



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Billund BioRefinery MUDP-rapport

MUDP Rapport

Juli 2023

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Billund Vand A/S og Krüger A/S

Fotos:

Billund Vand A/S og Krüger A/S

ISBN: 978-87-7038-530-5

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.	Indledning	4
2.	English abstract	5
3.	Formål og konklusion	7
3.1	Formål med fyrtårnsprojektet	7
3.2	Konklusion på fyrtårnsprojektet	8
4.	Erfaringer og perspektiver	10
4.1	Erfaringer med samarbejdet	10
4.2	Erfaringer fra projektet	11
4.3	Formidling	11
4.4	Perspektiver	11
4.5	Den fortsatte videreudvikling	12
4.6	Involverede firmaer	12
5.	Projektresultater	14
5.1	Tekniske delprojekter	14
5.2	Vidensprojekter	21
6.	Økonomi	24

1. Indledning

Nærværende rapport indeholder en overordnet beskrivelse af implementeringen og resultaterne af fyrtårnsprojektet Billund BioRefinery, som er det første fyrtårnsprojekt, der er etableret inden for forsyningsområdet. Fyrtårnsprojektet er etableret i Grindsted for Billund Vand A/S.

Billund BioRefinery, fremtidens renseanlæg, er nu etableret og i drift. Siden 2013 har Billund Vand A/S og Krüger A/S været i tæt samarbejde om at udvikle projektet. Det samlede projekt blev fysisk etableret i 2015 og 2016 og blev sat i drift i august 2016. På baggrund af de opnåede resultater og de hidtidige driftserfaringer må projektet betegnes som en stor succes.

Den oprindelige vision med projektet "Et energiproducerende og driftseffektivt anlæg, der renser spildevandet til højere kvalitet end myndighedskravene og sikrer en bæredygtig håndtering af biomasse og næringsstoffer" er til fulde indfriet og bekræfter dermed projektets store succes.

Ligeledes er målet om at demonstrere nyudviklet miljøeffektiv teknologi på hjemmemarkedet samt dermed at åbne nye markeder lykkedes fuldt ud, idet Krüger A/S har lignende anlæg enten under opførelse eller på vej til at blive udført.

Herudover var det et mål at demonstrere Offentlig Privat Samarbejde (OPS), hvilket også har været en stor succes. I den forbindelse har det været afgørende, at der har været et tæt og åbent samarbejde mellem Billund Vand A/S og Krüger A/S igennem hele projektførelsen.

Kendskabet til fyrtårnsprojektet er nået langt omkring i verden, hvilket besøgene fra nedenstående lande vidner om.

- Tyskland
- Tyrkiet
- Portugal
- Pakistan
- England
- Italien
- Mexico
- Iran
- Kina
- Korea
- Norge
- Singapore
- Indonesien
- Makedonien
- Polen
- Australien
- Polen
- USA
- Frankrig
- Kenya
- Libanon
- Argentina
- Brasilien
- Finland

Herudover har der været besøg fra en lang række danske forsyninger, kommuner, institutioner, virksomheder, m.v.

Projektet er støttet gennem Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, samt Vandsektorens Teknologiudviklingsfond (VTU-Fonden). Den samlede støtte til projektet var 15 millioner kroner ud af et samlet budget på 72 millioner kroner.

2. English abstract

Billund BioRefinery, the wastewater treatment plant of the future, is now established and operational. Since 2013 Billund Vand A/S and Krüger A/S have been working closely together to develop the project. The entire project was established in 2015 and 2016 and became operational in August 2016.

The background for the establishment of Billund BioRefinery was to ensure high quality purified wastewater for the recipient, safety in water purification with low energy consumption and utilization of the wastewater's energy and nutritional content in symbiosis with the utilization of resources from industrial waste. This focuses on stable operation, low operating costs and high security of supply.

The project has demonstrated that it is possible to carry out very large construction projects with many technologies at the same time that the plant should be operational, both in terms of wastewater treatment, gas utilization and management. This aspect is extremely important in terms of security of supply and of course also for the operational cost. There have also been innovative collaborators across industries, including, for example, agricultural service supply agency and farmers for better spreading of the fertilizer product from the treatment plant.

The experience is overall, that it has been a good process of close cooperation from the start of the project with the technical proposal to the commissioning of the total work.

The project is supported by the "Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet" and the "Vandsektorens Teknologiuudviklingsfond (VTU-Fonden)". The total funding for the project was DKK 15 million out of a total budget of DKK 72 million.

With the project the following benefits are obtained:

- A plant with great perspectives for Danish environmental exports and a showcase for leading Danish companies in the wastewater treatment and environmental technology business. The plant has had visits by 787 international professionals and politicians and 1,585 Danish guests (by May 2017).
- Recognition in Denmark and abroad upon receipt of a wide range of prizes such as the Svend Auken's environmental award, the EU Environment Prize and the Global Water Awards.
- Visitors from more than 25 countries.
- Energy production has increased by 60 percent from approx. 8.6 million kWh a year (year 2015) to approx. 14 million kWh a year (year 2017) and is still rising despite the fact that the plant is not yet utilizing the full capacity for industrial waste. Billund BioRefinery is thus a net exporter of CO₂-neutral energy for the electricity and district heating networks.
- The unique Danish technology, EXELYS, with thermal hydrolysis, is the main contributor to the high growth in energy production, while reducing the amount of sludge.
- The capacity for removing nitrogen is planned to increase by 35,000 PE using the ANITATM- Mox technology, which will give Billund BioRefinery an extra capacity for future connections. The plant is not yet in full operation, wherefore the results are not verified.

- The emission of nutrients from the plant has already been reduced by almost 60%. When all technologies are fully phased, this corresponds to a saved annual discharge of 12 tonnes of pure nitrogen.
- Minimizing greenhouse gas emissions through increased production of CO₂-neutral energy and reduced consumption of energy and precipitation chemicals.

3. Formål og konklusion

3.1 Formål med fyrtårnsprojektet

Formålet med etableringen af Billund BioRefinery var visionen om at skabe:

”Et energiproducerende og driftseffektivt anlæg, der renser spildevandet til højere kvalitet end myndighedskravene og sikrer en bæredygtig håndtering af biomasse og næringsstoffer”, hvilket til fulde er indfriet og bekræfter dermed projektets store succes.

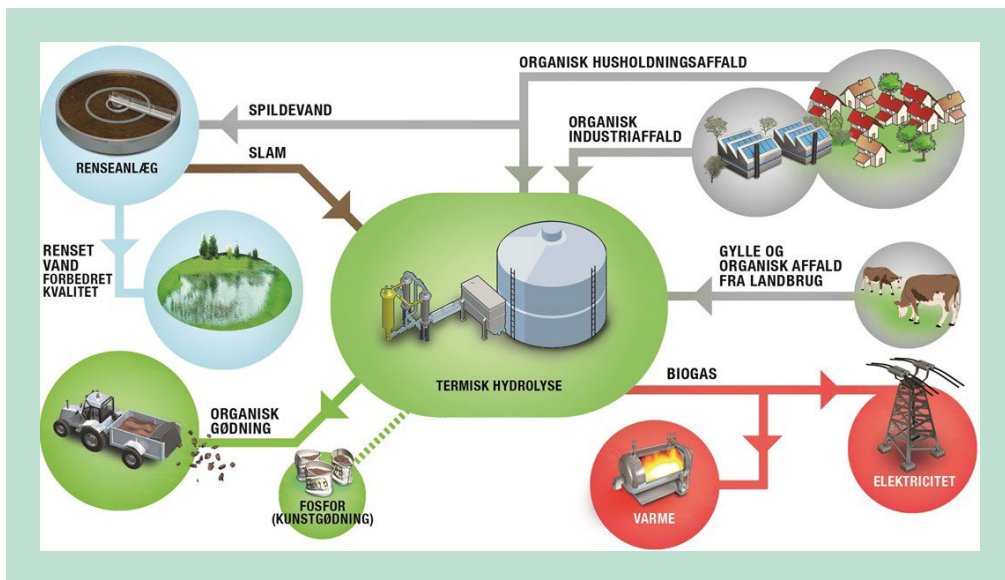
Fra MUDP og VTU-FONDEN var kriterierne for tilskud bl.a. at:

- projektet er innovativt
- understøtte et markedspotentiale
- understøtte eksport af vandteknologi
- projektet kan gøre væsentlig gavn indenfor vandsektoren generelt
- projektet bygger bro mellem forsyninger, virksomheder og offentlige forskningsinstitutioner
- projektet reducerer miljøbelastning
- projektet øger spildevandskvaliteten
- sikrer effektiv rensning af spildevand gennem energibesparelser
- optimere styring og processer, der kan reducere energiforbruget til rensning
- effektivisere f.eks. ved optimering på beluftning og pumper
- udnytte energipotentialet i spildevand
- kombinere spildevand og andre affaldstyper (gylle og grønt affald) til at øge energipotentialet
- fremme teknologier til øget biogasproduktion
- øge energiflowet fra renseanlæg til energisektoren

Det er lykkedes for projektet Billund BioRefinery at demonstrere ovennævnte kriterier med stor succes til gavn for miljøet, eksporten og spildevandsbranchen generelt.

Projektet har ligeledes haft til formål at demonstrere synergien ved samling af en række fyrtårnsteknologier i samspil med anvendelse af kendte teknologier på en ny og innovativ måde. Eksempelvis anvendelse af finfiltre til videregående vandrensning, anvendelse af anammox-teknologi til kvælstoffjernelse samt anvendelse af termisk hydrolyse til forøget energiproduktion og slamreduktion. Det hele bindes sammen af en samlende intelligent online styring. Dette er ligeledes lykkedes med Billund BioRefinery.

Hovedfokus har fortløbende været på en bedre og mere miljø- og energiøkonomisk spildevandsrensning samt øge nyttiggørelsen af værdier og ressourcer i spildevand og affald. Fyrtårnsprojektet har demonstreret cirkulær økonomi i praksis. Ressourcestrømmene for Billund BioRefinery er vist på nedenstående principskitse.



FIGUR 1. Principskitse for ressourcestrømmene for Billund BioRefinery.

Foruden de konkrete anlægstillæg er der gennemført 5 vidensprojekter, som har haft til formål at undersøge anvendelse af nye teknologier til yderligere optimering af Billund BioRefinery.

3.2 Konklusion på fyrtårnsprojektet

Anlægget var klar til drift i efteråret 2016, og blev efterfølgende overtaget af Billund Vand A/S og anlægget har været i drift siden da med fokus på en samlet indkøring og optimering.

Overordnet har projektet været en stor succes bl.a. fordi det er lykket at etablere det første Exelys-fuldskalaanlæg på dansk jord, en ny teknologi, som har stor betydning for fremtidens renselanlæg. Anlægget har samlet set i perioden siden opstarten bekræftet forventningerne til et øget energipotential.

Projektet peger fremad mod en ny måde at tænke på. Affald bliver til en vigtig ressource, som har værdi. Et koncept, der har skabt opmærksomhed også internationalt, og som rummer et stort eksportpotentiale både for Krüger A/S som leverandør af teknologien, men også for Billund Vand A/S som bruger af teknologien.

I hovedtræk er følgende opnået og flere tekniske detaljer for resultaterne kan ses i de efterfølgende kapitler, hvor hvert enkelt delprojekt er beskrevet mht. omfang og resultater:

- Et anlæg med store perspektiver for dansk miljøeksport og et udstillingsvindue for førende danske kompetencer indenfor spildevandsbehandling og miljøteknologi med besøg af foreløbig 787 internationale fagfolk og politikere og 1.585 danske gæster (pr. maj 2017).
- Besøgene fra mere end 25 lande.
- Anerkendelse i Danmark og udlandet ved modtagelse af en lang række priser som f.eks. Svend Aukens miljøpris, EU Miljøprisen og Global Water Awards.
- Energiproduktionen er steget med 60 procent fra ca. 8,6 mio. kWh/år (i 2015) til ca. 14 mio. kWh/år (i 2017) og er stadig stigende på trods af, at anlægget endnu ikke udnytter den fulde kapacitet for industriaffald. Billund BioRefinery er dermed nettoeksportør af CO₂-neutral energi til el- og fjernvarmenettet.
- Den unikke danske teknologi, Exelys, med termisk hydrolyse er hovedbidragsyder til

den store vækst i energiproduktionen og reducerer samtidigt slammængden.

- Kapaciteten til rensning af kvælstof er planlagt øget med 35.000 PE ved hjælp af teknologien ANITA™ Mox, hvilket vil give Billund BioRefinery en stor ekstra kapacitet til fremtidige tilslutninger. Anlægget er under indkøring så resultaterne er ikke dokumenteret endnu.
- Udledningen af næringsstoffer fra anlægget er allerede nu reduceret med knap 60 pct. Når alle teknologier er fuldt indfaset, svarer dette f.eks. til en sparet årlig udledning af 12 ton ren kvælstof.
- Minimering af udledning af klimagasser via øget produktion af CO₂-neutral energi og reduceret forbrug af energi og fældningskemikalier.

4. Erfaringer og perspektiver

4.1 Erfaringer med samarbejdet

Opgaven er løst i samarbejde mellem Billund Vand A/S og Krüger A/S og i forbindelse med projektet har der været tilknyttet en følgegruppe med repræsentanter fra Naturstyrelsen, Miljøstyrelsen og Vandsektorens Teknologiuudviklingsfond (VTU-FONDEN).

Projektet har helt fra starten været planlagt i detaljer i samarbejde mellem Billund Vand A/S og Krüger A/S. Der blev blandt andet udarbejdet en samarbejdsaftale, hvor alle relevante emner blev beskrevet og herunder også, hvordan eventuelle konflikter skulle håndteres.

Herudover er der udarbejdet kommunikationsplaner, der beskriver, hvordan der kommunikeres på alle niveauer og der blev i den sammenhæng udarbejdet et katalog over projektmedarbejderne med billeder og kontaktdetaljer. Dette har medvirket til et godt samarbejde gennem hele projektet og parterne har gennem fyrtårnsprojektet demonstreret et velfungerende innovativt offentlig-privat samarbejde.

Af hensyn til en effektiv projektstyring har fyrtårnsprojektet været opdelt i en række delprojekter. Ved opstarten af hvert delprojekt blev der afholdt en eller flere workshops, både for, at projektmedarbejderne skulle lære hinanden bedre at kende, men også for i samarbejde at udvikle løsninger til fyrtårnsprojektet Billund BioRefinery.

Herefter blev der for hvert delprojekt indledningsvis udarbejdet et forprojekt, hvor forskellige løsningsmuligheder blev belyst og i samarbejde mellem Billund Vand A/S og Krüger A/S blev de rigtige løsninger udviklet og udvalgt.

Efter hvert forprojekt var godkendt blev der udarbejdet det nødvendige projektmateriale for udbudsmaterialer og disse blev færdigudviklet i samarbejde mellem Billund Vand A/S og Krüger A/S. Her er det også vigtigt med et tæt samarbejde mellem bygherre og rådgiver, så begge parter er enige om udbudsmaterialets indhold, så der, så vidt muligt, ikke skal ændres løsning midt i forløbet.

Udbudsmaterialer blev udsendt til indbudte entreprenører og efter licitationerne blev der tegnet kontrakter med en lang række firmaer.

Billund Vand A/S' medarbejdere varetog det daglige tilsyn på pladsen og stod for afholdelse af byggemøder og sikkerhedsmøder samt varetog det daglige sikkerhedsarbejde. I udførelsesfasen blev der herudover koblet faste tilsynsførende på fra Krüger A/S som dækkede bygnings-, maskin- og el-arbejderne. Disse medarbejdere deltog i nødvendigt omfang i byggemøderne, hvilket bidrog til den samlede koordinering mellem alle delprojekterne, der var under udførelse på Billund BioRefinery.

Projektet har demonstreret, at det er muligt at gennemføre meget store anlægsprojekter med mange teknologier samtidig med, at anlægget skulle være i drift, både hvad angår spildevandsrensning, gasudnyttelse og styring. Dette aspekt er yderst vigtigt af hensyn til forsynings-sikkerheden og naturligvis også for driftsøkonomien. Der har ligeledes været innovative samarbejder på tværs af brancher, herunder eksempelvis med maskinstationer og landmænd for bedre spredning af gødningsproduktet fra renseanlægget.

Erfaringen er, at det alt i alt har været en god proces med det tætte samarbejde lige fra opstarten med projektforslaget til aflevering og indkøring af de samlede arbejder.

Helt overordnet er det yderst vigtigt, at der skabes et partnerskab gennem en meget klar og omfattende aftale i udviklingsprojekter som Billund BioRefinery og det vurderes, at det er en forudsætning for at få projekter som disse til at lykkes.

Ligeledes er en stærk styring af økonomi og teknologiudvikling afgørende for at etablere et anlæg, der ender med at blive som det var ønsket fra start.

Det kan derfor klart anbefales, at der i andre tilsvarende store projekter anvendes ovenstående arbejdsmetoder helt eller delvist.

4.2 Erfaringer fra projektet

Billund Vand A/S har opnået ny viden om en lang række processer og fået tilført en lang række fordele som i hovedtræk er nævnt nedenfor.

- Mere viden om intelligent styring for bedre spildevandsrensning.
- Bedre spildevandsrensning, som medfører mindre statsafgift.
- Bedre slam, der medfører en højere slamkvalitet til udrådning.
- Mere viden om kvælstoffers natur efter termisk hydrolyse.
- Større energiproduktion af grøn energi.
- Energiproduktion, der stiger mere end energiforbrug.
- Let afsætteligt gødningsprodukt, der er egnet til produktudvikling.
- Reduktion i slammængden (ift. anlæggets belastning).
- Øget ressourcegenanvendelse.
- Genanvendelse af rensset spildevand til teknisk vand (kan udvikles til drikkevand).

Herudover har Billund BioRefinery-projektet minimeret udledningen af klimagasser via følgende tiltag:

- Øget produktion af CO₂-neutral energi som følge af øget rådnetankkapacitet, 2-trins udrådning i DLD-konfiguration og den termiske hydrolyse Exelys.
- Reduceret forbrug af energi og fældningskemikalier som følge af ny bundbeluftning i procestankene, Anammox-baseret rejektivandsbehandling og STAR onlinestyling.
- Fokus på mindst mulig udledning af klimagasserne metan og lattergas som følge af, at gasvaskeren forhindrer tilstopning af gassystemet, hermetisk tæt kondensatbygværk og valg af den mindst lattergasproducerende Anammox-teknologi.

4.3 Formidling

Siden Fyrtårnsprojektet omkring fremtidens renseanlæg blev offentligt kendt har der været meget stor interesse omkring det. Der har været et stort antal besøgene fra Danmark samt fra mere end 25 lande til Billund BioRefinery, og der har været stor opmærksomhed omkring særligt Exelysanlægget.

Både Billund Vand A/S og Krüger A/S har været aktive omkring formidlingen, og den har været rettet både mod det danske og internationale faglige miljø og mod den generelle offentlighed.

4.4 Perspektiver

Krüger A/S har siden projektets start aktivt arbejdet på at sælge teknologierne til både danske og internationale kunder.

Der har været en ganske stor interesse omkring teknologierne, og der er pt. en række projekter under udvikling både i Europa, USA og Asien. Konkret er der solgt et Exelys-anlæg til Syd-

korea, baseret på samme design, som findes på Billund BioRefinery. I den forbindelse har det været afgørende at kunne henvise til anlægget i Billund som et referenceanlæg.

Da Billund Vand A/S er nogle af de første til at opnå et detaljeret kendskab til, hvordan man bedst muligt driver et Exelys anlæg, er der også et potentiale for Billund Vand A/S i at sælge procesviden og støtte til andre anlæg rundt om i verden, som står overfor at benytte kontinuert termisk hydrolyse, særligt med udgangspunkt i Exelys-teknologien.

Den viden og erfaring, der er samlet gennem projektet vurderes at gavne spildevandsforsyninger med mekanisk- og biologisk rensning af spildevand og udrådning af slam samt rådgivere og leverandører med en bred vifte af spildevands- og biomasseteknologier. Dette gælder både for Danmark og for resten af verden, hvor der er behov for tilsvarende projekter.

4.5 Den fortsatte videreudvikling

Fyrtårnsprojektet Billund BioRefinery har været en succes med implementering af mange nye teknologier samt kendte teknologier anvendt på nye måder. Derfor vil der være enkelte ting, der skal arbejdes videre med, både som optimering, men også som mindre tilpasninger. Nedenstående er nævnt en række emner, der fortsat arbejdes på hos Billund Vand A/S i samarbejde med Krüger A/S og andre aktører.

- Produktudvikling af organisk gødning til havebrug i by og på land (stort potentiale).
- Mere viden om Anammox-processen, herunder kritiske parametre for processen.
- Mere viden om den detaljerede indretning og anvendelse af anammox-processen.
- Videreudvikling af Exelys på varmevekslingssiden (optimering for slam med højt tørstof).
- Optimering af drift-temperatur på rådnetanken til optimering af OPEX/CAPEX forholdet.
- Optimering af polymerforbrug ved afvanding af slam ved Exelys-processen.

4.6 Involverede firmaer

Der har været involveret mere end 20 danske firmaer i udførelsen af Billund BioRefinery i form af entreprenører, installatører, leverandører, smedevirksomheder, rådgivere og konsulenter.

Alle nedenstående firmaer har deltaget aktivt og professionelt i samarbejdet.

Hovedbidragsyderne er følgende firmaer.

Bygge- og anlægsarbejder: Erik Møberg A/S
Poul Hansen A/S

Smede- og maskinarbejder: Aquagain A/S
Holsted Smede- og Maskinværksted A/S
Børkop Industri Service A/S
Stefco ApS

El-arbejder: Intego A/S
BR EL A/S
Kristian Møller Pedersen A/S

Programmering: Frontmatec A/S
Holtec Automatic A/S

Leverancer: Krüger A/S
AnoxKaldnes AB
Assentoft Silo A/S

Jenbacher A/S
LSH-BIOTECH ApS
Veje Engineering ApS

Rådgivning:

Krüger A/S
DHI
Aarhus Universitet
Syddansk Universitet
SEGES
Agerbæk Maskinstation

5. Projektresultater

Fyrtårnsprojektet Billund BioRefinery er opdelt i følgende delprojekter, som er nærmere beskrevet med hensyn til indhold og resultater i nærværende kapitel.

De 7 tekniske delprojekter er:

- BBR01 Online styring
- BBR02 Bundbeluftning
- BBR03 Biotilgængelig fosforfældning
- BBR04 Rejektvandsrensning
- BBR05 Videregående vandrensning
- BBR06 Termisk hydrolyse
- BBR07 Udvidelse af rådnetanksanlæg

De 5 vidensprojekter er:

- BBR08-01 Sikring af slamkvalitet
- BBR08-02 Rådnetankens mikrobiologi
- BBR08-03 Udnyttelse af organisk gødning
- BBR08-04 Anammox på hovedstrøm
- BBR08-05 Håndtering og udrådning af dybstrøelse

5.1 Tekniske delprojekter

BBR01 Online styring

Formålet med delprojektet "Online styring" er at optimere driften af Billund BioRefinery, ved anvendelse af Krüger A/S' avancerede styringssystem "STAR Utility Solutions". Herved kan opnås en forbedret afløbskvalitet, lavere spildevandsafgifter, reduktion af energiforbrug, reducerede slammængder og reduceret dosering af fældningskemikalier. Yderligere vil det skabe større driftssikkerhed, et bedre procesoverblik og give en platform, som er fremtidssikret for senere udvidelser og forbedringer.

Ved implementeringen af STAR Utility Solutions opnås:

- Driftsbesparelser
- Hydraulisk kapacitet

Implementering af de valgte styringsmoduler har allerede nu givet følgende dokumenterede besparelser og forbedringer:

- Reduceret spildevandsafgift for kvælstof på ca. 160.000 kr./år.
- Reduceret spildevandsafgift for fosfor på ca. 50.000 kr./år.
- Reduceret forbrug af fældningskemikalie på ca. 275.000 kr./år.

De samlede årlige besparelser er dermed allerede nu på ca. 485.000 kr./år.

Herudover er den hydrauliske kapacitet øget fra ca. 14.000 m³/døgn til ca. 20.000 m³/døgn, dvs. med over 40%.

Der er i alt investeret ca. 2,9 mio. kr. i onlinestyningen.

Da anlægget er under endelig indkøring har følgende besparelser ikke kunnet opgøres endnu:

- Reduceret elforbrug til beluftning*
- Reduceret energiforbrug til omrøring.

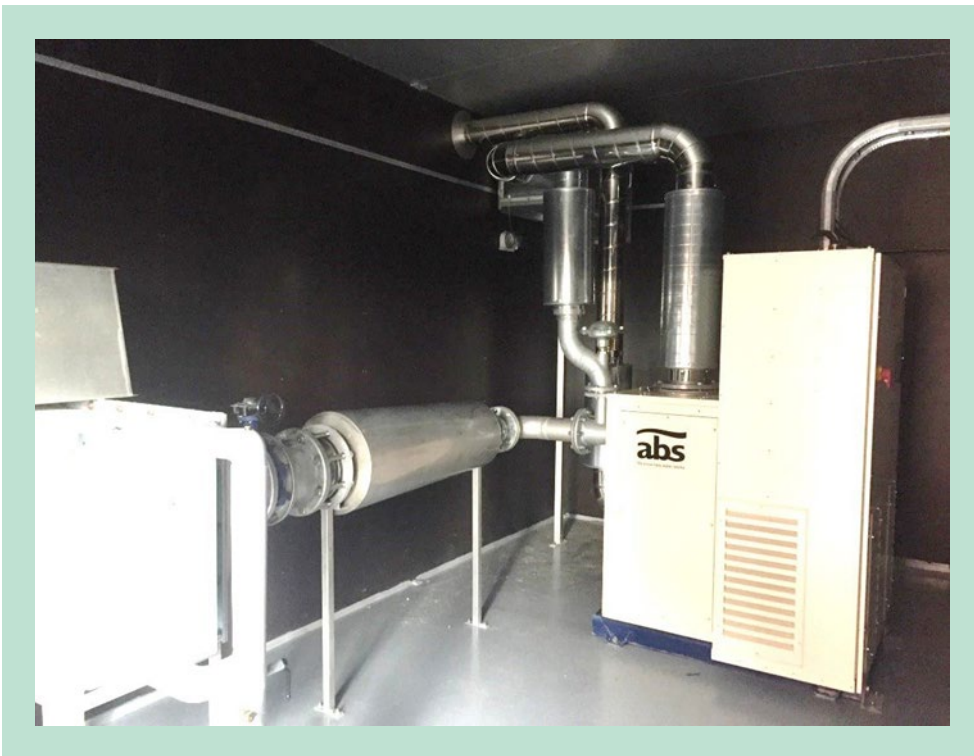
- Reduceret udgift til slamdisponering.
- Reduceret udgift til returslampumpning.

* Dette er ud over det reducerede elforbrug beskrevet i næste afsnit BBR02 Bundbeluftning.

BBR02 Bundbeluftning

Formålet med delprojektet "Bundbeluftning" er at implementere energibesparelser for beluftningen af spildevandet. Dette gøres ved at udskifte den tidligere form for beluftning (overfladebeluftning) til en moderne og mere energirigtig beluftning i form af injicering af ilt via diffusorer placeret i bunden af beluftningstankene.

Nedenstående FIGUR 2 viser kompressoren (blæseren), der leverer komprimeret luft til bunden af luftningstankene, hvor diffusorerne er installeret.



FIGUR 2. Billede af kompressoren (blæseren).

De installerede diffusorer er vist på nedenstående FIGUR 3, der viser en næsten tom luftnings-tank, hvor diffusorerne testes med lav vandstand og luftindblæsning.



FIGUR 3. Billede af de installerede diffusorer.

Der er ved implementering af projektet opnået en samlet årlig besparelse på ca. 530.000 kr./år (670 MWh/år), idet energiforbruget er sænket fra ca. 1.074 MWh/år til nu ca. 404 MWh/år. Der er investeret ca. 3,9 mio. kr. i det nye bundbeluftningssystem. Tilbagebetalingstiden vil dermed, med den nuværende spildevandsbelastning på ca. 30.000 PE, være ca. 7 år.

BBR03 Biotilgængelig fosforfældning

Udnyttelse af ressourcerne fra spildevand og organisk affald er omdrejningspunktet i Billund BioRefinery. Et af fokusområderne er udnyttelse af fosfor som er en begrænset ressource. Indsatserne i fyrtårnsprojektet er bl.a. en forbedret biologisk indbygning af fosfor i den organiske gødning for optimal udnyttelse af fosforressourcen på landbrugsjorden, men også en undersøgelse af mulighederne for at erstatte den kemiske støttefældning med jern med en magnesiumbaseret støttefældning. Dette resulterer i en produktion af struvit på renseanlægget, der vil kunne anvendes som et gødningsprodukt med en bedre fosfortilgængelighed, end ved anvendelse af jernfældet fosfor.

Teknologier til fosforgenvinding ved struvitudfældning har udviklet sig hastigt og er blevet markedsmodnet i perioden fra ansøgningen af fyrtårnsprojektet og til udførelsesperioden af anlægget. Der er således, som en del af Fyrtårnsprojektet, udarbejdet en rapport for belysning af muligheden for at etablere genvinding af fosfor ved struvitudfældning som en del af Billund BioRefinery.

Den potentielle struvitproduktion er afhængig af tilledningen af fosfor til anlægget, der på Billund BioRefinery kommer via flere kilder som følger:

- Råspildevandet
- Det tilladte husholdningsaffald
- Det tilladte industriaffald.

Den forventede struvitproduktion estimeres til:

PLAN 2016: (40-60 t struvit/år)

PLAN 2020: (70-95 t struvit/år)

For nuværende er der ikke implementeret et fosforgenvindingsanlæg på Billund BioRefinery, idet investeringen ikke er rentabel med de nuværende fosforpriser.

BBR04 Rejktvandsrensning

Formålet med delprojektet "Udvidet rejktvandsrensning" er, at udvide kapaciteten af ANITA™ Mox rejktvandsreanseanlægget, for at kunne behandle den øgede mængde rejktvand fra det udvidede rådnetanksanlæg. Ved at behandle rejktvandet i en separat renseproces, kan kvælstofbelastningen på selve reanseanlægget reduceres, svarende til ca. 35.000 PE. Dette gøres ved at etablere en ny 500 m³ ANITA™ Mox-reaktor, da der med denne volumenkapacitet er mulighed for at kunne udvide kapaciteten ved tilførsel af den ekstra belastning fra Exelys.

Ved implementeringen af en 500 m³ ANITA™ Mox-reaktor forventes det, at følgende opnås:

- Forbedret kvælstoffjernelse og større omsætningsrate
- Større hydraulisk kapacitet
- Større fleksibilitet

Den samlede investering til rejktvandsrensningen er ca. 4,6 mio. kr.

Konklusionen på delprojektet "BBR-PROJ-04-01 Rejktvandsrensning", er at ovenstående resultater endnu ikke er opnået, idet anlægget fortsat er under indkøring. Den endelige konklusion afventer derfor den afsluttende indkøring.

Den nye ANITA™ Mox-reaktor er vist nedenstående.



FIGUR 4. Ny ANITA™ Mox-reaktor.

BBR05 Videregående vandrensning

Formålet med delprojektet "Videregående Vandrensning" var at implementere en efterpolering af det rensede spildevand fra reanseanlægget for at reducere udledningen af fosfor til vandmiljøet. Dette gøres ved at implementere et automatisk mekanisk skivefilter placeret efter efterklaringstankene, og skivefilteret erstatter dermed de tidligere laguner. Hermed spares miljøet for en stor mængde af de forurenende stoffer, som det traditionelle reanseanlæg ikke fjerner. Tillige spares der på afgifterne, idet den samlede udledning, hvoraf der betales afgift, reduceres kraftigt. Det tilbageholdte suspenderede stof fra filteret sendes tilbage til reanseanlægget, hvormed der produceres ekstra gas til el-produktionen.

Ved implementeringen af det mekaniske filter er der opnået:

- Minimering af belastningen på miljøet
- Besparelser på afgifter for udledning
- Forøget energiproduktion ved udrådning
- Reduktion i udledning af mikroplast

Ovenstående er endnu ikke dokumenteret, idet der afventes en rapport fra Aalborg Universitet. Den økonomiske gevinst ved implementeringen af det mekaniske filter kan derfor først gøres op, når rapporten fra Aalborg Universitet foreligger.

Den samlede investering til delprojektet Videregående Vandrensning er ca. 3,3 mio. kr.

Filter for efterpolering af spildevandet er vist på nedenstående FIGUR 5.



FIGUR 5. Foto af filter for efterpolering af spildevandet.

BBR06 Termisk hydrolyse

Udbygningen til fremtidens renselanlæg, Billund BioRefinery, er baseret på, at der fremover skal behandles meget større mængder af såvel husholdningsaffald som industriaffald på anlægget. Herudover er Billund Renselanlæg nedlagt og spildevandet og dermed slammet herfra ledes nu til Billund BioRefinery.

For at imødekomme dette behov udbygges anlægget med et Exelys-anlæg til kontinuerligt termisk hydrolyse.

Exelys-processen anvendes i dette projekt i en DLD konfiguration, der er betegnelsen for "Digestion – Lysis – Digestion", dvs. udrådning efterfulgt af hydrolyse efterfulgt af endnu en udrådning.

Slam og husholdningsaffald behandles i en ny termofil rådnetank, inden det afvandes og behandles med termisk hydrolyse i Exelys-anlægget. Den termiske hydrolyse foregår typisk ved en temperatur på 140-165°C samt et tryk på 5-7 bar.

Anlægget kræver ikke flere sikkerhedsforanstaltninger end et almindeligt dampanlæg og opfylder kravene i direktivet for trykbærende udstyr og er godkendt af bemyndiget organ.

Med slambehandlingen ved termisk hydrolyse opnås følgende fordele:

- Hygiejnisering af behandlet biomasse
- Reduceret viskositet, så udrådning kan ske ved højere tørstofkoncentration
- Bedre omsætning af biomasse i en efterfølgende udrådning (mere biogas)
- Forbedrede afvandingsegenskaber efter udrådning

Den samlede investering for anlægget til termisk hydrolyse er ca. 22 mio. kr.

Anlægget for termisk hydrolyse (Exelys) udgør en integreret del af det samlede rådnetsanlæg på Billund BioRefinery og derfor vil resultaterne for Exelys-anlægget naturligt skulle ses i sammenhæng med driftsøkonomien for delprojekt BBR07 Udvidelse af rådnetsanlæg.

Exelys-anlægget har i perioden siden opstarten bekræftet forventningerne til et øget energipotential for det behandlede slam. EI-produktionen er ca. fordoblet fra 2015 til 2017 bl.a. som følge af implementeringen af Exelys.

Dog har der været udfordringer i forhold til at bestemme den optimale polymer, som giver både et tilstrækkelig højt tørstofindhold efter afvandingen og samtidig et rejskvand uden suspenderet stof. Dette arbejde pågår og er endnu ikke afsluttet. Ligeledes har der været udfordringer med tilstopning af slam/slam-varmevekslerne, hvilket der også arbejdes på en løsning af.

Overordnet har projektet været en meget stor succes, idet det er lykket at etablere det første Exelys-fuldskalaanlæg på dansk jord, en ny teknologi som vil være afgørende for fremtidens renseanlæg.

Exelys-reaktoren og den tilhørende bygning ses nedenstående.



FIGUR 6. Exelys-reaktoren og den tilhørende bygning.

BBR07 Udvidelse af rådnetanksanlæg

Det overordnede formål med projektet "Udvidelse af Rådnetanksanlæg" er at øge biogasproduktionen på anlægget. Den producerede biogas omsættes til hhv. elektricitet og varme ved forbrænding i biogasmotorer, der driver strømproducerende generatorer. Varmen fra motorerne anvendes på anlægget, til opvarmning af bl.a. rådnetanke. Overskudsvarmen sælges til fjernvarmenettet. Den producerede elektricitet sælges til el-nettet. På den måde opnås målsætningen om det energiproducerende renseanlæg.

Udvidelse af rådnetanksanlægget indeholder følgende delelementer:

- Modtageanlæg for industriaffald
- Rådnetank 2
- Hygiejniseringsanlæg
- Gasanlæg
- Gasmotor

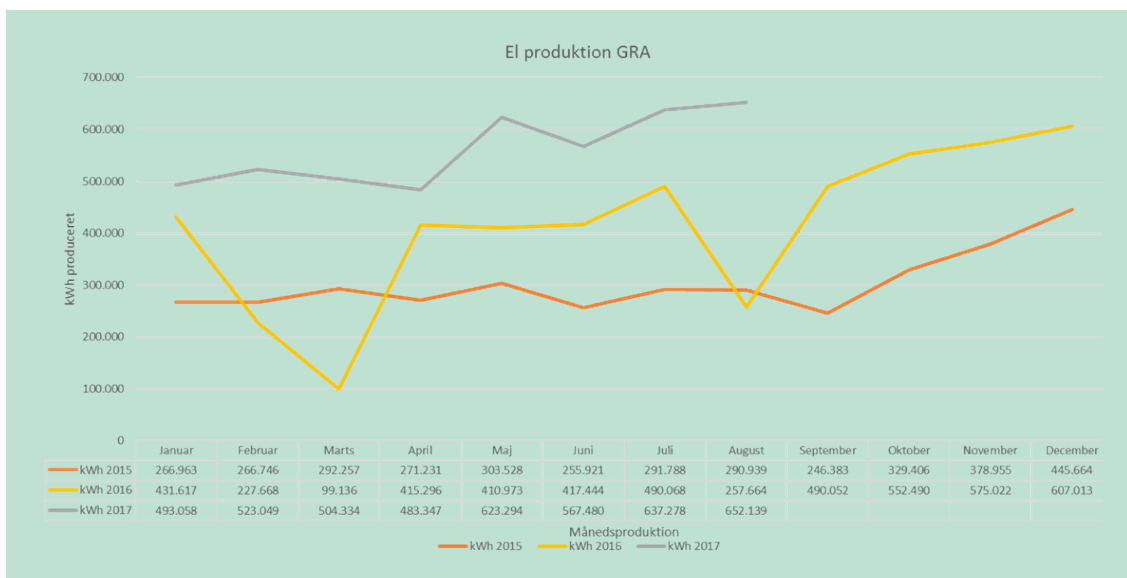
Den samlede investering til rådnetanksprojektet har været ca. 21 mio. kr.

Produktion af biogas på Billund BioRefinery er, som følge af projektet, steget fra ca. 200 Nm³/h til i gennemsnit over 400 Nm³/h. Stigningen i produktion af biogas og dermed også el- og varmeproduktionen skyldes hovedsageligt:

- Udvidelse af modtageanlæg for industrislam
- Etablering af Exelys – termisk hydrolyse af udrådnet slam fra termofil rådnetank
- Etablering af ny rådnetank til yderligere udrådning efter termisk hydrolyse

Indtægterne ved salg af elektrisk energi og varme er steget fra ca. 4,8 mio. kr./år (i 2015) til ca. 9,4 mio. kr./år (i 2017, baseret på månederne april til oktober) ved den nuværende belastning til Billund BioRefinery og ved fuld belastning vil der opnås et salg på op mod ca. 13 mio. kr./år.

Stigningen i el-produktionen er beskrevet efterfølgende. Som det ses af nedenstående grafer har el-produktionen på Billund BioRefinery været støt stigende siden 2015. Det ses, at ved udgangen af 2015, begyndte stigningen i el-produktionen og i starten af 2016 var der et dyk som følge af indkøringer. Herefter stiger el-produktionen igen en smule til indkøringen af Exelys i sommeren 2016, hvor der som følge af indkøringen igen er et lille dyk. Fra efteråret 2016, hvor Exelys og den nye rådnetank har været i stabil drift, har el-produktionen været støt stigende og den tendens fortsætter kraftigt, som det ses, ind i 2017. Samlet set er el-produktionen ca. fordoblet fra 2015 til 2017.



FIGUR 7. El-produktion GRA.

Nedenstående ses den nye rådnetank med den nye maskinbygning i forgrunden.



FIGUR 8. Den nye rådnetank med den nye maskinbygning i forgrunden.

5.2 Vidensprojekter

Vidensprojekterne er i hovedtræk beskrevet nedenstående.

BBR08-01 Sikring af slamkvalitet

En vigtig forudsætning for at kunne opnå den ressourceeffektivitet, som dette fyrtårnsprojekt stiler imod, er uomtvisteligt, at kvaliteten af de forskellige substrater, der anvendes til biogasproduktionen, er høj og at der ikke tilføres tungmetaller og miljøfremmede stoffer, der kan forurene det organiske gødningsprodukt.

Billund Vand A/S går allerede i dag forrest i dette arbejde med at sikre slamkvaliteten og fyrtårnsprojektet indeholder derfor nærværende vidensprojekt, der har til hensigt at formidle vigtigheden af dette arbejde, men også at præsentere de gode erfaringer opnået gennem adskillige års praksis. Billund Vand A/S deler allerede i dag de opnåede erfaringer via deltagelse i EU programmet TAIX: "the Technical Assistance and Information EXchange".

Der er i projektet endnu ikke udgivet officielt materiale om emnet, men Billund Vand A/S planlægger at udarbejde informationsmateriale om emnet til udgivelse i 2018.

BBR08-02 Rådnetankens mikrobiologi

Formålet er at opnå øget forståelse for sammenhængen mellem de ydre faktorer som: temperatur, belastning, opholdstid, forbehandling samt omrøring og den resulterende mikrobiologi i rådnetanken. Sammenkoblet med driftsdata, der beskriver udrådningseffektiviteten, er det målet at kunne udpege potentielle styringsstrategier, der sikrer optimalt udbytte og maksimal stabilitet for processen.

Der er gennem hele projektet opsamlet driftsdata for rådnetankene og indsamlet slamprøver ugentligt siden juli 2015 til mikrobiologiske analyser. Analyserne for mikrobiologien vil blive foretaget i 2018, hvor driftsdata og mikrobiologi vil blive sammenholdt. Dette vil blive afrapporteret i samarbejde med Aalborg Universitet.

BBR08-03 Udnyttelse af organisk gødning

Billund Vand A/S har ønsket at undersøge udnyttelse af gødningsværdien i organiske gødningsprodukter når den organiske gødning tilføres landbrugsjorden i form af slam. Teorien har været, at spredkvaliteten ikke har været optimal.

Billund Vand A/S og tidligere Trøllund Maskinstation (nuværende Agerbæk Maskinstation) har derfor sammen udviklet en slamspreder, der spreder spildevandsslammet kontrolleret med hensyn til: mængde, bredde og klumpstørrelse. Spredningsteknologien er baseret på empiriske forsøg i et meget fint samarbejde med maskinstationen, sprederfabrikanten og slamaftagere baseret på erfaring og teoretiske overvejelser. Det formodes, at have stor betydning for udnyttelse i næringsstofferne i slammet. Der mangler dog videnskabelig dokumentation herfor.

Formålet med dette delprojekt er:

- at belyse, hvorvidt udspreddingen har betydning for udnyttelsen af den organiske gødning, samt belyse biotilgængeligheden af fosfor i slutproduktet. Dette arbejde udføres på baggrund af litteraturstudier. Projektet udføres af Syddansk Universitet i samarbejde SEGES.
- Hvis muligt dokumenteres udspreddingen med samme maskinudstyr, som nu er overført til Agerbæk Maskinstation.

Nærværende vidensprojekt er ikke afsluttet ved udgivelsen af nærværende rapport.

BBR08-04 Anammox på hovedstrøm

Der er udviklet et forslag til, hvordan en hovedstrøms Anammox-proces kunne implementeres på Billund BioRefinery. Systemet inkluderer et forbehandlingstrin i form af et biosorptionsanlæg, der er et ekstremt højt belastet aktivt slamanlæg, der drives med lavt slam- og iltindhold i tanken. Spildevandet renses efterfølgende i en ANITA™ Mox IFAS proces.

Ved at implementere Anammox i hovedstrømmen kan der teoretisk set opnås betydelige driftsforbedringer som følge af mulighederne for øget gasproduktion og reduceret energiforbrug til beluftning. Kombinationen af de meget lave temperaturer og strenge udledningskrav i Danmark medfører dog betydelige udfordringer, og der er endnu ikke rapporteret om succesfuld implementering af hovedstrøms-anammox i Danmark.

BBR08-05 Håndtering og udrådning af dybstrøelse

Der produceres i landbruget store mængder dybstrøelse i Billund-området, der ikke udnyttes til biogasproduktion, da det er svært at iblande et traditionelt biogasanlæg.

I projektet er følgende undersøgt:

- Kan dybstrøelse neddeles på en måde, så det kan suspenderes i slam og dermed opblandes homogent i en rådnetank?
- Er det muligt at udnytte energiindholdet i dybstrøelse med den forbehandling, der kan etableres på Billund BioRefinery, dvs. udrådning + termisk hydrolyse?

Den undersøgte neddelingsmetode viste en fin neddeling af halm, dog mere som splintring end som hakkelse. Våd-neddelingen var mere effektiv end tør-neddelingen. Den neddelte halm havde en relativ god evne til opblanding og synkning i slammet.

Gasproduktionen ved samudrådning af slam og halm forbehandlet ved termisk hydrolyse var generelt højere for udrådnet slam tilsat neddelt halm end udrådnet slam alene (ca. 20%). Om samudrådningen af halm er økonomisk rentabelt afhænger af størrelsen af de øgede driftsomkostninger ved neddeling og håndtering af halm, samt gasproduktionen af hvert enkelt halm-læs, da dette er varierende.

6. Økonomi

Projektets samlede investering er 72 millioner kroner, hvoraf 15 millioner kroner er støttet gennem Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet samt Vandsektorens Teknologiuudviklingsfond (VTU-Fonden).

Energiproduktionen er steget med 60 procent fra ca. 8,6 mio. kWh/år (2015) til ca. 14 mio. kWh/år (2017) og er stadig stigende på trods af, at anlægget endnu ikke udnytter den fulde kapacitet for industriaffald. Billund BioRefinery er dermed nettoeksportør af CO₂-neutral energi til el- og fjernvarmenettet. Indtægterne ved salg af elektrisk energi og varme er dermed steget fra ca. 4,8 mio. kr./år (2015) til ca. 9,4 mio. kr./år (2017 baseret på månederne april til oktober) ved den nuværende belastning til Billund BioRefinery og ved fuld belastning vil der opnås et salg på op mod ca. 13 mio. kr./år.

Samtidig er der opnået energibesparelser via eksempelvis bundbeluftningsprojektet (ca. 530.000 kr./år) og som følge af STAR styringen (ca. 485.000 kr./år).

Der er ligeledes opnået besparelser via reduktion af udledning af næringsstoffer, hvilket dog ikke er endeligt opgjort endnu.

Billund BioRefinery

Formålet med dette projekt er at etablere Billund BioRefinery for at sikre rensede spildevand af høj kvalitet til recipienten, sikkerhed i vandrensningen med et lavt energi- og ressourceforbrug samt udnyttelse af spildevandets værdifulde energi- og næringsstofindhold.

Billund BioRefinery kombinerer miljøteknologier indenfor vandrensning og biogas i ét fuldskala demonstrationsprojekt



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk