

**Sluttrapport
Konseptutredning for innovative energi- og
klimaløsninger i bygg, områder og energisystem.**

Grønn slamhåndtering for mindre landbrukskommuner

SKIPTVET KOMMUNE

Desember 2021



Innhold

FORKORTELSER.....	5
1. Sammen drag	6
1.1. Bakgrunn	6
1.2. Gjennomføring.....	6
1.3. Resultat	7
2. Søker	9
2.1. Forankring i bedriften	9
2.2. Økonomiske forutsetninger	9
3. Prosjekt	10
3.1. Beskrivelse av planlagt hovedprosjekt.....	10
3.2. Beskrivelse av omsøkt konseptutredningsprosjekt	10
3.3. Hva er konvensjonell/standard teknologi for et slikt prosjekt?.....	12
3.4. Målsetning	12
3.5. Samarbeidspartner	12
4. Konseptutredning	14
4.1. Teknologi.....	14
4.2. Beskrivelse av mulige konsepter.....	24
4.3. Kartlegging	29
4.4. Livsløpsanalyse.....	41
4.5. Modell/konsept for optimal energiutnyttelse	51
4.6. Oppsummering	59
4.7. Overføringsverdi for andre landbrukskommuner.....	61
5. Referanser	64
6. Vedlegg	68

FORKORTELSER

Biorest	Utråtnet biomasse. Det som er igjen av biomassen etter en anaerob nedbrytningsprosess.
BMP	Biokjemisk metanpotensial (Biochemical Methane Potential)
CBG	Komprimert biogass
CHP	Kraftvarmeanlegg (Combined heat and power plant)
CSTR	Helomrørte reaktor. Reaktor/råtnetank med kontinuerlig omrøring
EBC	European Biochar Certificate
HRT	Hydraulisk oppholdstid (Hydraulic retention time)
HTC	Hydrotermisk karbonisering
LBG	Flytende biogass
Mesofil	Temperatur område mellom 25-45 °C (driftstemperatur i anlegg 35-39 °C) hvor metanproducerende bakterie kan vokse
OLR	Organisk belastning
PCB7	Polyklorete bifenyl-7
p.e.	Personekvivalent
PFA	Per- og polyfluorete alkylstoffer
RA	Renseanlegg
Substrat	Råstoff/råvarer til biogassproduksjon
Termofil	Temperatur område mellom 45-60 °C (driftstemperatur i anlegg er 54-56 °C) hvor metanproducerende bakterie kan vokse
Tilgjengelig-P	Fosfor som er tilgjengelig for planteopptak
TH	Termisk Hydrolyse
TS	Total tørrstoff (Total Solids)
VOC	Flyktig organisk forbindelse
VS eller FTS	Flyktig tørrstoff (Volatile Solids)

1. Sammendrag

1.1. Bakgrunn

En rekke faktorer i Norge i dag vil medføre store endringer i vann- og avløpssektoren. Det er stort fokus på bærekraft. For avløpsrensaneanlegg betyr det strenge restriksjoner på utslipp til vann og at reduksjon av klimagassutslipp blir stadig viktigere. Dessuten er sirkulær økonomi en viktig rettesnor, noe som bl.a. innebærer at ivaretagelse av ressurser blir stadig viktigere. Næringsstoffer, karbon og overskuddsvarme er viktige ressurser som kan tas vare på med hhv spredning av slam/biorest på landbruksjord, produksjon av biogass fra slam og ekstraksjon av varme fra avløpsvann med varmepumper.

I tillegg finnes andre viktige trender. Befolkningen øker slik at kapasiteten må økes på flere rensaneanlegg. Mengde ekstremvær øker slik at rørnettet må oppgraderes og anlegg bygges om for å unngå overløp som gir utslipp av urensset kloakk. Enorme investeringer vil bli gjort i de nærmeste tiårene i VA-sektoren. Det er et godt tidspunkt for å revurdere dagens VA-løsninger i norske kommuner, fordi hvis flere tiltak gjøres samtidig kan store kostnadsbesparelser skje ved at planer koordineres.

Skiptvet kommune sender i dag alt slam fra avløpsrensaneanlegg til behandling ut av kommunen. Ikke avvannet råslam sendes 35 km til Nordre Follo RA som behandler slammet og bruker det til å produsere biogass. Fra en lang rekke minirensaneanlegg («Private RA») sendes råslam til anlegget til AHSA i Indre Østfold Kommune. Disse behandlingsløsningene medfører store kostnader og er miljømessig ugunstig. I tillegg er det ikke sikkert hvor lenge disse løsningene vil være mulige for kommunen.

På bakgrunn av dette søkte kommunen i 2020 om midler til å gjennomføre en konseptutredning med hjelp av innleid kompetanse fra Aquateam COWI og NORSUS. Prosjektet ble ledet av Smart Innovation Norway.

1.2. Gjennomføring

Prosjektet ble gjennomført i tidsrommet september 2020 til desember 2021. Aquateam COWI og NORSUS har utarbeidet det tekniske underlaget i dette prosjektet, som har Skiptvet Kommune som eier. Smart Innovation Norway AS har organisert og ledet arbeidet.

Prosjektet hadde et konstant samspill med de relevante samfunnsaktørene ved hjelp av de arrangerte workshopene. Denne interaksjonen bidro til å sette retningen på prosjektstudien ved å ta hensyn til de faktiske behovene, potensialet og de teknologiske mulighetene for å realisere studien. Deltagere fra Skiptvet, Indre Østfold, Våler og Marker Kommuner, sammen med VEAS, Viken Fylkeskommune, Norges Bondelag, Biogass Oslofjord, NMBU, og miljøteknologi leverandører har alle deltatt i diskusjoner sammen med prosjektpartnerne for å legge grunnlaget for prosjektet, gi verdifullt innspill og hjelpe å velge konsepter som det skulle jobbes videre med.

Arbeidet ble gjennomført i flere omganger, og begge prosjektmøtene og workshopene ble arrangert i løpet av prosjektet.

Første workshopen gjorde deltakerne kjent med Skiptvet Kommunes visjon og det nye prosjektet og ga mulighet til å gi innspill og danne grunnlag for videre dialog. Workshopen tok sikte på å starte diskusjoner innen forbedret håndtering av slam og andre tilgjengelige ressurser i kommunen og i regionen, for å oppnå maksimal utnyttelse i sammenheng med dagens bioøkonomi.

I andre workshop presenterte Aquateam COWI resultater fra undersøkelser om tekniske, økonomiske og regulatoriske forhold, og NORSUS presenterte resultater fra LCA av slambehandling fra Hoel RA og sammenligning med dagens situasjon. NORSUS presenterte også fire mulige scenarier/konsepter i tillegg til dagens situasjon for å bli vurdert for å utvikle videre i prosjektet. Andre aktører fra kommuner, Norges bondelag, avløpsbransjen og akademia ga sitt innspill til de forskjellige scenarier.

På møte i juni mellom Aquateam COWI, NORSUS og Smart Innovation Norway AS presenterte NORSUS resultater fra LCA av tre utvalgte scenarier sammenlignet med dagens situasjon. Aquateam COWI formidlet utarbeidet studie om råstofftilgjengelighet i regionen og energibehov i kommunen, samt resultater av mass-balanse og dimensjonerings utredninger for de utvalgte scenarier.

1.3. Resultat

Skiptvet kommune sender i dag alt slam fra avløpsrenseanlegg til behandling ut av kommunen. Dette medfører store kostnader og er miljømessig ugunstig. Primære årsaker til stor miljøbelastning er frakt av ikke avvannet avløpsslam til Nordre Follo RA og bruk av lesket kalk, et kjemikalium som er svært energikrevende å framstille, i hygienisering av slam fra privat rensesanlegg som renses per i dag på AHSA IKS rensesanlegg.

Prosjektet har først analysert alternativ på et kommunalt biogassanlegg i Skiptvet som kunne behandle slam fra Hoel RA, privat slam fra Skiptvet kommune og slam fra Svinndal RA i Våler Kommune (Scenario 1). Den estimert energiproduksjon fra avløpsslam dekket av alternativet (totalt 170 tonn TS/år), var beregnet til ca. 324 MWh/år (886 KWh/d). Fra det grove estimatet av energibehov for et slik anlegg, er det beregnet at ca. 62 % av produsert energi vil bli benyttet internt, noe som ikke virker lønnsomt. De kartlagt avløpsslam tilgjengelig per i dag i Skiptvet var fortsatt en veldig liten årlig mengde som tonn TS for å ha et kommersielt-skala biogassanlegg (minst slam mengde definert om ca. 500 tonn TS/år).

En evaluering av nye alternativer som ville omfatte en større mengde råstoff ble deretter kartlagt.

Tre alternativer ble analysert videre:

- Scenario 2) Lokalt anlegg for slam-behandling fra Skiptvet, Svinndal RA og i tillegg AHSA IKS
- Scenario 3) Regionalt anlegg for slam-behandling fra Skiptvet, Svinndal RA og AHSA IKS, samme som husdyrgjødsel-behandling fra Østfold regionen inkl. Våler, Rakkestad og Sarpsborg kommuner
- Scenario 4) Frakt av Skiptvets avløpsslam til et eksisterende stort biogassanlegg

Scenario 2 viser å være et økonomiske lønnsom mulighet for Skiptvet kommune, men miljøhytte er ikke store enn for Scenario 3. I dette alternativ kan biogass som produseres dekke bare ca. 43 % av den totalt energi behov for oppvarming i kommunen. Et CHP-anlegg kan etableres slik at elektrisitet kan også produseres, noe som gi fleksibilitet iht. utnytting av biogassen helle året.

Scenario 3 kombinere et anlegg som behandler avløpsslam og et som behandle husdyrgjødsel, og biogassen oppgraderes til biometan i et felles anlegg. Biometan som produseres kan komprimeres og utnyttes f.eks. i kommunale kjøretøy i kommunen. Bioresten fra husdyrgjødsel gis tilbake til bøndene som leveres husdyrgjødsel, mens biorest fra avløpsslam kan anvendes f.eks. som jordforbedringsmiddel til kornproduksjon i kommunen og omkringliggende områder, eller i produksjon av slam-basert jord eller kompost produkter.

Scenario 4 involvere å sende slammet til et biogassanlegg som allerede har biogassproduksjon og oppgradering til drivstoff. VEAS har et slikt anlegg på Slemmestad og har planer om å bygge en «jordfabrikk» i Indre Østfold Kommune. En slik løsning vil være miljømessig gunstig. Kommunen vil om ønskelig få tilbake bioresten og dermed næringsstoffene til bruk i f.eks. jordbruket. Denne løsningen vil ikke gi energi til kommunen og vil antagelig gi noe større kostnader enn dagens løsning fordi behandlingskostnaden vil være den samme og transportkostnader høyere, men løsningen krever ingen kommunale investeringer, med mulig unntak av en utvidelse av avvanningskapasiteten på Hoel RA for å kunne håndtere slam fra private RA.

Scenario 3 ble funnet som de best miljømessige alternative. Det finnes store mengder husdyrgjødsel fra storfe og svin i nærområdet, dvs innen en distanse av ca. 40 km. Selv om dette råstoffet må transporteres (ca. 6-10 % TS) til biogassanlegget og under forutsetning av at biorest fraktes med samme bil, vil et slikt anlegg gi stor miljøgevinst. Årsaken er at oppgradering av biogass til drivstoffkvalitet antagelig vil være lønnsomt. Miljønyttens av å erstatte fossile drivstoff er stor, oppveier miljøbelastning ved transporter av råstoff og biorest, behandling av rejektivann og bygging av to Prosess-linjer for biogassproduksjon.

Dette konseptet vil gi store energimengder og netto reduksjon av klimagassutslipp. Dessuten oppnås en ytterligere gevinst ved at utslipp forbundet med dagens løsninger for behandling av slam og gjødsel unngås. Når det gjelder prosess, det er anslått behovet for ekstra råstoff slik at prosess med husdyrgjødsel kan kjøres stabil under termofil drift pga. nitrogen belastning i råtnetanken. Når det gjelder kostnader, viser Scenario 3 å bli et økonomisk lønnsomt alternativ hvis alle forutsetninger er oppfylt, med et totalt investeringen estimert i ca. 186 MNOK, hvorav 50% kan dekkes fra tilskudd til bygning av biogassanlegg. Behandlingskostnad er beregnet i ca. 1300 NOK/tonn TS råstoff.

2. Søker

Skiptvet er en landbrukskommune som ligger i landskapet Østfold i Viken fylke på Østlandet i Norge, ca. 70 km fra Oslo. Kommunens areal er 101,6 km², der 33 km² er jordbruksareal og 42 km² er produktiv skog. Kommunen grenser mot Våler i vest, Indre Østfold i nord og øst, Rakkestad i øst, og Sarpsborg i sør. Skiptvet kommune har 3 805 innbyggere (1.januar 2020). Tettstedet i Skiptvet heter Meieribyen og har 1 720 innbyggere per 1. januar 2019. Frem til 2040 forventes en økning til 4 661 innbyggere i Skiptvet (SSB, 2020).

Skiptvet har store produksjoner innenfor norsk landbruk, og er en viktig arbeidsgiver i kommunen. Som for resten av landet er antall arbeidsplasser knyttet til landbruket fallende, samtidig som det enkelte gårdsbruk har blitt større. Å øke jordbruksproduksjon er viktig for å bevare både matindustri og sysselsetting i kommunen som helhet.

Skiptvet kommune ønsker å ha et aktivt miljøvennlig landbruk som fokuserer på utvikling av næringen og samtidig søker om å verne dyrket mark. Skiptvet kommune er den største arbeidsgiveren i kommunen. Det er en framtidsrettet og allsidig arbeidsplass med omtrent 350 ansatte i hel- og deltidsstillinger. De fleste ansatte yter tjenester i direkte kontakt med kommunens innbyggere. Kommunen har et mangfold av tjenester og det meste av ressursene går til barn, helse og omsorg.

2.1. Forankring i bedriften

Skiptvet kommune samarbeider med Smart Innovation Norway AS i et Smart City Program "Smart Skiptvet". Programmet skal legge til rette for innovative, bærekraftige og nye måter å utvikle Skiptvet kommune på og denne søknaden ligger i dette programmet. Samarbeidsavtalen har en varighet til minst 2022.

Skiptvet kommune har følgende mål for klima og miljø beskrevet i Kommuneplanens samfunnsdel 2018-2030: «Legge til rette for at utbyggere og innbyggere velger miljømessig gode løsninger i hverdagen.» I regional klimaplan for kommunene Indre Østfold 2011-2020 er et av målene at «Energiforbruket skal reduseres ved å øke andelen gjenvinnbare ressurser i regionen, øke andelen alternativ energi og endre forbruksmønstre».

Problemstillingen Skiptvet kommune er i, knyttet til slamhåndtering, er fremmet som politisk sak i ulike kommunale utvalg, der leder for plan, landbruk og teknikk har bedt om midler for konseptutredning i 2020-2021 og etablering av eget anlegg i 2022-2023. Konseptutredning og investeringer er nødvendig fra kommunen sin side til å oppfylle gjeldende lovverk (bl.a. forurensingsloven).

2.2. Økonomiske forutsetninger

Skiptvet kommune har gjennom sine budsjett avsatt midler til forskning- og innovasjonsprosjekter, som vil dekke deler av merinvesteringen i det omsøkte prosjektet. Skiptvet kommune har utført kostnadskalkyler som viser at bygging av eget anlegg for slamhåndtering, og mulig produksjon av energi kan gi økonomiske gevinster sammenliknet med transport av slam til Nordre Follo renseanlegg.

3. Prosjekt

3.1. Beskrivelse av planlagt hovedprosjekt

Norge har unike forutsetninger for fornybar energi. De fleste kommuner må håndtere store mengder avløp, matavfall og slam som kan utgjøre en verdifull ressurs hvis den omdannes til biogass og gjødsel.

Mindre kommuner har ofte renseanlegg som renser avløpsvann, men anleggene er ikke tilpasset håndtering av slam. Det har derfor vært vanlig for mindre kommuner å levere slam til regionale renseanlegg, som sparer de mindre kommuner kostnader for drift og vedlikehold av egne anlegg.

I takt med at verdens befolkning øker og byene våre blir større, er det stadig viktigere å håndtere avløp, matavfall og slam på en trygg og effektiv måte. Strengere rensekraav for å ivareta utslippskrav til regionale resipienter reduserer kapasiteten til større renseanlegg i regionen. Skiptvet kommune kan ikke behandle sitt eget avløpslam. Derfor sendes slammet pr i dag til andre anlegg. AHSA IKS renseanlegg har ikke nok kapasitet til å ta imot alt slam som produseres i Skiptvet. Derfor sendes bare slam fra minirensesanlegg til dette anlegget. Slammet fra Hoel RA transporteres til Nordre Follo renseanlegg. Dette fører til økte kostnader for kommunen pga. økt slambehandlingsavgift og økte transportutgifter. Klimagassregnskapet påvirkes betraktelig, spesielt med tanke på at det transporteres nesten 96 % vann i våtslam fra Skiptvet til Nordre Follo og Askim. Skiptvet kommune har per i dag utstyr for avvanning på Hoel RA som vil redusere våtandelen i slammet før transport og dermed reduserer både miljøbelastning og transportkostnader, men de renseanleggene som tar imot slammet har ikke utstyr for å håndtere avvannet fremmedslam.

Skiptvet kommune er ikke den eneste kommunen som må finne nye og innovative løsninger for håndtering av slam i kommunen. Flere og flere mindre landbrukskommuner vil bli tvunget til å transportere slam over større strekninger til renseanlegg med ledig kapasitet. Men håndtering av slam, landbruksavfall og matavfall kan utgjøre en verdifull ressurs for hver enkelt kommune hvis slam, landbruksavfall og matavfall omformes til f.eks. biogass og gjødsel. Biogass kan videre brukes til oppvarming av kommunale bygg gjennom fornybar energi. I Skiptvet kommune er flere kommunale bygg tilrettelagt for fornybar energi. Ellers hvis anlegget er stort nok, kan biogass renses og oppgraderes til drivstoffkvalitet for å brukes i nasjonale gassnett eller som drivstoff for kjøretøyer, noe som gir viktige inntekter for kommuner.

3.2. Beskrivelse av omsøkt konseptutredningsprosjekt

Skiptvet kommune ønsker i denne konseptutredning belyse hvordan et nytt biogass-konsept i mindre landbrukskommuner kan være et økonomisk, klimamessig og energimessig lønnsomt alternativ til transport av slam til renseanlegg ut av kommunen. Konseptutredningen skal gi svar på hvor mye bedre dette innovative biogasskonseptet bør være for at man gå videre med et større prosjekt.

Konseptutredningen skal gi svar på følgende:

- Fordeler og ulemper med biogass-anlegg for mindre landbrukskommuner, sammenliknet med slamtransport til eksterne renseanlegg
- Hvilke muligheter for energiutnyttelse internt i kommunen som finnes for samspill mellom landbruksaktører, kommunens egen energibehov, og produksjon, distribusjon og bruk av grønn energi.
- Hvilke typer biogass-anlegg som er aktuelle for etablering i mindre landbrukskommuner, som Skiptvet kommune.

Skiptvet kommune ønsker i denne utredningen å se på en konkret case med etablering av et biogassanlegg i Skiptvet kommune, men utredningen skal også gi grunnlag for å vurdere tilsvarende utbygginger i andre mindre landbrukskommuner.

FNs bærekraftsmål

Prosjektet er aktuelt med hensyn til nasjonale (og internasjonale) målsetninger. Dette blir tydelig ved at det enkelt kan knyttes opp mot flere av FNs bærekraftsmål. Effekten har ikke blitt kvantifisert og nevnes her på et overordnet nivå:



Mål 6- Sikre bærekraftig vannforvaltning og tilgang til vann og gode sanitærforhold for alle

Befolkningsvekst og klimaendringer fører til at vannmangelen øker flere steder. Prosjektet ta sikte om å investere i nye og bedre sanitærløsning for små kommuner som unngå forurensning til vannresipienter, bedre utnytte ressurser i avløp og minimere klimagassutslipp ved avløpsbehandling.



Mål 7 – Sikre tilgang til pålitelig, bærekraftig og moderne energi til en overkommelig pris for alle.

Konseptene som vurderes vil medføre produksjon av klimanøytral og ren energi i form av biogass.



Mål 9 – Bygge solid infrastruktur, fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og bidra til innovasjon.

Konseptene som vurderes innebærer en industrialisering av kommunens avløps- og avfallsnæring som er svært bærekraftig. Alle prosessene som inngår, bidrar til økt sirkulær økonomi og en mer effektiv utnyttelse av tilgjengelige ressurser. Prosjektet bidrar også til innovasjon ved å sette sammen prosesser med sikte på å redusere energi- og ressursbruk så vel som miljøpåvirkningen, og å analysere via LCA alle aspektene knyttet til miljønytte.



Mål 11- Gjøre byer og lokalsamfunn inkluderende, trygge, robuste og bærekraftige

Prosjektet utvikles inne å bygge byene slik at de kan gi tilgang til grunnleggende tjenester som energi, god nok avløps- og avfallshåndtering tjenester, redusere forurensning og bruke ressursene på en bærekraftig måte.



Mål 13 – Handle umiddelbart for å bekjempe klimaendringene og konsekvensene av dem.

Prosjektskonseptene vil sikte på at avløpslam og landbruksavfall behandles og gassene utnyttes på en effektiv måte. Klimagassutslipp som følge av spredning av ikke-behandlet husdyrgjødsel til jord vil reduseres betraktelig, og samme ved å erstatte fossilt drivstoff med biogass. LCA -vurderingen vil belyse de mest bærekraftige alternativene når det gjelder klimagassutslipp.

3.3. Hva er konvensjonell/standard teknologi for et slikt prosjekt?

Et biogassanlegg for å håndtere slammet som produseres i en liten landbrukskommune, vil stort sett være nøkkelferdig-typer løsninger som kan tilby kompakte, enkle å håndtere, men også en fleksibel prosess. Disse kommunene kan ha stor del av boliger som er ikke tilkoblet til avløpsnett, samt forskjellige typer av avløpslam med veldig forskjellige egenskaper (kommunalt, septisk, fra mini-renseanlegg). Mengdene av kommunalt slam vil ikke variere mye i løpet av året, men mengdene av privat slam som produseres i boliger som ikke er tilkoblet til avløpsnett forventes å variere sterkt. For disse variasjonene er anleggets bufferkapasitet en svært viktig faktor.

Innføring av trinnet for behandling av slam ved dagens små kommunale renseanlegg vil føre til at nye avløpsvannstrømmer produseres fra slamavvanningsprosessene, noe som innebærer at rejektivannet kan inneholde store mengder nitrogen. Det kan i nær framtid komme krav om at slikt rejektivann må renses for nitrogen før utslipp.

Tilgang til andre typer av organiske avfall fraksjoner som husdyrgjødsel, halm og matavfall er en viktig fordel i disse landbrukskommuner, at disse har en stor energi og næringsstoffer-verdi som er verdt å utnytte og at det vil hjelpe til å oppnå mer kontinuerlig-stabil, resilient og bærekraftige biogassproduksjon på lang sikt.

Denne utredning vil introdusere løsninger for slamhåndtering i små kommuner som inkl. avanning, tørking og pyrolysering av slam, og vil gå dypere inn i biogasssteknologier for å belyse hvordan et biogass-konsept kan være en bedre økonomisk, klimamessig og energimessig løsning for Skiptvet og regionen.

3.4. Målsetning

Målsettingen for hovedprosjektet er at anlegget skal bidra til følgende:

- **500 kWh/d** egenproduksjon
- **20-30%** reduksjon av CO₂ andelen i forhold til alternativet med frakt av slam til renseanlegg
- **100.000 kr/år** i sparte energikostnader

3.5. Samarbeidspartner

Skiptvet kommune har dannet en prosjektgruppe med selskaper og personer som har bred erfaring og kompetanse innenfor de oppgaver og tema som skal løses og utredes i konseptet. Partnere er beskrevet under.

Aquateam COWI

Aquateam COWI AS er et forskningselskap innen vann- og miljøsektoren. Det primære forskningsområdet er knyttet til vannrensing, miljø og slamhåndtering.

Aquateam COWI har mer enn 30 års erfaring med prosesser i vann, slam, sedimenter og jord. Forskingen omfatter studier innen vann- og avløpsrensing, håndtering av slam og våtorganisk avfall, gjenvinning og ressursutnyttelse av avfallsprodukter til f.eks. biogass, fosfor og gjødsel, helse – og miljørisikovurderinger, økotoksikologiske studier i ferskvann og marint miljø, akkumulering i næringskjeden, utlekkingsstester for vurdering av ressursutnyttelse og spesialstudier knyttet til nedbrytning og persistens.

Selskapet driver uavhengig anvendt forskning basert på grunnbevilgning fra COWI Fonden, så vel som oppdragsforskning og utviklingsarbeid.

Aquateam COWI gjennomfører forskningsprosjekter innen vann, avløp, avfall, energi- og ressursutnyttelse. Dette er egeninitierte (uavhengige) forskningsprosjekter samt offentlig/privat finansiert oppdragsforskning. Vi samarbeider tett med myndigheter, landbasert og offshore industri (petroleum, fiskeri/havbruk) og miljøteknologileverandører for å utvikle kunnskap og metodikk knyttet til ny miljøteknologi.

Aquateam COWI har 11 høyt kvalifiserte medarbeidere, hvorav 10 med doktorgradskompetanse.

NORSUS

NORSUS (tidligere Østfoldforskning) er et nasjonalt forskningsinstitutt med visjon om å bidra til kunnskap for en bærekraftig samfunnsutvikling gjennom nyskaping og innovasjon. Norsus jobber med utvikling og bruk av teorier og metoder for å forstå og implementere bærekraft i samfunnet. Mye av forskningen er knyttet til livsløpsvurderinger (LCA), som er et rammeverk for miljøanalyser av produkter, produktsystemer og tjenester.

NORSUS jobber med anvendt forskning og utvikling innenfor en rekke områder, slik som avfallsressurser, biogass, energi og transport.

NORSUS spiller en viktig rolle nasjonalt og internasjonalt gjennom å bistå bedrifter med å utvikle og deklare mer miljø- og ressurseffektive produkter og prosesser. Eksempler er emballasje, mat, biogass og bioetanol, elektrisitet og varmeproduksjon, effektiv avfallsbehandling, miljøeffektive bygg og byggematerialer, kontorstoler og malingsprodukter.

Smart Innovation Norway AS

Smart Innovation Norway og NCE Smart-klyngen startet i 2003 med å være et lokalt energihandelsinitiativ, men har frem til i dag utviklet seg til å bli en viktig nasjonal innovasjonsaktør innen smart energi, smarte byer og digitalisering (intelligent teknologi). I dag består Smart Innovation Norway av seks forretningsområder. Disse er NCE Smart Energi Markets, Cluster for AI, Smart Inkubator, Design & Visualisering, Forskning & Innovasjon og Smarte byer & samfunn. Samspillet mellom disse utgjør selskapets innovasjonsplattform og danner grunnlaget for suksessen selskapet har hatt de siste årene.

Plattformen sørger for tverrfaglig og samtidig samhandling, noe som skaper effektivitet, nye verdier, næringsvekst og samfunns effekt. Det legges vekt på teknøkonomiske modeller og analyser, business intelligence, prosumenter og brukerfleksibilitet. Smart Innovation Norway har sin nøkkelkompetanse i relevant og anvendt FoU, entreprenørskap og prosessutvikling for å imøtekomme nye virksomheter basert på forskningsresultater generert.

Per i dag har Smart Innovation Norway 32 ansatte, og har kontorlokaler i Halden.

4. Konseptutredning

4.1. Teknologi

4.1.1. Om biogass generelt

Anaerob nedbrytning- (eller utråtning) prosess er en mikrobiologisk stabiliseringsprosess som innebærer nedbrytning av det organiske stoffet i slammet uten tilstedeværelse av fritt oksygen. Prosessen skjer i en lukket, oppvarmet tank hvor organisk materiale ved bakteriell nedbrytning omvandles til løste forbindelser som organiske syrer, alkoholer og acetat. Disse forbindelser brytes så ned av en annen type bakterier (metanogens = metan-produserende bakterier) til sluttproduktet biogass, som er en blanding av metan (CH₄), karbondioksid (CO₂) og vanndamp samt mindre mengder av andre gasser (NH₃, H₂S). I tillegg til biogass blir det også produsert et fast produkt som kalles biorest eller utråtnet slam, som består av inert materiale og den delen av det organiske materialet som ikke er omdannet i råtnetanken, dvs. ikke nedbrytbart karbon.

Anaerob nedbrytning blir i størst grad benyttet ved anlegg med kapasitet over ca. 10.000 p.e. (~ ca. 500 tonn TS/år). Den benyttes på de fleste typer slam, men er ikke aktuell ved kalkfelt slam. Biogassen som produseres, består av 60 - 70 % metan og 30 - 40 % karbondioksid og kan brukes til produksjon av varmtvann, strøm sammen med varmtvann i CHP anlegg, drivstoff for kjøretøy etter biogassoppgradering eller leveres til naturgassnett der hvor dette finnes. Under oppgradering av biogass til drivstoffkvalitet fjernes CO₂. Flere norske anlegg ser på muligheten til å utnytte CO₂ som produkt, siden industriell CO₂ har mange ulike bruksområder i næringsmiddelindustrien og i veksthus. Anaerob nedbrytning bidrar også til å redusere lukt i tilknytning til lagring og bruk av slam, og prosessen gir en betydelig reduksjon i slammengde for et renseanlegg.

Anaerob stabilisering av slam må kombineres med en hygieniseringsmetode eller prosessen må drives i det termofile området (≥ 55 °C) for at utråtnet slam skal kunne tilfredsstille gjødselvereforskriften hvis det skal brukes som biorest på jord. En forbehandling med pasteurisering eller for-/etterbehandling med termisk hydrolyse vil garantere dette.

De vanligste behandlingsmetodene for avløpslam når det gjelder anaerob stabilisering er mesofil eller termofil anaerob nedbrytning etterfulgt av avvanning. Dersom man øker utråtningensgraden av slammet ved bruk av ulike tilleggsteknologier, som termisk hydrolyse, kan man oppnå mer biogass, mindre mengde biorest målt som tørrstoff, og mindre mengde avvannet biorest på grunn av forbedrede avvanningsegenskaper.

Anaerob nedbrytning reduserer andelen organisk stoff i tørrstoffet (TS), dvs. det flyktige tørrstoffinnholdet som kalles FTS, og øker derfor den totale andelen av uorganiske komponenter per kg TS i bioresten. Det er påvist at nitrogen og delvis fosfor blir mineralisert under nedbrytningsprosessen slik at biorestens innhold av næringsstoffer blir bedre balansert og gjødseleffekten av avløpslam forbedres. Tungmetaller, som annen evt. forurensingen som finnes i slammet, vil også konsentrere etter biogassprosessen.

Nedbrytning av FTS ved anaerob prosess kan redusere tørrstoffmengden mellom 40-70% avhengig av typer av biomasse/substrat og effektiviteten til behandlingstrinnet for FTS-reduksjon.

Høyere FTS-reduksjon er positivt for energiproduksjon som biogass, men det er viktig med god kontroll på innhold av tungmetaller i bioresten ettersom innhold av tungmetaller oppkonsentreres og kan føre til at bioresten kommer inn under klasse III i gjødselvereforskriften (Notat 1, 2020).

Pasteurisering + anaerob stabilisering

Pasteurisering innebærer å utsette slammet for en høy temperatur (minimum 70 °C) i så lang tid (minimum 30 minutter) at bakterier og parasittegg i slammet blir inaktivert. Slammet kan varmes opp ved hjelp av varmevekslere, ved lavtrykkdamp som blåses inn i slammet eller ved hjelp av en gassbrenner neddykket i slammet. Denne metoden kan i prinsippet benyttes for alle anleggs-størrelser hvor det er aktuelt å bruke råtnetanker for stabilisering av slammet. Ved store anlegg (> ca. 50.000 pe.) benytter man normalt helkontinuerlig drift av pasteuriseringsanlegget, men på mindre anlegg produseres det ikke nok slam til at man kan pumpe det gjennom pasteuriseringen kontinuerlig uten å få for lave hastigheter i pumpeledningene.

Dersom man har pasteurisering på et biogassanlegg kan man ta imot tilleggssubstrater som defineres som kategori 3 animalske biprodukter iht. animaliebiproduktforskriften (Lovdata, 2018).

Termisk hydrolyse (TH) + anaerob stabilisering (eller anaerob stabilisering + TH)

Termisk hydrolyse innebærer en oppvarming av slam til 165 - 170 °C ved hjelp av damp og trykkøkning til 7 - 7,5 bar. Behandlingen medfører en fullstendig sterilisering av slammet. Slammet må fortykkes, vanligvis til 12 - 17 % TS-innhold, før termisk hydrolyse. Det foretas varmegjenvinning for å redusere driftskostnadene og få ned temperaturen i slammet til ca. 40 °C før anaerob stabilisering. Alternativet er å varme slammet etter utråtning, som gjør at slammet også får gode avvanningsegenskaper og rejektivannet gir økt biogassproduksjon ved resirkulering til råtnetank.

Metoden benyttes ved store renseanlegg eller der hvor man ønsker å øke kapasiteten på eksisterende råtnetankanlegg uten å utvide råtnetankvolumet, og er ikke vurdert som aktuell i dette tilfellet.

4.1.2. Teknologi for biogassproduksjon

Anaerob nedbrytning kan klassifiseres mht. tørrstoff innholdet i prosessen som (Chiumenti et al., 2012; Schnürer og Jarvis, 2018):

- Våt nedbrytning: TS < 20%,
- Semi-tørr nedbrytning: TS = 20%,
- Tørr nedbrytning: TS >20%

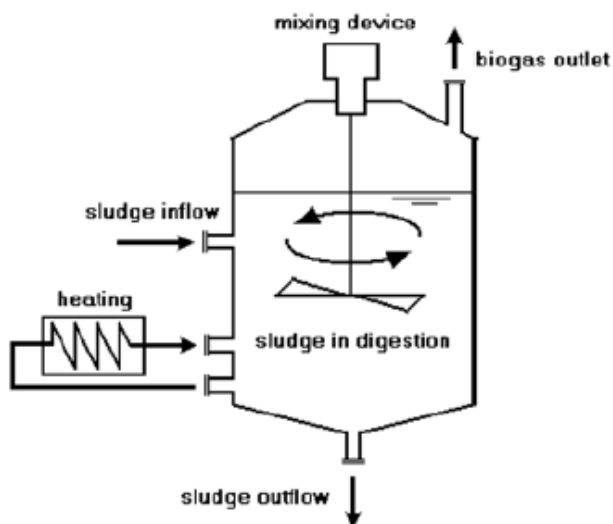
Våt nedbrytning er per i dag den mest brukte teknologien for kontinuerlige prosesser med innløp av flytende biomasse eller en våt blanding av forskjellige substrattyper.

Reaktorteknologiene kan grovt sett deles inn i to overordnede grupper, suspendert bakteriell vekst og bakteriell vekst ved fiksert-film. I suspendert vekst-systemer blir bakteriekulturene suspendert i reaktoren ved en form for omrøring, mens det i fiksert-film systemer er et rolig vekstmiljø for en oppsamling av bakterier på en overflate. I fiksert-film systemer forblir bakteriekulturene relativt lenge i reaktoren, slik at det blir lang SRT og kort HRT. I suspendert vekst-systemer er som regel HRT og SRT like, med mindre det nedbrutte materialet tilbakeføres inn i reaktoren.

De vanligste anaerobiske reaktortypene er fullt helomrørte reaktorer (CSTR), UASB reaktor (Upflow anaerobic sludge bed), AFB (anaerobic fluidized bed) eller EGSB (expanded granular sludge bed) reaktor, «Upflow Anaerobic Filter» reaktor og kompakt biofilm reaktor. Reaktortypene som blir videre beskrevet her vil være ihht hvem som passe bedre til slambehandling, dvs. CSTR og plug-flow kompakt biofilm reaktor med fokus på Antec Biogas AS sin teknologi.

Helomrørte reaktorer (CSTR)

Et mye brukt reaktordesign er den såkalte kontinuerlig omrørte tankreaktoren (CSTR), som ofte brukes til behandling av avløpslam, matavfall og flytende husdyrgjødsel (Schnürer og Jarvis, 2018). Figur 1 viser en slik helomrørt reaktor.

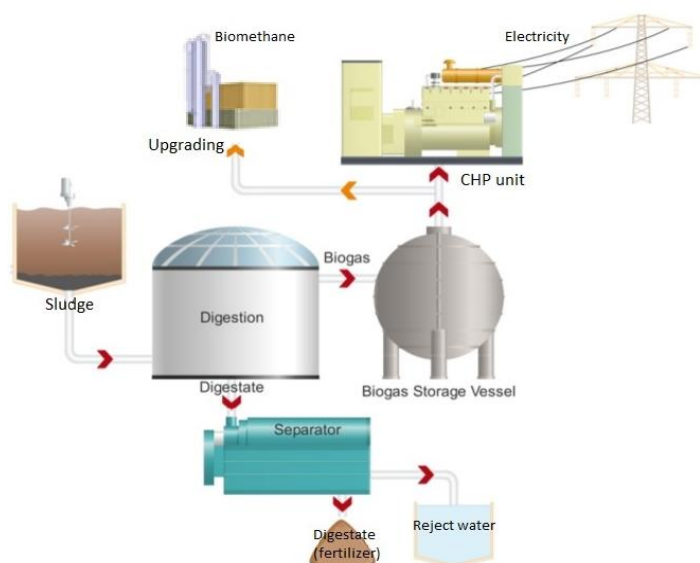


Figur 1. CSTR for kommersiell biogassproduksjon (IWA, 2007).

Tanken eller reaktoren for nedbrytning kan bygges opp av for eksempel stål eller betong, og kan også utstyres med isolasjonsmateriale og varmetilførsel i rør for god bevaring av varme. For biogassproduksjon i kommersiell skala benyttes helomrørte prosesser med relativt lavt innhold av tørrstoff (2 – 15 %), og slik som for avløpslam, så transporteres materialet ved pumping. Biogassen som dannes samles fra toppen av tanken, mens den utrånede bioresten fjernes ved pumping, skrues eller gjennom et overløpsrør for videre oppbevaring og bruk, og noen ganger for senere avanning og resirkulering tilbake til prosessen.

Ved kontinuerlige utrånning så blir nytt råstoff kontinuerlig pumpet inn i råtnetanken, noe som gir en veldig jevn tilførsel av råstoff, og dermed også en jevn produksjon av gass. Det er mulig å benytte seg av dette for substrater i flytende form som har et tørrstoffinnhold på mindre enn 5 %, slik som kommunalt og industrielt avløpsvann (Schnürer og Jarvis, 2018).

De fleste biogassanlegg dimensjoneres i dag som ett-trinns anlegg, men dersom anlegget er så stort at det er aktuelt å bygge to råtnetanker, bør tankene både kunne drives i serie (to-trinns anlegg ved lav belastning) og i parallell ved økende belastninger opp til dimensjonerende belastning. Dette kan også være en løsning når forskjellige substrater må utrånnes og ulik kvalitet på biorester er søkt, slik at prosessen må kjøres i parallelle linjer for å unngå forurensning. Figur 2 viser oversikt over et vanlig biogassanlegg for avløpslam.



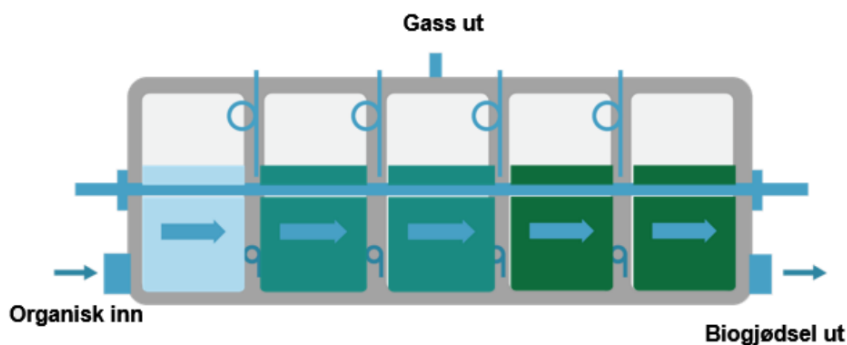
Figur 2. Skjema av vanlig biogassanlegg for avløpsslambehandling.

Slamvannet eller rejektvannet fra avvanning av utrånnet slam er sterkt forurenset med høyt innhold av organisk stoff og ammonium. Rejektvannet må derfor renses, eventuelt utjevnes før påslipp til rensesanlegg. Ved prosjektering bør det tas spesielle hensyn slik at tilbakeføring av rejektvann ikke skaper problemer ved driften av rensesanlegget (utjevning o.l.) (Ødegaard et al., 2009).

Kompakt biofilm-gjennomstrømningsreaktor

Antecs biogass-reaktortechnologi benytter biofilm. Substratet passerer gjennom ulike kamre i en reaktor som er fordelt med «lameller» hvor biofilm vil feste seg. Til sammen gir dette en overflate for biofilm, og så metanogenbakterie, å vokse. Substrat pumpes inn i starten på reaktoren som ved bruk av roterende skovler skyver substratet fremover i prosessen (Figur 3). Utpumping av stabilisert substrat fra det siste kammeret i reaktoren går via en varmeveksler og ut til en rotasjonspresse for å skille våt og tørrfraksjon i bioresten. Alternativt kan bioresten håndteres slik den er, uten avvanning. Bioresten vil være stabil med hensyn til lukt.

Vanlig er hydraulisk oppholdstid på 7-10 dager. I Norge er denne prosessen ny og det finnes ikke mye driftserfaring i bransjen, men resultater fra pilotanlegg i Norge og fullskala anlegg fra andre land viser en tilfredsstillende nedbrytning av biogass-substrat.



Figur 3. ANTECs reaktor (ANTEC BIOGAS AS, 2021).

4.1.3. Bruk av biogassen

Det er tre hovedmåter å bruke energien i biogass på:

1. Varmeproduksjon i gasskjel som gir varmt vann og damp;
2. Produksjon av elektrisitet og varme samtidig, også kalt kraftvarme, eller CHP (Combined Heat and Power) Gassen brukes i en stempel- eller Stirling-motor, eller gassturbin som driver en generator. Varmeproduksjonen i et kraftvarmeanlegg går ut på å ta vare på den varmen som oppstår under elektrisitetsproduksjonen, kjøling av motor og varmegjenvinning fra eksos;
3. Oppgradering av biogassen til drivstoffkvalitet (mer enn 97% metan, også kalt biometan) til bruk direkte i kjøretøy, eller injeksjon i (naturgass-) nett.

Varmeproduksjon er den enkle løsningen for små anlegg. Kraftvarme har tidligere vært løsning for mange biogassanlegg på avløpsrensaneanlegg, men i den senere tid har flere av dem gått over til å levere gass av drivstoffkvalitet. Nye anlegg som bygges for matavfall velger i de fleste tilfeller å produsere biometan til kjøretøy. Ved kraftvarmeverk blir rundt regnet 27 - 40 % av energien omdannet til elektrisitet mens resten blir varme. Total utnyttelse av energien i er i området 85 - 90 %. Anlegg som har kraftvarmeverk, benytter vanligvis en del av varmen til oppvarming av substrat og kompensere for varmetap fra reaktor. Dette reduserer netto utnyttbar varme til andre formål.

I Norge kan vi skille mellom to metoder for oppgradering av biogass, bruk av membraner og av adsorpsjon-prosess. Ved bruk av membraner pumpes biogassen opp (ca. 15 bar trykk) og ledes inn til membraner. Karbondioksid passerer gjennom membranen, mens metan blir stoppet. CO₂ blir dermed skilt ut og man har tilbake en gass med mer enn 97% metan. Det kan være nødvendig med en to-trinnsprosess for å fjerne all CO₂ (Morken et al., 2017).

Ved absorpsjonsanlegg ledes biogassen gjennom en væske som absorberer CO₂. Væsken tas ut og CO₂ fjernes fra væsken, som så brukes om igjen (væsken sirkulerer rundt og rundt i anlegget). Det vil som regel være et lite behov for etterfylling. Væsken kan være vann (ofte kalt vannskrubber) eller en væske tilsatt et stoff fra gruppen aminer, som binder CO₂ (aminanlegg).

Ved intern bruk av biogassen kan biogassanleggets elektrisitets- og varmehov behov dekkes. Elektrisitetsbehovet er knyttet mest til omrøring av reaktoren, pumping av substrat og avvanning/separasjonsprosesser for utrånnet slam. Intern energibruk i form av varme inkluderer oppvarming av substrat og kompensasjon for varmetap. Ved en eventuell kombinasjon med pyrolyseprosess kan energien benyttes for eksempel til tørking, forvarming av luft til tørking og forbrenning med mer.

Oppgradering av biogassen er en kostbar løsning for små anlegg som vil kreve en stor andel av energi produsert. Som en tommelfingerregel vil det være nødvendig med minimum 100-200 Nm³ produsert rågass pr time for å oppnå lønnsomhet i produksjonen (Morken et al., 2017; Hoyer et al., 2016).

4.1.4. Bruk av biorest

Bioresten som kommer ut av rånnetanken inneholder alle næringsstoffene i råstoffet (nitrogen, fosfor, kalium og en rekke mikronæringsstoffer). Ved avvanning av bioresten vil nitrogenet i hovedsak følge vannet, mens fosforet ender opp i den tørre fraksjonen. Mesteparten av bioresten som produseres i Norge brukes på jordbruksarealer (70 %), mens det nest største bruksområdet er jordprodukter, som inkluderer biotak, jordblandinger, pellets og lignende (Ålund et al., 2020).

I 2018 var 82 % av all bioresten som kommet fra biogassproduksjon i Norge fra avløpslam (Ålund et al., 2020). I henhold til gjødselvereforskriften kan ikke biorest produsert fra avløpslam spres på areal der det dyrkes grønnsaker, poteter, bær, eller frukt spres i eng eller brukes i gartnerier. I private hager, parker, lekearealer eller lignende må avløpslam bare brukes som en del av et dyrkingsmiddel. Biorest produsert fra husdyrgjødsel og matavfall har ikke de samme restriksjonene. Det er derfor ikke ønskelig å sambehandle avløpslam og husdyrgjødsel, og det kan antas at det vil være lettere å få avsetning for biorest fra husdyrgjødsel enn biorest fra avløpslam.

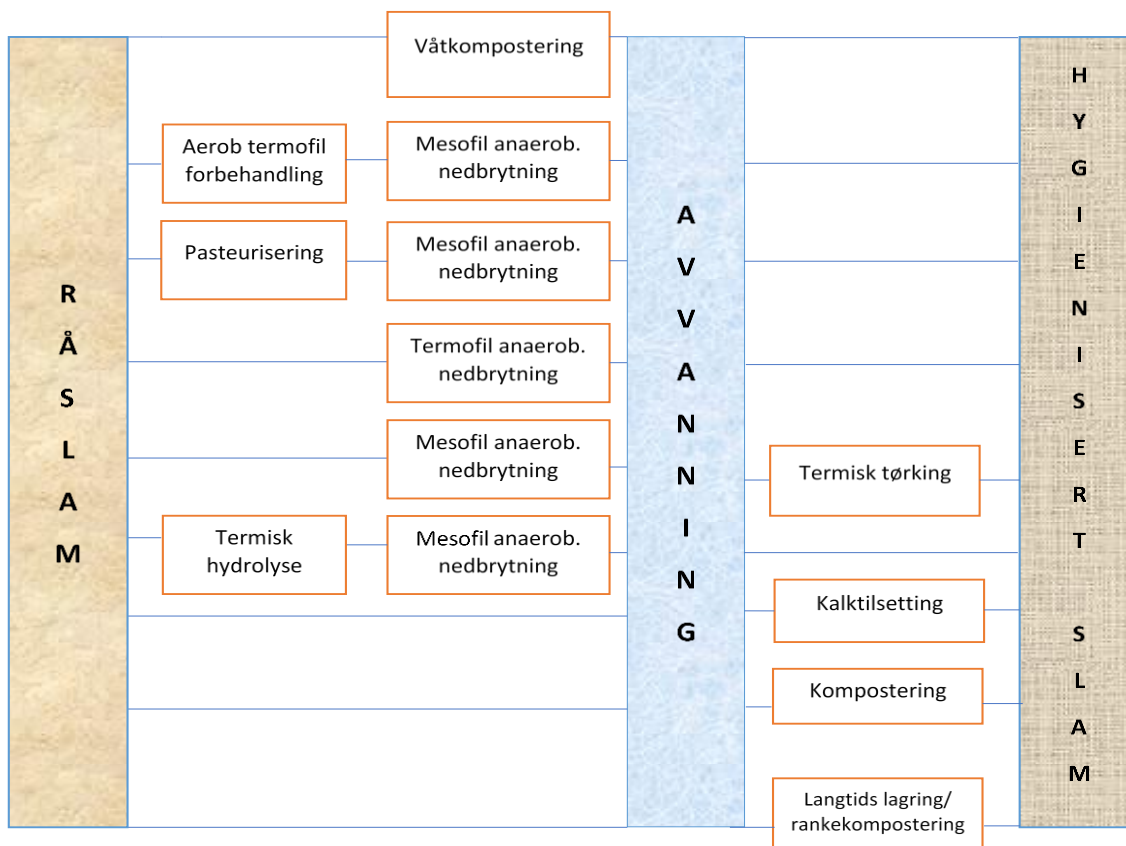
4.1.5. Vurdering av andre slamhåndteringsteknologier

En kritisk faktor som i stor grad definerer sluttkvaliteten på bioresten iht. mulighet for gjenvinning av næringsstoff er behandlingsmetoden for avløpsvann som brukes på renseanlegget. Primærslam, septikslam, kjemisk utfelt slam og biologisk/aktiv-slam er alle helt forskjellige slamtyper med forskjellige karakteristikk. Primærslam gir mest energi som biogass fordi det har et høyere organisk innhold, biologisk behandlet slam har høyere innhold av tilgjengelige fosfor og gir bedre muligheter for gjenvinning i form av nye produkter.

Som nevnt i Notat 1-Lovverk og forskrifter, regulerer *forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav* (gjødselvereforskriften, 2003) behandling, lagring og bruk av avløpslam og en rekke andre organiske avfallsprodukter. Kapittel 2 i forskriften inneholder bl.a. krav om stabilisering og hygienisering av slam og annet organisk avfall før bruk. Kravet til stabilisering er generelt formulert og angir bare at slam ikke skal forårsake luktulempen eller andre miljøproblemer ved lagring og bruk, mens hygieniseringskravet er konkret og angir at hygienisert slam ikke skal inneholde Salmonella-bakterier eller ineffektive parasittegg. I tillegg skal innholdet av termotolerante koliforme bakterier (TKB) være mindre enn 2500 pr. gram tørrstoff (TS). Det er under arbeid et forlag på grenseverdier for organiske miljøgifter for PFOA og PFOS, PCB7 og DEHP og at grenseverdien skal gjelde uansett bruksmengde og bruksmåte (Landbruksdirektoratet, 2018).

For å oppfylle kravene i gjødselvereforskriften om stabilisering og hygienisering av avløpslam, benyttes det i Norge i dag ulike behandlingsmetoder som vist i Figur 4.

Noen av metodene kan oppnå både stabilisering og hygienisering av slammet i én prosess, mens de fleste omfatter en kombinasjon av prosesser for å oppnå både stabilisering og hygienisering.



Figur 4. Ulike behandlingsmetoder for slam som brukes i Norge i dag og som kan tilfredsstille gjødselvarerforskriftens krav (adaptert fra Johannessen et al 2020; Ødegaard et al., 2009, og Nybruket et al., 2003).

Termokjemiske prosesser

Metoder som pyrolyse, hydrotermisk karbonisering og forbrenning av avløpslam er ikke i bruk i Norge i dag, men en del forskningsprosjekter er i gang med testing i pilot/demo-skala anlegg. Når det gjelder produksjon av biokull når slam brukes som råstoff, er dette fremdeles ikke sertifisert under den European Biochar Certificate (EBC), og det er en stor utfordring å finne et marked for et slikt biokullprodukt, selv om det forventes fremgang i de kommende årene med hensyn til dette og andre resirkuleringsprodukter fra slam.

Termokjemiske behandlingsmetoder er karakterisert ved kortere reaksjonstider som spenner fra sekunder til minutter. Prosessen krever slam med høyt TS-innhold, og tørking av slam krever energitilførsler. Når man sammenligner med anaerob nedbrytning gir termokjemiske metoder fordelen av en rask og kontrollert spaltning av mer enn 80% av det organiske materialet. Prosessen skjer under inert, delvis oksiderende eller oksiderende atmosfære i et brennkammer.

Dersom slam/biorest pyrolyseres, reduseres TS-mengden i sluttproduktet opp til 60-70 % ved høye driftstemperaturer. Forbrenning kan oppnå en TS-reduksjon på opptil 90 %. Sluttproduktene fra disse termokjemiske behandlingene er henholdsvis biokull, hydrokull og aske.

For å produsere biokull må råvarene tørkes og oppvarmes til ca. 500 °C, uten, eller med begrenset tilgang til oksygen. Da forsvinner alt vannet og deretter de mer flyktige brennbare stoffene ut av råvaren. Restproduktet er rent kull og aske. De flyktige bestanddelene forbrennes og varmen som

skapes benyttes til tørking i pyrolyseprosessen. Om energiinnholdet i det som skal pyrolyseres er lavt (dvs. karboninnhold er lavt, målt som tørrstoffinnhold), askeinnholdet er høyt og fuktinnholdet er høyt blir ikke prosessen selvforsynt med energi. Dette vil si at jo høyere tørrstoffinnhold i råstoff jo mer energieffektive og lønnsom er prosessen. Karbon innhold er det viktigste aspektet når det gjelder biokullets kvalitet, fordi biokull med mer enn 50 % karbon (som TS) er sertifiserbart iht. EBC, men et biokull med lavere karboninnhold er ikke det. I dag sertifiserer ikke EBC biokull basert på avløpslam, mulig pga. lavt karbon innhold og forurensinger (både tungmetaller og organiske miljøgifter står med grenseverdier iht. EBC), men dette kan undersøkes med EBC for eksempel når det gjelder å blande slam med andre typer råstoff.

Avløpslam har i gjennomsnitt et karboninnhold mellom 25-45 % TS. Råslam har et høyt vanninnhold og må øke sitt TS-innhold før pyrolyseprosess, normalt fra 8% TS til 45% TS ved et avvanningstrinn (f.eks. skruepresser) og til 85 % TS ved et tørkingstrinn. Det vil også innebære håndtering av en ikke-hygienisert rejektivannstrøm, som vil være næringsrik og må renses før utslipp. Ved et høyt behov for energi til tørking vil andelen aske i sluttproduktet øke, da kullet brytes ned for varmeproduksjon.

Å behandle avløpslam via en vanlig pyrolyseprosess vil vanligvis innebære å blande det med andre råstoff som hageavfall, treverk eller skogsavfall. Dette vil øke TS% i råstoff innløp til pyrolyse og også karboninnhold i biokull, og på samme tid fortynne forurensinger som kommer i slam. Dette skal gjøre prosess selvforsynt med energi.

Hydrotermisk karbonisering (HTC) er også kalt våt pyrolyse, og det er en prosess som omdanner den våte biomassen med mindre enn 12 timers drift til et materiale som kan sammenlignes med kull, kalt hydrokull. Blant termiske metoder tilbyr HTC betydelige fordeler for konvertering av biomasse, inkludert mindre energi til tørkeprosessen, høy effektivitet og relativt lav driftstemperatur. HTC-prosessen opererer med biomasse med høy fuktighet suspendert i en trykkbeholder under en temperatur på 180 °C til 250 °C og resulterende vanddamp mellom 15 og 20 bar (noen systemer opp til 80 bar). HTC er en eksoterm prosess. Eksperimentene viser at energiforbruket som kreves for å opprettholde reaktortemperaturen under karboniseringsprosessen er betydelig lavere på grunn av varmen som sendes ut fra de eksoterme prosessene i reaktoren.

HTC er en lovende teknologi for konvertering av organisk avfall med høyt vanninnhold og kan bli viktig også for CO₂-fangst (CCS). Differensieringen av massebalansen angående tørr og våt biomasse indikerer at karbongjenvinningsgraden av prosessen er rundt 90 %. Sammenligning av energiinnholdet i inngangs- og utgangsmaterialene viser også at 60% -90% av brennverdiene er tilgjengelige i hydrokull produktet, slik at denne produktet har godt egenskaper for å bli brukt som fornybart brensel.

Selv om HTC er lovende for vått råstoff og så kunne også bli for avløpslam, er karboninnhold fortsatt det viktigste aspektet når det gjelder energieffektivitet av prosessen og brennverdiene av produktet. En evaluering av den optimale andelen mellom biomassekomponenter for å øke karboninnholdet og brennverdien av hydrokull-produktet var gjennomført av forskere, og fant at et cellulose-, hemicellulose- og lignininhold på henholdsvis 40%, 35% og 25% representerer de optimale startforholdene (Piccioto et al., 2020, Roman et al., 2018).

I lander med økte begrensningene eller forbudet mot å bruke avløpslam som gjødsel, har innovasjonsdrevne løsninger som gjør det mulig å minimere volumet, gjøre det tryggere å håndtere og også muliggjøre gjenvinning av verdifulle komponenter, utviklet seg kraftig i de siste årene. I Tyskland, hvor en nylig endret tysk avløpsordensforordningen (Tysk miljøbyrå, 2018) krever

fosforgjenvinningstiltak for renseanlegg fra 50 000 pe fra 2032, har termokjemiske teknologier for håndtering av avløpsslam blitt utviklet for også å skape muligheter for å gjenvinne fosfor fra kull eller aske-produkter. I Sverige planlegges den første pilot-testing av produksjon av hydrokull fra avløpsslam å begynne nå i høsten 2021, i ihht. et samarbeidsprosjekt mellom C-Green, IVL og Roslagsvatten ved Margretelund renseanlegg utenfor Stockholm. Planen er å bygge det første kommersielt-skala anlegg for HTC for avløpsslam der (IVL, 2021).

Den opsjon til å bruke et ikke sertifiserbart kull-produkt til brensel er attraktiv, og et eksempel på kobling av denne teknologien med avvanning er SUEZs Dehydris™ Ultra teknologi, som er beskrevet nedenfor.

Kalktilsetning (Orsa metoden)

Tilsetning av ulesket kalk til avvannet slam ble først tatt i bruk ved Orsa renseanlegg i Sverige på slutten av 1960-tallet. I Norge er metoden tatt i bruk på mange mindre og noen få store renseanlegg. Denne metoden brukes på anlegget til AHSA, der slam fra private RA i Skiptvet behandles.

For å oppnå tilstrekkelig hygienisering av slam i henhold til gjødselvereforskriften, må kalkbehandlingen skje ved tilsetning av brent (ulesket) kalk til avvannet slam. Da vil man i tillegg til pH-økning også få en kraftig temperatur-stigning i slammet. Temperaturøkningen i slammet vil i første rekke avhenge av tilsatt kalkmengde og TS-innholdet i det avvannede slammet. I tillegg vil isoleringen av lagertanken for det kalkbehandlede slammet avgjøre hvor raskt temperaturen faller under lagring.

En del av vannet i slammet vil bindes kjemisk til kalken, og samtidig vil noe vann fordampe pga. temperaturøkningen. Dette vil, sammen med den tørrstofftilførselen som kalken representerer, medføre at man får en betydelig økning av TS-innholdet i slammet. Slam med TS-innhold på 25% før kalktilsetning vil for eksempel oppnå bortimot 40% TS ved en kalkdosering på ca. 550 kg CaO/tonn TS.

Kalkbehandling av slam benyttes mest på små og mellomstore anlegg, hvor det ikke er aktuelt å bygge biogassanlegg, og hvor slammet primært skal brukes på landbruksarealer. På grunn av en midlertidig stabiliseringseffekt er det viktig å være klar over at kalkbehandlet slam kan forårsake luktulempen ved lengre tids lagring når kalkeffekten avtar.

En interessant effekt av tilsetning av kalk til slam, er effekten dette kan ha på næringsstoff-tilgjengelighet i slam når det brukes som jordforbedringsmiddel. NIBIO har tidligere gjort en rekke dyrkingsforsøk med slam fra ulike fullskala renseanlegg, og hvor noe av slammet har vært tilsatt kalk i ulike mengder og med ulike formål. Det er da dokumentert at slam som inneholder kalk, har en høyere fosfortilgjengelighet enn slam uten kalk (Alvarenga et al., 2017, Øgaard og Brod, 2016; Krogstad et al., 2005) selv om slammet er kjemisk felt.

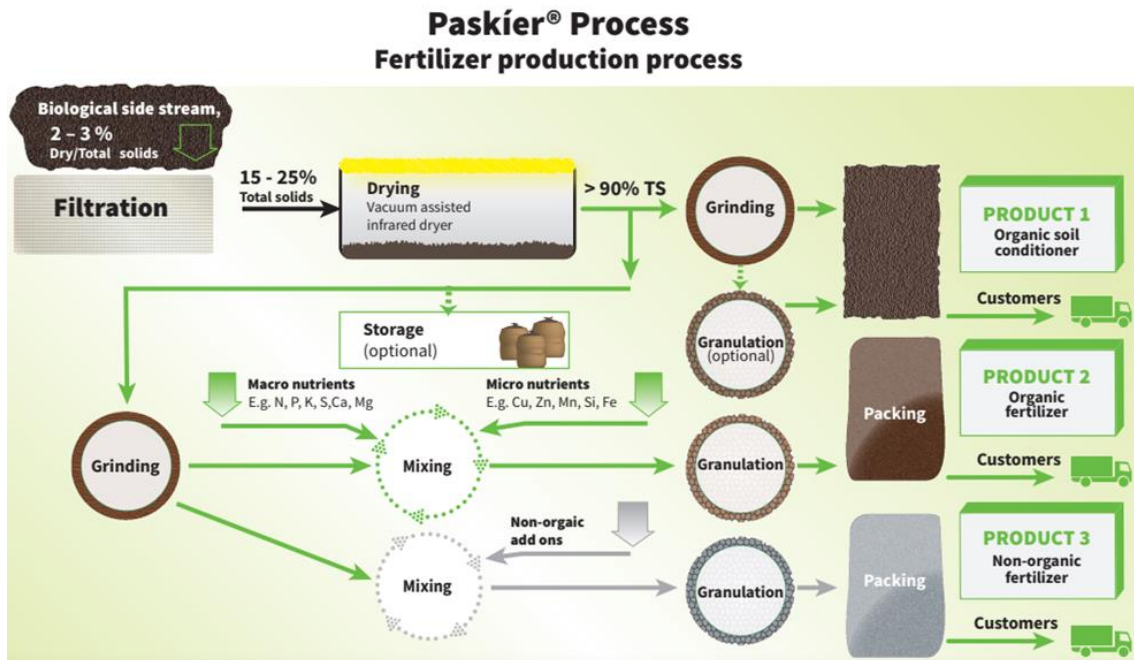
Slamtørking, nye teknologier

Nanopar (Paskier® prosess)

Paskier®-prosessen er basert på patentert infrarød tørketeknologi. Prosessen består av vakuumassistert infrarød tørketrommel, mølle, mikser, granulator, næringssiloer og emballasje av granulert-produkt. Operasjonen er helautomatisk døgnet rundt, og Paskier®-prosessanleggene er designet for bruk på stedet.

Slam med ca. 25 % TS tørkes til > enn 90% TS. Det tørkede slammet kan brukes som jordforbedrer ved å tilsette passende mikro- og makro-næringsstoffer (Figur 5).

I følge Nanopar.fi (2021), er CAPEX og OPEX av prosessen mye lavere sammenlignet med andre metoder for slambehandling. Anleggets fotavtrykk er kompakt, og for små og mellomstore avløpsrensplanlegg kan Paskier®-prosessen installeres i to 40 fot. containere (2X 63,5 m³). En typisk tilbakebetalingsperiode for investeringer er 2-3 år.



Figur 5. Skjema av Paskier® prosess fra Nanopar.

SUEZ Dehydris™ Ultra

Dehydris™ Ultra omfatter avvanning og termisk kondisjonering av slam. Den består av et trinn for for-avvanning med sentrifugedekanter / skruetvister for å bringe slam til ca. 20% TS innhold, etterfulgt av en termisk kondisjonering (HTC-trinn) og en etteravvanning med piston press for å oppnå den endelige 65-70% TS. Dette sluttproduktet som kalles "hydrokull" har en oppvarmingsverdi (low heating value) på 8-10 MJ/kg og kan brukes som fast drivstoff. I henhold til nasjonale forskrifter kan hydrokull også brukes som et potensielt jordforbedrings-middel for arealbruk som kan øke jordens fruktbarhet og generere karbon lagring (CCS), og derved redusere konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren og bidra til karbonreduksjon.

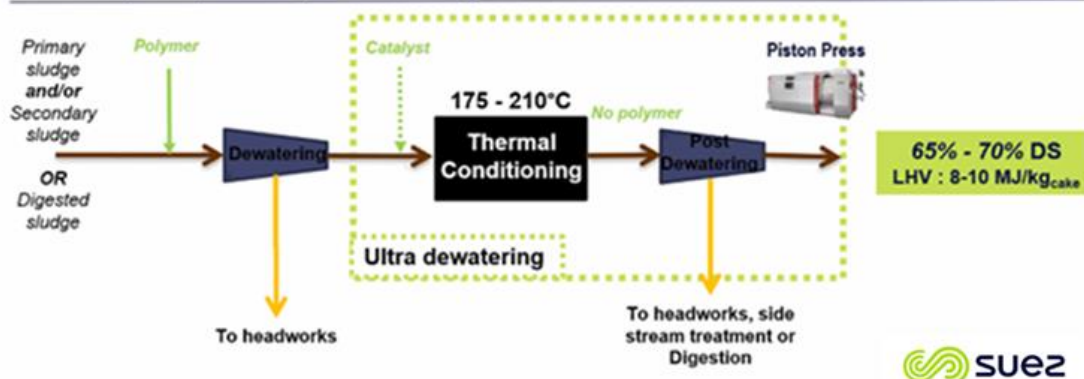
I følge SUEZ, er Dehydris™ Ultra i stand til å oppnå 70% tørrhet i slam mens den bruker to til tre ganger mindre energi enn vanlig termisk tørking. Prosessen reduserer mengden av biorest generert med ca. 75%. Som et eksempel på et prosess-case-scenario, ved å behandle daglig 500 tonn vått slam hjelper Dehydris™ Ultra med å spare årlig ca. 32.000 MWh strøm og redusere CO₂-utslippet med en tredjedel sammenlignet med konvensjonell termisk tørking. Teknologien finnes i kommersiell skala i Maribor avløpsrensplanlegg i Slovenia (sammen med TerraNova Energy GmbH).

Dehydris™ Ultra Concept and Principle

Ultra dewatering concept:

To apply coal processing to wastewater dewatered sludge via a few hour process : HydroThermal Carbonisation – HTC

To use a piston press for post-dewatering



Figur 6. Dehydris™ Ultra fra SUEZ.

4.2. Beskrivelse av mulige konsepter

På bakgrunn av innspill fra Skiptvet kommune og fra Workshop 1 der aktuelle råstoff og avsetningsmuligheter ble diskutert, ble det definert frem ulike scenarier for behandling av avløpsslam. Scenariene kan også være aktuelle for andre små landbrukskommuner.

Tabell 1. Oversikt over konsepter vurdert av prosjektdeltagerne.

Scenario 0	Transport av slam til et større biogassanlegg eller til annen slambehandling (dagens løsning)
Scenario 1	Lokalt slamanlegg med biogassproduksjon
Scenario 2	Regionalt slamanlegg med biogassproduksjon
Scenario 3	Regionalt biogassanlegg, sambehandling flere substrater
Scenario 4	Lokal avvanning og behandling av rejektivann, transport til et større anlegg

Scenario 0 er dagens løsning. Slam fra Hoel behandles på Nordre Follo RA og slam fra minirensanlegg («Private RA») behandles på AHSA. Fordelen ved denne løsningen er at kapasitet i eksisterende anlegg utnyttes. Ulempene er imidlertid vesentlige. Når det gjelder andelen som renses ved Hoel RA er den fremste ulempen at miljøbelastning og kostnad ved å sende uavvannet slam er store selv om avstanden til biogassanlegget bare er 35 km. Slam fra private RA sendes også uavvannet men avstanden er kortere, så ulempen er noe mindre. Imidlertid er dette en midlertidig løsning. Det er ikke klart hvor lenge man kan fortsette med denne praksisen. AHSA IKS har problemer med lav rensesgrad, særlig knyttet til overvannsproblematikk og det er derfor sannsynlig at tiltak må gjøres i dette rensanlegget og i tilførselsrør. Begge behandlingsløsninger har den ulempen at hverken produsert energi eller næringsstoffer utnyttes lokalt.

Scenario 1 er etablering av et lokalt biogassanlegg i Skiptvet. Dette er beskrevet i NOTAT 3-Tekniske forutsetninger. Dette alternativet kan integrere eksisterende slam-produksjon ved Hoel RA, slam fra private RA i Skiptvet og fra Svinndal RA som fraktes inn. I et slikt anlegg vil det være nødvendig å behandle nitrogenrikt rejektivann fra både foravvanning av slam og etteravvanning av biorest. I dette scenariet reduseres miljølempe og kostnader ved transport av uavvannet slam fra Hoel RA, og i tillegg må ikke kommunen betale slambehandlings-avgift til en annen aktør. Dessuten vil slam fra private RA som i dag hygieniseres med kalk og spres på jordbruksarealer bli utråtnet til biogass og bioresten spres på jordbruksarealer. Dette er antagelig en bedre løsning enn dagens situasjon. Imidlertid er det mye som tyder på at de samlede slammengdene er altfor små til å gi lønnsomhet. Dessuten vil produsert mengde biogass antagelig være så lav at den for det meste vil brukes på anlegget og således ikke gir et tilskudd til lokalsamfunnet.

Scenario 2 (Figur 7) er et større slamanlegg som skal produserer biogass fra slam fra hele regionen. Dette innebærer at avløpsslam fra Skiptvet behandles sammen med slam fra omliggende kommuner. En slik løsning vil gi større mengder biogass enn scenario 1, og dermed større energimengde. Allikevel er det sannsynlig at et slikt anlegg likevel vil ha for små slammengder tilgjengelig til at lønnsomheten ved oppgradering til drivstoffkvalitet kan oppnås. Transportavstandene vil bestemme om det er miljø- og kostnadsmessig forsvarlig å bruke slam fra andre kommuner.

I scenario 3 (Figur 8) inkluderes også andre mulige råstoff, f.eks. husdyrgjødsel og/eller matavfall. Dermed vil stordriftsfordeler kunne oppnås, f.eks. er muligheten for lønnsom oppgradering større enn for øvrige scenarier. Også i dette scenariet vil transportavstanden være en viktig faktor.

I scenario 4 (Figur 9) utnyttes avvanningsanlegget på Hoel RA til å avvanne slammet. Det er også teoretisk mulig å avvanne slammet fra private RA i det samme anlegget. Det avvannede slammet sendes så til et biogassanlegg i Østfold eller omkringliggende områder. Fordelen med dette alternativet er at transport av avvannet slam er mye billigere og mindre miljøbelastende enn dagens løsning. En ulempe er at rejektivannet må behandles. Det vil sannsynligvis være nødvendig å bygge en ny enhet på Hoel RA for å behandle det nitrogenrike rejektivannet, f.eks. et Anammox-anlegg som Nordre Follo RA har. En annen ulempe er at flere biogassanlegg ikke vil ta imot avvannet slam, f.eks. Nordre Follo RA.

Et interessant tilleggsaspekt er bruk av bioresten. Dette innebærer både muligheter og begrensninger. På den positive siden vil Skiptvet kommune i scenario 1-3, men antagelig ikke i 4, få tilgang til biorest fra slam som kan brukes av gårdbrukere (kornarealer) eller i kommunal drift av grønt-arealer som parker. Det er imidlertid, som tidligere nevnt, begrensninger på bruk av biorest som kommer fra slam. Det betyr at det er mye lettere å få avsetning av biorest fra husdyrgjødsel enn fra slam.

I tillegg til dette aspektet må muligheter for bruk av biogass vurderes for hvert scenarium. I scenario 1-3 vil energi være tilgjengelig for Skiptvet kommune, i scenario 4 finnes ikke denne muligheten.

4.2.1. Kriterier for valg av endelig konsept

I dette prosjektet ble en første «grov-sortering» av konseptene gjort av Norsus og Aquateam COWI i samarbeid med prosjektdeltagere og med andre aktører som har vist interesse i vårt prosjekt og har meldt seg på workshoper som ble arrangert i regi av prosjektet. Disse aktører inkludere nabo kommuner som Marker, Indre Østfold, Våler, Viken Fylkeskommune, organisasjoner som Norges Bondelag, Biogass Oslofjord, Klimapartnere Viken, renseanlegg VEAS og academia-miljø representert

av NMBU. Det forventede resultatet fra denne sorteringen var at noen konsepter skulle velges ut og analyseres mer inngående og kvantitativt.

Viktig input til denne sorteringen var de økonomiske aspekter ved de forskjellige løsningene, tilgjengelige mengde råstoff, miljøpåvirkning, regelverk og praktiske hensyn.

De ulike scenariene ble presentert for referansegruppa i prosjektet i en digital workshop (Workshop 2). På den samme workshopen presenterte Aquateam COWI resultater fra analyser av regulatoriske, miljø og tekniske aspekter, med fokus på Scenario 1. NORSUS presenterte resultater for miljøbelastning i dagens situasjon vist, se Feil! Fant ikke referanseilden. og Figur 14 i kapitel 4.4. Resultatene viser at miljølempen ved behandlingene overstiger miljønyttene. Utnyttelse av slam fra Hoel RA gir biogass som erstatter andre energikilder. Dermed unngås produksjon av disse energikildene. Imidlertid er utslippene fra transporten så stor at sluttresultat blir netto utslipp, for klimagasser ca. 6 kg CO₂-eq/tonn råslam- Utnyttelse av slam fra private RA gir en miljønytte ved at landbruksjorda tilføres kalk og næringsstoffer. Miljølempen ved bruk av lesket kalk er imidlertid mye større enn denne nytten. Dessuten regnes tilførsel av næringsstoffer likt i alle scenariene. Dermed er ikke denne nytteeffekten med i beregningene.

Det ble derfor klart at transportavstand var viktig i scenariene og at transport av våtslam ikke kunne være en del av en løsning. Råstofftilgjengelighet lokalt og regionalt og avsetningsmuligheter for biogass og biorest var andre viktige faktorer.

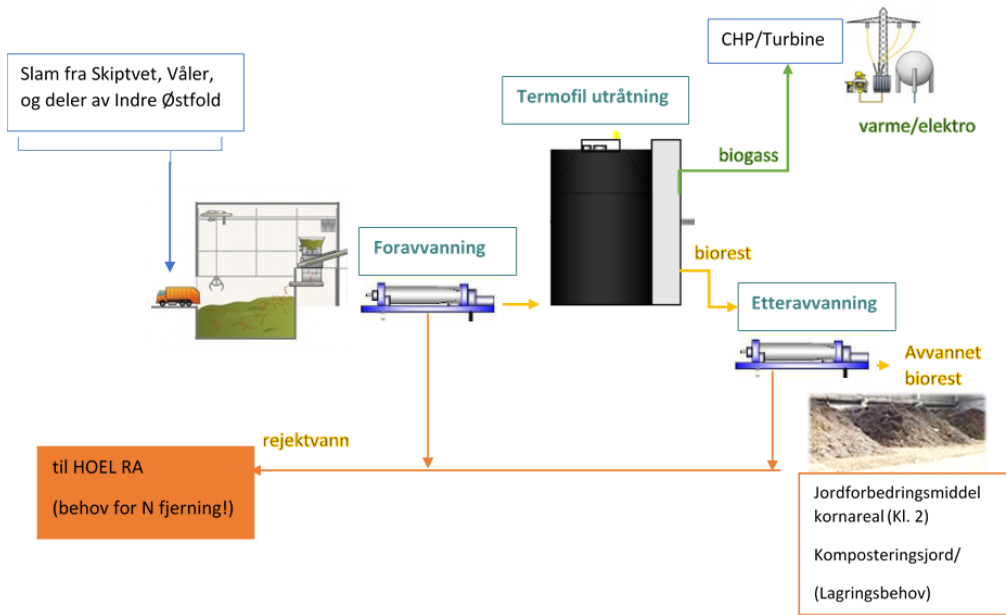
Som et resultat av denne prosessen ble scenario 1 utelukket. Bakgrunnen var at mengden slam i Skiptvet kommune var for liten til å oppnå lønnsomhet. Scenario 2 ble ansett som mer realistisk fordi mengden slam er større. Scenario 3 ble tatt med fordi det gir enda større mengder råstoff, men det ble påpekt at det i dette scenariet vil være vanskeligere å få avsetning for bioresten, at et biorest med avløpslam kan ikke brukes av økologiske bønder. Muligheter for å avvanne gjødselen før transport ble også nevnt som en mulig kritisk faktor i analysene. Scenario 4 vil antagelig bety at energi og næringsstoffer forsvinner ut av kommunen, men vil sannsynligvis bety reduserte kostnader og redusert miljøbelastning ift. dagens løsning. Blant annet unngår man å bruke ORSA-metoden som gir en høy miljøbelastning. Deltagerne påpekte at VEAS planlegger jordfabrikk i Indre Østfold kommune og at man i beregningene burde ta hensyn til dette. I tillegg til de nevnte alternativene ble et interkommunalt samarbeid for å produsere biokull nevnt, men oppnådde liten oppslutning, særlig ettersom et slikt anlegg krever store mengder av karbonrikt råstoff for å være lønnsomt.

Den neste fasen besto i å beskrive scenariene i detalj og beregne konsekvensene av disse.

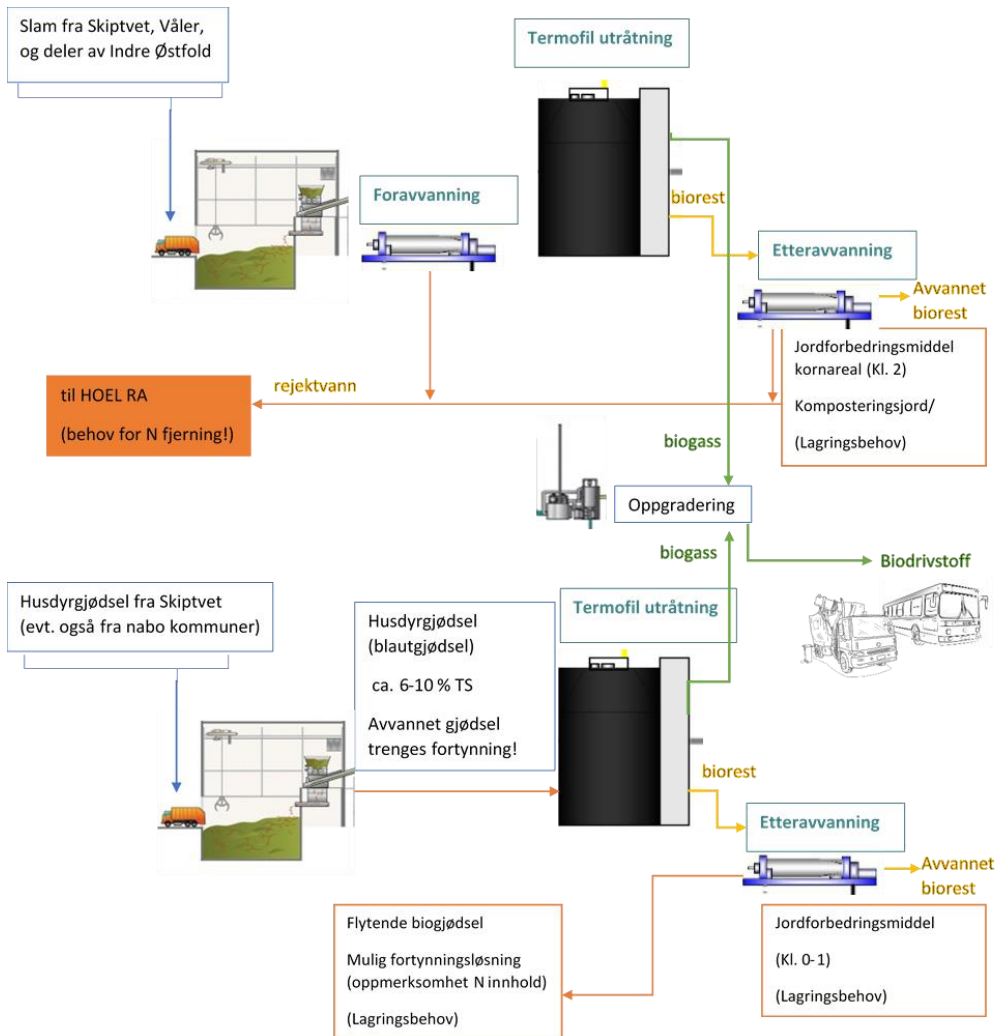
4.2.2. Beskrivelse av valgte konsepter for videre utredning

Ut fra diskusjonene i workshop om scenarier og forskning og utredning gjort av Aquateam COWI og NORSUS ble scenario 2, 3 og 4 ytterligere konkretisert og analyser gjennomført. Scenarienes prosessskjemaer vises i Figur 7, Figur 8 og Figur 9. Slamdelen av scenario 3 er lik som for scenario 2, husdyrgjødseldelen kommer i tillegg.

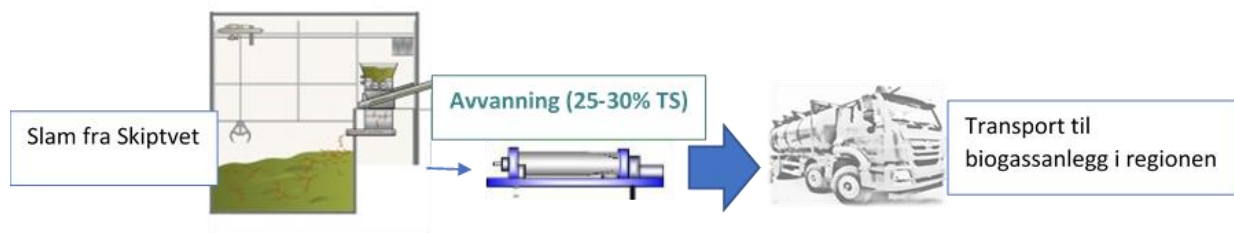
Resultatene fra analysene av disse konseptene er vist i kapitlene 4.3 og 4.4.



Figur 7. Konsept 2.- felles biogassanlegg med avløpsslam som råstoff



Figur 8. Konsept 3.- felles biogassanlegg med avløpsslam, husdyrgjødsel (evt. matavfall) som råstoff



Figur 9. Konsept 4.-Lokalt avvanning av slam og transport til eksternt anlegg

4.3. Kartlegging

4.3.1. Lovverk, forskrifter og myndighetskrav

Ulike myndigheter har ansvar for regelverket for de ulike delene av tiltaket. På miljøområdet er det Fylkesmannen som forvalter forurensingsloven og forurensingsforskriften. De regulerer utslipp og gir tillatelse til forurensing. Når det gjelder behandling og bruk av biorest som gjødselvarer er det Mattilsynet som har ansvaret. Det som angår sikkerhet for farlig stoff, her biogass, ligger det til Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). Planprosessen ligger til kommunen med hensyn til krav til arealplan i plan og bygningsloven (PBL).

Konsekvensutredninger bør være en integrert del av planarbeidet slik at hensynet til miljø og samfunn blir tatt i betraktning underveis i planprosessen og det er krav om konsekvens-utredning av arealdelen ved:

- Nye områder avsatt til utbyggingsformål med arealformål nr. 1, 2, 4, 5 og 6 (jf. plan- og bygningsloven § 11-7) der underformål og bestemmelser åpner for utbygging. Det vil si at utbygging kan inngå i alle arealformål unntatt grønstruktur (naturområder, turdrag, friområder og parker).
- Endret utbyggingsformål (for eksempel fra næring til bolig eller fritidsbebyggelse, fra råstoffutvinning til næring).
- Åpning for spredt bebyggelse i LNFR-områder.
- Båndlegging etter plan- og bygningsloven § 11-8 tredje ledd d) kan være omfattet av utredningsplikt dersom hensikten er å sikre areal med tanke på senere utbygging.
- Endring i utfyllende bestemmelser kan også medføre utredningsplikt. Dette kan for eksempel gjelde der de utfyllende bestemmelsene for et område gir endret ramme (antall bygg) for spredt bolig-, nærings- eller fritidsbebyggelse, andre kriterier for lokalisering av ulik utbygging, rammer for utforming, utnyttning, funksjonskrav med mer av bygg, anlegg og arealbruk i eksisterende byggesone, uten at formålet eller avgrensningen for sonen endres.

Nesten alle biogassanlegg er meldepliktig til DSB (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap) da råtnetankvolum over 400 m² regnes som lagring av farlig gass. Anlegg må deles inn i sone, sikkerhetssoner, slik at man får nødvendige trykkgrep og sikrer rett krav til tekniske utstyr.

Forurensningsmyndighet er ansvarlig for utslippstillatelser. Anleggets størrelse avhenger av om det er behov for en samsvarsavklaring med industri utslippsdirektivet (IED) og BAT (Best available technology). Det er lite sannsynlig at et evt. biogassanlegg blir så stort at det faller inn under det, men Fylkesmannen vil sannsynligvis bruke direktivet som underlag for utslippstillatelsen, herunder krav til støy, lukt og utslipp til vann samt et måleprogram. I en driftsfase er anlegget også underlagt internkontrollforskriften for å ivareta HMS.

Mattilsynet er ansvarlig for registrering av produkt som skal benyttes som en gjødselvarer. Nye forskrifter har vært på høring hvor det er foreslått noen endringer som vil berøre bruk av slam. Endringene berører særskilt slam som er behandlet spesielt (eks. termisk, pelletert, anriket) i den hensikt å stimulere til økt gjenvinning av slam.

Det er krav til slam brukt som jordforbedringsmiddel herunder hygienisering, bruksbegrensninger, tungmetallinnhold, miljøgifter mm. Bruk av gjødselvarer basert på slam er underlagt

kommunehelseloven og det er kommunen som skal avgjøre om planlagt bruk er forsvarlig. Dersom man også skal behandle andre råstoffer enn slam, kan animaliebi-produktforskriften tre inn. Det gjelder hvis man behandler, i tillegg til slam, for eksempel husdyrgjødsel, matavfall slakteriavfall mm. Denne forskriften har fokus på hygiene og gir spesifikke behandlingskrav for avfall som omfattes av forskriften.

Les mer om regelverk og tillatelser generelt i vedlagt notat 1 Lovverk.

4.3.2. Miljø- og samfunn

Det er utredet påvirkning på miljø og samfunn, med fokus på etablering av biogass-anlegg i mindre landbrukskommuner. Aktuelle miljø- og samfunnsinteresser som er undersøkt er støy, lukt og natur og biologisk mangfold. Behovet for sikkerhetssoner og eventuelle støy/luksområder og påvirkninger og konsekvenser for natur og arts mangfold er utredet.

I tillegg er miljø- og klimaeffekter ved etablering av et biogass-anlegg belyst. For et biogassanlegg av den størrelsen som Skiptvet kommune kan ha, vil oppgradering til kjøretøydrivstoff ikke bli ansett som en gjennomførbar mulighet, og bruk av metan produsert for å generere varme og elektrisitet via kraftvarmenhet vil bli behandlet i prosjektet. Reduksjoner av klimagassutslipp og klimafordeler ved å bruke utråtnet slam som en gjødsel ressurs er generelt presentert her, som detaljberegning vil være et av hovedmålene for prosjektets livssyklusanalyse (LCA).

Det er utarbeidet en oversikt over hvilke forhold som krever nærmere undersøkelse i den videre prosessene for etablering av biogass-anlegg. I dette arbeidet er det fokusert på de forhold som kan påvirke gjennomførbarheten av tiltaket.

Oppsummering og anbefalinger

Å begrense luktutslipp og konsekvensen av luktutslipp er et område som er mer og mer i fokus. Lukt er et problem dersom konsentrasjonene i utslippsluft er for høye og den opptrer hyppig. Man bør få utarbeidet en luktrisikovurdering, inkl. en spredningsmodell for eventuelt luktutslipp.

Luftrensaneanlegg vil rense ventilasjonsluft fra biogassanlegget, punktavsug fra råstoff siloer, avvanning og fra slamsiloer. Det er viktig at luftrensaneanlegget fungerer slik at det diffuse bakkenære luktutslippet for anlegget begrenses.

Overvåking og kontroll av fakkell er et kritisk punkt for et biogassanlegg, ettersom funksjonsfeil er relatert til potensiell klimagass, forurensninger og luktutslipp. Det er viktig at man har en fakkell og et styringssystem som er tilpasset bruken av biogassen. Dersom man planlegger at fakkell i hovedsak skal brenne, er det viktig å ha tiltak som gjør at den ikke slukker. Dersom fakkell i hovedsak ikke er i bruk, men skal tennes ved behov, er det viktig å påse at fakkellen faktisk tenner.

Vanligvis er utarbeide av støysoner kart nødvendig for industribedrifter dersom det er kjent at virksomheten har støykilder (eks. ventilasjonsanlegg, vifter og trykkutjevning). For store biogassanlegg er det et krav, men ikke for små. Støysoner bør beregnes i alle tilfeller hvor støykildene antas å utstråle støy som overskrider den nedre grensen for gul sone for vedkommende kilde.

Kravet til internkontroll og til å gjennomføre og oppdatere risikovurderinger er generelle krav i norske forskrifter, inkl. å følge fastsatte sikkerhetsregler, herunder adferd i brann- og eksplosjonsfarlige soner, HMS og å følge tekniske standarder.

Intern kommunikasjon på anlegget er svært viktig. Selv små tekniske innretninger og arbeidsprosedyrer kan gi konsekvenser dersom de svikter eller ikke følges opp. Der er derfor viktig at man identifiserer kritiske punkt i prosessen med hensyn til sikkerhet og fare for gass og luktutslipp, og at disse gjøres kjent for de som utfører oppgavene.

Dersom det skal bygges et biogassanlegg i Skiptvet Kommune, en fullstendig miljørisikovurdering skal gjennomføres når alle komponenter og arbeidsrutiner er på plass, slik at kritiske punkter, områder og aktiviteter kan identifiseres. ROS (risiko og sårbarhetsanalyse) er brukt som metodikk for denne, som kartlegge uønskede hendelser, årsaker og konsekvenser av disse. En slik analyse gir objektiv informasjon knyttet til farer, konsekvens dersom en fare oppstår og vil kunne brukes som underlag i en beslutningsfase.

Det bør lages en kommunikasjonsplan i forhold til aktører som kommunen samarbeider med, herunder brannvesenet og faste leverandører av varer og tjenester. I tillegg bør det også lages en kommunikasjonsplan i forhold til nærmiljøet slik at de blir informert på et tidlig stadium i prosessen om hvilke tiltak som planlegges for å redusere eventuelle nærmiljøulempen. Miljørisikovurdering vil også være nyttig når man skal kommuniserer risiko med naboer og innbyggere i Skiptvet kommune.

Les mer om utredningen i vedlagt notat 2 Miljø.

4.3.3. Tekniske forutsetninger

Det er utarbeidet et notat om tekniske forutsetninger knyttet til etablering et nytt biogassanlegg i Skiptvet kommune. Kartlegging og beregninger knyttet til avløpsslam tilgjengelighet i prosjektets område er her presentert. Metanpotensialforsøk av slamprøver fra Hoel RA var utarbeidet for å finne spesifikke metanutbytte av den mekaniske, kjemiske og biologiske slam produsert. Dialogen med Våler kommune ble opprettholdt for å få informasjon og spesifikasjoner for Svinndal RA.

Den totalt estimert energiproduksjon fra avløpsslam fra Hoel RA, Svinndal RA og private RA i Skiptvet Kommune, som representere i totalt 170 tonn TS/år, er beregnet til ca. 324 MWh/år (886 KWh/d).

Fra det grove estimatet av energibehov for et biogassanlegg basert på disse avløpsslam strømmer, er det beregnet at ca. 62 % av produsert energi vil bli benyttet internt, noe som ikke virker lønnsomt. Bruk av andre mulige substrater i området kan gjøre prosessen mer effektiv.

Beregninger viser at rejektivannproduksjon fra dette biogassanlegg konseptet betyr en viktig strøm som skal håndteres. Vanligvis blir rejektivann resirkulert tilbake til renseanlegget, som et tillegg til innkommende avløpsvann. Her representeres det en daglig mengde på ca. 10 m³/d med en viktig belastning av nitrogen.

I henhold til myndighetskrav må Skiptvet Kommune vurdere om det er mulig å håndtere rejektivann som et ekstra innkommende avløpsvann til Hoel RA. Utslipet av nitrogen kan være et problem, som med råtnetanker og mottak av slam fra private RA og Svinndal RA vil gi et merutslipp av nitrogen tilsvarende ca. 550 pe.

Nordre Follo RA har nitrogenfjerning, så med tanke på et klimaregnskap og effekten av utslipp av N fra rejektivann så vil klimabelastningen fra nitrogen bli større ved lokal håndtering på Hoel RA, med mindre man bygger et eget renseanlegg for fjerning av N fra rejektivann.

Konseptutredningen vil sammenligne de samlede kostnadene for det lokale biogassalternativet, inkl. kostnadene for spredning av slammet, med de kostnadene man har i dag med kjøring til Nordre Follo RA og den avgiften man betaler til Nordre Follo RA.

De tekniske aspekter ved plassering et slik anlegg trenger å dekke sikkerhetshensyn. Som beskrevet i mer detalj i NOTAT 1 må sikkerhetsavstander tas hensyn til ved arealplanlegging. Arealer for et stort prosessbygg, lagring både av råstoff og ferdig produsert biorest, samt som for buffertanker og diverse installasjoner for slamavvanning, er nødvendige.

Les mer om utredningen i vedlagt notat 3 Tekniske forutsetninger.

4.3.4. Stedsanalyse, kartlegging av energikilder og energibehovsanalyse

Anlegget bør plasseres i nærheten av eksisterende infrastruktur og om mulig også i nærheten av andre virksomheter som gjør det mulig å dra nytte av synergieffekter. Her kan nevnes personell, tilgang til kjølevann, forespørsel etter varme, lagringsplass mv..

Byggegrunn vil ha betydning for fundamentering og byggekostnader.

Et biogassanlegg kreves nødvendige arealer for et stort prosessbygg, lagring både av råstoff og ferdig produsert biorest. Avhengig av prosess valgt iht. å oppfylle kravene til hygienisering av biorest, kan det bygges to parallelle linjer for utråtning av slam (eks en for å håndtere avløpslam og slam fra private RA og den andre for å håndtere mer "rent" råstoff som husdyrgjødsel og evt. matavfall). Anlegg vil også ha buffertanker og diverse installasjoner for slamavvanning.

I tillegg til bygningene skal det opparbeides adkomstveg, skogsbilveg forbi anlegget og interne veger /oppstillingsplasser /snuplass i tilknytning til biogassanlegget.

Infrastruktur som strøm, vann, internett, og areal for håndtering av gass (gasslager, kjel, rørledning og kraftvarmeverk) er nødvendig.

Biogass er en brennbar og eksplosiv gass og regelverket med tanke på sikkerhetsavstander må tas hensyn til ved arealplanlegging (se Notat 1, DSB, 2012, 2015; PBL, 2008). Sikkerhetsavstander er avhengig av hvor mye gass man produserer. Deler av anlegget kan ha behov for inngjerding og beskyttelse mot påkjøring.

Samtidig når forskjellige råvarer/råstoff brukes, må områdene organiseres slik at krysskontaminering av råvarer ikke skjer, spesielt for å opprettholde den hygieniske kvaliteten av bioresten.

Rør, reaktor og tanker kan med fordel plasseres slik av man minimerer behov for pumping.

I tillegg vil et biogassanlegg normalt ha behov for garderobes, toalett, dusj, kontrollrom (evt. en liten lab-benk i forbindelse med kontrollrom) og spiserom, samt et lite verkstedrom.

Plasseringen av det mulige biogassanlegget blir evaluert hos Alf Håvard Bro gård, 59°27'44.0"N 11°09'54.2"E.



Figur 10. Plasseringen av biogassanlegg (Scalco Aps)

Dette stedet har tidligere blitt vurdert som mulig lokasjon for biogassanlegg i prosjektet "Mulighetsanalyse for biogassutbygging i Indre Østfold, Rakkestad og Halden" (Biogass Østfold, 2013).

Hoel RA er nabo til gården, og slam er tenkt å pumpes til biogassanlegg. Avstand til Svinndal RA i Våler kommune er ca. 11 km (10 min kjøretid).

Lengde på pumpeledning må vurderes fordi slam er ikke nødvendigvis enkelt å pumpe pga. problemer med avsetninger av fett, osv.

Oversikt over tilgang av mulige energikilder og mengder i kommunen

Avløpsslam

Som beskrevet tidligere i denne rapporten ble slam fra Svinndal renseanlegg i Våler Kommune inkludert i analysen sammen med slam fra Skiptvet fordi renseanlegget ligger nær kommunegrensen til Skiptvet og fordi slammene fra dette anlegget fraktes ut av kommunen til behandling. Dette betyr at total mengde slam i Skiptvet (og Svinndal RA) ble funnet å være ca. 170 ton TS/år, noe som betyr en brutto teoretisk energiproduksjon på ca. 324 MWh/år (886 kWh/d).

En vurdering ble gjort av mulighet for å inkludere slam fra nabokommuner til et evt. biogassanlegg i Skiptvet. En kartlegging viser at Skiptvet er «omringet» av biogassanlegg for slam, se Figur 12.

5. Analysen viser at det, i tillegg til slam fra Skiptvet kommune og Svinndal RA, kun er slammene fra AHSA som er aktuelt å behandle på et evt. nytt anlegg i Skiptvet. Dette anlegget (AHSA IKS) behandler slam fra Askim, Hobøl og Spydeberg. Anlegget har både mekanisk og kjemisk renseprosess. Slam behandlet etter Orsa metoden (se kap. 4.1.5.) og total mengde produsert er ca. 871 ton TS/år (Biogass Østfold, 2014; AHSA IKS, 2020). Anlegget ligger ca. 14 km fra Skiptvet (Hoel RA). ORSA-metoden innebærer at lesket kalk tilsettes avannet slam slik at temperaturen øker og hygienisering skjer (se Kapittel 4- Teknologi). Deretter følger kompostering og spredning på landbruksareal. LCA av denne løsningen viser at den er miljømessig ugunstig ift. andre alternativer. Lesket kalk lages ved å tilsette vann til brent kalk. Framstilling av brent kalk gir høye utslipp pga. høyt energiforbruk.

Når det gjelder øvrige renseanlegg i regionen, ligger altså alle disse nærmere andre biogassanlegg enn Skiptvet. Derfor er de ikke inkludert. Tabell 2 oppsummerer slam som er inkludert i scenario 2 og 3, mengder, kilde, metan og energiproduksjon.

Tabell 2. Oppsummering av potensial for metanproduksjon fra tilgjengelige avløpsslam i området dekket i prosjektet.

Avløpsslam kilder	Slammengde	Metanmengde produsert	Brutto energiproduksjon fra slam	
	tonn TS/år	Nm ³ /år	kWh /d	MWh /år
Hoel RA	44	8 620	236	86,2
Skiptvet-Private RA	106 (inkl. i AHSA)	20 776	570	208
Svinndal RA	20	3 920	107	39,2
AHSA IKS*	871	170 716	4 677	1 707
Total	935	183 256	5 020	1 832

* AHSA IKS har behandlet slam fra Private RA i Skiptvet de siste årene.

Matavfall

Kildesortert matavfall var vurdert som et annet mulig hoved-råstoff for biogassproduksjon i Skiptvet, i tillegg til slam. For dette var tilgjengelighet av matavfall i regionen kartlagt.

Det er en stor utfordring for små og mellomstore biogassanlegg å få lønnsomhet i investeringen til forbehandlingsanlegg for næringsavfall og kildesortert husholdningsavfall. Det er ingen eksakt grense for hvor store volum kildesortert matavfall som er nødvendig for å utløse lønnsom drift. Det avhenger selvsagt også av tilgangen på annet avfallsråstoff. I praksis må man ha en sikret tilgang på 10 000-15 000 tonn/år for å få god økonomi i et forbehandlingsanlegg (Biogass Østfold, 2013). All erfaring tilsier

at det er kommuner eller kommunale avfallsselskap som alene eller sammen med andre foretak er investorer i slike prosjekter.

Matavfall i Skiptvet kommune behandles av avfallsselskap Indre Østfold Renovasjon IKS (IØR). IØR eies av Indre Østfold, Marker og Skiptvet kommuner. Kommunen estimerer en total mengde på ca. 200 tonn matavfall produseres per år i Skiptvet. Dette matavfallet innsamles og behandles pr i dag ved IØR med transport fra transportselskapet Nord Ren AS, og brukes for biogassproduksjon/kompost produksjon ved Lindum i Drammen.

Hvis vi også tar med mengden fra Indre Østfold kommune og Marker, blir den totale mengden matavfall ca. 2 800 tonn per år (Tabell 3).

Tabell 3. Oppsummering av potensial for metanproduksjon fra tilgjengelige matavfall i området dekket i prosjektet.

Matavfall kilder	Mengde		Metanmengde produsert **	Brutto energiproduksjon fra matavfall	
	tonn/år	tonn* TS/år	Nm ³ /år	kWh /d	MWh /år
Skiptvet	203	51	16 065	440	160,7
Marker	191	48	15 120	414	151,2
Indre Østfold	2 401	600	189 000	5 178	1 890
Total	2 795	699	220 185	6 032	2 201,9

Forutsetninger:

* TS innhold i matavfall: 25 %TS (20-30 % TS); VS av TS: 90 %

** spesifikk metanpotensial i matavfall: 350 Nm³/tonn VS (300-400 Nm³/tonn VS) (Zamanzadeh et al., 2017).

Dermed, vil mengden matavfall være for lav til å oppnå økonomisk lønnsomhet i et forbehandlingsanlegg, selv om matavfall fra nabokommunene inkluderes. Det teoretiske potensialet for energiproduksjon fra matavfall er beregnet til å være ca. 2200 MWh/år for området, og 160 MWh/år for Skiptvet Kommune.

Husdyrgjødsel

På grunn av det betydelige omfanget av dyrehold i Østfold er husdyrgjødsel et interessant råstoff for biogassproduksjon, i tillegg til slam.

En kartlegging av Skiptvet kommune og området som betjenes av renseanlegget til AHSA (Askim, Hobøl og Spydeberg) for slikt råstoff viser at den totale mengden er ca. 2329 tonn (regnes som tørrstoff: TS) gjødsel fra storfe og 247 tonn (TS) gjødsel fra svin pr år. Denne gjødselmengde tilsvare et energipotensial på ca. 2,83 GWh/år (Tabell 4).

Tabell 4. Oppsummering av potensial for metanproduksjon fra tilgjengelige husdyrgjødsel ved Skiptvet og AHSA området

Husdyrgjødsel kilder	Mengde		Brutto energiproduksjon *	
	tonn TS/år	kWh /d	MWh /år	
Skiptvet	1 047	3192	1165	
Askim	129	419	153	
Hobøl	297	877	320	
Spydeberg	1 104	3274	1195	
Total	2 577	7 762	2 833	

*Forutsetninger for beregningen er en metanproduksjon fra storfe tilsvarende 260 Nm³ pt tonn TS og for svin 330 Nm³ pt tonn TS. Realistisk potensiale for utnyttbar metan er 0,70 Nm³ pr Nm³ teoretisk metan produksjon

Totalt sett vil mengden biogass fra slam og husdyrgjødsel i dette området tilsvare ca. 481 000 Nm³/år eller 76 Nm³/ time. Denne mengden ligger under grensen for hva som regnes som minimum for å oppnå lønnsom oppgradering av biogass til drivstoffkvalitet (mellom 100-200 Nm³ rågass/time). I et slikt tilfelle vil det beste alternativet være å produsere varme for bruk i nærområdet.

En mulighet for å oppnå tilstrekkelige mengder for å gjøre oppgradering lønnsomt vil være å øke mengden råstoff.

Det er som tidligere nevnt ikke realistisk å øke mengden slam eller å bruke bare matavfall.

Det er imidlertid teoretisk mulig å bruke husdyrgjødsel fra andre nabo kommuner. En mulighet er vist i Tabell 5. Når mengden husdyrgjødsel i Våler, Rakkestad og Sarpsborg kommuner inkluderes er den totale biogassmengden 234 Nm³/ time (slam + gjødsel) og biogassoppgradering kan være lønnsomt.

Tabell 5. Oppsummering av potensial for metanproduksjon fra tilgjengelige husdyrgjødsel i store området som inkl. Våler, Rakkestad og Sarpsborg Kommunene.

Husdyrgjødsel kilder	Mengde		Brutto energiproduksjon	
	tonn TS/år	kWh /d	MWh /år	
Skiptvet + AHSA	2 577	7 762	2 833	
Våler	817	2 449	894	
Rakkestad	3 730	11 430	4 172	
Sarpsborg	2 825	8 510	3 106	
Total	9 949	30 151	11 005	

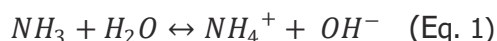
Med bruk av husdyrgjødsel som substrat i en parallell råtnetanklinje uten å bli blandet med avløpslam, kunne rejeaktvann også produseres etter et avvanningstrinn foran råtnetanken, avhengig av tørrstoffinnhold av gjødsel. Vanlig brukt er blautgjødsel som allerede har 8-9% TS og så er avvanning ikke nødvendig her. Etter råtnetank kan biorest avvannes og separeres i en tørr fraksjon

og en flytende, ellers kan imidlertid bioresten eventuelt spres som "flytende" gjødsel, et produkt som vil ha betydelig nitrogeninnhold, med en stor andel som mineralisert ammonium. Dermed vil i utgangspunktet nitrogenbelastningen fra slamvann fra husdyrgjødsel ikke bli så stor på Hoel RA.

Termofil drift av råtnetanken eller et pasteuriseringsprosessstrinn vil hygienisere husdyrgjødsel, slik at den ikke kun benyttes av de samme bøndene som leverer råvare til anlegget.

Behov for ytterlige råstoff

Ammoniakkhemming forårsaker problemer spesielt i biogassproduksjon fra husdyrgjødsel, på grunn av de høye konsentrasjonene av $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ som er gitt av urininnholdet (Angelidaki, 2004). Med stigende pH øker fraksjonen av fri ammoniakk (i henhold til Eq. 1) og det samme gjør dens inhiberingseffekt (Deublein og Steinhauser, 2008). De høye konsentrasjonene av fri ammoniakk som frigjøres er giftige for de metanogene bakteriene. Denne inhiberingen er også høyere under termofile forhold, noe som gjør at likevekten mellom NH_3 og NH_4^+ forskyves mot NH_3 , og dermed øker den frie ammoniakk-konsentrasjonen etter hvert som temperaturen øker (i henhold til Eq. 2).



$$\text{NH}_3(\text{g/L}) = \frac{\text{NH}_4^+ - \text{N}(\text{g/L})}{(1 + 10^{(pK_a - pH)})}, pK_a = 0.09018 + \frac{2729.92}{(T + 273.15)} \quad (\text{Eq. 2})$$

I Eq. 2 er pKa dissosiasjonskonstanten for ammonium (NH_4^+), 8,95 ved 35 °C; og T er temperaturen i °C (Calli et al., 2005; Schnürer og Jarvis, 2018).

Ifølge litteratur (Zeeman et al., 1985; Angelidaki og Ahring, 1993; Chen et al., 2008) kan hemming oppstå ved det brede konsentrasjonsområdet til NH_4^+ -N fra 1,4 til 17 g/L.

Forskning har identifisert at karbon- og nitrogenforholdet for en optimal fordøyelse varierer fra 30 til 40 % av karbonrikt substrat i innløp-blandingen (Chiumenti et al., 2018; Estevez et al., 2014; Mata-Alvarez et al., 2014) noe som vil gi en C/N-forhold på ca. 25-35.

Selv om matavfalls mengden ikke er stor i regionen, er som nevnt, ekstra råstoff viktig for å oppnå en stabil prosess når husdyrgjødsel behandles i et biogassanlegg. Mengden av matavfall fra IØR IKS i regionen dekker rundt 4 % av de 30-40 % som trengs for en slik prosess.

Behovet for å kartlegge andre landbruksressurser i regionen er da viktig. Dette kan omfatte energivækster, gress, halm eller flis, skogavfall og hageavfall. Disse råvarene, inkludert matavfall, må alle gjennomgå forbehandlingsmetoder før de blir et homogent og trygt substrat for produksjon av biogass. Dette vil dermed innebære høyere kostnader både på grunn av transport av ekstra råstoff og behov for forbehandling, for Scenario 3.

Imidlertid, hvis tørre substrater tilsettes til biogassanlegg som ekstra råstoff, kan rejektivann fra avvanning av gjødsellinje brukes som fortykning av substrater og slik minimere behov for å varme råstoff.

Kostnader knyttet til det ekstra råstoffet ble ikke analysert i den nåværende rapporten, men må regnes med hvis en slik løsning velges.

Energibehov internt i Kommunen

I en rapport fra 2015 ble muligheter for utnyttelse av energi fra et biogassanlegg i Skiptvet kommune vurdert. I samarbeid med Skiptvet kommune beregnet forfatteren en samlet mulighet for utnyttelse av varme i Skiptvet sentrum til å være ca. 2,4 GWh/år (Biogass Østfold, 2013).

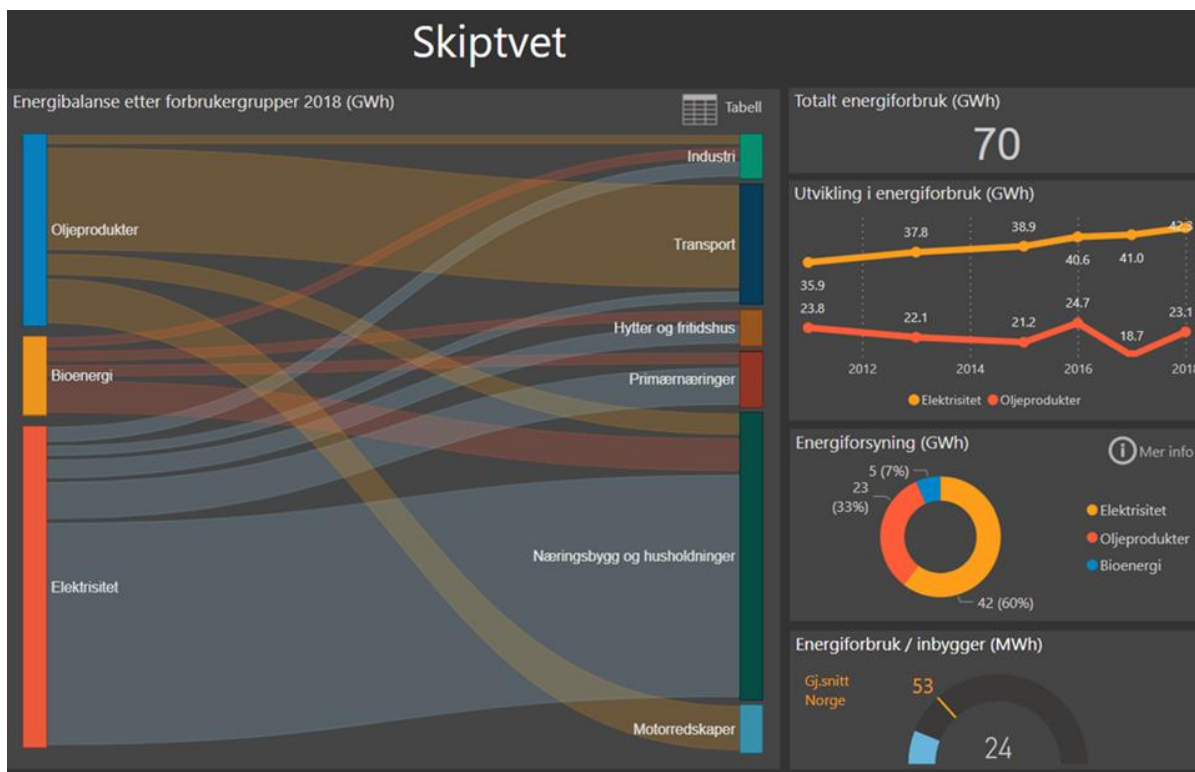
Oppdatert data (SSB, 2020; Viken Fylkeskommune, 2018) viser et nytt Skolebygg fra 2019 (Tabell 6) og at det høyeste energibehovet i kommunen kommer fra næring og husholdninger (Figur 11). Totalt er det estimert ca. 2,5 GWh/år energibehov varme i offentlige kommunale bygninger, som i dag er mest dekket av elektrisitet og ved. Vedfyring representerer 15 % av oppvarming for husholdninger og rest kommer fra elektrisitet eller olje, slik at en stor del av CO₂ utslipp fra kommunen genereres fra dette området (i tillegg landbruks og transportsektorer-utslipp).

Fordi biogassanlegg har en begrenset evne til å levere spisslaster regnes det med at et slikt anlegg bare kan levere ca. 70 % av totalt energibehov, altså det trengs å levere ca. 1,8 GWh/år. Hvis et biogassanlegg skal kunne levere spisslaster og i tillegg energibehovet på anlegget (ca. 30-45 % av egen biogassproduksjon) må minimum produksjon være ca. 3,3 GWh/år.

Energiforbrukets vil ha sesongmessige variasjoner, og derfor vil mengden som trengs for oppvarming i vintermånedene være en ekstra energikilde for biogassanlegget i sommermånedene (og strømtekneter).

Tabell 6. Energibehov i kommunale bygninger i Skiptvet

Bygg	Energibehov varme (kWh/år)
Kirkelund Skole	941 900
Sollia helse og sykehjem	1 241 600 (+ olje 100 000)
Vestgård Skole (2019) (450 m ² oppvarming BRA)	ca. 50 000
Evt. nybygg (1300 m ² oppvarming BRA)	100 000
Totalt	2 433 500



Figur 11. Skiptvet intern energibalanse (Viken Fylkeskommune, 2018).

Scenario 2, hvor utnyttelse av biogass til varm og evt. elektrisitet i tillegg, vil kunne dekke ca. 43 % av energibehov av bygninger. Scenario 3 vil kunne dekke hele energibehovet hvis oppgradering ikke velges. Dette betyr at det er gode muligheter for avsetning av overskuddsvarmen fra et biogassanlegg i Skiptvet om mengden biogass er for liten til å rettferdiggjøre oppgradering til drivstoffkvalitet.

Oppsummering: kartlegging av råstoff og energibehov

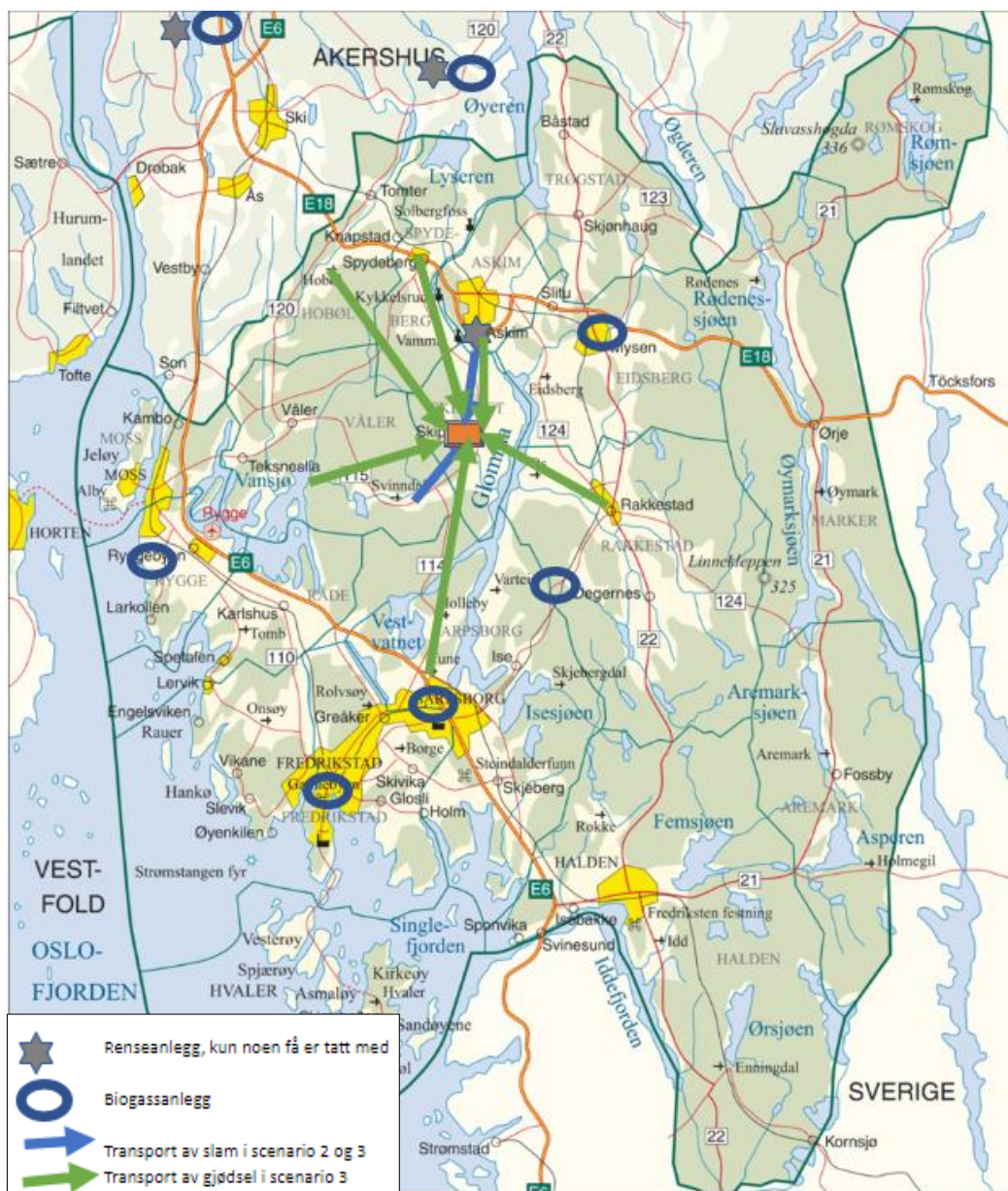
For scenario 3 viser kartleggingen at mengden slam og husdyrgjødsel tilgjengelig i regionen vil være tilstrekkelig for at oppgradering skulle kunne være lønnsomt. Om et slikt anlegg virkelig vil være lønnsomt avhenger imidlertid av en lang rekke faktorer. Kartlegging viser også at et anlegg med bare slam som råstoff (scenario 2) vil teoretisk kunne produsert biogass tilsvarende ca. 1,8 GWh/år.

Mengden er ikke stor nok for oppgradering med bare slam som råstoff. Dette betyr at den beste måten å bruke biogassen på vil være til å dekke kommunens energibehov for oppvarming og internt bruk på anlegget. Det er også tenkelig at biogassen brukes til å produsere både elektrisitet og varme, og dette er en løsning som kan gi mulighet for å bruke biogass mest for strøm i måneder som oppvarming er ikke et behov. Lønnsomhet av det skal bli analysert i kapittel 4.5.1.

En viktig faktor som må tas med i vurderingene er bruk av bioresten. Det er skepsis hos enkelte bønder til å bruke biorest fra slam, men biorest fra husdyrgjødsel er mer akseptabelt. I tillegg er det ikke ønskelig å blande sammen avløpsslam og husdyrgjødsel på grunn av restriksjoner knyttet til bruk av biorest fra avløpsslam i gjødselvereforskriften. Derfor har vi i denne utredningen regnet scenario 3 med to råtnetanker, én for slam og én for husdyrgjødsel. Det betyr at anlegget vil produsere to ulike biorestprodukter med ulike bruksområder. Biogassen fra de to tankene er tenkt til å brukes eller behandles i et felles oppgraderingsanlegg. Teoretisk samlet produksjon av rå biogass er 55 Nm³/time (2,8 GWh fra husdyrgjødsel og 1,8 GWh fra slam årlig).

For at oppgradering skal være lønnsom er det estimert at minimum metanproduksjon må være 100-200 Nm³/time. Ved å inkludere husdyrgjødsel fra Rakkestad, Sarpsborg og Våler kommuner, i tillegg til mengdene som finnes i kjerneområdet (Skiptvet og Indre Østfold) vil estimert mengde metan produsert være ca. 234 Nm³/time. Et slikt anlegg vil ha en total produksjon av biogass på 11 GWh/år fra gjødsel og 1,8 GWh/år fra slam. Noe av rågassen fra et slikt anlegg vil nok brukes for å produsere varme til selve anlegget, men et slikt anlegg vil produsere betydelige mengder drivstoff som kunne brukes f.eks. til biler i den kommunale driften.

I scenario 3 er det tenkt at biorest fra husdyrgjødsel er tatt tilbake av samme gårdene som har levert gjødsel slik at bøndene kan utnytte næringsstoffene. Dette scenariet innebærer betydelig transportarbeid. Miljøpåvirkningen og kostnadene ved et slikt arbeid er vurdert i de følgende kapitlene i rapporten.



Figur 12. Biogassanlegg i tidligere Østfold fylke, samt mulige råstoffkilder i scenario 2 og 3.

Figur 12 viser at Skiptvet kommune er «omringet» på alle kanter av biogassanlegg for slam. Kartet viser også potensielle råstoff for et eventuelt anlegg i Skiptvet i form av slam (blå piler) og husdyrgjødsel (grønne piler). Transport av råstoff innad i kommunen er ikke tatt med. I tillegg til anleggene som er vist brukes husdyrgjødsel som råvare for biogassanlegg i Fredrikstad og på Tomb.

5.1. Livsløpsanalyse

5.1.1. Bakgrunn

Behandling av slam gir en rekke miljøpåvirkninger, men gir også muligheter for positiv miljøpåvirkning ved å produsere produkter som har en nytteverdi og dermed kan erstatte andre produkter, som f.eks. drivstoff og gjødsel. Tidligere studier har vist at den totale nytteverdien kan variere mye mellom forskjellige behandlingsløsninger. Anaerob utråtning med produksjon av biogass er en behandlingsløsning som brukes i økende grad fordi det potensielt kan gi en stor miljønytte. Miljønyttan er imidlertid svært avhengig av hvordan biogassen og bioresten utnyttes.

5.1.2. Metode

Livsløpsanalyser (Life Cycle Assessment, LCA) ble i dette prosjektet brukt for å vurdere miljøbelastning fra dagens behandling av slam fra Skiptvet kommune og for alternative løsninger for biogassanlegg i fremtiden. LCA er en helhetlig metodikk som brukes til å analysere og dokumentere miljøaspekter knyttet til produkter og tjenester gjennom hele verdikjeden. Analysen representerer en tidligfase miljøvurdering («screening LCA») for å kartlegge hvordan ulike framtidsscenarier presterer i forhold til hverandre og hvor i verdikjeden de største belastningene kan oppstå.

Systemgrenser

De studerte systemet starter i øyeblikket slam er produsert i renseanlegg og gjødsel er lagret på gården, og ender når produktene (biogass, biometan, biorest) er anvendt. For biorest antas bruk som gjødsel i jordbruket eller parker o.l. og at alle alternativene gir den samme effekt ift. erstatning av mineralgjødsel. I sammenligningen mellom dagens anvendelse av gjødsel og fremtidig situasjon antas det at gjødsleffekten er identisk fordi alle næringsstoffer vil ende opp i bioresten. For å identifisere den miljømessig beste løsningen ble miljøpåvirkning av de forskjellige alternative konseptene analysert, i tillegg til dagens situasjon. I dagens situasjon hygieniseres slam fra private renseanlegg på anlegget til AHSA med lesket kalk. I denne situasjonen oppnås en nytteeffekt for bøndene ved at slammet inneholder kalk som bøndene ellers måtte tilføre separat. Denne nytteeffekten finnes ikke i de andre scenariene. Derfor er nytteeffekten av kalkinnholdet trukket fra ved hjelp av substitusjon. For husdyrgjødsel ble lagring på gård og spredning på tilstøtende områder analysert, og ingen transport lagt til.

Funksjonell enhet

Funksjonell enhet er enheten som analysen baseres på. Det vil si at resultatene skal presenteres på basis av denne enheten.

I denne studien er viktigste funksjonelle enheten:

Miljøpåvirkning av et anlegg i løpet av ett års driftstid.

I tillegg benyttes en sekundær enhet.

Miljøpåvirkning for behandling av ett tonn råslam og husdyrgjødsel pr år.

Allokering

Allokering beskriver hvordan fordeling av miljøpåvirkning gjøres i prosesser som produserer flere enn ett produkt. Produksjon av biogass gir både biorest og biogass. I dette prosjektet skjer ingen allokering mellom disse produktene siden hensikten er å gi et totalbilde av miljøpåvirkning fra behandling av slam og gjødsel. For å kvantifisere miljønytt fra produktene anvendes substitusjon, dvs at effekten av å produsere et ekvivalent produkt trekkes fra. Biogass gir varme eller drivstoff. For varme er gjennomsnittlig norsk fjernvarme det ekvivalente produktet mens for drivstoff er diesel brukt. Slam fra AHSA i dagens situasjon dekker et tilleggsbehov, økning av pH i jorden. Dette er i analysen behandlet gjennom substitusjon av kalkproduksjon; altså at produksjon av kalk må legges til i systemer der ikke denne funksjonen gis.

Datakvalitet

Data som anvendes kan deles opp i aktivitetsdata og prosessdata. Aktivitetsdata beskriver antall av forskjellige slag, f.eks. mengde slam og gjødsel og transportavstander. For slike data er stort sett spesifikke data brukt, dvs data som beskriver de konkrete prosessene som utredes. Prosessdata beskriver miljøpåvirkning per enhet. Det betyr f.eks. utslipp av klimagasser pr km kjøring av slambilen. For prosessdata er databasetall brukt, dvs tall som angir gjennomsnittlig miljøpåvirkning fra en prosess.

Miljøpåvirkninger

Analysen vil ta høyde for en rekke miljøpåvirkninger, men ikke alle miljøpåvirkninger. Den skal ikke omfatte aspekter som biomangfold, støy og estetikk. Konseptstudien skal avklare mulighet for utvikling av verktøy for dokumentering av miljøpåvirkning knyttet til lignende anlegg i framtiden.

Tabell 7. Miljøpåvirkningskategorier inkludert i analysen

Miljøskadekategori	Metode	Dato
Klimagassutslipp	IPCC 2013 GWP 100a v.103	Oktober 2016
Forsuring	CML-IA baseline v. 3.05	November 2017
Overgjødsling	CML-IA baseline v. 3.05	November 2017
Abiotic depletion potential, fossil	CML-IA baseline v. 3.05	November 2017
Kumulativt energibehov		

5.1.3. Forutsetninger

Tabell 8. Forutsetninger for transport.

Last pr tur til Nordre Follo	5 tonn	(10 tonn pr tur og tom retur)
Last pr tur til AHSA	6 tonn	(12 tonn pr tur og tom retur)
Last pr tur, gjødsel i scenario 3	10 tonn	(10 tonn hver vei)
Last pr tur, scenario 4	10 tonn	(10 tonn hver vei)
Avstander		
	Svinndal - Skiptvet	13 km
	Askim - Skiptvet	15 km
	Private RA-Hoel	14 km
	Hobøl-Spittvet	26 km
	Rakkestad-Skiptvet	30 km
	Spydeberg-Skiptvet	21 km
	Sarpsborg-Skiptvet	28 km
	Våler-Skiptvet	18 km
	Skiptvet - VEAS	98 km

Tabell 9. Forutsetninger for biogassproduksjon.

Tørrstoffinnhold råslam	5	%
Tørrstoffinnhold, avvannet slam	25	%
Tørrstoffinnhold foravvannet slam inn i råtnetank	8	%
Nitrogeninnhold i slam	38	kg N/tonn TS
Biogassmengde pr kg slam	196	Nm ³ /tonn TS
Biogassmengde pr kgstorfegjødsel	260	Nm ³ /tonn TS
Biogassmengde pr kg svinegjødsel	330	Nm ³ /tonn TS
Elektrisitetsforbruk biogassproduksjon	75	kWh/tonn TS
Lekkasje av metan fra biogassanlegg	0,788	kg/tonn TS
Levetid biogassanlegg	30	år
Mengde behandlet pr år	80000	tonn TS/år
Oppgradering av biogass, elektrisitetsforbruk	0,25	kWh/m ³ biogass
Biogass erstatter	0,873	kg diesel pr Nm ³ biogass
Etteravvanning av biorest, elektrisitetsforbruk	1,81	kWh/tonn våtvekt
Etteravvanning av biorest, polymerforbruk	0,47	kg/tonn våtvekt

Tabell 10. Forutsetninger for analyser av husdyrgjødsel og fra dagens behandling på AHSA.

Forbruk lesket kalk på AHSA	16,7	kg/tonn råslam
Mengde kalk som erstattes, slam fra AHSA	29,8	kg CaCO ₃ pr tonn råslam
Utslipp fra lagring av storfegjødsel i dagens situasjon	10,2	kg CH ₄ /tonn TS
	0,123	kg N ₂ O/tonn TS
	1,37	kg NH ₃ /tonn TS
Utslipp fra lagring av svinegjødsel i dagens situasjon	4,83	kg CH ₄ /tonn TS
	0,0789	kg N ₂ O/tonn TS
	5,51	kg NH ₃ /tonn TS
Utslipp fra lagring av storfegjødsel, scenario 3	0,114	kg NH ₃ /tonn TS
Utslipp fra lagring av svinegjødsel, scenario 3	0,459	kg NH ₃ /tonn TS

5.1.4. Resultater og diskusjon

Resultater for hvert enkelt scenario og for dagens situasjon for hhv Hoel RA og private RA er gitt i vedlegg. Hoel renseanlegg er et lite renseanlegg i Skiptvet kommune, mens Private RA er små minirensesanlegg, som oftest for enkelthusholdninger.

I det følgende beskrives resultater for klimagassutslipp for scenariene og dagens situasjon, både som totalutslipp og utslipp fordelt på enkeltkilder.

Resultater for hele systemer

Tabell 11. Oppsummering av resultater for klimagassutslipp. Tabell 11 beskriver klimagassutslipp for alle alternativer. Resultatene vises for begge funksjonelle enheter, både pr tonn råslam og pr år. Resultatene pr tonn råslam viser hvor god behandlingsløsningen er, men resultatet pr år gir en oversikt over faktisk total miljøbelastning. Resultatene vises isolert sett for hvert scenario og som totalvirkning, altså hvor utslipp forbundet med dagens løsning er trukket fra. Årsaken til denne fremstillingen er å synliggjøre hvor stor del av miljønyttens som skyldes løsningen som er valgt og hvor stor del som skyldes at dagens behandlingsløsning erstattes. «Dagens situasjon» er forskjellig for de

tre scenariene, fordi geografisk omfang og råstoff er forskjellige. I scenario 4 omfattes bare slam fra Skiptvet kommune, i scenario 2 omfattes slam fra noen nabokommuner, mens i scenario 3 også inkluderer behandling av husdyrgjødsel, og det geografiske området er større. I scenario 4 er en relativ lang transportavstand tilsvarende behandling på VEAS sitt anlegg på Slemmestad valgt. Årsaken er VEAS langt framskredne planer om å bygge en «jordfabrikk» i Østfold og egen reaktor i Slemmestad basert på slam fra Østfold. Jordfabrikken skal bl.a. kunne behandle biorest fra anlegget på Slemmestad men også ta imot hygienisert slam og andre råstoffer fra området. Alternativet med behandling av hygienisert slam på jordfabrikken er ikke tatt med i denne analysen fordi det ikke gir utnyttelse av karbonet i slammet.

Analysen viser at scenario 3 gir størst miljøgevinst, dvs et regionalt anlegg med 2 reaktorer med husdyrgjødsel og slam utråtnet separat. Scenario 2 er det nest beste alternativet etterfulgt av scenario 4. Alle scenariene er miljømessig signifikant bedre enn dagens situasjon, både per mengde råslam eller husdyrgjødsel og i total effekt. I Scenario 3 viser slam fra Sarpsborg kommune inkludert. Detaljerte beregninger viser at selv om den totale miljønytte for dette scenariet øker når mengden gjødsel øker, vil miljønytte per behandlet enhet synke ettersom transportavstanden øker. Dette viser at den marginale nytten minsker ved inkludering av husdyrgjødsel som ligger geografisk lenger vekk fra anlegget.

Resultatene viser også at det er behandling av husdyrgjødselen som gir størst miljønytte, mens nytten av slambehandlingen er mye lavere. Resultatene bekrefter også resultater fra andre studier som viser at utnytting av biogass til å produsere varme gir mye lavere miljønytte enn å produsere drivstoff.

Tabell 11. Oppsummering av resultater for klimagassutslipp.

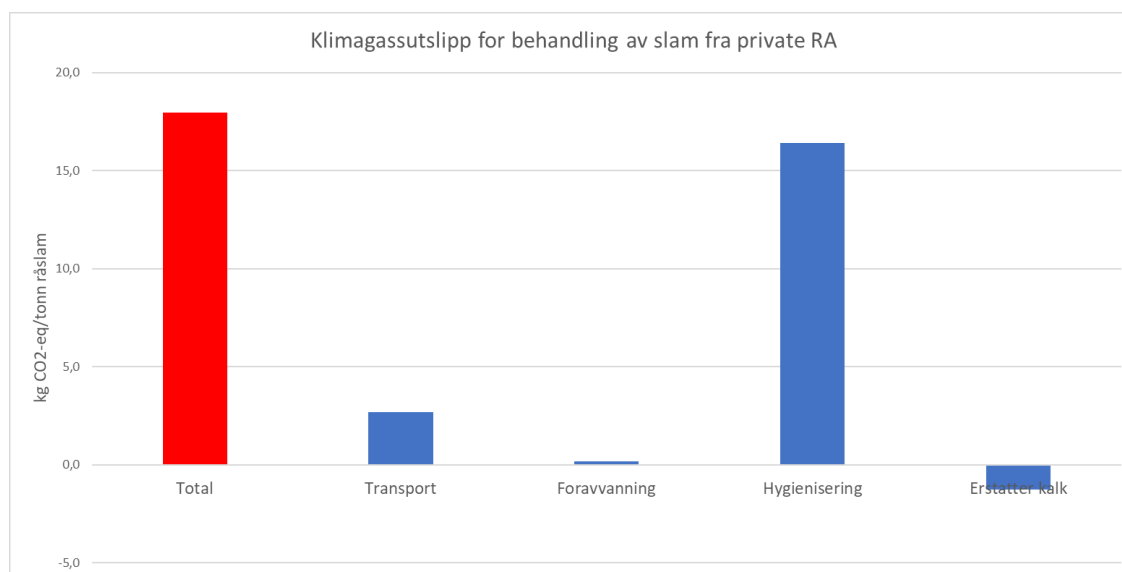
GWP for alternativer og for dagens situasjon	pr tonn slam eller gjødsel	Mengde slam/gjødsel (tonn)	Totale utslipp
Dagens situasjon, slambehandling i Skiptvet kommune	13,2 kg CO2-eq	3 363 slam	44 538
- av dette, behandling av slam fra Hoel RA	5,2 kg CO2-eq	1 248 slam	6 516
- av dette, behandling av slam fra private RA	18,0 kg CO2-eq	2 115 slam	38 023
Scenario 2	-0,5 kg CO2-eq	21 104 slam	- 10 615
Scenario 2, full effekt sammenlignet med dagens situasjon	-14,9 kg CO2-eq	21 104 slam	- 314 777
Scenario 3	-15,4 kg CO2-eq	117 042 slam og gjødsel	- 1 804 197
Scenario 3, full effekt sammenlignet med dagens situasjon	-43,2 kg CO2-eq	117 042 slam og gjødsel	- 5 058 610
Scenario 4, case 1	-6,57 kg CO2-eq	3 363 slam	- 22 093
Scenario 4, case 2	-1,65 kg CO2-eq	3 363 slam	- 5 535
Scenario 4, case 1, sammenlignet med dagens situasjon	- 19,8 kg CO2-eq	3 363 slam	- 66 631
Scenario 4, case 2, sammenlignet med dagens situasjon	- 14,9 kg CO2-eq	3 363 slam	- 50 073

Fordeling av utslipp innen hvert system

Analysene viser også i hvilken grad de enkelte delprosesser påvirker sluttresultatet for hvert system. Figur 13 viser at for dagens behandling av slam fra Hoel RA er det transporten som gir det høyeste utslippet av klimagasser mens nytteeffekten av biogassen til å produsere varme på Nordre Follo RA ikke er nok til å oppveie utslippene fra transporten.

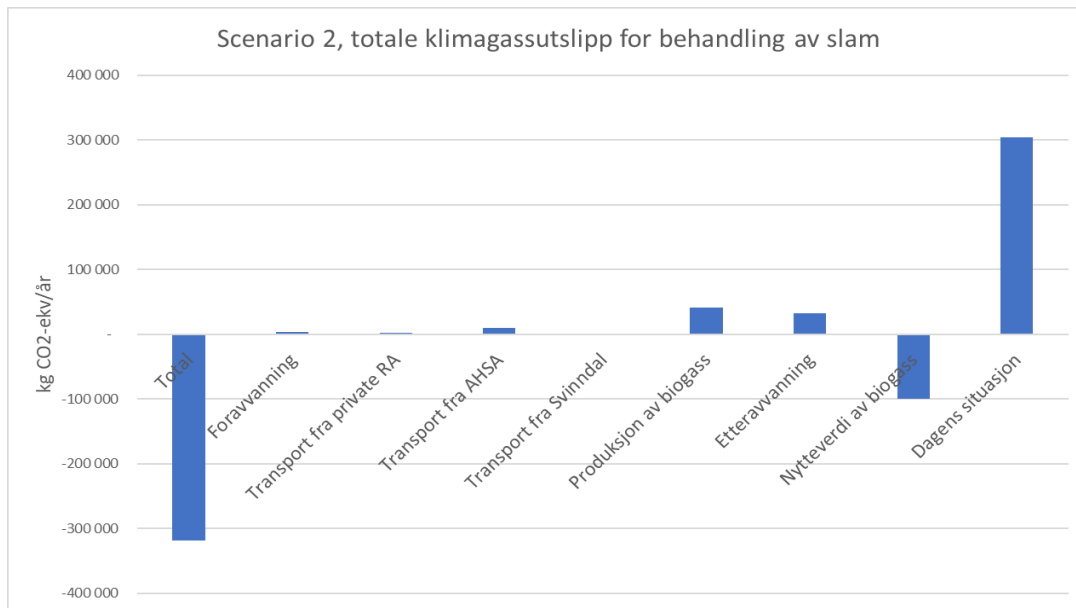
Feil! Fant ikke referanseilden. *Figur 13. Utslipp av klimagassutslipp for dagens behandling av slam fra Hoel RA.*

Figur 14 viser at fordeling av utslipp er svært forskjellig for behandling av slam fra private RA. Utslippene pr tonn råslam er mye høyere enn for Hoel RA. Dette skyldes at lesket kalk er brukt i hygieniseringen. Energien frigjøres når kalken tilsettes slammet men varmen utnyttes ikke til annet enn å hygienisere slammet. Miljønyttene er også mye lavere fordi på dette anlegget brukes slammet til kompost som spres på åkrene. Årsaken til det er at kun næringsstoffene blir bevart i kompostering. I komposteringen forsvinner mye av karbonet som CO₂. Dette karbonet utnyttes altså ikke. Dessuten skapes mye varme i komposteringsprosessen som heller ikke utnyttes. Imidlertid gir kalkinnholdet i slammet en tilleggsnytte til bøndene (i tillegg til næringsstoffer som N, P K). Denne nytten er tatt hensyn til i beregningene.



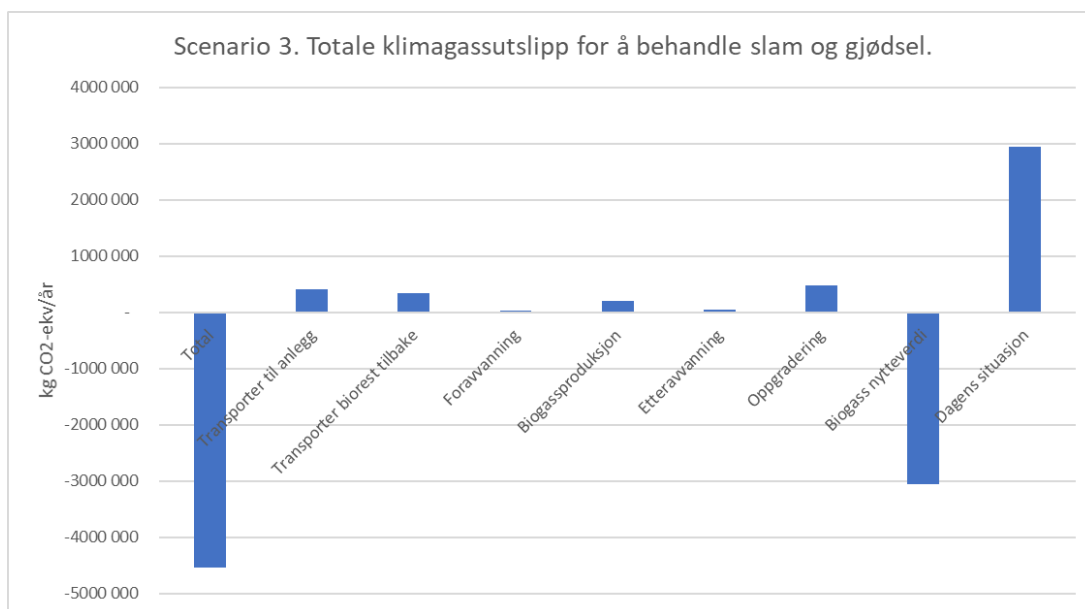
Figur 14. Utslipp av klimagasser fra dagens behandling av slam fra private RA

Resultatene for scenario 2 er gitt i *Figur 15*. I denne figuren er både utslipp fra en fremtidig behandling av slam for scenario 2 og det tilsvarende utslippet fra dagens situasjon vist. Søylen for total effekt gir utslipp i scenario 2 minus utslippene i dagens situasjon. I dette scenariet er transportutslippene små. De største netto kildene til klimagassutslipp er utslipp av metan fra biogassanlegget og miljøbelastning fra behandling av rejevtvann fra etter-avvanning. Den største miljønyttene oppnås ved at hygienisering med kalk og transport av råslam til Nordre Follo unngås. Figuren viser totale utslipp pr år, i motsetning til figur 12 og 13 som viser utslipp pr tonn råslam. Denne framstillingsmåten gir en bedre oversikt over faktisk påvirkning på miljøet. Dette skyldes at mengden råstoff (slam eller gjødsel) er forskjellig fra scenario til scenario). For eksempel blir forskjellen mellom scenario 2 og 3 mye større når man ser på totale utslipp enn på utslipp pr tonn slam eller gjødsel.



Figur 15. Klimagassutslipp i scenario 2.

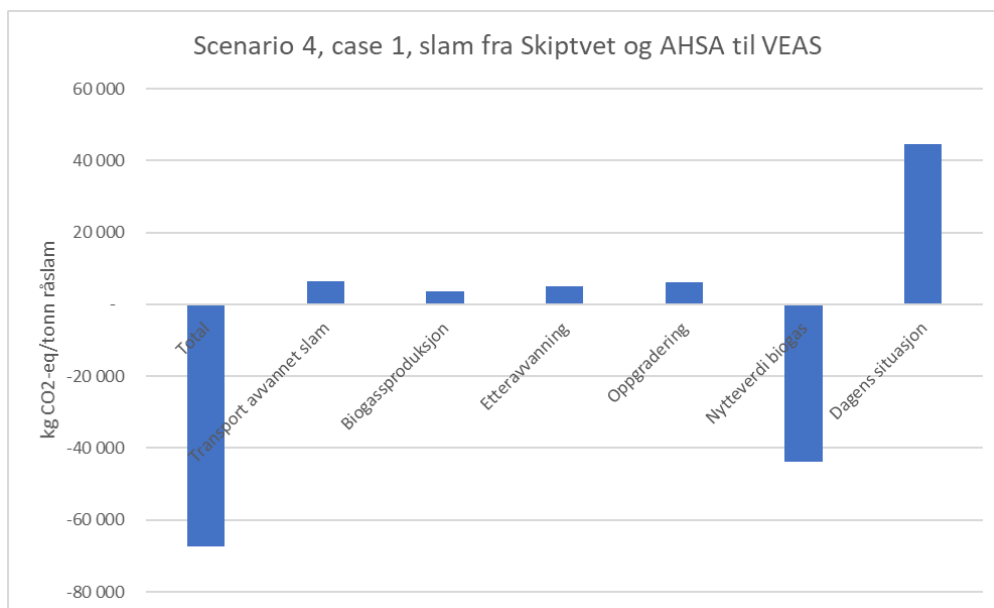
Utslippene av klimagasser for scenario 3 vises i Figur 16. *Figur 15.* Miljønyttene er over 10 ganger høyere enn for scenario 2, selv om utslippene fra transport er mye høyere. Dette skyldes for en stor del at nytteverdien ved bruk av oppgradert biogass til drivstoff er svært stor i forhold til nytteverdien ved bruk av biogass til varmereproduksjon (scenario 2). I tillegg er det en stor miljønytte ved å unngå utslippene fra dagens behandling av gjødsel, i det vesentlige utslipp fra lagring. Dette betyr at utslipp fra transporter og avvanning blir små i forhold.



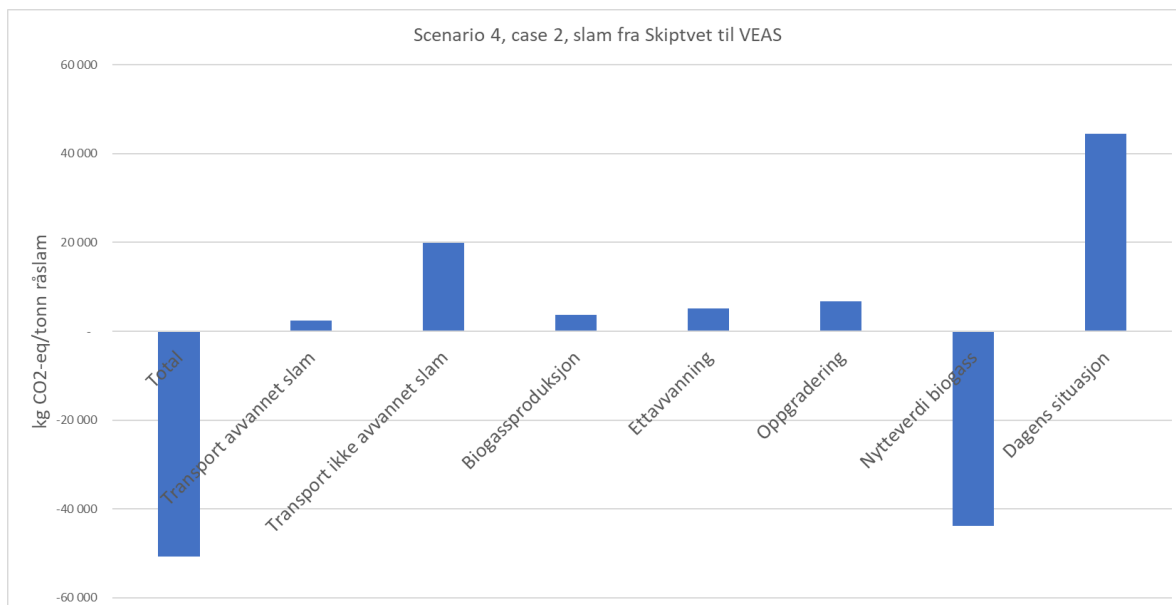
Figur 16. Klimagassutslipp i scenario 3.

Utslipp av klimagasser i scenario 4 er vist i Figur 17 og Figur 18. I dette tilfellet kan råslammet enten transporteres direkte til biogassanlegget (case 2) eller det kan fraktes til Hoel RA for avvanning (case 1.) og deretter transporteres avvannet til biogassanlegget. I begge tilfellene er resultatet totalt sett en

miljønytte, men nytten er noe større når slammet fra private RA transporteres avvannet. Nytten av oppgradert biogass som drivstoff er mye større enn transportutslippene for begge scenariene.



Figur 17. Totale klimagassutslipp pr år for scenario 4, case 1.



Figur 18. Totale klimagassutslipp fra scenario 4, case 2.

Sensitivitetsanalyser

For å bestemme hvor robust konklusjonene er, ble en rekke sensitivitetsanalyser gjort. I analysene varieres verdien til noen nøkkelparametre for å undersøke i hvor stor grad dette endrer konklusjonene fra analysene.

Transportavstander og fyllingsgrad ble endret i scenario 3. Resultatene er vist i tabell 12 og 13. I tabell 12 er bare effekten av å endre transportavstand av gjødsel til anlegget vist, ikke effekten av større avstand for biorest tilbake til bøndene. Denne transporten vil addere ca. 50 % i tillegg til nevnte tall,

dvs. effekten av 50 km transportavstand vil være en 25 % økning av klimagassutslippet pr år. Effekten av transportavstand er betraktelig, men store deler av Østfold fylke ligger innenfor 50 km radius hvor effekten begrenser seg til + 25 % klimagassutslipp.

Tabell 12. Sensitivitet for transportavstand til biogassanlegg i Scenario 3.

Transportavstand gjødsel (snittverdi er 28 km)	10	20	30	40	50
Endring i totalt klimagassutslipp (%)	-13	-5,4	2,1	9,6	17,1

I tabell 13 er effekten av redusert fyllingsgrad vist. Hvis bilene går med 4 t pr tur, dvs. under halv fyllingsgrad er effekten betraktelig, men er fremdeles ikke nok til å rokke ved konklusjonen.

Tabell 13. Sensitivitet for fyllingsgrad i transport i scenario 3.

Fyllingsgrad bil, gjødsel (tonn pr lass) Satt verdi er 10.	4	6	8	12
Endring i totalt klimagassutslipp (%)	22	9,9	4,1	-1,8

Tabell 14 viser at ved et tredoblet lekkasjenivå vil klimagassutslippene øke med nesten 20 %. Dette er en stor økning, men ikke nok til å endre rangeringen av scenariene.

Tabell 14. Sensitivitet for endringer i lekkasjenivå.

Lekkasje metan (% av produsert mengde). Satt verdi er 0,01	0,005	0,015	0,02	0,03
Endring i totalt klimagassutslipp (%)	-4,8	4,8	9,7	19,3

Tabell 15 og 16 beskriver hva som skjer med resultatene i scenario 3 hvis vi endrer biogasspotensialet for storfe og svin, dvs mengde biogass pr kg tørrstoff. Endringer i biogasspotensial for storfe kan ha stor betydning, men endring for svin har liten betydning. Biogasspotensial er en viktig faktor, men det må store endringer til for å gjøre scenario 3 mindre gunstig enn de andre løsningene.

Tabell 15. Sensitivitet for endring i biogasspotensial for storfe.

Teoretisk biogasspotensialt storfe (Nm ³ biogass pr tonn TS) satt verdi er 280)	220	240	280	300
Endring i totalt klimagassutslipp (%)	18,3	9,2	-9,2	-18,3

Tabell 16. Sensitivitet for endring i biogasspotensial for svin.

Teoretisk biogasspotensialt svin (Nm ³ biogass pr tonn TS, satt verdi er 330)	280	305	355	380
Endring i totalt klimagassutslipp (%)	3,1	1,5	-1,5	-3,1

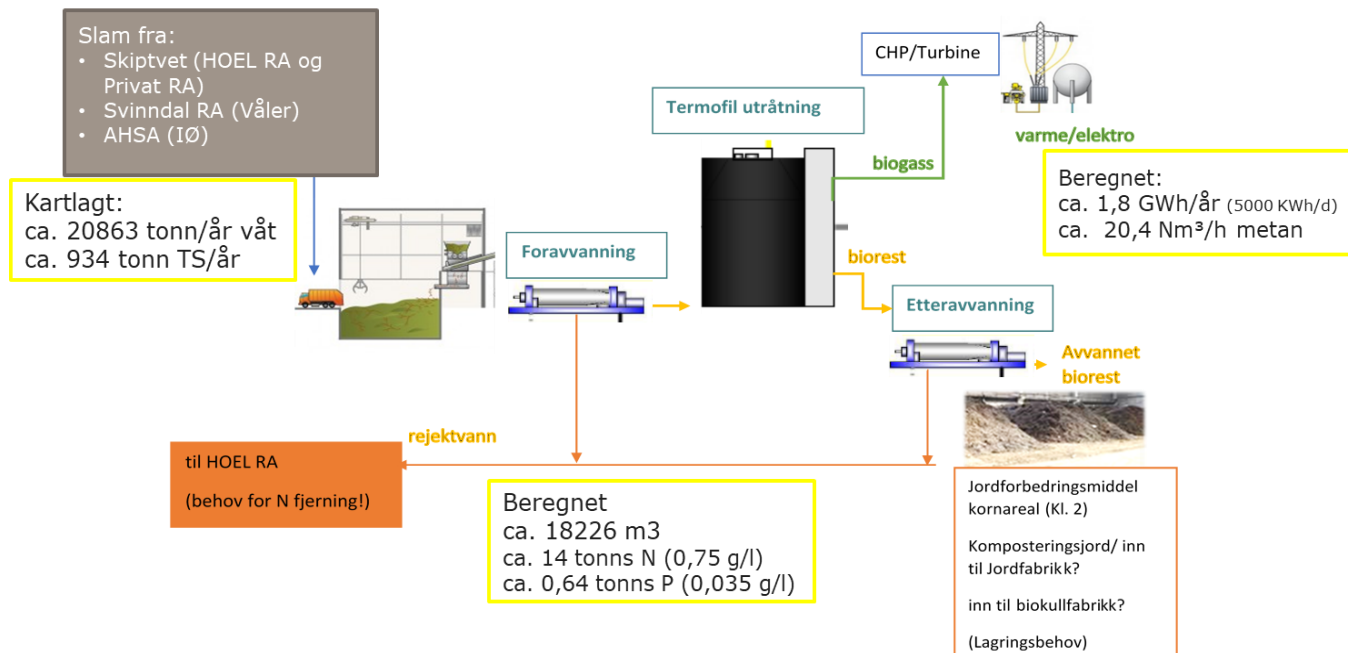
Konklusjon av livsløpsanalyse

Scenario 3 er det miljømessig beste alternativet, både pr mengde slam eller gjødsel behandlet og i enda større grad når det gjelder total miljøpåvirkning pr år. Sensitivitetsanalysene viser at dette er en robust konklusjon, det skal urealistisk store avvik i viktige parametere for å endre rangeringen mellom scenariene. Imidlertid er scenariene svært forskjellig. Scenario 4 er mye bedre enn dagens behandlingsløsning, men gir ikke noe tilskudd av energi og næringsstoffer og er ikke en løsning for råstoff utenfor Skiptvet kommune. Scenario 2 gir tilskudd av energi til kommunen og næringsstoffer til jordbruket, men gir ingen utnyttelse av husdyrgjødsel. Scenario 3 er et mye større anlegg, men vil i tillegg kreve enda et råstoff til gjødselreaktoren.

Alle scenariene oppfyller målene om 500 kWh/dag i egenproduksjon og minimum 20-30 % lavere utslipp av CO2 enn dagens situasjon, men scenario 3 er altså best ift. disse to målene.

5.2. Modell/konsept for optimal energiutnyttelse

5.2.1. Biogassanlegg for avløpsslam i Skiptvet Kommune (Scenario 2)



Forutsetninger

Scenario 2 er basert på avløpsslam som eneste råstoff. Dersom det er mye fremmedslam (fra private anlegg) må dette tas hensyn til med tanke på utjevningvolumer og maksimal belastning på råtnetanker. Normalt kommer fremmedslam maksimalt 5 dager i uken, og gjerne mer om sommeren enn om vinteren fordi det flere steder kan være vanskelig med framkommelighet til de private anleggene om vinteren. Ukevariasjoner kan stort sett utjevnes før råtnetank. En faktor på dimensjoneringsmengde av 1,5 ganger gjennomsnittlig mengde er foreslått her.

Data som vises i Tabell 17 er tatt ut fra massebalanser for konseptet Scenario 2 og faktoren 1,5 er brukt for dimensjoneringsmengder.

Tabell 17. Prosessforutsetninger for Scenario 2

Råstoff innløp (tonn TS/år)	934
Råstoff innløp (m ³ /dag)	57
Råtnetanken volum (m ³) (nødvendig)	624
Råtnetanken volum (m ³) (dimenjs.)	940
Rejektvann produksjon (m ³ /år)	18 226 (745 mg/L N, 38 mg/L P)
Biorest produksjon 25 % TS (tonn/år)	2331
Energiproduksjon (GWh/år)	1,8
Energiproduksjon unntak intern bruk (GWh/år)	*1,08
(KWh/d)	3 000

* internt bruk tatt som 40% av produsert energi (konservativ).

Teknologi og kostnader

Kompakt biofilm-gjennomstrømningsreaktor

En løsning for et termofilt nøkkelferdig biogassanlegg er å bruke kompakte biofilm-reaktorer. Ifølge informasjon fra leverandør av slik teknologi i markedet, vil et slik anlegg som kunne tilpasse Scenario 2 inkludere teknisk bygg for forbehandling, pumper og varmeveksling, komplett gasshåndteringsanlegg med CHP til strømproduksjon og varmt til internt bruk.

Investeringsbudsjett er vist i Tabell 18. Kostnader for et anlegg/prosess-trinn for å rense nitrogen fra rejeftvann, 745 mg-N/L i 18226 m³/år, er ikke inkludert på denne utredningen, men estimert å være ca. 4 MNOK.

Tabell 18. investeringsbudsjett for et kompakt biofilm reaktor-anlegg for avløpsslam, inkl. CHP

	Investering	NOK	Kommentar
A	Sum fortanksystem	170 000	Fortanker før sortering, buffertanker og valver. Nivåmålere, Omrørere og ventiler.
B	Sum strøm og kontrollsystemer	688 000	Magnetventil skap for ventiler, kompressor for luft til ventiler, styringsskap for styringssystem m/strøm, Programmering av styringssystem.
C	Sum buffertank og hygienisering	2 773 000	Miksetank substrat, kvern og hygieniseringstank, varmeveksler og varmesystem for miks-og hygieniseringstank, pumper.
D	Sum råtnetanker komplett (4 stk.)	12 317 000	Vinterisolert, kapasitet minimum 20.000 tonn per år
E	Sum maskinell fortykning og etteravvanning biorest	3 500 000	
F	Sum bioresthåndtering	59 000	Biorestlager/tanker
G	Sum gasshåndtering og rensing	2 836 000	Gassmålere, gassavfukter, avsvovling m/pellets, partikkelfilter, gassmotor for strøm, gasstørker, fakkell, gasslager rågass.
H	Sum montasje, container og bygg	6 773 000	
I	Sum grunnarbeid, kjørearealer og betongfundamenter (forutsatt god byggegrunn)	3 500 000	
J	Diverse VVS, elektro og automasjon ikke med i andre poster	1 500 000	
	Sum entrepriskostnad	34 116 000	
K	Rigg (10 % av entrepriskostnad)	3 412 000	
L	Prosjektering (8 % av entrepriskostnad)	2 729 000	
M	Byggherrens admin. kostnader (5 % av entrepriskostnad)	1 706 000	
N	Uforutsett/ usikkerhet (10 % av entrepriskostnad)	3 412 000	
	TOTALT	45 375 000	

Investering for helle anlegg er ca. 45 000 000 NOK. Med tilskuddordninger fra innovasjon Norge/ENOVA om bygning av biogassanlegg (støtte 50%) vil investering kommer til 22 500 000 NOK, og driftsbudsjett estimert som i **Feil! Fant ikke referansekilden.**

Tabell 19. Driftsbudsjett for et Kompakt biofilm reaktor-anlegg for avløpsslam.

Driftskostnader/år	Kapitalkostnader (av investering på 22 500 000 NOK) 20 år/4% renter	1 665 590	
	Vedlikehold	900 000	2% investeringen
	Bemanning	600 000	1 årsverk, 600 000 NOK
	Polymerforbruk fortykning og etteravvanning	300 000	32 NOK/kg polymerforbruk estimert til 6 kg/tonn TS
	Transport	875 000	Fra Svinndal RA og AHSA IKS Tot 17500 m ³ slam Gjennomsnitt 25 km (tur-retur) 2 NOK/m ³ .Km
	TOTALT	4 340 590	
Driftsinntekter/år	Slam fra andre kommuner og privat	4 903 750	*250 NOK/tonn
	Ekstra råstoff	–	280 NOK/tonn
	Salg av gass	432 000	0,40 NOK/KWh
	Salg av biorest fra slam	279 720	**120 NOK/tonn
	TOTALT	5 615 470	
Forskjell netto (NOK)		1 274 880	

*Pris av mottak slam basert på teknologi leverandører og erfaringer fra tidligere prosjekter, forutsetning at slam er pumpbart og etterpå justeres til 8 % TS.

**Pris for salg av slam-basert produkter ifølge Grønn vekst sitt markedsprisene for produkter "Anlegg-jord" og "Park-miks", og fra erfaring i tidligere Aquateam COWIs prosjekter.

Når det gjelder biorest fra utråtnet avløpsslam, dette er vanligvis en utgift for et biogassanlegg, på grunn av oppfatningen fra bønder ettersom kvaliteten ikke er høy enn for gjødselbasert organisk biorest, og transport-kostnader knyttet til å spred det i korndyrkingsarealer/grøntarealer dekkes av anlegget selv. I noen tilfeller betaler anlegg i tillegg bøndene litt for å ta imot slammet (f.eks. i form av bidrag til kalking).

Imidlertid er det mulig å kommersialisere biorest fra slam som en komponent i organisk kompostblanding. Fra tidligere utredninger og innhenting av data, er det kjent at markedspris for kompost basert på husdyrgjødsel er i området 5000 NOK/tonn. Vi antar 30% av markedspris som inntekt for anlegg som produserer kompost, dvs. ca. 1600 NOK/tonn. Markedspris for kompost/jordprodukter basert på slam er mellom 300-400 NOK/tonn (Grønn Vekst, 2021). For biorest fra slam er da tatt en konservativ pris av 120 NOK/tonn (30% av markedspris).

Ifølge leverandør, er arealbehov for en komplet anlegg med fire biofilm-gjennomstrømningsreaktorer ca. 2000 m².

Helomrørte reaktor (CSTR) teknologi

Investeringskostnadene som er brukt for CSTR teknologi er basert på erfaring fra lignende prosjekt samt priser innhentet fra leverandører, også for tidligere gjennomførte sammenlignbare prosjekter. Kostnaden er indeksjustert ettersom tilbudene det er tatt utgangspunkt i er fra 2018. Det er lagt inn en usikkerhet på 20 % på grunn av uforutsette behov.

Merk at investeringskostnadene er grovt estimert med en høy grad av usikkerhet. Unøyaktigheten i investerings- og driftskostnader er ikke tallfestet og må betraktes med stor forsiktighet. Tallene er kun ment for å understøtte vurderingen. Mer detaljerte vurderinger er nødvendig for å kunne definere unøyaktighetsnivå.

Investeringskostnader viser i Tabell 20.

Tabell 20. Investeringsbudsjett for et CSTR-anlegg for avløpslam med CHP.

	Investering	NOK	Kommentar
A	Bygg og fundamenter	4 000 000	
B	VVS, varme og luftbehandling	1 900 000	
C	Strøm og kontrollsystemer	1 500 000	
D	Fortank/mottakstanker	1 100 000	
E	Maskinell fortykning	1 500 000	
F	Buffertank/hygienisering	3 300 000	
G	Råtnetanker	6 000 000	En stk 1000 m ³
H	Håndtering av biorest Etteravanning Tank	2 000 000 450 000	Etteravanning og tank
I	Gasshåndtering og rensing	3 000 000	CHP
J	Grunnarbeid	2 300 000	Klargjøring av tomt for bygg, fundamenter, osv..
K	Diverse annet utstyr (pumper, rør, skruer, osv..)	2 000 000	
	Sum entrepriskostnad	29 050 000	
L	Rigg (12% av entrepriskostnad)	3 486 000	
M	Prosjektering (12% av entrepriskostnad)	3 486 000	
N	Byggherrens admin. kostnader (8% av entrepriskostnad)	2 324 000	
O	Uforutsett/ usikkerhet (20% av entrepriskostnad)	5 810 000	
	TOTALT	44 156 000	

Son nevnt før, et anlegg/prosess-trinn for å rense nitrogen fra rejektivann er ikke inkludert på denne utredningen, men det er estimert å være ca. 4 MNOK.

Driftsbudsjett viser i Tabell 21.

Tabell 21. Driftsbudsjett for et CSTR-anlegg for avløpslam.

		NOK	Kommentar
Grunnlag	Innvestering	44 156 000	
	Støtte (IN/Enova), 50 %	22 078 000	
	investering netto	22 078 000	
Driftskostnader/år	Kapital 20 år/4% renter	1 624 538	
	Vedlikehold	883 120	2% investeringen
	Bemannning	1 200 000	2 årsverk, 600 000 NOK
	Polymerforbruk fortykning og etteravanning	300 000	32 NOK/kg polymerforbruk estimert til 6 kg/tonn TS
	Transport	875 000	Fra Svinndal RA og fra AHSA IKS Tot 17500 m ³ slam Gjennomsnitt 25 km (tur-retur) 2 NOK/m ³ .Km
	TOTALT	4 882 658	
	Driftsinntekter/år	Slam fra andre kommuner og privat	4 903 750
Ekstra råstoff		-	280 NOK/tonn
Salg av gass		432 000	0,40 NOK/kWh
Salg av biorest fra slam		279 720	**120 NOK/tonn
TOTALT		5 615 470	
Forskjell netto (NOK)		732 812	

*Pris av mottak slam basert på teknologi leverandører og erfaringer fra tidligere prosjekter, forutsetning at slam er pumpbart og etterpå justeres til 8 % TS.

**Pris for salg av slam-basert produkter ifølge Grønn vekst sitt markedsprisene for produkter "Anlegg-jord" og "Park-miks", og fra erfaring i tidligere Aquateam COWIs prosjekter.

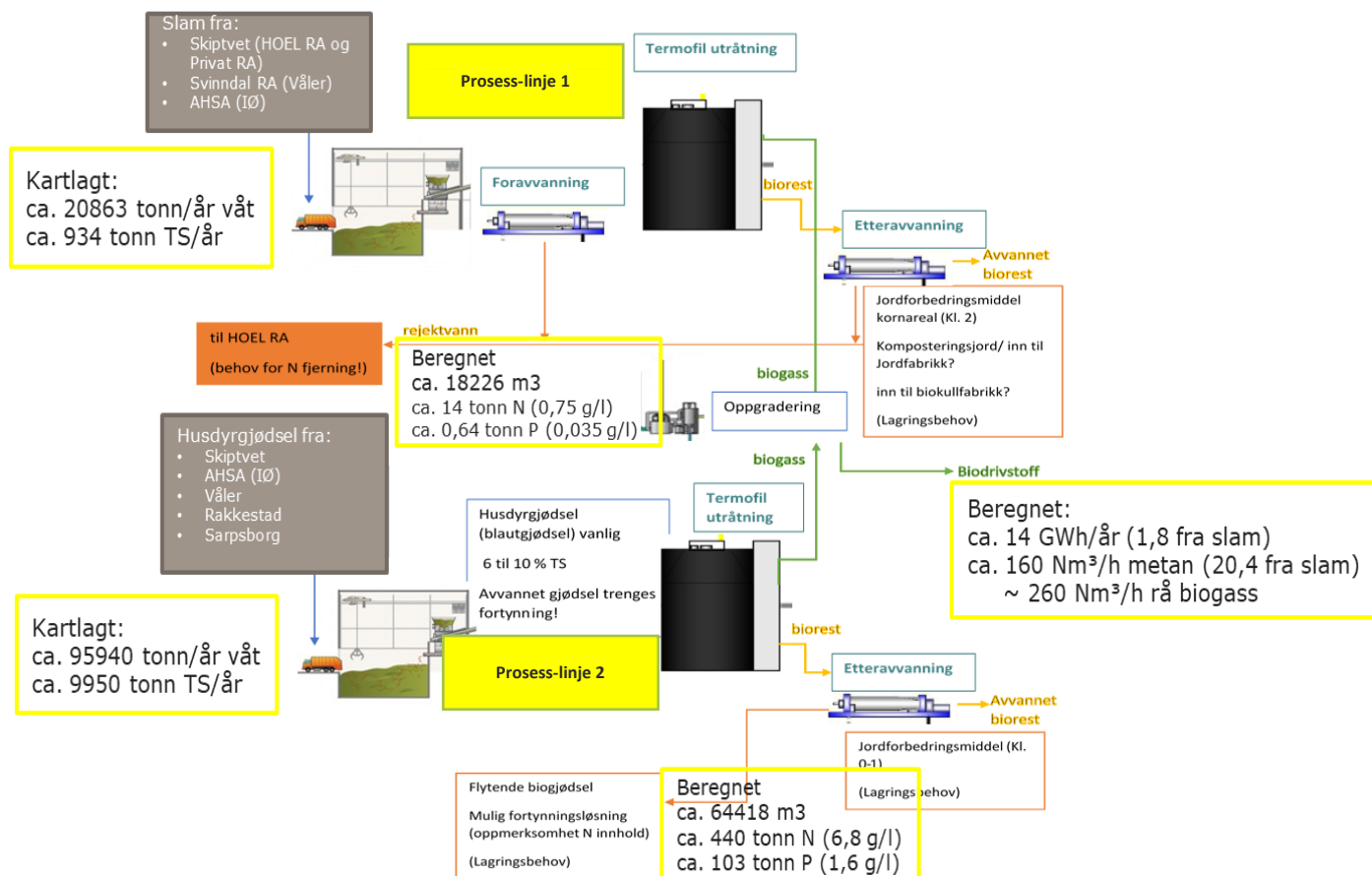
Driftsbudsjettene for begge alternativer i Scenario 2 viser at konseptet kan bli lønnsomt for å behandle avløpslam fra Skiptvet området som inkludert alt slam som produseres ved AHSA IKS og Svinndal RA,

og å produsere begge elektrisitet og varm. For begge teknologiene er driftsinntekter store en driftsutgifter, og investeringskostnader er på samme nivå av ca. 45 MNOK. Behandlingskostnad gir 4650 NOK/tonn TS og 5230 NOK/tonn TS av avløpslam for den kompakt -biofilm og den CSTR alternativene henholdsvis.

Driftsbudsjettet er basert på en del forutsetninger som må avklares i forbindelse med et eventuelt hovedprosjekt. I neste fase vil det være viktig å gå i dialog med aktører som er premissgivere for et anlegg, som inkluderer:

- Indre Østfold og Våler kommune iht råvaregrunnlag – Essensielt for å detaljere prosess teknisk utstyr og inntektsgrunnlag.
- Skiptvet Kommune for å definere mottagere og å sikre avsetning av biogassen
- Skiptvet kommune/evt. jordfabrikk- for å sikre mottak / kjøp og avsetning av biorest fra slam.
- Alf Håvard Bro ved plassering av et slam-basert anlegg på sin gård.

5.2.2. Tilsetning av husdyrgjødsel som substrat (Scenario 3)



Scenario 3 av konseptet er en utvidelse av Scenario 2 ved å inkludere husdyrgjødsel som råstoff og sin egen prosess-linje. Prosess skal ha to parallell-linjer, en for avløpslam (prosess-linje 1) og en for husdyrgjødsel og evt. ekstra råstoff (prosess-linje 2) (Tabell 22). Bare gassbehandling skal bli felles for de to linjer, slik at alt gass er oppgradert til drivstoffkvalitet.

I henhold til byggekostnader, vil det betyr at i praksis bygges to separate anlegg ved siden av hverandre. Teknologien som vurderes på grunn av lignende prosjektopplevelser er et anlegg med termofil nedbrytning på begge prosess-linjer, i CSTR råtnetankene.

Tabell 22. Prosess-forutsetninger for Scenario 3

Råstoff innløp (TS/år)	Prosess-linje 1	934
	Prosess-linje 2	9950
Totalt		10 884
Råstoff innløp (m ³ /dag)	Prosess-linje 1	57
	Prosess-linje 2	263
Totalt		320
Råtnetanken volum (m ³) (nødvendig)	Prosess-linje 1	624
	Prosess-linje 2	5200
Råtnetanken volum (m ³) (dimenjs.)	Prosess-linje 1	940
	Prosess-linje 2	7800
Rejektvann produksjon (m ³ /år)	Prosess-linje 1	18 226 (745 mg/L N; 38 mg/L P)
	*Prosess-linje 2	64 418 (6800 mg/L N; 1600 mg/L P)
Biorest produksjon 25 % TS (tonn/år)	Prosess-linje 1	2331
	Prosess-linje 2	28976
Energiproduksjon (GWh/år)		14
Energiproduksjon unntak intern bruk (GWh/år)		**9,1-10,5
Metan til drivstoffkvalitet m ³ /år m ³ /time		911 040-1 051 200
		104-120

*Hvis rejeckt vann produseres av Prosess-linje 2 har dette verdi som flytende gjødsel fylt av næringsstoffer.

**intern brukt for et stor-skala anlegg tatt 25-35% av produsert energi (pga. bedre energiutnyttelse/effektivitet enn for små anlegg)

Investeringskostnadene viser i Tabell 23 og er basert på erfaring fra lignende prosjekter samt priser innhentet fra leverandører, også for tidligere gjennomførte sammenlignbare prosjekter. Kostnaden er indeksjustert ettersom tilbudene det er tatt utgangspunkt i er fra 2018. Det er lagt inn en usikkerhet på 20 % på grunn av uforutsette behov.

Merk at investeringskostnadene er grovt estimert med en høy grad av usikkerhet. Unøyaktigheten i investerings- og driftskostnader er ikke tallfestet og må betraktes med stor forsiktighet. Tallene er kun ment for å understøtte vurderingen. Mer detaljerte vurderinger er nødvendig for å kunne definere unøyaktighetsnivå.

Kostnader knyttet til å inkludere et forbehandlingsanlegg for eventuelt ekstra råstoff, samt et anlegg/prosess-trinn for å rense nitrogen fra rejeckt vann fra prosesslinje 1, er ikke inkludert på denne utredningen.

Tabell 23. Investeringsbudsjett for Scenario 3.

	Investering	NOK	Kommentar
A	Bygg og fundamenter	10 000 000	
B	VVS, varme og luktbehandling	8 000 000	
C	Strøm og kontrollsystemer	4 000 000	
D	Fortank/mottakstanker	4 000 000	
E	Maskinell fortykking avløpslam	1 500 000	
F	Buffertank/hygienisering	16 000 000	
G	Råtnetanker (3)	6 000 000 28 000 000	En stk 1000 m ³ To stk 4000 m ³
H	Håndtering av biorest Etteravvanning Tank 1 Tank 2	2 000 000 450 000 1 800 000	Etteravvanning og tanker
I	Gasshåndtering og rensing Gassoppgradering Kompresjonsstasjon/flaklager	17 000 000 12 000 000	
J	Grunnarbeid	7 500 000	Klargjøring av tomt for bygg, fundamenter, osv..
K	Diverse annet utstyr (pumper, rør, skruer, osv..)	7 000 000	
	Sum entreprisrekostnad	125 250 000	
L	Rigg (12% av entreprisrekostnad)	15 030 000	
M	Prosjektering (12% av entreprisrekostnad)	15 030 000	
N	Byggherrens admin. kostnader (5% av entreprisrekostnad)	6 262 500	
O	Uforutsett/ usikkerhet (20% av entreprisrekostnad)	25 050 000	
	TOTALT	186 622 500	

Total investeringskostnader for Scenario 3 er estimert å være ca. 187 MNOK.

Driftsbudsjett for Scenario 3 viser i Tabell 24.

I tillegg til tilskuddordningen for bygging av biogassanlegg, får bøndene støtte til å behandle husdyrgjødsel sitt på et biogassanlegg. Bøndene vil også få det hygienisert biorest som biogjødsel tilbake. Vi forutsette at bøndene få alt nitrogen tilbake i form at biogjødsel, slik at biogjødsel er ikke sluttavvannet på anlegg. Tilskudd til bøndene for å levere husdyrgjødsel til biogassanlegg gå til å transportere husdyrgjødsel og er i dag 70 NOK/tonn. Men i dag ligger for bøndene ingen kostnad å behandle av gjødsel si. Det er derfor ikke sannsynlig at de er villige til å betale mer enn transportstøtten til anlegget. For det er det antatt et konservativ mottak-fee av 40 NOK/tonn husdyrgjødsel som er levert til biogassanlegg.

Ifølge markedet stå pris av CBG mellom 1,24-1,45 NOK/KWh (Biogass Oslofjord, 2019), og pris av biometan ca. 0,6-0,90 NOK/KWh (Carbon Limits, 2020).

Tabell 24. Driftsbudsjett for Scenario 3.

		NOK	Kommentar
Grunnlag	Innvestering	186 622 500	
	Støtte (IN/Enova), 50 %	93 311 250	
	investering netto	93 311 250	
Driftskostnader/år	Kapital 20 år/4% renter	6 866 005	
	Vedlikehold	3 732 450	2% investeringen
	Bemanning	2 400 000	4 årsverk, 600 000 NOK
	Polymerforbruk fortykking og etteravvanning (Prosess-linje 1)	300 000	32 NOK/kg
	Transport	875 000	Fra Svinndal RA og fra AHSA IKS Tot 17500 m ³ slam Gjennomsnitt 25 km (tur-retur) 2 NOK/m ³ .Km
	TOTALT	14 173 455	
	Driftsinntekter/år	Slam fra andre kommuner og privat	4 903 750
Husdyrgjødsel		3 837 600	40 NOK/tonn
Ekstra mulig råstoff		–	280 NOK/tonn
Salg av biometan		6 307 200	0,60 NOK/KWh
Salg av biorest fra slam		279 720	**120 NOK/tonn
TOTALT		15 328 270	
Forskjell netto (NOK)		1 154 815	

*Pris av mottak slam basert på teknologi leverandører og erfaringer fra tidligere prosjekter, forutsetting at slam er pumpbart og etterpå justeres til 8 % TS.

**Pris for salg av slam-basert produkter ifølge Grønn vekst sitt markedsprisene for produkter "Anlegg-jord" og "Park-miks", og fra erfaring i tidligere Aquateam COWIs prosjekter.

Dette driftsbudsjettet viser at det er mulig å finne en modell som gir et anlegg som går i økonomisk balanse. Dette forutsetter at gjødsel er tatt av bøndene og at bøndene transporteres det, og at alt gassen som produseres oppgraderes. Det er også viktig å markere at andre råstoff (f.eks. matavfall, halm) skal også tilsette for å kjøre en stabil prosess iht. husdyrgjødsel, noe som kan økes inntekter for den biogassanlegg, men kan også gjøre at et evt. forbehandling-prosesstrinn må bli nødvendig å etableres.

Behandlingskostnad for scenario 3 gir 1302 NOK/tonn TS råstoff, en betydelig reduksjon sammenlignet med scenario 2 behandlingskostnader (4600-5300 NOK/tonn TS).

Som et konsept der to anlegg må bygges og handler om aktører fra hele Indre Østfold regionen, vil dette også kreve at flere forutsetninger er oppfylt for at et slikt prosjekt skal kunne utvikles, enn for Scenario 2. Disse må bli korrekt identifisert slik at prosjektet er realitetsvurdert i forkant av oppstart, og god lønnsomhet kan bevises.

I henhold til arealbehov vi kan anslå en dobling av arealet av scenario 2, slik at det muligens vil være nødvendig minimum 5000 m² for slike installasjoner. Skiptvet har betingelser for å være en veldig sentral beliggenhet, se Figur 12, for å bli et "biogass-hub" for regionen, men lokalisering/identifisering av bønder som ønsker å delta i prosjektet vil ha en stor påvirkning på optimal plassering også iht. transportkostnader for utlevering av gjødsel og henting av biorest. Tilgjengeligheten av en tomt av slike dimensjoner i Skiptvet vil være en annen forutsetning som må innføres slik at prosjektet er gjennomførbart.

5.2.3. Tilskuddordninger for biogassanlegg

- Investeringen i produksjonsanlegg for biogass (Innovasjon Norge/ENOVA): tilskudd til investering i produksjonsanlegg for biogass kan gis gjennom programmet «Biogass og biodrivstoff». Formålet med programmet er blant annet å bidra til økt produksjon av bærekraftig biogass. Bakgrunnen for programmet er at det er et stort potensial for produksjon av biogass basert på innenlandske ressurser, og at biogass kan bidra til å fase ut fossile brensler. Programmet er rettet mot kommersielt tilgjengelig teknologi. Alle typer av substrat som bygger opp under formålet, herunder husdyrgjødsel, kan inngå i prosjekter. Investeringsstøtten er inntil 45 % for store virksomheter og 50 % for små og mellomstore virksomheter. Prosjekter med høyt energieresultat per støttekrone og dokumentert gjennomføringsevne prioriteres (Ålund og van Weeghei, 2020).
- Tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg (Landbruksdirektoratet, 2021): tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg over jordbruksavtalen gis det støtte på 70 kroner per tonn husdyrgjødsel som leveres til biogassanlegg. Både gårdeiere som har eget biogassanlegg for behandling av husdyrgjødsel og gårdseiere som leverer husdyrgjødsel til et sentralisert sambehandlingsanlegg kan få tilskuddet. Gårdseiere som har eget biogassanlegg (gårdsanlegg) får tilskuddet utmålt direkte på bakgrunn av foretakets dyretall såfremt all husdyrgjødsel behandles i anlegget. Det er foreslått at tilskuddet økes fra 70 NOK/tonn til ca. 100 NOK/tonn (Ålund og van Weeghei, 2020).

5.3. Oppsummering

Arbeidet som har blitt utført i løpet av prosjektet viste forskjellige teknologiske løsninger for en grønn håndtering av avløpslam som produseres i Skiptvet kommune. Med sikte på gjenvinning av mest mulig fra slammets indre verdi, dvs. energi og næringsstoffinnhold, var biogassproduksjon på forhånd valgt ut som hoved teknologi dekket i denne mulighetsstudien. Analyser av tre hovedkonsepter eller scenarier som alternativer for dagens behandling, ble gjennomført og er redegjort for i denne rapporten.

Når det gjelder andre teknologier som tørking eller pyrolyse-prosesser, ble en kort beskrivelse inkludert, og faktorer som påvirket pyrolysen av den tilgjengelige slam mengden ble beskrevet. Denne prosessen, spesielt hydrotermisk karbonisering, har en fordel ved at råstoffet ikke trenger å være helt tørket. Teknologien blir for tiden utviklet på anlegg i kommersiell skala (i Tyskland og Sverige) for å teste effektiviteten og vurdere lønnsomhet når slam brukes som råstoff. Per i dag er sertifisering av biokull kun basert på avløpslam ikke på plass, og derfor heller ikke et marked for slikt biokull produkter, men det forventes at teknologien vil utvikles videre.

Analysene viser at det miljømessig optimale konseptet for behandling av slam fra Skiptvet kommune er Scenario 3, altså et regionalt biogassanlegg som behandler slam fra kommunen, Svinndal RA og AHSA IKS samt gjødsel fra svin og storfe i kommunene Skiptvet, Indre Østfold, Våler, Sarpsborg og Rakkestad. Beregninger av realistisk biogasspotensial fra disse kildene viser at biogassmengden er stor nok til å forsvare oppgradering til biometan kvalitet. Drivstoffet kan brukes feks. til lokale busser, renovasjonsbiler og andre kommunale kjøretøyer.

Dette er en løsning som ikke bare gir en høy miljønytte men også bidrar til Regjeringens strategi om å ta i bruk biodrivstoff med lave utslipp. Konseptet med to separate biogasslinjer gjør det mulig å holde biorest fra husdyrgjødsel og avløpslam separat og bedrer derfor avsetningsmuligheten. I beregningene inngår utslippene forbundet med å kjøre bioresten tilbake til bøndene som har levert husdyrgjødsel. Dermed sikres avsetning av biorest samtidig som det er mulig å redusere transportarbeidet ved å

bruke transportene til å frakte ubehandlet gjødsel den ene veien og biorest den andre veien. Det er også estimert at det for scenario 3 vil være nødvendig å tilsette annet råstoff for å sikre stabil biogassproduksjon i reaktoren hvor husdyrgjødsel utrånnes. Et riktig karbon og nitrogen balanse i råtnetanken er veldig viktig for prosessen og for å unngå at for mye nitrogentilførsel forgifter bakteriekonsortia. For en blanding-miks med husdyrgjødsel som hoved substrat er det estimert at ca. 30-40% som samutråting råstoff er nødvendig.

Når det gjelder økonomi, viser scenario 3 mulighet for å oppnå økonomiske balanse, med et totalt investerings-budsjett på ca. 186 MNOK, og årskostnader av ca. 14 MNOK. Investering viser å være fire ganger høyere enn for scenario 2 som bare behandle avløpslam fra Skiptvet kommune, Svinndal RA, og AHSA IKS, med 45 MNOK og årskostnader av ca. 4,5 MNOK. Fordi anlegg i scenario 3 må ha to forskjellige prosesslinjer, det er store kostnader knyttet til bygg og prosjektering, samt at logistiker involvere her et store områder som inkl. Rakkestad og Sarpsborg.

Å etablere denne type anlegg kreve en rekke suksesskriterier som må bli identifisert og riktig vurdert slik at god lønnsomhet kan sannsynliggjøres. I en eventuell videreføring av prosjektet vil det være avgjørende å gå i dialog med de aktører som er premissgivere for anlegget. Dette inkludere:

- Råvarer:
 - AHSA IKS ved Indre Østfold og Våler kommune (ihht leveranse av avløpslam)
 - Bøndene fra Skiptvet, Indre Østfold, Våler, Rakkestad og Sarpsborg (leveranse husdyrgjødsel)
- Mottagere av biogjødsel:
 - Bøndene fra Skiptvet, Indre Østfold, Våler, Rakkestad og Sarpsborg kommuner
- Mottagere av biorest fra slam:
 - evt. jordfabrikk/komposteringsanlegg, bøndene fra Skiptvet, Indre Østfold, Våler, Rakkestad og Sarpsborg
- Mottagere av biogassen:
 - Distributører av biogass og kommuner involvert, slik at langsiktige avtaler og god infrastruktur er garantert.

Etableringsprosessen vil i stor grad avhenge av langsiktige og lønnsomme avtaler med regionens landbruk-sektor, nabo kommuner, leverandører av ekstra råstoff som matavfall, samt distributører av biometan.

Å bygge et anlegg som det for Scenario 3 innebærer i prinsipp å bygge to biogassanlegg, og sådant et mye større fotavtrykk som må være i samsvar med lokaliseringsbehov, transportbelastning i området og logistikk.

Som ble tidligere anbefalt i Notat 2, en fullstendig miljørisikovurdering skal gjennomføres knyttet til biogassanlegg. En ROS (risiko og sårbarhetsanalyse) gir objektiv informasjon knyttet til farer, konsekvens dersom en fare oppstår og vil kunne brukes som underlag i en beslutningsfase. ROS-analysen bør vurdere leveringssikkerhet, avsetningssikkerhet – miljø og samfunnssikkerhet og forhold knyttet til økonomi.

En utfordring som et biogassanlegg vil ha for Skiptvet er behovet for å behandle de produserte avvannings-strømmene som kommer fra slamavvannings-prosessene. Begrensningene for nitrogenutslipp fra avløpsvann og slambehandlingsanlegg til resipienter er i dag strenge og vil bli

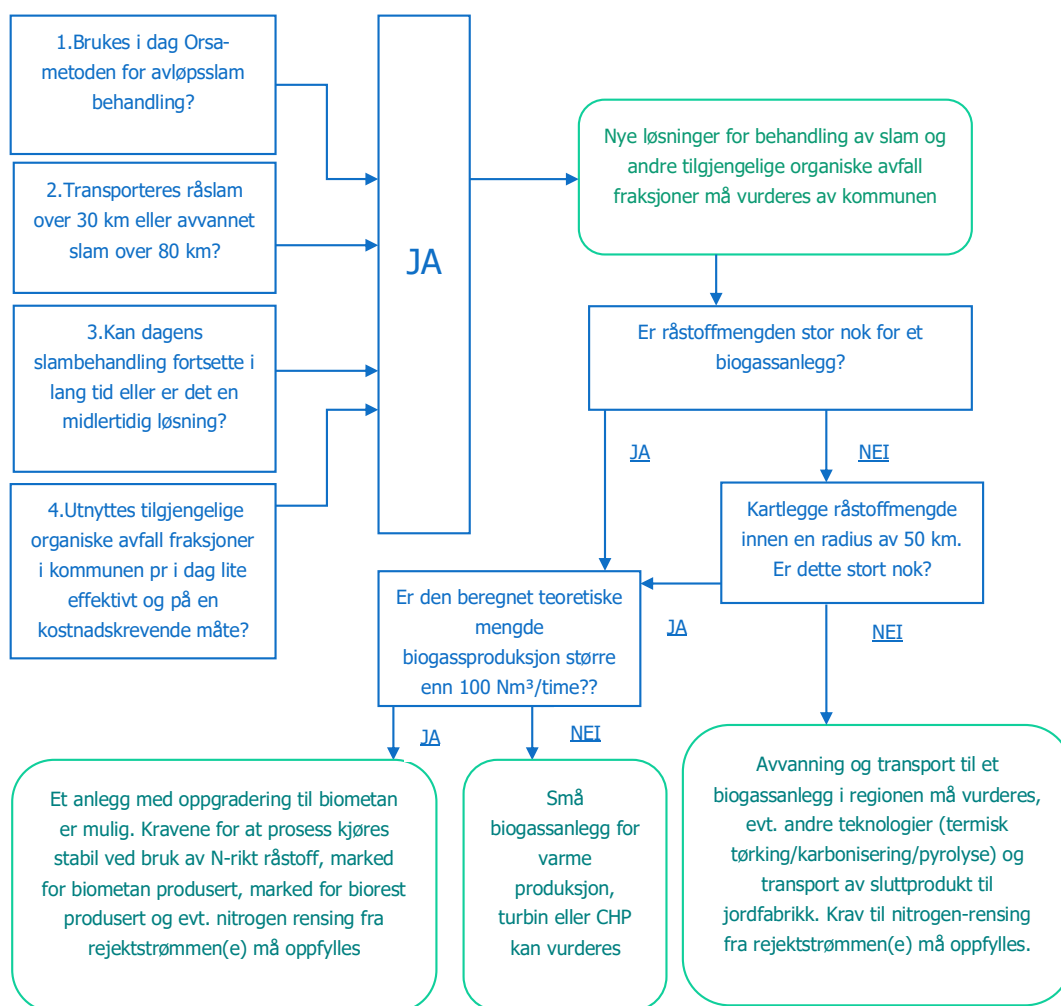
strengere for mange regioner. Et eksempel er Ytre Oslofjord, hvor mange av dagens største renselanlegg skal oppgraderes for å møte strengere renskrav iht. nitrogen, ved å optimalisere sine behandlingsprosesser og legge til tilleggsbehandlingslinjer for å rense det.

Analysen viser at det valgte konseptet, Scenario 3, kunne produseres i totalt netto ca. 28 700 kWh/dag. Konseptet gir også en betydelig miljønytte. Klimagassutslippene reduseres fra 3254 tonn CO₂-ekv/år til -1804 tonn CO₂-ekv pr år (Tabell 25).

5.4. Overføringsverdi for andre landbrukskommuner

Analysene peker på noen kritiske faktorer for miljøbelastning av behandling av slam, gjødsel og til dels matavfall og viktige faktorer å ha i mente når man vurderer nye løsninger. Analysene viser at hvordan biogassen utnyttes er en svært viktig enkeltfaktor. Lang transportavstand, lavt tørrstoffinnhold og lav fyllingsgrad kan gi store utslipp, men dette kan helt eller delvis kompenseres hvis biogassen utnyttes effektivt. Kanskje den viktigste faktoren er tilgang på tilstrekkelige mengder råstoff innen en rimelig radius, f.eks. 50 km. Det er også viktig å ha avsetning for produktene biogass (som drivstoff eller varme) og biorest. En annen viktig faktor er om det allikevel skal investeres i nytt avløpsrensanlegg. I slike tilfeller vil kostnadene knyttet til biogassproduksjon kunne reduseres betraktelig.

Noen viktige spørsmål å stille seg i vurderingen er gitt i avsnittet under.



Hvis en eller flere av de 4 vilkårene er til stede kan det være at man burde se på nye løsninger for behandling av slam, gjødsel, matsvinn, fiskeavfall, avfall fra landbruket og andre mulige råstoff.

Et viktig aspekt er at hvis husdyrgjødsel brukes til en termofil utråtningsprosess, må annet råstoff tilsettes for å unngå ammoniakk-inhibering av utråtningsprosessen. Det anslås at minimum mengde komplementært råstoff er 30 % av TS. Husdyrgjødsel og slam bør ikke utrånnes i samme reaktor pga. begrensninger i gjødselvereforskriften knyttet til avløpslam.

For de kartlagte råstoffmengde bør man undersøke om teoretisk mengde biogassproduksjon utgjør mer enn 100 Nm³/time.

-> Hvis ja:

- Har kommunen en tomt som kan brukes til et biogassanlegg?
- Er eiere villig til å levere råstoff, og til hvilken pris?
- Vil råstoffeiere ta tilbake biorest eller finnes det andre aktører som har bruk for biorestprodukter slik som biogjødsel, dyrkingsmedier eller jordforbedringsprodukter?
- Finnes infrastruktur for biogass som drivstoff og er kommunen eller andre villig til å investere i kjøretøy og evt infrastruktur?
- Er det en stabil forsyning av råstoffet eller forventes reduksjon/økning over tid?

-> Hvis nei:

- Hva er energibehovet i nærheten av anlegget?
- Har kommunen en tomt som kan brukes til anlegget?
- Er eiere villig til å levere råstoff, og til hvilken pris?
- Vil råstoffeiere ta tilbake biorest eller finnes det andre aktører som har bruk for biorestprodukter f.eks. til biogjødsel, dyrkingsmedium eller jordforbedring?
- Er det en stabil forsyning av råstoffet eller forventes reduksjon/økning over tid?

I tillegg bør man, hvis mengden råstoff er lav, vurdere muligheten for å avvanne råstoff som slam og husdyrgjødsel og transportere til et biogassanlegg med god utnyttelse av biogass.

Tabell 25. Oppsummering av resultater

Scenarios	Miljønytte	Kostnader (est.)	Forutsetninger
<p>Scenario 2-</p> <pre> graph LR A[avløpsslam] --> B[Rånetank] B --> C[varm produksjon/små CHP/turbin] </pre>	<ul style="list-style-type: none"> - 14,9 kg CO₂-eq/tonn slam - 314 800 kg CO₂-eq/år 	<p>CAPEX: 45 MNOK</p> <p>OPEX: 2,6 -3,3 MNOK</p> <p>4600-5200 NOK/tonn TS behandlet</p>	<ul style="list-style-type: none"> - AHSAs levere slam - rejektivann må behandles
<p>Scenario 3-</p> <p>Prosess-linje 1</p> <pre> graph LR A[avløpsslam] --> B[Rånetank 1] C[husdyrgjødsel] --> D[Rånetank 2] E[ekstra råstoff (matavfall, landbruksavfall)] --> F[forbehandling] F --> D B --> G[Oppgradering til biodrivstoff] D --> G </pre>	<ul style="list-style-type: none"> - 43,2 kg CO₂-eq/tonn slam - 5 060 000 kg CO₂-eq/år 	<p>CAPEX: 186 MNOK</p> <p>OPEX: 7,3 MNOK</p> <p>1302 NOK/tonn TS behandlet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forbehandling for ekstra råstoff (ikke inkludert i kostnader) - Mulighet for pyrolyse av biorest (ikke vurdert) 	<ul style="list-style-type: none"> - AHSAs levere slam - rejektivann fra prosesslinje 1 må behandles - bøndene levere husdyrgjødsel - 30-40% ekstra råstoff for C/N stabilitet - bøndene ta alt biogjødsel

5. Referanser

AHSA IKS (2020). Årsmelding for driftsåret 2019.

Alvarenga, E., Øgaard, A.F. & Vråle, L. (2017). Effect of anaerobic digestion and liming on plant availability of phosphorus in iron- and aluminium-precipitated sewage sludge from primary wastewater treatment plants. *Water Science and Technology* 75(7): 1743-1752.

Angelidaki, I. og Ahring, B. K. (1993). Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia. *Applied Microbiology and Biotechnology* 38, 560–564.

Angelidaki, I. (2004). (Editor) *Environmental Biotechnology. AD-Biogas Production*. Denmark Institute of Environment and Resources DTU.

ANTEC BIOGAS AS (2021). <https://www.antecebiogas.com/>

Biogass Oslofjord (2019). Tilpasning av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner for drift med biogass-Aktører og kostnader. Østfoldforskning for Biogass Oslofjord. ISBN 978-82-7520-804-8.

Biogass Østfold (2013). Mulighetsanalyse for biogassutbygging i Indre Østfold, Rakkestad og Halden. Forfatter: Ivar Sørby.

Biogass Østfold (2014). Muligheter for økt produksjon av biogass av drivstoffkvalitet ved offentlige avløpsrensaneanlegg i Østfold. En forstudie. Forfatter: Per Even Vidnes.

Calli, B., Mertoglu, B., Inanc, B., Yenigun, O., 2005. Effects of high free ammonia concentrations on the performances of anaerobic bioreactors. *Process Biochemistry* 40, 1285– 1292.

Carbon Limits (2020). Utredning av mulighetene for biogassproduksjon på Finnøy/Rennesøy-Prosjekt for Rogaland fylkeskommune.

Chen, Y., Cheng, J. J., Creamer, K. S., 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology* 99, 4044–4064.

Chiumenti, A., Chiumenti, R., Da Borso, F., Limina, S. (2012). Comparison between dry and wet fermentation of biomasses as result of the monitoring of full-scale plants. In: *ASABE Annual International Meeting*. 29/7-1/8 2012, Dallas Texas.

Chiumenti, A., da Borso, F., Limina, S., (2018) Dry anaerobic digestion of cow manure and agricultural products in a full-scale plant: Efficiency and comparison with wet fermentation. *Waste Management* 71, 704-710.

Deublein, D. & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources, An introduction*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Estevez, M.M., Sapci, Z., Linjordet, R., Schnürer, A., Morken, J. (2014) Semi-continuous anaerobic co-digestion of cow manure and steam-exploded *Salix* with recirculation of liquid digestate. *Journal of Environmental Management* 136, 9-15.

Grønn Vekst (2021). Veiledende priser og produktoversikt <https://static1.squarespace.com/static/5e3bdbc6d069de495ae2fba3/t/5ff817241218b46be6f71aff/1610094372848/S%C3%B8rlandet+2021.pdf>

Hoyer, K., Hulteberg, C., Svensson, M., Jernberg, J., Nørregård, Ø. (2016). Biogas Upgrading- Technical Review. Energiforsk report 016:275. ISBN 978-91-7673-275-5.

Innovasjon Norge (2021). Tilskudd til biogassanlegg. <https://www.innovasjon norge.no/no/tjenester/landbruk/finansiering-for-landbruket/fornybar-energi-i-landbruket/>

IVL (2021). New technology for sludge management is being tested at treatment plants - IVL Svenska Miljöinstitutet. <https://www.ivl.se/english/ivl/topmenu/press/news-and-press-releases/news/2021-08-11-new-technology-for-sludge-management-is-being-tested-at-treatment-plants.html>

IWA (2007). Biological wastewater treatment series. Volume 4: Anaerobic reactors. IWA Publishing, London, UK.

Johannessen E., Rusten B., Ødegaard H., Bjørn E., Paulsrud B. (2020). Veiledning for dimensjonering av avløpsrensplanlegg. Norsk Vann rapport: 256/2020.

Krogstad, T., Sogn, T.A., Sæbø, A. & Asdal, Å. (2005). Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorus in soil. Ecological Engineering 25:51-60.

Landbruksdirektoratet (2018). Forslag til endring i gjødselvarer forskriften <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/miljo-og-okologisk/jordbruk-og-miljo/gjodsling/regelverk/forslag-til-nye-forskrifter-levert-gjodsel-storre-ressurs-mindre-ulempe>

Landbruksdirektoratet (2021). Tilskudd for å levere husdyrgjødsel til biogassanlegg <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/jordbruk/ordninger-for-jordbruk/tilskudd-for-a-levere-husdyrgjodsel-til-biogassanlegg?resultId=1.0&searchQuery=Tilskudd+for+levering+av+husdyrgj%C3%B8dsel+til+biogassanlegg>

Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-Güiza, M.S., Fonoll, X., Peces, M., Astals, S., (2014). A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. Renewable and Sustainable Energy Reviews 36, 412-427.

Morken, J., Briseid, T., Hovland, J., Lyng, K.A., Kvannd, I. (2017). Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift, Ås/Oslo, REALTEK (NMBU) rapport 56, ISSN: 1503-9196.

Nanopar (2021). <https://www.nanopar.fi/en/paskier-process/>

NOTAT 1- Lovverk, forskrifter og myndighetskrav (2020). Blytt, L.D. og Estevez, M.M. Aquateam COWI, Rapport nr.: 20-027.

NOTAT 2- Miljø og samfunn (2020). Estevez, M.M. Aquateam COWI, Rapport nr.: 20-028.

NOTAT 3- Tekniske forutsetninger (2020). Estevez, M.M. og Rusten, B. Aquateam COWI AS, Rapport nr.: 20-029.

Nybruket, S., Paulsrud, B., Nedland, K.T. (2003). Erfaringer med hygienisering av slam i Norge. VA-Forsk Rapport Nr. 32, Svenskt Vatten AB.

Lovdata (2018) <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-09-14-1064>

Picciotto, Maniscalco M., Volpe, M., Messineo, A. (2020) Hydrothermal Carbonization as a Valuable Tool for Energy and Environmental Applications: A Review. *Energies* 2020, 13(16), 4098; <https://doi.org/10.3390/en13164098>

Román, S., Libra, J., Berge, N., Sabio, E., Ro, K., Li, L., Ledesma, B., Álvarez, A., Bae, S. (2018) Hydrothermal Carbonization: Modeling, Final Properties Design and Applications: A Review. *Energies* 2018, 11(1), 216; <https://doi.org/10.3390/en11010216>

Sandra, C. A., Nor Azreen M.J., Jabbar S, Sakyat, S., Gomes, C. (2017). Aerobic and Anaerobic Sewage Biodegradable Processes: The Gap Analysis. *International Journal of Research in Environmental Science*, Volume 3, Issue 3 2017, PP 9-19.

Schnürer, A og Jarvis, Å. (2018). *Micorbiology of the Biogas Process*. ISBN 978-91-576-9546-8

Sperling, M. v., Verbyla, M. & Oakley, S. (2017). Anaerobic Sludge Blanket Reactors. In: J.B Rose and B. Jimenez-Cisneros (eds) *Global Water Pathogens Project*. <https://www.waterpathogens.org/book/anaerobic-sludge-blanket-reactors>

SSB (2020). KOSTRA nøkkeltall, klima og energi for Skiptvet. <https://www.ssb.no/kommunefakta/kostra/skiptvet/klima-og-energi>

Suez (2021). Presentasjon fra Dehydris™ Ultra webinar 3. og 4. juni 2020

Tysk miljøbyrå (2018) Avløpsslam disponering i Tyskland (Sewage sludge disposal in the Federal Republic of Germany). German Environment Agency. Roskosch, A.; Heidecke, P., Rapport. ISSN (online) 2363-832X. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/190116_uba_fb_klaerschlam_engl_bf.pdf

Viken Fylkeskommune (2018). Energistatistikker. <https://viken.no/tjenester/planlegging/analyse-statistikk-og-kart/aktuelt-statistikk-og-kart/energistatistikk-for-norske-kommuner-og-fylker.75237.aspx>

Zamanzadeh M., Heldal Hagen, L., Svensson, K., Linjordet, R., Horn, S.J. (2017). Biogas production from food waste via co-digestion and digestion effects on performance and microbial ecology. *Scientific Reports Nature*, 7: 17664.

Zeeman, G., Wiegant, W. M., Koster-Treffers, M. E., Lettinga, G. (1985). The influence of the total ammonia concentration on the thermophilic digestion of cow manure. *Agricultural Wastes* 14, 19–35.

Ødegaard, H., Rusten, B., Storhaug, R. og Paulsrud, B. (2009). Veiledning for dimensjonering av avløpsrensaneanlegg. Norsk Vann rapport 168/2009.

Øgaard, A.F. & Brod, E. (2016) Efficient phosphorus cycling in food production: Predicting phosphorus fertilization effects of sludge from chemical wastewater treatment. J. Agri. Food Chem. 64 (24): 4821-4829.

Ålund, I og van Weeghei, E. (2020): Husdyrgjødsel til biogass – gjennomgang av virkemidler for økt utnyttelse av husdyrgjødsel til biogassproduksjon. Rapport fra arbeidsgruppe 14.02.2020

6. Vedlegg

- Notat 1 Lovverk
- Notat 2 Miljø
- Notat 3 Tekniske forutsetninger