

KVÄVERENING UTAN KOLKÄLLA

Nitrogen removal without an organic carbon source

av EMMA NIVERT¹, MARIA JOHANSSON², GERT PETERSEN³ och JEANETTE AGERTVED³

1 Purenova Miljöteknik AB, Åttehösgatan 8 B, 416 74 Göteborg, Sverige
e-post: emma.nivert@purenova.se

2 Purenova Miljöteknik AB, Järnåkravägen 3, 222 25 Lund, Sverige

3 EnviDan A/S, Fuglebækvej 1A, DK-2770 Kastrup, Danmark e-post: GEP@envidan.dk



Abstract

Many waste water treatment plants in Sweden needs to improve the nitrogen removal in the coming years in order to fulfill stringent regulatory requirements with respect to nitrogen in the final effluent from today's level of 15–20 mg/l to 8–10 mg/l. At waste water treatment plants having anaerobic digesters, the nitrogen content in the reject water can contribute with up to 20% of the nitrogen load at the plant. An alternative to expansion of the biological treatment stage with extra denitrification volume, could be a separate stage for treatment of reject water. A process technology where nitrogen can be reduced without using a carbon source by ANAMMOX bacteria have been developed. Among the advantages of this process is the compact footprint (app.1:20) compared to the volume required for the conventional activated sludge processes. In October 2011, a pilot scale tests will be implemented with the ANAMMOX-process at Simsholmens wastewater treatment plant in Jönköping. The aim of the pilot test is to document the effect of separate reject water treatment with respect to reducing the internal nitrogen load at the plant. In addition, an evaluation of the saving potential compared to conventional expansion of the biological activated sludge volumes will be performed.

Key words – Reject water, ANAMMOX, nitrogen removal without carbon source, Simsholmens avloppsreningsverk, Jönköping, waste water treatment

Sammanfattning

Många svenska avloppsreningsverk kommer i den närmsta framtiden att behöva förbättrad kväverening på grund av skärpta myndighetskrav avseende utsläppsgrenser för kväve i utgående renat avloppsvatten från nuvarande krav på 15–20 mg/l ner till 8–10 mg/l. På avloppsreningsverk med rötning bidrar rejecktvattnet med upp emot 20% av den totala kvävebelastningen på anläggningen. Ett alternativ till utökad kapacitet i biosteget med extra denitrifikationsvolym skulle därför med fördel kunna vara ett separat behandlingssteg för rejecktvattnet. Till detta ändamål har en processteknologi utvecklats i i Holland där kväve reduceras utan behov av COD (kolkälla) med ANAMMOX-bakterier. Bland fördelarna med ANAMMOX är att det vid kväverening av rejecktvattnet från röttningsprocesser kräver denna process i jämförelse med traditionella aktivslamläggningar en mycket liten processvolym (ca 1:20). I oktober 2011 kommer ett pilotförsök med ANAMMOX-processen på Simsholmens avloppsreningsverk i Jönköping att startas upp. Syftet är att dokumentera effekten av införandet av en separat rejecktattenbehandling för reduktion av den interna kvävebelastningen på Simsholmen samt att dokumentera besparingspotentialen i förhållande till en konventionell utbyggnad av de biologiska volymerna i aktivslamläggningen.

Inledning

På många svenska avloppsreningsverk kommer det i den närmsta framtiden behövas en förbättrad kväverening. Detta på grund av att det förväntas komma skärpta myndighetskrav avseende utsläppsgrenser för kväve i

utgående renat avloppsvatten från nuvarande krav på 15–20 mg/l ner till 8–10 mg/l. Detta betyder att många reningsverk har behov av utökade volymer för att öka den biologiska kapaciteten, för att kunna leva upp till myndigheternas skärpta utsläppskrav för kväve. Rening av kväve genom användning av konventionella aktiv-

slamprocesser med nitrifikation och denitrifikation kan kräva extra luftningskapacitet samt tillsats av extern kolkälla för att stödja denitrifikationsprocessen. Dessa förhållanden betyder att skärpta myndighetskrav är förknäpade med både investeringskostnader och ökade driftkostnader.

På avloppsreningsverk med rötning kan det därför vara ett bra alternativ att fokusera på teknologi för rening av kväve ur rejektivattnet från röttningsprocessen. I rejektivattnet från avvattnat rötslam är ammoniumkoncentrationen hög. Rejektivattnet återförs oftast till biosteget och kan bidra med upp emot 20% av den totala kvävebelastningen på anläggningen.

Ett alternativ till utökad kapacitet i biosteget med extra denitrifikationsvolym skulle därför med fördel kunna vara ett separat behandlingssteg för rejektivatten. Till detta ändamål har en processteknologi utvecklats i Holland där kväve reduceras utan behov av COD (kolkälla) med ANAMMOX-bakterier. En av fördelarna är att det vid kväverening av rejektivatten från röttningsprocesser kräver denna process i jämförelse med traditionella aktivslamläggningar en mycket liten processvolym (ca 1:20).

Då kväve omsätts utan att COD förbrukas uppnås en reduktion av CO₂ emissionen från avloppsreningsverket samtidigt som slamproduktionen från denna typ av process är mycket begränsad. Denna speciella process kräver en omsättning i två steg från ammonium via nitrit till fritt kväve, vilket beskrivs nedan i förklarande avsnitt om ANAMMOX-processen

Purenova Miljöteknik kommer i oktober 2011 i samarbete med danska konsultföretaget EnviDan och holländska företaget PAQUES att starta upp pilotförsök med ANAMMOX-processen på Simsholmens avloppsreningsverk i Jönköping. Syftet är att dokumentera effekten av införandet av en separat rejektivattenbehandling för reduktion av den interna kvävebelastningen på Simsholmen samt att dokumentera besparingspotentialen i förhållande till en konventionell utbyggnad av de biologiska volymerna i aktivslamläggningen.

Syftet med denna artikel är att beskriva historien och principerna bakom ANAMMOX processen. Dessutom presenteras pilotanläggningen i Simsholmens avloppsreningsverk i Jönköping.

Utveckling av ANAMMOX processen

Kväverening utan COD-behov är en process som är utvecklad och dokumenterad i Holland. De första indikationerna på processen sågs redan på 80-talet, se figur 1.

I början var det ren vetenskaplig grundforskning på universitet som gällde för dessa autotrofa denitrifikationsbakterier som kunde omvandla ammonium-N och nitrit-N till fritt kväve utan behov av kol. Redan 1988 odlade man dock denna speciella autotrofa, anaeroba bakterie i Holland som 1998 beskrevs och namngavs som ANAMMOX-bakterien (Amba et al. 2007).

Namnet ANAMMOX står för ANaerobic AMMonium OXidation och det speciella med bakterien är att den kan rena kväve utan behov av den kolkälla som annars behövs vid normala denitrifikationsprocesser. ANAMMOX-bakterien kallas därför också för "The Missing Link" i kvävereningsprocessen. Det har senare visat sig att en stor del av kväveomsättningen i världshaven utförs av ANAMMOX-bakterier.

Processen är utvecklad särskilt för rening av kväve i rejektivatten från utrötat slam, eftersom processen kräver hög processtemperatur, hög ammoniumkoncentration och en kontrollerad låg redoxnivå för att de mycket syrekänsliga ANAMMOX-bakterierna ska kunna utföra sitt speciella arbete och reducera kväve utan behov av COD (Amba et al. 2010).

På senare tid har processen även utnyttjats i kombination med anaerob COD-rening (UASB-processen) för minimering av energiförbrukning vid rening av avloppsvatten från livsmedelsindustrin. Med optimalt utnyttjande av dessa anaeroba processteknologier kan man rena avloppsvatten och samtidigt producera energi.

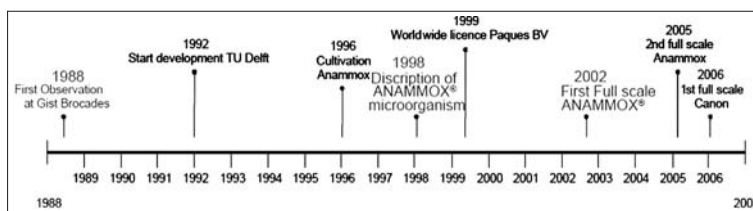
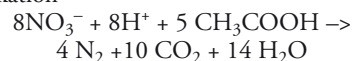
Konventionell kväverening

Med de konventionella kvävereningsprocesser som används idag drivs kvävereningen via ammonium till nitrat (med syre) och nitrat till fritt kväve (med COD-förbrukning).

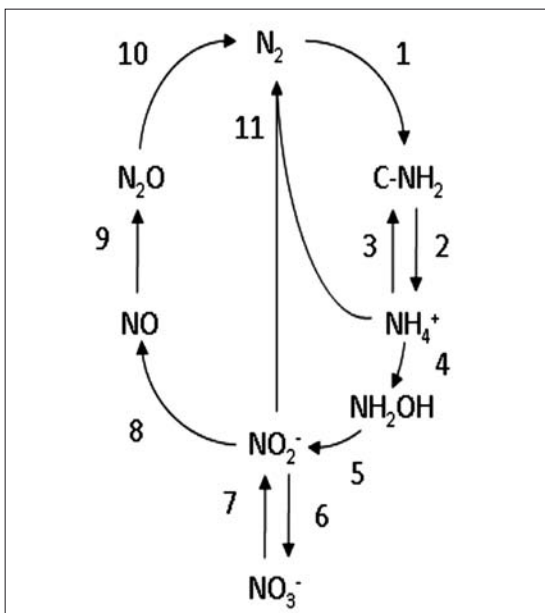
Nitrifikation



Denitrifikation



Figur 1. ANAMMOX-bakteriens utvecklingshistoria.



Figur 2. Kväveomsättning med 11 processteg.

Med de nya processerna och bakterierna kan man slippa gå omvägen via nitrat-N och förbrukningen av kolkälla till denitrifikationsprocessen. ANAMMOX-bakterien kan direkt omsätta nitrit-N och ammonium-N till fritt kväve, se figur 2, processteg 11.

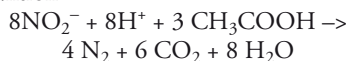
Ammonium till nitrit och denitrifikation med kolkälla

I början utfördes försök i Holland där de två processtegen (nitritbildning och nitritreduktion) delades upp i två avskilda processavsnitt. Första steget var omvandling av ammonium-N till nitrit-N som utförs av en ovanligt snabb bakterie som kräver mycket låg slamålder för att vidare omvandling till nitrat-N skall undvikas. Nitrit-N omsattes därefter med kolkälla.

Nitritbildning



Nitritreduktion



Med denna process reduceras syrebehovet till kvävereningen med 25% och kolkällebehovet med 40% i förhållande till den konventionella kväverengsprocessen med nitrifikation och denitrifikation. Detta första steg mot förbättrad kväverening implementerades i Rotterdam i Holland 1990 och är nu känt som SHA-



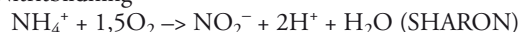
Figur 3. Rotterdam reningsverk med SHARON och ANAMMOX processerna.

RON processen, se bilder i figur 3. SHARON betyder Single reactor system for High Ammonia Removal Over Nitrite.

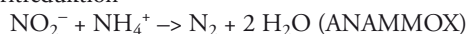
2-steps process SHARON och ANAMMOX

Senare, runt år 2000, utvecklades en kombinerad process med nitritbildning och anaerob nitritreduktion utan kolkälla.

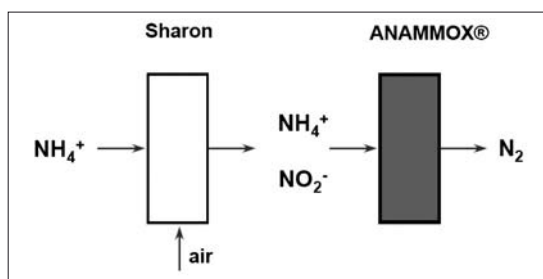
Nitritbildning



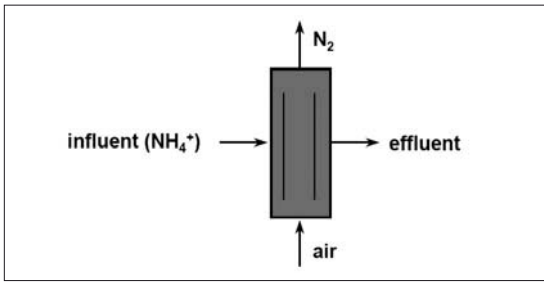
Nitritreduktion



Processkombinationen fås genom att i SHARON-processen omsätts 50% ammonium-N till nitrit-N och därefter tillförs denna blandning till ANAMMOX-reaktor (figur 4). Med denna processkombination reduceras syrebehovet för kväverening med 62,5% och kolkällebehovet



Figur 4. 2-steps process med SHARON och ANAMMOX processerna.



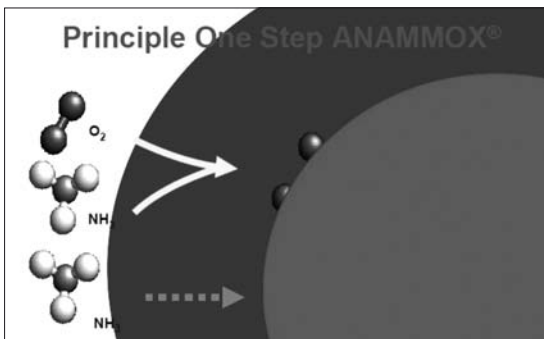
Figur 5. 1-steps process med kombinerad ammonium- och nitritkväverening utan kolkälla.

med 100 % i förhållande till den konventionella kväverningsprocessen med nitrifikation och denitrifikation.

Processkombinationen är mycket känslig för variationer i inkommande belastning eftersom den första processen (SHARON) är extremt snabb och den efterföljande processen (ANAMMOX) är mycket långsam. År 2006 implementerades denna processkonfiguration i fullskala på Rotterdams reningsverk för behandling av ett rejektvatten med ett ammoniuminnehåll på 1 000 till 1 500 mg/l. En kväveringsgrad på 90–95 % uppnåddes, för ytterligare information se (Amba et al. 2006).

1-steps processer

Det har visat sig att om båda processerna drivs samtidigt i ett enda processteg uppnås bättre driftsresultat och en betydligt enklare processreglering (figur 5). Det beror på att det kan upprätthållas en högre koncentration av de mycket långsamväxande ANAMMOX-bakterierna på insidan av slamgranuler jämfört med vad som är möjligt i 2-steps anläggningar (figur 6). Denna processteknologi liknar granulbildningen i anaeroba anläggningar (UASB-anläggningar), som utvecklades av företaget PAQUES för mer än 30 år sedan.



Figur 6 1-steps ANAMMOX process med granuler för att säkra lågt syrenehåll för ANAMMOX bakterierna.

I en kombinerad anläggning skall det endast fokuseras på en bra reglering av syrenehåll i vätskefasen. 1-steps processen favoriseras framför 2-steps processen endast genom styrning av syrenehåll i reaktorn. I Holland finns 8 stycken fullskalanläggningar som drivs som 1-steg anläggningar med PAQUES-ANAMMOX.

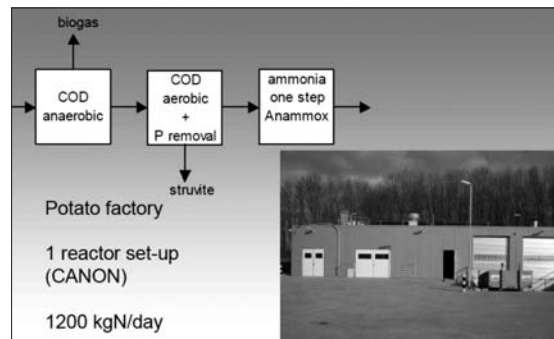
De känsliga ANAMMOX-bakterierna sitter i syrefri miljö på insidan av slamgranulerna i 1-steps anläggning och sköljs inte ur processen, vilket man lätt kan riskera vid första generationens ANAMMOX med två processsteg.

Nya användningsområden

Genom att kombinera anaerob COD-rening och ANAMMOX-principen kan man få ett energiproducerande reningsverk. Detta har bl.a. påvisats på ett industriellt reningsverk i Holland som renar vatten från en potatisfabrik, se figur 7. Reningsverket med en kapacitet på 90 000 PE har varit i drift sedan 2008 och genom att kombinera processerna uppnås en reduktion av processvolymen på 20 000 m³ och en årlig el-besparing på ca. 1,5 GWh. För ytterligare information se (Amba et al. 2010).

Kommersiella 1-steps teknologier för kväverening utan kolkälla

Det finns åtskilliga kommersiella leverantörer av ANAMMOX-teknologin med båda processerna i ett steg, se Tabell 1. Alla dessa teknologier kräver hög processtemperatur (25 – 30°C) för att undvika nitratbildning. EnviDan A/S har inlett ett samarbete med leverantören av PAQUES-ANAMMOX teknologin. Under hösten/vintern 2011 genomförs test i pilotskala på Simsholmens avloppsreningsverk där PAQUES-ANAMMOX processens potential för rejektvattenbehandling utvärderas, se nedan.



Figur 7. Energinutralt reningsverk med en kombination av processerna: anaerob förbehandling, aktiv slam och ANAMMOX.

Tabell 1. *Kommersiella Anammox teknologier och kvävekapacitet.*

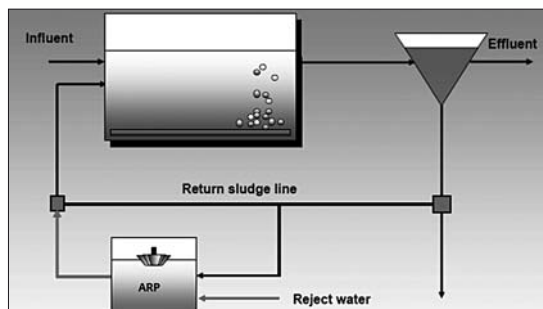
| Teknologi | Media | Kapacitet, kg N/m ³ /d |
|----------------|----------------------------|-----------------------------------|
| PAQUES-ANAMMOX | Slamgranuler, hög susphalt | 2–2,5 |
| ANITA-MOX | Bärarmaterial | 1–1,5 |
| DEMON | Aktiv slam | 0,4–0,5 |

Aktiv Returslam Process (ARP)

Alternativet till de avancerade processerna ovan är användning av högkoncentrerat slam (returslam) som bas i processen för omsättning av kväve i rejektivatten. Envi-Dan A/S process ARP (Aktiv Returslam Process) kan användas för rejektivattenbehandling, se figur 8. ARP processen är bl.a. implementerad på två danska reningsverk; Bjergmarken (125.000 PE, 2006), Nykøbing Falster (50.000 PE, 2007) samt på ett större reningsverk i Bukarest (1,5 miljoner PE, 2011), (Petersen 2008 och 2009, Jakobsen 2007).

ARP- processen kräver endast en volym för aktivt slam på returslammet, men processhastigheterna är mindre än för de avancerade processerna ovan eftersom avloppstemperaturen är 8 – 18°C. I gengäld är processen enkel att styra och det är inga problem med utjämning/pH/temperatur.

Denna alternativa processtekniska möjlighet undersöks och dokumenteras för närvarande dels på en fullskalanläggning och dels i pilotskala. Efter dessa undersökningar kan ekonomiska skillnader mellan de olika rejektivattenbehandlingsmöjligheterna utvärderas.



Figur 8. *Rejektivattenbehandling genom användning av returslam (högstastighetsnitritifikation); ARP principen.*

Simsholmens avloppsreningsverk – drift i pilotskala med ANAMMOX

Simsholmens avloppsreningsverk i Jönköping är dimensionerat för 95 000 PE och är i dag belastat med ca 78 000 PE (beräknat på COD), se figur 9.

Reningsverket består i dag av nedanstående reningssteg:

- Mekanisk rening – fingaller och sandfång
- Försedimentering med kemisk fällning
- Biologisk behandling i en recirkulationsanläggning med fördenitrifikation
- Mellansedimentering och slutsedimentering
- Rötning av primärslam och biologiskt överskottslam efter förtjockning
- Rötat slam avvattnas och rejektivattnet leds i retur till sandfånget



Figur 9. *Simsholmens avloppsreningsverk, Jönköping.*

Avloppsreningsverket har under perioden 2008 – 2009 precis klarat utsläppskraven på 15 mg N/l då utloppskoncentrationen i genomsnitt har varit 14,6 mg N/l. För att skapa större säkerhet och öka marginalerna för kvävekraven har man vid Simsholmen beslutat att testa ANAMMOX-teknologin i pilotskala.

I oktober 2011 installeras en pilotanläggning från Paques vid Simsholmens avloppsreningsverk. Kapaciteten är cirka 2 kg N/d vilket motsvarar ca 100–200 l rejektvatten/d. Pilotanläggningen är inbyggd i en 20 fots container. Försöksperioden förväntas att pågå under ca 3 månader.

Syftet är dels att dokumentera den interna reduktionen av kväve från rejektvattnet, dels att värdera potentialen för ANAMMOX-processen jämfört med konventionell utbyggnad av biosteget, utifrån driftresultaten från pilotanläggningen vid Simsholmens avloppsreningsverk.

Diskussion

Många svenska reningsverk kommer under de närmaste åren få högre krav för kväverening. Eftersom de nya ANAMMOX teknologierna kräver en mindre processvolym för att reducera kväve samt är energi- och CO₂ besparande är dessa ekonomiskt mycket attraktiva. Vid intresse för att testa PAQUES-ANAMMOX i pilotskala kan författarna kontaktas.

Tack

En del figurer i denna artikel är hämtade från en kommersiell presentation av Anammox processen vid Paques till EnviDan A/S i juni, 2011 och publiceras här med deras tillstånd.

Referenser

- Abma, W. R., Driessen, W., Haarhuis R., and van Loosdrecht M. C. M. (2010) Upgrading of sewage treatment plant by sustainable and cost-effective separate treatment of industrial Wastewater. *Water Sci Technol.* 61(7) p.1715–22.
- Amba, W., Schultz, C., Mulder J-W, Loosdrecht, M., Star, W. v.D, Stroubs, M., and Tokutomi, T. (2007) "The advance of Anammox". *Water* 21, February.
- Amba W.R., Schultz C.E., Wouters J.W., Mulder J.W., van Loosdrecht M.C.M, van der Star W., Strous M., Tokutomi T. (2006) Full Scale Granular Sludge ANAMMOX® process. Presenterad vid 4th CIWEM Annual Conference i New Castle upon Tyne.
- Jakobsen, R., Petersen, G. (2008) ARP anlæg på Bjergmarken RA Driftserfaringer fra ARP drift 2007–2008. *Spildevandsteknisk tidsskrift*, Oktober.
- Petersen, G. (2007) Forbedret hydraulisk og organisk kapacitet på eksisterende renseanlæg uden behov for udbygning ved brug af APS Avanceret Proces Styling. Presenterad vid 10th Nordic Waste Water Conference i Oslo, Norge.
- Petersen G., Jensen, T. R., Ejlersen, A. M. (2009) Optimering af kvælstof- og fosforjernelse ved aktiv brug af slamhydrolyseprocessen. Presenterad vid 11th Nordic Waste Water Conference i Odense, Danmark.