



DEAMONIFIKACIJA – NAPREDNO ODSTRANJEVANJE DUŠIKA

dr. Marjetka LEVSTEK¹, dr. Marjetka STRAŽAR²

Povzetek

Centralna čistilna naprava Domžale - Kamnik je bila v letu 2016 nadgrajena na terciarno stopnjo čiščenja. Ker obstoječi sistem vključuje anaerobno biološko stopnjo z gnilišči, se je ob pripravi projekta nadgradnje upoštevalo dejstvo, da v procesu dehidracije nastaja centrifugat, ki vsebuje visoko koncentracijo dušika in jo je smiselno zmanjšati v posebnem procesu pred vstopom v proces SBR. V projekt nadgradnje je bil vključen nov in napreden postopek deamonifikacije, pri katerem posebne vrste bakterij v pogojih z minimalno koncentracijo kisika amonijev dušik s pomočjo nitrita oksidirajo do elementarnega dušika. Proces deamonifikacije na Centralni čistilni napravi Domžale - Kamnik je v začetni fazi delovanja in izkazuje visok učinek odstranjevanja dušika, vendar še ni dosežena polna proizvodna zmogljivost. Obvladovanje deamonifikacije je tako procesno kot tudi tehnično zelo zahtevno, predvsem s stališča vodenja in ohranjanja aktivnosti biomase v vseh razmerah.

Ključne besede: Annamox, centrifugat, čistilna naprava, deamonifikacija, DEMON®, SBR

Abstract

In 2016, the Domžale - Kamnik Wastewater Treatment Plant was upgraded for nutrient removal. The existing system involves anaerobic digestion process, and because the centrate resulting from the dehydration process is high in nitrogen, it makes sense to remove this nitrogen in a side-stream process before it enters the sequencing batch reactor (SBR). The upgrade project included installing a new and advanced process of deamonification, which utilizes special bacteria in anoxic conditions to oxidize ammonia nitrogen via nitrite to elementary nitrogen. The deamonification process is in the beginning phase and although not at full capacity is efficiently removing nitrogen. Managing the deamonification process, however, is demanding and from a technical point of view, the challenge is how to maintain the biomass under operating conditions.

1 Dr. Marjetka Levstek, univ. dipl. inž. kem. inž, vodja laboratorija, JP CČN Domžale - Kamnik d. o. o.

2 Dr. Marjetka Stražar, univ. dipl. biol., direktorica, JP CČN Domžale - Kamnik d. o. o.

1. UVOD

Vse ostrejša zakonodaja s področja varovanja okolja narekuje razvoj novih naprednih postopkov čiščenja odpadne vode. Z implementacijo vodne direktive leta 1991 (Vodna direktiva EU) so se tudi v slovenski pravni red (Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode) prenesle nove zahteve, ki za čistilne naprave velikosti nad 100.000 PE za izpust v okolje določajo mejno koncentracijo skupnega dušika pod 10 mg/L. Nove ali obstoječe čistilne naprave so tako obvezane izvajati optimizacijo čiščenja odpadne vode znotraj svojih sistemov, oziroma jih nadgrajevati na nove postopke, da bi lahko zadostile tem novim zahtevam. Sočasno globalni trendi zahtevajo implementacijo tehnoloških postopkov, ki imajo čim nižje investicijske in obratovalne stroške.

Konec 20. stoletja so se v Evropi začele pojavljati prve komunalne čistilne naprave, ki so za predčiščenje visoko obremenjenih odpadnih vod iz anaerobne obdelave blata uporabile postopek deamonifikacije. Odpadne vode iz anaerobne obdelave vsebujejo visoko koncentracijo amonijevega dušika (od 800 do 2000 mg/L), kar lahko na čistilni napravi predstavlja od 10 do 20 % skupnega bremena. Sočasno imajo te povratne vode nizko organsko obremenitev (pod 200 mgBPK5/L), kar zaradi nizkega razmerja C/N predstavlja dodatno oviro za učinkovito odstranjevanje dušika po klasičnem postopku nitrifikacije in denitrifikacije (Hillges idr., 2012).

Analiza obremenitve glede dušika na Čistilni napravi Domžale - Kamnik je pred nadgradnjo leta 2016 pokazala, da se poleg nizkega C/N razmerja (občasno do 1/4 časa) pojavlja tudi visoka obremenitev z dušikom iz linije blata (centrifugat po strojnem zgoščanju), ki predstavlja do 20 % celotnega bremena. Čistilna naprava Domžale - Kamnik, prvotne velikosti 200.000 PE, je bila dana v pogon leta 1980 in z obstoječo tehnologijo iz odpadne vode ni bilo mogoče odstraniti dušika do zahtevane mejne vrednosti, to je pod 10 mg/L. Zaradi tega je bila v letih 2014–2016 izvedena rekonstrukcija obstoječe čistilne naprave na način, da se je linija vode nadgradila na napredno SBR-tehnologijo z anaerobnimi selektorji po postopku nitrifikacije in denitrifikacije, z možnostjo dodatka zunanega vira ogljika. Sočasno je bil na liniji internega povratka iz linije blata dograjen dodaten SBR-bazen za čiščenje odpadne vode po postopku deamonifikacije. Oba izbrana postopka čiščenja odpadne vode sta ob izbiri postopkov nadgradnje zagotavljala visok učinek čiščenja, najnižje investicijske in obratovalne stroške ter visoko fleksibilnost obratovanja zaradi stalno spreminjajoče sestave odpadne vode. Za čiščenje centrifugata po postopku deamonifikacije je bila v okviru javnega razpisa izbrana tehnologija DEMON®, ki je implementirana v številnih komunalnih čistilnih napravah po svetu, ki učinkovito obratujejo že več kot 10 let.

Namen tega prispevka je prikazati način postopka deamonifikacije in skoraj dveletni izkušnji z obratovanjem procesa DEMON® za čiščenje centrifugata na čistilni napravi Domžale - Kamnik.

2. OSNOVE DEAMONIFIKACIJE

Dušik iz odpadne vode lahko odstranimo po klasičnem postopku nitrifikacije in denitrifikacije, za kar so potrebni visoki vložki energije za vnos zraka in v primeru nizkega razmerja C/N dodatek zunanega vira ogljika. V primerjavi s klasičnim postopkom odstranjevanja dušika

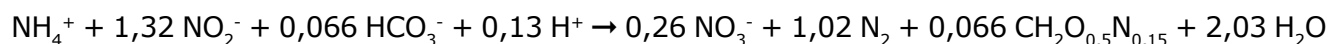


pri postopku deamonifikacije potrebujemo do 50 % manjši vnos električne energije, ni potreben dodatek zunanega vira ogljika in obenem uporaba tega postopka prispeva k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov (Schaubroeck idr., 2015). Deamonifikacija zagotavlja visoke učinke čiščenja, in sicer nad 90 % po amonijevem dušiku in nad 80 % po skupnem dušiku in je tako primeren postopek za predčiščenje, se pa v zadnjem času že pojavljajo čistilne naprave, ki izvajajo postopek deamonifikacije na celotni čistini napravi.

Deamonifikacija ali angleško annamox (angl. anaerobic ammonium oxidation) je izraz za postopek, pri katerem se preko posebnih bakterij v anoksičnih pogojih amonijev dušik s pomočjo nitrita oksidira do elementarnega dušika. Po zadnjih raziskavah se po tem postopku globalno odstrani od 24–67 % vsega dušika, odvisno od okolja, v katerem se ta postopek izvaja. Prva omemba sega v leto 1932, kjer so opazili odstranitev dušika z do takrat neznanim postopkom v sedimentih jezera Medota, Wisconsin, ZDA. Engelberd Broda je leta 1977 prvič izvedel termodinamski izračun in računsko dokazal možno reakcijo oksidacije amonijevega dušika s pomočjo nitrita, pri čemer se sprošča elementarni dušik. Številni raziskovalci so od leta 1990 poročali o laboratorijskih izsledkih postopka deamonifikacije. V začetku stoletja so se pojavile prve čistilne naprave, ki so uspešno čistile visoko obremenjene odpadne vode z amonijevim dušikom po postopku deamonifikacije (Wikipedija, 2018).

Celoten deamonifikacijski postopek se izvede v dveh stopnjah, izvajata ga dve različni vrsti mikroorganizmov. V prvi stopnji se ob prisotnosti kisika 50 % amonijevega dušika oksidira do nitritnega dušika s pomočjo avtotrofnih bakterij iz skupine *Nitrosomonas* (v nadaljevanju bakterije AOB). V drugi anoksični stopnji se preostalih 50 % amonijevega dušika in nastali nitritni dušik iz prve stopnje pretvorita v elementarni dušik s pomočjo avtotrofnih mikroorganizmov iz skupine *Planktomyces* (v nadaljevanju AAO bakterije) (Jardin in Hennerkes, 2012).

Reakcija deamonifikacije



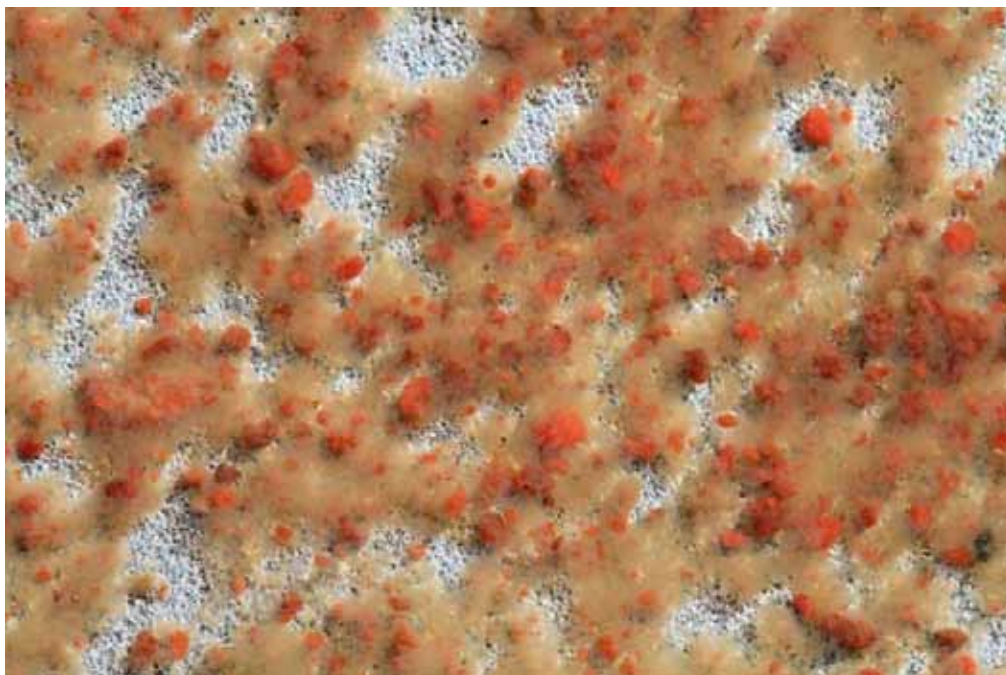
V več kot desetih letih se je na trgu pojavilo več možnih izvedb postopka deamonifikacije, in sicer kot eno ali kot dvostopenjski postopek. Biomasa je lahko suspendirana ali pritrjena na nosilnih elementih (DWA, 2017). Ne glede na to, kakšen postopek je izbran, je pomembno, da se v sistemu vzdržuje pravo razmerje med koncentracijo zaželenih AOB in AAO bakterij in nezaželenih bakterij, ki oksidirajo nitritni dušik do nitratnega dušika (v nadaljevanju NOB bakterije) in lahko v primeru visoke koncentracije v celoti zavrejo postopek deamonifikacije. Za razliko od AAO bakterij, AOB in NOB bakterije rastejo pri višji koncentraciji kisika, njihova hitrost rasti je od 10- do 15-krat višja od rasti AAO bakterij, medtem ko je za AAO bakterije kisik inhibitor.

Če se postopek izvaja v enem SBR-reaktorju, kot je npr. DEMON (Demon, 2016), je treba zagotoviti optimalne pogoje za vse vrste bakterij:

- Nizka koncentracija kisika okoli 0,5 mg/L, da se še lahko oksidira amonijev dušik do nitritnega dušika s pomočjo AOB bakterij. Maksimalna koncentracija nitritnega dušika v SBR-bazenu ne sme presegati koncentracije 10 mgN/L, saj je pri višjih koncentracijah le-ta toksičen za AAO bakterije.

- Ravno pravi čas zračenja, kar pomeni, da zaradi počasnejše aktivacije NOB bakterij le-te ne uspejo s pretvorbo nitritnega dušika v nitratni dušik. Čas zračenja, ko je koncentracija kisika nad 0,2 mg/L, ne sme biti daljši od 9 minut.
- Čim višja temperatura (nad 27 °C), saj se pri tej temperaturi hitrost rasti AOB bakterij hitreje povečuje od hitrosti rasti NOB bakterij. Maksimalna dovoljena temperatura je 38 °C, nad to temperaturo močno upada aktivnost AAO bakterij.
- Čas mešanja, kjer poteka postopek deamonifikacije preko AAO bakterij, mora biti zadosten, da je koncentracija NO₂-N po koncu mešanja med 5 in 10 mgN/L.
- Koncentracija prostega NH₃ mora biti od 5 do 10 mg/L, da učinkovito zavre rast NOB bakterij.

Tudi z regulacijo starosti blata se v sistemu zadržijo zelene AOB in AAO bakterije in zavre rast NOB bakterij. AOB in NOB bakterije izkazujejo starost blata od 2 do 5 dni pri temperaturi 25 °C, medtem ko je starost blata AAO bakterij med 70 in 100 dni pri temperaturi 25 °C. Ker je v SBR-bazenu mešanica vseh bakterij, se regulacija starosti blata za izločitev neželenih NOB bakterij izvede s hidrociklonom. AAO bakterije so granulirane in imajo 4–5 % višjo gostoto od AOB in NOB bakterij. Zaradi večje teže se izločijo v spodnjem delu hidrociklona in vrnejo nazaj v SBR-bazen, medtem ko so AOB in NOB bakterije suspendirane in se izločijo v zgornjem delu hidrociklona. Centrifugalna sila v hidrociklonu je 50- do 160-krat višja od gravitacijske sile. Čas in količina odvedenega blata iz zgornjega dela hidrociklona sta odvisna od delovanja postopka. Hidrociklon ima tudi funkcijo čiščenja granul AAO bakterij, ki so obraščene z AOB in NOB bakterijami. Večja obraščenost bakterij namreč vodi do nižjega snovnega prenosa snovi v granulo in s tem k slabši učinkovitosti postopka deamonifikacije.



Slika 1: Značilno DEMON® blato; granule (planktomycete) so značilno rdeče, medtem ko so bakterije za oksidacijo amonijaka (AOB), bakterije za oksidacijo nitrita (NOB) in druge (heterotrofne) na videz rjave.

Vir: Demon, 2016.



V DEMON-u se celoten postopek izvaja v SBR-reaktorju in čas enega cikla traja 6, 8 ali 12 ur. Znotraj vsakega cikla so koraki, ki predstavljajo doziranje odpadne vode (centrifugata), mešanje in zračenje. Koraki se med seboj zaporedno menjavajo. Poleg tega ima DEMON vključen še en režim vodenja, ki je vezan na spremembo pH. Med zračenjem se namreč pH zmanjša od 0,02 do 0,03 enote, medtem ko se v fazi doziranja in mešanja pH dvigne za 0,02 do 0,03 enote. Če se pH dvigne nad zgornjo pH-vrednost, postopek samodejno ustavi doziranje sveže odpadne vode, če pa se pH zniža pod želeno vrednost, pa sistem skrajša čas zračenja. Na ta način se v istem reaktorju zagotovijo optimalni pogoji za celoten postopek deamonifikacije. Hidrociklon deluje polovico časa celotnega cikla, s čimer zagotovimo čiščenje granul, čas odvajanja blata iz zgornje faze hidrociklona pa se prilagodi stanju postopka (Demon, 2016).

Zaradi različne starosti blata se vsaka sprememba izrazi šele po nekaj dneh oziroma celo tednih, če je sprememba vezana na AAO bakterije. Spremembe se izvajajo počasi in ob vsaki spremembi je potrebno podrobnejše sledenje postopka, da se izognemo neželenemu odzivu sistema.

3. IMPLEMENTACIJA DEAMONIFIKACIJSKEGA POSTOPKA NA CČN DOMŽALE - KAMNIK

Na CČN Domžale - Kamnik pri strojnem zgoščanju anaerobno pregnitega blata dnevno nastane od 0 do 240 m³/dan centrifugata. Vsebnost amonijevega dušika v centrifugatu je odvisna od vhodnih substratov v anaerobne digestorje ter načina vodenja in znaša med 800 do 1200 mgN/L. Centrifugat se zbira v zalogovniku centrifugata skupnega volumna 500 m³, preko katerega se je pred implementacijo deamonifikacijskega postopka centrifugat doziral v linijo vode glede na vrednost koncentracije skupnega dušika pri vtoku na čistilno napravo. Na ta način so se zmanjšala velika nihanja obremenitve pri dotoku na čistilno napravo, razporedila se je obremenitev in zagotovilo lažje in stabilnejše zagotavljanje iztočnih parametrov. Izračunano povprečno breme po dušiku, ki priteče po kanalizaciji, je v letu 2017 znašalo do 1000 kgN/dan, medtem ko je povprečno dnevno breme dušika iz linije blata preko centrifugata znašalo od 150 do 200 kgN/dan, kar pomeni, da je bila čistilna naprava iz linije blata po dušiku obremenjena do 20 %. Zaradi občasno nizkega razmerja C/N v dotočni odpadni vodi ter dodatne obremenitve dušika iz linije blata, kar je to razmerje še poslabšalo, je čistilna naprava brez dodatka zunanega vira ogljika težko zagotavljala mejne dovoljene koncentracije skupnega dušika pod 10 mg/L. Zaradi vseh navedenih dejstev je bil že v fazi načrtovanja nadgradnje obstoječe čistilne naprave predviden postopek predobdelave centrifugata po postopku deamonifikacije. V sklopu rekonstrukcije čistilne naprave Domžale - Kamnik je po javnem razpisu nadgradnje izvajalec zagotovil postopek deamonifikacije po postopku DEMON® podjetja EssDe GmbH iz Švice, ki ima že številne več let delujoče čistilne naprave.

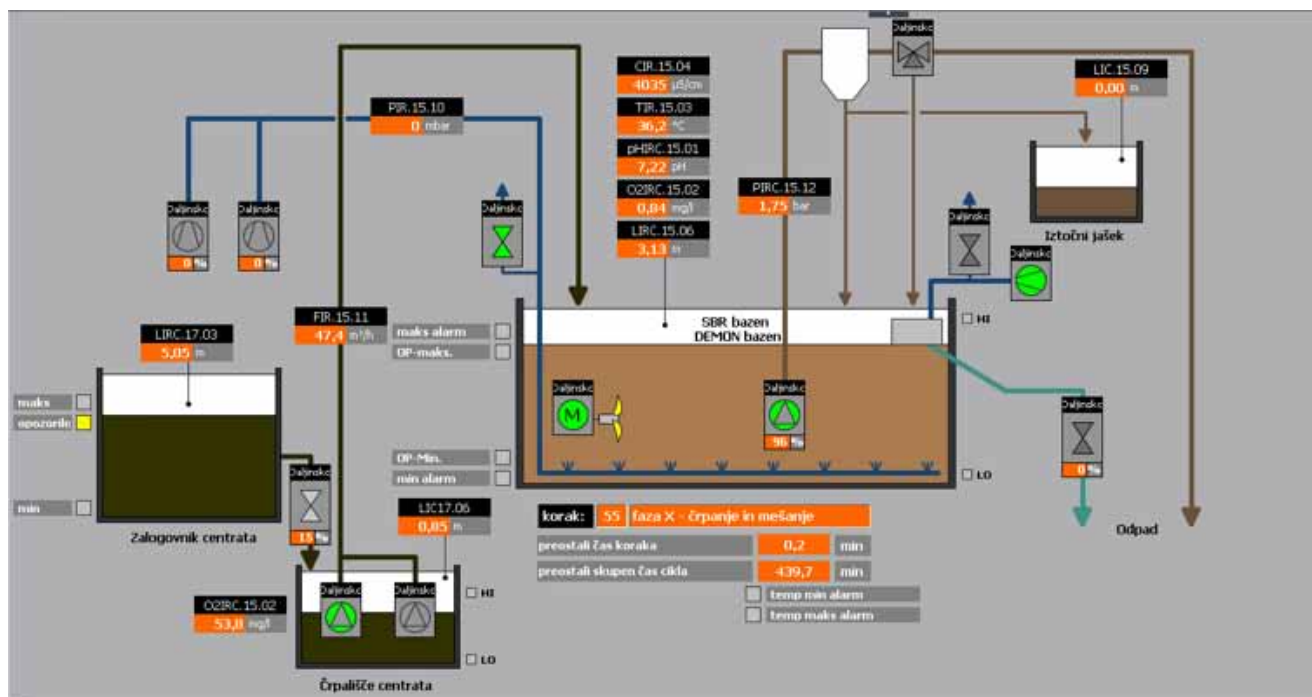
Postopek deamonifikacije je dimenzioniran na najvišjo dnevno obremenitev, to je 320 kgN/dan. Za načrtovanje deamonifikacije je bila izbrana hitrost 0,90 kgN/m³.dan, kar pomeni, da je bil izračunan delovni volumen deamonifikacijskega bazena enak 356 m³. V naslednji tabeli so prikazani parametri za dimenzioniranje SBR-bazena za deamonifikacijo (GH Holding in IEI, 2016).

Tabela 1: **Parametri za dimenzioniranje SBR-deamonifikacijskega bazena**

Parameter	Enota	Vrednost
Povprečni pretok	m ³ /dan	270
Maksimalni pretok	m ³ /dan	320
TN	mg/L	1000
TN povprečna tedenska obremenitev (7 dni)	kg/dan	270
TN maksimalna dnevna obremenitev (5 dni)	kg/dan	320
T (v reaktorju)	°C	30–38
Specifična obremenitev reaktorja	kgN/m ³ .dan	med 0,56 in 1,8 (odvisno od obratovalne višine)
V (minimalni volumen)	m ³	194
V (maksimalni volumen)	m ³	474
Dolžina cikla	h	8
Aktivni čas	h	7
Čas sedimentacije	min	30
Čas dekantacije	min	30

Za ustrezno deamonifikacijo je treba zagotoviti ustrezno kakovost centrifugata, in sicer pod 400 mgKPK/L, pod 400 mgTSS/L, alkaliniteta/NH₄-N > 3,6, brez inhibitornih snovi.

Deamonifikacijski postopek je lociran v novem SBR-reaktorju na mestu starega in neuporabljenega bazena obstoječe čistilne naprave, v katerem se nahajajo mešalo, difuzorji ter dekanter. Nad SBR-bazonom je nameščen hidrociklon, ob bazenu sta v posebnem prostoru nameščeni puhali. Postopek deamonifikacije je v celoti voden preko računalnika, ki upravlja celoten sistem in javlja napake. Operater deamonifikacije ima v celoti možnost posega v spremembo parametrov in vodenje postopka.



Slika 2: Procesna shema deamonifikacijskega postopka na CCN Domžale - Kamnik

Vir: Demon, 2016.

Spremljanje delovanja postopka se izvaja neprekinjeno preko on line merilnikov za raztopljeni kisik, pH, prevodnost in merilnika nivoja. Poleg tega se dnevno izvajajo analize $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ in $\text{NO}_2\text{-N}$ ter enkrat tedensko usedljivost, sušina in žarina aktivnega blata, KPK, alkaliniteta, $\text{PO}_4\text{-P}$ ter aktivnost AOB in AAO bakterij.



Slika 3: Prikaz stanja postopka po fazah in nivo (spodnji diagram) ter časovni prikaz vrednosti raztopljenega kisika in pH (zgornji diagram)

Ob zagonu se je bazen napolnil s toplo vodo in dodalo se je aktivno deamonifikacijsko blato, ki je bilo pripeljano iz delujoče deamonifikacijske čistilne naprave v količini 10 m³. Pripeljano aktivno blato je bilo rdeče barve, kar je izkazovalo visoko koncentracijo in aktivnost deamonifikacijskih bakterij.

Trajanje enega cikla znaša 8 ur, pri čemer je na koncu cikla 15 minut usedanja in 15 minut dekantiranja. Ob začetku cikla se začnejo koraki, ki si sledijo, dokler se ne zapolni čas 7,5 ure. Vsak korak je sestavljen iz faz doziranja svežega centrifugata, faze mešanja in faze zračenja. Dolžina vsake faze je odvisna od aktivnosti posamezne vrste bakterij, ki so aktivne v določeni fazi in jih je treba korigirati. Čas za doziranje se giblje od 0,5 do 1,6 min., čas mešanja od 5 do 20 min. ter čas zračenja od 5 do 9 min. Koncentracija raztopljenega kisika je v fazi zračenja nastavljena na 0,5 mg/L.

4. REZULTATI IN RAZPRAVA

Poskusni zagon deamonifikacijskega reaktorja je bil izveden v oktobru 2016. Po odpravi tehničnih težav z dekanterjem, hidorociklonom in zagotavljanjem temperature, zaradi česar biomasa ni obdržala zadostne aktivnosti, je bil izveden ponovni zagon s svežo deamonifikacijsko biomaso v marcu 2017. Ob drugem zagonu se je izkazalo, da kakovost centrifugata kot substrata za deamonifikacijo ni ustrezna. Centrifugat je namreč občasno vseboval višjo vsebnost suspendiranih snovi (TSS nad 400 mg/L), kar je izražalo celotno izgubo aktivnosti deamonifikacijske biomase. Po optimizaciji centrifuge za strojno zgoščanje anaerobnega blata, dodatni obdelavi centrifugata s FeCl₃ in spremembi načina odvajanja blata iz zalogovnika centrifugata je bil v juliju 2017 izveden ponovni zagon postopka s svežo deamonifikacijsko biomaso. Vsak zagon postopka je bil izveden in voden s strani izvajalca ob podpori osebja Čistilne naprave Domžale - Kamnik, ki je po zadnjem zagonu oz. februarja 2018 tudi prevzela postopek. Po navodilih proizvajalca je pričakovati, da bo postopek približno v šestih mesecih po zagonu začel delovati v polni zmogljivosti (učinki čiščenja in proizvodna zmogljivost).

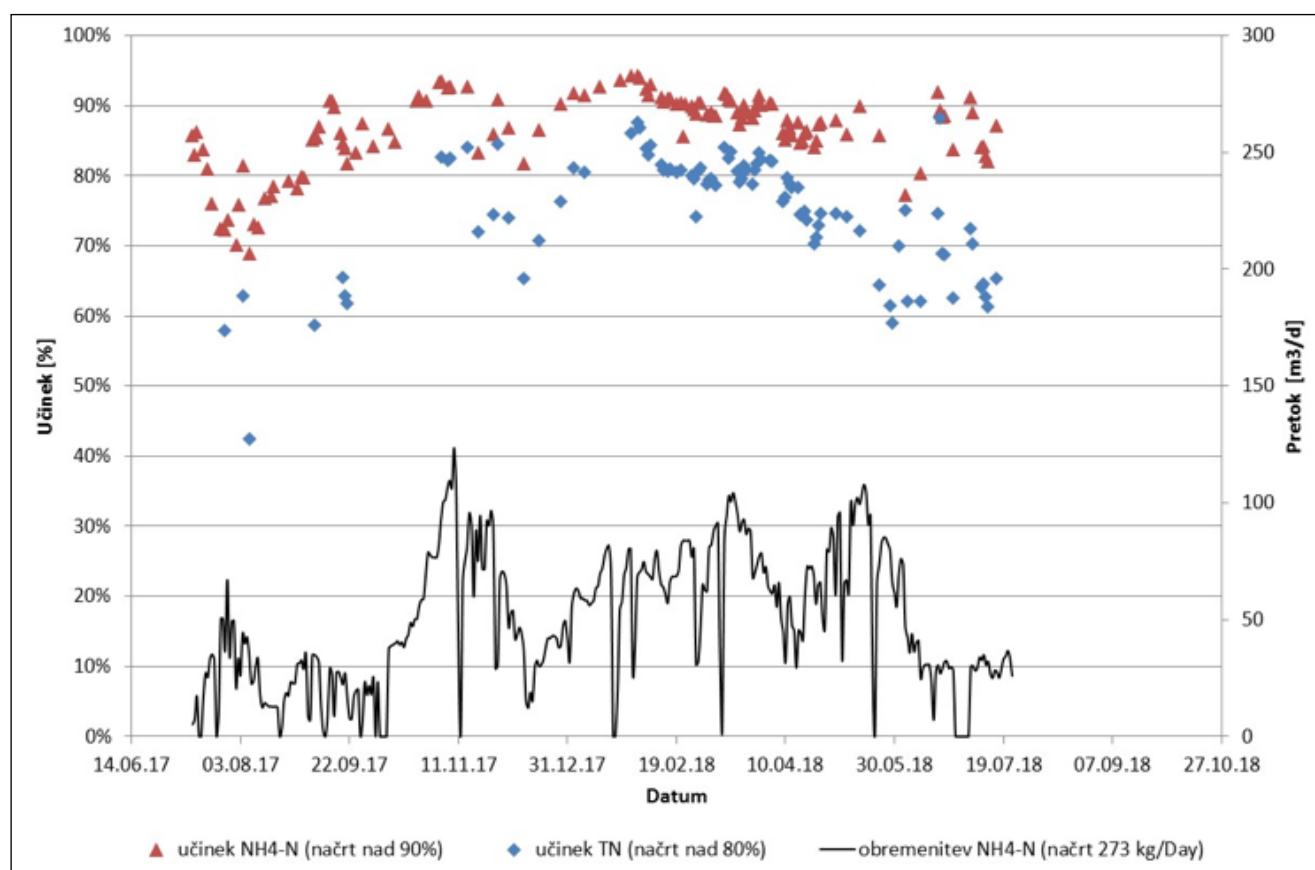
Največje težave z zagotavljanjem ustrezne kvalitete centrifugata so se izkazovale ob pojavu naknadnega obarjanja delcev iz centrifugata. Po 1 do 2 urah usedanja je centrifugat spremenil barvo iz svetlo rjave v črno in na dnu se je pojavila oborina. S podrobno analizo oborjenih delcev na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo v Ljubljani, Oddelku za anorgansko kemijo, smo dobili potrditev, da so delci izoborjeni amon-magnezijev-fosfat (MAP). Ker se MAP v deamonifikacijskem bazenu dokazano obori in oblepi granule AAO bakterij, ga je treba predhodno odstraniti iz sistema (Sebestyen, 2016). Zaradi tega smo po centrifugiranju v centrifugat dozirali FeCl₃, ki je dodatno oboril fosfor ter ostale delce ter tako preprečil vnos delcev v deamonifikacijski bazen. Iz zalogovnika centrifugata smo v kratkih časovnih intervalih odvajali dodatno nastalo usedlo blato in vsaj enkrat mesečno popolnoma izpraznili zalogovnik, da se prepreči nenadzorovan vnos delcev in MAP v deamonifikacijski bazen.

Šele po podrobni analizi nepričakovanega pojava naknadnega obarjanja je bilo ugotovljeno, da so se z nadgradnjo linije vode v letu 2016 na čistilni napravi popolnoma spremenili pogoji s stališča odstranjevanja fosforja. Napredni SBR-reaktorji z anaerobnim selektorjem so namreč



več kot 40 % fosforja odstranili na biološki način. Fosfor se je akumuliral v aktivni biomasi, se preko presežnega blata prenesel v anaerobne digestorje in tam ponovno sprostil. Tako se je sprostila večja količina fosforja, ki je ob visoki koncentraciji amonijevega dušika in zadostni koncentraciji magnezija začela tvoriti MAP. Da bi preprečili vnos fosforja, smo ponovno začeli povečevati doziranje FeCl_3 v anaerobne digestorje ter povečali kemijsko obarjanje fosforja v aerobnih reaktorjih. Po približno enem mesecu novega načina obratovanja so se pokazali pozitivni rezultati in centrifugat je spet postal bister in stabilen. Dejstvo je, da se vse, kar se dogaja na liniji vode, prenese na linijo blata in na koncu posledično na proces deamonifikacije z določeno časovno zakasnitvijo, kar še dodatno zamegli povezavo med vzrokom in posledico.

Na naslednjih slikah so prikazani rezultati enoletnega obratovanja deamonifikacijskega postopka. Kot je razvidno iz slike (slika 4), postopek deamonifikacije dosega visoke učinke čiščenja po amonijevem in skupnem dušiku. Obenem se izkazuje, da postopek še ni stabilen in še ne deluje v polni proizvodni zmogljivosti.



Slika 4: Obremenitev deamonifikacijskega bazena in učinek čiščenja po amonijevem in skupnem dušiku

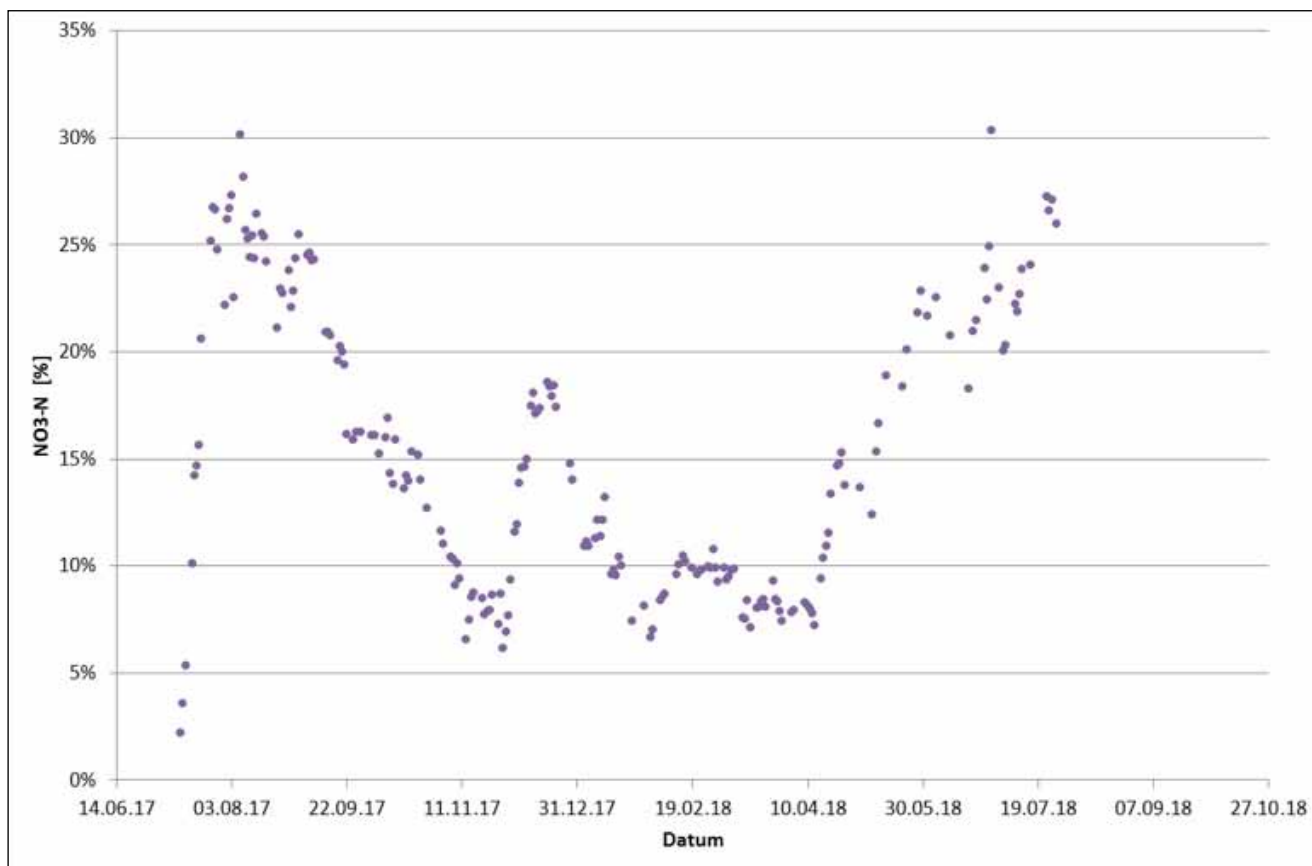
S strokovno podporo izvajalca postopka deamonifikacije smo iskali vzroke za nezadostno proizvodno zmogljivost v neustrezni sestavi centrifugata, kot so povečana vsebnost TSS, polimera ali inhibitornih snovi. Z optimizacijo delovanja centrifuge in delovanja zalogovnika centrifugata stalno spremljamo kvaliteto centrifugata in zagotavljamo, da vsebnost TSS in polimera ni prekoračena. Analiza testa inhibitornosti centrifugata na deamonifikacijo v Leibniz univerzi v Hannovru (ISAH) je ravno tako pokazala, da centrifugat ne vsebuje inhibitornih snovi.

Sočasno smo začeli vzrok v nezadostni proizvodni zmogljivosti iskati tudi v neustreznem vodenju samega deamonifikacijskega postopka, kar bi se moralo pokazati v neustrezni sestavi deamonifikacijske biomase. Z analizo insitu hibridizacije z genskimi sondami (FISH) s fluorescenčnim mikroskopom so v podjetju Vermicon v Nemčiji določili deleže posameznih vrst bakterij glede na zastopan odstotek. Iz tabele (tabela 2) je razviden odstotek posamezne vrste bakterij. Prav tako je jasno, da je aktivnost vseh bakterij pri drugi analizi padla za nekaj odstotkov, kljub temu da smo uspeli povečati koncentracijo aktivne biomase z 1,2 g/L na 1,5 g/L, kar bi se po naših pričakovanjih moralo izkazovati v večji proizvodni zmogljivosti.

Tabela 2: FISH-analiza sestave deamonifikacijske biomase, vzorčene 25. 1. 2018 in 16. 5. 2018

Vrsta bakterij	Datum vzorčenja	
	25. 1. 2018	16. 5. 2018
AOB	38 %	25 %
NOB	15 %	11 %
AAO	46 %	41 %
Ostale neidentificirane bakterije	1 %	23 %

V postopku se je povečal delež neželenih NOB in ostalih neidentificiranih bakterij, kar je razvidno tudi iz naslednje slike (slika 5), saj je odstotek nitratnega dušika močno presegel 10 %, kot ga običajno nastane pri postopku deamonifikacije. Takoj smo začeli sanacijo zaviranja rasti NOB bakterij s skrajšanjem časa zračenja, nižjo koncentracijo kisika ter višjim pH, da zagotovimo zadostno koncentracijo prostega NH_3 , ki je inhibitoren za NOB bakterije.



Slika 5: Vsebnost nitratnega dušika glede na odstranjen amonijev dušik

Glede na to, da so v sistemu prisotne tri različne vrste mikroorganizmov, od katerih ima vsaka svoj odzivni čas, bo potrebnega več časa, da se bo ponovno vzpostavilo pravo ravnotežje med želenimi in neželenimi mikroorganizmi in bosta dosežena dimenzionirana proizvodna zmogljivost ter ustrezen učinek čiščenja.

5. ZAKLJUČEK

Število objav o uspešni implementaciji deamonifikacije na velikih čistilnih napravah za čiščenje odpadnih voda z visoko vsebnostjo dušika vsako leto narašča, kar dokazuje, da je postopek ekonomsko in procesno obvladljiv in upravičen. Veliko strokovnih člankov navaja težave z obratovanjem postopka deamonifikacije in s tem samo potrjujejo, kako zahteven je postopek deamonifikacije, preden doseže svoje stabilno obratovanje ter da ni unikatnega recepta za vodenje. Vsaka odpadna voda, ki se čisti po navedenem postopku deamonifikacije, ima svoje posebnosti, ki jih je treba upoštevati pri vodenju.

Čistilna naprava Domžale - Kamnik se je ravno zaradi visokega deleža povratnih vod iz strojnega zgoščanja anaerobno stabiliziranega blata, ki predstavljajo do 20-% obremenitve po skupnem dušiku, odločila za implementacijo postopka deamonifikacije s proizvodno zmogljivostjo do 320 kgN/dan. Po skoraj dvoletnem obratovanju smo uspešno odstranili številne ovire in ohranili deamonifikacijski reaktor v delni funkciji ter sedaj vsaj delno razumemo zapletene

biokemijske procese, ki se vršijo sočasno. Da bo postopek dosegel svojo polno funkcionalnost, bo potrebno še nadaljnje tesno sodelovanje zaposlenih in tudi operaterjev tujih čistilnih naprav, ki že uspešno vodijo deamonifikacijske postopke.

6. ZAHVALA

Da je nastal ta prispevek, gre zahvala celotni ekipi CČN Domžale - Kamnik, ki kot tim tesno sodeluje pri implementaciji postopka deamonifikacije. Veliko pomoč nam je nudilo tudi podjetje GH Holding, d. d., skupaj s podjetjem EssDe GmbH. Za vse strokovne razprave in nasvete pa se zahvaljujemo tudi komunalnemu podjetju Ruhverband, ki upravlja več deamonifikacijskih čistilnih naprav.

LITERATURA IN VIRI

1. DEMON, 2016. Domžale Process Water Treatment by means of the DEMON®-System.
2. Direktiva Sveta št. 91/271/EGS z dne 21. maja 1991 o čiščenju komunalne odpadne vode (UL L št. 135 z dne 30. 5. 1991, str. 40), zadnjič spremenjeno z Direktivo Sveta 2013/64/EU z dne 17. decembra 2013 o spremembi direktiv Sveta 91/271/EGS in 1999/74/EC ter direktiv 2000/60/ES, 2006/7/ES, 2006/25/ES in 2011/24/EU Evropskega parlamenta in Sveta zaradi spremembe položaja Mayotta v razmerju do Evropske unije (UL L št. 353 z dne 28. 12. 2013, str. 8) Direktiva Evropskega Parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike (Uradni list EU, L327/I).
3. DWA, 2017. DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA – M 349, Biologische Stickstoffelimination von Schlammwässern der anaeroben Schlammstabilisierung.
4. GH Holding, IEI, 2016. 7. načrt tehnologije, Odvajanje in čiščenje odpadne vode na območjih Domžale-Kamnik, Nadgradnja CČN Domžale-Kamnik. PID, projekt C613111-30.
5. Hillges, R., Steinle, E., Böhm, B., 2012. Case study on the implementation of deammonification for the process water treatment of Munich WWTPs. Water Science & Technology, 65.10.
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/Anammox> [1. 8. 2018].
7. Jardin, N., Hennerkes, J., 2012. Full-scale experience with the deammonification process to treat high strength sludge water – a case study. Water Science and Technology, 65.3.
8. Sander, M., 2014. Dynamische Modellierung der einstufigen Deammonifikation Modellerweiterung und anwendung. ISAH.
9. Schaubroeck, T., De Clippeleir, H., Weissenbacher, N., Dewulf, J., Boeckx, P., Vlaeminck, S. E., Wett, B., 2015. Environmental sustainability of an energy self-sufficient sewage treatment plant: Improvements through DEMON and co-digestion. Water Research, 68.
10. Sebestyen, E. Z., 2016. Experience of full scale deammonification of dewatering sidestream from thermophilic anaerobic digestion process at Budapest CWWTP. Proceedings of the IWA 8th Eastern Young Water Professionals Conference, Gdansk, Poljska.
11. Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode. Uradni list RS, št. 98/15, 76/17.