



**Miljø- og
Fødevareministeriet**
Styrelsen for Vand- og
Naturforvaltning

Energipotentiale og CO₂-skyggepriser for energibesparende og energiproducerende teknologier i spildevandsrensning

November 2016

Redaktion: Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning

Tekst: NIRAS

ISBN: 978-87-7175-605-0

Indhold

1.	Sammenfatning	6
2.	Introduktion	9
2.1	FORMÅL	9
2.2	BAGGRUND	9
3.	Metode, data og proces	10
3.1	ROJEKTETS AFGRÆNSNING OG FORUDSÆTNINGER	11
4.	Resultater	12
4.1	ENERGIBESPARELSESPOTENTIALET	12
4.2	TEKNOLOGIERNES CO ₂ -REDUKTIONSPOTENTIALE	13
4.3	CO ₂ -SKYGGEPRISE	14
4.4	PERSEPTIVSERING AF RESULTATER	15
4.5	FORUDSÆTNINGER FOR BEREGNINGER	17
5.	Litteraturliste	18
Bilag 1. Interviewguides		19
Introduktion		19
Interviewguide til sektoranalyse		20
Interviewguide til indsamling af økonomiske data		22
Interviewguide til præsentation af fire cases		23
Bilag 2. Dokumentationsrapport		24
Generelt		24
Omregning mellem m ³ og PE		24
Drivhuseffekt fra energibesparelser og energiproduktion		25
Spildevanssektorens energiforbrug og -produktion		26
Metode til beregning af CO ₂ -skyggepriser		26
Metode ved selskabsøkonomiske beregninger		27
Sektoranalyse		28
Bundbeluftning		31
Skyggeprisberegning		32
Fosforanvendelse med Struvit		33
Skyggeprisberegning		34
Kvæstoffjernelse med Anamox		35
Beregning af øget lattergasudledning		36
Skyggeprisberegning		38
Termisk hydrolyse af slam		39
Skyggeprisberegning		40
Biogas fra forbehandlet affald		42
Skyggeprisberegning		42
Varmepumper		43
Skyggeprisberegning		44
Styring af lattergasemission		45

Skyggeprisberegning	45
Økonomiske forudsætninger	46
Litteratur	47

1. Sammenfatning

Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning SVANA (tidligere del af Naturstyrelsen) igangsatte i efteråret 2015 et projekt om beregning af energipotentialer og CO₂-skyggepriser for en række forskellige spildevandsrensningsteknologier. CO₂-skyggeprisen er omkostningen for at reducere et tons CO₂.

Flere og flere spildevandsanlæg i Danmark bliver energiproducerende. I dag er mange anlæg nettoenergi-forbrugende, men skal i fremtiden være nettoenergiproducerende. Dette fremgår af Vandvisionen, som branchen i Danmark har vedtaget (Vand Topmøde, 2015). Der er således behov for at se nærmere på hvordan og med brug af hvilke teknologier spildevandssektoren kan reducere energiforbruget og endda producere energi.

Samtidig er der behov for at undersøge om teknologierne også kan bidrage til at nå de danske CO₂-reduktionsmål.

Projektet omfatter følgende 7 teknologier:

- Bundbeluftning
- Fosforgenvinding med Struvit
- Kvælstoffjernelse med Anammox
- Termisk hydrolyse
- Biogas fra forbehandlet affald
- Varmepumper
- Styring af lattergasudledning

Energipotentialer

På baggrund af sektorens energiforbrug er der i har projektet beregnet de 7 teknologiers energibesparelsepotentiale og energiproduktionspotentiale for den eksisterende spildevandssektor.

Som det fremgår af nærværende analyse, findes der i dag teknologier, der kan gøre den danske spildevandssektor nettoenergiproducerende. Dette understøttes af cases fra konkrete anlæg, som er tæt på eller fuldt ud nettoenergiproducerende. Samtidig viser den udvikling, der er sket i sektoren en tydelig trend i samme retning, og nettoenergiforbruget er således faldet med over 20 % de seneste 5 år, og sektoren er gået fra i 2010 at producere 12 % af den energi, de forbruger, til at producere 27 % i 2014.

Der findes energibesparende tiltag, som samlet set vurderes at kunne bidrage med en besparelse på 130 GWh i spildevandssektoren (Tabel 1).

På produktionssiden findes teknologier, der fuldt ud kan gøre vandsektoren energiproducerende. Kvælstoffjernelse med Anammox, termisk hydrolyse og bioforgasning af slam på de store anlæg, der i dag ikke har rådnetank, er samlet set estimeret til et energiproducerende potentiale på ca. 400 GWh, svarende til spildevandssektorens samlede nettoenergiforbrug. Derudover kommer brug af varmpumper, som har et meget stort energiproducerende potentiale og alene vil kunne dække sektorens energiforbrug.

Tabel 1: Energibesparelses- og produktionspotentialer

	Netto-energiforbrug GWh	Energibesparelses-potentiale GWh	Energiproduktionspotentialer GWh
Spildevand	400	130	>800*
Drikkevand	150	(ikke udregnet)	(ikke udregnet)
Hele vandsektoren	550	>130**	>800

*Ved antagelse om udnyttelse af 25% af potentialet for varmepumper

**Det samlede besparelsespotentialer er underestimeret, da potentialet i drikkevandssektoren ikke er beregnet.

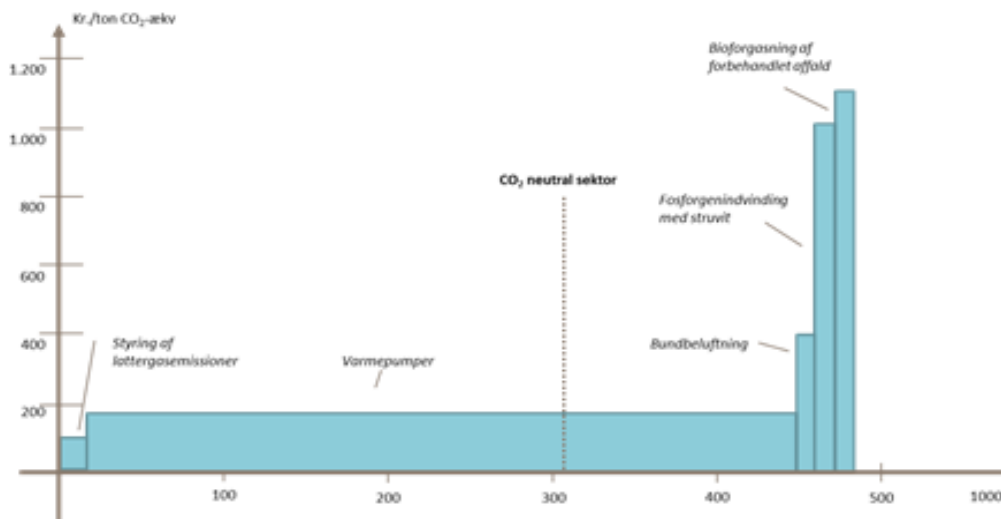
CO2-skyggepriser

Drivhusgasudledningen fra spildevandsrensning stammer primært fra to kilder, dels fra det energiforbrug som renseprocessen kræver, dels fra de drivhusgasser som frigøres under renseprocessen.

For hver af de udvalgte teknologier er der beregnet en CO2-skyggepris, som beskriver omkostningerne ved reduktion af ét ton CO2-udledning fra spildevandssektoren.

De økonomiske data for de enkelte teknologier er indsamlet via interviews med renselanlæg, som har indført eller har undersøgt muligheden for at indføre den pågældende teknologi. Grundet det spinkle datagrundlag og usikkerhed om hvilke omkostninger og gevinster der kan tilskrives den specifikke teknologi, skal tallene ses som indikationer og ikke resultater der kan overføres til branchen generelt. Endvidere har der ikke været datagrundlag til at inddrage alle eksternaliteter i beregningen og de kan derfor ikke sammenlignes med CO2 –skyggepriser fra Regeringens Virkemiddelkatalog. Figur 1 illustrerer teknologiernes CO2 reduktionspotentialer og CO2-skyggepriser, hvor x-aksen viser sektorens samlede potentialer til at reducere CO2, hvis teknologien indføres på alle anlæg. På y-aksen vises CO2-skyggeprisen forbundet med at reducere et ton CO2 ved den valgte teknologi.

Af Figur 1 viser, at det markant største potentialer for at reducere sektorens CO2-udledning blandt de undersøgte teknologier, er ved introduktion af varmepumper. CO2-skyggeprisen for varmepumper er fundet til at være knap 200 kr. pr. sparet ton CO2-ækv. Termisk hydrolyse er ikke medtaget i tabellen, da der er stor datausikkerhed på de økonomiske data. Kvælstoffjernelse med Anammox er ligeledes ikke inkluderet, da teknologien med de anvendte antagelser medfører en øget CO2-ækv. udledning og derfor ikke bidrager til en reduktion i sektorens drivhusgasudledning.



Figur 1: CO₂-skyggepriser og reduktionspotentiale forbundet med de forskellige tiltag

Det ses, at der er forskel på skyggepriserne for de forskellige teknologier, som spænder fra 100 kr./tons til over 1.000 kr./tons.

Læsevejledning

Rapporten er opbygget med fokus på projektets resultater som præsenteres i en hovedrapport og med en række bilag som understøtte resultatet samt be-regningsgrundlaget. Rapporten er opbygget med på følgende måde:

I kapitel 1 introduceres projektet ved at skitsere formål samt baggrund for projektet. Kapitel 2 beskriver den anvendte metode og datagrundlaget, samt skitserer de overordnede forudsætninger for løsningen af projektet.

I kapitel 3 gennemgås de opnåede resultater, med særlig fokus på energibesparelspotential og CO₂-besparelspotential samt CO₂-skyggepriserne.

Rapporten indeholder yderligere en række bilag, herunder de anvendte inter-view guides til indsamling af data og information, baggrundsdocumentationen for de gennemførte beregninger samt en analyse af den eksisterende spildevandssektor.

2. Introduktion

Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning SVANA (tidligere del af Naturstyrelsen) igangsatte i efteråret 2015 et projekt om beregning af energipotentialer og CO₂-skyggepriser for en række forskellige spildevandsrensningsteknologier. CO₂-skyggeprisen er prisen for at reducere et tons CO₂.

2.1 FORMÅL

Formålet med projektet er at:

- Opgøre energiproduktionspotentiale fra udvalgte spildevandsrensningsteknologier,
- Opgøre CO₂-reduktionspotentiale fra udvalgte spildevandsrensningsteknologier,
- Beregne CO₂-skyggepriser på de udvalgte spildevandsteknologier,
- Udarbejde en plan for en fremtidig vandsektor¹.

Formålet med nærværende rapport er at præsentere resultaterne, de anvendte metoder, herunder de anvendte data og forudsætninger.

En plan for en energiproducerende vandsektor er rapporteret i bilag III.

2.2 BAGGRUND

I dag eksisterer en række teknologier til at reducere energiforbruget i vand- og spildevandsforsyningen og herunder også at reducere CO₂-udledningen fra sektoren. Et reduceret energiforbrug og mindsket CO₂-udledning i sektoren vil på én og samme tid kunne bidrage til, at Danmark når sine ambitiøse målsætninger for CO₂-reduktioner, bidrage til en energiproducerende vandsektor og spille ind i dagsordenen om ressourceeffektivisering og Danmark som en cirkulær økonomi

¹ Kan findes på <http://ecoinnovation.dk/mudp-indsats-og-tilskud/partnerskaber-om-miljoeteknologi/nuvaerende-partnerskaber/partnerskabet-om-fremme-af-ressourceudnyttelse-i-vand-og-spildevandsforsyningen/>

3. Metode, data og proces

Naturstyrelsen fik i 2015 udarbejdet projektet "Analyse af potentialer for ressourceudnyttelse i vand- og spildevandsforsyningen" (Thomsen, et al., 2015). Denne analyse indeholder en screening af 23 udvalgte teknologier, som har potentiale til at reducere ressourceforbruget og CO₂-fodaftrykket i vand- og spildevandsforsyningen.

Ovennævnte analyse (herefter kaldet baggrundsrapport) indeholder livscyklusanalyser af udvalgte teknologier for at sammenligne CO₂-fodaftrykket for de forskellige teknologier med udgangspunkt i den danske vand- og spildevandsforsyning. Endvidere har analysen fokus på, hvordan teknologierne bidrager til en øget udnyttelse af de ressourcer, der findes i spildevand.

Projektgrundlaget for nærværende projekt var at foretage yderligere analyser af syv teknologier udvalgt på baggrund af det beregnede CO₂-reduktionspotentiale som blev identificeret i baggrundsrapporten. Oprindeligt var teknologierne biogasopgradering og konvertering af CO₂ til naturgas inkluderet, men disse blev undervejs erstattet med teknologien styring af lattergasudledning, således at de udvalgte teknologier for projektet er:

- Bundbeluftning
- Fosforgenvinding med Struvit
- Kvælstoffjernelse med Anammox
- Termisk hydrolyse
- Biogas fra forbehandlet affald
- Varmepumper
- Styring af lattergasudledning

For at estimere de nationale potentialer for at reducere CO₂ og producere energi fra spildevandssektoren i baggrundsrapporten blev der taget udgangspunkt i det teoretisk udbredelsespotentiale, som er blevet bestemt som en del af projektet.

For at kvalificere dette potentiale er der som en del af nærværende projekt gennemført en sektoranalyse via en interviewundersøgelse hos de 62 største danske spildevandsanlæg, hvoraf der er modtaget data fra 54. Formålet med interviewene var at vurdere hvor mange anlæg, der i praksis vil kunne anvende de forskellige teknologier, for på den baggrund at bestemme et mere retvisende potentiale for udbredelsespotentialet. Det blev undersøgt hvilke anlæg der allerede har implementeret de valgte teknologier og anlæggenes karakteristika, fx adgang til fjernvarmenet og kapacitet i anlæggets rådnetanke. Interview guiden er vedlagt som Bilag I.2.

For at beregne CO₂-skyggepriserne er der indsamlet økonomiske data fra anlæg som har introduceret eller planlægger at introducere teknologien. Der er indsamlet data gennem interview med forskellige vandselskaber og leverandører vedrørende investerings- og driftsomkostninger. Interview guiden findes i Bilag I.3.

Projektets udgangspunkt er de potentialer for CO₂-reduktion og energiproduktion som er præsenteret i Naturstyrelsens rapport fra 2015 (Thomsen, et al., 2015). Det er i nærværende projekt valgt at bruge resultaterne fra Naturstyrelsens rapport, og hvis det ikke har været muligt, at anvende samme data som disse resultater er baseret på. Bilag II angiver datakilder for de beregnede potentialer for CO₂-reduktion og energiproduktion. Overordnet set er data om udbredelsespotentiale blevet kvantificeret gennem dette projekts sektoranalyse, og yderligere er visse data om teknologiernes egenskaber indsamlet af NIRAS (f.eks. data om termisk hydrolyse, hvor der ikke har været tilstrækkelig data i baggrundsrapporten).

De økonomiske data til beregning af CO₂ skyggepriserne er primært indhentet gennem interviews med forskellige spildevandsanlæg, som enten anvender den pågældende teknologi eller har overvejet at implementere denne teknologi, og derfor har foretaget driftsøkonomiske beregninger. De økonomiske data for styring af lattergas er oplyst af producenten.

Bilag II indeholder yderligere dokumentation af datakilder og potentialeberegningerne for energipotentialer og mulige CO₂ besparelser, samt dokumentation for de økonomiske beregninger.

Som et led i udarbejdelsen af planen for en fremtidens vandsektor blev fire store vandselskaber kontaktet. Vandselskaberne bidrog med casebeskrivelser af teknologier, der er installeret på anlæggene for hhv. at producere energi eller reducere energiforbruget (spørgsmål fremsendt til selskaberne findes i Bilag I.4). Udkast til casebeskrivelser er fremsendt til selskaberne for kommentarer inden beskrivelserne er færdiggjort.

Undervejs i projektet er der afholdt møder i styregruppen for projektet med deltagelse af NST, Dansk Miljø Teknologi, DI og DANVA. Yderligere blev der i marts 2016 afholdt en workshop med partnerskabet for baggrundsrapporten, hvor formålet var at kvalificere de foreløbige resultater samt invitere partnerskabet til at give input til planen.

3.1 ROJEKTETS AFGRÆNSNING OG FORUDSÆTNINGER

Projektet er afgrænset til at undersøge potentialer og omkostninger ved at opnå en CO₂-neutral og/eller energiproducerende spildevandssektor på baggrund af de udvalgte teknologier. Andre fremtidige påvirkninger af sektoren, f.eks. ændringer i mængden og typen af spildevand, den generelle teknologjudvikling eller introduktion af andre teknologier er ikke inkluderet i analysen.

Analysen er lavet med udgangspunkt i et typisk mellemstort dansk renseanlæg med forklaring og rådnetank, svarende til anlægstype 3 i "Bæredygtigudnyttelse af fosfor fra spildevand" (Jensen, et al., 2015), hvor der er anlagt en gennemsnitsbetragtning omkring spildevandets sammensætning af bl.a. COD, kvælstof og fosfor. Der er store regionale og lokale forskelle på spildevandet, og de samlede resultater for sektoren kan derfor ikke direkte overføres til individuelle anlæg, som vil variere meget som følge af lokale forhold.

I takt med udviklingen i el- og fjernvarmesektoren forventes det, at en større del af hhv. el og varmeproduktionen vil være baseret på vedvarende energi. Det betyder at den beregnede CO₂-gevinst fra el-besparelser og substitution af fjernvarme bliver mindre over tid. Dette forhold er ikke medregnet i analyserne, som tager udgangspunkt i den nuværende gennemsnitlige CO₂-udledning fra el- og varmeproduktion. Der har endvidere ikke været muligt at vurdere, hvorvidt CO₂-reduktionen sker indenfor eller udenfor den kvotebelagte sektor.

Som en del af projektet blev der i marts 2016 afholdt en workshop med interessenter fra sektoren (partnerskabet for baggrundsrapporten). Ved workshoppen pegede deltagerne på yderligere teknologier, der havde været relevante at tage med i nærværende analyse, men som det ikke har været muligt at finde data for. Baseret på dette er der formodentlig et større potentiale for at reducere energiforbruget eller øge energiproduktionen i forbindelse med spildevandrensning end der er beskrevet i dette dokument.

4. Resultater

I dette afsnit præsenteres resultaterne af de udførte analyser. Resultaterne er opdelt i tre hovedemner:

- Sektorens energibesparelspotentialer: Beskriver sektorens potentiale til at spare på energiforbruget, eller potentielt blive energiproducerende.
- Teknologiernes CO₂-reduktionspotentialer: Beskriver den potentielle reduktion af CO₂ udledning fra sektoren ved indførelse af de udvalgte teknologier.
- CO₂-skyggepriser: Beskriver de samfundsøkonomiske omkostninger ved reduktion af ét ton CO₂-udledning fra sektoren.

Resultaterne af de tre delanalyse er præsenteret herunder. I afsnit 3.4 diskuteres anvendelsen af resultaterne, mens afsnit 3.5 beskriver de overordnede forudsætninger for beregningerne. De detaljerede forudsætninger og datakilder er beskrevet i Bilag II.

4.1 ENERGIBESPARELSPOTENTIALET

Drivhusgasudledningen fra spildevandsrensning stammer overordnet fra to kilder, dels fra det energiforbrug som rensprocessen kræver, dels fra de drivhusgasser som frigøres under rensprocessen.

De udvalgte teknologier påvirker energiforbruget på forskellig vis. Teknologierne fosforgenindvinding med struvit og styring af lattergasudledning påvirker ikke anlæggets energiforbrug betydeligt. Teknologierne bundbeluftning og kvælstof-fjernelse med Anammox kan reducere anlæggets energiforbrug, mens de resterende fire teknologier er energiproducerende.

For energiproducerende teknologier, kan energien som produceres enten bruges på anlægget, eller sælges på nettet.

I Tabel 2 og Tabel 3 vises teknologiernes beregnede energibesparelspotentiale og energiproduktionspotentialer. Dokumentationen for beregningerne af potentialerne findes i Bilag II. Potentialerne viser det samlede potentiale hvis teknologien indføres på alle danske anlæg, som i teorien har mulighed for at indføre teknologien baseret på sektoranalysen, som findes i Bilag II.2

Tabel 2 : Energisparepotentialer for teknologier

Teknologi	Energisparepotentialer
Bundbeluftning	41 GWh
Kvælstoffjernelse med Anammox	92 GWh

Tabel 3: Potentiale for energiproduktion, energiproducerende teknologier

Teknologi	Produktionspotentiale
Kvælstoffjernelse med Anammox	21 GWh
Termisk hydrolyse af slam	145 GWh
Biogas fra forbehandlet affald	49 GWh
Varmepumper	1.772 GWh

Energibesparelses- og energiproduktionspotentialet deles ikke op på el og varme, men opgives i stedet som en samlet energiproduktion eller samlet energibesparelse. Dette skyldes, at det ikke er muligt at lave denne opdeling for alle de undersøgte teknologier. Dette har betydning når energipotentialet skal omregnes til et CO₂-reduktionspotentiale. Her er der anvendt en samlet emissionsværdi på 326 g CO₂-ækv. per solgt kWh. (Energistyrelsen, 2014).

4.2 TEKNOLOGIERNES CO₂-REDUKTIONSPOTENTIAL

Den samlede udledning af drivhusgasser fra spildevandssektoren udgjorde ifølge Danmarks nationale emissionsopgørelse 187.000 ton CO₂-ækvivalenter i 2013. Heraf var metanudledningen 113.000 ton CO₂-ækvivalenter og lattergas-udledningen 74.000 ton CO₂-ækvivalenter (Danish Centre for Environment and Energy, 2015).

Sektorens nettoenergiforbrug var cirka 388 GWh i 2014, svarende til et CO₂-fodafttryk på 127.000 ton CO₂-ækvivalenter for spildevandssektorens nettoenergi-forbrug, under antagelse om en gennemsnitlig emissionsfaktor på 326 g CO₂-ækv./kWh (baseret på tal fra DANVA).

Samlet set kan den danske spildevandssektor tilskrives et årligt CO₂-fodafttryk på 314.000 ton CO₂-ækvivalenter.

For hver af de undersøgte teknologier er det beregnet hvor stor en reduktion i sektorens CO₂-udledninger som potentielt kan opnås, hvis teknologien indføres på alle renseanlæg over 60.000 PE, som ikke bruger teknologien i dag, og som umiddelbart har mulighed for at indføre teknologien (fx kræver nogle af de valgte teknologier at der er ledig kapacitet i rådnetanken). Dokumentationen for beregningerne af CO₂-reduktionspotentialet findes i Bilag II.

Tabel 4: CO₂ reduktionspotentiale for de udvalgte teknologier

Teknologi	CO ₂ -reduktionspotentiale for teknologien
Bundbeluftning	13.377 ton CO ₂
Fosforgenindvinding med struvit	11.510 ton CO ₂
Kvælstoffjernelse med Anammox	24.255 ton CO ₂ (ved indregning af lattergasemissioner ændres dette tal til -108.585 ton CO ₂)
Termisk hydrolyse	27.627 ton CO ₂
Biogas fra forbehandlet affald	10.130 ton CO ₂
Varmepumper	433.251 ton CO ₂
Styring af lattergasudledning	18.066 ton CO ₂

Som det ses af Tabel 3 findes det klart største potentiale for reduktion af sektorens CO₂-udledning ved etablering af varmepumper, forudsat varmen produceret substituerer fossile brændsler. Modsat kan det betyde en stigning i udledningen af drivhusgaser hvis alle anlæg begynder at fjerne kvælstof med Anammox.

Der er ingen kombinationer af de undersøgte teknologier, der kan lede til en CO₂-neutral sektor, hvis ikke der opføres varmepumper på en del af renseanlæggene.

Det beregnede CO₂-reduktionspotentiale er ligeledes illustreret i Figur 1 nedenfor.

4.3 CO₂-SKYGGEPRISE

For hver af de udvalgte teknologier er der beregnet en CO₂-skyggepris, som beskriver de samfundsøkonomiske omkostninger² ved reduktion af ét ton CO₂ udledning fra spildevandssektoren.

Hvad fortæller CO₂ skyggeprisen?

CO₂-skyggeprisen udtrykker de økonomiske reduktionsomkostninger per ton reduceret CO₂-ækv. ved indførelsen af et tiltag, f.eks. en ny teknologi. Skyggeprisen er beregnet som nutidsværdien af de samlede samfundsøkonomiske omkostninger divideret med nutidsværdien af den reducerede mængde CO₂ opgjort i ton CO₂-ækv. Skyggeprisen opgøres dermed i kroner per ton CO₂-ækv.

Energistyrelsen har i 2013 udgivet et 'virkemiddelkatalog' hvori der er beregnet CO₂-skyggepriser for en række tiltag indenfor energi, transport, landbrug og miljø. Kataloget kan findes på: <http://www.ens.dk/info/publikationer/virkemiddelkatalog-potentialer-omkostninger-klimatiltag>

De økonomiske data for de enkelte teknologier er indsamlet via interviews med renseanlæg, som har indført eller har undersøgt muligheden for at indføre den pågældende teknologi (se afsnit 2.1 forudsætninger og Bilag II).

Tabel 4 viser en oversigt over de beregnede CO₂-skyggepriser, hvor det ses at styring af lattergasemissioner ud fra en samfundsøkonomisk betragtning er den billigste måde at reducere CO₂ på, hvorimod termisk hydrolyse er den dyreste.

Tabel 5: Teknologiernes CO₂-skyggepriser

Teknologi	CO ₂ -skyggepris
Bundbeluftning	408 kr./ton CO ₂
Fosforindvindning med struvit	1.012 kr./ton CO ₂
Kvælstoffjernelse med Anammox	*Beregnes ikke
Termisk hydrolyse	8.039 kr./ton CO ₂ **
Biogas fra forbehandlet affald	Beregnet i IFRO 2013 til 1.128 kr./ton CO ₂ ***
Varmepumper	182 kr./ton CO ₂
Styring af lattergasudledning	Oplyst af producent til 100 kr./ton CO ₂

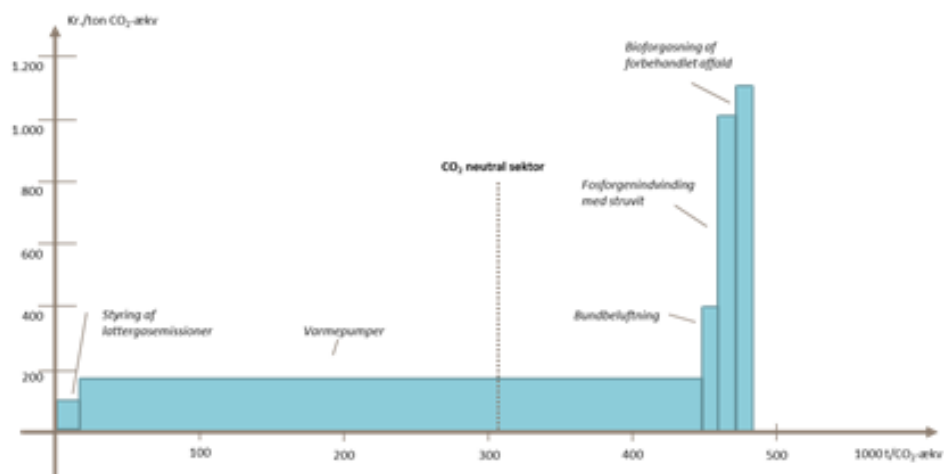
*Som beskrevet i tabel 3 vil resultatet ændres således at drivhusgaser vil stige, hvis lattergasemissioner medregnes. Hvis teknologien medfører en øget drivhusgasudledning, kan der ikke beregnes en skyggepris.

² beregningerne er nettoafgiftsfaktor og forvriddningstab ikke medregnet.

****Der er usikkerhed om de drift relaterede data, især tilsætning af polymer, som har stor indflydelse på resultatet**

*****Det har ikke været muligt at lave beregninger af CO₂ skyggeprisen på biogas baseret på den indhentede data. I stedet er anvendt beregning foretaget af IFRO 2013, som dækker generelle biogasanlæg. I denne beregning indgår en fuld samfundsøkonomisk analyse.**

Figur 1 illustrerer teknologiernes CO₂-reduktionspotentiale og CO₂-skyggepriser, hvor x-aksen viser sektorens samlede potentiale til at reducere CO₂, hvis teknologien indføres på alle anlæg. På y-aksen vises CO₂-skyggeprisen forbundet med at reducere et ton CO₂ ved den valgte teknologi.



Figur1: CO₂-skyggepriser og reduktionspotentiale forbundet med de forskellige tiltag

Af Figur 1 ses det, som beskrevet ovenfor, at det største potentiale for at reducere sektorens CO₂-udledning er ved introduktion af varmepumper. CO₂-skyggeprisberegningen estimerer omkostningen til at være knap 200 kr. pr. sparet ton CO₂-ækv. ved opsætning af varmepumper, hvilket er relativt lavt sammenlignet med andre teknologier.

I Figur 1 er to af de undersøgte teknologier udelukket. Termisk hydrolyse er ikke medtaget i tabellen, da der er specielt stor datausikkerhed på de driftsøkonomiske data. Kvælstoffjernelse med Anammox er ligeledes ikke inkluderet, da teknologien under de valgte antagelser medfører en øget CO₂-ækv. udledning³ og derfor ikke bidrager til en reduktion i sektorens drivhusgasudledning.

Det er som tidligere nævnt vigtigt at være opmærksom på at der er tale om indikationer på CO₂-skyggepriser og ikke resultater, der direkte kan sammenlignes med resultaterne i Regeringens Virkemiddelkatalog.

4.4 PERSEPTIVSERING AF RESULTATER

Betydning af udviklingen i energisektoren

Energistyrelsens basisfremskrivninger angiver at andelen af vedvarende energi i el-nettet vil være 80-85 % i 2020 og 65 % for varmeforsyningen (Energistyrelsen, 2015). Målet for 2050 er at Danmark skal være uafhængigt af fossile brændsler.

³ Der er stor usikkerhed omkring metanudledningen både ved kvælstoffjernelse med Anammox og i referencen.

Energiforsyningsens sammensætning har stor betydning for de teknologier, hvor CO₂-reduktionen hentes ved energibesparelse eller merproduktion af energi, da der tilskrives en mindre CO₂-reduktion, hvis energiforsyningen i højere grad består af vedvarende energi. I denne analyse vil følgende teknologier give anledning til en mindre CO₂-udledning i takt med at energiforsyningen bliver grønnere:

- Bundbeluftning og styring (energibesparende)
- Kvælstoffjernelse med Anammox (energibesparende)
- Termisk hydrolyse (merproduktion af energi)
- Biogas fra forbehandlet affald (merproduktion af energi)
- Varmepumper (merproduktion af energi)

Effekten på udledning af drivhusgasserne metan og lattergas påvirkes ikke af energisystemets sammensætning.

Potentiel konflikt mellem selskabsøkonomiske og samfundsøkonomiske interesser

Den samfundsøkonomiske betragtning i forhold til CO₂ kan udgøre grundlaget for at vurdere hvilke teknologier man overordnet set bør satse på i forhold til at reducere sektorens drivhusgasudledning på den billigst mulige måde og dermed hvordan man bør indrette rammebetingelserne så disse teknologier bliver fremmet.

Beslutningen om indførslen af en ny teknologi vil derimod blive taget på an-lægsniveau, hvor den samfundsøkonomiske skyggepris for reduktion på CO₂ ikke vil være den drivende faktor for at ændre renseteknologien. Derimod vil typiske faktorer for introduktionen af nye teknologier være at den nuværende renseteknologi ikke er tidssvarende, eller der ses et potentiale for at selskabsøkonomien kan forbedres.

I den selskabsøkonomiske beregning ser man på hvilke teknologier, der er mest fordelagtige for forsyningselskaberne givet de nuværende rammebetingelser. Ved sammenligningen af de indsamlede økonomiske data, kan vi se hvorvidt den isolerede investering er økonomisk rentabel for anlægget. Igen er det vigtigt at understrege at der er tale om et begrænset og insignifikant datagrundlag, som udelukkende skal bidrage til at vise størrelsesordner.

For hver af teknologierne vises et interval for den årlige selskabsøkonomiske omkostning / indtjening i forhold til anlæggets størrelse.

Teknologi	Selskabsøkonomisk konsekvens af indførsel af teknologien
Biogas	Indtjening 0-10 kr./PE/år ^{a)}
Bundbeluftning	Omkostning (0 - 10 kr./PE/år)
Fosforindvinding	Omkostning (0 - 10 kr./PE /år)
Termisk hydrolyse af slam	Omkostning (over 10 kr./PE/år)
Varmepumpe	Omkostning (over 10 kr./PE/år) ^{b)}

a) Salgspris for el inkluderer pristillæg

b) Elafgift indgår i beregningen

Af de undersøgte teknologier, er det isoleret set kun teknologien biogas som over teknologiens levetid, vil betyde en besparelse for forsyningen.

De øvrige teknologier giver anledning til en omkostning, hvor termisk hydrolyse af slam giver anledning til største omkostning.

Der ses således, at der ikke er overensstemmelse mellem de teknologier der samfundsøkonomisk er billigst i forhold til at reducere CO₂-udledningen og de teknologier der selskabsøkonomisk er billigst. Ønsker man at fremme de samfundsøkonomisk mest rentable teknologier er der således behov for at ændre rammebetingelserne.

4.5 FORUDSÆTNINGER FOR BEREGNINGER

Beregningerne af besparelspotentialet, skyggepriser samt selskabsøkonomiske omkostninger bygger på en række forudsætninger, og som nævnt i det foregående afsnit er det økonomiske datagrundlaget begrænset.

Den økonomiske data er indsamlet via interviews med anlæg som har indført den pågældende teknologi. Det er dog ikke muligt at finde anlæg hvor man kun har indført én ny teknologi, uden at andre funktioner ved anlægget er renoveret, eller andre teknologiske opdateringer er installeret som en del af investeringen. Det har derfor været svært for spildevandsanlæggende at prissætte teknologiernes påvirkninger direkte. F.eks. kan det være svært at specificere hvilken betydning indførslen af en specifik ny teknologi har betydet i forhold til øget/mindsket arbejdskraftbehov. De anvendte forudsætninger er præsenteret i Bilag II (skyggepriser).

5. Litteraturliste

Jacobsen, B. H., Laugesen, F. M., Dubgaard, A., Bojesen, M., 2013: Biogasproduktion i Danmark - vurderinger af drifts- og samfundsøkonomi, IFRO rapport 220

Jensen, M. D. et al., 2015. Bæredygtig udnyttelse af fosfor fra spildevand, København: Miljøstyrelsen.

Regeringens Virkemiddelkatalog. Tværministeriel arbejdsgruppe, 2013.

Thomsen, M., Ottosen, T. W. & Drejer, L. N., 2015. Analyse af potentialer for ressourceudnyttelse i vand- og spildevandsforsyningen, København: Miljøstyrelsen.

Vand Topmøde, Vandvision, 2015

Bilag 1. Interviewguides

Introduktion

Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning SVANA (tidligere del af Naturstyrelsen) igangsatte i efteråret 2015 et projekt om beregning af CO₂-skyggepriser for en række forskellige spildevandsrensningsteknologier. Nærværende dokument er bilag til rapporten ” Udregning af skyggepriser på CO₂-ækvivalenter på forskellige scenarier indenfor spildevandsrensning, samt udarbejdelse af en plan for en energiproducerende og CO₂-neutral vandsektor”.

I dette bilag indeholder de interviewguides som er anvendt ved interview af forskellige aktører i projektet.

Interviewguide til sektoranalyse

NIRAS har via telefoniske interviews indhentet data fra danske renselanlæg med en kapacitet større end 60.000 PE vedrørende anlæggenes faciliteter.

Følgende interviewguide er anvendt i forbindelse med indsamling af disse data til sektoranalysen.

Renseanlæg:		
Adspurgte:	Navn:	Tlf:
	Stilling:	Email:
Dato:		

Overordnet om anlægget

Renseanlæggets kapacitet (PE)	
Renseanlæggets belastning (PE) i 2015:	
Mængde COD i indløb (kg/dag)?	
Mængde kvælstof i indløb (kg/dag)?	
Mængde fosfor i indløb (kg/dag)?	
Er anlægget tilknyttet et fjernvarmenet? Eller ligger anlægget i nærheden af et fjernvarmenet?	
Hvordan fjernes fosfor på anlægget? Ved fældningskemikalier/biologisk fosforfjernelse/kombination?	
Hvad er temperaturen på udløbsvandet? Sommer vs. Vinter (normaltemperatur)	
Har anlægget en forklaringstank/primærtank?	
Har anlægget en rådnetank?	
Er der ledig kapacitet i rådnetanken? Og hvor meget? (COD kg/dag, eller %)	

Teknikker

Er nogle af de oplyste teknikker implementeret på sagen?

Teknologi	Ja/nej	Bemærkninger
Bundluftning		
Styring af luftning		
Fosforgenvinding med Struvit		
Kvælstoffjernelse med Anammox (i rejektvandet – intern belastning)		
Termisk hydrolyse		
Biogasproduktion baseret på tilføjet kulstof (hvorfra?type?)		
Varmepumper på udløbet		
Varmepumper andre steder end udløbet		

Monitorering af lattergasudledning		
Styring af lattergasudledning		

Indhentning af data

Vil anlægget give tilladelse til, at NIRAS indhenter data indrapporteret til DANVA? Spildevandssammensætning og energiforbrug.	
Må jeg ringe igen, hvis vi mangler yderligere information?	

Tusind tak for hjælpen!

Interviewguide til indsamling af økonomiske data

Følgende interviewguide er anvendt i forbindelse med indsamling af økonomisk data til skuggeprisberegningerne.

Renseanlægstype – forklaring, forfældning, rådnetank, bio-P (%), filter m.v.	
Renseanlæggets kapacitet (PE)	
Renseanlæggets belastning (PE)	
Kapacitetsøgning med teknologien (PE)	
Restlevetid for renseanlægget (år)	
Særlige karakteristika for renseanlæg eller opland	
Anlægsinvestering for teknologien (kr.)	
Teknologiens levetid (år)	
Baggrund for investeringen	
Merforbrug: El (kWh/år) VARME (kWh/år) Kemikalier (kg/år) – type Andet ?	
Driftsbesparelser: El (kWh/år) Varme (kWh/år) Gas (Nm ³ /år) Andet ?	
Ekstra driftsudg.: Generelle udg. (kr./år) Energi (kr./år) Mandskab (mandår) Slam og andet (kr.år) Andet?	
Ekstra vedligeholdelse (kr./år)	
Årligt mersalg: Struvit (kr./år) Struvit (kg/år) El (kWh/år) Varme (kWh/år) Gas (Nm ³ /år) Andet?	
Eventuelle bemærkninger:	

Interviewguide til præsentation af fire cases

I forbindelse med udarbejdelsen af planen for en energiproducerende vandsektor i Danmark kontaktede Naturstyrelsen Biofos, Århus Vand, Aalborg Kloak og Billund Vand mhp at få beskrivelser fra de forskellige anlæg.

Alle anlæg blev bedt om at levere informationer ift nedenstående spørgsmål:

- Hvilke teknologier har I implementeret – gerne opdel på teknologier der sparer energi og teknologier der producerer energi
- I hvilken rækkefølge er teknologierne implementeret og over hvilken tidshorisont
- Er der teknologier der understøtter hinandens effekt (synergieffekter) eller det modsatte
- Hvilke karakteristika i forhold til selve renseanlægget, oplandet el. lign har haft betydning for de valgte teknologier
- Hvilke teknologier har særlig stor energiproducerende potentiale
- Hvilke udfordringer/barrierer har der været ved implementeringen af teknologierne?
- Hvordan har I håndteret disse udfordringer/barrierer og vil gøre det anderledes med jeres erfaring/viden i dag?

Bilag 2. Dokumentationsrapport

Generelt

Nærværende dokument er bilag til rapporten "Udregning af skyggepriser på CO₂-ækvivalenter på forskellige scenarier indenfor spildevandsrensning, samt udarbejdelse af en plan for en energiproducerende og CO₂-neutral vandsektor".

I dette bilag præsenteres

- En kort beskrivelse af de syv spildevandsrensningsteknologier,
- Data anvendt til udregninger af teknologiernes CO₂-reduktionspotentialer og energiproduktionspotentialer,
- Resultaterne af CO₂-skyggeprisberegningerne samt de anvendte forudsætninger.

Omregning mellem m³ og PE

Resultaterne fra LCA'en (Thomsen, et al., 2015) er oplyst per m³, men i forhold til beregningerne er det mere hensigtsmæssigt at have fx energiproduktionspotentialer og CO₂-reduktionspotentialer i forhold til PE. Der er derfor lavet en omregningsfaktor baseret på den standard PE, der er brugt til LCA'en.

Ligning 1: Omregningsfaktor mellem m³ og PE

$$\frac{\frac{200 \text{ L}}{\text{PE}} / \text{dag} * 365 \frac{\text{dage}}{\text{år}}}{1000 \text{ L/m}^3} = 73 \frac{\text{m}^3}{\text{PE} * \text{år}}$$

Omregningsfaktoren bruges til at beregne teknologiernes CO₂-reduktionspotentialer ved hjælp af CO₂-reduktionen og det teoretiske potentialer.

CO₂ – reduktionspotentialer

= CO₂ – reduktionen_{teknologi} * omregningsfaktor_{m³ til PE}

* Teoretisk potentialer

Tabel 1: Standard PE brugt i (Thomsen, et al., 2015)

Scenarie	Daglig vandmængde per PE [L]	Koncentration COD per PE [mg/L]	Koncentration Total-N per PE [mg/L]	Koncentration Total-P per PE [mg/L]
T3k, T3b, T3b+s, T3b+a, T3b+a+CO2k, og T3b+a+h	200	822	60,3	13,7
T3b+a+eksC og T3b+s+a+h+eksC	- -	- -	- -	14,2

200⁴

Den standard PE som er anvendt i (Thomsen, et al., 2015) adskiller sig fra den standard PE defineret af Miljøstyrelsen i 'Vejledning til bekendtgørelse om spildevandstilladelser efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4' (herefter kaldt Miljøstyrelsens vejledning) ved at have et højere kulstofindhold relativt til fosfor og kvælstofindholdet.

Tabel 2: sammenligning af PE brugt af MST og Thomsen et. al., 2015

	Årlig organisk stof	Årligt kvælstof	Årlig fosfor
	kg BI5	kg N	kg P
MST standard PE	21,9	4,4	1
	kg COD	kg N	kg P
(Thomsen, et al., 2015) standard PE	60	4,4	1

Denne forskel mellem PE har betydning, da indberetning til Forsyningssekretariatet skal ske ud fra kulstoffdelen af en standard PE som defineret i Miljøstyrelsens vejledning. I dette projekt anvendes Forsyningssekretariatets data til at opgøre det teoretiske potentiale. LCA-resultaterne er beregnet ud fra spildevandssammensætning med et relativt højere kulstofindhold, og disse bruges til at vise klimapåvirkningen fra teknologien. Klimapåvirkningen fra teknologien ganges med forsyningssekretariatets kapacitetsdata for at få et nationalt potentiale, men i de tilfælde hvor LCA-resultaterne bruges (Fosfor-genvinding med Struvit, kvælstoffjernelse med Anammox) vil potentialet være større end hvis potentialet var estimeret ud fra en standard PE svarende til Miljøstyrelsens vejledning.

Drivhuseffekt fra energibesparelser og energiproduktion

I dette projekt deles energiproduktionen og energibesparelser ikke op på el og varme, men opgives i stedet som en samlet energiproduktion eller samlet energibesparelse. For nogle af teknologierne er det muligt at opdele på el og varme, men da det ikke gælder for alle teknologierne, er det i stedet vægtet at sammenligne drivhuseffekten fra en energibesparelse eller energiproduktion på tværs af teknologierne. Dette er gjort ved at bruge Energistyrelsens emissionsværdi per solgt kWh på 326 g CO₂-ækv. per kWh. (Energistyrelsen, 2014)

⁴ Kilde: (Thomsen, 2015)

Spildevanssektorens energiforbrug og -produktion

Fra DANVA har NIRAS modtaget data om energiforbrug og -produktion for 58 spildevandsselskaber.

Tabel 3: Spildevandssektorens energiforbrug og –produktion for 2014, kilde: DANVA

Energi i kWh	2014
Købt	325.242.109
Solgt	145.207.780

61 procent af branchen er inkluderet i analysen, baseret på debiteret vandmængde.

På baggrund af anbefaling fra DANVA er købt energi opskaleret til 100% af branchen baseret på ovenstående tabel, hvilket giver et samlet tal på 533.183.785 kWh. Solgt energi er ikke opskaleret da det vurderes at de spildevandsselskaber, der ikke indgår i DANVAs analyse ikke producerer energi i nævneværdigt omfang.

Nettoenergiforbruget på 387.976.005 kWh er bestemt ved at trække solgt energi fra købt energi.

Intern produceret og internt forbrugt energi indgår ikke i opgørelserne.

Metode til beregning af CO₂-skyggepriser

I projektet er der beregnet CO₂-skyggepriser for de udvalgte teknologier. Skyggeprisen udtrykker omkostningen ved at reducere drivhusgasudledningen fra et renseanlæg med et ton CO₂-ækvivalent, når der indføres en ny teknologi på anlægget.

Skyggepriserne afspejler ikke en fuld samfundsøkonomiske analyse, da dette ikke har været muligt på baggrund af det eksisterende datagrundlag, men priser på el og varme er renset for afgifter og tilskud, som alene anses for en transferering i en samfundsøkonomisk analyse⁵.

Skyggeprisen er beregnet som forholdet mellem nutidsværdien af investeringer samt ændringer i driftsudgifterne og reduktionen i CO₂ udledning som følge af teknologiens introduktion på anlægget. Nutidsværdien er beregnet over teknologiens forventede levetid. Beregningen ser ud som illustreret herunder:

$$\text{Skyggepris} = \frac{\text{NPV} (\Delta \text{ investeringer og driftsomkostninger})}{\text{"NPV"} (\Delta \text{ CO}_2 - \text{ækvivalent udledning})}$$

Da teknologierne indføres på allerede eksisterende anlæg beregnes skyggeprisen ud fra de ændringer i anlæggets økonomi som indførelsen af teknologien medfører, samt de teoretiske ændringer i anlæggets drivhusgasudledning.

⁵ Afgifter og tilskud antages dog at give anledning til skatteforvridningstab. Dette er dog grundet det spinkle datagrundlag ikke medregnet i analysen

Metode ved selskabsøkonomiske beregninger

I rapporten er de selskabsøkonomiske omkostninger/indtægter relateret til de enkelte teknologier beregnet. Beregningerne viser de marginale ændringer i de selskabsøkonomien ved indførslen af teknologien.

De økonomiske data er de samme som er anvendt i de samfundsøkonomiske beregninger, dog indgår afgifter og tilskud. I den selskabsøkonomiske beregning er der anvendt en rente på 2 %.

Resultatet er beregnet som nutidsværdien af investeringer fratrukket ændringer i driftsomkostninger og tillagt indtægter fra mersalg. Resultatet er opgjort som kroner pr. PE/år.

På grund af de store usikkerheder i den indsamlede data er resultaterne vist i intervallerne:

- Omkostning, over 10 kr./PE/år
- Omkostning, 0 - 10 kr./PE/år
- Indtjening, 0 – 10 kr./PE/år

Sektoranalyse

Ifølge Forsyningssekretariatets data fra 2015 er der 674 danske renseanlæg med en samlet organisk kapacitet på ca. 13.150.000 PE.

Tabel 4: Oversigt over danske renseanlæg baseret på data fra Forsyningssekretariatets data-ind-samling 2015

	Antal værker	Antal selskaber	Andel af samlet PE	Organisk kapacitet i PE	Faktisk belastning i PE
Alle	674	111	100 %	13.150.233	8.427.104
>100.000 PE	37	30	55 %	7.253.750	4.925.030
>60.000 PE	62	47	71 %	9.278.734	6.126.548

Der er i rapporten af (Thomsen, et al., 2015) lavet en skilleflade ved 60.000 PE, hvor renseanlæg over denne kapacitet kan betragtes som værende af samme type som type 3 anlæg. Renseanlæg over 60.000 PE udgør i 2015 71 % af den samlede danske rensningskapacitet.

For at anslå et nationalt CO₂-reduktionspotentiale og energiproduktionspotentiale fra spildevandssektoren bruges et teoretisk udbredelsespotentiale for spildevandssektoren for hver teknologi. Det regnes som den samlede kapacitet af danske renseanlæg minus kapaciteten af de anlæg⁶, hvor den pågældende teknologi allerede er implementeret.

NIRAS har via telefoniske interviews indhentet data fra danske renseanlæg med en kapacitet større end 60.000 PE vedrørende anlæggenes faciliteter.

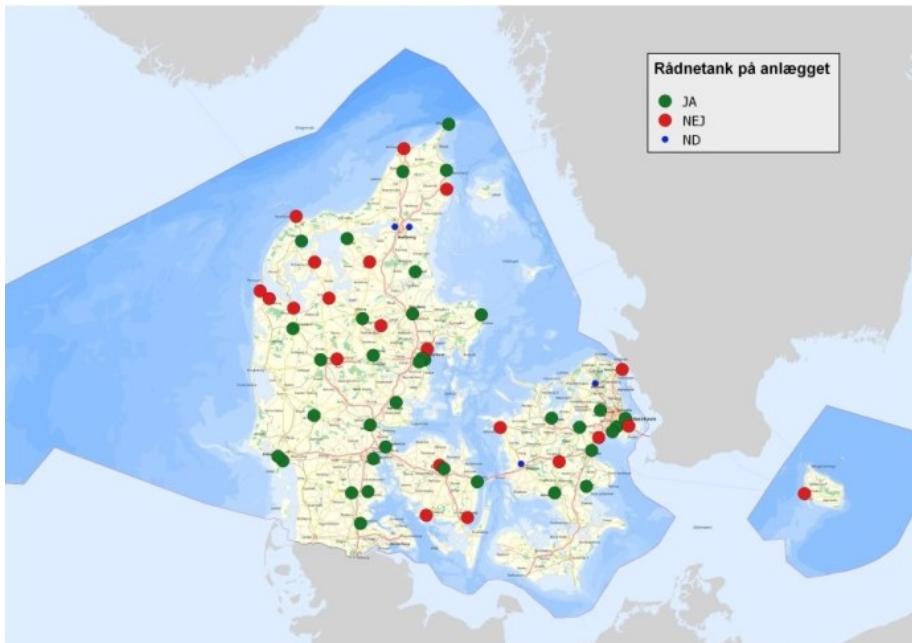
Alle teknologierne foruden bundbeluftning, varmepumper og styring af lattergasemissioner kræver en rådnetank. Det er derfor relevant at vurdere, hvor stor en andel af danske renseanlæg, som allerede har en rådnetank, sådan at det nationale potentiale for de teknologier, som kræver rådnetank, begrænses til disse anlægges kapaciteter. For implementering af biogasproduktion fra forbehandlet affald er det yderligere nødvendigt med ledig kapacitet i rådnetanken, og hertil er det relevant, hvor stor en ledighed der forekommer i rådnetanken.

83% af kapaciteten for anlæg større end 60.000 PE har en rådnetank. Dog er det kun 50% af de adspurgte anlæg med rådnetank, som angiver, at de har ledig kapacitet i rådnetanken, tilsvarende 13% af den samlede kapacitet for alle adspurgte anlæg.

En forudsætning for at have en varmepumpe, der udnytter det fulde potentiale i vandet, er, at varmen kan afsættes. Det er derfor aktuelt at vide, om anlægget er tilsluttet eller har potentiale for at blive tilsluttet en fjernvarmledning. Omtrent 50% af den danske kapacitet er tilknyttet fjernvarmenettet, og for yderligere 32% er der potentiale for tilknytning.

For teknologien fosforgenvinding med Struvit er det en forudsætning, at der foretages biologisk fosforfjernelse på anlægget. Det er derfor relevant at vide, hvor stor en andel af renseanlæg, som bruger denne teknologi. 81% af den adspurgte kapacitet bruger biologisk fosforfjernelse enten alene eller i samspil med kemisk fosforfjernelse.

⁶ Type 3 anlæg er et to-trins modelanlæg med kapacitet på 100.000 PE (Jensen, et al., 2015).



Figur 1 Grafisk oversigt over danske renselanlæg med rådnetank



Figur 2 Grafisk oversigt over danske renselanlæg med tilknytning til fjernvarmenettet

Den indsamlede data giver følgende resultater for implementering af teknologier opgjort i % af kapaciteten.

Tabel 5: Resultater for implementering af teknologier opgjort i % af kapaciteten

Teknologiscenarie	Procentuel implementeringsgrad
Bundbeluftning	53 %
Fosforgenvinding med Struvit	4 %
Kvælstoffjernelse med Anammox	12 %
Termisk hydrolyse	12 %
Biogas ved forbeholdt affald	17 %
Varmepumper	12 %
Styring af lattergasudledning	0 %

Tabel 6: Resultater for forudsætninger for implementering af teknologier opgjort i % af kapaciteten

Forudsætninger for teknologier	Procentuel fordeling
Rådnetank	78 %
Ledig kapacitet i rådnetank	10 % ⁷
Biogasproduktion	76 %
Biologisk fosfjernelse	81%
Tilknytning eller potentiel tilknytning til fjernvarmenettet	83%

På baggrund af de indsamlede oplysninger har NIRAS beregnet et teoretisk potentiale. Den samlede kapacitet for anlæg med kapacitet > 60.000 PE er justeret til renseanlæggenes seneste indberetning til Forsyningssekretariatet. Det teoretiske potentiale tager både højde for, hvor stor en andel af anlæggene, som allerede har implementeret teknologien, og hvor stor en andel af anlæggene, som har de nødvendige forudsætninger for teknologiens implementering.

Tabel 7: Opgørelse af det teoretiske potentiale, samt forudsætninger for implementering af teknologierne

Teknologiscenarie	Teoretisk potentiale i PE	Forudsætning
Referenceanlæg	9.200.000	
Bundbeluftning	4.324.000	
Fosforfjernelse med Struvit	5.436.979	Rådnetank og biologisk fosforfjernelse
Kvælstoffjernelse med Anammox	6.152.960	Rådnetank
Termisk hydrolyse	6.152.960	Rådnetank
Biogas fra forbeholdt affald	609.100	Ledig kapacitet i rådnetank
Varmepumper	3.919.813	Adgang til fjernvarmenettet.
Styring af lattergasudledningen	9.200.000	

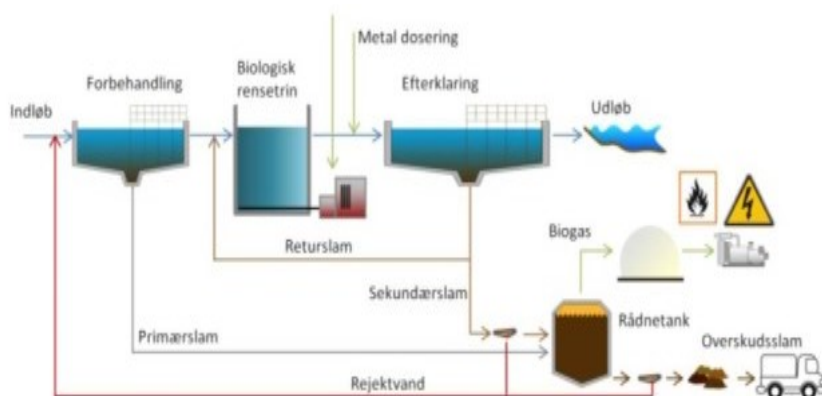
3.919.813⁸

⁷ Anlæg har angivet den ledige kapacitet i rådnetanken i procent. Den ledige kapacitet i PE er beregnet ved at gange den procentangivne ledighed med anlæggets samlede belastning.

⁸ I udregning af energiproduktions- og CO₂-reduktions potentialerne er der taget højde for, at afsætning af varme kun er relevant i estimeret 7 ud af 12 måneder af året givende et teoretisk potentiale på 3.900.000 PE.

Bundbeluftning

Hovedformålet med denne teknologi er spare energi. Overfladebeluftning med rotorer erstattes med bundbeluftning i den biologiske rensningstank, et eksempel på sådan et renseanlæg, kan ses på figur 3 nedenfor. Dette anses for at være energibesparende særligt i samspil med teknikker, som muliggør at foretage målinger i tankene og styre iltningensintensiteten. Teknologien har størst potentiale ved 1-trins biologiske renseanlæg, hvor hele den organiske belastning omsættes ved beluftning (Thomsen et al., 2015).



Figur 3 Skitse af Type 3 renseanlæg med bundbeluftning kilde: (Jensen, et al., 2015)

Beregningen af CO₂-reduktionen ved installering af bundbeluftning er foretaget som herunder. Data til udregningen fremgår af Tabel 8.

$$CO_2\text{reduktion}_{\text{bundbeluftning}} = \text{Energibesparelse}_{\text{bundbeluftning}} * CO_2 - \text{emission pr. solgt kWh}_{\text{faktisk}}$$

Tabel 8: Data brugt til udregning af CO₂-reduktionen ved udskiftning af overfladebeluftning til bundbeluftning

	Værdi	Enhed	Kilde
Energibesparelse bundbeluftning	0,13	kWh/m ³	(Thomsen, et al., 2015)
Elektricitetsforbrug	0,42	kWh/m ³	(Thomsen, et al., 2015)
CO ₂ - emission pr. solgt kWh, faktisk	326	g/kWh	(Energistyrelsen, 2014)
Teoretisk potentiale	4.324.000	PE	(NIRAS, 2016)
CO ₂ -reduktionen bundbeluftning	<u>0,042</u>	<u>kg CO₂-ækv./m³</u>	
Energibesparelse	9	kWh/PE	
CO ₂ -reduktionspotentiale	<u>13.377</u>	<u>Ton CO₂-ækv.</u>	Afsnit 0
Energibesparelspotentiale	<u>41</u>	<u>GWh</u>	

Skyggeprisberegning

Til at beregne CO₂-skyggeprisen ved udskiftning af overfladebeluftning til bundbeluftning har det været muligt at samle fyldestgørende økonomisk data fra fire anlæg. Herudover er der indsamlet data fra to anlæg, men disse anlæg er ikke medtaget i beregningerne, da investeringen i bundbeluftning ikke kan adskilles fra andre teknologier.

Besparelser på driftsomkostninger består med denne teknologi udelukkende af besparelse på anlæggets strømforbrug.

Tabel 9: Resultat af skyggeprisberegninger for bundbeluftning

Anlæg	Investeringsomkostning pr PE	Ændringer i driftsomkostninger / PE	Årlig indkomst fra mersalg / PE	Beregnet skyggepris
Anlæg A	58 kr./PE	-4,00 kr./PE	0 kr./PE	415 kr./ton CO ₂
Anlæg B	42 kr./PE	-3,07 kr./PE	0 kr./PE	69 kr./ton CO ₂
Anlæg C	52 kr./PE	-5,38 kr./PE	0 kr./PE	118 kr./ton CO ₂
Anlæg D	47 kr./PE	-0,98 kr./PE	0 kr./PE	1.100 kr./ton CO ₂
Gennemsnitsanlæg	51 kr./PE	-3,50 kr./PE	0 kr./PE	408 kr./ton CO ₂

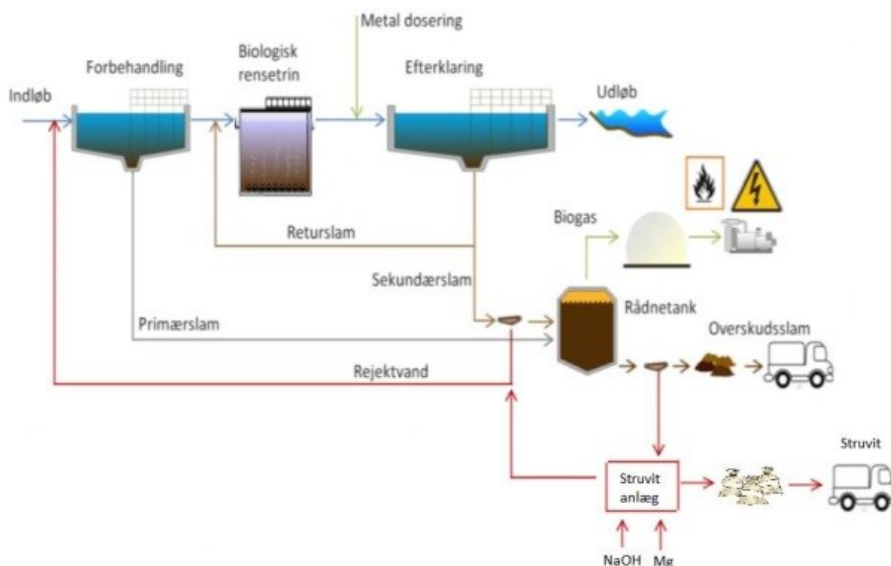
Som det kan ses af tabellen er de gennemsnitlige investeringsomkostninger 51 kr./PE og introduktionen af bundbeluftning har i gennemsnit betydet at driftsomkostningerne er faldet 3,50 kr./PE. Teknologien medfører ikke en indkomst til anlægget. Skyggeprisen er beregnet til gennemsnitligt 408 kr. pr reduceret ton CO₂-ækvivalent – dog med variationer anlæggene imellem.

Fosforgenanvendning med Struvit

Hovedformålet med denne teknologi er at udnytte fosforressourcen i spildevandet til produktion af fosforgødning (struvit) til landbruget.

For at fjerne fosfor fra spildevandet bruges metoden biologisk fosforfjernelse (Bio-P) ofte. Ved denne metode bruges PAO-bakterier (i stedet for kemikalier) til at optage og lagre fosfaten inde i cellerne. Fosfaten fjernes på den måde sammen med slammet i biotilgængelig form.

På anlæg med rådnetank vil der her ske et henfald af nogle af PAO bakterierne, sådan at fosfaten frigives til rejektvandet og føres med tilbage til indløbsfasen. For at reducere denne interne belastning kan man etablere et anlæg med struvitfældning, et eksempel på sådan et renseanlæg, kan ses på figur 4 nedenfor. Ved struvitfældning tilføres magnesium (Mg) til det fosfor- og ammoniumholdige rejektvand, hvorved struvit udfældes. Dette resulterer i et fosforprodukt af høj kvalitet (Thomsen et al., 2015).



Figur 4 Skitse af Type 3 renseanlæg (kilde: (Jensen, et al., 2015)), med Struvitfældning

CO₂-reduktionen sker ved substitution af fossilt baseret gødning og hvis udgangspunktet er kemisk fosforfjernelse er der en CO₂-reduktion ved ophørt brug af fældningskemikalier.

Beregningen af CO₂-reduktionen er foretaget som herunder. Data til udregningen fremgår af Tabel 10.

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 - \text{reduktionen fosforgenvinding med Struvit} \\ &= \text{Total CO}_2_{\text{fodaftryk T3b}} \\ &- \text{Total CO}_2_{\text{fodaftryk T3b} + \text{fosforgenvinding med Struvit}} \end{aligned}$$

Tabel 10: Data brugt til udregning af CO₂-reduktionen ved fosforgenvinding med Struvit

	Værdi	Enhed	Kilde
Total CO ₂ -fodaftryk T3b	0,330	kg CO ₂ -ækv./m ³	(Thomsen, et al., 2015)
Total CO ₂ -fodaftryk T3b + fosforgenvinding med Struvit	0,301	kg CO ₂ -ækv./m ³	(Thomsen, et al., 2015)
Teoretisk potentiale	5.436.979	PE	(NIRAS, 2016)
CO ₂ -reduktionen fosforgenvinding med Struvit	<u>0,029</u>	<u>kg CO₂-ækv./m³</u>	
CO ₂ -reduktionspotentiale	<u>11.510</u>	<u>Ton CO₂-ækv.</u>	Afsnit 0

Skyggeprisberegning

Til at beregne CO₂-skyggeprisen for fosforindvinding med struvit har det kun været muligt at indsamle fyldestgørende økonomisk data fra et anlæg. Der er indsamlet data fra et yderligere renseanlæg, men disse tal er ikke medtaget da der ikke er tilgængelige oplysninger om ændringer i driftsomkostninger.

Tabel 11: Resultat af skyggeprisberegninger for fosforindvinding med struvit

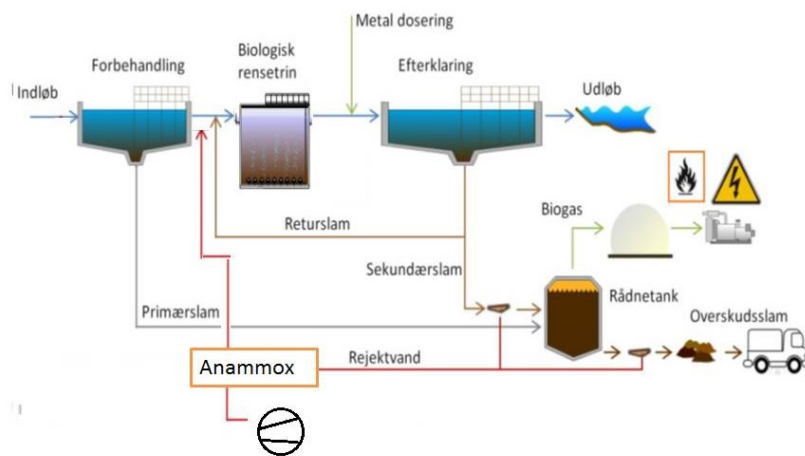
Anlæg	Investeringsomkostning pr PE	Ændringer i driftsomkostninger / PE	Årlig indkomst fra mersalg / PE	Beregnet skyggepris
Anlæg A	48 kr./PE	-0,42 kr./PE	3,11 kr./PE	1.012 kr./ton CO ₂

Af tabellen ses det at de gennemsnitlige investeringsomkostninger 48 kr./PE og introduktionen af fosforjernelse med struvit i gennemsnit har betydet at driftsomkostningerne er faldet med 0,42 kr./PE. Der er beregnet en årlig indkomst fra salg af struvit på 3,11 kr./PE. Skyggeprisen er beregnet til 1.012 kr. pr reduceret ton CO₂-ækvivalent.

Kvæstoffjernelse med Anamox

Hovedformålene med denne teknologi er at øge anlæggets kapacitet samt at øge biogasproduktionen. Der er vist et eksempel på sådan et renselanlæg på figur 5 nedenfor. Princippet i Anammox er, at én bakteriekultur indledningsvis omdanner NH_4^+ til NO_2^- under aerobe forhold, og at en anden Anammox bakteriekultur efterfølgende omdanner den resterende del af NH_4^+ til frit kvælstof ved brug af NO_2^- under anaerobe forhold (Thomsen et al., 2015). Derved forbigås den kulstofspisende denitrifikationsproces i dannelsen af frit kvælstof.

Det er vigtigt at NO_2^- ikke oxideres til NO_3^- . Derfor skal mængden af nitrit-oxiderende bakterier (NOB) holdes nede. Dette sikres ved vandtemperaturer på 28°C eller derover. Derfor er de fleste erfaringer med Anammox relateret til behandling af spildevand med høj temperatur, som f.eks. rejektivand fra afvanding af udrådnet spildevandsslam (Thomsen et al., 2015).



Figur 5 Skitse af Type 3 renselanlæg (kilde: (Jensen, et al., 2015)), med kvæstoffjernelse med Anammox

CO_2 -reduktion sker ved at udnytte mere af det kulstof der tilføres renselanlægget til biogasproduktion, der kan substituere el og varme baseret på fossile brændsler, samt et lavere energiforbrug til beluftning.

Energiproduktionen øges ved at biogasproduktionen øges ved et øget input. Dertil er en besparelse på energiforbrug til beluftning.

Beregningen af energipotentialet ved kvæstoffjernelse med Anammox er foretaget som herunder. Data til udregningen fremgår af Tabel 10.

$$\begin{aligned} \text{Energibesparelspotentiale}_{\text{Anammox}} &= (\text{Energiforbrug}_{\text{konventionel-median}} - \text{Energiforbrug}_{\text{Anammox-median}}) \\ &\quad * N_{\text{inlet}} * \text{omregningsfaktor}_{\text{m}^3 \text{ til PE}} * \text{teoretisk potentiale} \end{aligned}$$

Tabel 12: Data brugt til udregning af CO₂-reduktionen og energispare- og produktionspotentialet ved kvælstoffjernelse med Anammox

	Værdi	Enhed	Kilde
Total CO ₂ -fodafttryk T3b	0,33	kg CO ₂ -ækv./m ³	(Thomsen, et al., 2015)
Total CO ₂ -fodafttryk T3b + Kvælstoffjernelse med Anammox	0,276	kg CO ₂ -ækv./m ³	(Thomsen, et al., 2015)
Lattergasemission	2,3	vægtprocent af N-total	(Kampschreur, et al., 2008)
Lattergasudledningsfaktorer	4,99	g N ₂ O/kg N	(Thomsen, et al., 2015)
Teoretisk potentiale	6.152.960	PE	(NIRAS, 2016)
Energibesparelse	0-1,5	GWh/år	(Thomsen, et al., 2015)
Energiproduktion	0,34	GWh/år	(Thomsen, et al., 2015)
Energiforbrug	1,1-1,7	kWh/kg N	(Thomsen, et al., 2015)
Median Energiforbrug	1,4	kWh/kg N	
Energiforbrug konventionel	1,7-4,6	kWh/kg N	(Thomsen, et al., 2015)
Median Energiforbrug Konventionel	3,15	kWh/kg N	
N _{inlet}	0,0603	kg N/ m ³	(Thomsen, et al., 2015)
N ₂ O GWP faktor	298	g CO ₂ -ækv./g N ₂ O	(Energistyrelsen, 2013)
CO ₂ -reduktionen Kvælstoffjernelse med Anammox	<u>0,054</u>	<u>kg CO₂-ækv./m³</u>	
CO ₂ -reduktionspotentiale	<u>24.255</u>	<u>Ton CO₂-ækv.</u>	Afsnit 0
Energiproduktionspotentiale	<u>21</u>	<u>GWh</u>	
Energibesparelspotentiale	<u>92</u>	<u>Gwh</u>	

Sammensætningen af indløbsspildevandet i (Thomsen, et al., 2015) har et højere indhold af COD end den standard PE den nationale potentiale er baseret på, hvilket kan give et højere energiproduktionspotentiale end hvis de to PE havde samme sammensætning (se afsnit 0). Det skal dog holdes for øje at spildevandets sammensætning er forskelligt fra anlæg til anlæg og dermed findes en større usikkerhed om det nationale potentiale, da spildevandets sammensætning har betydning for effektiviteten i rensenanlægget.

Beregning af øget lattergasudledning

I analysen af (Thomsen, et al., 2015) medtages en øget lattergasudledning i forbindelse med kvælstoffjernelse med Anammox ikke. Forskning peger på at der er en øget udledning af lattergas i forbindelse med kvælstoffjernelse med Anammox, og derfor medtages i denne analyse et tillæg til CO₂-reduktionspotentiale, hvor der regnes med en øget lattergasudledning.

Det der adskiller det nationale CO₂-reduktionspotentiale for Anammox uden N₂O, fra det nationale CO₂-reduktionspotentiale for kvælstoffjernelse med Anammox, hvor merudledningen af lattergas medtages (herefter henvist til som Anammox med N₂O) er forskellen mellem lattergasudledningsfaktorerne ganget med kvælstofmængden i det kvalificerede nationale potentiale estimeret af NIRAS, som også bruges til udregning af det nationale CO₂-reduktionspotentiale for Anammox uden N₂O. Der antages at 20 % af kvælstoffet i indløbet kommer i rejktvandet.

$$CO_2\text{-øget lattergasudledning} = 4,4 \frac{kg N}{PE} * 0,2 * 0,067 \frac{kg N_2O}{kg N} * 298 \frac{kg C_2O}{kg N_2O} = 18 \frac{kg C_2O}{PE}$$

Forskellen mellem lattergasudledningsfaktorerne er udregnet ved:

$$Forskel_{lattergasudledningsfaktorer} = 72,1 \frac{g N_2O}{kg N} - 4,99 \frac{g N_2O}{kg N} = 67,3 \frac{g N_2O}{kg N}$$

Lattergasudledningen fra (Kampschreur, et al., 2008) er omregnet ved:

$$2,3 \% = 0,023 * 1000 g N = 23 g N_2O - N / kg N$$

$$23 g N_2O - N / kg N = \frac{23 g N_2O - N / kg N}{14 \frac{g}{mol}} * 44 \frac{g}{mol} = 72,1 \frac{g N_2O}{kg N}$$

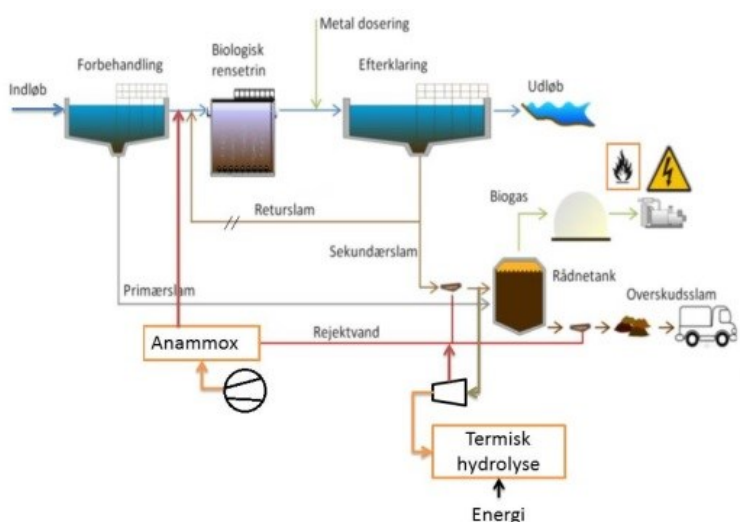
Udledningen af lattergas fra renselanlæg med og uden Anammox er et område der for-skes i, og derfor er det uvist i hvilket omfang teknologien er en belastning for klimaet. Opsamling og fjernelse af lattergasudledningen i Anammox-tanken kan blive en tilføjelse til Anammox-teknologien, hvis forskningen peger på at lattergasudledningen i for-bindelse med Anammox er en belastning for klimaet. Det er muligt, at ændrede processtyringer beregnet til minimering af lattergasudviklingen i fremtiden vil kunne reducere lattergasemissionerne ved denne teknologi.

Skyggeprisberegning

Der er ikke lavet skyggeprisberegninger, da analyse viser at teknologien fører til en øget lattergasudvikling.

Termisk hydrolyse af slam

Termisk hydrolyse kan understøtte flere formål herunder at øge kapaciteten, øge biogasproduktionen, eller hygiejniserer slammet. På figur 6 nedenfor, ses en skitse af et renselæg, med termisk hydrolyse af slam. Slammet behandles ved 165 grader celsius og 6,5 bar tryk i 30 minutter, hvilket bl.a. gør det organiske stof bedre tilgængeligt i rådnetanken (dansk-kemi-online⁹).



Figur 6 Skitse af Type 3 renselæg (kilde: (Jensen, et al., 2015)), med termisk hydrolyse af slam

Med udgangspunkt i anlægsdata er der udregnet en merproduktion af energi på 0,3 kWh/kg COD, der kan tilskrives termiske hydrolyse.

Tabel 14: Data brugt til udregning af CO₂-reduktionen og energispare- og produktionspotentialet ved termisk hydrolyse af slam

	Værdi	Enhed	Kilde
Teoretisk potentiale	6.152.960	PE	(NIRAS, 2016)
COD teoretisk potentiale	269.500	Ton COD	(NIRAS, 2016)
CO₂- emission pr. solgt kWh, faktisk	326	g/kWh	(Energistyrelsen, 2014)
Omsætningsfaktor	0,3	kWh/kg COD	(NIRAS, 2016)
CO₂-reduktionspotentiale	<u>27.627</u>	<u>Ton CO₂-ækv.</u>	Afsnit 0
Energiproduktionspotentiale	<u>145</u>	<u>GWh</u>	

⁹ Dansk kemi-online: <http://www.danskkemi-online.dk/2002/03/01/avanceret-biomassebehandling-ved-termisk-hydrolyse/>

Skyggeprisberegning

Dataindsamlingen for termisk hydrolyse er behæftet med stor usikkerhed. Data er indsamlet på et anlæg, hvor der er stor usikkerhed om driftsomkostningerne tilknyttet denne teknologi. Derudover har et andet anlæg oplyst at man har lavet økonomiske beregninger for indførslen af termisk hydrolyse, men har fundet at indholdet af organisk materiale i spildevandet ikke er højt nok til at gøre investeringen rentabel. Resultaterne er derfor ikke gengivet i hovedrapporten.

Tabel 15: Resultat af skyggeprisberegninger for termisk hydrolyse af slam

Anlæg	Investeringsomkostning pr PE	Ændringer i driftsomkostninger / PE	Årlig indkomst fra mersalg / PE	Beregnet skyggepris
Anlæg A	250 kr./PE	57 kr./PE	13 kr./PE	8.039 kr./ton CO ₂

Biogas fra forbeholdt affald

Hovedformålet med denne teknologi er at forbedre udnyttelsen af organisk affald. En uudnyttet kapacitet i anlæggets rådetank nyttiggøres ved at tilføje ekstern biomasse f.eks. forbeholdt affald, som derved bidrager til produktionen af biogas.

CO₂-reduktion sker ved produktion af biogas baseret på forbeholdt affald.

CO₂-reduktionen og energiproduktionen ved produktion af biogas baseret på forbeholdt affald er ikke afhængig af anlæggets kapacitet på samme måde som de andre teknologier er, men er derimod afhængig af mængden af tilgængeligt organisk affald, hvorfor NIRAS har estimeret et potentiale for energiproduktion og CO₂-reduktion baseret på den tilgængelige kapacitet i de danske biogasanlæg.

Tabel 16: Data brugt til udregning af CO₂-reduktionen og energispare- og produktionspotentialer ved biogasproduktion fra forbeholdt affald

	Værdi	Enhed	Kilde
Teoretisk potentiale	609.100	PE	(NIRAS, 2016)
COD teoretisk potentiale	269.500	Ton COD	(NIRAS, 2016)
CO₂-emission pr. solgt kWh, faktisk	326	g/kWh	(Energistyrelsen, 2014)
Omsætningsfaktor	1,2	kWh/kg COD	(Thomsen, et al., 2015)
CO₂-reduktionspotentiale	<u>10.130</u>	<u>Ton CO₂-ækv.</u>	Afsnit 0
Energiproduktionspotentiale	<u>49</u>	<u>GWh</u>	

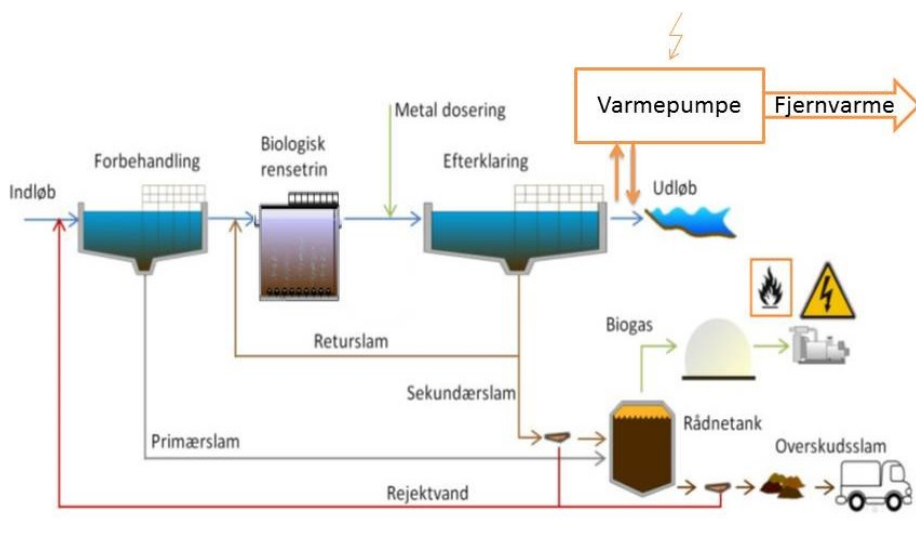
Skyggeprisberegning

Det er udfordrende at indsamle specifik driftsøkonomisk data for biogas af forbeholdt affald, da der findes en række forudsætninger om input og anlægstyper som er forskellige fra anlæg til anlæg.

I grafen er gengivet den samfundsøkonomiske CO₂-skyggepris beregnet af IFRO i 2013, i rapporten: "Biogasproduktion i Danmark – Vurderinger af drifts- og samfundsøkonomi" (Jacobsen et al., 2013)

Varmepumper

Hovedformålet med denne teknologi er at udnytte varmpotentialet i spildevandet. Varmepumper installeres f.eks. ved udløbet og udnytter den varmeenergi, som spildevandet indeholder. Denne varme kan supplere fjernvarmenettet. Der er vist et eksempel på sådan et renselanlæg på figur 7 nedenfor. I denne analyse er der taget udgangspunkt i varmpumper på udløbet, hvor varmen skal bruges til fjernvarme.



Figur 1 Skitse af Type 3 renselanlæg (kilde: (Jensen, et al., 2015)), med varmpumpe

CO₂-reduktion sker ved at udnytte varmen fra udløbsvandet, der kan substituere varme baseret på fossile brændsler.

Potentialet for varmeproduktion med varmpumpe er udregnet ved:

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

Hvor Q er varmen i kJ, m er massen af 1 m³ vand i kg, c_p er vands specifikke varmekapacitet (4,18 kJ/kg/grad) og ΔT er temperaturforskellen mellem ind- og udløbet i varmpumpen.

Tabel 17: Data brugt til udregning af CO₂-reduktionen og energispare- og produktionspotentialet ved varmpumper

	Værdi	Enhed	Kilde
Teoretisk potentiale	3.919.813	PE	(NIRAS, 2016)
Temperaturforskel ΔT	4	Grader celsius	
CO₂- emission pr. solgt kWh, faktisk	326	g/kWh	(Energistyrelsen, 2014)
COP	3	MW/MW	
CO₂-reduktionspotentiale	<u>433.251</u>	<u>Ton CO₂-ækv.</u>	Afsnit 0
Energiproduktionspotentiale	<u>1.772</u>	<u>GWh</u>	

Det afgørende for CO₂-reduktionspotentialet bliver den varme, varmen fra varmpumpen substituerer. Der er størst reduktionspotentiale, hvis den erstatter fossilt brændsel som natur-

gas og et negativt reduktionspotentiale, hvis den erstatter varme fra grøn energi som fx biogas.

Skyggeprisberegning

Det har været muligt at indsamle økonomisk data for et renseanlæg som har installeret varmepumper.

Tabel 18: Resultat af skyggeprisberegninger for varmepumper

Anlæg	Investeringsomkostning pr PE	Ændringer i driftsomkostninger / PE	Årlig indkomst fra mersalg / PE	Beregnet skyggepris
Anlæg A	494 kr./PE	86,97 kr./PE	112,13 kr./PE	182 kr./ton CO ₂

Af tabellen ses det at investeringsomkostningen på det specifikke anlæg har været 494 kr./PE. Installeringen af varmepumper har øget driftsomkostningerne med 87kr./PE., mens man opnår en årlig merindtægt på 112 kr. fra salg af varme. Skyggeprisen er beregnet til 182 kr. pr reduceret ton CO₂-ækvivalent.

Styring af lattergasemission

Hovedformålet med denne teknologi er at styre udledningen af lattergas. Måling af lattergasproduktionen er en forudsætning for aktiv styring mod minimering af lattergas i spildevandsrensningen. Lattergas dannes når kvælstoffet i spildevandet ikke omsættes fuldstændigt til frit kvælstof. Den ufuldstændige omsætning kan afhænge af f.eks. lave iltniveauer i procestanke, manglende COD til denitrifikation samt svingende driftsforhold. Lattergas er en potent drivhusgas, der er cirka 300 gange kraftigere end CO₂.

CO₂-reduktionen ved 30 % reduktion af lattergasemissionen er på 2 kg/PE.

$$CO_2 - \text{reduktion} = N_{inlet} * EF_{N_2O} * GWP_{N_2O} * 0,3$$

Tabel 19: Data brugt til udregning af CO₂-reduktionen og energispare- og produktionspotentialet ved styring af lattergasudledning

	Værdi	Enhed	Kilde
N ₂ O GWP faktor	298	g CO ₂ -ækv./g N ₂ O	(Energistyrelsen, 2013)
Lattergasudledningsfaktorer EF _{N₂O}	4,99	g N ₂ O/kg N	(Thomsen, et al., 2015)
Teoretisk potentiale	9.200.000	PE	(NIRAS, 2016)
N _{inlet}	0,0603	kg N/ m ³	(Thomsen, et al., 2015)
CO ₂ -reduktionen ved reduktion af lattergasudledning	<u>0,03</u>	<u>kg CO₂-ækv./m³</u>	
CO ₂ -reduktionspotentiale	<u>18.066</u>	<u>Ton CO₂-ækv.</u>	Afsnit 0

Der er ingen yderligere energiproduktion ved teknologien og der kan ved indførelse af styring efter minimeret lattergasemission være et øget energiforbrug til beluftning.

Skyggeprisberegning

Det har ikke været muligt at indsamle specifik økonomisk data på omkostningerne og resultaterne fra renselanlæg som har implementeret teknologien. Unisense Environment A/S (www.unisense-environment.com) oplyser i et case-arbejde at skyggeprisen ved indførelse af teknologien er 100 kr. / ton CO₂-ækvivalent (\$15 / ton CO₂-ækvivalent).

Økonomiske forudsætninger

Tabel 20: Oversigt over danske renseanlæg baseret på data fra Forsyningssekretariatets data-indsamling 2015

Faktor	Værdi	Kilde
Diskonteringsrente, samfundsøkonomiske beregninger	4 %	Finansministeriets vejledning for samfundsøkonomiske analyser
Diskonteringsrente, selskabsøkonomiske beregninger	2 %	Estimat
Årlig vandmængde pr PE (m ³)	73 m ³ /PE/år	Beregnet ud fra standard PE (<i>Analyse af potentialer for ressourceudnyttelse i vand og spildevandsforsyningen</i>), hvor den daglige vandmængde pr PE er oplyst til 200 L (se også afsnit om usikkerheder)
Pris magnesium (MgCl ₂ ·6H ₂ O)	2.000,00 kr./ton	Estimat
Pris Lud (NaOH, 27,65%):	2.700,00 kr./ton	Estimat
Pris Jernklorid (FeCl – "JKL"):	1.100,00 kr./ton	Estimat
Pris – el, køb	Fremskrevet som af Energistyrelsen	Energistyrelsens Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2016, tabel 7, An virksomhed
Pris – el, salg	Fremskrevet som af Energistyrelsen	Energistyrelsens Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2016, tabel 7, spotpris
Pris – gas, køb	Fremskrevet som af Energistyrelsen	Energistyrelsens Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2016, tabel 6, An forbruger
Pris – varme, salg	250 kr. / MWh	Estimat
Pris – varme, køb	350 kr./ MWh	Estimat
Pris - overskudsslam	300 kr./ton	Estimat
Pris – 1 årsværk på renseanlæg	400.000 kr./år	Estimat

Litteratur

- Energistyrelsen, 2013. Notat - Nye global warming potential faktorer. [Online]
Available at: http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/samfundsoekonomiske-beregnings-forudsætninger/notat_nye_gwp_juni_2013.pdf
[Senest hentet eller vist den 10 august 2016].
- Energistyrelsen, 2014. Danske nøgletal. [Online]
Available at: <http://www.ens.dk/info/tal-kort/statistik-nogletal/nogletal/danske-nogletal>
[Senest hentet eller vist den 10 marts 2016].
- Jacobsen, B. H., Laugesen, F. M., Dubgaard, A., Bojesen, M., 2013: Biogasproduktion i Danmark - vurderinger af drifts- og samfundsøkonomi, IFRO rapport 220
- Jensen, M. D. et al., 2015. Bæredygtig udnyttelse af fosfor fra spildevand, København: Miljøstyrelsen.
- Kampschreur, M. J. et al., 2008. Dynamics of nitric oxide and nitrous oxide emission during full-scale reject water treatment. *Water Research*, 42(3), pp. 812-826.
- NIRAS, 2016. Dataindsamling - Tekniske og økonomiske data for danske spildevandsforsyninger. s.l.:s.n.
- NIRAS, 2016. Sektoranalyse - danske renselanlægs teknologiudbredelse. s.l.:s.n.
- Thomsen, M., 2015. Skyggeprisberegninger - Spørgsmål til LCA'en [Interview] (22 december 2015).
- Thomsen, M., Ottosen, T. W. & Drejer, L. N., 2015. Analyse af potentialer for ressourceudnyttelse i vand- og spildevandsforsyningen, København: Miljøstyrelsen.



Styrelsen for Vand- og
Naturforvaltning
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.svana.dk