kalu, možno rozdeliť do 4 hlavných skupín:

- zloženie substrátu čistenej odpadovej vody
- technologické parametre aktivačného procesu,
- stupeň regenerácie akumulácie kapacity,
- koncentračné pomery v aktivačnom procese [1–3].

Zo zložiek substrátu odpadovej vody sa za najčastejšiu príčinu vláknitého napučíavania aktivovaného kalu označujú sacharidy. Preto je výskyt vláknienia pomerne bežným javom pri čistení aktiváciou odpadových vôd z konzervární, liehovarov, vinárskych a mliekárenských závodov, cukrovarov, škrobární, pivovarov, sladovní, mraziarní, závodov rybného a fermentačného priemyslu, mäso spracujúcich a hydínárskych závodov [1, 2, 10–12]. Ďalšími

zložkami substrátu s rovnakým účinkom sú organické kyseliny. Z iných príčin prevažuje nízky obsah dusíkatých a fosforečných látok. Často býva táto príčina prezentovaná ako nutričná nevyváženosť (vrátane mikronutrientov) či nevyváženosť N a P, resp. vysoký pomer C:N alebo C:P [1, 2, 13]. Z hľadiska výskytu dusíkatých látok sa dáva výskyt vláknitých mikroorganizmov v kale do súvislosti aj s procesom nitrifikácie a denitrifikácie [13, 14]. Treba však rozlišovať, či zhoršenie KI je výsledkom premnoženia vláknitých mikroorganizmov, alebo flotovania kalu v dôsledku tvorby plyného dusíka. Špeciálne pre niektoré typy mikroorganizmov sa ako príčiny vláknienia kalu uvádzajú aj iné zložky substrátu odpadovej vody, ako sírany [7–9, 15, 16], H_2S [16], nízke pH [1, 2, 6, 9], tuky a vyššie mastné kyseliny [1, 2, 9, 17, 18], aminokyseliny či škrob [1, 2, 18, 19]. Zaujímavé pritom je, že pri odpadových vodách z mäsiarskych závodov je v literatúre výrazná nejednotnosť. Zrejme tu zohrávajú úlohu aj iné faktory ako zloženie substrátu odpadovej vody.

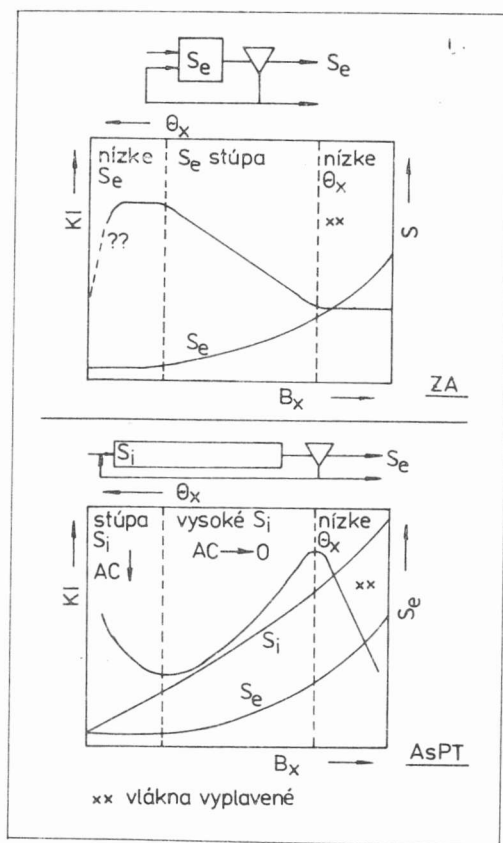
Okrem potravinárskeho priemyslu sa s problémom vláknitého napučievania aktivovaného kalu môžeme stretnúť aj v papierenskom a celulózovom priemysle, priemysle spracovania kože a výroby gleja, dokonca aj v petrochemickom priemysle. Pri komunálnych odpadových vodách ide o pomerne bežný jav (v 40 až 60 % prípadov), najmä pri zvýšenom výskyte odpadových vôd uvedených odvetví priemyslu, predovšetkým potravinárskeho. Treba tiež poznamenať, že pri zložení substrátu odpadovej vody ide aj o vzájomnú kombináciu zložiek, vplyv modifikácie aktivácie a iných spolufaktorov.

Výskyt vláknienia aktivovaného kalu sa zatiaľ nezistil pri odpadových vodách z textiliek, práčovní, z výroby a spracovania kovov, detergentov, farbív a antibiotík [1, 2, 13, 20, 21].

Z technologických parametrov aktivačného procesu vplyvajú na rozsah vláknitého napučievania aktivovaného kalu hlavne vek kalu (Θ_x) a zaťaženie kalu (B_x). Neexistuje však jednoznačná závislosť medzi týmito parametrami a KI. Vzájomné vzťahy zistené pre jednu ČOV, odpadovú vodu či modifikáciu aktivácie neplatia pre iné. Vhodným vysvetlením tohto faktu je, že na rozmnožovanie, rast a metabolizmus vláknitých mikroorganizmov má okrem technologických parametrov aktivácie vplyv popri už uvedenom zložení substrátu aj súhrn iných faktorov. Dôležitým z nich je hydraulické usporiadanie aktivačného procesu. Vzájomnú väzbu týchto faktorov dokumentuje najlepšie obrázok 1, vyjadrujúci vzťah medzi KI, koncentráciou v prítoku (S_i) a odtoku (S_e), zaťažením kalu (B_x) a vekom kalu (Θ_x), a to pre aktiváciu na princípe ideálneho zmiešavania – zmiešavaciu aktiváciu (ZA) a na princípe piestového toku – aktiváciu s postupným tokom (AsPT). Za bezpečné maximálne zaťaženie kalu, ktoré nespôsobuje jeho vláknenie, možno považovať hodnotu $B_x = 0,3 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ [1, 2].

Ďalšie faktory, ktoré vplyvajú na vláknenie aktivovaného kalu, sú kon-

Čím je vložka kalu väčšia, tým je difúzia kyslíka do nej výraznejšie ovplyvňovaná jeho nízkou koncentráciou v jej bezprostrednom okolí. Hranica tejto



Obr. 1. Vztah medzi KI, koncentráciou v prítoku (S_i), odtoku (S_e), zaťažením kalu (B_c) a vekom kalu (Θ_c) pre zmiešavaciu aktiváciu (ZA) a aktiváciu s postupným tokom (AsPT).

Fig. 1. Relations among KI (sludge index), inflow concentration (S_i), outflow concentration (S_e), sludge loading (B_x) and sludge age (Θ) for mix activation (ZA) and activation with gradual flow (AsPT) (¹Low; ²Rose; ³High; ⁴Discharged filaments)

koncentrácie je 2 mg.l⁻¹, teda pri hodnote DO nad túto hranicu nemá už vplyv na vláknité napučíavanie kalu. Z toho sa ustálil názor, že aktivačný proces má byť navrhovaný a vedený pri tejto minimálnej koncentrácii DO. Vtedy už ani heterotrófna ani autotrófna (nitrifikačná) rýchlosť oxidácie nezávisí od hodnoty DO [6,22], ktorá zabráňuje prebujnenie vláknitých mikroorganizmov. Zároveň ide o jediný spôsob prevencie a potlačenia vláknenia spôsobovaného nízkymi koncentráciami kyslíka v aktivačnom procese [1, 23]. Inú možnosť poskytuje priamo prechod na striktné anaeróbne podmienky v časti aktivácie, keď je odpadová voda kalom iba mechanicky miešaná. Ide o tzv. anaeróbny selektor [2, 24].

Oveľa väčší vplyv ako koncentrácia rozpusteného kyslíka (DO) má na rast vláknitých mikroorganizmov aktuálna koncentrácia využiteľného substrátu (S) v roztoku (aktivačnej zmesi). Tá ovplyvňuje rastovú rýchlosť mikroorganizmu podľa známej Monodovej rovnice, resp. po úprave rovnice odstraňovania substrátu (Michaelisa-Mentenovej) [1–3, 6, 22, 23, 25]:

$$r_x = r_{x,m} \cdot \frac{S}{K_s + S}$$

kde r_x je skutočná rýchlosť odstraňovania substrátu [T⁻¹], $r_{x,m}$ maximálna rýchlosť odstraňovania substrátu [T⁻¹], S koncentrácia substrátu [M.L⁻³], K_s = saturačná konštanta.

Hodnoty $r_{x,m}$ a K_s možno získať jednoduchou respirometrickou metódou, ktorú pre jednoduškové substráty vypracovali Čech et al. [22, 25, 26]. Za istých predpokladov sa nám ju podarilo aplikovať aj na zmesné substráty reálnych odpadových vôd [1, 27]. Pomocou tejto metódy možno dokázať, že napučaný aktivovaný kal má podstatne nižšie hodnoty konštánt $r_{x,m}$ a K_s ako zdravý nezláknutý val. Vlákňité baktérie totiž väčšinou patria do skupiny pomaly rastúcich [1, 3, 21–23]. Odstraňujú substrát rýchlejšie ako rýchlo rastúce baktérie (nevláknité) pri nízkych koncentráciách S , a naopak, pri vyšších hodnotách S pomalšie [1–3, 6, 21–23]. Vzhľadom na tento princíp dominancie je vhodné udržiavať vysokú hodnotu S na vstupe do aktivácie vhodnou úpravou hydraulických pomerov (vybudovaním AsPT alebo selektorovej aktivácie). Hydraulická charakteristika reaktora má tiež vplyv na výskyt vlákien v kale. Disperzné číslo reaktora ovplyvňuje koncentračný gradient substrátu pozdĺž neho, teda aj selekciu vhodných mikroorganizmov. V zmiešavacej aktivácii (ZA) je podporovaný rast vláknitých mikroorganizmov, v AsPT s nízkou pozdĺžnou disperziou zasa prevažujú rýchlo rastúce nevláknité mikroorganizmy. Platí to, pravda, len za predpokladu, že je úplne regenerovaná akumulácia kapacita mikroorganizmov aktivovaného kalu. Žiadny aktivačný systém s vysokým zaťažením biomasy nemôže zabezpečiť dobrú selekciu nevláknitých

mikroorganizmov ani pri dostatočne vysokej koncentrácii substrátu, ak tieto mikroorganizmy nemajú svoju akumuláciu kapacitu celkom obnovenú (zavedením oddelenej regenerácie kalu). To je zároveň posledný vplyv a príčina vláknitého napučievania aktivovaného kalu [2, 3]. Pri vysokom zaťažení kalu majú všetky mikroorganizmy svoju akumuláciu kapacitu úplne saturovanú, teda vláknité aj nevláknité mikroorganizmy odstraňujú substrát takmer zhodnou rýchlosťou. To vedie k ich približne rovnakému zastúpeniu v zmesnej kultúre kalu. Až zaradením oddelenej regenerácie kalu sa celkom obnoví akumulácia kapacita nevláknitých mikroorganizmov. Vzrastá hodnota ich r_x a zvyšuje sa celkové množstvo biomasy v systéme, čo spätne vedie k zníženiu B_x smerom k optimálnej hodnote asi $0,3 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (v BSK₅) [1–3].

Možnosti potlačenia a prevencie vláknitého napučievania

Na potlačenie a prevenciu vláknitého napučievania aktivovaného kalu treba využiť poznatky o príčinách, priebehu a dôsledkoch nadmerného výskytu vláknitých mikroorganizmov. Najvhodnejšie je odstrániť príčinu tohto stavu kalu, čo už v minulosti viedlo k viacerým účinným, aj keď živelným opatreniam. Potlačenie vláknenia je okamžitým zásahom do aktivačného procesu, ktorý je preň do istej miery vždy „šokom“. Používajú sa najmä chemické metódy, ako je dávkovanie chlóru, H_2O_2 , solí železa, vápna. Chlorácia a peroxidácia majú smrtiaci účinok na väčšinu druhov vláknitých mikroorganizmov. Sú účinné pri akomkoľvek stupni napučania. Kým peroxid nemá nežiadúce vedľajšie účinky, chlór čiastočne deštruuje aj vločky kalu a ostatné organizmy, čo má za následok prechodné zhoršenie čistiaceho účinku aktivácie. Peroxid je však oveľa drahší ako chlór. Účinok oboch činidiel spočíva v rýchlom ataku relatívne tenších vlákien [1, 2, 28–30].

Dávkovanie vápna či solí železa nemá smrtiaci účinok, ale zatažuje vláknitú štruktúru kalu. Je teda účinné len pri nižšom stupni napučania aktivovaného kalu [1, 2, 13, 21, 22].

Na prevenciu vláknitého napučievania kalu sa využíva princíp samovoľnej selekcie nevláknitých mikroorganizmov, resp. najúčinnnejšie opatrenie – riadená kinetická alebo akinetická selekcia so zaradením tzv. selektora.

Samovoľná selekcia nevláknitých mikroorganizmov nastáva už pri zmierne-
ní alebo odstránení príčin napučievania kalu (zmena substrátu, pH, koncentračných pomerov atď.). Účinné sú tiež čiastočné zásahy do hydraulického režimu procesu, resp. do jeho technologického usporiadania. Už samé zaradenie regenerácie kalu do aktivačného procesu výrazne potláča vláknenie kalu [1–3, 31–33]. V už jestvujúcich ČOV sa volí stavebne nenáročné prebudova-

nie zmiešavacej aktivácie (ZA) na aktiváciu s postupným tokom (AsPT) vhodne usporiadanými priehradkami. Takéto opatrenia sme realizovali v kukuričnej škrobárni Boleráz [19] a navrhli pre mraziarne [18, 33]. Vo všetkých prípadoch bol výrazný selekčný účinok AsPT podporný zaradením oddelenej regenerácie kalu.

Najúčinnším riešením problému vláknitého napučievania kalu je vybudovanie selektorovej aktivácie. V prítokovej časti aktivácie (selektore) sa úmyselne udržiava vysoká koncentrácia substrátu. Na základe uvedených princípov sa tak preferuje rozmnožovanie žiadúcich rýchlo rastúcich nevláknitých mikroorganizmov na úkor vláknitých [1-3, 10, 13, 21-23, 34-36]. Selektorová aktivácia (SeA) sa prakticky realizovala na viacerých ČOV v zahraničí, väčšinou komunálnych [1-3, 14, 21, 34, 37], ojedinele priemyselných [1-3, 10, 38, 39], z nich jedna je potravinárska (kampaňový cukrovar) [2, 3, 10]. U nás je SeA realizovaná v ČOV SCP Ružomberok [1, 2, 23].

Selekcia nevláknitých mikroorganizmov v napučanom kale je dlhodobá záležitosť (15 až 30 výmien kalu), najmä ak sú rastové rýchlosti oboch skupín mikroorganizmov blízke. Proces možno urýchliť jednorazovým odťahom 50 až 75 % zásoby kalu [1, 2, 39]. Na spoľahlivé dosiahnutie hodnôt KI pod 100 ml.g⁻¹ nesmie v selektore klesnúť koncentrácia S pod 50 mg.l⁻¹ (ako ChSK) [2], pravda, za predpokladu danej hodnoty B_x celého systému vrátane regenerácie pod 0,3 kg.kg⁻¹.d⁻¹ (ako BSK_s). V selektore by však nemala hodnota objemového zaťaženia (B_v) klesnúť pod 10 kg.m⁻³.d⁻¹, pričom v jeho prvej sekcii pod 40 kg.m⁻³.d⁻¹ (ako BSK_s). To zabezpečuje optimálnu účinnosť selektora na odstránenú BSK_s od 60 do 80 %, a teda hodnotu BSK_s v odtoku pod 20 mg.l⁻¹. Odporúča sa budovať selektor aspoň so 4 sekciami s optimálnou dobou zdržania (Θ). Účinnosť selektora ovplyvňuje okrem hodnoty Θ aj koncentrácia S , koncentrácia aktívnej biomasy (X_b) a oxygenačná kapacita v selektore [2, 34].

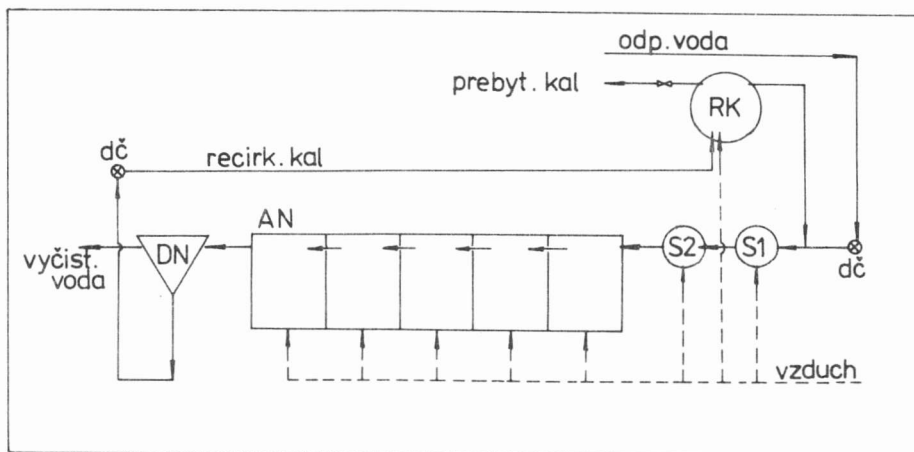
Popri uvedenej kinetickej selekcii sa v poslednom čase začína využívať aj princíp akinetickej selekcie. Je založený na poznatku, že niektoré vláknité mikroorganizmy nemôžu využívať dusičnanový dusík ako konečný akceptor elektrónov [1, 23, 40-42]. To je podstatou anoxického selektora. V anaeróbnom selektore sa využíva princíp, že vláknité mikroorganizmy nie sú schopné ako zdroj energie využívať polyfosfáty [13, 23]. V praxi je potrebné nájsť optimum medzi dobou zdržania v anoxickej a oxickej časti selektora [1, 24, 42-44].

Modelovanie selektorovej aktivácie

Uvedené poznatky sme využili pri modelovom overovaní biologického čistenia odpadových vôd z výroby pšeničného škrobu. Na modelovanie sme ako prvú modifikáciu aktivačného procesu zvolili selektorovú aktiváciu so zaradením oddelenej regenerácie kalu. Čistili sme reálne odpadové vody – zriedené odtoky z vonkajších sedimentačných nádrží závodu Slovenské škrobárne Dolný Ohaj. Sú to kalné, bielo sfarbené vody s charakteristickým kyslým zápachom. Majú zvýšený obsah disociovatelných anorganických solí, silne kyslú reakciu a vysoký stupeň organického znečistenia, a to v rozpustenej i nerozpustenej forme. Suspendované častice pozostávajú z malých častíc druhotného škrobu (priemer asi 10 μm) a menšieho podielu otrúb. Typická je tiež bohatá pena, ktorá komplikuje možné čistenie aktiváciou. Cieľom modelovania v tejto fáze bolo získať základné údaje o procese selektorovej aktivácie s daným substrátom, ktoré budeme v ďalšom období optimalizovať. Zároveň budeme riešiť otázku zníženia stupňa organického znečistenia týchto vôd, keďže odpadové vody s takou vysokou koncentráciou znečistenín sa pre aktivačný proces klasického usporiadania nehodia. Jedinou reálnou alternatívou biologického čistenia je tu selektorová aktivácia, aj to len pri dodržaní určitých obmedzení.

Modelová selektorová aktivácia pozostávala z aktivácie s postupným tokom (AsPT) s predradeným dvojčlenným selektorom, s oddelenou regeneráciou kalu a s dosadzovacou nádržou. Schéma tejto selektorovej aktivácie (SeA) je na obrázku 2.

Aktivačná nádrž (AN) pozostáva z 5 sekcií s rovnakým objemom (1 liter). Čistenú odpadovú vodu sme čerpali zo zásobníka peristaltickým dávkovacím čerpadlom (dč) cez časovacie spínacie zariadenie. V prívodnej hadici sa miešala s regenerovaným aktivovaným kalom. Táto aktivačná zmes vstupovala do dvojčlenného selektora (celkový objem 0,18 l) a ďalej do AN. V dosadzovacej nádrži (DN) oddelený recirkulovaný kal sa iným dávkovacím čerpadlom čerpal späť do regenerátora (RK) s objemom 1,1 litra. Tu bol odoberaný prebytočný kal. Celý proces prvej fázy modelovania trval 4,5 mesiaca po začiatčnej 1,5-mesačnej adaptácii aktivovaného kalu na substrát škrobárenskej odpadovej vody. Proces SeA sme denne sledovali z technologického hľadiska (vrátane víkendov) a v pracovných dňoch aj nevyhnutnými analytickými postupmi. Použili sme analytické metódy podľa metodiky [45], kde je najnovšie spracovanie a spresnenie predpísaných metód [46]. Hodnotili sme pH, ChSK_{Cr} , BSK_5 , rozpustené a nerozpustené látky sušené a žíhané, usaditeľné látky, podiel organickej sušiny a kalový index. Príslušné analýzy sme vykonávali v prítoku do modelu (homogenizované vzorky), odtoku z DN (ho-



2. Schéma modelovej selektorovej aktivácie. AN – aktivačná nádrž, DN – dosadzovacia nádrž, RK – regenerácia kalu. S1, S2 – selektory, dč – dávkovacie čerpadlo

Fig. 2. Scheme of model selector activated (sludge process AN – activated tank, DN – sedimentation tank, RK – sludge regeneration, S1, S2 – selectors, dč – supplying pump. ¹Cleared water; ²Recirculated sludge, ³Excess sludge, ⁴Waste water; ⁵Air.)

mogenizované a filtrované vzorky), v aktivačnej zmesi v 1. a 5. sekcii AN, v regenerátore a selektore. Frekvenciu rozborov sme upravovali podľa potreby. Parametre modelovej SeA sú uvedené v tabuľke 1. Oddelená regenerácia kalu bola do SeA zaradená od 10. dňa. Doba regenerácie ani vek kalu neboli optimalizované.

Tabuľka 1. Parametre modelovej selektorovej aktivácie
Table 1. Parameters of model select activated sludge process

Doba modelovania ¹		[d]	117
Prítok odpad. vody ²	Q	[l.d ⁻¹]	4,4
Doba zdržania odp. vody ³	Θ	[h]	28
Doba zdržania zmesi ⁴	Θ_z	[h]	19
Recirkulačný pomer ⁵	R	–	0,75
Priemerné objemové zaťaženie ^{*6}	B_v	[kg.m ⁻³ .d ⁻¹]	1,73
Priemerné zataženie kalu ^{*7}	B_x	[kg.kg ⁻¹ .d ⁻¹]	1,02
Vek kalu ⁸	Θ_x	[d]	5 (8)

*Údaje v BSK₂; Data in BOD

¹Time of modelling; ²Inflow of waste water; ³Detention time of waste water; ⁴Detention time of mixture; ⁵Recirculation ratio; ⁶Mean volume loading; ⁷Mean sludge loading; ⁸Sludge age.

Výsledky a diskusia

Súhrn analytických hodnôt sledovaného modelu SeA je spracovaný v tabuľkách. V tabuľke 2 je hodnotenie aktivačných zmesí z 1. a 5. sekcie AsPT a z regenerátora. V tabuľkách 3 a 4 je súhrn ostatných analýz v prítoku a odtoku modelu SeA. Všetky údaje boli podrobené testom odľahlých pozorovaní, na základe ktorých boli odľahlé zistené hodnoty zo štatistického súboru vyradené. Ostatné hodnoty patria do štatistického súboru ako štatisticky významné, a nie je možné ich vylúčiť. Zdanlivé odľahlosti nie sú spôsobené ne-

Tabuľka 2. Hodnotenie aktivačných zmesí v 1. a 5. sekcii AsPT a v regenerátore kalu modelovej selektorovej aktivácie ($n = 27$)

Table 2. Evaluation of activation mixtures in the first and fifth sections AsPT (activation with gradual flow) and in sludge regenerator in model selector activated sludge process ($n = 27$)

		Konc. biomasy ¹ [kg.m ⁻³]	Podiel org. sušiny ² [%]	KI ³ [ml.g ⁻¹]	Miešaný KI ⁴ [ml.g ⁻¹]
	min.	0,960	80,2	58	46
	max.	6,200	98,4	242	222
	ϕ_n	2,460	92,2	108	92
	smerod. odch. ⁸	0,22	3,25	19	12
	min.	0,885	75,5	76	43
	max.	5,500	98,5	256	202
	ϕ_b	2,050	90,4	111	93
	smerod. odch. ⁸	0,35	4,00	17	9,5
	min.	2,010	88,7	—	—
	max.	5,250	99,0	—	—
	ϕ_n	2,630	91,8	—	—
	smerod. odch. ⁸	0,70	2,8	—	—

¹Biomass concentration; ²Dried organic content; ³Sludge volume index; ⁴Stirred sludge volume index; ⁵Sludge regeneration; ⁶5th section; ⁷1st section; ⁸Standard deviation.

1. sekcia⁷

5. sekcia⁶

Regenerácia kalu⁵

Tabuľka 3. Analytická kontrola a účinnosť odstránenia ChSK_{Cr} a BSK_5 v modeli selektorovej aktivácie (SeA)

Table 3. Analytical control and efficiency of COD and BOD removal in the model of selector activated sludge process (SeA)

		Prítok do SeA (homog.) ¹	Odtok zo selektora (filtr.) ²	Odtok zo SeA ³		Účinnosť ⁴ [%]	
				homog.) ^{3a}	(filtr.) ^{3b}	selektora (filtr.) ^{4a}	celk. (filtr.) ^{4b}
	min.	0,980	0,500	0,028	0,025	49,0	82,8
	max.	3,500	0,750	0,210	0,180	79,3	98,9
	ϕ_n	2,050	0,550	0,070	0,048	73,2	96,2
	n	54	46	54	54	43	54
	smer. odch. ⁵	0,360	0,120	0,022	0,020	6,2	3,4
	min.	0,580	0,220	0,0052	0,0038	54,5	92,8
	max.	1,700	0,650	0,0600	0,0400	77,8	99,1
	ϕ_n	1,000	0,380	0,0120	0,0080	65,9	97,5
	n	21	16	21	21	16	21
	smer. odch. ⁵	0,150	0,100	0,0080	0,0022	7,1	1,6

¹Inflow into SeA (homog.); ²Outflow from the selector (filtr.); ³Outflow from SeA; ^{3a}(homog.); ^{3b}(filtr.); ⁴Efficiency; ^{4a}Of selector (filtr.); ^{4b}Total (filtr.); ⁵Standard deviation.

ChSK_{Cr} [kg.m⁻³]

BSK_5 [kg.m⁻³]

presnosťou analýz, ale variabilitou neštandardného substrátu. Využili sme Grubbsov parametrický test podľa práce [47] pre rozsah súboru n a hladinu významnosti $\alpha = 0,05$.

Modelová SeA pracovala pri asi trojnásobne vyššom zaťažení kalu (B_x) ako odporúča literatúra. K tomuto usporiadaniu nás viedli dva dôvody – vysoká koncentrácia vstupnej odpadovej vody a úloha overiť priebeh a účinnosť procesu pri takomto extrémnom zaťažení. Neustálenosť stavu aktivačného procesu a preťaženie sú dôvodom, že sa nepodarilo udržať potrebnú vyššiu koncentráciu aktívnej biomasy, a to ani úpravami v systéme odberu prebytočného kalu (úpravy veku kalu). Hodnoty podielu organickej sušiny biomasy sú vysoké, čo svedčí o dobrom fyziologickom stave kultúry. Tento stav sme z času na čas overovali aj mikroskopickou kontrolou aktivačných zmesí z jednotlivých častí SeA.

Tabuľka 4. Analytická kontrola nerozpustených látok sušených (NLS) a žíhaných (NLŽ), rozpustených látok sušených (RLS) a žíhaných (RLŽ) a pH (20 °C) v modeli selektorovej aktivácie (SeA)

Tabuľka 4. Analytical control of dried insoluble matter (NLS) and burned insoluble matter (NLŽ), dried soluble matter (RLS) and burned soluble matter (RLŽ) and pH (20°C) in model of selector activated sludge process (SeA)

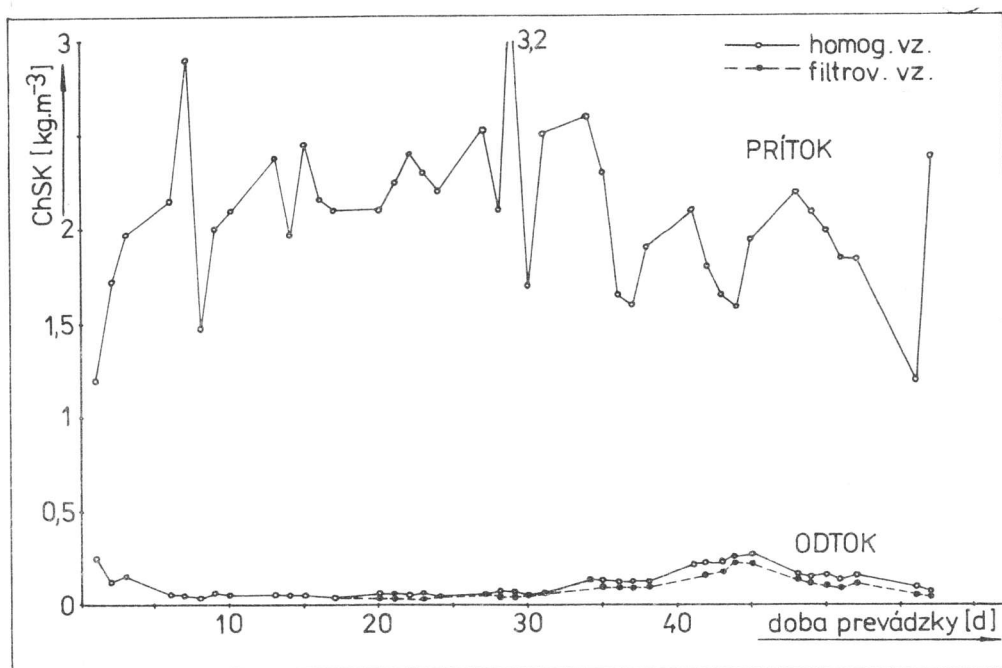
		Min.	Max.	ϕ_n	n	Smer. odch. ¹
NLS [kg.m ⁻³]	prítok ²	0,433	1,050	0,702	22	0,102
	odtok ³	0,402	0,890	0,603	22	0,097
NLŽ [kg.m ⁻³]	prítok ²	0,004	0,074	0,018	21	0,007
	odtok ³	0,026	0,665	0,397	21	0,100
RLS [kg.m ⁻³]	prítok ²	0,996	1,850	1,360	22	0,101
	odtok ³	0,037	0,105	0,060	22	0,009
RLŽ [kg.m ⁻³]	prítok ²	0,218	0,603	0,410	22	0,087
	odtok ³	0,007	0,092	0,036	22	0,009
pH* (20 °C)	prítok ²	5,58	7,91	6,96	54	0,26
	odtok selekt. ⁴	7,32	8,46	7,96	48	0,22
	odtok SeA ⁵	7,98	8,83	8,37	53	0,11

*Po úprave surovej odpadovej vody; After the waste water treatment.

¹Standard deviation; ²Inflow; ³Outflow; ⁴Outflow select.; ⁵Outflow SeA.

Keďže priemerná hodnota pH v prítoku do modelu v prvej časti overovania procesu bola tesne nad 4,0, začali sme upravovať pH. Nízke pH totiž podporovalo rast a rozmnožovanie vláknitých húb v prítokovej časti modelu, ktoré ju upchávali. Zároveň však eliminovali priaznivý vplyv selektora rozkladaním pomerne veľkého podielu organických látok (až 50 %). Po úprave pH huby pomerne rýchlo vymizli, ale na prechodný čas (asi 35 dní) sa trochu zhoršila účinnosť procesu. Tá postupne vzrastala, najmä vďaka funkcii selektora. Potvrdilo sa však, že proces selekcie je dlhodobý a vyžaduje si veľké množstvo výmen biomasy. Okrem hodnôt KI je dôkazom mikroskopická kontrola biomasy. Absolútna eliminácia vláknitých baktérií však dodnes nenastala. Na ich prežívanie má táto odpadová voda priaznivý vplyv (nízke pH, zloženie substrátu), podporovaný aj vysokým zaťažením kalu. Na to treba brať ohľad pri ďalšej prevádzke modelu a pri zadávaní technologických podkladov projektu ČOV.

Kolísanie hodnôt ChSK_{Cr} v prítoku a odtoku (ako najčastejšie analyzovaný parameter) je pre väčšiu názornosť okrem tabuľky spracované za takmer dvojmesačné obdobie 1. fázy pokusu aj graficky na obrázku 3.



Obr. 3. Priebeh hodnôt ChSK_{Cr} počas prevádzky modelovej selektorovej aktivácie v 1. fáze pokusu

Fig. 3. COD values during the run of model selector activated sludge process in the first phase of the experiment

Záver

V príspevku je zhodnotená prvá fáza modelového overovania čistenia škrobárenskej odpadovej vody v systéme selektorovej aktivácie s oddelenou regeneráciou kalu. Z tohto hodnotenia vyplýva, že SeA je vhodnou modifikáciou aktivačného procesu pre tento typ odpadovej vody, ale len za predpokladu dodržania určitých princípov. Pokúsime sa ich stručne zhrnúť: Je potrebná úprava pH vody pred vstupom do procesu. V súčasnosti tiež pracujeme na overení vhodnej metódy predčistenia týchto vôd, ktoré sú pre aktivačný proces príliš koncentrované. Treba tu rešpektovať potravinársky charakter odpadových vôd a možné využitie cenných zložiek z nich.

Vysokozatažený proces SeA pracoval napriek nízkej koncentrácii aktívnej biomasy s veľmi dobrou účinnosťou odstránenia organických zložiek substrátu (vyjadrených ako ChSK_{Cr} aj BSK_5). Svoju úlohu splnil nielen regenerátor kalu, ale aj selektor, čo potvrdzujú výsledky sledovania hodnôt KI a mikroskopická kontrola biomasy. Pritom účinnosť selektora na odstránenie organických zložiek substrátu neprevýšila odporúčaných 80 %. V ďalšom období budeme optimalizovať proces SeA z hľadiska veku kalu, zataženia, respiračných rýchlostí, nevyhnutnej doby regenerácie aktivovaného kalu, fyziologického stavu prebytočného kalu z dôvodov jeho zahusťovania a odvodnenia.

Zoznam použitých symbolov

AN	– aktivačná nádrž
AsPT	– aktivácia s postupným tokom
AZ	– aktivačná zmes
BSK_5	– biochemická spotreba kyslíka po 5 dňoch [M.L^{-3}]
B_x	– zataženie kalu [$\text{kg.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$]
ČOV	– čistiareň odpadových vôd
DO	– koncentrácia rozpusteného kyslíka [mg.l^{-1}]
ChSK	– chemická spotreba kyslíka [M.L^{-3}]
ChSK_{Cr}	– chemická spotreba kyslíka stanovená štandardnou dichromanovou metódou [M.L^{-3}]
KI	– kalový index [ml.g^{-1}]
K_s	– saturačná konštanta [M.L^{-3}]
RK	– regenerácia kalu
r_x	– skutočná rýchlosť odstraňovania substrátu [T^{-1}]
$r_{x,m}$	– maximálna rýchlosť odstraňovania substrátu [T^{-1}]
S	– koncentrácia substrátu odpadovej vody [M.L^{-3}]
S_e	– koncentrácia substrátu v odtoku [M.L^{-3}]
S_i	– koncentrácia substrátu v prítoku [M.L^{-3}]
Θ	– doba zdržania [h]
Θ_x	– vek kalu [d]
ZA	– zmiešavacia aktivácia

Literatúra

- [1] HLAVÁČKA, V., Vlákňité napučíavanie aktivovaného kalu a využitie selektorovej aktivácie na jeho potlačenie. Ašpir. minimum. Bratislava, Chemickotechnologická fakulta SVŠT 1987, 47 s.
- [2] CHUDOBA, J. – WANNER, J. – GRAU, P., Byttnění aktivovaného kalu. Praha, MLVH ČSR 1988, 60 s.

- [3] CHUDOBA, J. – GRAU, P., Bytnění aktivovaného kalu a praktické možnosti jeho potlačení. In: Moderní metody čištění odpadních vod. Příbram, Stř. VaK 1984, s. 161.
- [4] CHUDOBA, J., Čistící limity aktivčního procesu. In: Technická hydrobiologie – biologie čistírenských procesů. Frýdek-Místek, DT ČSVTS Pardubice 1987, s. 29.
- [5] GAUDY, A.F., Jr. – GAUDY, E.T., Microbiology for Environmental Scientists and Engineers. New York, McGraw-Hill 1980, 736 s.
- [6] CHUDOBA, J., Water Res. 19, 1985, č. 8, s. 1017.
- [7] OTTOVÁ, V. – GRAU, P. – SLADKÁ, A., Vodní hosp., 32, 1982, č. 8B, s. 219.
- [8] SLADKÁ, A., Vodní hosp., 32, 1982, č. 3B, s. 73.
- [9] STROM, P.F. – JENKINS, D., J. WPCF, 56, 1984, č. 5, s. 449.
- [10] KROISS, H. GWF-Wasser/Abwasser, 128, 1987, č. 2, s. 139.
- [11] LI, C.T. – HAO, O.J. – HSUEH, K.P., Water Res., 20, 1986, č. 10, s. 1281.
- [12] SCHWARTZ, H.G., Jr. – POPOWCHAK, T. – BECKER, K., J. WPCF, 52, 1980, č. 12, s. 2977.
- [13] WAGNER, F., Water Sci. Tech., 16, 1984, č. 1, s. 1.
- [14] ZIEGLER, M. – EMMERICH, M. – RÜDEN, H., Forum Städte-Hygiene, 35, 1984, č. 5, s. 217.
- [15] NAKAMURA, K. – DARZAI, M., J. Ferm. Tech., 64, 1986, č. 5, s. 433.
- [16] HUBER, G. – PETERS, K. – FREVERT, T., GWF-Wasser/Abwasser, 125, 1984, č. 9, s. 417.
- [17] RICHARD, M. – HAO, O. – JENKINS, D., J. WPCF, 57, 1985, č. 1, s. 68.
- [18] HLAVAČKA, V. – MOLČAN, L.: Odpadové vody mraziarenského priemyslu. In: Súčasnosť a perspektíva čistenia odpadových vôd potravinárskeho priemyslu. Poprad, Potravinoprojekt Košice 1984, s. 53.
- [19] HLAVAČKA, V. a kol.: Optimalizácia riešenia vodného hospodárstva z výroby kukuričného škrobu. Výskumná správa. Bratislava, VÚ LIKO 1987, 54 s.
- [20] ALLIEVI, L. – FERRARI, A., Agric. Wastes, 12, 1985, č. 2, s. 137.
- [21] CHUDOBA, J. – GRAU, P., Wiener Mitt., 56, 1985, s. 3.
- [22] CHUDOBA, J. – ČECH, J.S. – FARKAČ, J. – GRAU, P., Water Res., 19, 1985, č. 2, s. 191.
- [23] CHUDOBA, J.: Vlákňité bytnění aktivovaného kalu a jeho přirozené potlačení v selektorové aktivaci. In: Současný stav likvidace znečištěných koželužských odpadních vod. Otrokovice, DT ČSVTS Brno 1987, s. 11.
- [24] HOFFMAN, H.: Water Sci. Tech., 19, 1987, č. 7, s. 897.
- [25] ČECH, J.S. – CHUDOBA, J. – GRAU, P., Water Sci. Tech., 17, 1984, č. 2, s. 259.
- [26] ČECH, S. – FARKAČ, J. – CHUDOBA, J., Vodní hosp., 34, 1984, č. 8B, s. 215.
- [27] HLAVAČKA, V. – GRGAČ, P. – BUREŠ, V., Bull. PV, 27 (7), 1988, č. 3–4, s. .
- [28] NEETHLING, J.B. – ASCE, A.M. – CHUNG, Y.C. – JENKINS, D., J. Envir. Eng., 113, 1987, č. 1, s. 134.
- [29] SÝKORA, M., Vodohosp. tech.-ekon. inf., 27, 1985, č. 2, s. 61.
- [30] KIM, Ch. W. – KOOPMAN, B. – BITTON, G., Toxicity Assessment, 2, 1987, č. 1, s. 49.
- [31] CHUDOBA, J. – CHUDOBA, P. – ČECH, J.S., Water Res., 20, 1986, č. 12, s. 1505.
- [32] CHUDOBA, J. – CHUDOBA, P., Vodní hosp., 36, 1986, č. 12B, s. 311.
- [33] HLAVAČKA, V. – BUREŠ, V., Bull. PV, 25 (5) 1986, č. 3, s. 313.
- [34] CHUDOBA, J. – GRAU, P., Vodní hosp., 36, 1985, č. 8B, s. 197.
- [35] Pat. ČSSR AO 167 570.
- [36] Pat. ČSSR AO 167 571.
- [37] WHEELER, M.L. – JENKINS, D. – RICHARD, M.G.: Water Sci. Tech., 16, 1984, č. 1, s. 35.

- [38] CHUDOBA, J. – GRAU, P. – OTTOVÁ, V., *Water Res.*, 7, 1973, č. 9, s. 1389.
- [39] CHUDOBA, J.: Progresivní systémy biologického čištění. In: Progresivní systémy vodního hospodářství v průmyslu. Brno, SEI 1984, s. 19.
- [40] CHUDOBA, J. – WANNER, J.: Kinetická a akinetická selekce flokulujících mikroorganismů při čištění odpadních vod. In: CHISA '86. K. Vary, ČSCh ČSAV 1986, 10 s.
- [41] CHUDOBA, J. – ČECH, J.S. – CHUDOBA, P., *J. WPCF*, 57, 1985, č. 11, s. 1078.
- [42] WANNER, J. – CHUDOBA, J. – KUCMAN, K. – PROSKE, L., *Vodní hosp.*, 36, 1986, č. 11B, s. 291.
- [43] WANNER, J. – CHUDOBA, J. – KUCMAN, K. – PROSKE, L., *Water Res.*, 21, 1987, č. 10, s. 1411.
- [44] LEE, S.-E. – KOOPMAN, B.L. – JENKINS, D., *Water Sci. Tech.*, 14, 1982, č. 3, s. 407.
- [45] HORÁKOVÁ, M. – LISCHKE, P. – GRÜNWALD, A.: Chemické a fyzikální metody analýzy vod. Praha, SNTL 1986, 389 s.
- [46] HOFMANN, P. a kol.: Jednotné metody chemického rozboru vod. Praha, SNTL 1965, 449 s.
- [47] TUČEK, F. – HOLATA, I. – ECKSCHLAGER, K.: Výpočetní technika pro technologii vody a prostředí. 2. vyd. Praha, SNTL 1983, 240 s.

Модельная очистка пищевых сточных вод с применением принципа кинетической селекции

Резюме

Доклад занимается очисткой пищевых сточных вод путем применения активного ила. В теоретической части подробно обсуждаются причины и действия волокнистого набухания активного ила. Дальше обсуждаются возможности подавления и профилактики волокнистого набухания активного ила. В экспериментальной части описывается модель селективного процесса с активным илом с сепаратной регенерацией ила для очистки сточных вод на пшенице работающего крахмального завода. Годность процесса была подтверждена при регулировании pH, пониженной концентрации субстрата по процессу с активным илом (путем подходящего метода предварительной очистки) и в случае пониженной загрузки ила.

Model treatment of food waste waters using the principle of kinetic selection

Summary

The contribution deals with the food waste waters treatment using activated sludge process. Filamentous sludge bulking causes and influences are discussed thoroughly in the theoretical part. Further filamentous sludge bulking cure and prevention possibilities are discussed. The model of the activated sludge process with the selector and separated activated sludge regeneration for wheat starch waste waters treatment is described in the experimental part. Convenience of the process has been confirmed provided pH adjustment, lowering food concentration prior to the activated sludge process (using convient pretreatment method) and lower sludge loading were used.