



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

MUDP NMR-Rens **NMR-måleteknologi til** **optimeret styring af** **biogas- og anammox-** **processer på** **renseanlæg**

MUDP rapport

Oktober 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Fotos:
Krüger A/S
NanoNord A/S

ISBN: 978-87-7038-114-7

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Forord	4
2.	Resume	5
3.	Indledning	6
3.1	Formål	6
3.2	Udviklingsidé	6
3.3	Projektbeskrivelse	7
3.4	Succeskriterier	8
4.	Udviklingsforløb	9
4.1	Aktiviteter – NMR sensor udvikling	9
4.1.1	Arbejdspakke 1 – Sensor A	9
4.1.2	Arbejdspakke 2 – Sensor B	10
4.2	Aktiviteter – Udvikling af online styringer	10
4.2.1	Arbejdspakke 1 – Overvågning og styring af rådnetanke	10
4.2.2	Arbejdspakke 2 – Styring af Anammoxprocessen	11
5.	Test og resultater	13
5.1	NMR-måleteknologi – Tveskaeg®	13
5.1.1	Arbejdspakke 1 – Resultater med sensor A	16
5.1.2	Arbejdspakke 2 – Resultater med sensor B	19
5.2	Online styringer og STAR implementering på anlæg	20
5.2.1	Online styring til rådnetanke med sensor A - Arbejdspakke 1	20
5.2.2	Online styring til AnitaMox på Grindsted Renseanlæg - Arbejdspakke 2	22
6.	Konklusion	23
7.	Perspektiver	25
7.1	NMR-målinger	25
7.2	Driftsoptimering	25
Bilag 1.	Udvikling og design af NMR-måler	27
7.3	Projektforløbet og erfaringer fra udviklingsarbejdet	27

1. Forord

For spildevandsselskaberne er der et stadigt stigende fokus på energioptimering på renseanlæg og biogasanlæg. Dette fokus er bl.a. på øget biogasproduktion på rådnetanke og effektiv kapacitetsudnyttelse af eksisterende renseanlæg.

For at sikre udnyttelse af eksisterende kapacitet på rådnetanke er der behov for bedre værktøjer til at kunne fastlægge procestilstanden, samt værktøjer til bedre at kunne fastlægge belastningen. Disse informationer i kombination med reeltidsstyringer, til at sikre at kapacitet og belastning altid matcher hinanden, vil være et stort skridt imod mere effektiv energiproduktion på renseanlæg.

Formålet med dette MUDP (Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram) projekt var at udvikle NMR-online måleteknologien (Nuclear Magnetic Resonance), til aktiv anvendelse på renseanlæg. Med intelligent styring, baseret på NMR-måleren, vil projektet medvirke til at energioptimere og øge kapaciteten på eksisterende anlæg – både som øget biogasproduktion og supplerende ved forbedret kvælstofomsætning med anammox-processen. Til udnyttelse af NMR måledata, udvikles der procestekniske online styringsmoduler i Krügers styringsplatform STAR (Superior Tuning And Reporting).

Dette MUDP-projekt er påbegyndt i november 2015, hvor der blev givet tilsagn om støtte fra Miljøstyrelsen. Støtten blev tilkendegivet på baggrund af ansøgning fra juni 2015. Projektets deltagere er:

- NanoNord A/S
- Krüger A/S
- Aalborg Forsyning Kloak A/S
- SK Forsyning A/S
- Billund Energi A/S

Nærværende slutrapport redegør for MUDP-projektets samlede indhold. Herunder formål og baggrund for projektet, udførte projektaktiviteter, udfordringer undervejs i projektet samt opnåede resultater.

2. Resume

Der har været udfordringer undervejs, med udvikling af ny målemetode på prøvemateriale, der ikke tidligere har været forsøgt i et virkeligt miljø. Dyrebare erfaringer er blevet gjort. Samtidig har projektet gjort det muligt at få afprøvet nogle koncepter til realtidsvurderinger og – optimeringer, der vil kunne anvendes i den videre udvikling af energioptimeringen i driften af renseanlæg.

Det er lykkedes at opnå gode resultater for ammoniumkoncentrationer med ny målemetode i rådnetanksslam på tre anlæg. Det er ikke lykkedes at opnå måleresultater for de resterende parametre der var målsætningen, og der arbejdes videre med sensorudviklingen for at opnå dette.

Der er samtidigt blevet etableret online overvågning på rådnetankene, der sender notifikationer til driftspersonalet med instruktioner om, hvilke ændringer der skal foretages for at opnå optimal drift af anlæggene.

For anlægget med dedikeret rejektivandsbehandling er der blevet foretaget en opgradering af den eksisterende styring med nye måleparametre, der muliggør en sikrere drift af denne ellers følsomme proces.

Udviklingsarbejdet med at få etableret fuld-automatisk belastningsstyring af rådnetanksdriften forsætter sideløbende med sensorudviklingen, så der ikke længere skal menneskelig intervention ind over for at ændre på driften.

3. Indledning

3.1 Formål

Det er pt. vanskeligt i praksis at lave proces teknisk realtidsstyring af rådnetanke (online styring). Dette står i kontrast med driften af det øvrige renseanlæg, der ligesom biogasprocessen er baseret på biologiske processer til rensning af spildevandet med aktiv slam processen. Her har branchen mange års erfaringer med avanceret online styring til løbende optimering og effektivisering af driften.

Når dette ikke er tilfældet for drift af rådnetanke – både på renseanlæg og på de gyllebaserede biogasanlæg – så skyldes det udfordringer med at opnå pålidelige og kosteffektive online målinger af procesparametre fra rådnetanken, der er et vanskeligt og aggressivt miljø til placering af kendt målerudstyr, som i øvrigt anvendes bredt på aktiv slam anlæg.

De styringer, der findes til rådnetanksløsninger for slam i dag, er temperaturstyringer og manuel driftskontrol ud fra opholdstid og tørstofbelastning. Dette suppleres med vurdering af proces tekniske nøgletal for evaluering af driften. Dette betyder i praksis, at der i dag primært laves indirekte styring baseret på historiske data, pga. manglende proces tekniske realtidsmåleværdier direkte fra rådnetankene. Med udvikling af NMR-måleteknikker til anvendelse på rådnetanksslam, vil den proces tekniske styring kunne udvides med anvendelse af disse værdier, hvorved det muliggøres at køre rådnetankene mere stabilt og med en højere gennemsnitsbelastning end det nuværende niveau. Målet med projektet er således, at gøre det muligt både at øge effektiviteten og belastningen på rådnetanke ved at anvende NMR målinger som afsæt for online styring. Udviklingsmål for styringerne er at omsætte erfaringsmæssige nøgletal og tavs viden til dynamisk styring.

3.2 Udviklingsidé

Idéen med at bruge Nanonords NMR-måleteknologi (Nuclear Magnetic Resonans) til bestemmelse af vigtige procesparametre i renseanlægsprocesser kom efter en grundlæggende undersøgelse af teknologiens evne til at måle relevante stoffer som bl.a. nitrogen og fosfor i organiske gødninger tilbage i 2014. De positive resultater ledte til GUDP forskningsprojektet "Online NMR sensor til bestemmelse af NPK i gylle", og herfra var vejen lagt til forskning og udvikling af et mere avanceret automatisk NMR-multianalysesystem, der gerne skulle være i stand til at analysere forskellige grundstoffer, nemlig isotoperne ^{17}O (→ vandindhold/tørstof), ^{13}C (→ kulstof), ^{14}N (→ uorganisk nitrogen som NH_4^+) og ^{31}P (→ total fosfor) i spildevandsslam. NMR-måleteknologien bygger generelt på at placere en prøve i et stærkt homogent magnetfelt og at eksitere selve prøven med specielle højfrekvenspulser med en frekvens der matcher det isotop, man ønsker at måle.

Teknologiens store fordele er, at den er berøringsløs, ikke destruktiv, uden forbrug af kemikalier og stort set vedligeholdelsesfri uden behov for re-kalibrering. Alle de egenskaber betyder, at målesystemet har en meget lav vedligeholdelsesomkostning, og dermed også kan fungere på mindre renseanlæg.

3.3 Projektbeskrivelse

Projektet er opdelt i to arbejdspakker;

Arbejdspakke 1: Procesteknisk NMR online måling og styring af rådnetanke. I denne arbejds-pakke er målet at udvikle en online sensor, der kan give data for følgende måleparametre:

- TS (Tørstof)
- TOC (Total kulstof)
- PO₄ (Fosfor)
- NH₄+NH₃ (Ammonium + ammoniak)
- TN (Total kvælstof), hvis muligt (indledende forsøg)

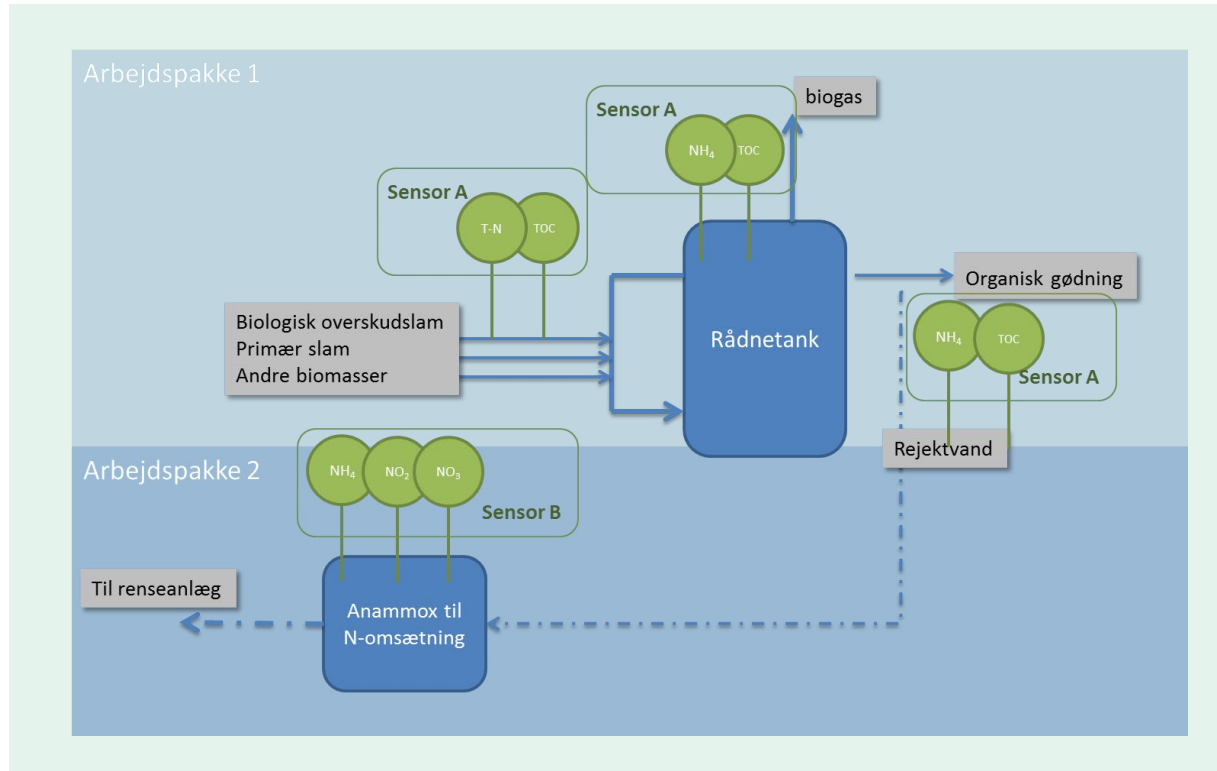
Baseret på disse online data, samt allerede eksisterende on- og offline målinger på rådnetan-kene, udvikles to online moduler til implementering i STAR systemet; Et overvåningsmodul, der rapporterer status af rådnetankene, og giver anbefalinger til ændring af driften for sikring af stabil og optimal drift, og et belastningsmodul, der automatisk beregner den optimale belast-ning af de forskellige indfødningskilder på rådnetankene.

Arbejdspakke 2: NMR online måling til forbedret kvælstoffjernelse med anammox-proces-sen. I denne arbejdspakke er målet at udvikle en online sensor, der kan give data for følgende måleparametre:

- NH₄+NH₃ (Ammonium + ammoniak)
- NO₂ (Nitrit)
- NO₃ (Nitrat)

Baseret på disse online data, samt allerede eksisterende on- og offline målinger på rejecktvan-det og i anammox-tanken, er de to moduler til styring af beluftning og belastning i STAR syste-met udvidet og opgraderet.

Projektets to arbejdspakker er illustreret på nedenstående figur.



FIGUR 3.1. Arbejdspakke 1 og 2.

3.4 Succeskriterier

Succeskriterierne for indeværende projekt var:

- At få etableret en NMR-måler på tre renseanlæg til online måling af procestekniske rådnetanksdata af en kvalitet der kunne benyttes til procesovervågning og –styring.
- At få udviklet og implementeret online overvågningsmodul, der fortæller aktuel procestilstand af rådnetanken
- At få udviklet og implementeret online belastningsmodul til automatisk styring af belastningen til rådnetanken
- At få testet en NMR-måler på et renseanlæg til online måling af nitrit på rejktvand
- At få udviklet og implementeret online beluftnings- og belastningsmodul til automatisk styring af anammoxprocessen på rejktvandsstrømmen ud fra nitritmåling.
- At få opsamlet driftserfaring med NMR-målerteknologien

4. Udviklingsforløb

Projektet har været opbygget af flere parallelle udviklingsspor med fokus på hhv. sensor udvikling og udvikling af styringer baseret på sensorernes måleresultater. Udviklingsaktiviteterne er gennemført parallelt ved at afstemme, hvilke output værdier hhv. sensor A og B forventes at levere og på hvilken form, således styringsspecifikationer for styringsmodulerne kunne udarbejdes fra start og modulerne kunne være klar, når sensorerne er klar til test og kontinuert drift.

For at kunne teste styringerne og opnå forståelse for variation på data blev det besluttet, at overvågningsmodulet indledningsvist kan anvendes via manuel indtastning af laboratorieanalyser i SRO system. Denne overvågning er således ikke fuldt dynamisk i den indledende demofase i projektet.

Som beskrevet indledningsvist, har sensorudviklingen været forbundet med større udfordringer end først antaget og der er ikke leveret online måleværdier fra sensor A og B til styringerne i projektet.

Med det valgte udviklingsforløb har det dog været muligt at teste funktionen af overvågningsmodulet, samt idriftsætte anammox styringen baseret på en alternativ nitrit måler, der er testet og indkøbt af Billund Vand sideløbende med NMR rens.

Undervejs i udviklingsarbejdet har det været muligt for NanoNord at installere en supplerende NMR sensor A på Skagen Renseanlæg. Resultaterne heraf er inddraget i NMR rens, da disse er følger af sensorudviklingen gennemført i nærværende projekt.

I det følgende kapitel vises resultaterne og i de følgende underafsnit præsenteres udviklingsforløbet.

4.1 Aktiviteter – NMR sensor udvikling

I bilag 1 er der lavet en detaljeret gennemgang af udviklingsforløbet med fokus på NMR sensor udviklingen, der detaljeret redegør for aktiviteter og erfaringer fra arbejdet. Det har været et udfordrende forløb og i denne hovedrapport fokuseres på de opnåede resultater, der peger fremad mod realiseringen af det formål, der ligger til grund for NMR rens; At kunne udføre proces teknisk online styring af rådnetanke for at kunne øge performance og den dynamiske kapacitet af anlæggene.

4.1.1 Arbejdspakke 1 – Sensor A

For arbejdspakke 1 er der blevet opsamlet data for NH_4+NH_3 , men det er ikke lykkedes at få brugbare signaler for resten af de planlagte parametre.

Følgende aktiviteter blev gennemført under målerudviklingsporet i arbejdspakke 1:

- Installation af måler og kabinet ved recirkulationsstreng på rådnetankene på de tre renseanlæg Aalborg Vest, Grindsted og Slagelse
- Opsætning af prøvetager og prøvesteder. For hver prøve pumpes prøvematrixen ind i målerøret i magnet. Imellem hver prøve køres automatisk spuling af prøverøret for at undgå, at foregående prøve har indflydelse på den næste. Der kan tages prøvemateriale fra tre forskellige prøvesteder til hver måler
- Display konfigureret
- Opkobling og datakommunikation opsætning
- Sensor prækalibreret for de parametre, der måles for. Dette ved en to punkts kalibrering med materiale med kendte høje koncentrationer af de parametre der kalibreres for.

- Data opsamles
- Datafrekvens og datakvalitet vurderes
- Slutkalibrering baseret på driftsdata afventer

4.1.2 Arbejdspakke 2 – Sensor B

For arbejdspakke 2 er der forsøgt opsamling af data for kvælstofforbindelserne NH₄, NO₃ og NO₂, men det er ikke lykkedes at opnå datakvalitet og præcision til et niveau der var brugbart til styringsformål.

Følgende aktiviteter er blevet gennemført under målerudviklingssporet i arbejdspakke 2:

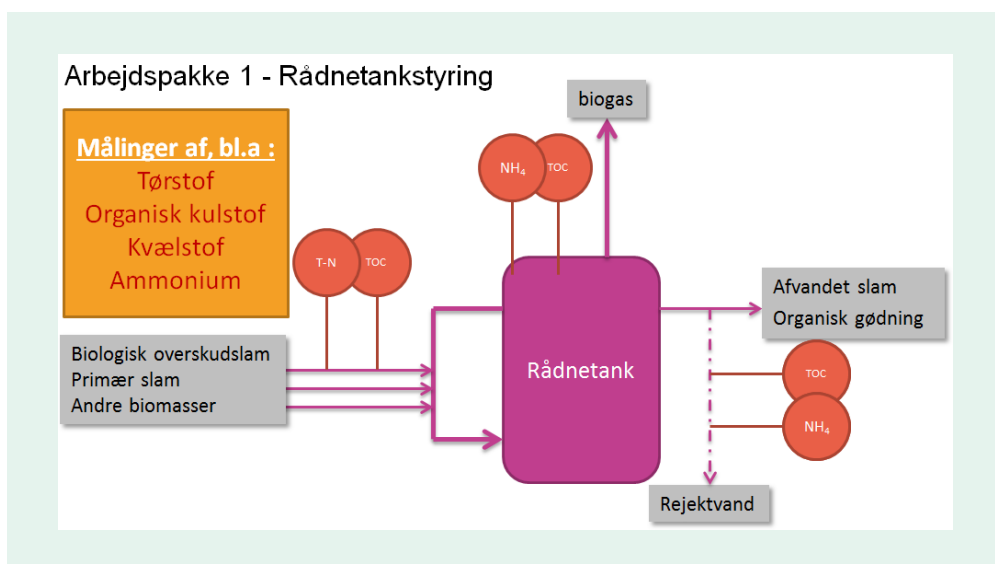
- Installation af måler og kabinet på toppen af Anitamox anlægget på Grindsted Renseanlæg
- Opsætning af prøvetager og prøvesteder. For hver prøve pumpes prøvematrixen ind i målerøret i magnet. I mellem hver prøve køres automatisk spuling af prøverøret for at undgå at foregående prøve har indflydelse på den næste.
- Display konfigureret
- Opkobling og datakommunikation opsættes
- Sensor kalibreres for de parametre der skal måles for. Dette gøres ved en to punkts kalibrering med materiale med kendte høje koncentrationer af de parametre der kalibreres for.
- Data opsamlet
- Datafrekvens og datakvalitet vurderet ikke brugbar til styring
- Udviklingsarbejdet stoppet i regi af NMR rens

4.2 Aktiviteter – Udvikling af online styringer

Udviklingen af styringerne, der skal omsætte NMR måleværdierne til driftstilpasninger er udført via Krügers styringsplatform STAR, der anvendes bredt til styring af renseanlæg i Danmark og internationalt. Styringsplatformen er løbende udviklet over 25 år og der findes i dag 80 referencer, hvor platformen anvendes til styring af renseanlæg og afløbssystem. Projektet "NMR rens" er første skridt til anvendelse af styringsplatformen (STAR) til rådnetankssystemer og det er således også første gang, at datakvalitetskontrol udføres så vidtgående på de data, der opsamles fra denne del af renseanlægget.

4.2.1 Arbejdspakke 1 – Overvågning og styring af rådnetanke

Der er udviklet et demonstrationsmodul i STAR til proces teknisk realtidsovervågning af rådnetanke, til de tre renseanlæg i Aalborg, Grindsted og Slagelse. STAR udviklingen er bygget op omkring et overvågningsmodul, der løbende opsamler og behandler online værdier fra rådnetanksystemet. På figuren herunder er det principielt vist hvordan og hvilke målinger, der ønskes for en forbedret rådnetanksstyring.



FIGUR 4.1. Arbejdspakke 1 – Rådnetankovervågning og -styring. På figuren er vist de målinger, der ønskes leveret fra NMR sensor A.

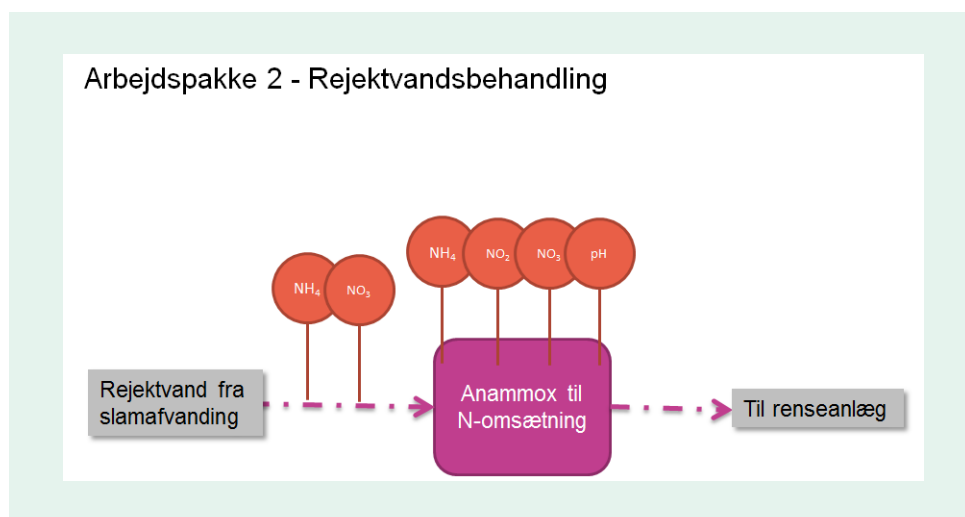
Overvågningsmodulet genererer nøgletal (opholdstid, biogasproduktion, massefylde, mm.) og trends (temperatur, pH, stofværdier, ammoniumkoncentration, mm.).

Aktiviteter udført i projektet:

- Udvikling af grundlæggende opsætning af STAR brugerflade for overvågning.
- Indarbejdning af nye målepunkter i STAR-overvågningen, og klargøring til modtagelse af signaler fra NMR-måler.
- Specifikation af STAR programmering til styring baseret på NMR-målinger på tilledning til rådnetanken
- Opsætning af STAR brugerfladen til online overvågning af rådnetanke
- Indkøring og introduktion til anvendelse hos de tre deltagende renselanlæg

4.2.2 Arbejdspakke 2 – Styring af Anammoxprocessen

Der er udviklet et proces teknisk STAR-modul til styring af anammox-processen på rejektivandsbehandlingen baseret på online målinger af NH₄, NO₃ og NO₂. Dette både ved indarbejdning i eksisterende styring, der beror på NH₄ og NO₃ målinger og ved udvikling af ny styringsstrategi ud fra online nitritmålinger. På figuren herunder er det principielt vist, hvilke målinger der ønskes for en forbedret styring af processen til rejektivandsbehandling.



FIGUR 4.2. Arbejdsplan 2 – Rejktvandsbehandling.

Styringsmodulet bestemmer mængden af ilt tilført ved beluftning og ammoniumbelastning af rejktvandstanken ved at styre indpumpningen.

Aktiviteter udført i projektet:

- Udvikling af grundlæggende opsætning af STAR brugerflade
- Indarbejdning af nye målepunkter i STAR styringen af beluftningen
- Udvikling af STAR programmering til styringen baseret på alternative signaler til NMR-målingerne.
- Opsætning af STAR brugerfladen til online styring af rejktvandsprocessen på Grindsted Renseanlæg
- Indkøring, undervisning og eftervisning

5. Test og resultater

I det følgende kapitel præsenteres resultater af det gennemførte udviklingsarbejde. Kapitlet er opbygget, så resultaterne fra sensor udviklingen af sensor A og B først præsenteres og arbejdet med styringsudviklingerne dernæst vises.

5.1 NMR-måleteknologi – Tveskaeg®

NanoNord har i projektet arbejdet med udvikling af en NMR-måler (varemærke Tveskaeg, se Figur 5.1 og 5.2), som kan tilsluttes rådnetanksanlæg og rejktvandsanlæg. For rådnetanksanlæg sker tilslutningen på rådnetankens recirkulationsstreg, hvor slammet løbene bliver varmet op og der findes et relativt ensartet produkt. For rejktvandsanlæg er NMR-måleren forbundet med tankens indhold gennem en slange. NMR-måleren er fuldautomatisk og suger slamprøven eller rejktvandsprøven ind ved hjælp af en integreret stempelpumpe. NMR-måleren har desuden en integreret database, der er tilkoblet en ethernet-forbindelse, og kan dermed fungere som en online måleenhed.

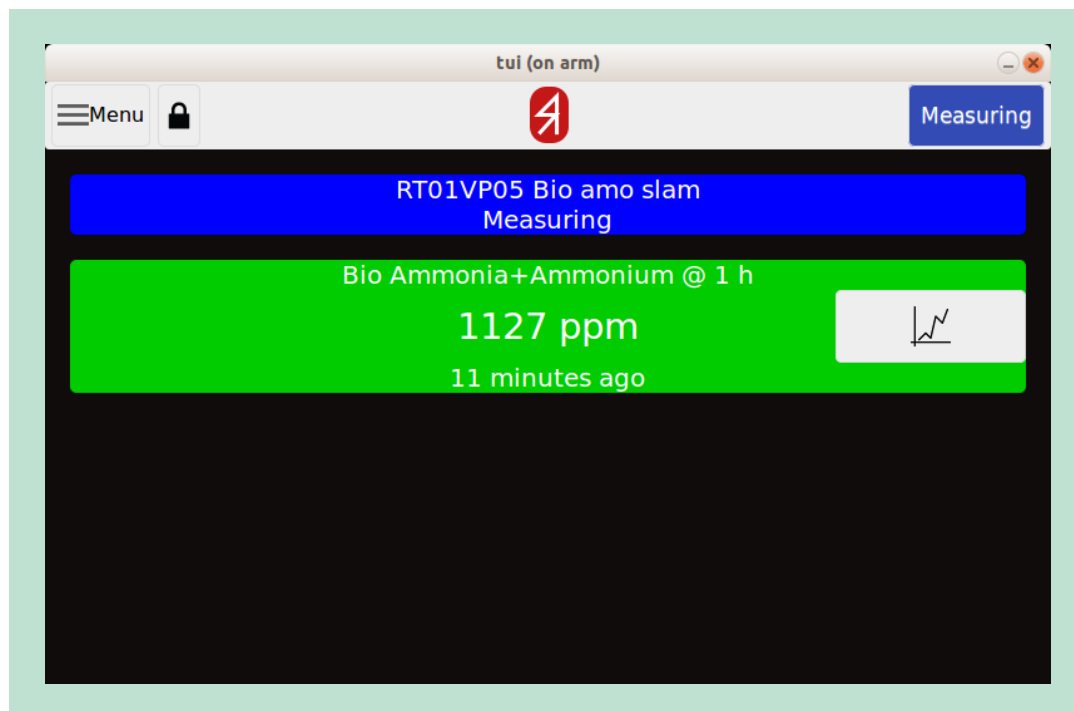


FIGUR 5.1. NMR-måleren udvendigt (1 stk. med indløbsstudser og 1 stk. til lab-prøver)

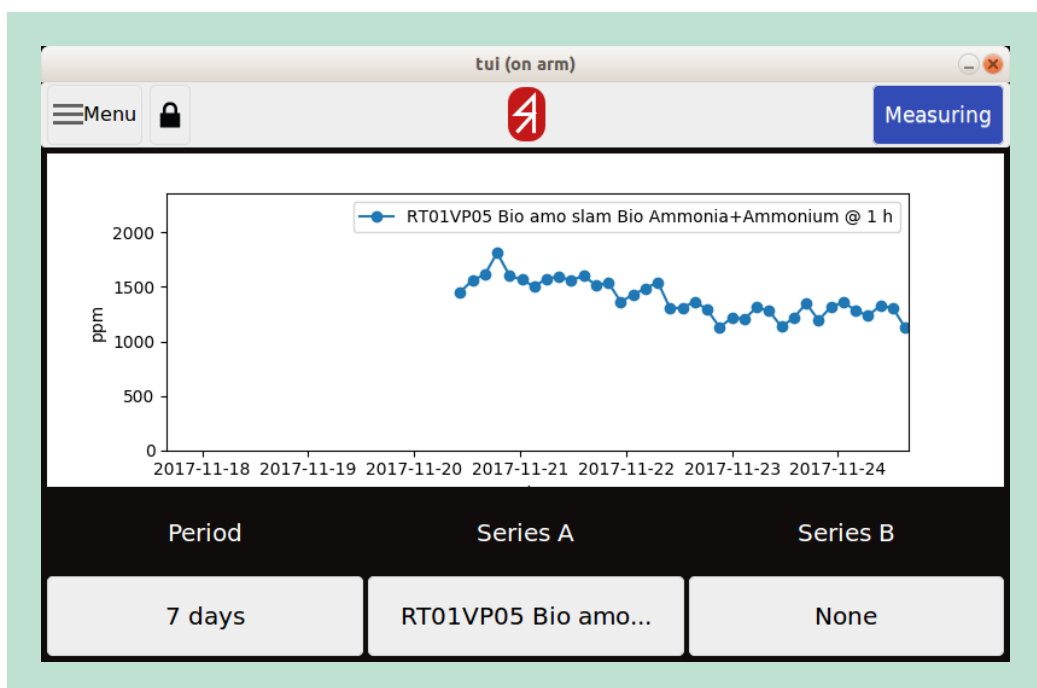


FIGUR 5.2. NMR-målerkabinettet; Lukket til venstre og åbent til højre. Inde i kabinettet ses NMR-magnet i bunden af billedet samt skyllesystem øverst i kabinettet.

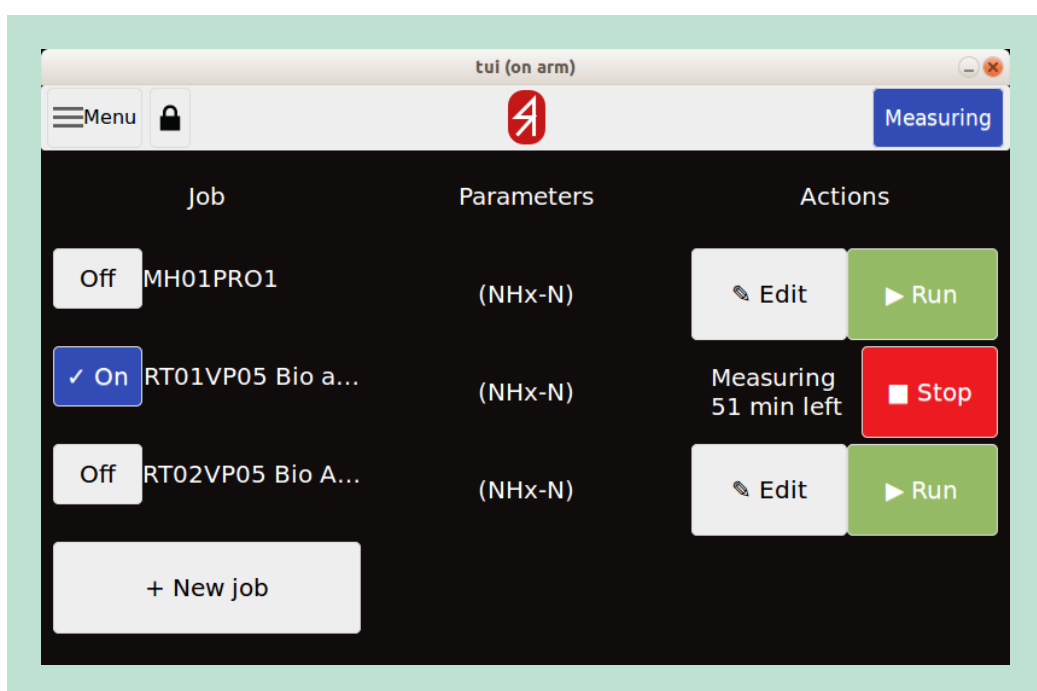
De udviklede NMR-Målesystemer har en indbygget touchscreen til systemopsætning (se eksempel i Figur 5.3, 5.4 og 5.5), visualisering af måleresultater og servicering. Typisk vil de sidste måleresultater blive vist på frontskærm, afhængig af hvor mange forskellige jobs, der er lagt ind. Et enkelt job omfatter definitionen af prøvetagningspunkt (hvilket prøvetagningspunkt), hvilken parameter (NH₄⁺, PO₄³⁻, etc.) der skal måles og hvor lang tid en enkelt måling skal vare. Målerens præcision skalerer med måletiden og typisk giver en forøgelse af måletiden med en faktor 4 en fordobling af målepræcisionen.



FIGUR 5.3. Tveskæg® Frontskærm med det sidste måleresultat



FIGUR 5.4. Tveskæg® graf af de sidste måleresultater



FIGUR 5.5: Tveskæg® job opsætning

Installationsstatus ved afrapportering af NMR-Rens er:

- Aalborg Renseanlæg Vest; Sensor A er installeret og har målt NH₄/NH₃ indhold i rådnetanksslam på recirkulationsstrengen. Systemet er pt. ude af drift pga. tilstoppede slanger/ventiler. Der vil blive sat et simplificeret NMR målesystem op i slutningen af 2018. Fosfor og kulstof (TOC) eller VFA målinger forventes forsat opnået.
- Grindsted renselanlæg; Ny sensor A blev udskiftet efter vandskade, men er pt. ude af drift pga. tilstoppede slanger/ventiler. Der vil blive sæt op et simplificeret NMR målesystem i slutningen af 2018. Fosfor og kulstof (TOC) eller VFA målinger forventes forsat opnået.
- Grindsted renselanlæg; Sensor B kunne ikke realiseres pga. udfordringer mht. opbygning af en markant forbedret magnet.

- Slagelse renseanlæg; En simplificeret sensor A afventer installation efter reovering af rådnertanken.
- Den supplerende installation på Skagen renseanlægs RT kører og leverer løbende resultater for NH₄⁺/NH₃, total-P, Natrium og Klorid. Systemet mangler en finkalibrering.

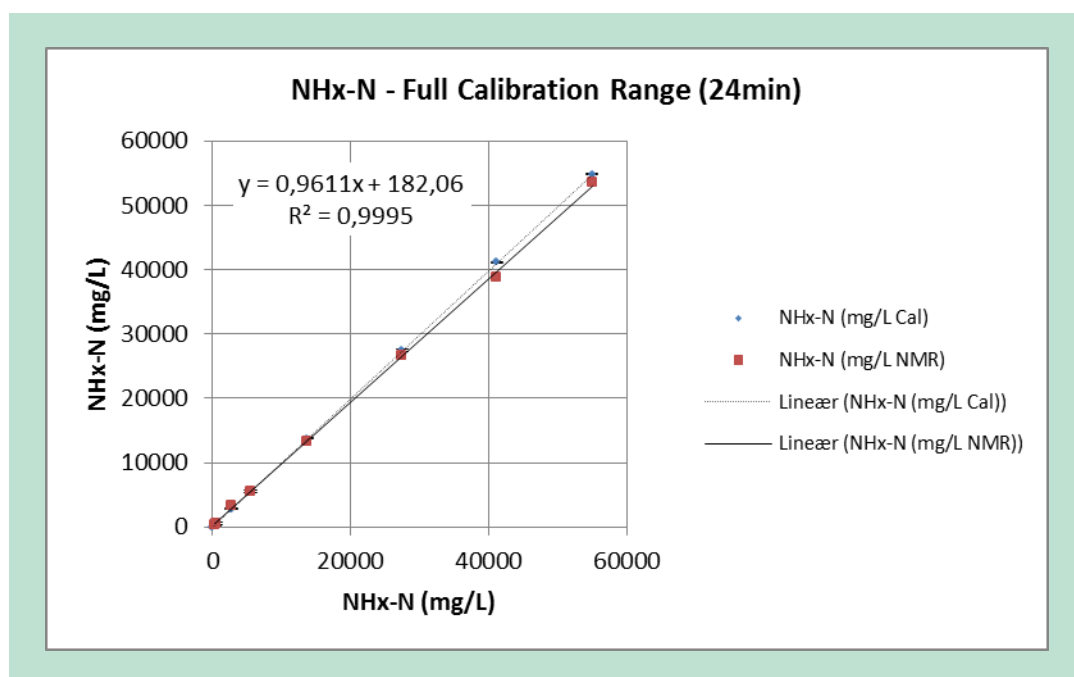
5.1.1 Arbejdspakke 1 – Resultater med sensor A

Som nævnt ovenfor er pt. tre målesystemer (Sensor A) på hhv. Aalborg Renseanlæg Vest, Grindsted Renseanlæg og Skagen Renseanlæg installeret og i drift.

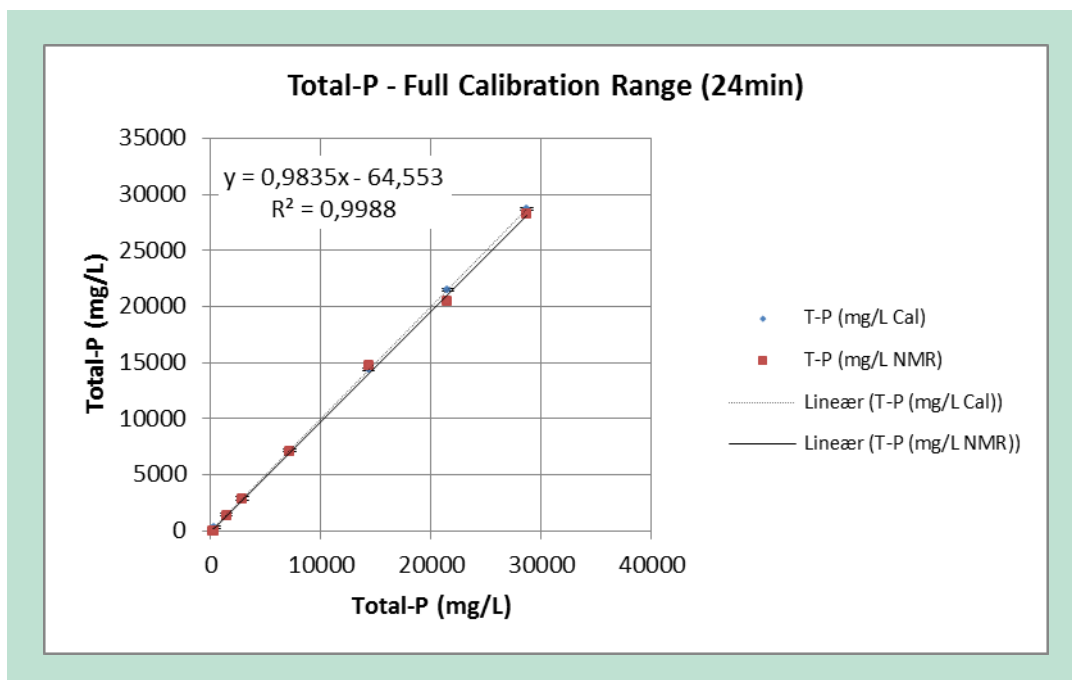
De første to systemer har oplevet gentagende gange tilstopning af prøvetagningsrør og skræsædeventiler og er pt. ikke i drift.

Kalibreringer vha. standarder indeholdende ammonium (NH₄⁺) og en blanding af o-fosfat (PO₄³⁻) / organisk fosfat (fytin) samt andre relevante salte, er blevet fortaget på de installerede målesystemer.

NMR målesystemerne viser typisk de følgende kalibreringskurver:



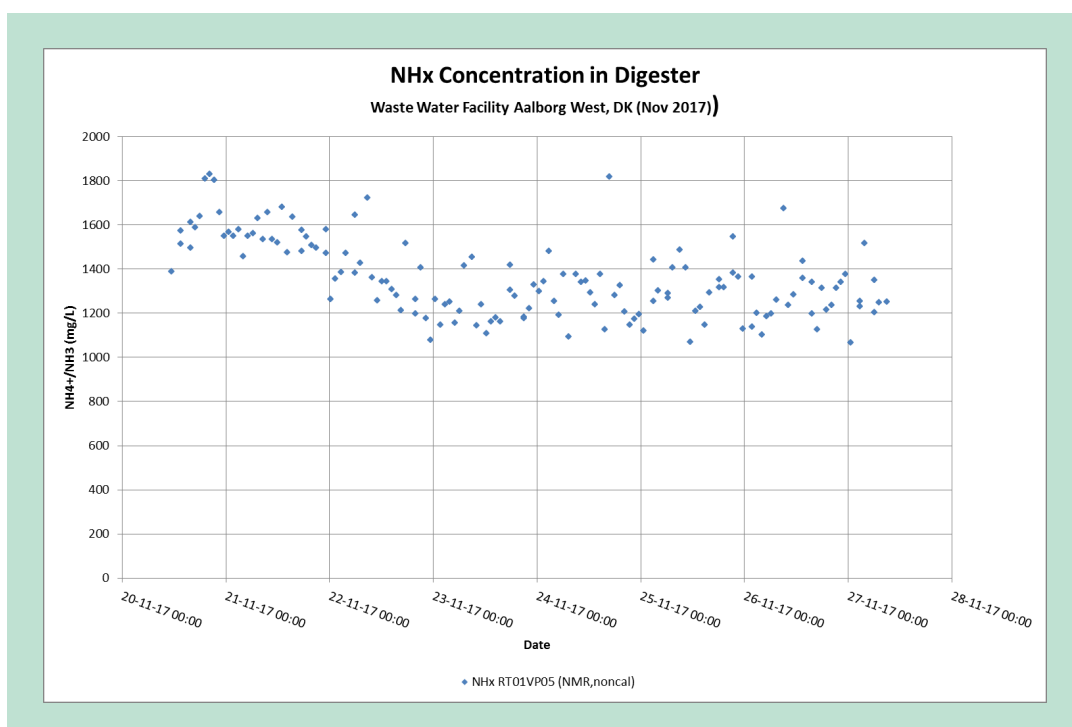
FIGUR 5.6a. Kalibreringskurve for annobiun-nitrogen ved brug af en toppunkts kalibrering (0 til 55000 mgN/L) og 24minutters målinger. Den stiplede linje der forbinder de blå punkter visualiserer en 100% korrelering baseret på de to kalibreringspunkter – de røde punkter repræsenterer målte prøver med kendt indhold af NH₄⁺/NH₃.



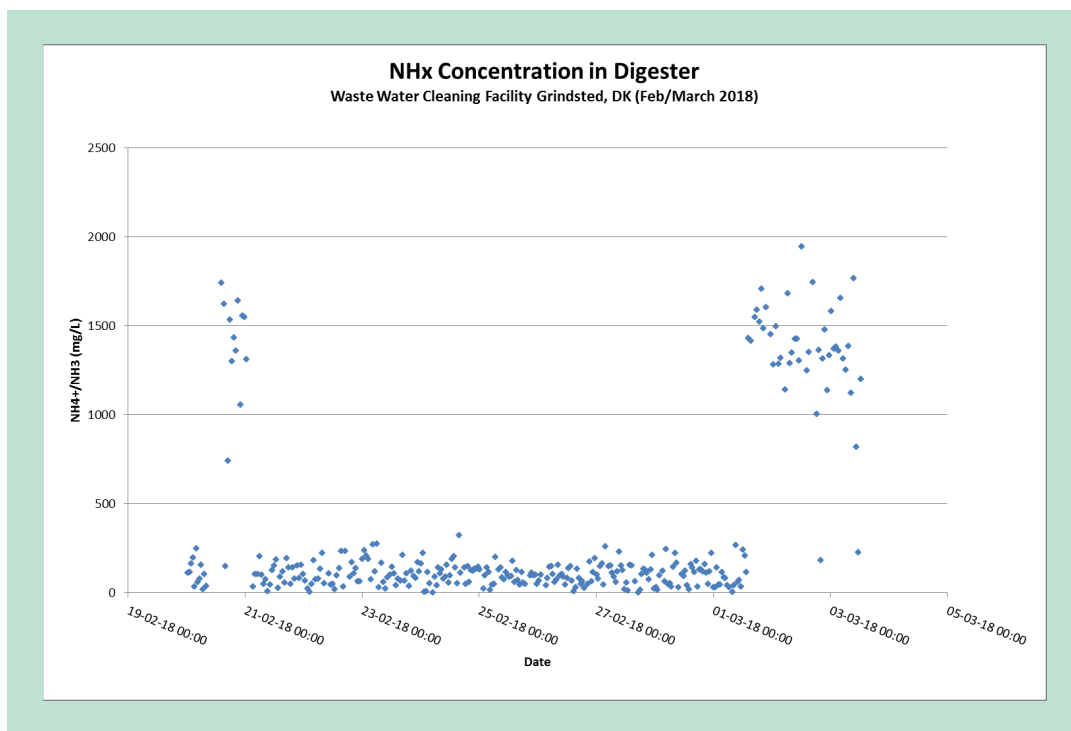
FIGUR 5.6b. Kalibreringskurve for total fosfor ved brug af en topunkts kalibrering (0 til ~29000 mg/L P) og 24minutters målinger. Den stiplede linje der forbinder de blå punkter visualiserer en 100% korrelering baseret på de to kalibreringspunkter – de røde punkter repræsenterer målte prøver med kendt indhold af total fosfor.

Det supplerende system i Skagen har genereret pæne måleresultater for NH₄/NH₃ og total-P, der korrelerer fint med off-line laboratoriedata (se data i Figur 5.7a-d).

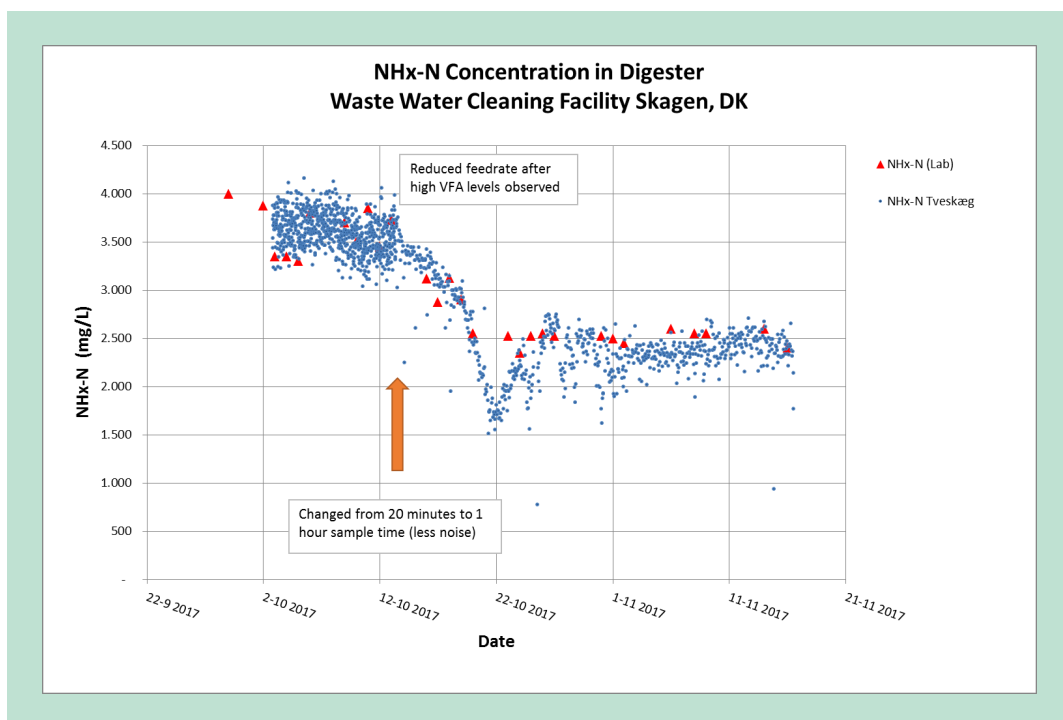
De følgende figurer viser typisk måldata fra installationerne på de tre anlæg:



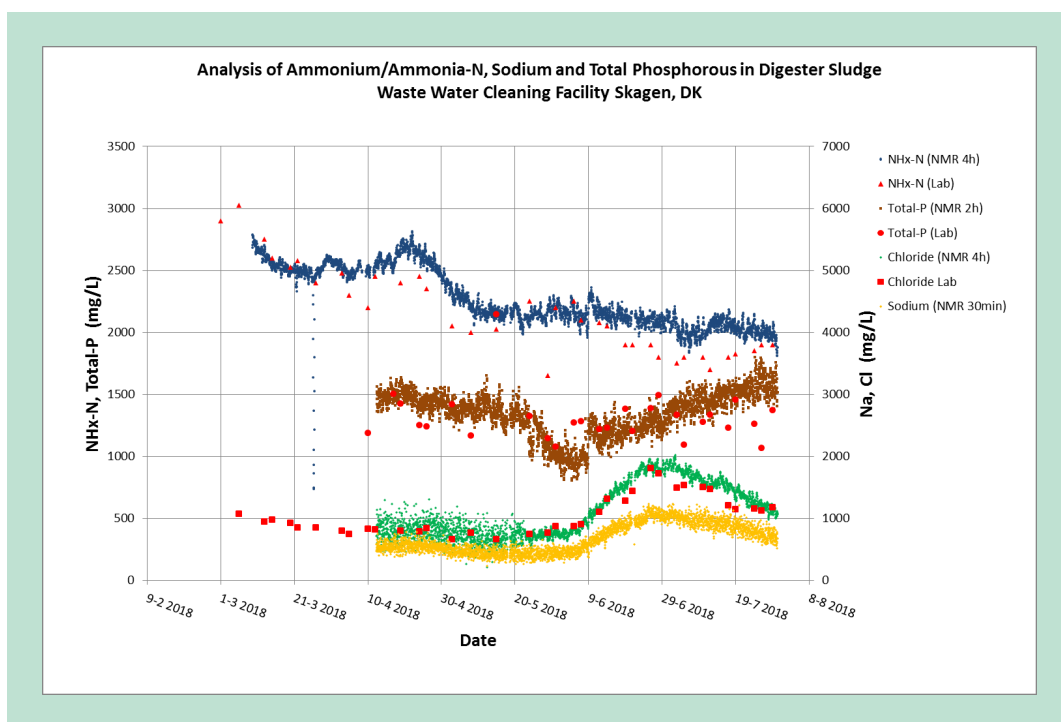
FIGUR 5.7a. Ammonium måldata målt i rådnetanksslam fra rådnetank RT01 ved Aalborg Renseanlæg Vest. Måleren er ikke finkalibreret og var derefter ude af drift pga. gentagende tilstoppede rør/ventiler.



FIGUR 5.7b. Ammonium måledata målt i rådnetanksslam på Grindsted Renseanlæg. Måleren er ikke finkalibreret og var tilsluttet en ikke kontinuerlig kørende recirkulationsstreng. Systemet har senere oplevet gentagende gange tilstoppeelse af prøveslangen og skråsædeventilerne og er pt. ude af drift.



FIGUR 5.7c. Ammonium måledata målt i rådnetanksslam på Skagen Renseanlæg fra 2017 (måleren er ikke finkalibreret, det viste måledata er offset korrigeret i forhold til off-line lab data). Bemærk reduktion af målestøj pga. forøgelse af måletiden fra 20min til 1h den 14-10-2017.



FIGUR 5.7d. Måledata målt i rådnetanksslam på Skagen Renseanlæg fra 2018 (måleren er ikke finkalibreret, nogle af det viste måledata er offset korrigeret i forhold til off-line lab data).

5.1.2 Arbejdspakke 2 – Resultater med sensor B

Udviklingsarbejdet med Sensor B har ikke kunnet realiseres grundet udfordringer mht. opbygning af magneten i målerinstallationen. Dette var nødvendigt for at opnå den ønskede målepåvirkning. Der er således ikke opnået måler-resultater med sensor B.

Som en del af projektgrundlaget for NMR-rens er følgende risikoanalyse lavet i forbindelse med ansøgningen. Projektgruppen havde fokus på, at udviklingsniveauet på sensor B var krævede, men det blev vurderet, at tidsrammen var realistisk til at gennemføre udviklingsarbejdet, se tabel herunder:

Største risici	Sandsynlighed for at det vil ske og påvirkning af projektet	Håndtering (minimering af sandsynlighed og påvirkning)
Stabil forbedret NMR magnet homogenitet kan ikke opnås i projektets forløb (nitrit analyse)	mindre	Er teknisk muligt, men kræver muligvis længere tid.
Manglende nitrit måleresultat vil give en manglende nitrit baseret styring af anammox	mindre	Hvis udviklingen af målepunktet kræver længere tid, vil indarbejdningen at dette i en styring blive forsinket.

Arbejdet med magnetudviklingen viste sig vanskeligere end vurderet forud for igangsættelse af arbejdet. I tabellen ses det, at output af udviklingsarbejdet med sensor B i form af en stabil online nitrit måling er input til onlinestyruingsudviklingen, der også ligger i denne arbejdspakke. I kraft af at målepunktet ikke er realiseret ville denne styringsudvikling blive forsinket. I projektet blev det dog tidligt erkendt, at denne udfordring var større end først antaget og det blev besluttet at udvikle styringen alligevel. I første omgang baseret på manuel indtastning af lab-værdier og senere med anvendelse af en ny alternativ måler på markedet. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 5.2.2.

5.2 Online styringer og STAR implementering på anlæg

5.2.1 Online styring til rådnetanke med sensor A - Arbejdspakke 1

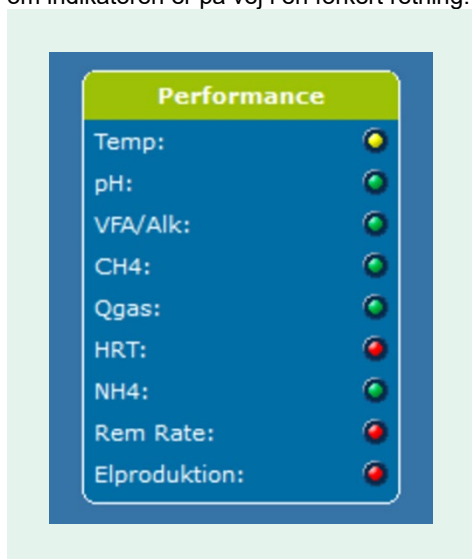
STAR overvågningsmodulet af rådnetanke er implementeret som demonstration på rensesanlæg hos de tre deltagende forsyningsselskaber. I kraft af de manglende NMR sensor signaler er der inddraget de eksisterende online målinger som eksempelvis flow, temperatur, niveau osv., samt parametre, som på nuværende tidspunkt er manuelle laboratoriemålinger, men forventes online i fremtiden, som SRO værdier, der kan indtastes indtil sensoren er klar. De tilgængelige data er således blevet samlet og data behandles online og præsenteres på et samlet sted. Dette betyder at modulet vil være klar til at kunne inkludere online målinger fra NMR-måleren i sine beregninger, når disse i fremtiden vil blive tilgængelige, ved bare en mindre opdatering af de underliggende algoritmer.

Eksisterende online målere, som bliver anvendt i modulets beregninger inkluderer:

- Indløbsflow for forskellige fødekilder, så som primærslam, bioslam og andre type biomasser
- Temperatur i rådnetankene og i varmesystemet
- Tørstofmålere i indkomne biomasser og udrådnet slam
- Biogasflow (total, til gasmotor, til kedel og til fakkel)
- Metanfraktion i biogas
- El- og varmeproduktion
- Niveau og tryk i rådnetankene og eventuelle buffertanke
- pH i rådnetankene

Resultatet af den online databehandling er en række indikatorer, nøgletal og anbefalinger, som vises til driftspersonalet i STAR brugerfalden. På nedenstående Figur 5.8 ses performanceindikatorerne, som giver driftspersonalet et hurtigt overblik over status på rådnetanksdriften her og nu. Er alt godt er indikatoren grøn, hvis noget ikke ligger hvor det forventes er indikatoren rød, eller hvis der er noget, som er på vej i den forkerte retning, men ikke kørt helt skævt endnu, er indikatoren gul. Bag ved disse performanceindikatorer ligger algoritmer, som hele tiden tygger det nyeste online (manuelle målinger) og offline data igennem, således at disse hele tiden er opdaterede og viser status, som den er nu og her på anlægget.

For hver performanceindikator angives eller beregnes en forventet værdi for hvor den målte indikator bør ligge, samt en tolerance for, hvor langt fra den forventede værdi der er rimelig. Samtidig beregnes hældningen for hver indikator, for at kunne bestemme trenden og afgøre, om indikatoren er på vej i en forkert retning.



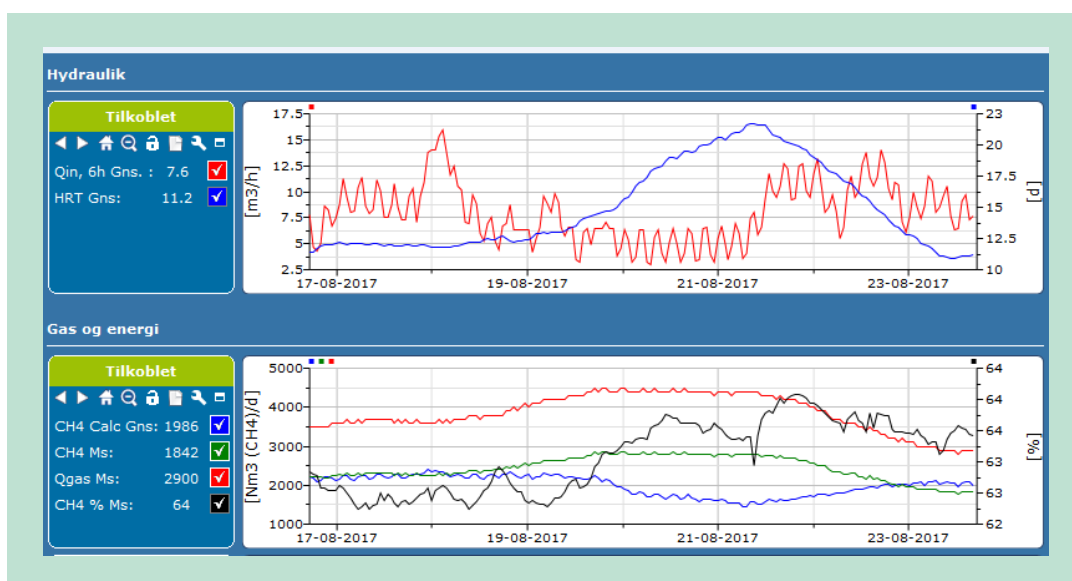
FIGUR 5.8. Performanceindikator i STAR brugerfalden

Hvis den målte indikator ikke stemmer overens med det forventede, genereres en besked til driftspersonalet i brugerfalden med en anbefaling om, hvad der kunne være godt at tjekke eller holde ekstra godt øje med eller ændre i driften for at sikre at rådnetanksprocessen kører så godt, sikkert og stabilt som muligt (se eksempler i nedenstående figur 5.9).

Trigger Date	Description	Issue fixed
2017.08.15 20:54:35	Biogasproduktionen er lavere end forventet – tjek opholdstid, temperatur, belastning og ammoniumkoncentration	<input type="checkbox"/>
2017.08.15 17:42:36	Proceshastigheden er lavere end forventet – tjek opholdstid, temperatur, belastning og ammoniumkoncentration	<input type="checkbox"/>
2017.08.15 16:20:37	Elproduktionen er lavere end forventet – tjek biogasproduktion og gasmotoren	<input type="checkbox"/>
2017.08.15 12:40:50	Lav opholdstid – tjek afvanding/koncentreringstank	<input type="checkbox"/>

FIGUR 5.9. Anbefalinger til driftspersonale i STAR brugerfladen

Ved driftsforstyrrelser og anbefalinger til driftspersonalet i brugerfladen kan der opnås yderligere indblik i driften via de behandlede data, som vises i grafer, hvorved historikken kan granskes nærmere (se eksempel i figur 5.10). Samtidig er disse med til at støtte visualiseringen af, hvor nøgletallene er på vej hen, og hvordan tiltag i driften påvirker disse ved at synliggøre konsekvenser af ændringer i driften.



FIGUR 5.10. Behandlede online data vises i STAR brugerfladen

Opnået effekt

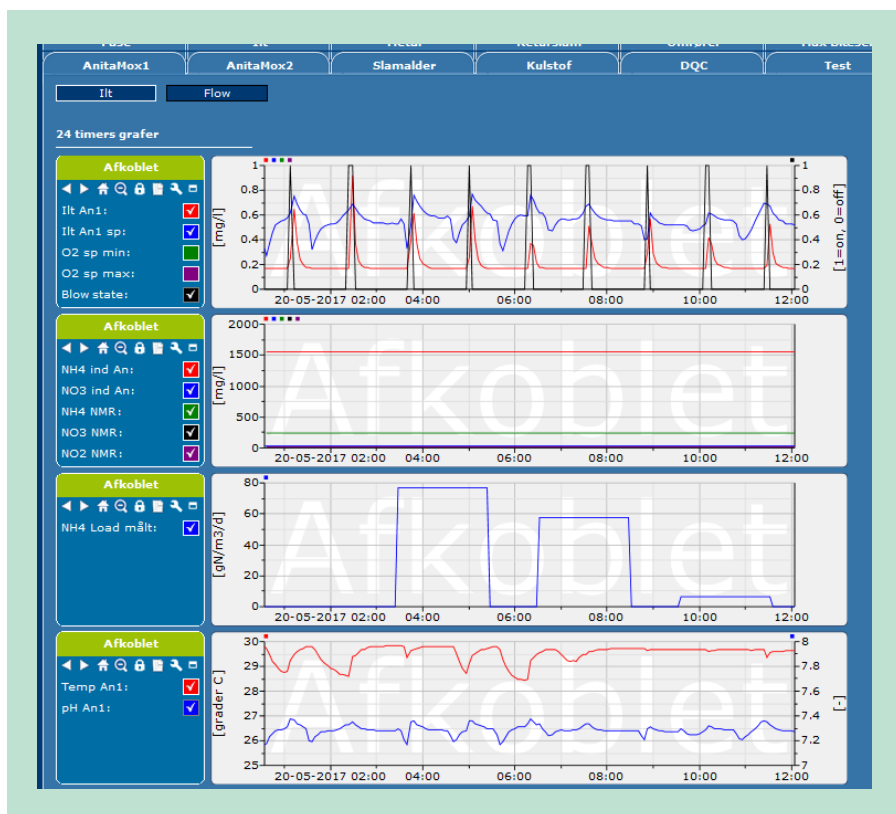
Det er vanskeligt at kvantificere fordelene ved det installerede overvågningsmodul, da det i første omgang alene leverer overblik over processen og anbefalinger til, hvordan driften opnår en stabil proces, men ikke laver aktive automatiserede styringsindgreb. Det kan dog konstateres, at der ikke på nogle af de tre anlæg har været driftsnedbrud af rådnetankene siden installation på trods af voldsomme ændringer i driften. Det gælder især Aalborg Renseanlæg Vest, hvor der i forbindelse med renovering har været nedlukning af en af de to rådnetanke. De tre

testanlæg er alle anlæg, hvor driftspersonalet i forvejen har fokus på drift af rådnetanke, så overvågningsmodulet understøtter driftspersonalets arbejde.

5.2.2 Online styring til AnitaMox på Grindsted Renseanlæg - Arbejdspakke 2

STAR modulet til styring af anammoxprocessen til rejektivandsbehandling er blevet implementeret på Billund Vands AnitaMox anlæg (se eksempel i Figur 5.11 nedenfor).

Det er blevet gjort ved at udvide den eksisterende patenterede beluftningsstyring med online signaler for nitrit, pH og indløbsflow, samt udviklet en ny online styringsalgoritme for pumpehastigheden af indløbsvand. En alternativ online måler for nitrit til NMR-måleren blev installeret i anammoxprocessen, og sammen med manuelle målinger af ammoniumkoncentrationen i indløbsvandet, er disse blev brugt til validering af de nye styringsstrategier.



FIGUR 5.11. Behandlede online data relateret til beluftningsstyring af anammoxprocessen vises i STAR brugerfladen

Opnået effekt

Styringsstrategien sikrer, at der ikke er sket uoprettelig nitritinhibering af anammox-biomassen under opstartsfasen. Dette er vigtigt, da anammoxbakteriegruppen er ekstremt langsomt voksende, med en fordoblingstid på ca. 11 dage, samtidig med at være meget følsomme overfor nitrit over en vis koncentration. Når processen startes op med en lille mængde podemateriale, vil det tage noget tid før der er nok biomasse til at opfylde hele kapaciteten.

Samtidig er processen, via indløbsflowstyringen, blevet belastet tilsvarende den eksisterende biologiske kapacitet, som kun langsomt stiger i opstartsfasen, da det tager lang tid at opbygge den nødvendige anammoxbiomasse til at kunne omsætte hele rejektivandsmængden, p.g.a. deres lange fordoblingstid.

6. Konklusion

Der er opnået lovende måledata for høje koncentrationer af ammoniumkvælstof i rådnetankslam på recirkulationsstrengen på to rådnetanke. Disse resultater medfører, at det forventes, der vil kunne måles for andre parametre på samme målematrice indenfor nærmeste fremtid. Disse målinger – især af kulstof eller flygtige syrer (VFA) vil være et gennembrud for mulighederne med proces teknisk online styring af rådnetanke. En videregående kvalificering af NMR måleren kræver dog flere kørende installationer og et dedikeret korrelationsprogram, hvor reproducerbarhed og repeterbarhed hvor NMR-målinger og laboratoriedata bliver sammenlignet.

Det er ikke lykkedes at opnå målinger for nogen parametre med NMR-metoden på rejektivand fra slamafvandingen, hvilket ellers var et mål for indeværende projekt.

Overvågningsmodul for status af rådnetanksdriften er succesfuldt blevet etableret på de tre deltagende renselanlæg, og de er klargjort til evt. fremtidige signaler fra NMR-målerne. Samtidig er belastningsmodulet for automatisk drift af belastningen til rådnetankene blevet specificeret, men er ikke implementeret på en rådnetank endnu grundet manglede online data.

Styringsmodulerne til drift af beluftning og belastning til anammoxprocessen til rejektivandsbehandling er blevet opdateret med nye målerinput, som kan komme fra NMR-måleren eller alternative måleprincipper. Disse er implementeret og valideret på et anlæg og klar til at blive anvendt på andre lignende installationer.

I følgende tabel er mål og resultater opnået igennem dette udviklingsprojekt præsenteret:

TABEL 1. Projektets mål og resultater

Projektets mål	Resultater
Udvikle NMR online måleprincippet til brug på slam og rejeckt vand.	Der er etableret en NMR måler på to renseanlæg, som laver online måling af ammoniumkvælstof på slam Det er ikke lykket at udvikle en NMR måler, der kan måle på rejeckt vand, men der er høstet vigtig viden, der indgår NanoNords videre udviklingsarbejde.
Udvikle en online procesovervågning af rådnetanke for stabilisering af daglig drift	Alle tre deltagende anlæg har via styringsplatformen STAR etableret et online overvågningsmodul, der fortæller aktuel processtilstand og giver advarsel, hvis procesparametre viser begyndende ustabilitet.
Udvikle en online styring til rådnetanke, der gør det muligt at belaste rådnetanken ud fra den aktuelle processtilstand	Alle tre deltagende anlæg har etableret et overvågningsmodul som nævnt i ovenstående. Som en del af dette modul sendes notifikationer til driftspersonalet om anbefalede ændringer i driften for at opnå en optimal drift. Da der mangler online måling for TOC indholdet i det indpumpe slam, er dette endnu ikke en fuldautomatisk styring til optimering, men anbefalingerne fra overvågningsmodulet er første skridt på vejen hertil.
Udføre en gennemførlighedsundersøgelse for at bruge en avanceret NMR sensor til online måling af procesparametre i en anammox processtank	Der er ikke blevet etableret NMR-måler på Anammoxprocessen i rejeckt vandsbehandlingen grundet udfordringer mht. opbygning af magneten i målerinstallationen.
Udvikling af en online styring til Anammoxprocessen, der benytter online måling af nitrit som en central del af proceskontrollen	Via styringsplatformen STAR er målepunkterne fra NMR måleren indarbejdet i processtyringen af rejeckt vandsrensning på et renseanlæg. Processtyringen af beluftningen er blevet optimeret med nitrit som input og et nyudviklet koncept for styring af ammoniumbelastning er blevet valideret.
Driftserfaring med NMR teknologien	Grundet udfordringer med præcisionen på NMR-måler er der ikke opsamlet decideret driftserfaring med kørende NMR-målere i dette projekt over længere tid.

7. Perspektiver

7.1 NMR-målinger

Nanonord har i løbet af projektet oplevet en del teknologiske udfordringer især med etablering af et robust NMR baseret målesystem, der kan håndtere komplekse væsker som spildevands-slam med grove partikler og fibre. Selve NMR-måleteknologien har dog vist sit store potentiale og sin styrke i en supplerende opstilling ved Skagen Renseanlæg, hvor der hen mod slutningen af juli 2018 er opsamlet kontinuerligt korreleret måledata over en 5 måneders periode for NH₄⁺, total-P, natrium og klorid.

Med disse erfaringer i betragtning har Nanonord i starten af 2018 begyndt at producere et mere simpelt målesystem der skal kunne klare de udfordringer man har set. Målesystemet består af en ren gennem-flow NMR sensor enhed og en ekstern pumpe samt returskyl. Denne sensor A vil blive installeret på alle tre renseanlæg, dvs. på Aalborg Renseanlæg Vest, Grindsted Renseanlæg og Slagelse Renseanlæg. Udover de allerede verificerede analysemetoder til måling af NH₄⁺, total-P, natrium og klorid er der desuden fortsat fokus på udvikling af nye målemetoder til bl.a. måling af flygtige fedtsyrer (VFA).

Det har ikke været muligt at opnå måledata for hhv. totalkvælstof og total kulstof. I løbet af udviklingsarbejdet blev der fokuseret på at opnå målinger af flygtige syrer (VFA) som et bedre alternativ til total kulstof, men dette er ikke lykket i projektet. Arbejdet vedrørende udvikling af en VFA analysemetode fortættes, idet VFA er en vigtig procesparameter i rådnetanke og målingen vil kunne give gode muligheder for nye løsninger til videre salg og eksport af dansk miljøteknologi.

Forbedring af målerens generelle følsomhed hen til kortere analysetider og til at kunne adskille ammonium, nitrat og nitrit vil blive adresseret ved at automatisere processen til opbygning af NMR magneterne, der forventes at give en bedre felthomogenitet.

Storeaktionærerne bag ved Nanonord A/S har bundet sig til at investere 26 mio. danske kroner i løbet af 2018-2019 til videreudvikling af virksomheden. Fremtidig anvendelse af NMR-teknologien i vandsektoren med fokus på analyser af spildevand er en væsentlig del af denne videreudvikling.

7.2 Driftsoptimering

Koncepterne bag et online overvågningsmodul til at understøtte og optimere driften af rådnetanke og rejektivandsbehandling på renseanlæg er blevet valideret i dette projekt. Arbejdet med dette vil derfor fortsætte i retning af at få produktmodnet standardprodukter, der kan anvendes bredt udi forsyningsbranchen med hurtig implementering, hvorved erfaringerne høstet i dette projekt kan komme driften på andre anlæg til gode både i Danmark og i udlandet.

Krüger står midt i en rivende udvikling af den avancerede online styring, STAR, der bliver flyttet fra server til cloud, og i den forbindelse skifter navn til AQUAVISTA. I denne konvertering er der også udviklet en ny brugerflade, der konfigurerer sig i forhold til, hvilken bruger der kigger på brugerfladen og gennem hvilken enhed (PC, smartphone eller tablet). For driftsoperatører i felten vil brugerfladen sende notifikationer med handlingsrelaterede data direkte til deres smartphone, som vil understøtte driften i at køre anlægget bedst muligt. Dette kan fx være at udføre vedligehold eller tilse en måler, der er essentiel for optimal overvågning eller styring, hvis denne ser ud til ikke at opføre sig "normalt". På samme vis vil denne nye brugerflade understøtte at der sendes notifikationer fra overvågningsmodulet, udviklet i dette projekt, direkte til driftspersonalet, der herefter kan foretage de nødvendige korrigerende foranstaltninger for at sikre optimal drift.

Kommunikationen vendes herved om, så driftspersonalet i stedet for konstant at skulle holde øje med om alt ser "normalt" ud, nu får en notifikation om, hvor og hvornår der er noget der kræver deres indgriben. På denne måde øges effektiviteten af driften, og når der fx opstår en begyndende ustabilitet i rådnetanksdriften vil den blive håndteret med det samme, i stedet for først at blive opdaget ved et rutinemæssigt tjek.

Da optimeringsmodulerne i Aquavista produceres og vedligeholdes fra centralt hold, er infrastrukturen og supportsystemet for en stor udbredelse uden store omkostninger på plads, hvilket muliggør mange installationer for små investeringer.

Rådnetkanksmodulerne udviklet i dette projekt vil blive anvendt i fremtidige optimeringer af rådnetanksdrift, og videreudviklet med hensyntagen til at kunne tage højde for varierende el-priser – både i forbindelse med køb og salg – og på denne måde kunne være en spiller der bidrager til øget fleksibilitet i forbindelse med Smart Grid løsninger. Ved modning af NMR sensor teknologien vil det være muligt for NanoNord at benytte Krügers etablerede salgsplatform, både i Danmark og internationalt, til at etablere sig hurtigt på et marked, der efterspørger pålidelige, fleksible og rentable målerløsninger.

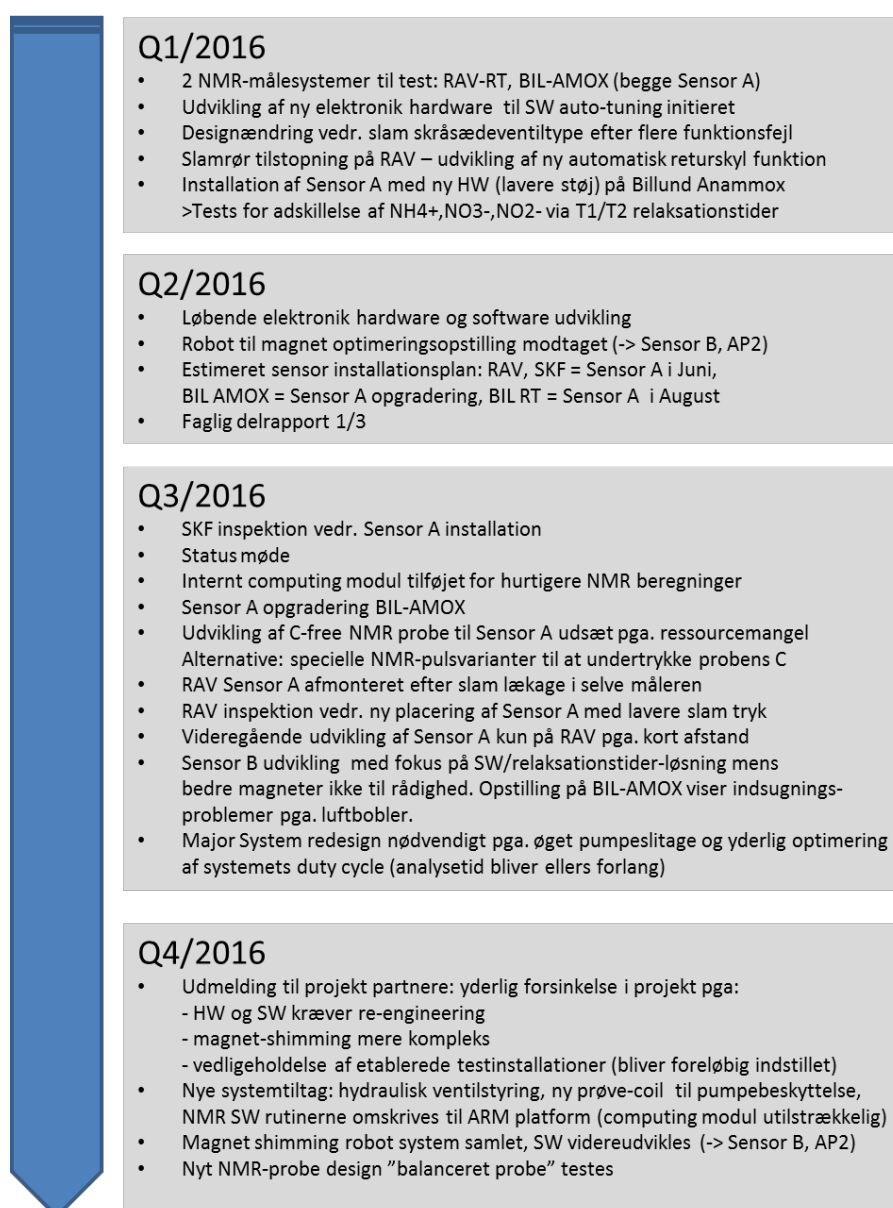
Samrådning af slam fra renseanlæg med andet organisk affald har set stigende interesse inden for de seneste år, da dette er en god måde at få en øget energiproduktion på anlæg med overskudskapacitet i deres eksisterende rådnetanke. Da slam og andet organisk affald kan være af meget forskellig sammensætning, er det ekstra vigtigt at have værktøjer der kan hjælpe med at give det nødvendige overblik over hvordan rådnetanken belastes med de forskellige indfødningskilder, samt at kunne sørge for at anlægget ikke overbelastes men køres stabilt. For anlæg, der overvejer at omlægge til sådan drift, vil de udviklede realtidsmoduler og NMR sensoren være en vigtig spiller, der kan sikre denne stabile drift.

Bilag 1. Udvikling og design af NMR-måler

7.3 Projektforløbet og erfaringer fra udviklingsarbejdet

Teknologidesignet af den daværende NPC-Sensor var med udgang af 2015 afprøvet og det viste sig her, at NMR-hardwaren krævede diverse forbedringer. Dette for at opnå den ønskede høje analyse følsomhed ved samtidig at være i stand til at analysere flere isotoper med den samme NMR-hardware.

De følgende to figurer giver en overblik over Nanonords aktiviteter og erfaringer i hele projektets forløb:



FIGUR 7.1: Projektforløb 2016



FIGUR 7.2: Projektforløb 2017

Testforløb og resultater

I starten af 2016 blev der igangsat en ny generation NMR-hardware, der byggede på et avanceret digital tuning-kredsløb, NMR-signalforstærker og en NMR-frontend der indeholder RF-teknologien og selve NMR-antenneerne.

To tidligere målesystemer, installeret på Aalborg renseanlæg (Sensor A) og Grindsted RA (Sensor B), blev i den første fase af projektet hhv. brugt til at samle erfaringer omkring prøvehåndtering (slam / rejektivand) og NMR-måling af nitrogen species (ammonium, nitrat og nitrit). I det videre forløb blev der gennemført en opgradering af begge systemer. Hermed kunne den forbedrede NMR-hardware afprøves.



FIGUR 7.3. Prototypen af NMR-måleren på Aalborg RA vest (tv) og Grindsted RA (th)

Erfaringer fra disse to testopstillinger gav værdifuld information i forhold til optimering af NMR-måleren i projektet:

- Prototypen af sensor A var i stand til at transportere rådneseind og ud af måleren. Dog ikke hvis trykket i cirkulationsstrengen var over 5 bar. Løsningen her var en pumpe-optimering og krav om begrænsning af maksimalt prøvetryk til 3 bar.
- I begge testsystemer blev stempelpumpen u hensigtsmæssigt udsat for prøve-mediet. Her var en målesystem-intern prøve-buffer og en forbedret skyllemekanisme nødvendig for at beskytte pumperne.
- Generering af trykluft via den indbyggede stempelpumpe i det oprindelige systemdesign gav for meget pumpeforbrug og overordnet for lidt måletid idet den samme pumpe blev brugt til prøvetransport og trykluft produktion. Styresystemet til de integrerede ventiler blev grundlæggende designet om med udgangen af 2016, og blev i stedet til en hydraulisk styring.
- Prototypen af sensor B viste, at en traditionel optimeret magnet ikke kunne opløse 14N signalerne fra ammonium, nitrat og nitrit tilstrækkeligt. Dette på trods af at disse typisk ligger ca. 200ppm adskilt. Den brugte magnets homogenitet var ikke god nok og imens magnet optimeringsteknologien via robot (AP2) blev bygget op, gennemførtes der en undersøgelse, i hvor vidt relaksationstider T1 og T2 af 14N signalet i ammonium, nitrat og nitrit kunne bruges til at differentiere mellem komponenterne. Her viste det sig, at metoden er meget afhængig af pH-værdien i prøven og det betyder, at pH værdien er nød til at være kendt før metoden kan i realitet bruges. Desværre lykkedes det i projektets forløb ikke, at bygge en markant forbedret NMR magnet med en homogenitet under 100ppm – grunden er her især manglende ressourcer og forsinkelser i udviklingen af sensor platformen.
- Målesystemernes følsomhed for de relevante isotoper med den nye NMR-hardware viste sig desværre ikke at være tilstrækkelig i begge systemer. Årsagen var for høje støjtal i NMR front-end delen. Hermed var der brug for endnu et re-design af en væsentlig del af NMR hardwaren, der blev igangsæt mod slutningen af 2016.
- Prøverne fra anammox-tanken, som blev suget ind i Sensor B, indeholdte ofte luftbobler pga. bundluftning i tanken. Det viste sig, at prøveslangen i denne sammenhæng blev nød til at være fikseret i et område af tanken hvor der er mindre sandsynlighed for bobler. Der er blevet lavet en mindre mekanisk konstruktion, som tilbageholder luftbobler.

Baseret på ovenstående, blev der i oktober 2016 sat gang i design og produktion af 40 stk. NMR-målere, defineret som produktionsmodeller. Fire af disse NMR-målere blev dedikeret til projektet. Design af produktionsmodellen byggede på de erfaringer man havde opsamlet med testsystemerne og enkelte in-house testopstillinger. På grund af diverse udfordringer i produk-

tionen og softwareudviklingen – som førte til betydelige forsinkelser - lykkedes det ikke at installere de fire NMR-målere før udgang af juni 2017, dvs. først i forlængelsen af projektet NMR-Rens.

Efter opstart af målesystemerne ved de tre renseanlæg over sommeren 2017 viste det sig desuden, at den indbyggede stempelpumpe kørte sig fast pga. fejlagtige pakninger og intern korrosion. Dermed var Nanonord nødt til at tilbagekalde NMR-målerne. Med udgang af august måned 2017 blev alle målesystemer opgraderet med en ny pumpe og sluttetstet.



FIGUR 7.4. NMR-måler opstilling til test og kalibrering hos NanoNord.

Installationsstatus ved afrapportering af NMR-Rens er:

- Aalborg Renseanlæg Vest; Sensor A er installeret og har målt NH₄/NH₃ indhold i rådnetanksslam på recirkulationsstrengen. Systemet er pt. ude af drift pga. tilstoppede slanger/ventiler. Der vil blive sæt op et simplificeret NMR målesystem i slutningen af 2018. Fosfor og Kulstof (TOC) målinger forventes forsat opnået.
- Grindsted renseanlæg; Ny sensor A blev udskiftet efter vandskade, men er pt. ude af drift pga. tilstoppede slanger/ventiler. Der vil blive sæt op et simplificeret NMR målesystem i slutningen af 2018. Fosfor og Kulstof (TOC) målinger forventes forsat opnået.
- Grindsted renseanlæg; Sensor B kunne ikke realiseres pga. udfordringer mht. opbygning af en markant forbedret magnet.
- Slagelse renseanlæg; En simplificeret sensor A afventer installation i slutningen af 2018 efter renovering af rådnetanken.
- Den supplerende installation på Skagen renseanlægs RT kører og leverer løbende resultater for NH₄⁺/NH₃, total-P, Natrium og Klorid. Systemet mangler en finkalibrering.

MUDP NMR-Rens - NMR-måleteknologi til optimeret styring af biogas- og anammox-processer på rensesanlæg

Der har været udfordringer undervejs, med udvikling af ny målemetode på prøvemateriale, der ikke tidligere har været forsøgt i et virkeligt miljø. Dyrebare erfaringer er blevet gjort. Samtidig har projektet gjort det muligt at få afprøvet nogle koncepter til realtidsvurderinger og – optimeringer, der vil kunne anvendes i den videre udvikling af energioptimeringen i driften af rensesanlæg. Det er lykkedes at opnå gode resultater for ammoniumkoncentrationer med ny målemetode i rådnetanksslam på tre anlæg. Det er ikke lykkedes at opnå måleresultater for de resterende parametre der var målsætningen, og der arbejdes videre med sensorudviklingen for at opnå dette. Der er samtidigt blevet etableret online overvågning på rådnetankene, der sender notifikationer til driftspersonalet med instruktioner om, hvilke ændringer der skal foretages for at opnå optimal drift af anlæggene.

For anlægget med dedikeret rejektvandsbehandling er der blevet foretaget en opgradering af den eksisterende styring med nye måleparametre, der muliggør en sikrere drift af denne ellers følsomme proces. Udviklingsarbejdet med at få etableret fuld-automatisk belastningsstyring af rådnetankdriften forsætter sideløbende med sensorudviklingen, så der ikke længere skal menneskelig intervention ind over for at ændre på driften.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk