



Optimalizácia spotreby energie pri biologickom procese čistenia komunálnych odpadových vôd

Reinhard Schröder¹ a Edita Augustínová²

Optimization of energy consumption in biological clearing of municipal waste water

The biological sewage purification is a technology which has been applied for many decades. The nature of the living space determines the basic applicability of natural, semi-technical and technical processes. The Necessary adaptation of control techniques is performed by means of measurements which will, for example, change reaction times, recirculation flows or oxygen concentrations, in order to set the required optimum of surrounding conditions in the activated sludge basins. The new measuring device (BioBalance) will warrant both the further optimization of the biological activated sludge process and the further stabilization of the operational sequens, since the activity of the activated sludge is an important measurable variable to be used in the on-line operation for controlling the SymBio-procedure.

Key words: nitrification, denitrification, controlling, BioBalance.

Úvod

Najúčinnější a ekonomicky najvýhodnejší spôsob čistenia pre komunálne odpadové vody, ktoré sú znečistené prevažne látkami podliehajúcimi biologickej degradácii, je aktivácia s nitrifikáciou a denitrifikáciou, pri ktorej ide v podstate o účelnú intenzifikáciu samočistiacich procesov v prírode. Pomocou tejto metódy môžeme dusík odstraňovať v jednostupňovom systéme tak, že jedna kultúra, ktorú tvorí zmes viacerých druhov mikroorganizmov, zaisťuje odstraňovanie organických látok nitrifikáciou a denitrifikáciou tým, že je periodicky vystavovaná oxickým a anoxickým podmienkam.

S rastúcim počtom obyvateľov sa odvádzanie a čistenie komunálnych odpadových vôd stáva stále závažnejším problémom. Odpadová voda, pochádzajúca z domácností a z časti z priemyslu, je zozbieraná kanalizačnou sieťou a privádzaná do biologickej čistiarene komunálnych odpadových vôd. Na Slovensku je na kanalizačnú sieť pripojených 53 % obyvateľov. Počet čistiarní komunálnych odpadových vôd dosiahol 296. Ich celková kapacita je 1,92 mil. m³ (Správa o stave ŽP, 1996). Tento stav vzhľadom na hospodárenie s komunálnou odpadovou vodou a na nedostatočnú technologickú spoľahlivosť čistiarenských zariadení nie je uspokojivý a pre Slovensko je potrebná nielen výstavba nových čistiarní odpadových vôd, ale aj rekonštrukcia už existujúcich.

Z pohľadu hospodárenia je pre efektívnosť čistenia komunálnych odpadových vôd dôležité minimalizovať tak investičné, ako aj prevádzkové náklady, z ktorých najväčší podiel pri biologickom čistení majú práve náklady na energiu, ktorú potrebujeme na prevzdušňovanie a tým dosiahnutie optimálnych podmienok pre udržanie takej koncentrácie kyslíka v systéme, ktorá zaručí, že vonkajšia časť kalovej vložky bude oxická a nitrifikujúca a vnútorná anoxická a denitrifikujúca. Táto optimalizácia podmienok biologického čistenia je predpokladom záruky pre stabilné a voči poruchám odolné čistenie komunálnych odpadových vôd. Na to môžeme využiť meraciu techniku BioBalance, ktorá bola vyvinutá firmou SHW Wassertechnik GmbH a je patentovo chránená (Patentschrift, 1995).

Spotreba energie pri biologickom čistení komunálnych odpadových vôd

V moderných biologických čistiarniach s aktiváciou dosahujú náklady na energiu v priemere jednu tretinu celkových nákladov na prevádzku a údržbu. Spotreba energie je smerodajne stanovená podľa stupňa aktivácie, ktorý spotrebuje približne tri štvrtiny z celkovej elektrickej energie (Bohn, 1992).

Pre čistiareň, ktorá spĺňa nároky na čistenie, vyplývajúce zo zákonov a predpisov o hospodárení s odpadovými vodami, môžeme uvažovať so spotrebou energie od 26 do 38 kWh na obyvateľa a rok. Prehľad hodnôt spotreby energie, ktorý je uvedený v tabuľke 1, vyplýva z pozorovaní na existujúcich čistiacich zariadeniach a z analytických výpočtov.

Získané hodnoty spotreby energie zahrňujú spotrebu energie tých agregátov, ktoré sú zvyčajne zaradené v jednotlivých stupňoch technologického reťazca. Spotreba energie pre konkrétnu čistiareň odpadových vôd sa pritom stanovuje v závislosti na dopravovanom množstve, dopravovanej výške a stupni účinnosti čerpadiel a tiež vzhľadom na topografické podmienky daného miesta.

¹ Dr.-Ing. Reinhard Schröder, SHW Wassertechnik GmbH, Ruhralle 185, D – 45136 Essen

² Ing. Edita Augustínová, CSc., Katedra mineralurgie a environmentálnych technológií F BERG Technickej univerzity, 04384 Košice, Park Komenského 19

(Recenzovali: Prof. Dr. Ing. František Špaldon, Dr.Sc. a Doc. Ing. Terézia Szabová, CSc.)

Tabuľka 1. Spotreba energie pri biologickom čistení komunálnych odpadových vôd (Bohn, 1992).

ZARIADENIE /TECHNOLOGICKÝ STUPEŇ	SPOTREBA ENERGIE NA OBYVATEĽA A ROK (kWh)
Hrablice a sítá	0,3 až 0,5
Lapač piesku s prevzdušňovaním	1,7 až 2,2
Predčistenie	0,4 až 0,6
Aktivácia (Nitrifikácia, predradená denitrifikácia)	17,2 až 25,8
Dosadzovanie	1,2 až 2,3
Prietokový zahusťovač	0,7 až 1,1
Zahusťovanie	2,2 až 2,8
Anaeróbne vyhnívanie kalu	2,4 až 2,9
Odvodňovanie	0,8 až 1,2

Najvyšší podiel na spotrebe energie pri biologickom čistení komunálnych odpadových vôd má aktivácia s nitrifikáciou a denitrifikáciou. Spotrebu energie v tomto stupni určíme z existencie nevyhnutných agregátov, pričom berieme do úvahy okrem zaradenia na prevzdušňovanie aj dodatočnú recirkuláciu odpadovej vody v anoxickej zóne a recirkuláciu prúdu odpadovej vody.

Množstvo energie potrebnej na aeráciu závisí od nasledujúcich faktorov:

- spotreba kyslíka na rozklad uhlíkatých zlúčenín O_C ,
- spotreba kyslíka pre oxidáciu dusíka O_N ,
- spôsob a hustota systému privádzania vzduchu,
- výška výnosu kyslíka C_N ,
- faktor prívodu kyslíka α .

Analytické zistenie potreby energie získame podľa nasledujúcej rovnice:

$$E_B = \frac{O_B \cdot B_d}{\alpha \cdot F_{O_2}} \cdot h_E \cdot e = \frac{C_s}{C_s - C_x} \cdot (O_C + O_N) \cdot B_d}{\alpha \cdot F_{O_2}} \cdot e \quad [\text{kWh} \cdot \text{d}^{-1}]$$

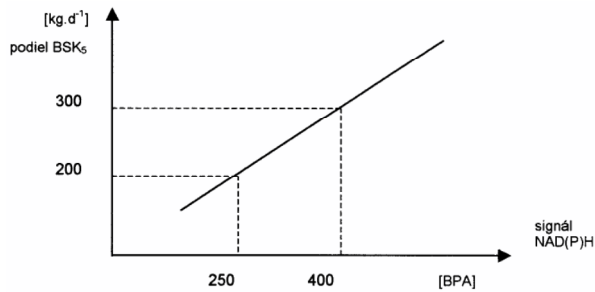
- E_B potreba energie pre aeráciu $[\text{kWh} \cdot \text{d}^{-1}]$
 O_B kyslíková záťaž $[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{BSK}_5]$
 B_d privádzané BSK_5 $[\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}]$
 h_E hĺbka premiešavania $[\text{m}]$
 C_s koncentrácia kyslíka pri nasýtení $[\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}]$ ($C_s = f(T)$)
 C_x zdržanie kyslíka v aeračnej zóne $[\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}]$ ($C_x = 2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$)
 O_C, O_N merná spotreba kyslíka na BSK rozklad a na oxidáciu N_2 $[\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{BSK}_5]$
 α stupeň účinnosti čerpadla ($0,5 < \alpha < 1$)
 F_{O_2} merné využitie kyslíka $[\text{kg} \cdot \text{Nm}^{-3} \cdot \text{m}^{-1}]$ (aerácia jemnými bublinkami cca 0,010-0,022 $\text{kg} \cdot \text{Nm}^{-3} \cdot \text{m}^{-1}$)
 e merná potreba energie $[\text{kWh} \cdot \text{Nm}^{-3} \cdot \text{m}^{-1}]$ ($0,004 < e < 0,008 \text{ kWh} \cdot \text{Nm}^{-3} \cdot \text{m}^{-1}$)

Biologické čistiarne komunálnych odpadových vôd je možné prevádzkovať vzhľadom na náklady na energiu pre prívod kyslíka ekonomickejšie, a to využitím meracej techniky BioBalance[®], pomocou ktorej sledujeme vývoj aktivity aktivovaného kalu.

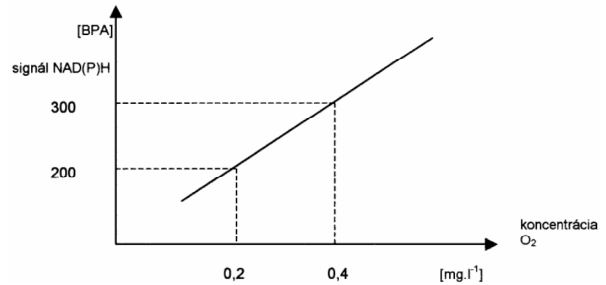
Meracia technika BioBalance[®]

Bezprostrednú aktivitu biomasy v aktivačnej nádrži a s ňou spojenú potrebu kyslíka môžeme kontinuálne zaznamenávať a následne regulovať pomocou techniky BioBalance[®]. Podstatou tohto merania je sledovanie intenzity fluorescencie koenzýmu NAD(P)H (nikotinamidadeninukleotidu – produktu látkovej výmeny v bunkách mikroorganizmov) pomocou sondy NAD(P)H. Maximálna fluorescencia je v oblasti vlnových dĺžok od 460 nm a túto emisiu svetla využíva NAD(P)H sonda na sledovanie koncentrácie NAD(P)H. Intenzita fluorescenčného svetla je proporcionálne lineárna k aktivite kalu v biomase. Touto meracou metódou môžeme pre mikroorganizmy sprostredkovať kontinuálne on-line aktuálnu ponuku živín (BioBalance, 1995). Lineárnu závislosť medzi signálom NAD(P)H a BSK_5 na prítoku znázorňuje obr.1. Hodnota BPA vyjadruje relatívnu aktivitu biomasy „Biological Potencial Activity“.

Touto metódou merania dosiahneme optimálnu reguláciu prívodu kyslíka do aktivačnej nádrže. Pritom prívod kyslíka nebude, ako doteraz obvykle, samostatne regulovaný koncentráciou rozpusteného kyslíka, ale bude pomocou sondy NAD(P)H prispôbený - v závislosti na zaťažení - skutočnej potrebe kyslíka pre mikroorganizmy. Obr. 2. znázorňuje lineárnu závislosť medzi signálom NAD(P)H a koncentráciou kyslíka v aktivačnej nádrži.



Obr.1. Lineárna závislosť medzi podielom BSK₅ na prítoku a signálom NAD(P)H.



Obr.2. Lineárna závislosť medzi signálom NAD(P)H a koncentráciou kyslíka v aktivačnej nádrži.

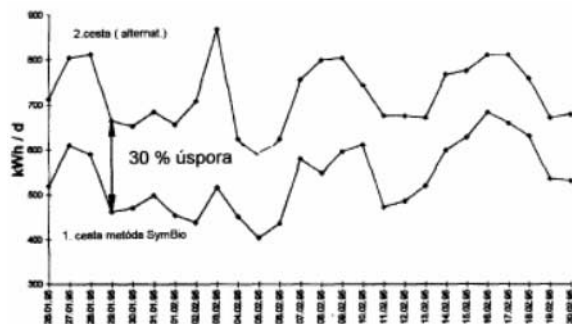
V praxi to znamená, že aplikovaním techniky BioBalance[®] získame možnosť sledovať hodnoty koncentrácie kyslíka v aktivačnej nádrži, a tým prispôbiť aj požadované prevzdušňovanie, ktorého podmienky sa menia, za čo najkratší možný čas (BioBalance, 1995).

Merania dokazujú, že pri tomto spôsobe prevádzky biologickej čistiarne komunálnych odpadových vôd je možná značná redukcia dodávky kyslíka, preto aj množstvo energie potrebnej na prevzdušňovanie je minimalizované.

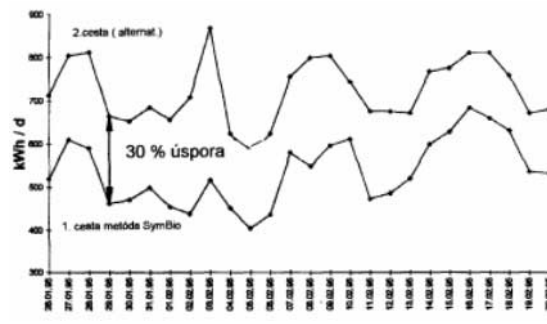
Využitie metódy Symbio[®] v čistiarnach komunálnych odpadových vôd

Metóda Symbio[®] predstavuje aktiváciu s nitrifikáciou a denitrifikáciou v jednostupňovom systéme s využitím metódy BioBalance[®] (Schröder et al., 1997). Účinnosť metódy Symbio[®] bola overovaná vo viacerých čistiarnach komunálnych odpadových vôd v Nemecku a v Dánsku, a to konkrétne v Hecklingene, Altenburgu, Thistede a Rupperthaine, kde boli vybudované čistiarne pre komunálne odpadové vody pre populačný ekvivalent medzi 5 000 až 100 000 EO (EO =ekvivalentný obyvateľ).

V priebehu výskumu a hodnotenia metódy Symbio[®] bola pozornosť venovaná tomu, aby mechanické zariadenia, ako napr. predčistenie a dosadzovanie, neboli hydraulicky preťažené. Pôvodné biologické stupne boli po porovnaní s výsledkami metódy Symbio[®] optimalizované. Na čistiarni odpadových vôd v Hecklingene bolo možné priame porovnanie úspory energie a parametrov zaťaženia v on-line paralelnej prevádzke. Tu dosiahnuté výsledky prezentuje obr. 3.



Obr.3. Čistiareň odpadových vôd Hecklingen – úspora spotreby energie na prevzdušňovanie.



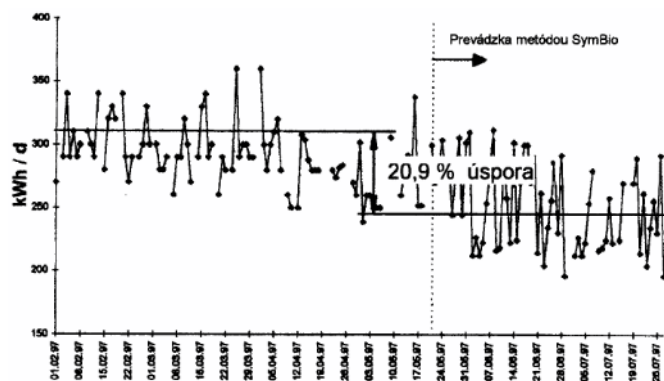
Obr.4. Čistiareň odpadových vôd Altenburg - úspora spotreby energie na prevzdušňovanie.

V Altenburgu bola čistiareň pre 100 000 EO (pôvodne dimenzovaná na proces BioDenifho) v auguste r. 1995 prebudovaná na proces Symbio[®]. Po optimalizácii procesov sa ušetrilo až 40 % energie, potrebnej na prevzdušňovanie. Táto optimalizácia prevádzky znamenala zvýšenú úsporu energie pre prevádzkovateľa čistiarne, SHW Wassertechnik, GmbH. Úsporu energie prezentuje obr.4.

Výsledky v úspore energie na čistiarni komunálnych odpadových vôd v Ruppertshaine po prebudovaní procesu čistenia na proces Symbio znázorňuje obr.5.

Cieľom týchto prezentácií bolo ukázať, že pri rovnakom objeme aktívneho kalu a pri rovnakých hodnotách na odtoku vo vzťahu k CHSK, BSK₅, N_{celk.} a eliminácie fosforu boli dosiahnuté veľmi dobré výsledky, ktoré ležia hlboko pod požadovanými hraničnými hodnotami na odtoku. Úspora energie pri týchto hodnotách dosiahla 20 - 36 %. V čistiarni odpadových vôd v Thistede boli úspory energie stanovené na 33 %.

Prevádzkou čistiarne odpadových vôd podľa metódy Symbio[®] môžeme redukovať mernú spotrebu energie z 0,6 na 0,2 až 0,4 kWh.kg⁻¹ BSK₅ rozložené, pričom úspora spočíva v dodržaní koncentrácie O₂ v oxickej zóne od 0,1 do 0,5 mg.l⁻¹.



Obr.5. Čistiareň odpadových vôd Ruppertsheim - úspora spotreby energie na prevádzkovanie.

Záver

Výsledky meraní, ktoré boli vyššie prezentované, dokumentujú, že pri prevádzke čistiarní komunálnych odpadových vôd je možné optimalizáciou procesov čistenia (zavedením metódy Symbio[®]) ušetriť značné množstvo energie. Touto úsporou dosiahneme zníženie prevádzkových nákladov, čo sa výrazne prejaví v celkovom hospodárení. Metóda Symbio[®] s podporou techniky BioBalance[®] takto otvára optimálne možnosti riešenia úspory energie v oblasti hospodárenia s komunálnymi odpadovými vodami, keď spája citlivú kontrolu s robustnou technikou a jednoduchým zaobchádzaním.

Literatúra

Správa o stave ŽP SR v roku 1996, MŽP SR, 1997.

Bohn, Th.: Wirtschaftlichkeit und Kostenplanung von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen. *Band 34, 1992.*

BioBalance - Beschreibung der Verfahrenstechnik. *BioBalance A/S/Saarberg Hölter Wassertechnik GmbH, 1995, Deutschland.*

Patentschrift. *BioBalance A/S, 11.05.1995, Dänemark (english).*

Schröder, R., Viertel, C. und Augustínová, E.: Stickstoffentfernung aus Abwässern mit dem Symbio-Verfahren. *WASSER-WIRTSCHAFT 87 Jahrgang Nr. 9, September 1997, 420-424.*