

Učinkovitost uklanjanja dušika iz sintetičke otpadne vode praonice upotrebom potpuno uronjenog membranskog reaktora pri različitim volumenskim opterećenjima ukupnim dušikom i koncentraciji aktivnog mulja

Dr.sc. **Brigita Altenbaher**, dipl.ing.
Prof.dr. **Sonja Šostar-Turk**, dipl.ing.^{1,2}
Prof.dr. **Milenko Roš**, dipl.kem.³

Elpa d.o.o.,

Velenje, Slovenija

¹Sučilište u Mariboru, Fakultet zdravstvene znanosti

Maribor, Slovenija

²Sučilište u Mariboru, Fakultet strojarstva

Maribor, Slovenija

³Kemijski institut

Ljubljana, Slovenija

e-mail: brigita.altenbaher@elpa.si

Prispjelo 2.4.2013.

UDK 677.01:628.3
Izvorni znanstveni rad

Svrha rada bila je odrediti učinak različitih volumenskih opterećenja ukupnim dušikom i različitih koncentracija aktivnog mulja (MLSS - mixed liquor suspended solids) u uronjenom membranskom bioreaktoru na nitrifikaciju i učinkovitost uklanjanja dušika iz meke sintetičke otpadne vode. U prvom dijelu istraživanja volumensko opterećenje ukupnim dušikom povećano je s 0,063 na 0,315 g L⁻¹ d⁻¹. Aktivni mulj nije uklonjen iz reaktora i zato se koncentracija povećala s početnih 4 g L⁻¹ na maksimalnu vrijednost od 25,6 g L⁻¹. Rezultati uklanjanja ukupnog dušika pokazali su da je učinak obrade bio najveći pri volumenskom opterećenju ukupnim dušikom od 19 g L⁻¹ d⁻¹ s učinkom uklanjanja od 84 %. U drugom dijelu istraživanja volumensko opterećenje ukupnim dušikom bilo je konstantno od 0,19 g L⁻¹ d⁻¹, a koncentracije aktivnog mulja mijenjale su se između 10 i 15 g L⁻¹. Rezultati u tom dijelu istraživanja pokazuju da se nitrifikacija nije dogodila kada je koncentracija aktivnog mulja bila 10 g L⁻¹ i da je nitrifikacija počela kada se povećala koncentracija aktiviranog mulja. Istraživanje pokazuje povezanost između koncentracije biomase i stupnja nitrifikacije u membranskom bioreaktoru (MBR).

Ključne riječi: membranski bioreaktor, biodegradacija, volumensko opterećenje, koncentracija aktivnog mulja, nitrifikacija

1. Uvod

Membranski bioreaktor (MBR) je sustav koji kombinira reaktor u kojem se odvija proces biološke ob-

rade, i membranske jedinice u kojoj se odvija proces odvajanja aktivnog mulja i obrađene vode (Judd, 2006) [1]. Reaktor omogućuje veću koncentraciju biomase aktivnog mulja

(MLSS - mixed liquor suspended solids) u reaktoru, do 40 g L⁻¹, dok je kod konvencionalnih bioloških procesa obrade koncentracija biomase manja od 5 g L⁻¹ (Marrot i sur., 2004.)

[2]. MBR sustavi osiguravaju manji stupanj proizvodnje biomase s većom starosti mulja, kraćim hidrauličkim vremenom retencije, većim uklanjanjem krutih i organskih tvari te dobrom retencijom aktivnog mulja (Ersu i sur., 2008.) [3]. Sustav je također fleksibilniji u usporedbi s konvencionalnim postrojenjima za obradu (Visvanathan i sur., 2000.) [4]. Učinkovita nitrifikacija i denitrifikacija može se postići i pri većim koncentracijama aktivnog mulja bez povećane aeracije. Uklanjanje dušikovih komponenata iz otpadne vode vrlo je važan problem kod kontrole zagađenja vode jer ove komponente mogu biti toksične za život u vodi i uzrokovati smanjenje količine kisika i eutrofikaciju u recipijentu (Rađenović i sur. 2008.) [5]. Dugo zadržavanje, odnosno retencija mulja (SRT) također povećava zadržavanje mikroorganizama s relativno malom brzinom rasta, kao što su dušične bakterije, odnosno bakterije koje pospješuju nitrifikaciju (Teck i sur. 2009.) [6]. Neki autori smatraju nužnim prisutnost minimalne količine otpadnog mulja kako bi se održavalo optimalno područje koncentracije mulja u membranskom bioreaktoru. Ako se mulj iz reaktora ne odvodi niti u malim količinama, može se očekivati akumulacija anorganskih spojeva (Rađenović i sur. 2008.) [5].

Zagađenje otpadne vode praonice, koje može biti biološki razgradljivo (Altenbaher i sur. 2010.; Altenbaher i sur. 2011.) [7, 8] ovisi o porijeklu rublja, stupnju onečišćenja rublja i vrsti procesa pranja. Zato je svrha ovog rada bila dobiti više podataka o biološkoj obradi meke otpadne vode koja također nastaje u industrijskim procesima pranja. Ispitivana je razlika učinkovitosti uklanjanja ukupnog dušika prema konstantnoj i promjenljivoj koncentraciji biomase. Ovim se proučavanjem željelo doći do korisnih podataka o maksimalnim volumenskim opterećenjima ukupnim dušikom koji se još uvijek može biološki razgraditi, i o najprikladnijoj koncentraciji aktivnog mulja (MLSS)

u reaktoru za otpadnu vodu praonice. Pomoću dobivenih rezultata odredit će se optimalni operativni uvjeti membranskog bioreaktora za uklanjanje ukupnog dušika i tako dobiti osnovni podaci za obradu različitih zagađenih otpadnih voda iz industrijskih praonica.

2. Materijali i postupci

2.1. Eksperimentalni dio

Membranski reaktor se sastojao od anoksičnog ($V = 10$ L) i aerobnog dijela ($V = 30$ L). U aerobnom dijelu instalirane su dvije klorirane ravne mikrofiltracijske membrane (Kubota) s veličinom pora od $0,4 \mu\text{m}$ i efektivnom površinom od $0,1 \text{ m}^2$ po membrani. Ispod membrana kontinuirano se provodila aeracija kako bi se djelomično spriječilo onečišćenje membrane i doveo zrak u bioreaktor. Aktivni ugljen, koji se koristio kod ispitivanja, uzet je iz aerobnog reaktora iz lokalnog pročištača otpadne vode (Maribor, Slovenija). Mekana sintetička otpadna voda koja je simu-

lirala otpadnu vodu praonice pripremla se dnevno iz mesnog peptona (Fluka 70174) kod koncentracije od 1 g L^{-1} destilirane vode. Svojstva sintetičke vode su: prosječni $\text{pH} = 5,65$; alkalnost $< 50 \text{ mg/L}$. Za dotok otpadne vode i filtraciju obrađene vode (permeat) korištene su dvije digitalne crpke Masterflex L/S. Senzor razine koristio se da bi se spriječilo prelijevanje i održavala konstantna razina tekućine u reaktoru, uz kontrolu rada crpke za dovođenje. Na sl.1 prikazana je shema procesa.

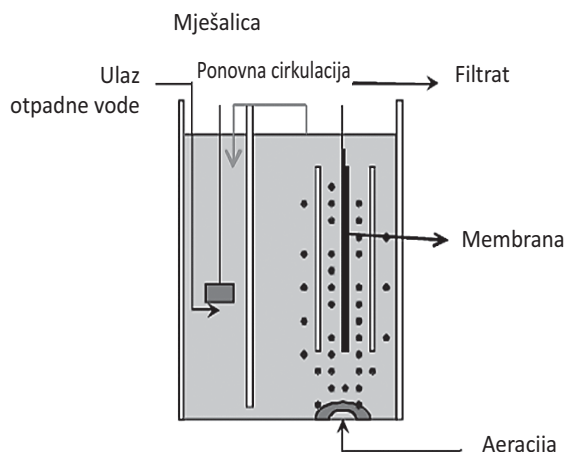
2.2. Različito volumensko opterećenje ukupnim dušikom

U ovom istraživanju sintetička otpadna voda s vrijednošću ukupnog dušika (TN) od $(112 \pm 20) \text{ mg L}^{-1}$ i KPK od $(505 \pm 80) \text{ mg L}^{-1}$ uvedena je u potopljeni membranski bioreaktor. Opterećenje ukupnim dušikom povećano je tijekom istraživanja promjenom dotoka (Q) s 1 na 5 L h^{-1} kroz 5 faza (tab.1) označene I, II, III, IV i V i iznosilo je od $0,063$ do $0,315$

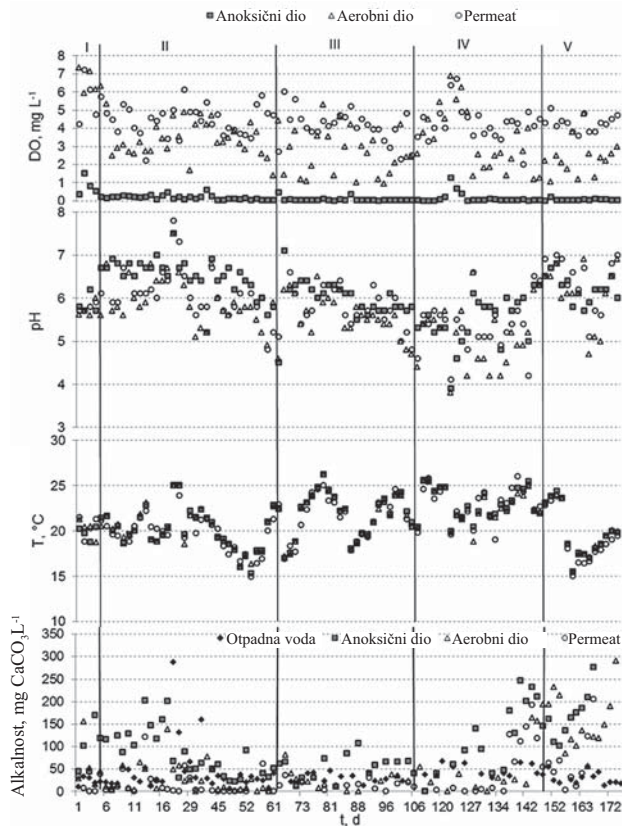
Tab.1 Radni uvjeti tijekom različitog volumenskog opterećenja ukupnim dušikom

Parametar	Faza I	Faza II	Faza III	Faza IV	Faza V
$Q (\text{L h}^{-1})$	1	2	3	4	5
$\text{TN} (\text{g L}^{-1} \text{ d}^{-1})$	0,063	0,126	0,19	0,252	0,315
$\text{COD} (\text{g L}^{-1} \text{ d}^{-1})$	0,317	0,634	0,954	1,268	1,585
HRT (h)	40	20	13.3	10	8

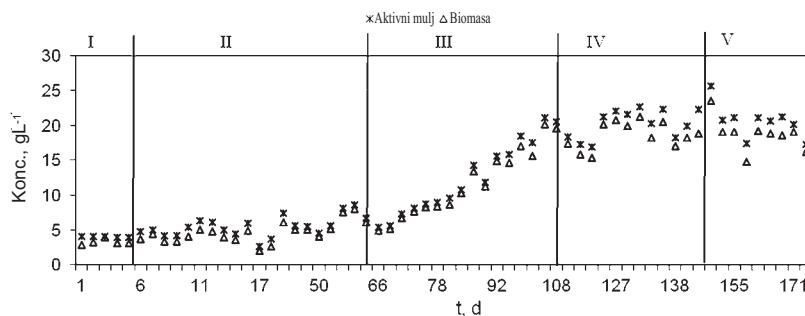
Q - tok, TN - ukupni dušik, COD - kemijska potreba kisika, HRT - hidrauličko vrijeme retencije



Sl.1 Procesna shema laboratorijskog membranskog reaktora



Sl.2 Svakodnevna mjerenja otopljenog kisika (DO), pH, temperature i alkalnosti u otpadnoj vodi, anoksičnom dijelu, aerobnom dijelu i permeatu za svaku fazu pri različitim volumenskim opterećenjima ukupnim dušikom



Sl.3 Koncentracije aktivnog mulja i biomase za svaku fazu pri različitim volumenskim opterećenjima ukupnim dušikom

TN L⁻¹ d⁻¹. Prema strujanju u različitim fazama određeni su i sljedeći parametri: kemijska potreba kisika (KPK) i hidrauličko vrijeme retencije. Svi podaci su navedeni u tab.1. Vrijeme svake faze bilo je različito i ovisilo je o prilagodbi aktiviranog mulja sintetičkoj vodi počevši s niskim koncentracijama za prilagodbu, nakon čega je slijedila povećana koncentracija sintetičke vode i povećano vrijeme prilagodbe. Tijekom tri mje-

seca (172 dana) za svaku fazu s različitim opterećenjem ukupnim dušikom određeni su sljedeći parametri:

- otopljeni kisik, pH vrijednost, temperatura i alkalnost (sl.2) za svaku fazu u anoksičnom dijelu, aerobnom dijelu i permeatu;
- koncentracija aktivnog mulja i biomase (sl.3) i uklanjanje ukupnog dušika i kemijske potrebe kisika u otpadnoj vodi (sl.4) za svaku fazu;

- koncentracije amonijaka, nitrita i nitrata (sl.5) za svaku fazu u otpadnoj vodi, anoksičnom dijelu, aerobnom dijelu i permeatu.

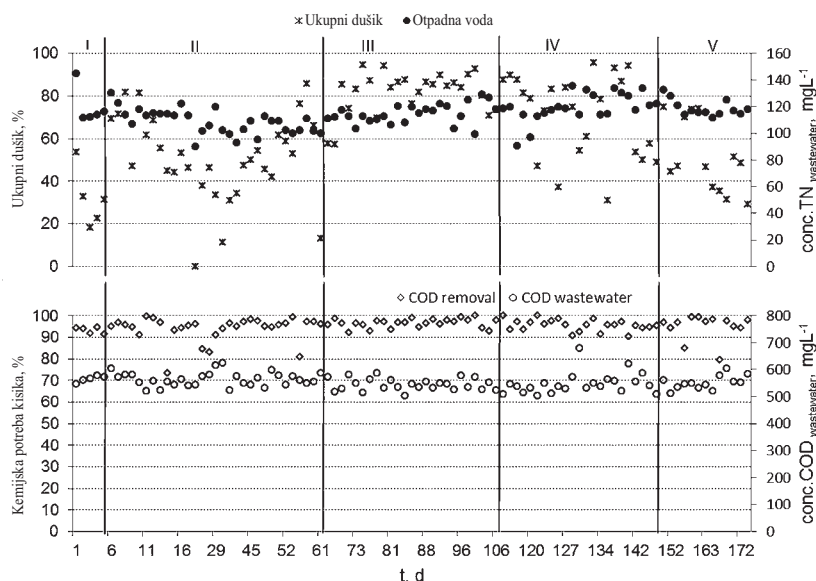
2.3. Fiksne koncentracije aktivnog mulja

U drugom dijelu istraživanja ispitan je utjecaj triju različitih koncentracija aktivnog mulja (10, 12,5 i 15 g L⁻¹) na učinkovitost uklanjanja dušika. Volumensko opterećenje ukupnim dušikom bilo je konstantno, odnosno 19 g L⁻¹ d⁻¹. Rezultati ovog dijela istraživanja pokazali su najprikladniju koncentraciju aktivnog mulja za membranski bioreaktor koji se koristi za otpadne vode praonica. Tijekom razdoblja od 107 dana određeni su sljedeći parametri:

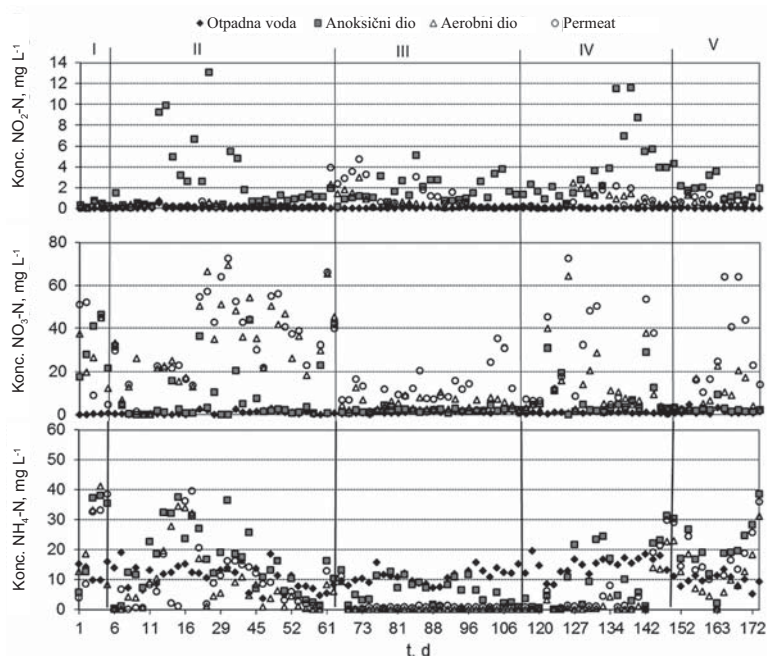
- otopljeni kisik, pH vrijednost, temperatura i alkalnost (sl.5) u anoksičnom dijelu, aerobnom dijelu i permeatu za svaku pojedinu koncentraciju u anoksičnom dijelu, aerobnom dijelu i permeatu,
- koncentracija ukupnog dušika u otpadnoj vodi i permeatu (sl.6) za svaku pojedinu koncentraciju aktivnog mulja,
- koncentracije amonijaka, nitrita i nitrata (sl.7) za svaku pojedinu koncentraciju u otpadnoj vodi, anoksičnom dijelu, aerobnom dijelu i permeatu.

2.4. Analitičke metode

Utjecaji postupka praćeni su određivanjem kemijske potrebe kisika (SIST SIST ISO 6060) [9], ukupnog dušika (SIST EN 12260) [10], amonijaka (SIST ISO 5664) [11], nitrita (SIST EN 26777) [12] i nitrata (SIST ISO 7890-1) [13] za dotok, anoksični dio, aerobni dio i permeat. Uzorci iz reaktora su filtrirani kroz filtarski papir koji ima veličinu pora od 3 do 5 μm. Svakodnevno su mjerene alkalnost (SIST ISO 9963-1) [14], temperatura (SIST DIN 38404-4) [15], otopljeni kisik (SIST EN 25814) [16] i pH (SIST ISO 10523) [17]. Tri puta tjedno su mjerene koncentracije aktivnog mulja i biomase (SIST ISO 11923) [18].



Sl.1.4 Učinkovitost uklanjanja ukupnog dušika i kemijske potrebe kisika i koncentracije u otpadnoj vodi za svaku fazu pri različitim opterećenju ukupnim dušikom



Sl.1.5 Koncentracije amonijaka, nitrita i nitrata za svaku fazu pri različitim volumenskom opterećenju ukupnim dušikom

3. Rezultati i rasprava

3.1. Različito volumensko opterećenje ukupnim dušikom

3.1.1. Radni uvjeti kod različitog opterećenja ukupnim dušikom

Koncentracija otopljenog kisika (DO) (sl.2) u aerobnom dijelu izno-

sila je uvijek više od 1 mg L⁻¹, katkada čak i više od 3 mg L⁻¹ što u biti ne povećava utjecaj obrade, već samo povećava troškove aeracije, premda, s druge strane, preniska koncentracija može uzrokovati rast nitastih bakterija u aktivnom mulju (Roš, 2001.) [18]. Koncentracija otopljenog kisika u anoksičnom dijelu bila je uvijek manja od 0,5 mg L⁻¹, osim

u tri slučaja kada su aeracijski difuzori prešli u ovaj dio reaktora.

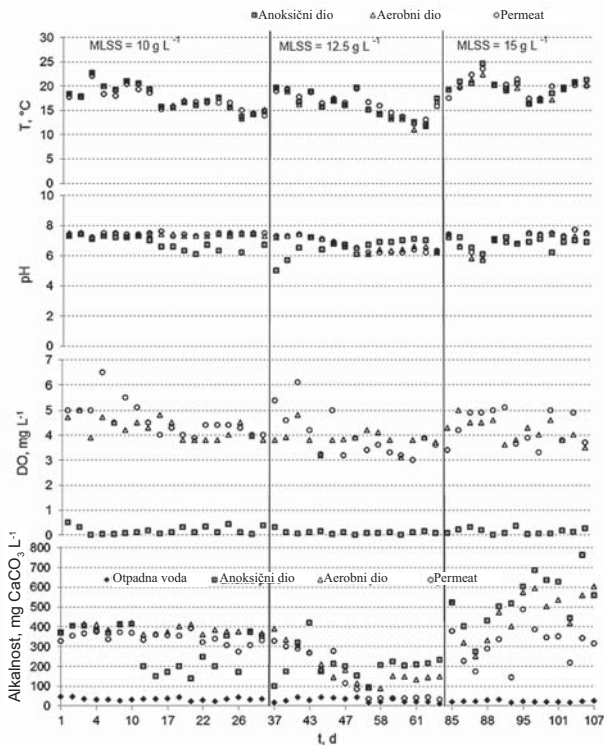
Tijekom ispitivanja pH vrijednost iznosila je od 3,9 do 7,1 u anoksičnom dijelu, a u aerobnom dijelu reaktora iznosila je od 3,8 do 7,5. Nepotpuna nitrifikacija u ovom dijelu istraživanja također bi mogla biti posljedica niskih pH vrijednosti. Kada je pH vrijednost izvan područja od 7,2 do 8,5, ugrožava se metabolizam autotrofnih mikroorganizama (Marsili-Libelli i Tabiani, 2002.; Rađenović i sur., 2008.) [19, 5]. pH je vrlo važan za biološku obradu dok mikroorganizmi ostaju dovoljno aktivni samo u uskom pH području od 6,5 do 9. Izvan tog područja biološka aktivnost se može kočiti ili čak zaustaviti. Nitrifikacijske reakcije su također vrlo osjetljive na pH. Tijekom procesa nitrifikacije pH vrijednost se može smanjiti do takve veličine zbog stvaranja mineralnih kiselina da se spriječi biološka aktivnost (Roš, 2001.) [18].

Temperatura se mjerila svakodnevno i iznosila je od 15,3 do 26,2 °C (sl.2) što je prikladno za optimalan učinak membranskog bioreaktora (Rađenović i sur., 2008.) [5].

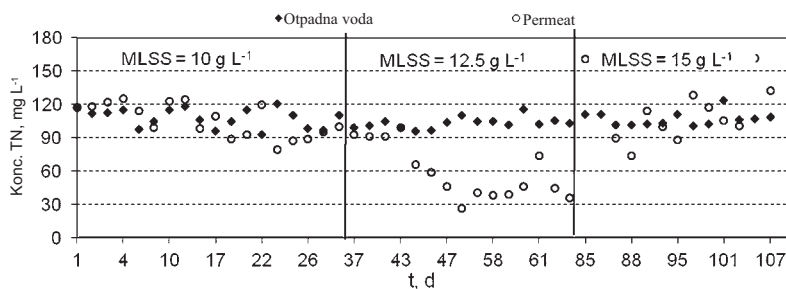
Alkalnost otpadne vode bila je zbog upotrebe mekane vode vrlo niska (manje od 50 mg CaCO₃ L⁻¹), osim 25., 26. i 36. dana obrade kada je uređaj za omekšivanje bio neispravan, te je korištena vodovodna voda (sl.2). Henze i sur. (1995.) [20] navode da proces nitrifikacije smanjuje alkalnost vode, a to je važno za nitrifikaciju relativno meke vode pri čemu pH vode može biti tako nizak da se proces nitrifikacije ograničava ili potpuno prestaje. Nepotpuna nitrifikacija u ovom istraživanju mogla bi biti također posljedica upotrebe meke otpadne vode i zato niske alkalnosti u reaktoru.

3.1.2. Koncentracije aktivnog mulja/biomase kod različitog opterećenja ukupnim dušikom

Tijekom rada aktivni mulj nije uklonjen iz reaktora pa se zato koncentracija povećala s početnih 4 g L⁻¹ na



Sl.6 Svakodnevna mjerenja otopljenog kisika (DO), pH, temperature i alkalnosti u otpadnoj vodi, anoksičnom dijelu, aerobnom dijelu i permeatu pri različitim koncentracijama aktivnog mulja



Sl.7 Koncentracija ukupnog dušika (TN) u otpadnoj vodi i u permeatu pri različitim koncentracijama aktivnog mulja

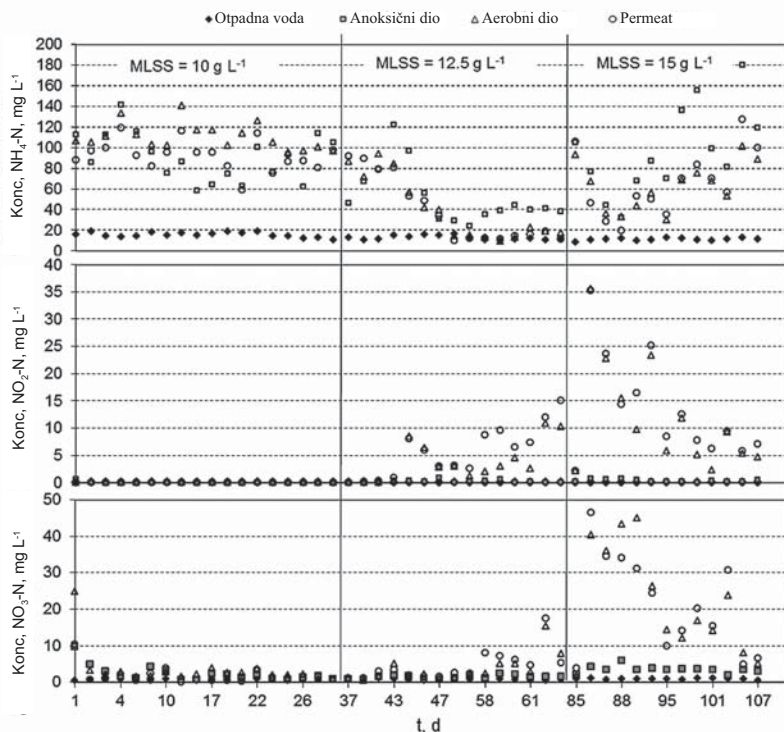
najvišu vrijednost $25,6 \text{ g L}^{-1}$ 141. dana rada (sl.3). Prvih šest dana rada koncentracija aktivnog mulja bila je konstantna, faza povećanja počela je u fazi II i zatim je postigla najvišu razinu (s 5 g L^{-1} na 21 g L^{-1}) kod volumenskog opterećenja ukupnim dušikom od $0,19 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (faza III). Kasnije se povećanje aktivnog mulja smanjilo i koncentracija aktivnog mulja bila je prosječna od 20 g L^{-1} . Slični rezultati dobiveni su i za koncentraciju biomase s prosječnom vrijednošću od 25 g L^{-1} .

3.1.3. Ukupni dušik i uklanjanje kemijske potrebe kisika pri različitom opterećenju ukupnim dušikom

Nitrifikacija je primarni proces kod uklanjanja sadržaja ukupnog dušika iz otpadne vode. Nepotpuna nitrifikacija smanjuje učinkovitost uklanjanja ukupnog dušika (Rajesh Banu i sur., 2009.) [22]. Rezultati uklanjanja kemijske potrebe kisika u procesu obrade pokazali su da je učinak obrade bio vrlo velik u svim fazama i iznosio je 93, 94 i 97 % za faze I do III i 95 % za faze IV i V (sl.4).

Rezultati uklanjanja ukupnog dušika (sl.4) u procesu obrade pokazali su da je učinak obrade bio najveći u fazi III gdje su koncentracije ukupnog dušika u permeatu bile prosječno 19 mg L^{-1} , a učinkovitost uklanjanja ukupnog dušika bila je 84 % za sintetičku otpadnu vodu kod pranja. Učinak obrade bio je manji za druge faze i iznosio je 31, 51, 68 odn. 49 % za faze I, II, IV odn. V. Rezultati su pokazali veću asimilaciju dušika u biomasi (manje koncentracije NO_3) u fazi III u kojoj se također povećava koncentracija aktivnog mulja. Budući da je membranski bioreaktor radio s dugim vremenom retencije, sadržaj mulja je često bio vrlo malen. Dakle, doprinos asimilacije uklanjanju ukupnog dušika bio bi malen, a nitrifikacija-denitrifikacija bi imala značajniju ulogu u uklanjanju dušika iz otpadne vode.

Na sl.5 prikazan je proces nitrifikacije u sustavu membranskog bioreaktora. Rezultati pokazuju da je proces nitrifikacije bio vrlo dobar u fazi III u kojoj je sav amonijak potpuno oksidiran. Henze i sur. (1995.) [20] navode da će se nitrat pojaviti u velikoj količini kada je razmatrani proces nestacionaran, npr. zbog promjenljivih opterećenja, ispiranja ili drugih operativnih problema u postrojenjima za obradu. Dakle, promjenljivo volumensko opterećenje ukupnim dušikom (iz faze u fazu) moglo bi biti razlogom povećanja i naknadnog smanjenja koncentracije nitrata u aerobnom dijelu reaktora. Koncentracija otopljenog kisika u području od $0,3$ do $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ prikladna je za djelomičnu nitrifikaciju (Xue i sur., 2009.) [23]; dakle, to bi mogao biti razlog za povremeno veću količinu nitrata u anoksičnom dijelu reaktora. Rezultati iz prvog dijela istraživanja pokazuju da unatoč vrlo maloj alkalnosti meke vode učinkovitost uklanjanja može biti još uvijek velika. Efekt obrade mnogo ovisi o povećanoj koncentraciji aktivnog mulja jer, kako se ističe u istraživanju, učinkovitost je manja kada je koncentracija biomase gotovo konstantna. Asimilacija nutrijenta u biomasu



Sl.8 Koncentracije amonijaka, nitrita i nitrata u otpadnoj vodi, anoksičnom dijelu, aerobnom dijelu i permeatu pri različitim koncentracijama aktivnog mulja MLSS - Koncentracija aktivnog mulja

je zato vrlo važna i trebala bi se uzeti u obzir tijekom obrade u membranskom bioreaktoru u kojem se koriste vrlo duga vremena retencije pa je zato količina mulja mala.

3.2. Fiksne koncentracije aktivnog mulja

3.2.1. Koncentracija aktivnog mulja i volumetrijsko opterećenje

Koncentracija aktivnog mulja mjerenja je svakodnevno i bila je konstantna s 10 g L⁻¹, 12,5 g L⁻¹ ili 15 g L⁻¹ uz odstupanje od 0,5 g L⁻¹. Suvišni aktivni mulj je uklonjen. Različita volumetrijska opterećenja ispitivana su sa sintetičkom otpadnom vodom u koju su dodane različite koncentracije peptona kako bi se dobile različite koncentracije dušika.

3.2.2. Radni uvjeti tijekom fiksnih koncentracija aktivnog mulja

Temperatura, pH, otopljeni kisik i alkalnost su također mjereni u tijeku ovog dijela istraživanja (sl. 6). Temperatura u reaktoru bila je od 10 do

25 °C, pH vrijednost je iznosila od 5 do 7,4 u anoksičnom dijelu i od 5,7 do 7,5 u aerobnom dijelu, a koncentracija otopljenog kisika iznosila je manje od 0,5 mg L⁻¹ u anoksičnom dijelu i više od 3 mg L⁻¹ u aerobnom dijelu. Premda je sastav sintetičke otpadne vode uzrokovao malu alkalnost otpadne vode, alkalnost u anoksičnom dijelu reaktora iznosila je od 100 do 450 mg CaCO₃ L⁻¹, kada je koncentracija aktivnog mulja iznosila 10 odn. 12,5 g L⁻¹ i do 760 mg CaCO₃ L⁻¹ kada je koncentracija aktivnog mulja iznosila 15 g L⁻¹. Kada je počela nitrifikacija (kod koncentracije aktivnog mulja od 12,5 g L⁻¹, alkalnost je bila značajno manja, a kada se alkalnost smanjuje, ona uzrokuje smanjenje pH vrijednosti i manju učinkovitost procesa (Henze i sur., 1995.) [21].

3.2.3. Uklanjanje dušika kod fiksnih koncentracija aktivnog mulja

Dnevne vrijednosti komponenata dušika nisu pokazivale nitrifikaciju kod koncentracije aktivnog mulja od 10

g L⁻¹ i nepotpunu nitrifikaciju kod koncentracije aktivnog mulja od 12,5 g L⁻¹ odn. 15 g L⁻¹ (sl.7). Maksimalna učinkovitost uklanjanja ukupnog dušika bila je kod koncentracije aktivnog mulja od 12,5 g L⁻¹ što je bilo 41 % u usporedbi s koncentracijama 10 g L⁻¹ i 15 g L⁻¹ što je maksimalno bilo 34 % odn. 27 % (sl.8), ali je ipak manje nego što su postigli drugi istraživači (Fu i sur., 2009.; Rajesh Banu i sur., 2009.; Teck i sur., 2009.) [24, 22, 6]. Dong i sur. (2009.) [25] navode da uklanjanje ukupnog dušika može također ovisiti o koncentraciji otopljenog kisika u reaktoru i da se povećanjem koncentracije otopljenog kisika s 0,1 mg L⁻¹ na 2 mg L⁻¹ mnogo povećava uklanjanje ukupnog dušika, ali kod koncentracije otopljenog kisika od 4 mg L⁻¹ učinkovitost se znatno smanjuje. U ovom istraživanju postignut je sličan učinak između 43. i 68. dana kada je otopljeni kisik bio maji od 4 mg L⁻¹, a koncentracija ukupnog dušika u permeatu je bila značajno manja (sl.6 i 8). Prema rezultatima u drugom dijelu istraživanja moglo bi se zaključiti da je kod svakodnevnog uklanjanja viška aktivnog mulja nitrifikacija bila mala kada je koncentracija aktivnog mulja iznosila 10 g L⁻¹ pa je smanjenje koncentracije ukupnog dušika bilo posljedica asimilacije u biomasu. S povećanjem koncentracije aktivnog mulja povećao se i stupanj nitrifikacije pa je i koncentracija nitrata u aerobnom dijelu bila visoka. Bolja učinkovitost uklanjanja ukupnog dušika mogla bi se postići internim recikliranjem iz aerobnog u anoksični dio reaktora, što bi smanjilo koncentraciju nitrata u otpadnoj vodi (Baeza i sur., 2004.; Ersu i sur., 2008.) [26, 3] pa je to predmet daljnjeg istraživanja.

4. Zaključak

Anoksično/aerobni membranski bioreaktor je u prvom dijelu istraživanja radio s duljim vremenom retencije mulja i s različitim volumenskim opterećenjima ukupnim dušikom za

sintetičku otpadnu vodu praonice. Rezultati uklanjanja ukupnog dušika u procesu obrade pokazali su da se učinkovitost uklanjanja povećala kod volumenskog opterećenja ukupnim dušikom od $0,19 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ koja je iznosila više od 84 %, a koncentracija ukupnog dušika u permeatu bila je prosječno 19 mg L^{-1} . Međutim, to se također postiglo jer se dušik asimilirao u biomasu. Kod daljnjeg povećanja volumenskog opterećenja učinak uklanjanja se smanjio jer je koncentracija aktivnog mulja bila gotovo konstantna.

U drugom dijelu istraživanja reaktor je radio s tri različite koncentracije aktivnog mulja, dok je volumensko opterećenje ukupnim dušikom bilo konstantno od $0,19 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Rezultati ovog dijela istraživanja pokazali su da je koncentracija aktivnog mulja u reaktoru vrlo važan parametar, pa kada se poveća volumensko opterećenje, koncentracija aktivnog mulja se također mora povećati, jer će se inače uočiti manja nitrifikacija. Za nitrifikaciju su važne i pH vrijednosti. Međutim, u ovom dijelu istraživanja one su bile gotovo u optimalnom području i ne bi trebale imati negativan utjecaj na nitrifikaciju. Membranski bioreaktori radili su s visokim koncentracijama aktivnog mulja što uzrokuje manju osjetljivost, pa se vrlo onečišćene otpadne vode mogu uspješnije obraditi nego tijekom klasičnih postupaka obrade. Međutim, budući da visoke koncentracije aktivnog mulja mogu uzrokovati onečišćenje membrane, moraju se pronaći optimalni uvjeti.

Za obradu sintetičke otpadne vode praonice membranskim bioreaktorom potrebna je ravnoteža između koncentracije aktivnog mulja i volumenskog opterećenja što će osigurati odgovarajuću učinkovitost kao što su pokazali rezultati kod opterećenja od $0,19 \text{ g}$ ukupnog dušika $\text{L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, a koncentracija aktivnog mulja od 10 mg L^{-1} bila je preniska da omogućiti nitrifikaciju. (Preveo M. Horvatić)

Literatura:

- [1] Judd S.: The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment, Elsevier Ltd. The Boulevard. Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, London (2006), UK
- [2] Marrot B., A. Barrios-Martinez, P. Moulin, N. Roche: Industrial wastewater treatment in a membrane bioreactor: A review. *Environ. Prog.* 23 (2004) 1, 59-68
- [3] Ersu C.B., S.K. Ong, E. Arslankaya, P. Brown: Comparison of recirculation configurations for biological nutrient removal in a membrane bioreactor, *Water Res.* 42 (2008.) 1651-1663
- [4] Visvanathan C., R. Ben Aim, K. Parameshwaran: Membrane separation bioreactors for wastewater treatment, *Crit. Rev. Environ. Sci. Tech.* 30 (2000) 1, 1-48
- [5] Rađenović J., M. Matošić, I. Mijatović, M. Petrović, D. Baracelló: Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology. *The Handbook of Environmental Chemistry* 5 (2008) 37-101
- [6] Teck H.C., K.S. Loong, D.D. Sun, J.O. Leckie: Influence of a prolonged solid retention time environment on nitrification/denitrification and sludge production in a submerged membrane bioreactor, *Desalination* 245 (2009) 28-43
- [7] Altenbaher B., M. Levstek, B. Neral, S. Šostar Turk: Laundry wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor. *Tekstil* 59 (2010.) 8, 333-339
- [8] Altenbaher B., S. Šostar Turk, S. Fijan: Ecological parameters and disinfection effect of low-temperature laundering in hospitals in Slovenia, *J. Clean. Prod.* 19 (2011) 253-258
- [9] SIST ISO 6060, 1996. Water quality - determination of the chemical oxygen demand (COD) (In Slovenian)
- [10] SIST EN 12260, 2003. Water quality - Determination of nitrogen - Determination of bound nitrogen (TNb), following oxidation to nitrogen oxides. (In Slovenian)
- [11] SIST ISO 5664, 1996. Water quality - Determination of ammonium - Distillation and titration method. (In Slovenian)
- [12] SIST EN 26777, 1996. Water quality - Determination of nitrite - Molecular absorption spectrometric method (ISO 6777:1984). (In Slovenian)
- [13] SIST ISO 7890-1, 1996. Water quality - Determination of nitrate - Part 1: 2,6-Dimethylphenol spectrometric method. (In Slovenian)
- [14] SIST ISO 9963-1, 1998. Determination of alkalinity - Part 1: Determination of total and composite alkalinity. (In Slovenian)
- [15] SIST DIN 38404-4, 2000. German Standard Methods for Analyzing of Water, Waste Water and Sludge; Physical and Physical-chemical Parameters (Group C); Determination of Temperature (C4). (In Slovenian)
- [16] SIST EN 25814, 1996: Water quality - Determination of dissolved oxygen - Electrochemical probe method (ISO 5814:1990). (In Slovenian)
- [17] SIST ISO 10523, 2010: Water quality - Determination of pH. (In Slovenian)
- [18] SIST ISO 11923, 1998: Water quality - Determination of suspended solids by filtration through glass-fibre filters. (In Slovenian)
- [19] Roš M.: Biological treatment of wastewater, Ljubljana (2001) GV publisher. (In Slovenian)
- [20] Marsili-Libelli S., F. Tabani: Accuracy analysis of a respirometer for activated sludge dynamic modeling, *Water Res.* 36 (2002) 1181-1192
- [21] Henze M., P. Harremoës, J.C. Jansen, E. Arvin: Wastewater treatment: biological and chemical processes. Berlin, Heidelberg (1995) Springer Verlag
- [22] Rajesh Banu J., D. Khac Uan, I.T. Yeom: Nutrient removal in an A2O-MBR reactor with sludge reduction. *Biores. Tech.* 100 (2009) 3820-3824
- [23] Xue Y., F. Yang, S. Liu, Z. Fu : The influence of controlling factors on the start-up and operation for partial nitrification in membrane bioreactor, *Biores. Tech.* 100 (2009) 1055-1060
- [24] Fu Z., F. Yang, Y. An, Y. Xue: Simultaneous nitrification and denitrification coupled with phosphorus removal in an modified anoxic/oxic-membrane bioreactor (A/O-MBR), *Biochem. Eng. J.* 43 (2009) 191-196
- [25] Dong W., H. Wang, W. Li, W. Ying, G. Gan, Y. Yang: Effect of DO on simultaneous removal of carbon and nitrogen by membrane aeration/filtration combined bioreactor, *J. Membr. Sci.* 344 (2009) 219-224
- [26] Beza J.A., D. Gabriel, J. Lafuente: Effect of internal recycle on the nitrogen removal efficiency of an anaerobic/anoxic/oxic (A²O) wastewater treatment plant (WW-WTP), *Process Biochem* 39 (2004) 1615-1624

SUMMARY

The efficiency of nitrogen removal in synthetic laundry wastewater using a submerged membrane bioreactor at different total nitrogen volume loadings and MLSS concentrations

B. Altenbaher, S. Šostar-Turk^{1,2}, M. Roš³

The aim of this study was to determine the effect of various total nitrogen volume loadings and various mixed liquor suspended solids (MLSS) concentrations in the submerged membrane bioreactor on the nitrification and the efficiency of nitrogen removal from soft synthetic wastewater. In the first part of the research the total nitrogen volume loading was increased from 0.063 to 0.315 g L⁻¹ d⁻¹. The activated sludge was not removed from the reactor and therefore the concentration increased from the initial 4 g L⁻¹ to a maximum value of 25.6 g L⁻¹. The results for removal of total nitrogen showed that the treatment effect was highest at the total nitrogen volume loading of 0.19 g L⁻¹ d⁻¹, with 84 % removal efficiency. In the second part of the research the total nitrogen volume loading was held constant at 0.19 g L⁻¹ d⁻¹ and the MLSS concentrations were varied between 10 and 15 g L⁻¹. The results in this part of the research showed that nitrification did not occur when the activated sludge concentration was 10 g L⁻¹ and that nitrification started when the activated sludge concentration increased. The research shows the connection between biomass concentration and nitrification degree in the MBR.

Key words: membrane bioreactor; biodegradation; volume load; activated sludge concentration; nitrification

Elpa d.o.o., Velenje, Slovenia

¹*University of Maribor, Faculty of Health Sciences Maribor, Slovenia*

²*University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering Maribor, Slovenia*

³*National Institute of Chemistry*

Ljubljana, Slovenia

e-mail: brigita.altenbaher@elpa.si

Received April 2, 2013

Die Effizienz der Stickstoffentfernung aus dem Wäschereiabwasser bei Verwendung des Eintauch-Membranbioreaktors bei unterschiedlichen Gesamtstickstoff-Volumenbelastungen und Belebtschlammkonzentrationen

Das Ziel dieser Forschung war, den Effekt unterschiedlicher Gesamtstickstoffvolumenbelastungen und verschiedener Belebtschlammkonzentrationen im Eintauch-Membranbioreaktor auf die Nitrifikation und die Effizienz der Stickstoffentfernung des weichen synthetischen Abwassers zu bestimmen. Im ersten Teil der Forschung wurde die Gesamtstickstoffvolumenbelastung von 0,063 auf 0,315 g L⁻¹ d⁻¹ erhöht. Der belebte Schlamm wurde nicht aus dem Reaktor entfernt und deshalb wurde die Konzentration von den anfänglichen 4 g L⁻¹ auf den maximalen Wert von 25,6 g L⁻¹ erhöht. Die Ergebnisse der Entfernung des Gesamtstickstoffs haben gezeigt, dass die Behandlungswirkung bei der Gesamtstickstoff-Volumenbelastung von 0,19 g L⁻¹ d⁻¹, mit einer Entfernungseffizienz von 84%, am höchsten war. Im zweiten Teil der Forschung wurde die Gesamtstickstoff-Volumenbelastung auf 0,19 g L⁻¹ d⁻¹ konstant gehalten und die Belebtschlammkonzentrationen wurden zwischen 10 und 15 g L⁻¹ variiert. Die Ergebnisse in diesem Teil der Forschung haben gezeigt, dass Nitrifikation nicht auftrat, als die Belebtschlammkonzentration bei 10 g L⁻¹ lag und dass Nitrifikation anfang, als die Konzentration des Belebtschlammes zunahm. Die Forschung zeigt die Verbindung zwischen Biomassekonzentration und Nitrifikationsgrad im MBR.