

# Slam – Fremtidens renseanlægs energiresource

FORSKNINGS- OG UDREDNINGSPROJEKT NR. 17



Vandhuset • Godthåbsvej 83 • 8660 Skanderborg • Tlf.nr.: 7021 0055  
• Fax: 7021 0056  
danva@danva.dk • www.danva.dk



**DANVA**  
Dansk Vand- og  
Spildevandsforening



ISBN: 978-87-92651-01-3

Titel: Slam – Fremtidens renseanlægs energiresource

Udgiver: DANVA  
Vandhuset  
Godthåbsvej 83  
8660 Skanderborg

Udarbejdet af:  
Krüger

Finansiering:  
Vejledningen er finansieret af  
DANVA Forskning- og Udredningskonto

Granskning og høring

Projektet er gennemført af Krüger A/S i samarbejde med følgende projektgruppe:

- Århus Vand A/S ved Driftsingeniør Henrik Frier
- Faxe Forsyning ved Driftsleder Lars E. Hansen
- Allerød Spildevand A/S ved Ingeniør Charlotte Frandsen
- Randers Spildevand A/S ved Driftschef Martin Thau
- Veolia Vand A/S ved Driftschef Tom Korsgaard Jørgensen

2010

# Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1	Baggrund	1
<b>2</b>	<b>Inspiration</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Metodebeskrivelse</b>	<b>6</b>
3.1	Beregningsgrundlag	8
<b>4</b>	<b>Præsentation af cases</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Resultater fra Århus Vand A/S</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Resultater fra Allerød Spildevand A/S</b>	<b>16</b>
<b>7</b>	<b>Resultater fra Randers Spildevand A/S</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>Resultater fra Faxe Forsyning</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>Generelle erfaringer og overordnede konklusioner</b>	<b>24</b>
9.1.1	Energiforbrug	24
9.1.2	Transport	25
9.1.3	Polymerforbrug	25
9.1.4	Udrådning	25
9.1.5	Direkte forbrænding af slam	26
9.1.6	Tørring af slam	27
9.1.7	Lagring, slammineralisering og landbrugsanvendelse	28
9.1.8	Kompostering	28
<b>10</b>	<b>Diskussion/konklusion</b>	<b>30</b>
<b>11</b>	<b>Perspektivering ved arbejdet med miljøvurdering</b>	<b>32</b>

# 1 Introduktion

Dette idékatalog samler resultater og erfaringer, der er opnået i forbindelse med gennemførelsen af projektet: "Energy - sludge".

Projektet er gennemført af Krüger A/S i samarbejde med følgende projektgruppe:

- Århus Vand A/S ved Driftsingeniør Henrik Frier
- Faxe Forsyning ved Driftsleder Lars E. Hansen
- Allerød Spildevand A/S ved Ingeniør Charlotte Frandsen
- Randers Spildevand A/S ved Driftschef Martin Thau
- Veolia Vand A/S ved Driftschef Tom Korsgaard Jørgensen

Projektet er finansieret af de deltagende forsyninger samt med støtte fra DANVA's forsknings- og udredningsmidler.

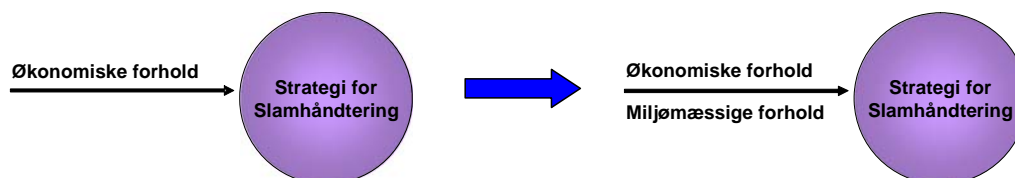
Idékataloget har til formål at samle de overordnede generelle konklusioner, ud fra de løbende vurderinger, der er lavet i projektet. Såfremt læseren har ønske om en mere detaljeret gennemgang af projektet henvises til Baggrundsrapporten samt de fire del-rapporter, der beskriver de udførte undersøgelser. (alle dateret d. 16. juli 2010).

## 1.1 Baggrund

Med omlægningen af affaldsforbrændingsafgiften i januar 2010 er der åbnet for flere muligheder til at udnytte slammets energiindhold på en mere økonomisk attraktiv måde end tidligere. Dette alene kan give grundlag for, at mange forsyninger kan overveje, om den eksisterende slamhåndteringsstrategi skal revurderes. Hertil kommer ændrede strukturer som følge af kommunalreformen med de deraf følgende nedlæggelser af mindre renseanlæg og udvidelser af større centrale renseanlæg. I denne forbindelse kan der derfor opstå flere muligheder for at optimere slamhåndteringen miljømæssigt, økonomisk såvel som energimæssigt.

I andet halvår af 2009 blev verdens fokus på CO<sub>2</sub>-udledning skærpet kraftigt som følge af klimakonferencen i København. Dette afspejles i spildevandsbranchen, hvor bæredygtighedsbegreber og tanker omkring udledningen af drivhusgasser er blevet en del af hverdagen.

Dette forsknings- og udredningsprojekt er et resultat af ovenstående udvikling og trend, og har til formål at inspirere de danske forsyningsselskaber til i højere grad at anvende overvejelser om miljøeffekter, energi og CO2, når der skal træffes beslutninger om slamhåndteringsstrategi.



Projektet er gennemført ved gennemgang af de aktuelle slamhåndteringsstrategier, som allerede anvendes i de deltagende forsyninger:

- Århus Vand A/S
- Faxe Forsyning
- Allerød Spildevand A/S
- Randers Spildevand A/S

Foruden de nuværende strategier er der for hver forsyning supplerende lavet vurderinger af de alternative løsninger til slamhåndteringen, der overvejes fremadrettet.

Alle beregninger er afrapporteret i de fire del-rapporter, der tager afsæt i baggrundsrapporten. I dette idékatalog præsenteres de overordnede konklusioner, og der perspektiveres i forhold til de erfaringer, der er blevet gjort undervejs.

## 2 Inspiration

### Hvilken slamstrategi er den rigtige?

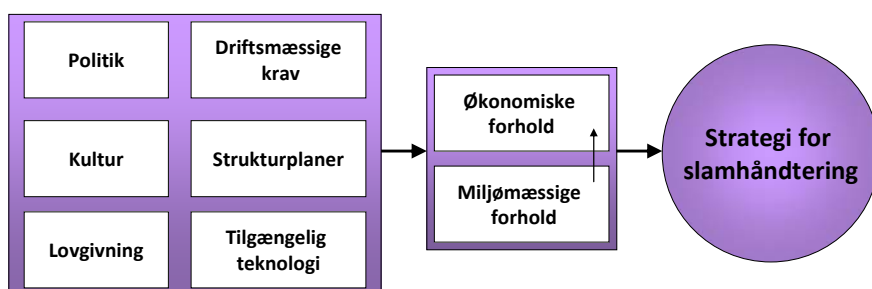
Under udarbejdelsen af dette projekt har dette spørgsmål været fremme flere gange, og det er konstateret, at der ikke findes noget entydigt svar herpå - ikke engang når vi kun fokuserer på CO<sub>2</sub>.

Svaret er altid fulgt af et: - det kommer an på...

- og vi ender ved, at der findes flere forskellige rigtige slamhåndteringsstrategier for de forskellige forsyninger i Danmark.

Hovedbudskabet med dette idékatalog er, at valget af den rigtige slamhåndteringsstrategi afhænger af mange forskellige aspekter.

De forskellige aspekter, der i større eller mindre grad påvirker valget af slamhåndteringsstrategi ved den enkelte forsyning, er illustreret på følgende figur:



Det ses, at der er adskillige og meget forskellige aspekter, der indvirker på såvel de økonomiske som de miljømæssige forhold, hvorfra slamstrategien vælges. I det efterfølgende afsnit er eksempler for hvert aspekt kort præsenteret. Figuren viser en pil fra de miljømæssige forhold til de økonomiske forhold. Dette illustrerer, at det i fremtiden forventes, at der i stigende grad vil blive betalt afgift i forhold til miljøpåvirkningerne. Dette anvendes generelt som et reguleringsredskab til at minimere eksempelvis CO<sub>2</sub>-udledningen, og sådanne tiltag forventes at blive en stigende del af hverdagen for forsyningsselskaberne.

**Politik:** Omlægningen af forbrændingsafgiften illustrerer godt, hvor stor indflydelse politik har på valget af slamstrategi. De teknisk og økonomisk attraktive muligheder for slambehandlingen er ændret markant efter at det i højere grad er blevet fordelagtigt at foretage en forbrænding af slammet.

Modsat denne tendens er Miljøstyrelsens anbefaling stadig, at slammet bør genanvendes på landbrugsjord af hensyn til genbrug af fosfor. Rent politisk påvirker dette valget af slamstrategi i en retning af landbrugsløsningen. Over for dette står DANVA's forsigtighedsprincip, der anbefaler, at slammet ikke bruges på landbrugsjord, idet det ikke er dokumenteret, at udspreddingen ikke giver anledning til nogen langtidseffekter og da man ikke vil risikere nogen forurening af grundvandet pga. nedsvivning som følge af udspreddingen af slammet.

**Kultur:** Valg af strategi er i høj grad påvirket af de kulturelle forhold og etiske overvejelser. Herhjemme kan nævnes store fødevarereproducenters uvilje mod slam på landbrugsjord, ligesom økologiske landbrug ikke modtager spildevandsslam. De kulturelle forhold kan hurtigt ændres som følge af opmærksomhed i medierne og påvirker løbende valget af slamstrategi.

**Lovgivning:** Den gældende lovgivning og kommende ændringer i lovgivningen fra både Danmark og EU er afgørende for valg af slamstrategi. Som eks. kan nævnes kravet til slamkvaliteten, der helt overordnet afgør, om en landbrugsløsning kan vælges for forsyningen. Et andet illustrativt eksempel er udkastet til miljøansvarsdirektivet, der blev behandlet i foråret 2007. Dette ville have pålagt forsyningerne det fulde ansvar for alle udviklingsskader på miljøet som følge af anvendelsen af spildevandsslammet på landbrugsjord<sup>1</sup>. Såfremt dette var gennemført, ville det sandsynligvis have påvirket landbrugsanvendelsen af slam kraftigt.

**Driftsmæssige krav:** For forsyningsvirksomheden er kravet til arbejdsmiljø ved den valgte strategi vigtig, ligesom sikkerheden for at kunne afsætte den daglige slamproduktion er afgørende for driften. Disse aspekter er flere steder de vigtigste ved valg af slamstrategi.

**Strukturplaner:** Når slamstrategien skal vælges, er det nødvendigt at kigge på, hvor meget slam der produceres og med hvilken kvalitet. Dette er resultatet af udviklingen af det omkringliggende samfund mht. belastning af renseanlægget samt sammensætningen af spildevandet. Er der en ændring i slammængde såvel som kvalitet undervejs, skal dette indtænkes ved valg af strategi. Her bør der især fokuseres på den industrielle tilledning af spildevand.

**Tilgængelig teknologi:** Tidligere blev slam kun opfattet som et restprodukt. I dag opfattes det i højere grad som en potentiel ressource. Dette giver ønske om udvikling af ny teknologi til afvanding, udrådning, tørring, forbrænding og udvinding af næringsstoffer, f. eks fosfor, fra slammet/asken.

Rammerne i forhold til forbrænding af slam er som nævnt netop ændret markant, hvorfor det må forventes, at teknologier vedrørende dette udvikles eller tilpasses og implementeres på det danske marked. Herunder kan den intensive forskning og udvikling, der foregår i forhold til genvinding af fosfor fra forbrændingsasken nævnes. Manglen på fosfor som ressource samt en forventet øget askeproduktion giver grundlag for udviklingen af teknologier.

Kompleksiteten ved valg af slamstrategi er åbenlys stor og illustrerer, hvor vanskeligt et spørgsmål, der egentligt stilles som indledning til dette afsnit:

---

<sup>1</sup> Direktivet i første udkast blev ikke vedtaget



### **Hvilken slamstrategi er den rigtige?**

Svaret på spørgsmålet kan kun være en ny række af spørgsmål:

- Hvilke krav skal strategien opfylde i forhold til daglig drift?
- Hvor sikker skal den være i forhold til afsætning?
- Hvilke løsninger er valgbare i forhold til slamkvalitet?
- Hvilke politiske anbefalinger skal følges?
- Hvilke teknologiske løsninger har vi?
- Hvad må det koste?

Med baggrund i disse spørgsmål, der generelt stilles ved valg af slamhåndteringsstrategi, er projektet: "Energy – sludge" udarbejdet med henblik på at undersøge og værdisætte forskellige slambehandlingsstrategiers CO<sub>2</sub>-emissioner.

Projektgruppen ønsker, at gennemgangen af de konkrete cases, kan give input til debatten omkring mulighederne for energiidnyttelse af slammet samt CO<sub>2</sub>-emissionerne som følge af slamhåndteringen.

### 3 Metodebeskrivelse

Projektet omhandler alene energiforbrug, energiproduktion og CO<sub>2</sub>-udledning fra behandlingen og slutdisponeringen af slammet fra renseanlæg. Der medregnes således ikke energiforbrug eller CO<sub>2</sub>-udledninger ved selve produktionen af slam via spildevandsrensningen.

Det er desuden vigtigt at understrege, at projektet ikke er en livscyklusanalyse, men en opgørelse af energiforbrug og CO<sub>2</sub>-udledningen ved forskellige slamhåndteringsstrategier. Resultaterne heraf kan bruges som en del af den samlede miljøvurdering.

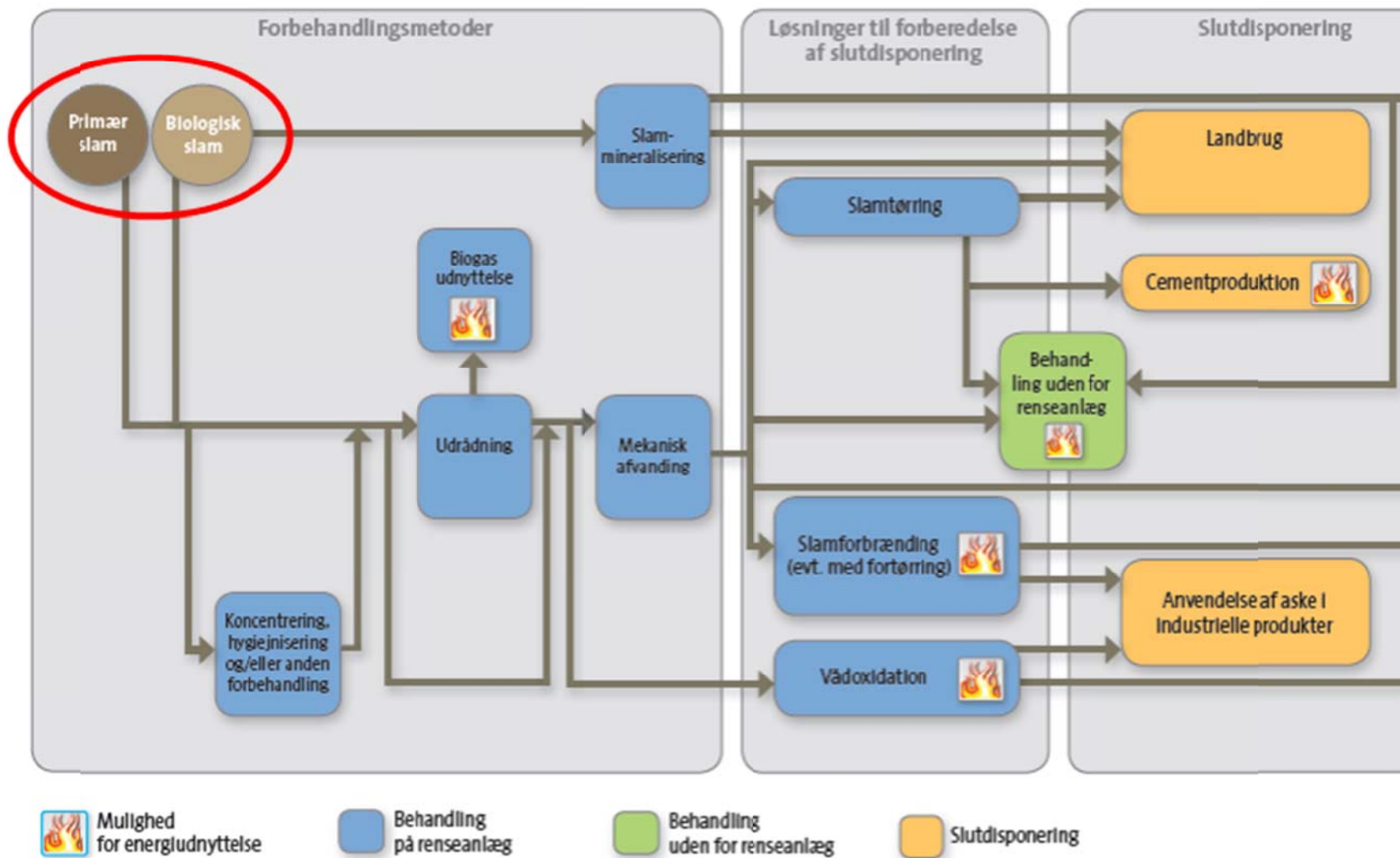
Da der redegøres for forskellige slambehandlingsstrategier er det vigtigt, at udgangspunktet er ens og dermed sammenligneligt. Dette udgangspunkt kaldes i livscyklusanalyser: "Den funktionelle enhed". Definitionen af den funktionelle enhed er vigtig, når ønsket er at sammenligne slambehandlingsstrategier.

Den funktionelle enhed i dette projekt er overskudsslam angivet som ton TS pr. år, der tages fra efterklaringsstanken eller primærtanken til den videre slambehandling. Dette er illustreret med en rød cirkel på Figur 1. CO<sub>2</sub>-opgørelsen medtager alle direkte og indirekte kilder og dræn (undgåede emissioner) til drivhuseffekten, fra slammet udtages som overskudsslam og til den endelige slutdisponering.

Ved alle beregninger af CO<sub>2</sub>-udledningen fra slamhåndteringen er den specifikke CO<sub>2</sub>-udledning, i forhold til den funktionelle enhed, angivet som ton CO<sub>2</sub>/ton TS. Dette benævnes i dette projekt som CO<sub>2</sub> nøgletallet for den samlede slamhåndteringsstrategi.

For at gennemføre en CO<sub>2</sub>-opgørelse er det nødvendigt at lave en systemafgrænsning, der præciserer, hvilke aktiviteter der medregnes i opgørelsen, og hvilke der undlades. I beregningerne medtages alle direkte forbrug i forbindelse med slamhåndteringen, der medfører en CO<sub>2</sub>-udledning. Dette kan eksempelvis være el-forbrug, naturgasforbrug og olieforbrug. På tilsvarende vis modregnes produktion af el og varme eller produkter, der kan erstatte traditionelle CO<sub>2</sub>-belastende produkter som eksempelvis kunstgødning eller kul. Denne modregning laves ved at substituere/fortrænge den CO<sub>2</sub>-udledning, der ville have været ved eksempelvis at producere kunstgødning. Der henvises til Baggrundsrapporten for nærmere beskrivelse af systemafgrænsningen.

Under udarbejdelsen af projektet er det erfaret, at det er særdeles vanskeligt at fastlægge CO<sub>2</sub>-udledningen fra mange af de aktiviteter, der er en del af slamhåndteringen. Se Figur 1. Der er i projektet anvendt mere end 60 nøgletal og emissionsfaktorer, der alle er vurderet og beskrevet i baggrundsrapporten.

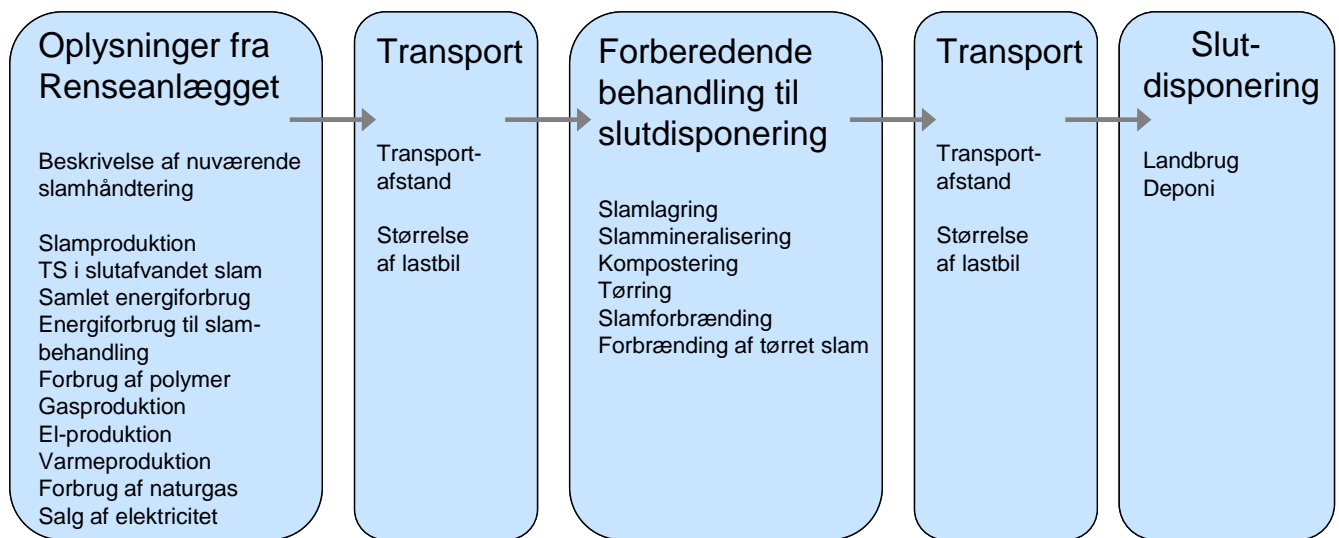


Figur 1: Oversigt over metoder til behandling og slutdisponering af slam fra DANVA's slamkatalog (vejledning nr. 82, Juni 2009, s. 19). Den funktionelle enhed i projektet er illustreret med en indsat rød cirkel.

### 3.1 Beregningsgrundlag

For hver enkelt case er der indsamlet data, der beskriver den nuværende slamhåndteringsstrategi. Desuden er der redegjort for de mulige fremtidsscenarier, der ønskes analyseret mht. strategiens CO2-udledning.

På Figur 2 illustreres, hvilke data der er indsamlet.



Figur 2: Oversigt over de anvendte parametre til CO2 og energiopgørelsen. I kasserne: "Forberedende behandling til slutdisponering" og "Slutdisponering" er de beskrevne løsninger anført.

I de fire del-rapporter er beregningsgrundlaget for alle de undersøgte cases præsenteret, mens de anvendte emissionsfaktorer er beskrevet i baggrundsrapporten.

## 4 Præsentation af cases

Følgende afsnit opsummerer konklusionerne fra CO<sub>2</sub>-opgørelserne for de fire deltagende forsyninger. Forsyningerne anvender i dag flere forskellige slamstrategier på de renseanlæg, der er med i undersøgelsen. De enkelte forsyninger har desuden valgt nogle mulige fremtidsscenerier, for hvilke CO<sub>2</sub>-udledningen er opgjort til sammenligning med status. Dette betyder, at der er adskillige slamhåndteringsstrategier repræsenteret i projektet. Tabel 1 viser til illustration de forskellige slutdisponeringsstrategier, der er undersøgt for forsyningerne.

Tabel 1: Oversigt over de medvirkende forsyninger og de undersøgte metoder til slutdisponering af slammet. Forsyningerne deltager med flere forskellige renseanlægsstørrelser og opbygninger, samt forskellig behandling af slammet inden slutdisponeringen.

	Direkte landbrug	SMA** og landbrug	Kompostering og landbrug	Tørring og landbrug	Tørring, kompostering og landbrug	Tørring og forbrænding	Direkte forbrænding
Århus Vand A/S*	X			X		X	X
Faxe Forsyning	X	X	X				X
Allerød Spildevand A/S	X						X
Randers Spildevand A/S	X		X	X	X	X	

\*Århus Vand A/S deltager ikke med de aktuelle slamhåndteringer ved forsyningens nuværende renseanlæg, men med 4 mulige fremtidsscenerier. \*\* SMA = slammineraliseringsanlæg

Projektet bygger primært på de aktuelle slamhåndteringer på renseanlæggene. For det enkelte anlæg kan der være nogle anlægsspecifikke forudsætninger, der er specielle, hvilket gør direkte sammenligning af anlæggene imellem vanskelig. Dette gælder med undtagelse af Århus Vand A/S, der indgår i projektet med et "fremtidigt" anlæg og der derfor er anvendt standardnøgletal til vurdering af procesforholdene for dette anlægsdesign i opgørelserne. Dette gør opgørelsen for Århus Vand A/S mere anvendelig for generel sammenligning end de virkelige cases.

I det følgende præsenteres de deltagende forsyningers slamhåndtering overordnet og CO<sub>2</sub>-opgørelserne præsenteres i de følgende underafsnit.

### Århus Vand A/S

I projektet undersøges et fremtidsscenario for Århus Vand A/S, idet det på sigt planlægges, at der skal være 2 renseanlæg i forsyningen. Det ene forventes at være på 400.000 PE, mens det andet forventes at være det nuværende Egå Renseanlæg på 100.000 PE. Det forudsættes i dette projekt, at slammet fra begge anlæg behandles fælles på det største anlæg. Slambehandlingen består af en optimeret anaerob udrådning (med mekanisk disintegration) samt en slutfvanding på centrifuge.

I de undersøgte scenarier er der valgt forskellige slutdisponeringsstrategier:

- Landbrugsanvendelse
- Slamforbrænding
- Tørring og landbrugsanvendelse
- Tørring og ekstern forbrænding

Der er således lavet i alt 4 opgørelser for Århus Vand A/S.

### **Allerød Spildevand A/S**

Allerød spildevand A/S driver anlæggene Lillerød (16.000 PE), Lyngø (11.000 PE) og Sjølsmark (6.000 PE). Slammet fra alle tre anlæg bliver i dag transporteret til Lillerød Renseanlæg, hvor det afvandes på en centri-fuge. Slammet slutdisponeres herefter på landbrugsjord uden yderligere behandling.

Som fremtidsscenarioer er der lavet CO<sub>2</sub>-opgørelser for:

- Tilsvarende behandling men med ekstern forbrænding af slammet som slutdisponering
- En slamhåndtering på renseanlæggene, hvor det er antaget, at spildevandet forfiltreres med en deraf følgende produktion af primær slam. Dette udrådnes med det biologiske overskudsslam på en fælles rådnetank på Lillerød Renseanlæg. Det udrådnede slam er herfra antaget afsat på landbrugsjord.
- En slamhåndtering som ovenstående med fælles udrådning på Lillerød, men hvor det udrådnede slam er antaget forbrændt på et eksternt slamforbrændingsanlæg.

Der er således lavet i alt 4 opgørelser for Allerød Spildevand A/S.

For opgørelserne fra Allerød Spildevand A/S er det specielt, at der ikke er forudsat etableret en gasmotor som en del af rådnetanksinstallationen. Denne antagelse er taget, da den samlede slammængde ikke vurderes som tilstrækkelig til, at det er økonomisk rentabelt at investere i en gasmotor. For CO<sub>2</sub>-vurderingen af udrådningen er dette afgørende, da den største og sikreste CO<sub>2</sub>-fortrængning sker som følge af el-produktionen og ikke varmeproduktionen. CO<sub>2</sub>-opgørelserne for de scenarier med udrådning ved Allerød Spildevand A/S bliver således ikke nær så gode, som når gassen på større anlæg bliver brugt til el-produktion.

### **Randers Spildevand A/S**

Randers Spildevand A/S deltager med selskabets 4 renseanlæg, hvorfra der er slambortskaffelse. Dette er Randers Centralrenseanlæg (160.000 PE), Langå (10.900 PE), Råby Kær (6.100 PE) og Spentrup Renseanlæg (3.700 PE).

Slamhåndteringen på Randers Centralrenseanlæg består af udrådning af primær og biologisk slam, der efter afvanding på sibåndspresse tørres på et slamtørringsanlæg. Størstedelen af slammet komposteres herefter inden udbringning på landbrugsjord, mens den sidste ca. 1/3 køres til ekstern forbrænding. Foruden dette statusscenarie er der lavet en CO<sub>2</sub>-opgørelse i det tilfælde, at alt det tørrede slam blev brugt til energiproduktion.

Slammet fra Langå Renseanlæg afvandes på centrifuge inden det køres til ekstern udrådning og kompostering. Det komposterede slam slutdisponeres på landbrugsjord.

På Råby Kær Renseanlæg afvandes slammet på en sibåndspresse inden det bringes på landbrugsjord.

Slammet fra Spentrup Renseanlæg slutdisponeres også på landbrugsjord, men opkoncentreres i stedet vha. gravitation.

Som fremtidsscenarier for Randers Spildevand er der lavet CO<sub>2</sub>-opgørelser i det scenario, hvor slammet fra hele selskabet bliver behandlet fælles på det nuværende Randers Centralrenseanlæg, samt i det scenario, hvor der forudsættes etableret et mekanisk disintegrationsanlæg forud for udrådningen.

Der er således lavet i alt 7 opgørelser for Randers Spildevand A/S.

For opgørelserne for Randers Spildevand A/S er det specielt, at tørreanlægget drives med naturgas anvendt på en gaskedel til produktion af både varme og elektricitet til følge. Dette betyder i forhold til anvendelse af en gaskedel til produktion af varme, at der anvendes væsentligt mere naturgas til processen. Dette kompenseres af el-produktionen, der sælges til el-nettet. Tørreanlægget drives desuden med et TS-indhold i slammet på ca. 22 %, hvilket er lidt lavere, end hvad der generelt vurderes som energimæssigt fordelagtigt på tørreanlægget (ca. 25 % TS).

## **Faxe Forsyning**

Faxe Forsyning deltager i projektet med slamhåndteringen på: Faxe Renseanlæg (91.800 PE), Kongsted Renseanlæg (5.500 PE) og Haslev Renseanlæg (21.000 PE). Disse anlæg håndterer desuden slammet fra forsyningens mindre anlæg, der transporteres ind til fælles behandling på Faxe og Kongsted Renseanlæg.

På Faxe Renseanlæg udrådnes slammet inden det afsættes til kompostering, hvorefter det bruges på landbrugsjord. På Kongsted afvandes slammet på et slammineraliseringsanlæg og det planlægges, at slammet herfra skal anvendes på landbrugsjord. På tilsvarende vis afvandes ca. 1/2-delen af slammet fra Haslev Renseanlæg på slammineraliseringsanlæg, mens resten afvandes mekanisk og slutdisponeres på landbrugsjord.

Som fremtidsscenario er der lavet en CO<sub>2</sub>-opgørelse i det tilfælde, at slammet fra hele forsyningen blev transporteret til udrådning på Faxe Renseanlæg og at slammet efter udrådning forbrændes på et slamforbrændingsanlæg.

Der er desuden lavet en beregning af CO<sub>2</sub>-udledningen som følge af forbrændingen af slammet fra de eksisterende slammineraliseringsanlæg.

Dette betyder, at der i alt er lavet 5 opgørelser for Faxe Forsyning.

Faxe Renseanlæg skiller sig på flere måde ud fra de resterende anlæg. Først og fremmest er anlægget hovedsageligt belastet med industrispildevand, der forrenses ved en anaerob proces. Dette betyder, at slamproduktionen og slamsammensætningen fra aktiv slamanlægget afviger fra "standard slam" bl.a. ved et meget lavt fosfor-indhold. Selve udrådningsprocessen forløber desuden ikke optimalt med den forventede reduktion af slamtørstof samt gasproduktion. Forud for rådnetanken er der registreret et meget stort energiforbrug på en hydraulikpumpe i en hydrolysetank, hvorfra slammet pumpes til udrådning, dette er ikke en energimæssig hensigtsmæssig installation. Der er således flere optimeringspotentialer på den nuværende slamhåndtering på Faxe Renseanlæg.

Idékataloget er opbygget, så læseren herfra kan vælge at springe videre til afsnit 9: "Generelle erfaringer og konklusioner" eller forsætte med de følgende kapitler, der giver et resume af de undersøgte cases.



## 5 Resultater fra Århus Vand A/S

Der er lavet CO<sub>2</sub>-opgørelser for fire forskellige slamhåndteringsstrategier for Århus Vand A/S. De fire undersøgte scenarier er alle med udgangspunkt i, at slammet udrådnes på et fælles slambehandlingsanlæg til 500.000 PE, der forventes etableret i fremtiden. På anlægget produceres primær slam og biologisk overskudsslam fra 400.000 PE. Herudover transporteres biologisk overskudsslam fra et 100.000 PE anlæg ind til det fælles anlæg. Udrådningen er optimeret med mekanisk disintegration. De fire undersøgte scenarier vedrører slutdisponering og forberedelse til slutdisponering.

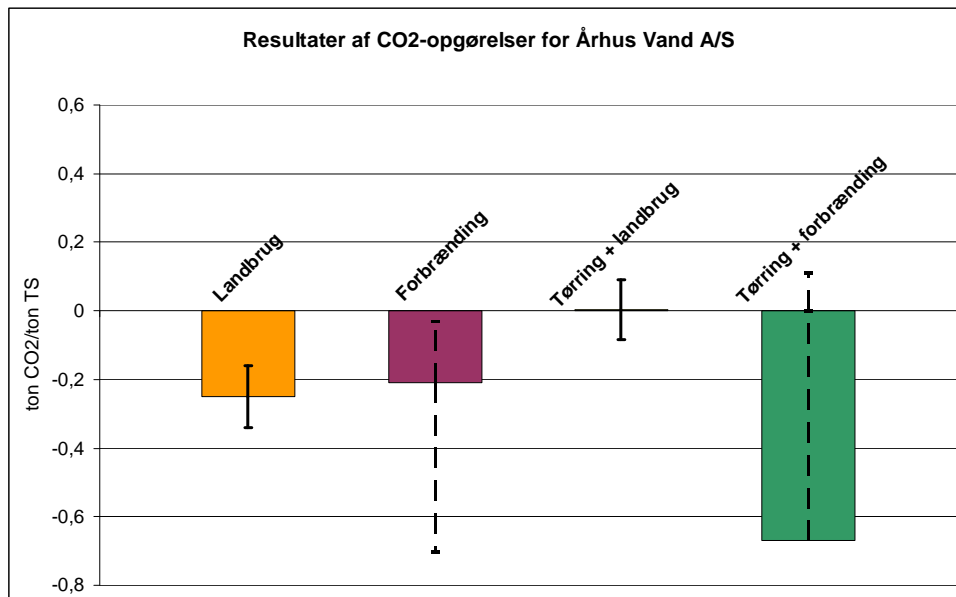
Resultaterne af CO<sub>2</sub>-opgørelserne ses på Figur 3.

De undersøgte scenarier er følgende:

1. Optimeret udrådning og direkte landbrugsanvendelse af afvandet slam (vist med orange på figur)
2. Optimeret udrådning og direkte forbrænding af slam på eget slamforbrændingsanlæg (vist med lilla på figur)
3. Optimeret udrådning og tørring af slammet med efterfølgende landbrugsanvendelse (vist med sort på figur)
4. Optimeret udrådning og tørring af slammet med efterfølgende energiudnyttelse på eksternt forbrændingsanlæg (vist med grøn på figur)

I CO<sub>2</sub>-opgørelserne er der lavet følsomhedsanalyser på de mest betydende CO<sub>2</sub>-udledninger eller CO<sub>2</sub>-fortrængninger. De vurderede følsomheder ved beregningerne er angivet som et lodret interval ved hver søjle, der angiver, at værdien af CO<sub>2</sub>-nøgletallet forventes at ligge indenfor dette område. I det tilfælde følsomhedsanalysen er præget af stor usikkerhed ved antagelserne omkring de biologiske processer i slammet, er de lodrette streger fuldt optrukne.

De stiplede lodrette linjer angiver, at den primære følsomhed kommer ved antagelserne omkring varmeafsætningen fra forbrændingen af slammet. Denne usikkerhed kan afdækkes ved en undersøgelse af det lokale varmemarked for at fastlægge mulighederne for at afsætte overskudsvarmen. De viste resultater er baseret på 65 % udnyttelse af overskudsvarmen fra forbrændingen, mens intervallet, der er vist med stiplede linje, viser fra 0 - 100 % afsætning af overskudsvarmen.



Figur 3: Resultat af de fire CO2 opgørelser for Århus Vand A/S, samt de udførte følsomhedsanalyser. Ved hver søjle er slutdisponeringen angivet. For alle scenarier er der forudsat en optimal udrådning inden slutdisponeringen. Ved negativ værdi af CO2-nøgletallet, medfører strategien en CO2-fortrængning, hvilket er målsætningen med slambehandlingen.

Figuren viser, at ingen af de valgte slamhåndteringsstrategier som udgangspunkt er CO2-udledende (CO2-nøgletallene er alle negative = CO2-fortrængende). Dette skyldes, at der i alle beregninger grundlæggende er en væsentlig CO2-fortrængning fra biogasproduktionen fra udrådningprocessen, der er en del af alle fire strategier. Biogassen anvendes på en gasmotor og den CO2-neutrale elektricitet erstatter generel el produceret i Danmark. Denne grundlæggende CO2-fortrængning mere end opvejer den CO2-udledning, som energiforbruget til: Slamhåndteringen, polymerforbruget og transporten medfører. De samlede aktiviteter til slamhåndteringen på renseanlægget medfører en fortrængning, der svarer til ca. -0,2 ton CO2/ton TS. Hertil kommer de aktiviteter til slamhåndteringen, der foregår efter slammet er udrådet og afvandet på renseanlægget.

Når de lodrette intervaller fra følsomhedsanalyserne medtages i vurderingen, ses det, at landbrugsløsningen (orange), den direkte slamforbrænding (lilla) og tørring + forbrænding (grøn) som strategi alle falder inden for det samme område for CO2 nøgletal. Det er således ikke muligt med de nuværende informationer at konkludere, hvilken slamhåndteringsstrategi af de tre, der er mest fordelagtig vurderet ud fra CO2-belastningen alene. Dette vil i første omgang kræve en undersøgelse af muligheden for afsætning af overskudsvarme og tørret slam ved den givne placering af anlægget. Dette vil indsnævre følsomhedsområdet for de stiplede linjer og kan gøre det muligt at vurdere en forskel mellem strategierne.

Ved sammenligning af de to landbrugsløsninger: Enten direkte udspredning efter udrådning, eller udspre-  
ning af tørret slam, ses det, at den direkte udspreddning giver det bedste CO<sub>2</sub>-nøgletal. Set ud fra CO<sub>2</sub> alene  
er det en dårligere løsning først at bruge energi til tørringen for derefter at sprede det på landbrugsjord.

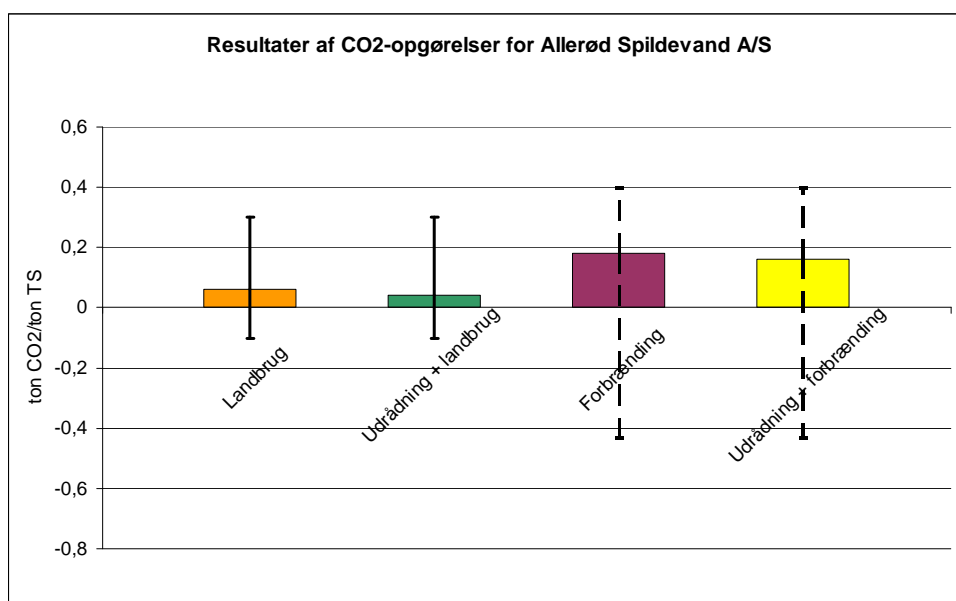
Resultaterne af følsomhedsanalyserne på Figur 3 viser, at mulighederne for at opnå en markant CO<sub>2</sub>-  
fortrængning er størst ved energiudnyttelse af slammet ved forbrænding. Såfremt det er muligt at afsætte alt  
overskudsvarmen fra den direkte slamforbrænding, giver denne strategi en tilsvarende CO<sub>2</sub>-fortrængning  
som ved tørring af slammet, med efterfølgende substitution af kul. CO<sub>2</sub>-nøgletallet er beregnet til ca. -0,7 ton  
CO<sub>2</sub>/ton TS, når energiudnyttelsen er størst mulig.

## 6 Resultater fra Allerød Spildevand A/S

Der er lavet CO<sub>2</sub>-opgørelser for fire forskellige slamhåndteringsstrategier for Allerød Spildevand A/S. Strategierne er som følger og er vist på Figur 4:

- STATUS: Nuværende afvanding af slammet og efterfølgende landbrugsanvendelse (vist med orange)
- Der antages indført forfiltrering på renseanlæggene, samt udrådning af primær og sekundær slam. Slammet slutdisponeres herefter på landbrugsjord (vist med grøn)
- Nuværende afvanding af slammet, men med efterfølgende forbrænding af slammet på et eksternt slamforbrændingsanlæg (vist med lilla)
- Der antages indført forfiltrering på renseanlæggene, samt udrådning af primær og sekundær slam. Slammet forbrændes herefter på et eksternt slamforbrændingsanlæg (vist med gul)

Resultatet af opgørelserne ses på Figur 4. De beregnede følsomheder er ligesom for Århus Vand A/S angivet som et lodret interval ved hver søjle på Figur 4. I det tilfælde følsomhedsanalysen er præget af stor usikkerhed, er de lodrette streger fuldt optrukne, mens de stiplede linjer angiver følsomhed ved antagelserne omkring varmeafsætningen, der kan afdækkes ved yderligere undersøgelser af de aktuelle lokale forhold.



Figur 4: Resultat af de fire CO<sub>2</sub> opgørelser for Allerød Spildevand A/S, samt de udførte følsomhedsanalyser.

Usikkerhedsintervallet ved de fire beregninger ses at overlappes hinanden, hvorfor der ikke kan drages en entydig konklusion om, hvilken strategi der CO<sub>2</sub>-mæssigt er den bedste løsning uden yderligere undersøgelser.

Med udgangspunkt i de valgte forudsætninger ses det, modsat resultatet fra Århus Vand, at alle strategier medfører en netto CO<sub>2</sub>-udledning. Dette skyldes helt overordnet, at der i disse scenarier ikke er en væsentlig CO<sub>2</sub> fortrængning fra biogasproduktion, og at den netto-fortrængning, der opnås som følge af hhv. landbrugsanvendelsen og forbrændingen som udgangspunkt ikke er tilstrækkeligt til at kompensere for de CO<sub>2</sub>-udledende aktiviteter i slamhåndteringen. Dette er: El-forbrug, polymerforbrug og transport. Disse forbrug bliver betydelige, når der ikke nogen væsentlig CO<sub>2</sub>-fortrængning i opgørelsen.

Dette er på trods af, at der i to ud af de fire scenarier rent faktisk er medregnet udrådning af slammet. Når dette alligevel ikke giver nogen væsentlig CO<sub>2</sub>-fortrængning skyldes det, at der ikke er forudsat installeret en gasmotor til el-produktion på anlægget, da slam-/gasmængden er relativt lille fra 33.000 PE i forhold til investeringen i en gasmotor. Den overskydende varmeenergi vil i dette tilfælde derfor skulle bortkøles og tæller derfor ikke med i CO<sub>2</sub>-opgørelsen.

Det er ved følsomhedsanalysen for landbrugsanvendelsen konstateret, at den store usikkerhed på fastlæggelsen af emissionsfaktorer for både N<sub>2</sub>O og CH<sub>4</sub>, samt kulstof-binding i jorden har store konsekvenser for resultatet af opgørelsen. Det er desuden vist, at blot 20 % fejlestimering af den fortrængte CO<sub>2</sub>-udledning ved substitution af kunstgødning alene giver en usikkerhed på resultatet på ca. 300 %. Resultatet for landbrugsløsningen er således særdeles usikkert.

Hvis der alene vurderes ud fra CO<sub>2</sub> ved de undersøgte strategier for Allerød Spildevand A/S, viste forbrændingsløsningen sig som en dårligere strategi end landbrugsløsningen med de valgte beregningsforudsætninger, hvor kun 65 % af den producerede varme erstatter dansk fjernvarme. Dette betyder, at mindre anlæg, der vælger forbrænding (eksempelvis pga. dårlig slamkvalitet) bør søge en ekstern forbrændingsløsning, hvorfra overskudsvarmen kan udnyttes.

Ligesom ved opgørelsen for Århus Vand viser følsomhedsanalysen også i dette tilfælde, at udnyttelse af overskudsvarme fra forbrændingen er afgørende for, hvor godt et CO<sub>2</sub>-nøgletal forbrændingsløsningen opnår.

## 7 Resultater fra Randers Spildevand A/S

Der er lavet CO<sub>2</sub> opgørelser for de forskellige slamhåndteringsstrategier, der er valgt i Randers Spildevand A/S på forsyningens 4 renseanlæg med slamhåndtering (der findes i alt 9 anlæg med slamproduktion).

Opgørelserne er lavet for følgende statusscenarier og resultaterne er vist på Figur 5:

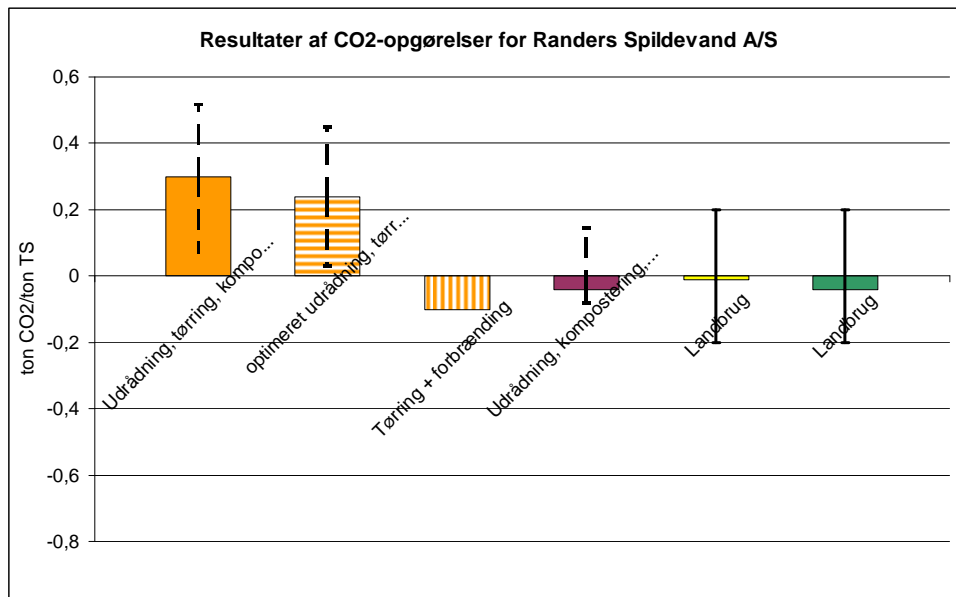
- Randers Centralrenseanlæg (CRA) (vist med orange på figur)
  - o Udrådning og tørring af slammet. Herefter slutdisponeres 2/3 af slammet til kompostering + landbrugsanvendelse og 1/3 af slammet til forbrænding
  - o Som reference er der desuden lavet en opgørelse med 100 % forbrænding af den tørrede slam-mængde (denne er lavet som option og uden yderligere analyse, vist med orange lodrette striber)
- Langå Renseanlæg (vist med lilla på figur)
  - o Ekstern udrådning og kompostering af slammet med efterfølgende landbrugsanvendelse
- Råby Kær Renseanlæg (vist med gul på figur)
  - o Afvanding og landbrugsanvendelse
- Spentrup Renseanlæg (vist med grøn på figur)
  - o Direkte landbrugsanvendelse

Foruden status håndteringerne er der lavet analyse af følgende mulige fremtidsscenarier:

- Fælles behandling af alt slam fra Randers Spildevand A/S på Randers CRA med den nuværende slam-behandling (ikke vist på figur)
- Optimeret udrådning med disintegration af alt slam på Randers CRA efterfulgt af tørring og delvis kompostering samt delvis ekstern forbrænding (vist med orange vandrette striber på figur)

Resultaterne af CO<sub>2</sub>-opgørelserne for de undersøgte strategier ses på Figur 5, hvor de vurderede følsomheder er angivet som et lodret interval ved hver søjle.

Ligesom tidligere er de lodrette streger fuldt optrukne, hvis resultatet primært er præget af stor usikkerhed ved fastlæggelse af emissionerne fra biologiske processer, mens de stiplede linjer angiver, at den primære følsomhed kommer fra antagelserne omkring varmeafsætningen, der kan afdækkes ved yderligere undersøgelser af de aktuelle forhold.



Figur 5: Resultat CO2-opgørelserne for Randers Spildevand A/S. Slutdisponeringen af slammet ved de viste opgørelser er noteret på figuren. Med lodrette søjler er de udførte følsomhedsanalyser angivet.

Opgørelserne har vist, at CO2-nøgletallet for de mindre anlægs slamhåndteringsstrategi med landbrugsanvendelsen alle kan betragtes som CO2-neutrale med de valgte forudsætninger. Dette er Råby Kær og Spentrup Renseanlæg. For disse opgørelser kan det konkluderes, at CO2-nøgletallet er usikkert bestemt, hvilket er indikeret på Figur 5 med de lodrette linjer omkring gul og grøn søjle. Usikkerhederne har vist sig størst ved fastlæggelse af emissionerne fra de biologiske processer under lagring og ved landbrugsanvendelsen. Dette får afgørende betydning for denne strategis CO2-nøgletal, når disse emissioner er de største kilder og dræn<sup>1</sup> i opgørelsen.

Denne følsomhed er ikke udpræget ved slamhåndteringsstrategierne på Randers og Langå Renseanlæg, hvor der produceres biogas ved udrådningen. Disse ses med orange og lilla søjler. Biogasproduktionen giver et betydende (negativt) bidrag til opgørelsen fra substitutionen af elektricitet og emissionerne forbundet med landbrugsanvendelsen bliver således mindre betydende.

Resultaterne af CO2 opgørelserne for de undersøgte scenarier på Randers CRA ses på Figur 5 med orange farver. Her ses det, at det er muligt at optimere den nuværende slamhåndteringsstrategi på to måder, illustreret med de skraverede søjler. Den nuværende strategi består af: Udrådning af slammet efterfulgt af tørring. Det tørrede slam slutdisponeres herefter til hhv. kompostering og landbrugsanvendelse samt ved forbrænding. Heraf går kun 1/3 til forbrænding i Tyskland (ca. 600 km afstand).

<sup>1</sup> Kilder er CO2 bidrag til opgørelsen, mens dræn er undgåede CO2-udledninger i opgørelsen. Dette kan eksempelvis være en undgået emission ved brug af slam i stedet for brug af kunstgødning på landbrugsjorden.

Figuren viser, at CO<sub>2</sub>-nøgletallet sænkes ca. 20 %, ved at optimere udrådningen med disintegration og bibeholde den eksisterende slutdisponering af slammet til hhv. kompostering og forbrænding. Figuren viser yderligere, at CO<sub>2</sub>-nøgletallet for Randers CRA reduceres væsentligt, så der samlet opnås en CO<sub>2</sub>-fortrængende slamhåndteringsstrategi, hvis det tørrede slam udelukkende anvendes til energiudnyttelse ved ekstern forbrænding. Heri er indregnet transport til Tyskland, der ikke bidrager væsentligt til denne opgørelse i forhold til de øvrige kilder og dræn.

Det skal bemærkes, at energiforsyningen til tørringsprocessen på Randers CRA er forholdsvis speciel, idet der er valgt at anvende naturgas på en gasmotor til varmeproduktionen og ikke en kedel, der har en væsentlig større varmekoefficiensgrad (en motor har generelt ca. 45 % varmekoefficiensgrad mens en kedel har ca. 90 %). Desuden kunne der være mulighed for at anvende biogassen fra udrådningen til tørringsprocessen og dermed reducere brugen af naturgas væsentligt. Endeligt er det konstateret, at tørreanlæggets el-forbrug er forholdsvis stort, hvilket bør kunne optimeres og derved sænke det aktuelle CO<sub>2</sub>-nøgletal for selve tørringsprocessen. Alt i alt vurderes det, at der er et energimæssigt optimeringspotentiale.

De udførte opgørelser peger ikke på én løsning frem for en anden mht. CO<sub>2</sub> udledningerne, da usikkerhedsfelterne, vist med lodrette streger, overlapper hinanden. Ud af de eksisterende strategier ved Randers Spildevand A/S synes den direkte landbrugsløsning (vist med gul og grøn søjle) som den mest attraktive frem for tørringsløsningen med efterfølgende kompostering. Men det ses også, at usikkerhedsfeltet omkring landbrugsløsningen er stort og overlapper en stor del af feltet for den nuværende håndtering på Randers CRA.

Referenceberegningen af den nuværende håndtering på Randers CRA, men med fuld forbrænding af det tørrede slam, viser, at dette er den mest CO<sub>2</sub>-fortrængende strategi (vist med lodrette orange striber) idet denne slutdisponering sikrer energiudnyttelsen i slammet. Det kan herved konstateres, at det CO<sub>2</sub>-mæssigt er bedst at brænde slammet, hvis det er valgt at tørre dette.



## 8 Resultater fra Faxe Forsyning

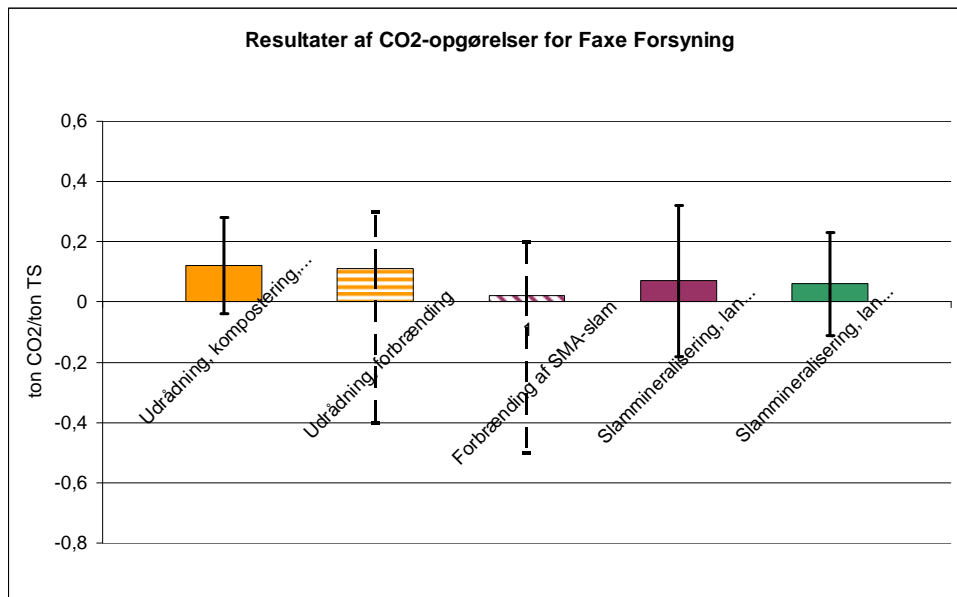
Der er lavet CO<sub>2</sub>-opgørelser for de forskellige slamhåndteringsstrategier, der er valgt i Faxe Forsyning. Opgørelserne er lavet for følgende statusscenarier:

- Faxe Renseanlæg – Udrådning, kompostering og landbrugsanvendelse (vist med orange søjle på figur)
- Kongsted Renseanlæg – Slammineralisering og landbrugsanvendelse (vist med lilla søjle på figur)
- Haslev Renseanlæg – Slammineralisering samt mekanisk afvanding og landbrugsanvendelse (vist med grøn søjle på figur)

Der er desuden lavet opgørelser samt vurderinger ved to alternativer:

- Scenario 1: Fælles slambehandling på Faxe Renseanlæg samt efterfølgende ekstern slamforbrænding (vist med orange striber på figur)
- Scenario 2: Forbrænding af slammet fra slammineraliseringsanlæggene (vist med lilla striber på figur). Denne opgørelse dækker kun tømning og forbrændingen af slammet fra anlægget og ikke processerne forud for tømningen.

Resultaterne af CO<sub>2</sub>-opgørelserne for de undersøgte strategier ses på Figur 6. Ligesom tidligere er de vurderede følsomheder angivet som et lodret interval ved hver søjle. I det tilfælde følsomhedsanalysen er præget af stor usikkerhed ved fastlæggelse af emissionerne fra de biologiske processer, er de lodrette streger fuldt optrukne. De lodrette stiplede linjer angiver følsomhed ved antagelserne omkring varmeafsætningen. Det er som udgangspunkt antaget, at 65 % af overskudsvarmen anvendes som substitution for fjernvarme.



Figur 6: Resultat CO2 opgørelserne for Faxe Forsyning, samt de udførte følsomhedsanalyser. Det bemærkes, at CO2 vurderingen for forbrænding af slammet fra slammineraliseringsanlæggene (SMA) alene omhandler tømningen af anlægget og ikke udpumpningen på anlægget.

Figuren viser, at de udførte opgørelser ikke entydigt peger på én løsning frem for en anden mht. CO2-udledningerne, da usikkerhedsfelterne overlapper hinanden.

Opgørelserne har vist, at CO2-nøgletallet for de eksisterende slamhåndteringsstrategier på Faxe, Kongsted og Haslev Renseanlæg er ca. 0,1 ton CO2/ton TS. Alle strategierne anvender landbrugsanvendelsen som slutdisponeringsmetode, og det er kendetegnet for alle opgørelserne, at nøgletallet er behæftet med stor usikkerhed pga. manglende viden om emissionerne af især N2O forbundet med kompostering, lagring og slammineralisering samt som følge af substitutionen af kunstgødning og kulstofbinding i jorden.

Helt overordnet vurderes det, at CO2-nøgletallet for slamhåndteringen på Faxe Renseanlæg (orange søjle) er større end, hvad der kan forventes på et anlæg med udrådning af slammet inkl. anvendelse af biogassen på en gasmotor. Dette bekræftes af Faxe Renseanlæg, der påpeger et stort optimeringspotentiale for udrådningen samt et relativt stort elforbrug på en konkret mikser i slamhåndteringen, der øger energiforbruget væsentlig for den samlede slamhåndtering på anlægget. Der er i projektet lavet en referenceberegning i det tilfælde, at el-forbruget på anlægget reduceres til normal-området. Dette betyder, at den nuværende samlede slamhåndteringsstrategi for Faxe Renseanlæg vil blive CO2-neutral. Ved optimering af udrådningsprocessen og gashåndteringen er der yderligere potentiale for forbedring og dermed mulighed for at opnå en CO2-fortrængende strategi.

Figur 6 viser CO2-nøgletallene for scenario 1 og 2 med de skraverede søjler. Disse scenarier forudsætter begge forbrænding med 65 % varmeudnyttelse som slutdisponeringsmetode. Det ses med orange skravering, at denne løsning umiddelbart sidestilles med de eksisterende strategier, men at det er ved denne stra-

tegi, at potentialet for CO<sub>2</sub>-fortrængning er størst. Dette ses ved de stiplede usikkerhedslinjer omkring den orange-stribede søjle, der viser, at det er ved forbrænding og 100 % varmeudnyttelse, at der er størst potentiale for en CO<sub>2</sub>-fortrængende slamhåndteringsstrategi. De stiplede linjer illustrerer netop, at usikkerheden ved opgørelsen, stammer fra antagelsen omkring varmeafsætningen. En undersøgelse af de lokale muligheder for varmeafsætning kan således afdække, om det er muligt at anvende mere eller mindre end de forudsatte 65 %.

## 9 Generelle erfaringer og overordnede konklusioner

I det følgende præsenteres de generelle erfaringer, der er gjort som følge af CO<sub>2</sub>-opgørelserne. Der henvises til de enkelte del-rapporter og baggrundsrapporten for detaljeret gennemgang.

Da projektet hovedsageligt er baseret på cases fra de deltagende forsynings aktuelle slamhåndteringer, er alle opgørelser præget af de konkrete procesmæssige og mekaniske forhold der er til stede på de enkelte anlæg. Dette betyder, at forudsætningerne for sammenligning ikke altid er til stede.

Gennemgangen af resultaterne fra de forskellige cases i forrige kapitler viste blandt andet, at muligheden for at kunne afsætte overskudsvarme er afgørende for vurderingen af de forskellige slamhåndteringsstrategier i forhold til hinanden. Det viste desuden, at el-produktionen fra biogas kan bidrage til en markant CO<sub>2</sub>-fortrængning.

Erfaringerne leder frem til den nok vigtigste konklusion i projektet:

**”Den optimale løsning, vurderet ud fra CO<sub>2</sub>, er fuldt ud afhængig af de lokale forhold for varmeafsætning samt størrelsen på slamproduktionen.”**

I det følgende beskrives erfaringerne i forhold til de enkelte delaktiviteter i slamhåndteringen.

### 9.1.1 Energiforbrug

Energiforbruget til slamhåndteringen på renseanlægget har i de forskellige cases vist sig at udgøre mellem 0,5 og 28 % af renseanlæggets samlede energiforbrug. Dette afspejler den meget forskellige indretning af slamhåndteringen, der ses mellem store og små anlæg, hvor små anlæg, der eksempelvis kun anvender en koncentreringstank samt en slampumpning, har det laveste forbrug. Det anslås generelt, at strømforbruget til slamhåndteringen ligger på 5-15 % af det samlede forbrug på renseanlægget.

I forhold til projektets funktionelle enhed (der er slam taget fra klaringstankene), ligger energiforbruget til slamhåndteringen på renseanlægget fra 6 kWh/ton TS til 390 kWh/ton TS, hvor den laveste værdi afspejler en slamhåndtering, der alene består af en pumpning til direkte udbringning af tyndslam på landbrugsjord og den højeste værdi afspejler en uhensigtsmæssig indretning af slamhåndteringen på et anlæg, der står foran renovering og ombygning af slamhåndteringen. For dette anlæg er det primært et stort energiforbrug på en mikser i en tank, der giver det store energiforbrug.

Det gennemsnitlige energiforbrug til slambehandlingen ligger i dette projekt på 185 kWh/ton TS taget fra klaringstanken. Hvis det antages, at 1 PE producerer 30 kg TS/år (inkl. kemisk slam), kan det beregnes, at der i gennemsnit bruges ca. 6 kWh/PE pr. år til slambehandlingen på renseanlægget.

For langt de fleste CO<sub>2</sub>-opgørelser i dette projekt har det vist sig, at energiforbruget til slamhåndteringen på renseanlægget kun giver et marginalt bidrag til det samlede CO<sub>2</sub>-nøgletal for strategien. Men eksemplet fra

Faxe Renseanlæg viser undtagelsen med bare én uheldig komponent, der via el-forbruget flytter det samlede CO<sub>2</sub>-nøgletal så meget, at den nuværende strategi bliver CO<sub>2</sub>-udledende frem for CO<sub>2</sub>-neutral. Dette viser, at der skal være fokus på el-forbruget, også selvom det som oftest ikke giver anledning til et stort CO<sub>2</sub>-bidrag.

## 9.1.2 Transport

Arbejdet med CO<sub>2</sub> opgørelserne fra de forskellige aktiviteter i slamhåndteringen har ført til konklusionen: At dieselforbruget fra transporten af slammet generelt ikke giver nogen betydende CO<sub>2</sub> udledning i forhold til den samlede strategi. I projektet er der alene anvendt lastbiltransport og det har vist sig, at det ikke i nogen tilfælde har givet anledning til et væsentligt bidrag via dieselforbruget. Dette gælder for transporten ved udspreddingen på landbrugsjorden såvel som for transporten af afvandet slam i Danmark samt tørret slam til forbrænding i Tyskland (600 km).

I disse opgørelser er der ikke medregnet den indirekte CO<sub>2</sub>-udledning, der opstår som følge af slitage på lastbiler og vejnet, men det vurderes ikke at flytte på konklusionerne, når slamstrategierne sammenlignes.

## 9.1.3 Polymerforbrug

Polymerforbruget har generelt vist sig at være ubetydende for CO<sub>2</sub>-udledningen for den samlede slamhåndteringsstrategi. Denne konklusion er interessant, da polymerforbruget ofte betragtes som CO<sub>2</sub>-tung, idet det bl.a. bliver produceret fra råolie. Den generelle opfattelse stammer givetvis fra vurderinger, hvor systemafgrænsningen er sat "tættere" omkring afvandingen som aktivitet, hvorfor den indirekte emission fra polymerforbruget vil betyde mere. Dette viser, hvor afgørende en klar og tydelig systemafgrænsning er for den følgende konklusion.

## 9.1.4 Udrådning

El-produktionen fra anvendelse af biogassen på gasmotor giver en væsentlig fortrængning af CO<sub>2</sub> og har afgørende betydning for den samlede slamhåndteringsstrategis CO<sub>2</sub>-nøgletal.

Udrådningen bidrager både til energiproduktion samt til minimering af slammængden. Da transport af slammet og polymerforbruget ikke giver noget væsentligt bidrag til CO<sub>2</sub>-opgørelsen, resulterer den mindre slammængde ikke alene i væsentlige CO<sub>2</sub>-reduktioner herefter (den kan dog stadig give væsentlige økonomiske driftsbesparelser).

Opgørelserne af CO<sub>2</sub>-emissionerne og de undgåede emissioner viser, at biogassen skal udnyttes på en gasmotor med henblik på el-produktion, for at udrådningsprocessen bidrager til en væsentlig CO<sub>2</sub>-fortrængning. Dette betyder for mindre anlæg, hvor det ikke er økonomisk rentabelt at indregne en gasmotor som en del af anlægget, at udrådningsprocessen ikke giver nogen væsentlig forbedring af CO<sub>2</sub>-regnskabet. I

dette tilfælde bliver energien fra biogassen som regel kun brugt til opvarmning af rådnetanken og anlæggets driftsbygninger, hvilket ikke fortrænger væsentlige mængder af CO<sub>2</sub>.

I projektet er det vist, at en løsning, hvor slammet transporteres fra et mindre renseanlæg til en fælles ekstern udrådning med en gasmotorinstallation, er et CO<sub>2</sub>-mæssigt bedre alternativ end at udrådne slammet lokalt uden udnyttelse af biogassen til el-produktion.

Da el-produktionen fra udrådningen giver en stor CO<sub>2</sub>-fortrængning, bør det fremadrettet være relevant for forsyningerne at arbejde på, at optimere udrådningsprocessen for at maksimere gasproduktionen. Dette kan gøres på flere måder:

- Ved at udtage mest muligt primær slam til udrådning (under hensyn til de øvrige procesforhold)
- Ved procesoptimering af driften. Dette kan være ved styring af rådnetanksdriften, ved mekanisk disintegration samt ved optimal termisk hydrolyse af slammet inden udrådning
- Ved at indrette gassystemet, så gasmotoren har flest mulige driftstimer ved maks. last, der giver den største el-virkningsgrad

For store renseanlæg/rådnetanksanlæg, hvor der også opnås en betydelig varmeproduktion fra driften af gasmotoren, har projektet desuden vist, at mulighederne for at afsætte varmen som fjernvarme er afgørende for CO<sub>2</sub>-opgørelsen. Varmeafsætningen diskuteres nærmere i næste afsnit 9.1.5.

### **9.1.5 Direkte forbrænding af slam**

I de scenarier, hvor der er regnet på slamforbrænding som slutbehandling, har det vist sig, at mulighederne for at afsætte overskudsvarmen fra processen er alt afgørende for løsningens CO<sub>2</sub>-nøgletal.

Generelt er den type slamforbrænding, der er antaget i projektet selvforbrændende ved et tørstofindhold i slammet over ca. 30 % afhængigt af slammets glødetab. Dette er de energimæssigt mest optimale forhold at forbrænde slammet ved forbrændingsprocessen.

Da et TS i slammet over 30 % ikke er normalt for mange anlæg, er det antaget, at slammet generelt fortørres fra ca. 25 % til 30 % inden forbrændingen, hvilket medfører et energiforbrug. Varmeenergien leveres fra forbrændingen, men processen bruger desuden elektricitet. Samlet set betyder dette, at en del af overskudsvarmen fra forbrændingen skal anvendes som fjernvarme for at løsningen samlet er energimæssig neutral, når slammet fortørres.

I projektets baggrundsrapport er overvejelserne omkring de generelle varmeafsætningsmuligheder beskrevet, og det er ud fra disse vurderinger antaget, at 65 % af den producerede varme kan erstatte den type af

fjernvarme, der generelt bruges i Danmark<sup>1</sup>. Slamforbrændingen medfører desuden et forbrug af bikarbonat og aktiv kul til røggasrensningen, der indirekte giver en CO<sub>2</sub>-udledning. Alle antagelser tilsammen gør, at slamforbrændingen isoleret set kan betragtes som CO<sub>2</sub>-neutral (meget svagt CO<sub>2</sub>-fortrængende) med 65 % anvendelse af overskudsvarmen, også når slammet skal fortørres fra ca. 25 til 30 % TS inden forbrændingen.

I det tilfælde overskudsvarmen ikke kan anvendes, og slammets tørstof ikke er tilstrækkeligt højt til at være selvforbrændende, vil slamforbrændingen være CO<sub>2</sub>-udledende. Omvendt vil slamforbrændingen være væsentligt CO<sub>2</sub>-fortrængende i det tilfælde, at alt overskudsvarmen anvendes som fjernvarme. Følsomhedsanalyserne viser yderligere, at CO<sub>2</sub>-fortrængningen bliver markant større i det tilfælde, at overskudsvarmen erstatter varme, der udelukkende er produceret på kul. Denne forskel skyldes, at den gennemsnitlige danske fjernvarme er produceret på både kul, naturgas, halm, flis og meget andet, hvor biobrændslerne ikke medfører en CO<sub>2</sub>-udledning og dermed sænker den gennemsnitlige emissionsfaktor for fjernvarme.

Følsomhedsanalyserne i projektet har tydeligt vist, det er særdeles vigtigt at undersøge de konkrete muligheder for varmeafsætning ved hver enkelt case for at kunne vurdere, om slamforbrænding CO<sub>2</sub>-mæssigt er en god løsning eller ej.

### 9.1.6 Tørring af slam

Slamtørringen i sig selv er en energikrævende proces og dermed en CO<sub>2</sub>-udledende aktivitet. Tørringsprocessen er repræsenteret i projektet ved et konkret anlæg i Randers og antaget som en mulig proces ved et fremtidsscenario for Århus Vand. For begge opgørelser gælder, at tørringen er energikrævende. I scenariet for Århus Vand er det muligt at forsyne tørringsprocessen med tilstrækkeligt energi fra udrådningsprocessen, hvilket ikke er tilfældet på anlægget i Randers. På dette anlæg drives tørringsprocessen alene med naturgas.

CO<sub>2</sub>-opgørelserne viser ved denne proces, hvor vanskeligt det er at sammenligne opgørelser for ens aktiviteter, når forudsætningerne ikke er de samme. Det konstateres, at den eksisterende tørrer i Randers kræver mere energi end tørren forudsat i fremtidsscenarioet for Århus Vand. Dette skyldes bl.a., at slammet forud for tørringen i Randers kun har 21-22 % TS, mens det er forudsat, at slammet mindst har 25 % TS i scenariet for Århus. Der skal således fordampes mere vand i tilfældet på Randers CRA.

Det kan desuden klart konkluderes, at den CO<sub>2</sub>-mæssigt mest optimale slutdisponering af slammet efter tørringen er energiudnyttelse ved forbrænding. Dette skyldes, at CO<sub>2</sub>-fortrængningen ved landbrugsanvendelsen er væsentligt mindre, end den CO<sub>2</sub>-fortrængning, der opnås ved direkte substitution af kul ved forbrændingen. Fordelen ved denne slamhåndteringsstrategi (frem for den direkte slamforbrænding) er, at slammet nemt kan transporteres og lagres, indtil det kan anvendes til energiudnyttelse og det hermed sikres, at energien i slammet bruges. Dette er ikke altid tilfældet i situationen ved direkte forbrænding, hvor det kan være nødvendigt at bortkøle overskudsvarmen, hvis denne ikke kan afsættes, i takt med at den produceres.

---

<sup>1</sup> Dette er bl.a. produceret ud fra kul, naturgas, halm, træ og affald

Som inspiration til forsyningerne samt aktørerne på varmemarkedet påpeges mulighederne for at anvende eksisterende overskudsvarme til tørring af slammet. Dette vil betyde, at tørringen i sig selv ikke medfører et fossilt energiforbrug, og vil i givet fald forbedre CO<sub>2</sub> nøgletallet for denne slamhåndteringsstrategi væsentligt.

### **9.1.7 Lagring, slammineralisering og landbrugsanvendelse**

Helt generelt vurderes det ud fra opgørelserne, at lagring og landbrugsanvendelse af slammet som selvstændig aktivitet kan betragtes som svagt CO<sub>2</sub>-fortrængende, og at slamstrategierne med direkte landbrugsanvendelse generelt er CO<sub>2</sub>-neutrale. I hvor stor grad landbrugsanvendelsen fortrænger CO<sub>2</sub>, afhænger især af slammets indhold af kvælstof, der kan variere meget fra anlæg til anlæg.

Følsomhedsanalyserne viser, at bindingen af kulstof fra slammet til jorden og den deraf fortrængte CO<sub>2</sub>-udledning i nogen tilfælde er afgørende for resultatet.

Usikkerhederne ved beregningerne af de førstnævnte del-processer i forbindelse med landbrugsanvendelsen er markante, og det konstateres, at der pt. ikke findes tilstrækkelig med viden omkring de biologiske processer i slammet, der medfører frigivelse af drivhusgasser, når først slammet har forladt slutfvandingen.

På tilsvarende vis gælder det, at der er stor uenighed i litteraturen omkring eksempelvis kulstofbindingen i jorden efter udbringningen af slammet. Dette beror delvist på, at jordens fysiske egenskaber i sig selv er varierende og påvirker denne binding, hvilket alene gør det vanskeligt at generalisere.

Hvor usikkerhederne ved forbrænding og tørring primært er præget af antagelserne omkring varmeafsætningen, der kan undersøges lokalt, er landbrugsanvendelsen præget af usikkerheder omkring emissionerne af drivhusgasser som følge af biologiske processer. Disse usikkerheder er langt vanskeligere at fjerne fra opgørelserne og kræver decideret forskning omkring den biologiske aktivitet i slammet og i landbrugsjorden efter udbringelse.

### **9.1.8 Kompostering**

I projektet er tre forskellige komposteringsprocesser repræsenteret. Den CO<sub>2</sub>-mæssigt mest optimale komposteringsproces anvender luftopsamling og luftrensning i et skubberanlæg. Dette betyder, at det kvælstof, der tabes via komposteringen, genvindes og kan substituere gødning. I forhold til landbrugsanvendelsen af slam og kompost, er kvælstoffet i denne skruberopløsning 100 % plantetilgængeligt, i modsætning til 45 % tilgængelighed af kvælstoffet, der er bundet i slammet. På trods af en indirekte CO<sub>2</sub>-udledning via forbrug af svovlsyre til luftrensningen, betyder denne komposteringsproces samlet set, at der pr. ton slam komposteret genanvendes mere kvælstof end ved direkte landbrugsanvendelse. Med de i projektet anvendte emissionsfaktorer betyder dette, at det CO<sub>2</sub>-mæssigt er en bedre løsning at kompostere slammet på denne måde end at sprede det direkte på landbrugsjord. Dette skyldes, at emissionerne af metan og lattergas reduceres væsentligt via luftopsamlingen. Disse emissioner vil ved traditionel slamlagring forløbe uhindret. Til denne vur-



dering må det nævnes, at alle emissionsprocesser er forbundet med en væsentlig usikkerhed, der kan flytte konklusionerne.

Ved de øvrige to komposteringsprocesser vurderes det, at disse tilsvarende den direkte landbrugsløsning, er svagt CO<sub>2</sub>-fortrængende.

Overordnet må det understreges, at alle opgørelserne relateret til kompostering og landbrugsanvendelse er behæftet med stor usikkerhed, der som tidligere nævnt kun kan afdækkes ved omfattende undersøgelser.

## 10 Diskussion/konklusion

På DANVAs hjemmeside vedr. den nuværende energisparekampagne kan det læses, at det er målsætningen, at vandsektoren vil være med til at forebygge klimændringerne ved at nedsætte elforbruget til transport og rensning af spildevandet. Kampagnens mål er at reducere vandsektorens energiforbrug med 25 % i løbet af fem år. En sådan besparelse vil svare til, at miljøet hvert år spares for en CO<sub>2</sub>-udledning på 100.000 tons. Dette ønskes realiseret gennem effektivisering, optimering og ved udskiftning af gammelt maskinudstyr med nye energieffektive modeller. Citeret fra: [www.DANVA.dk].

Dette projekt har vist, at det for slamhåndteringen er mere væsentligt at fokusere på energiproduktion fra slammet for at fortrænge CO<sub>2</sub>-udledning, frem for at reducere el-forbruget til slamhåndteringen på renseanlægget. Når dette er sagt, må det dog understreges, at det altid er en god ide at spare på energien – både miljømæssigt og økonomisk – også selvom det i sig selv ikke er det største bidrag til CO<sub>2</sub>-regnskabet.

Projektet har vist, at mulighederne for at anvende energien i slammet, enten i form af biogas, som overskudsvarme eller gemt i det tørrede slam - der kan erstatte brugen af kul, bør undersøges nærmere ved den enkelte forsyning.

De gjorte erfaringer kan samles til følgende konklusion: Den CO<sub>2</sub>-optimale slamhåndteringsstrategi er afhængig af de konkrete forhold både med hensyn til anlægsstørrelse samt især med hensyn til mulighederne for at afsætte overskudsvarme fra drift af gasmotor samt fra slamforbrænding. Det er vigtigt at understrege, at denne konklusion ikke tager højde for eksempelvis økonomi eller hensynet til andre ressourcer i slammet.

Der kan generelt opstilles følgende punkter til beskrivelse af nogle slamhåndteringsstrategier, der samlet set fortrænger CO<sub>2</sub>-udledning til atmosfæren:

- At kunne tørre slammet med overskudsvarme fra eksempelvis et forbrændingsanlæg og herefter målrettede anvendelsen af det tørrede slam, så det sikres, at energien i slammet udnyttes som erstatning for kul.
- At forbrænde slammet direkte med fuld udnyttelse af overskudsvarmen fra røggassen. Denne varme skal helst erstatte varme produceret på kul eller naturgas.
  - o Generelt må det foretrækkes at kunne brænde slammet uden at blande det med andet affald. Dette betyder, at asken vil indeholde meget fosfor, som på sigt forventes at kunne udvindes og genanvendes på en økonomisk og miljømæssig forsvarlig måde
- At producere alt det biogas og el som er muligt fra slammet. Det giver grundlag for en CO<sub>2</sub>-mæssig optimal slamhåndteringsstrategi på renseanlægget
- Hvis slammet skal komposteres, bør dette gøres med opsamling og rensning af afkastluften. Dette sikrer en større udnyttelse af kvælstoffet i slammet, samtidig med at N<sub>2</sub>O emissionen reduceres.
- Projektet indikerer, at emissionerne af CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O under lagring af slammet giver betydelige bidrag til den samlede udledning af drivhusgasser. Det kan derfor overvejes, om lagringen af slammet inden

landbrugsanvendelsen bør ske i overdækkede tanke med luftrensning. Dette kan potentielt forbedre landbrugsløsningen betydeligt.

Projektet har vist, at der i høj grad er behov for yderligere undersøgelser, der kan præcisere de nøgletal, der beskriver de biologiske processer, der danner drivhusgasser i slammet ved lagring, slammineralisering, kompostering samt efter udbringning på landbrugsjord. Dette gælder ligeledes for substitutionen af gødning og for lagring af kulstof i jorden efter udbringning.

Foruden viden om processerne generelt og anvendelse af de "mest rigtige" nøgletal, er der desuden behov for en standardisering af selve beregningsmetodikken, idet forskellige systemafgrænsninger og antagelser vil give forskellige resultater, der ikke kan sammenlignes. Det må derfor anbefales fremadrettet for branchen, at der også fokuseres på metoden til opgørelse af miljøeffekter, når miljøeffekterne i højere grad bliver en betydende parameter ved valg af slamhåndteringsstrategi.

Miljøeffekterne forventes ikke kun at blive en del af beslutningsgrundlaget ved valg af strategi, det forventes som før nævnt også, at miljøeffekterne på sigt kommer til at give et bidrag til driftsøkonomien i form af skatter og afgifter. Hensigten hermed vil være at gøre det dyrt ikke at være CO<sub>2</sub>-bevidst. Når den tid kommer, vil det være nødvendigt med en afklaring af, hvilke kilder og dræn til en CO<sub>2</sub>-opgørelse, der bliver medtaget. Dette kan eksempelvis være substitutionen af kunstgødning. Må den fortrængte CO<sub>2</sub> i dette tilfælde regnes med i en forsynings CO<sub>2</sub>-regnskab? På tilsvarende vis kan ekstern forbrænding af tørret slam nævnes. Vil det i dette tilfælde være acceptabelt, at forsyningen medregner den undgåede CO<sub>2</sub>-udledning fra det sparede kul i deres regnskab, hvis slammet brændes i Tyskland?

Disse spørgsmål er nødvendige at få diskuteret for at give forsyningerne klarhed over, hvorledes deres eget lokale CO<sub>2</sub>-regnskab kan forbedres og hvorledes det globale CO<sub>2</sub>-regnskab påvirkes.

## 11 Perspektivering ved arbejdet med miljøvurdering

Som nævnt i forrige afsnit er det vigtigt, at der udarbejdes en fælles ramme, når der skal arbejdes med miljøvurdering af slamhåndteringen. Når der i høj grad mangler viden omkring de grundlæggende biologiske processer i slammet ved landbrugsløsningen, bliver det særdeles vanskeligt at vurdere forskellige strategier i forhold til hinanden.





Rent politisk er der desuden behov for en håndtering af spørgsmålet omkring genanvendelse af fosfor som en begrænset ressource. Der er behov for klarhed om, hvor højt dette som eksempel vægtes i forhold til udledningen af drivhusgasserne. Flere tiltag peger både nationalt og internationalt i retning af, at vi indenfor en overskuelig tidshorisont vil være i stand til både at udnytte energien OG fosforen i slammet, såfremt asken fra forbrændingen af slammet ikke blandes med aske fra ikke fosforholdige brændsler. Det er således afgørende for de forsyninger, der i dag skal vælge slamhåndteringsstrategi at vide, om der på sigt vil blive stillet krav om genanvendelse af fosfor, da valget af teknologisk løsning og driftsøkonomi kan afhænge af et sådant krav.




Når der arbejdes med miljøvurderinger er det altid udfordringen af skulle sammenligne forskellige miljøeffekter, der i bund og grund ikke er sammenlignelige. Hertil benyttes ofte livscyklusanalyser med de fordele og ulemper, der er forbundet herved.

En komplet miljøvurdering af de forskellige slamhåndteringsstrategier er ikke målsætningen med dette projekt og vil på grund af mangelfuld viden omkring de førnævnte biologiske processer være særdeles vanskelig at lave uden decideret forskning på området.

Som inspiration ses i Tabel 2 på stikordsform eksempler på yderligere overvejelser, der ikke er relateret til CO<sub>2</sub>, men som også skal håndteres ved valg af slamhåndteringsstrategi. Tabellen kan ikke betragtes som fuldstændig, men som en inspiration til forsyninger, der står overfor en revurdering af deres slamhåndteringsstrategi.

Tabel 2: Stikord til overvejelser omkring andre miljøeffekter udover drivhuseffekten, samt fordele og ulemper ved de undersøgte strategier.

	CO <sub>2</sub> -reduktion	Andre miljøeffekter	Andre fordele	Andre ulemper
<b>Udrådning</b>	 <p>Er ikke en komplet slamstrategi men en proces der forbedrer alle øvrige slamstrategier</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Er ikke en slamstrategi i sig selv men skal ses i kombination med en af efterfølgende slutdisponeringer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Forbedret hygiejnisk kvalitet af slammet til efterfølgende bortskaffelse</li> <li>▶ Forbedrer slammets afvandingssegenskaber</li> <li>▶ Reducerer slammængden til bortskaffelse og reducerer herved omkostningerne</li> <li>▶ Reducerer størrelsen af nødvendigt lager ved landbrugsanvendelse.</li> <li>▶ Mulighed for opgradering af biogassen, så den kan anvendes eksternt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Kræver stor investering ved anlæg</li> <li>▶ Giver en øget kvælstof belastning af renseanlægget via rejektvandet</li> </ul>
<b>Tørring + forbrænding</b>	 <p>Stort potentiale for CO<sub>2</sub>-fortrængning da varmen fra slammets energiindhold kan erstatte brugen af kul på et kraftvarmeværk</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mulige effekter ved deponi af forbrændingsaske samt deponi af rest-produkt fra røggasrensningen (asken + restprodukt kan dog nogen steder anvendes af industrien)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Uafhængige af modstand mod anvendelsen på landbrugsjord</li> <li>▶ Uafhængig af variationer i slamkvalitet samt stramninger af lovgivning for slamkvalitet</li> <li>▶ Ikke længere afgiftsbelagt</li> <li>▶ Mulighed for genbrug af aske i industrielle produktioner</li> <li>▶ Mulighed for fælles løsning med forbrændingsanlæg med overskudsvarme. Slammet tørres med overskudsvarmen og lagres og bruges i perioder med behov for varme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Hvis asken fra slammet blandes med asken fra det øvrige brændsel er det ikke umiddelbart muligt at genvinde fosfor herfra</li> <li>▶ Tab af kvælstof</li> <li>▶ Afhængig af aftale med eksterne aftager</li> <li>▶ Stort askeindhold i forhold til kul og andet brændsel kan gøre slammet mindre attraktivt for den eksterne aftager</li> <li>▶ Kræver investering i tørrer</li> <li>▶ Kræver egnet forbrændingskapacitet eller investering heri</li> </ul>
<b>Forbrænding</b>	 <p>Stort potentiale for CO<sub>2</sub>-fortrængning da varmen fra slammets energiindhold kan erstatte fjernvarme produceret på kul eller andre fossile brændsler</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mulige effekter ved deponi af forbrændingsaske samt deponi af rest-produkt fra røggasrensningen (asken og restprodukter kan dog flere steder anvendes af industrien)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mulighed for medforbrænding af sand, fedt og ristestof</li> <li>▶ Uafhængige af modstand mod anvendelsen på landbrugsjord</li> <li>▶ Uafhængig af variationer i slamkvalitet samt stramninger af lovgivning for slamkvalitet</li> <li>▶ Ikke længere afgiftsbelagt</li> <li>▶ Mulighed for genbrug af aske i industrielle produktioner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Ikke umiddelbart en rentabel genvinding af fosfor fra asken på det danske marked endnu. Forventes i løbet af 2-5 år.</li> <li>▶ Tab af kvælstof</li> <li>▶ Stor investering ved nyanlæg</li> </ul>
<b>Kompostering + landbrug</b>	 <p>Øget mulighed for udnyttelse af slammets kvælstofindhold og dermed erstatning af N-kunstgødning, når afkastluften fra komposteringen opsamles og behandles</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Næringsaltudvaskning</li> <li>▶ Ammoniakafdampning</li> <li>▶ Mulig påvirkning af grundvand og overfladevand</li> <li>▶ Mulig effekt fra mikro-forureninger</li> <li>▶ Mulig akkumulering af miljøfremmede stoffer i naturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mulighed for genvinding af fosfor, der er en begrænset ressource</li> <li>▶ Støtter op om Miljøstyrelsens anbefaling om slam på landbrugsjord</li> <li>▶ Positivt bidrag til jordens struktur</li> <li>▶ Via komposteringen er løsningen ikke følsom overfor de organiske miljøfremmede stoffer, der omsættes under komposteringen (de 4 stoffer, der pt er krav til)</li> <li>▶ Kravet om 9 måneders lagerkapacitet erstattes af komposteringsanlægget</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Usikkerhed omkring afsætning pga. risiko for dårlig slamkvalitet i forhold til gældende lovgivning (tungmetaller) eller modstand mod anvendelsen på landbrugsjord</li> <li>▶ Behov for alternativ afsætningsmulighed ved dårlig slamkvalitet mht. tungmetaller</li> <li>▶ Kræver store arealer til udspredding</li> <li>▶ Kræver kapacitet på modtagende komposteringsanlæg</li> <li>▶ Ved kompostering uden luftopsamling og behandling er der et stort tab af kvælstof</li> </ul>

	CO <sub>2</sub> -reduktion	Andre miljøeffekter	Andre fordele	Andre ulemper
<b>Landbrug</b>  Med de valgte forudsætninger opnås en svag CO <sub>2</sub> -fortrængning	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Næringssaltudvaskning</li> <li>▶ Ammoniakafdampning</li> <li>▶ Mulig påvirkning af grundvand og overfladevand</li> <li>▶ Mulig effekt fra mikro-forureninger</li> <li>▶ Mulig akkumulering af miljøfremmede stoffer i naturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mulighed for genvinding af fosfor, der er en begrænset ressource</li> <li>▶ Støtter op om Miljøstyrelsens anbefaling om slam på landbrugsjord</li> <li>▶ Positivt bidrag til jordens struktur</li> <li>▶ Generelt en billig løsning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Usikkerhed omkring afsætning pga. risiko for dårlig slamkvalitet i forhold til gældende lovgivning eller modstand mod anvendelsen på landbrugsjord</li> <li>▶ Behov for alternativ afsætningsmulighed ved dårlig slamkvalitet</li> <li>▶ Kræver stor lagerkapacitet og store arealer til udspreddning</li> </ul>	
<b>Slammineralisering + landbrug</b>  Med de valgte forudsætninger opnås en svag CO <sub>2</sub> -fortrængning	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Næringssaltudvaskning</li> <li>▶ Ammoniakafdampning</li> <li>▶ Mulig påvirkning af grundvand og overfladevand</li> <li>▶ Mulig effekt fra mikro-forureninger</li> <li>▶ Mulig akkumulering af miljøfremmede stoffer i naturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Ingen håndtering af slammet på renseanlægget udover pumpning</li> <li>▶ Mulighed for genvinding af fosfor, der er en begrænset ressource</li> <li>▶ Støtter op om Miljøstyrelsens anbefaling om slam på landbrugsjord</li> <li>▶ Positivt bidrag til jordens struktur</li> <li>▶ Generelt den billigste løsning i drift</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Usikkerhed omkring afsætning pga. risiko for dårlig slamkvalitet i forhold til gældende lovgivning eller modstand mod anvendelsen af slam på landbrugsjord</li> <li>▶ Behov for alternativ afsætningsmulighed ved dårlig slamkvalitet</li> <li>▶ Behov for alternativ afvanding og afsætning ved dårlig slamkvalitet</li> <li>▶ Erfaringsmæssigt kan der være driftsmæssige problemer ved SMA som følge af vejr og vækst af tagrør</li> <li>▶ Kræver store arealer til SMA og til udspreddning</li> </ul>	
<b>Tørring + landbrug</b>  Energiltilførsel til tørringsprocessen overstiger CO <sub>2</sub> -fortrængningen ved landbrugsanvendelsen og der opnås i stedet stigende CO <sub>2</sub> -udledning	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Næringssaltudvaskning</li> <li>▶ Ammoniakafdampning (vurderes nogen steder i litteraturen som reduceret i forhold til direkte udbragt slam)</li> <li>▶ Mulig påvirkning af grundvand og overfladevand</li> <li>▶ Mulig effekt fra mikro-forureninger</li> <li>▶ Mulig akkumulering af miljøfremmede stoffer i naturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mulighed for genvinding af fosfor, der er en begrænset ressource</li> <li>▶ Støtter op om Miljøstyrelsens anbefaling om slam på landbrugsjord</li> <li>▶ Positivt bidrag til jordens struktur</li> <li>▶ Hygiejniser af slammet</li> <li>▶ Lagerstabil produkt</li> <li>▶ Mulighed for valg af alternativ afsætning i form af forbrænding ved dårlig slamkvalitet eller modstand mod slam på landbrugsjord</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Usikkerhed omkring afsætning pga. risiko for dårlig slamkvalitet i forhold til gældende lovgivning eller modstand mod anvendelsen på landbrugsjord</li> <li>▶ Kræver lagerkapacitet og store arealer til udspreddning</li> <li>▶ Kræver investering i tørrer</li> </ul>	

