

MOVAR IKS

# PN#27 KONSEKVENSVURDERING NITROGENFJERNING – KLIMA OG ØKONOMI

ADRESSE COWI AS

Kobberslagerstredet 2

Kråkerøy

Postboks 123

1601 Fredrikstad

Norway

TLF +47 02694

WWW cowi.com

## INNHold

|     |                                                            |    |
|-----|------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Innledning                                                 | 2  |
| 2   | Konsekvenser for klima                                     | 4  |
| 2.1 | Metode, grunnlag og systemgrense                           | 4  |
| 2.2 | Resultater                                                 | 8  |
| 3   | Konsekvenser for økonomi                                   | 13 |
| 3.1 | Metode og grunnlag                                         | 13 |
| 3.2 | Resultater                                                 | 14 |
| 4   | Oppsummering                                               | 18 |
|     | BILAG 1 Grovdimensjonering alternative<br>prosessløsninger | 20 |
|     | BILAG 2 Investeringskostnader                              | 26 |

PROSJEKTNR.

A207440

DOKUMENTNR.

20-NOT-214

VERSJON

V01

UTGIVELSESDATO

15.12.2020

BESKRIVELSE

PN27 Konsekvensvurdering  
Nitrogenfjerning -  
Klima og økonomi

UTARBEIDET

ERJO

KONTROLLERT

HVKR

GODKJENDT

HVKR

## 1 Innledning

I utkast til ny utslippstillatelse fra Fylkesmannen i Oslo og Viken (FM) har følgende krav til utslipp blitt satt opp:

| Parameter         | Krav |      |        | Dato*      |
|-------------------|------|------|--------|------------|
|                   | %    | mg/l | kg/år  |            |
| Tot-P             | 93   | -    | 3322   | 01.01.2026 |
| BOF <sub>5</sub>  | 80   | 25   | 420188 | 01.01.2026 |
| KOF <sub>cr</sub> | 85   | 125  | 706549 | 01.01.2026 |
| Nitrogen          | 70   | -    | 126047 | 01.01.2028 |

\*Dato fra når kravet er gjeldende

I sin kommunikasjon med FM har MOVAR IKS (MOVAR) ikke fått signaler om at man ville få andre krav enn *Sekundærrensing* iht. forurensningsforskriftens §14.2 b), samt standardkrav til reduksjon av fosfor iht. §14.2 c). Som det kommer frem av tabellen ovenfor er kravene som er gitt i utkast til utslippstillatelse strengere enn minimumskravene i både §14.2 b) og c), samt at det i tillegg er satt krav til fjerning av nitrogen<sup>1</sup>.

Kravet til reduksjon av nitrogen er satt 2 år senere enn de øvrige kravene, noe som teoretisk kan åpne for å drifte et anlegg i 2 år uten nitrogenfjerning. Planlegging og utbygging av nye rensetrinn vil ta om lag 5 år, uavhengig av hva slags rensekrav som settes.

Et avløpsrenseanlegg er komplekse prosessanlegg med mange gjensidige avhengigheter de ulike prosesstrinnene imellom. Når nye anlegg planlegges vil man derfor i all hovedsak måtte planlegge og utforme anlegget slik at man sikrer at alle krav tilfredsstilles. I denne sammenheng vil derfor nitrogenrensing være en integrert del av dette prosessanlegget, og løsninger med/uten nitrogenfjerning vil kunne medføre svært ulike utforminger og teknologiske alternativer. Teoretisk kan man "henge på" nitrogenfjerning i senere utbygging, men det vil være svært begrensende for MOVAR ved at man ikke står fritt til å kunne velge "Best Available Technology" (BAT), som også er et krav FM stiller. For alle praktiske formål vil derfor planlegging og utbygging frem til 01.01.2026 måtte inkludere løsninger som også vil ivareta nitrogenrensing. Dvs. FM's åpning for å vente 2 år med nitrogenfjerning vil ikke ha noen effekt i hva MOVAR må bygge.

MOVAR har bedt COWI om å utrede de nye kravene med hensyn til konsekvenser for klima og økonomi. Dette notatet redegjør derfor for klimamessige og økonomiske effekter av å gå fra forskriftens standardkrav til reduksjon av organisk stoff (sekundærrensing) og fosfor, til forhøyde krav til de samme parametrene + nitrogenrensing. I det etterfølgende gjøres sammenlignende vurderinger

<sup>1</sup> Det er satt krav til "Nitrogen". Denne parameteren er ikke presis, men det er rimelig grunn til å anta at man mener Tot-N slik det er definert i forurensningsforskriftens §11 – Vedlegg 2, pkt. 2.2.

av en utbygging for sekundærrensing mot et utvalg mulige løsninger som kan benyttes for å tilfredsstille krav til fjerning av nitrogen.

## 2 Konsekvenser for klima

### 2.1 Metode, grunnlag og systemgrense

For å evaluere hvilke konsekvenser det gir for klima å innføre nitrogenfjerning er det valgt å ta utgangspunkt i Norsk Vanns regneark for beregning av klimagassutslipp<sup>2</sup>. Denne tar imidlertid ikke høyde for at man i vannbehandlingen kan ha ulike prosessløsninger som kan påvirke klimagassutslippene. Det er derfor gjort enkelte tilpasninger hvor konstanter og utslippsfaktorer også fra Svenskt Vatten Utveckling (SVU)<sup>3</sup> og Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)<sup>4</sup> er benyttet. Tilpasninger er gjort i forbindelse med utslipp av lystgass (N<sub>2</sub>O) og metan (CH<sub>4</sub>) knyttet til avløpsbehandling, samt metanutslipp fra faking. Disse faktorene er benyttet for disse utslippene:

| <b><u>Faktor</u></b>                  | <b><u>Konstant</u></b> | <b><u>Enhet</u></b>                             |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|
| CH <sub>4</sub> fra avløpsbehandling  | 0,0025                 | kg CH <sub>4</sub> pr. kg KOF <sub>innløp</sub> |
| N <sub>2</sub> O fra avløpsbehandling | 1,0                    | % av denitrifisert N                            |
| CH <sub>4</sub> fra faking            | 0,5                    | % av produsert biogass                          |

Norsk Vanns regneark hadde også en innebygget feil i beregning av nedbrytning av organisk stoff i råtnetanker, hvor det var forutsatt kun 27 % nedbrytning av flyktig tørrstoff (FTS). Dette er for lavt, og i våre beregninger i dette dokumentet er det forutsatt 65 % nedbrytning av FTS. Videre, forutsatte regnearket 70 % FTS av TS, som også er relativt lavt for biologisk/kjemisk slam. Siden noen av prosessene er med og noen uten bio-P vil det være forskjell i forventet FTS (pga. andel kjemisk slam). Det er derfor forutsatt 75 % FTS av TS for slam fra anlegg med "normal" kjemisk felling og 80 % FTS av TS for slam fra anlegg med bio-P.

I tillegg er det tidligere ikke vært vanlig å inkludere gevinst av å produsere biogass. På et avløpsreanseanlegg isolert sett, hvor det inngår produksjon av biogass er det naturlig at systemgrensen settes slik at produsert biogass også inngår i klimaregnskapet. Siden nitrogenfjerning påvirker biogassproduksjonen anses det som helt nødvendig å inkludere dette i denne evalueringen. Den mest klimavennlige utnyttelsen av biogass er å oppgradere dette til drivstoffkvalitet. Dette ligger således til grunn, hvor 1 kWh oppgradert biogass (>98 % metan, CH<sub>4</sub>) = 1 kWh diesel. Energi knyttet til oppvarming av bygninger, VVS og belysning forutsettes dermed i sin helhet å være basert på elektrisk energi.

<sup>2</sup> Norsk Vann rapport nr. 251/2019 – *Klimagassutslipp, veiledning for vannbransjen.*

<sup>3</sup> Svenskt Vatten Utveckling rapport nr. 2014-02 – *Klimatpåverkan från avloppsreningsverk.*

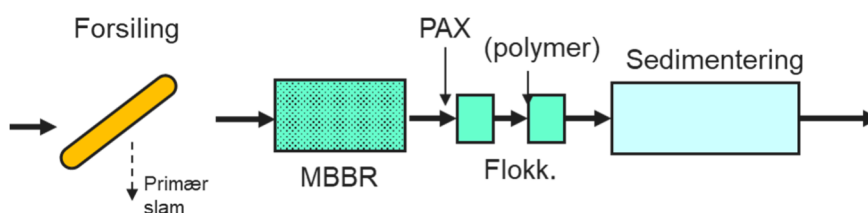
<sup>4</sup> IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006 - *Chapter 6: Wastewater Treatment and Discharge.*

For beregning av biogassproduksjon er det tatt utgangspunkt i Norsk Vanns dimensjoneringsveileder<sup>5</sup>, hvor det er oppgitt at forventet metanutbytte for mekanisk/biologisk/kjemisk slam kan variere fra 280-320 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / tonn FTS<sub>inn</sub>. Det er videre også slik at ved lengre slamalder i vannbehandlingen vil mindre organisk stoff bli nedbrutt i råtnetanken. For disse beregningene er det forutsatt at 320 Nm<sup>3</sup> / tonn FTS representerer 1 døgns slamalder (som kan sies å representere sekundærrensingsalternativet), og 280 Nm<sup>3</sup> / tonn FTS representerer 20 døgns slamalder (N-fjerningsalternativene har fra 7 til 15,5 døgns slamalder).

Utslippsfaktorer benyttet i beregningene er:

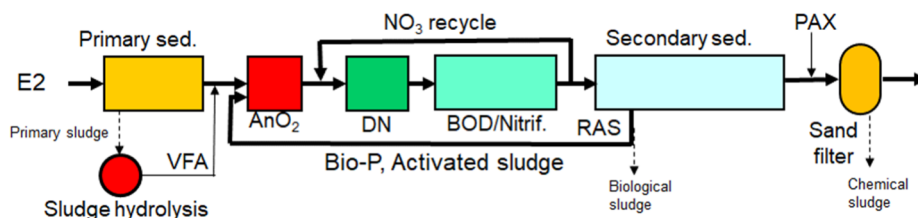
| <b>Stoff</b>                | <b>Verdi</b> | <b>Enhet</b>                                 |
|-----------------------------|--------------|----------------------------------------------|
| Metan (CH <sub>4</sub> )    | 25           | kg CO <sub>2</sub> ekv / kg CH <sub>4</sub>  |
| Lystgass (N <sub>2</sub> O) | 298          | kg CO <sub>2</sub> ekv / kg N <sub>2</sub> O |
| Diesel                      | 2,66         | kg CO <sub>2</sub> ekv / liter diesel        |

For *sekundærrensing* er det tatt utgangspunkt i en løsning basert på forsiling - Moving Bed Bio Reactor (MBBR) og sluttseparasjon i eksisterende sedimenteringsbassenger, illustrert ved figur 1.



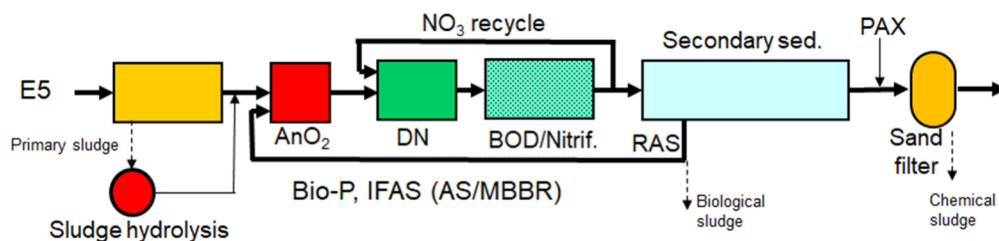
Figur 1. Prosessoppbygging for sekundærrensing.

For *nitrogenrensing* er det evaluert 4 løsninger hvor to av dem også inkluderer biologisk fosforfjerning (bio-P) for å illustrere klimaeffekten av redusert kjemikalieforbruk. Ut over anlegg med bio-P er det også sett nærmere på to arealgjerrige løsninger, basert på MBBR teknologi og membran bio reaktor (MBR). De ulike alternativene for løsninger med nitrogenrensing er illustrert i figurene 2 – 5 nedenfor.

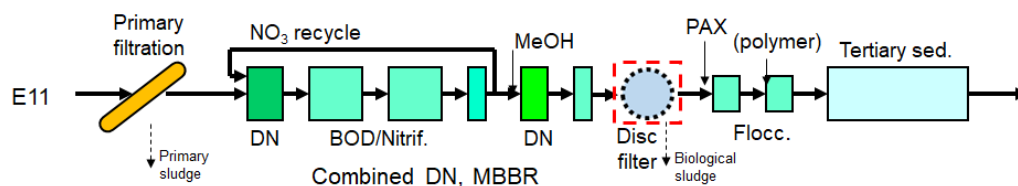


Figur 2. Prosessoppbygging for nitrogen- og fosforfjerning med en aktivslamprosess (heretter benevnt "Bio-P AS").

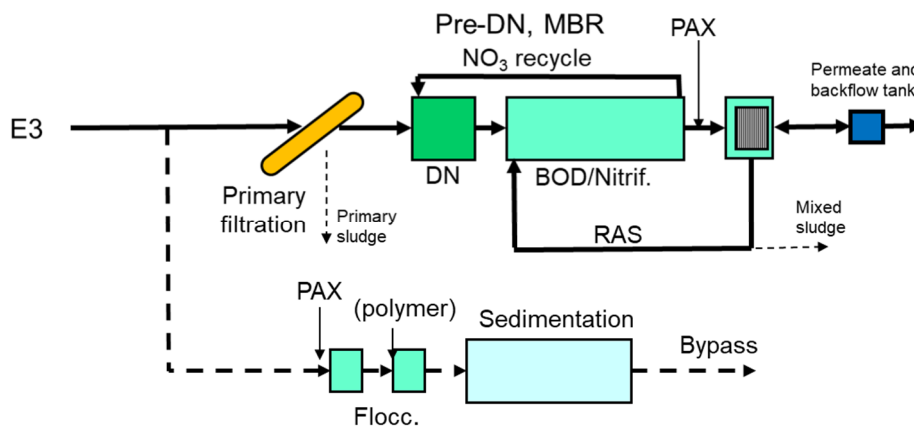
<sup>5</sup> Norsk Vann rapport nr. 256/2020 – Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg.



Figur 3. Prosessoppbygging for nitrogen- og fosforfjerning med en IFAS-prosess (heretter benevnt "Bio-P IFAS").



Figur 4. Prosessoppbygging for nitrogen- og fosforfjerning med en MBBR-prosess.



Figur 5. Prosessoppbygging for nitrogen- og fosforfjerning med en MBR-prosess.

Alle nitrogenfjerningsalternativene forutsetter også bruk av eksisterende sedimenteringsbassenger, hvor de for Bio-P AS og Bio-P IFAS alternativene blir brukt for forsedimentering. For MBBR alternativet kan de benyttes som sluttseparasjon, mens for MBR alternativet vil de kunne benyttes som regnvannrensning ved høye vannføringer.

Alle biologiske renses-trinn, forsiling og øvrige separasjon/poleringstrinn som ikke er nevnt ovenfor forutsettes bygd nytt. Dette inkluderer også sluttseparasjon i sedimenteringsbasseng for Bio-P AS og Bio-P IFAS alternativene, som må være dypere enn dagens sedimenteringsbassenger.

Norsk Vanns regneark inkluderer ikke klimaregnskap for bygging av anlegg. Klimagassberegningene på dette stadiet er grove estimater og kun materialer/prosesser som erfaringsmessig har størst påvirkning på klimagassutslipp ved etablering av nybygg er beregnet i detalj. Som en forenkling er det forutsatt at de materialer/aktiviteter som er definert i tabell 1 nedenfor utgjør ca. 80 % klimagassutslippene. Mindre betydningsfulle materialer/aktiviteter er dermed antatt å ha et samlet utslipp tilsvarende ca. 20 %, og legges overslagsmessig til for å få totale klimagassutslipp ved å multiplisere de detaljert beregnede utslippene med en faktor på 1,2.

Det er også gjort en forenkling knyttet til rehabilitering av eksisterende bygningsmasse. Her vil innslag av betong, stål og gravearbeider være nesten neglisjerbart. Det er derfor benyttet en flat utslippsfaktor på 250 kg CO<sub>2</sub> ekv. per m<sup>2</sup> rehabilitert areal.

Da et renseanlegg har spesielle krav til utforming og ingen referansebygg inkluderer disse kravene, anses det som lite hensiktsmessig å etablere et generelt referansebygg basert på gjeldene verdier i OneClick LCA (LCA-verktøy som normalt brukes ved slike analyser). En manuell metode med erfaringstall på mengder fra tidligere utbygde renseanlegg ble dermed benyttet sammen med utslippsfaktorer fra OneClick LCA og VegLCA (Statens Vegvesens LCA-verktøy), se Tabell 1.

Tabell 1: Kilder til utslippsfaktorer.

| Type                     | Kilde        | Navn/lokasjon                                                                                                                                             |
|--------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ferdigbetong             | OneClick LCA | Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C40/50 (5800/7300 PSI), 40% recycled binders in cement (400 kg/m <sup>3</sup> / 24.97 lbs/ft <sup>3</sup> ) |
| Armering                 | OneClick LCA | Reinforcement steel (rebar), generic, 60% recycled content                                                                                                |
| Spunt                    | VegLCA       | Post 44.52                                                                                                                                                |
| Graving                  | VegLCA       | Post 44.53                                                                                                                                                |
| Isolasjon/sandwich panel | OneClick LCA | Steel faced, fire proof, sandwich panels with stone wool core, 28 kg/m <sup>2</sup> , 200mm, AST S/AST S+ (Paroc)                                         |
| Vinduer                  | OneClick LCA | Façade glazing element (curtain wall) with aluminium profiles, with triple layer glass, 43.6 kg/m <sup>2</sup> , Fasad, REDUXA (Hansen, 2020)             |
| Stål                     | OneClick LCA | Structural steel profiles, generic, 60% recycled content, I, H, U, L, and T sections                                                                      |
| Transport masser         | VegLCA       | Post 25.5                                                                                                                                                 |

I klimagassberegningene for bygging av anlegget er kun utslipp fra modulene A1-A3 inkludert. Det vil si utslipp knyttet til råmaterialer, transport til fabrikk og produksjon av materialet/produktet. Transport fra fabrikk til byggeplass,

transport under drift, materialutskiftning, vedlikehold og evt. gjenvinning er ikke inkludert i beregningene.

Videre er utslipp fra byggeplass (A5) inkludert analysen, og omfatter energiforbruk, drivstofforbruk og avfallsgenerering fra en gjennomsnittlig byggeplass i Norden i forhold til areal utbygd. Her er det antatt at det brukes fossilt drivstoff til anleggsmaskiner og transport. Bortkjøring av overskuddsmasser fra utgraving er også inkludert, hvor det er antatt 15 km for transport av overskuddsmasser med flatt terreng, dvs. gjennomsnittlig under 5% helning (standard antagelse).

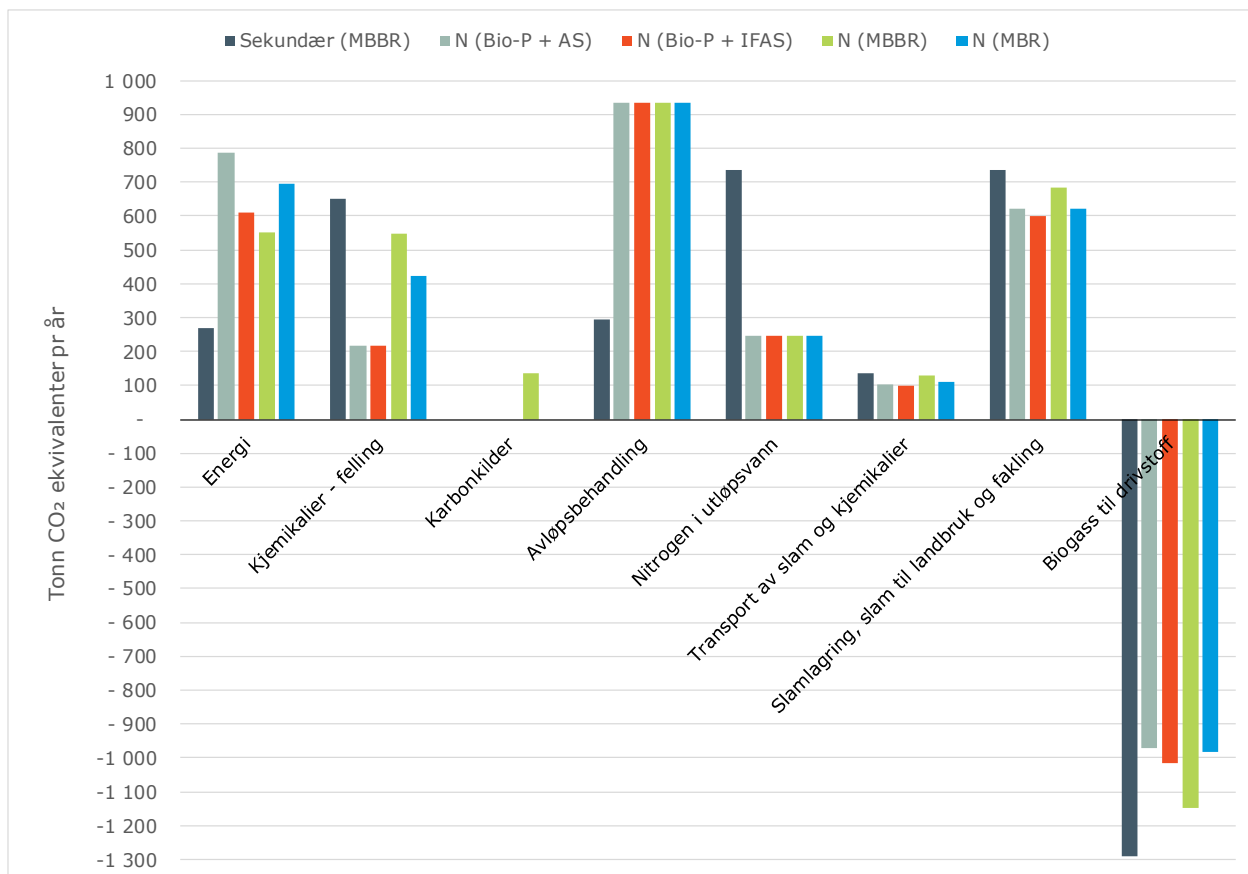
## 2.2 Resultater

De ulike prosessløsningene beskrevet ovenfor er grovdesignet mht. volum- og arealbehov, samt behov for elektrisk energi, kjemikaliebehov og slamproduksjon (m/tilhørende biogassproduksjon). Dette regnes som grunnlagsdata for klimaberegningene, samt kostnadsberegninger i kap. 3, og er vist i tabeller i bilag 1 til dette prosjektnotatet.

Det er valgt å dele resultatene for utslipp av klimagasser (som tonn CO<sub>2</sub> ekvivalenter pr. år) knyttet til drift av anlegget inn i følgende kategorier:

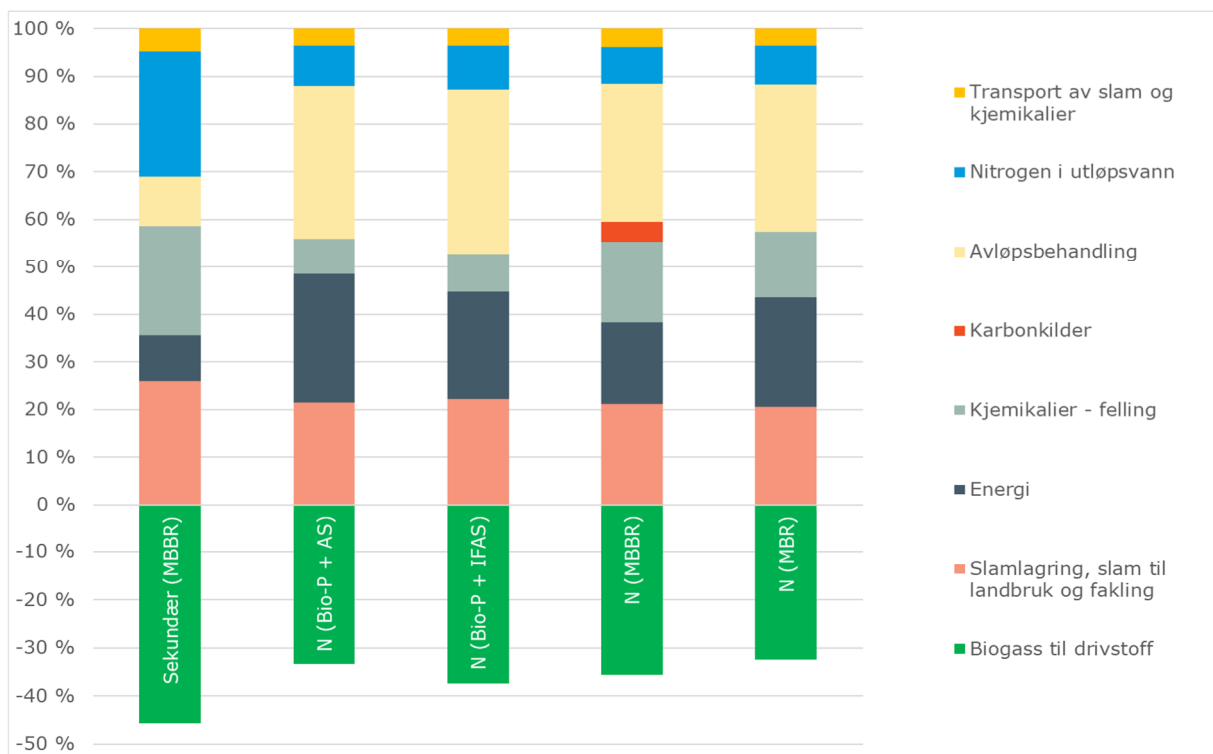
- > Energi
- > Kjemikalier - felling
- > Karbonkilder
- > Avløpsbehandling
- > Nitrogen i utløpsvann
- > Transport av slam og kjemikalier
- > Slamlagring, slam til landbruk og faking
- > Biogass til drivstoff

Resultatene for utslipp av klimagasser for hver alternativ prosessløsning er vist i figur 6.



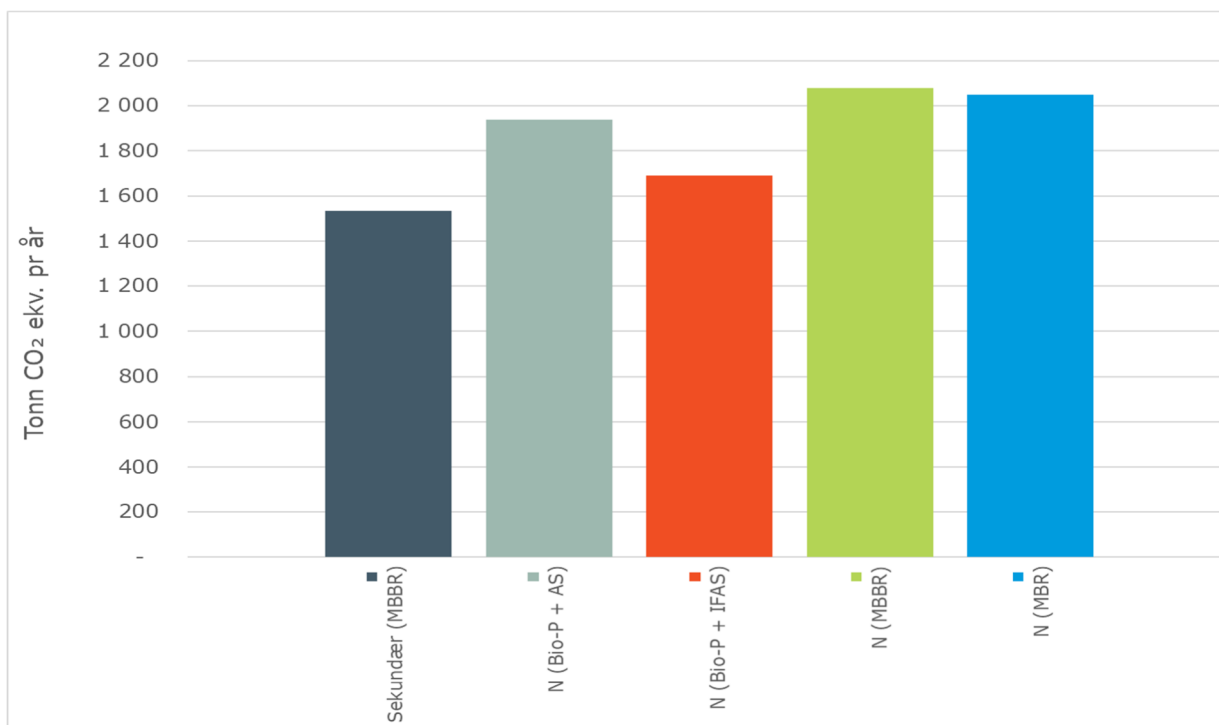
Figur 6. Kategoriserte utslipp av klimagasser for ulike prosessløsninger.

Prosentvis utslipp pr kategori for de ulike prosessløsningene er vist i figur 7.



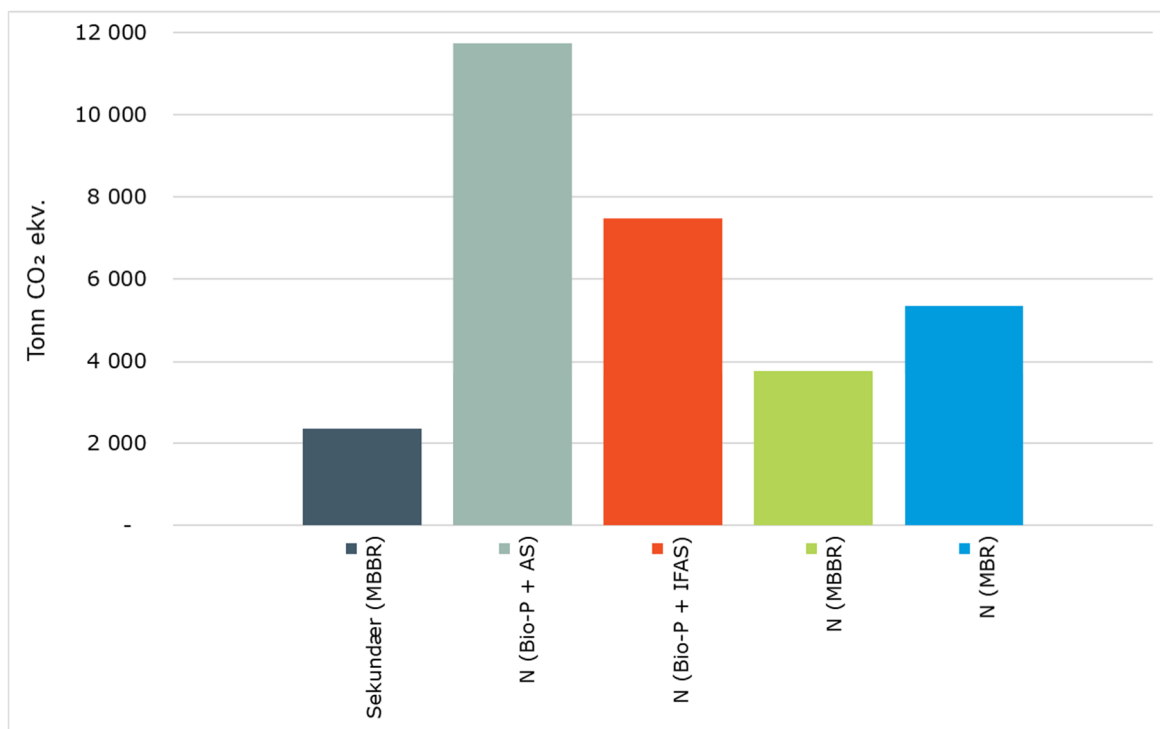
Figur 7. Prosentvis utslipp pr kategori for de ulike prosessløsningene.

Totale utslipp av klimagasser knyttet til drift av de ulike prosessløsningene er vist i figur 8 (gevinst fra biogassproduksjon er trukket fra).



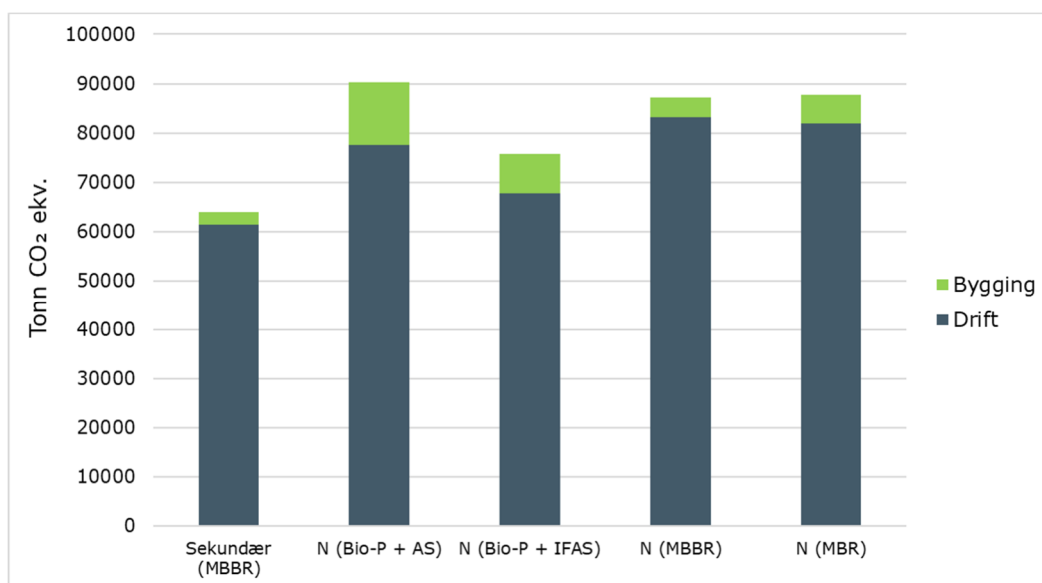
Figur 8. Totale utslipp av klimagasser for drift av ulike prosessløsninger.

Klimagassutslipp knyttet til bygging av de ulike prosessløsningene er sterkt knyttet til det arealet som skal bygges ut, og er vist i figur 9.



Figur 9. Klimagassutslipp ved bygging av anlegg med ulike prosessløsninger.

Dersom man forutsetter at det nye anlegget har 40 års levetid antyder figur 8 og 9 at klimautslippene forbundet med drift av anlegget blir helt dominerende. Dette er vist i figur 10.



Figur 10. Klimagassutslipp i anleggets levetid ved ulike prosessløsninger.

Resultatene ovenfor viser at bygging av nitrogenrensing vil føre til økte utslipp av klimagasser. Dette gjelder både ved etablering av anlegget (bygging) og ved drift av anlegget.

Når det gjelder etablering av anlegget knyttes dette i første omgang til at det ganske enkelt blir betydelig større tilbygg som skal bygges, noe som medfører mer betong, stål, gravearbeider, osv.

Den største bidragsyteren mht. klimagassutslipp er utslipp av lystgass fra avløpsrensingen, hvor nitrogenfjerningsalternativene må forventes å ha betydelige utslipp sammenlignet med sekundærrensning. Lystgassutslipp fra avløpsrensingen utgjør om lag 2/3 av klimagassutslippene fra avløpsrensingen i nitrogenfjerningsalternativene. På den annen side slipper sekundærrensning ut betydelig mye mer nitrogen i resipienten, med tilhørende lystgassutslipp der.

En annen utslippsfaktor knyttet til drift av anlegget med betydelig forskjell mellom sekundærrensing og nitrogenfjerning er *energiforbruket*. Dette har igjen sammenheng med at luftbassengene for nitrogenfjerning er mange ganger større enn for sekundærrensing, hvor det går med 2 til 3 ganger så mye blåseluft for nitrogenfjerningsalternativene. I tillegg krever nitrogenfjerningsalternativene at det pumpes vannmengder typisk i størrelsesorden  $1,5 - 5 \times Q_{dim}$  for å resirkulere aktivslam/Bio-P slam og nitrat, noe som også bidrar til et ikke ubetydelig høyere energiforbruk. Videre; oppvarming, ventilasjon og belysning av bygningene utgjør 30 - 50 % av det totale energiforbruket, hvor størrelsen på bygningen også naturlig påvirker forbruket betydelig.

Av nitrogenfjerningsalternativene er det tilsynelatende Bio-P IFAS alternativet som kommer best ut når det gjelder klimagassutslipp knyttet til drift av

anleggene. Dette kan i stor grad tilskrives redusert kjemikaliebehov, samt moderat energibehov. Redusert energibehov skyldes lavere arealbehov sammenlignet med aktivslamanlegget (Bio-P AS), og at det medgår mye energi til å holde membranene rene om man sammenligner med MBR alternativet. At MBBR alternativet har lavest energiforbruk av alle nitrogenfjerningsalternativene skyldes at dette anlegget har klart minst areal og luftevolum (til tross for at mer energi må drives inn for å holde bæreelementene i bevegelse).

Faktorer som taler i disfavør av MBBR for nitrogenfjerning er høyt kjemikalieforbruk for felling, samt at man må bruke ekstern karbonkilde til etterdenitrifiseringen.

På "inntjeningssiden" vil de høyest belastede anleggene, dvs. sekundærrensning (1 døgn slamalder) og nitrogenfjerning med MBBR (7 døgn slamalder) ha størst biogassproduksjon, og dermed også høyest fratrekk mht. klimagassutslipp. På negativ side vil det bli mer utslipp knyttet til transport av slam og slamlagring/slam til landbruk som følge av de lave slamaldrene.

### 3 Konsekvenser for økonomi

#### 3.1 Metode og grunnlag

Det er beregnet både driftskostnader, investeringskostnader og årskostnader for de ulike prosessløsningene diskutert i kap. 2.

Driftskostnader er delt inn i følgende elementer, med tilhørende enhetspriser:

| <b><u>Kostnadselement</u></b> | <b><u>Enhetspris</u></b> | <b><u>Enhet</u></b>    |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Strøm (elektrisk energi)      | 1,00                     | NOK / kWh              |
| Bemanning                     | 800 000                  | NOK / årsverk          |
| Kjemikalie - PAX              | 2 500                    | NOK / tonn             |
| Kjemikalie - Polymer          | 35 000                   | NOK / tonn             |
| Kjemikalie - Metanol          | 5 000                    | NOK / tonn             |
| Vedlikehold                   | 1,0                      | % av entreprisekostnad |

Investeringskostnader er beregnet etter faginnndeling; bygg, prosess/maskin, el/auto og VVS. Kostnader knyttet til prosess/maskin har tatt utgangspunkt i priser fra tilsvarende prosjekter, mens de øvrige fagene er basert på sjablonverdier. Sjablonverdier benyttet for øvrige fag og kostnadselementer er som følger:

| <b><u>Kostnadselement</u></b> | <b><u>Sjablonpris</u></b> | <b><u>Sjablon</u></b>                   |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| Bygg (nybygg)                 | 60 000                    | NOK / m <sup>2</sup> grunnflate         |
| Bygg (rehab. eksist. bygg)    | 20 000                    | NOK / m <sup>2</sup> rehabilitert flate |
| El/auto                       | 35                        | % av prosess/maskinkostnad              |
| VVS                           | 15                        | % av byggkostnad                        |
| Rigg                          | 12                        | % av entreprisekostnad                  |
| Byggherrens adm. kostnader    | 8 / 5                     | % av entreprisekostnad                  |
| Prosjektering                 | 12                        | % av entreprisekostnad                  |
| Uforutsett/usikkerhet         | 35                        | % av basiskalkyle                       |

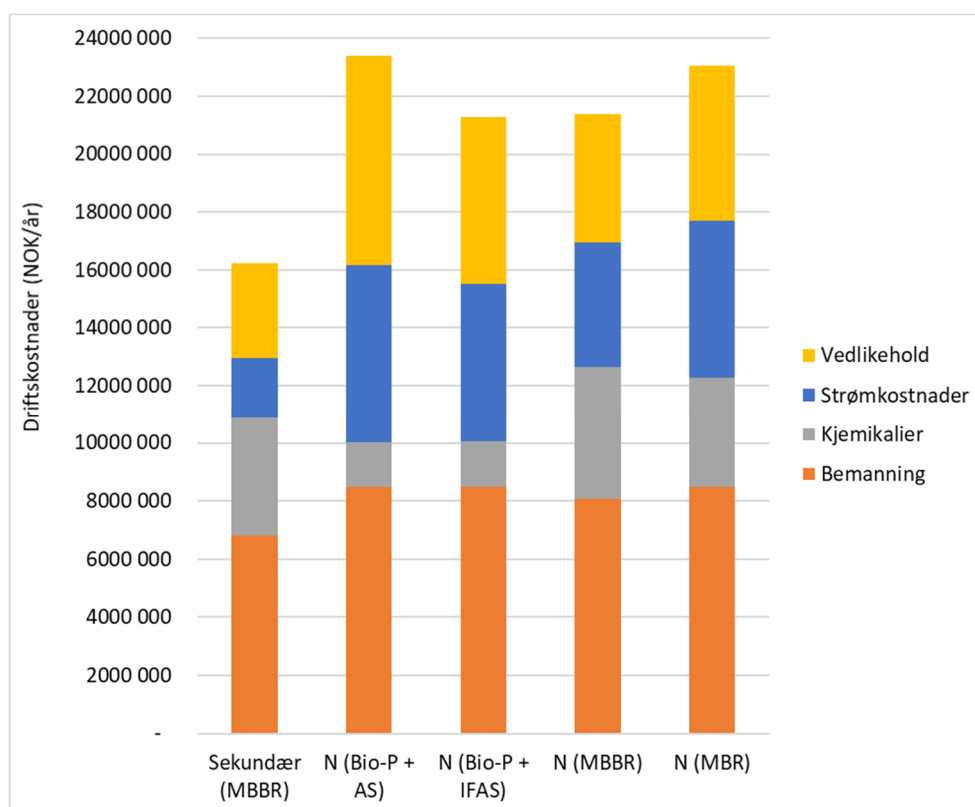
Byggherrens administrasjonskostnader inkluderer prosjektledelse, byggeledelse, finansiering i byggeperioden, rådgivers oppfølging i byggeperioden, KU-rollen, osv., og er estimert til 8 % for sekundærrensalternativet og 5 % for nitrogenfjerningsalternativene.

Med hensyn til prosjektering er det satt 12 %, noe som er tenkt å representere detaljprosjekteringen av løsningsalternativene. For å ta høyde for uforutsett og usikkerhet er det også lagt til ytterligere 35 % på basiskalkylen for å simulere en P85 verdi i en usikkerhetsanalyse.

For beregning av årskostnader er det forutsatt 40 års levetid som et gjennomsnitt, og 3 % rente.

## 3.2 Resultater

Estimerte driftskostnader for de ulike løsningsalternativene er vist i figur 11. Figuren viser at årskostnadene øker fra sekundærrensing på ca. 16 mill NOK til et sted mellom 21 og 23 mill NOK ved nitrogenfjerning. Det er en økning på ca. 30 til 40 %. Det er hovedsakelig strøm- og vedlikeholdskostnader som bidrar til økningen, men det vil også være et økt bemanningsbehov når det blir nitrogenfjerning.

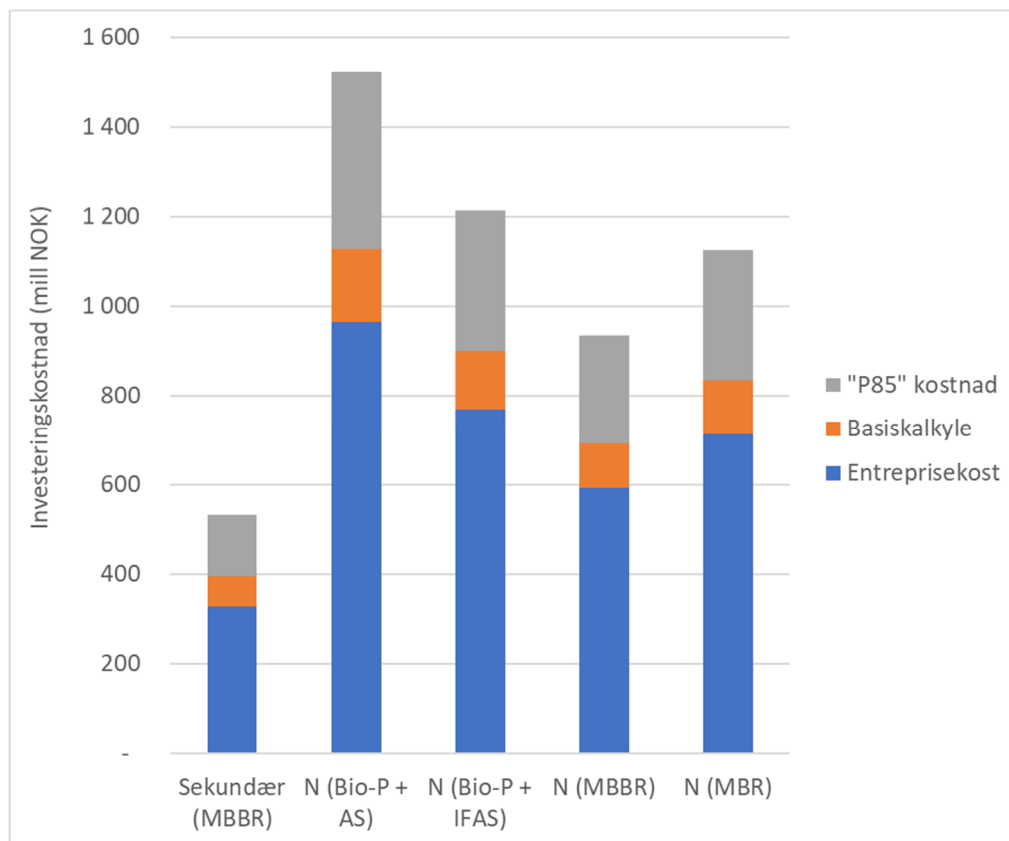


Figur 11. Driftskostnader for ulike prosessløsninger.

Estimerte investeringskostnader er vist i tabell 2 og figur 12. En detaljert oppdeling av investeringskostnader finnes i bilag 2. I tabell 2 er det vist først entreprisekostnad som er oppsummering av entreprisene, inkl. rigg. Basiskalkylen inkluderer og byggherrens administrasjonskostnader og prosjekteringskostnader, mens "P85" kostnad er forenklet tatt frem ved på legg til 35 % på basiskalkylen for å simulere resultatet i en usikkerhetsanalyse.

Tabell 2. Estimerte investeringskostnader for ulike alternativer

| Rensesprosess                   | Entreprisekost | Basiskalkyle  | "P85" kostnad |
|---------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Sekundærrensing                 | 328 249 600    | 393 899 520   | 531 764 352   |
| N-fjerning alt 1 (bio-P + AS)   | 963 592 000    | 1 127 402 640 | 1 521 993 564 |
| N-fjerning alt 2 (bio-P + IFAS) | 768 712 000    | 899 393 040   | 1 214 180 604 |
| N-fjerning alt 3 (MBBR)         | 591 203 200    | 691 707 744   | 933 805 454   |
| N-fjerning alt 4 (MBR)          | 712 902 400    | 834 095 808   | 1 126 029 341 |

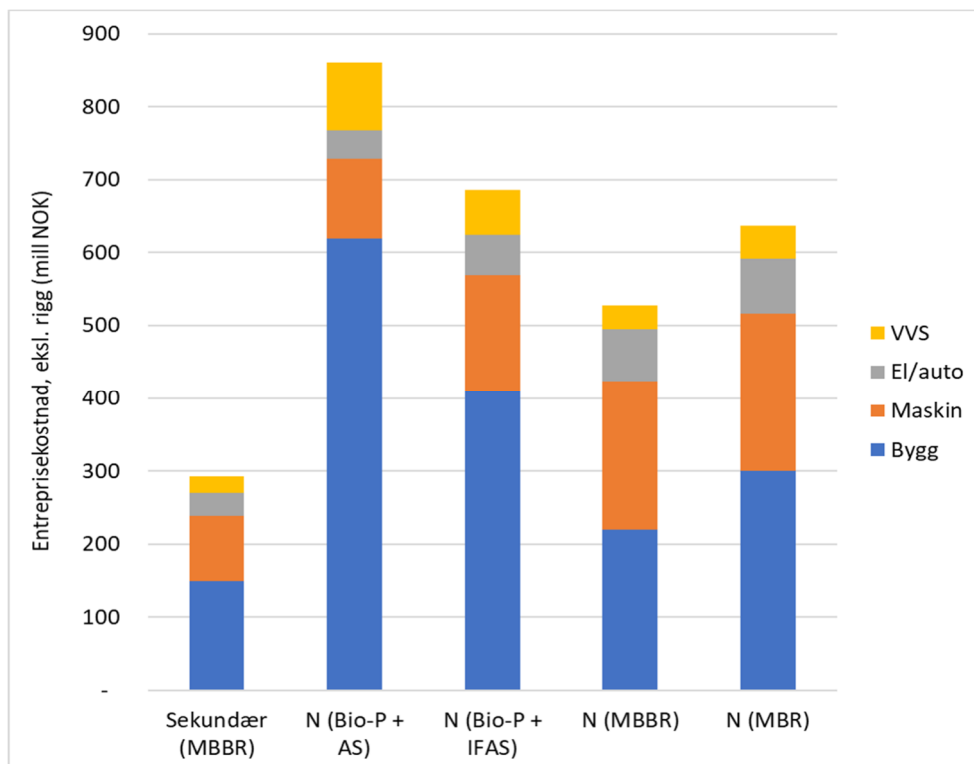


Figur 12. Estimerte investeringskostnader for ulike prosessalternativer.

Som tabell 2 og figur 12 viser skyter investeringskostnadene i været som følge av innføring av nitrogenrensekravet. Dersom man vurderer basiskalkylen som mest sannsynlig kostnad økes investeringsbehovet fra ca. 400 mill NOK ved sekundærrensing til et sted mellom ca. 700 og 1100 mill NOK for nitrogenfjerning, noe som representerer en økning på 75 til 175 %.

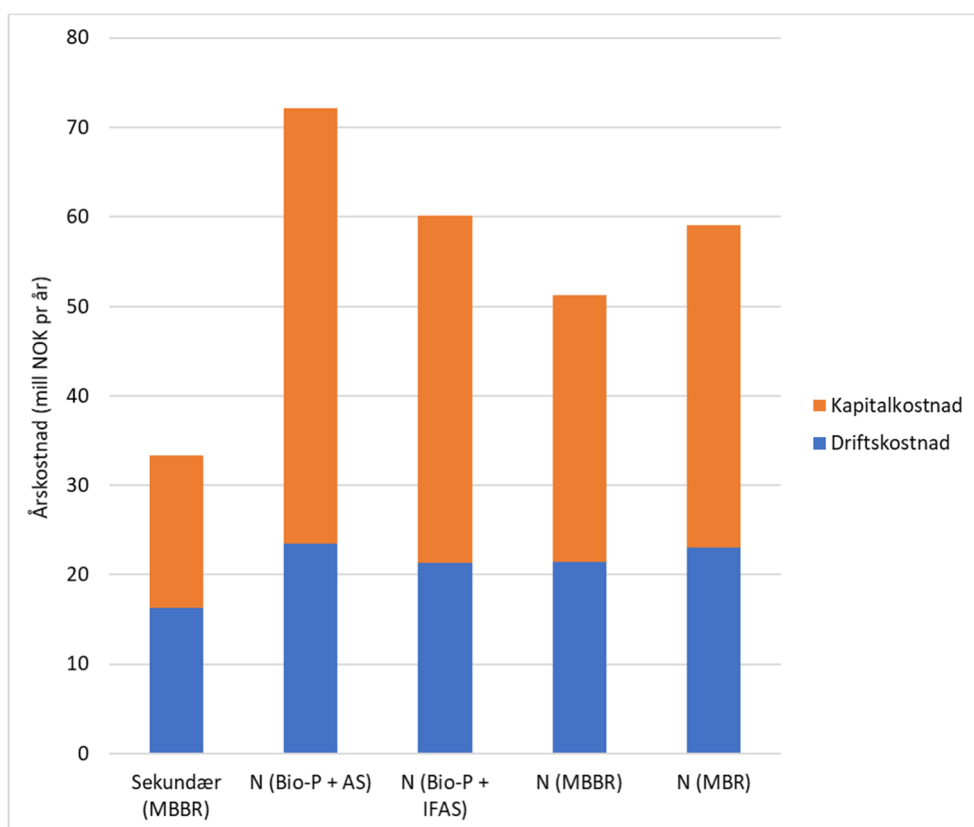
I figur 13 er det angitt entreprisestnad (eksklusiv riggposten) for de ulike anleggsdeler. Stolpediagrammet viser at det for anleggene basert på biologisk fosforfjerning og aktivslam/IFAS er en større andel av investeringskostnadene knyttet til bygningsmessige kostnader. Dette er naturlig da det for disse alternativene er bassengene for biologisk nedbrytning (nitrifisering/denitrifisering) langt større enn i de andre alternativene. I tillegg må disse løsningene ha nye sedimenteringsbassenger, i tillegg til eksisterende.

For MBBR (både sekundærrensing og nitrogenfjerning) og MBR alternativene kan man se at maskinandelen er langt høyere enn de andre. Dette skyldes i stor grad kostnad for biofilmbærere i MBBR alternativene og kostnad for membranene i MBR alternativet.



Figur 13. Entreprenørkostnad (eks. rigg) for ulike prosessløsninger inndelt etter anleggsdel.

Estimerte årskostnader er vist i figur 14. For dette estimatet er kapitalkostnader basert på basiskalkylen (jfr. tabell 2 og figur 12).



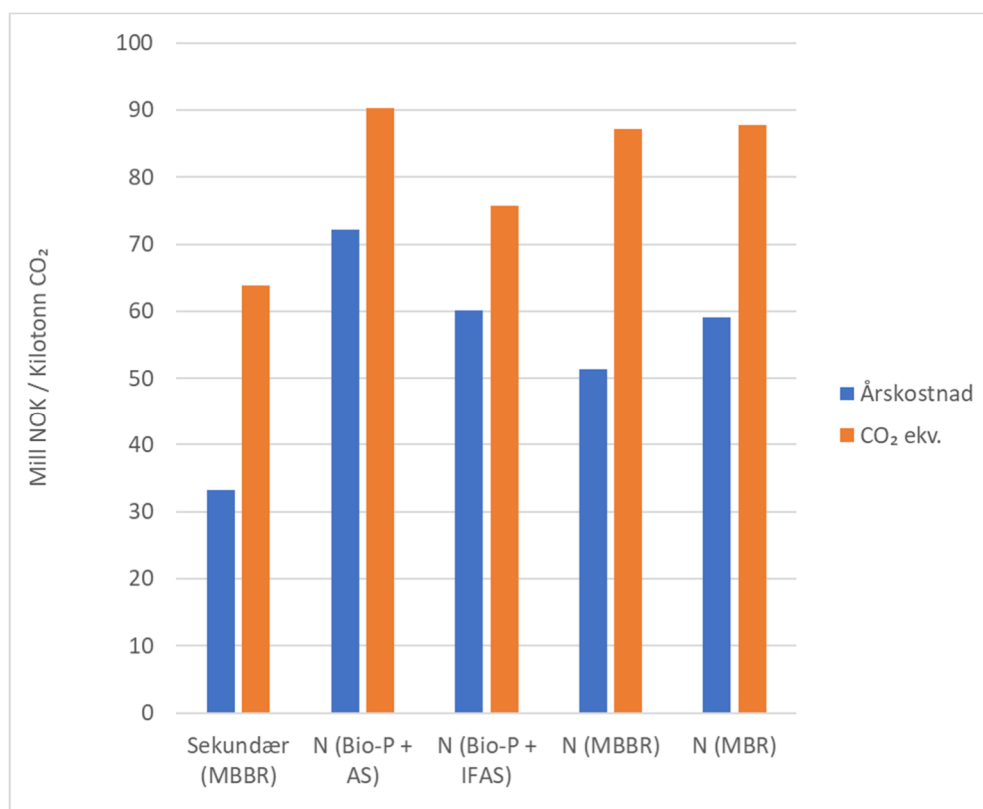
Figur 14. Estimerte årskostnader for ulike prosessløsninger.

Årskostnadene viser naturlig nok samme mønster hvor nitrogenfjerning har et generelt høyere nivå enn sekundærrensing, hvor sekundærrensing ligger i overkant av 30 mill NOK pr år, mens nitrogenfjerningsalternativet ligger i størrelsesorden 50 – 70 mill NOK pr. år. Dette gir en økning i årskostnader på ca. 70 til 130 % ved innføring av krav til nitrogenfjerning.

Av nitrogenfjerningsalternativene er det løsningen basert på MBBR som kommer best ut i denne kostnadssammenstillingen. Det skyldes i det aller vesentligste at denne løsningen har det klart minste arealbehovet av disse løsningene.

## 4 Oppsummering

Det er betydelige effekter for MOVAR som konsekvens av nitrogenfjerning. Dette gjelder både med hensyn til utslipp av klimagasser og økonomi. I figur 15 er både utslipp av klimagasser og årskostnader for de evaluerte prosessløsningene vist.



Figur 15. Sammenstilling av årskostnad i mill. NOK og CO<sub>2</sub> ekvivalenter i kilotonn (1000-tonn) for ulike prosessløsninger.

I denne sammenstillingen kommer aktivslamalternativet (Bio-P AS) dårligst ut for både klima og økonomi. Det er derfor lite trolig at denne løsningen vil vurderes som bærekraftig når MOVAR skal velge prosessløsning, dersom nitrogenfjerningskravet opprettholdes.

De andre nitrogenfjerningsalternativene er det vanskeligere å skille. Her er MBBR alternativet klart mest attraktivt mht. økonomi, men både det alternativet og MBR løsningen har ikke ubetydelig høyere klimagassutslipp enn IFAS alternativet. Det siste skyldes i hovedsak potensiell besparelse mht. kjemikalieforbruk, hvor IFAS-løsningen kan forventes å ha betydelig lavere forbruk siden man benytter biologisk fosforfjerning.

Det er viktig å understreke at disse vurderingene ikke er fremstilt med tanke på at MOVAR skal foreta valg av løsning, da også ytterligere aspekter skal medtas i en slik evaluering. Imidlertid, et prosessalternativ som peker seg ut i negativ retning og som kan vurderes å ta bort fra senere evalueringer er muligens løsninger basert på aktivslam (Bio-P AS). Dersom man ser bort i fra denne prosessløsningen vil dermed årskostnadene øke fra ca. 30 mill NOK for

sekundærrensing til 52 – 60 mill NOK med nitrogenfjerning, eller en prosentvis økning på 70 til 100 %.

Klimagassutslippene vil tilsvarende øke fra ca. 64 000 tonn CO<sub>2</sub> med sekundærrensing til i størrelsesorden av 75 – 90 000 tonn CO<sub>2</sub> for nitrogenfjerning. Dvs. en økning på mellom ca. 10 – 25 000 tonn CO<sub>2</sub>, eller ca. 20 – 40 %, over en periode på 40 år.

## BILAG 1 Grovdimensjonering alternative prosessløsninger

Prosessløsninger for nitrogenfjerning er dimensjonert basert på dimensjonerende tilførsler vist i tabell B-1, en midlere temperatur på 12 °C og dimensjonerende minimumstemperatur på 7 °C. For en grovdimensjonering har vi valgt å beregne anleggenes dimensjoner for 70 % nitrogenfjerning og en temperatur som er 1 °C lavere enn årsmiddeltemperaturen. Tabell B-1 bygger på tidligere notat om tilførsler benyttet som underlag for søknad om utslippstillatelse, hvor man tok utgangspunkt i 90-persentil med tanke på sekundærrensing. For nitrogenfjerning har vi valgt 80-persentilen. Som forholdstall mellom 80-persentil og 90-persentil er det brukt 0,92 for KOF, 0,93 for BOF<sub>5</sub>, 0,89 for SS, 0,96 for total N og 0,94 for total P. Sekundærrensing er dimensjonert for 90 % persentilen.

Tabell B-1. Foreløpige dimensjonerende tilførsler til nye Fuglevik renseanlegg. Estimerte 80-persentil verdier for år 2056.

| Parameter                                                            | Enhet             |       |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|-------|
| Midlere vannmengde ( $Q_{\text{middel}}$ )                           | m <sup>3</sup> /d | 22416 |
| Dimensjonerende vannmengde ( $Q_{\text{dim}}$ )                      | m <sup>3</sup> /h | 1200  |
| Maksimal vannmengde gjennom alle rensetrinn ( $Q_{\text{maksdim}}$ ) | m <sup>3</sup> /h | 2400  |
| Maksimal vannmengde gjennom forbehandling ( $Q_{\text{maks}}$ )      | m <sup>3</sup> /h |       |
| <b>Midlere tilførsler:</b>                                           |                   |       |
| Total KOF (TKOF)                                                     | kg/d              | 12905 |
| Filtrert KOF (FKOF)                                                  | kg/d              | 5162  |
| Total BOF <sub>5</sub> (TBOF <sub>5</sub> )                          | kg/d              | 5756  |
| Filtrert BOF <sub>5</sub> (FBOF <sub>5</sub> )                       | kg/d              | 2878  |
| SS                                                                   | kg/d              | 7084  |
| Total N (TN)                                                         | kg/d              | 1151  |
| Total N på filtrert prøve (FTN)                                      | kg/d              | 930   |
| NH <sub>4</sub> -N                                                   | kg/d              | 823   |
| Total P (TP)                                                         | kg/d              | 145   |
| Total P på filtrert prøve (FTP)                                      | kg/d              | 90    |
| PO <sub>4</sub> -P                                                   | kg/d              | 81    |
| <b>Midlere konsentrasjoner:</b>                                      |                   |       |
| Total KOF (TKOF)                                                     | mg/l              | 576   |
| Filtrert KOF (FKOF)                                                  | mg/l              | 230   |
| Total BOF <sub>5</sub> (TBOF <sub>5</sub> )                          | mg/l              | 257   |
| Filtrert BOF <sub>5</sub> (FBOF <sub>5</sub> )                       | mg/l              | 128   |
| SS                                                                   | mg/l              | 316   |
| Total N (TN)                                                         | mg/l              | 51,4  |
| Total N på filtrert prøve (FTN)                                      | mg/l              | 41,5  |
| NH <sub>4</sub> -N                                                   | mg/l              | 36,7  |
| Total P (TP)                                                         | mg/l              | 6,5   |
| Total P på filtrert prøve (FTP)                                      | mg/l              | 4,0   |
| PO <sub>4</sub> -P                                                   | mg/l              | 3,6   |
| <b>Dimensjonerende (80-persentil) tilførsler:</b>                    |                   |       |
| Total KOF (TKOF)                                                     | kg/d              | 14515 |
| Filtrert KOF (FKOF)                                                  | kg/d              | 5806  |
| Total BOF <sub>5</sub> (TBOF <sub>5</sub> )                          | kg/d              | 7034  |
| Filtrert BOF <sub>5</sub> (FBOF <sub>5</sub> )                       | kg/d              | 3517  |
| SS                                                                   | kg/d              | 8196  |
| Total N (TN)                                                         | kg/d              | 1326  |
| Total N på filtrert prøve (FTN)                                      | kg/d              | 1071  |
| NH <sub>4</sub> -N                                                   | kg/d              | 948   |
| Total P (TP)                                                         | kg/d              | 164   |
| Total P på filtrert prøve (FTP)                                      | kg/d              | 102   |
| PO <sub>4</sub> -P                                                   | kg/d              | 92    |

Tabell B-2. Nøkkeldata for sekundærrensing med MBBR prosess.

|                                                       |                                                                   |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Primærfiltrering:</b>                              |                                                                   |
| Salsnes SFK 600 primærsiler                           | 10 stk., 22,2 m <sup>2</sup> dykket sildukareal                   |
| <b>Bioreaktorer:</b>                                  |                                                                   |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{middel}}$             | 934 m <sup>3</sup> /h                                             |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{dim}}$                | 1200 m <sup>3</sup> /h                                            |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{maksdim}}$            | 2400 m <sup>3</sup> /h                                            |
| Vandyp alle reaktorer                                 | 6,5 m                                                             |
| Diffusordyp                                           | 6,3 m                                                             |
| Biofilmbærer                                          | BWTX, 650 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>                          |
| R1 BOF-reduksjon                                      | 3 x 200 m <sup>3</sup> = 600 m <sup>3</sup> ; 63,3 % fyllingsgrad |
| R2 BOF-reduksjon                                      | 3 x 200 m <sup>3</sup> = 600 m <sup>3</sup> ; 63,3 % fyllingsgrad |
| Totalt bioreaktorvolum                                | 1200 m <sup>3</sup> vått volum                                    |
| Mengde biofilmbærere                                  | 759 m <sup>3</sup> ; 493.350 m <sup>2</sup> biofilmareal          |
| Midlere oksygenbehov                                  | 108 kg O <sub>2</sub> /h                                          |
| Dimensjonerende oksygenbehov                          | 176 kg O <sub>2</sub> /h                                          |
| Midlere luftbehov                                     | 3220 Nm <sup>3</sup> /h                                           |
| Dimensjonerende luftbehov                             | 5239 Nm <sup>3</sup> /h                                           |
| Midlere energiforbruk til lufting                     | 80 kW                                                             |
| Dimensjonerende energiforbruk til lufting             | 130 kW                                                            |
| Energiforbruk til pumping, midlere                    | 4 kW                                                              |
| Energiforbruk til pumping, dimensjonerende            | 5 kW                                                              |
| <b>Etterfelling:</b>                                  |                                                                   |
| Kjemikaliebehov, midlere                              | 3578 kg/d PAX-18                                                  |
| Kjemikaliebehov, dimensjonerende                      | 4300 kg/d PAX-18                                                  |
| Polymerbehov, midlere                                 | 4,5 kg/d                                                          |
| Polymerbehov, dimensjonerende                         | 5,8 kg/d                                                          |
| Flokkulering og sedimentering                         | Skjer i eksisterende anlegg                                       |
| <b>Dimensjonerende slamproduksjon (90-persentil):</b> |                                                                   |
| Primærslam                                            | 4605 kg TS/d                                                      |
| Biologisk + kjemisk slam                              | 7882 kg TS/d                                                      |
| Samlet slamproduksjon                                 | 12487 kg TS/d                                                     |
| <b>Midlere slamproduksjon:</b>                        |                                                                   |
| Primærslam                                            | 3542 kg TS/d                                                      |
| Biologisk + kjemisk slam                              | 6120 kg TS/d                                                      |
| Samlet slamproduksjon                                 | 9662 kg TS/d                                                      |
| <b>Estimert arealbehov:</b>                           | ca. 470 m <sup>2</sup> (inkl. primærsiling)                       |

Tabell B-3. Nøkkeldata for aktivslamprosess med biologisk fosforfjerning (Bio-P AS).

|                                                       |                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Forsedimentering m/slamhydrolyse:</b>              |                                                                                                     |
| Plasseres i eksisterende sedimenteringshall           |                                                                                                     |
| <b>Bioreaktorer:</b>                                  |                                                                                                     |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{middel}}$             | 1006 m <sup>3</sup> /h                                                                              |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{dim}}$                | 1272 m <sup>3</sup> /h                                                                              |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{maksdim}}$            | 2472 m <sup>3</sup> /h                                                                              |
| Resirkulering av nitrat                               | 1640 m <sup>3</sup> /h midlere, 2068 m <sup>3</sup> /h ved $Q_{\text{dim}}$                         |
| Vanddyb alle reaktorer                                | 6,5 m                                                                                               |
| Diffusordyp                                           | 6,3 m                                                                                               |
| Anaerobe reaktorer                                    | 3 x 1090 m <sup>3</sup> = 3270 m <sup>3</sup> vått volum                                            |
| Anoksiske reaktorer (for-denitrifisering)             | 3 x 2084 m <sup>3</sup> = 6252 m <sup>3</sup> vått volum                                            |
| Aerobe reaktorer                                      | 3 x 5358 m <sup>3</sup> = 16074 m <sup>3</sup> vått volum                                           |
| Totalt reaktorvolum                                   | 25596 m <sup>3</sup> vått volum                                                                     |
| Slamkonsentrasjon                                     | 3,0 kg SS/m <sup>3</sup>                                                                            |
| Midlere oksygenbehov                                  | 340 kg O <sub>2</sub> /h                                                                            |
| Dimensjonerende oksygenbehov                          | 481 kg O <sub>2</sub> /h                                                                            |
| Midlere luftbehov                                     | 7558 Nm <sup>3</sup> /h                                                                             |
| Dimensjonerende luftbehov                             | 10684 Nm <sup>3</sup> /h                                                                            |
| Midlere energiforbruk til lufting                     | 187 kW                                                                                              |
| Dimensjonerende energiforbruk til lufting             | 264 kW                                                                                              |
| Energiforbruk til omrøring                            | 77 kW                                                                                               |
| Energiforbruk til pumping, midlere                    | 31 kW                                                                                               |
| Energiforbruk til pumping, dimensjonerende            | 39 kW                                                                                               |
| <b>Sedimentering:</b>                                 |                                                                                                     |
| Dimensjonerende slamvolumindeks (SVI)                 | 140 ml/g SS                                                                                         |
| Areal                                                 | 3 x 758 m <sup>2</sup> = 2274 m <sup>2</sup>                                                        |
| Vanddyb                                               | 4,60 m                                                                                              |
| Returslompumping, midlere                             | 850 m <sup>3</sup> /h                                                                               |
| Returslompumping, maks                                | 2000 m <sup>3</sup> /h                                                                              |
| Energiforbruk til pumping, midlere                    | 10 kW                                                                                               |
| Energiforbruk til pumping, dimensjonerende            | 13 kW                                                                                               |
| <b>DynaSand filtre:</b>                               |                                                                                                     |
| Kjemikaliebehov, midlere                              | 1052 kg/d PAX-18                                                                                    |
| Kjemikaliebehov, dimensjonerende                      | 1330 kg/d PAX-18                                                                                    |
| Filterareal                                           | 48 x 5 m <sup>2</sup> = 240 m <sup>2</sup>                                                          |
| Produsert vaskevann                                   | 72 m <sup>3</sup> /h                                                                                |
| Dybde på filterseng                                   | 1,5 m                                                                                               |
| Luft til mammutpumpe                                  | 1,7 Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> filteroverflate (480 Nm <sup>3</sup> /h),<br>1,6 bar trykk      |
| Energiforbruk                                         | 27 kW                                                                                               |
| <b>Dimensjonerende slamproduksjon (80-persentil):</b> |                                                                                                     |
| Primærslam                                            | 4098 kg TS/d                                                                                        |
| Biologisk slam                                        | 3653 kg TS/d                                                                                        |
| Kjemisk slam                                          | 1254 kg TS/d                                                                                        |
| Samlet slamproduksjon                                 | 9005 kg TS/d                                                                                        |
| <b>Midlere slamproduksjon:</b>                        |                                                                                                     |
| Primærslam                                            | 3542 kg TS/d                                                                                        |
| Biologisk slam                                        | 2990 kg TS/d                                                                                        |
| Kjemisk slam                                          | 980 kg TS/d                                                                                         |
| Samlet slamproduksjon                                 | 7512 kg TS/d                                                                                        |
| <b>Estimert arealbehov:</b>                           | ca. 8300 m <sup>2</sup> (inkl. 550 m <sup>2</sup> til sandfilter)<br>(ca. 110 x 75 m <sup>2</sup> ) |

Tabell B-4. Nøkkeldata for IFAS-prosess med biologisk fosforfjerning (Bio-P IFAS).

|                                                       |                                                                                                |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Forsedimentering m/slamhydrolyse:</b>              |                                                                                                |
| Plasseres i eksisterende sedimenteringshall           |                                                                                                |
| <b>Bioreaktorer:</b>                                  |                                                                                                |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{middel}}$             | 1006 m <sup>3</sup> /h                                                                         |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{dim}}$                | 1272 m <sup>3</sup> /h                                                                         |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{maksdim}}$            | 2472 m <sup>3</sup> /h                                                                         |
| Resirkulering av nitrat                               | 1753 m <sup>3</sup> /h midlere, 2216 m <sup>3</sup> /h ved $Q_{\text{dim}}$                    |
| Vanndyp alle reaktorer                                | 6,5 m                                                                                          |
| Diffusordyp                                           | 6,3 m                                                                                          |
| Anaerobe reaktorer                                    | 3 x 675 m <sup>3</sup> = 2025 m <sup>3</sup> vått volum                                        |
| Anoksiske reaktorer (for-denitrifisering)             | 3 x 1346 m <sup>3</sup> = 4038 m <sup>3</sup> vått volum                                       |
| Aerobe reaktorer                                      | 3 x 1724 m <sup>3</sup> = 5172 m <sup>3</sup> vått volum                                       |
| Biofilmbærere i aerobe reaktorer (BWT-X)              | 2592 m <sup>3</sup> ; 1.684.800 m <sup>2</sup> , 50,1 % fylling                                |
| Totalt reaktorvolum                                   | 11235 m <sup>3</sup> vått volum                                                                |
| Slamkonsentrasjon, aktivslam                          | 3,0 kg SS/m <sup>3</sup>                                                                       |
| Midlere oksygenbehov                                  | 304 kg O <sub>2</sub> /h                                                                       |
| Dimensjonerende oksygenbehov                          | 450 kg O <sub>2</sub> /h                                                                       |
| Midlere luftbehov                                     | 9069 Nm <sup>3</sup> /h                                                                        |
| Dimensjonerende luftbehov                             | 13410 Nm <sup>3</sup> /h                                                                       |
| Midlere energiforbruk til lufting                     | 224 kW                                                                                         |
| Dimensjonerende energiforbruk til lufting             | 332 kW                                                                                         |
| Energiforbruk til omrøring                            | 48 kW                                                                                          |
| Energiforbruk til pumping, midlere                    | 31 kW                                                                                          |
| Energiforbruk til pumping, dimensjonerende            | 39 kW                                                                                          |
| <b>Sedimentering:</b>                                 |                                                                                                |
| Dimensjonerende slamvolumindeks (SVI)                 | 130 ml/g SS                                                                                    |
| Areal                                                 | 3 x 705 m <sup>2</sup> = 2115 m <sup>2</sup>                                                   |
| Vanndyp                                               | 4,39 m                                                                                         |
| Returslumpumping, midlere                             | 799 m <sup>3</sup> /h                                                                          |
| Returslumpumping, maks                                | 1900 m <sup>3</sup> /h                                                                         |
| Energiforbruk til pumping, midlere                    | 8 kW                                                                                           |
| Energiforbruk til pumping, dimensjonerende            | 10 kW                                                                                          |
| <b>DynaSand filtre:</b>                               |                                                                                                |
| Kjemikaliebehov, midlere                              | 1052 kg/d PAX-18                                                                               |
| Kjemikaliebehov, dimensjonerende                      | 1330 kg/d PAX-18                                                                               |
| Filterareal                                           | 48 x 5 m <sup>2</sup> = 240 m <sup>2</sup>                                                     |
| Produsert vaskevann                                   | 72 m <sup>3</sup> /h                                                                           |
| Dybde på filterseng                                   | 1,5 m                                                                                          |
| Luft til mammutpumpe                                  | 1,7 Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> filteroverflate (480 Nm <sup>3</sup> /h),<br>1,6 bar trykk |
| Energiforbruk                                         | 27 kW                                                                                          |
| <b>Dimensjonerende slamproduksjon (80-persentil):</b> |                                                                                                |
| Primærslam                                            | 4098 kg TS/d                                                                                   |
| Biologisk slam                                        | 3962 kg TS/d                                                                                   |
| Kjemisk slam                                          | 1254 kg TS/d                                                                                   |
| Samlet slamproduksjon                                 | 9314 kg TS/d                                                                                   |
| <b>Midlere slamproduksjon:</b>                        |                                                                                                |
| Primærslam                                            | 3542 kg TS/d                                                                                   |
| Biologisk slam                                        | 3265 kg TS/d                                                                                   |
| Kjemisk slam                                          | 980 kg TS/d                                                                                    |
| Samlet slamproduksjon                                 | 7787 kg TS/d                                                                                   |
| <b>Estimert arealbehov:</b>                           | ca. 4800 m <sup>2</sup> (inkl. 550 m <sup>2</sup> til sandfilter)                              |

Tabell B-5. Nøkkeldata for nitrogenfjerning med MBBR prosess.

|                                                       |                                                                             |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Primærfiltrering:</b>                              |                                                                             |
| Salsnes SFK 600 primærsiler                           | 10 stk., 22,2 m <sup>2</sup> dykket sildukareal                             |
| <b>Bioreaktorer:</b>                                  |                                                                             |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{middel}}$             | 934 m <sup>3</sup> /h                                                       |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{dim}}$                | 1200 m <sup>3</sup> /h                                                      |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{maksdim}}$            | 2400 m <sup>3</sup> /h                                                      |
| Resirkulering av nitrat                               | 1401 m <sup>3</sup> /h midlere, 1800 m <sup>3</sup> /h ved $Q_{\text{dim}}$ |
| Vanddyb alle reaktorer                                | 6,5 m                                                                       |
| Diffusordyp                                           | 6,3 m                                                                       |
| Biofilmbærer                                          | BWIX, 650 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>                                    |
| R1 For-denitrifisering                                | 3 x 751 m <sup>3</sup> = 2253 m <sup>3</sup> ; 65 % fyllingsgrad            |
| R2 BOF-reduksjon/Nitrifisering                        | 3 x 691 m <sup>3</sup> = 2073 m <sup>3</sup> ; 65 % fyllingsgrad            |
| R3 Nitrifisering                                      | 3 x 691 m <sup>3</sup> = 2073 m <sup>3</sup> ; 65 % fyllingsgrad            |
| R4 Oksygenreduksjon                                   | 3 x 93 m <sup>3</sup> = 279 m <sup>3</sup> ; 50 % fyllingsgrad              |
| R5 Etter-denitrifisering                              | 3 x 126 m <sup>3</sup> = 378 m <sup>3</sup> ; 55 % fyllingsgrad             |
| R6 Etterlufting                                       | 3 x 56 m <sup>3</sup> = 168 m <sup>3</sup> ; 50 % fyllingsgrad              |
| Totalt bioreaktorvolum                                | 7224 m <sup>3</sup> vått volum                                              |
| Mengde biofilmbærere                                  | 4591 m <sup>3</sup> ; 2.983.988 m <sup>2</sup> biofilmareal                 |
| Midlere oksygenbehov                                  | 260 kg O <sub>2</sub> /h                                                    |
| Dimensjonerende oksygenbehov                          | 394 kg O <sub>2</sub> /h                                                    |
| Midlere luftbehov                                     | 10074 Nm <sup>3</sup> /h                                                    |
| Dimensjonerende luftbehov                             | 15349 Nm <sup>3</sup> /h                                                    |
| Midlere energiforbruk til lufting                     | 249 kW                                                                      |
| Dimensjonerende energiforbruk til lufting             | 379 kW                                                                      |
| Energiforbruk til omrøring                            | 44 kW                                                                       |
| Energiforbruk til pumping, midlere                    | 15 kW                                                                       |
| Energiforbruk til pumping, dimensjonerende            | 19 kW                                                                       |
| Metanolforbruk, midlere                               | 556 kg/d                                                                    |
| Metanolforbruk, dimensjonerende                       | 641 kg/d                                                                    |
| <b>Etterfelling:</b>                                  |                                                                             |
| Kjemikaliebehov, midlere                              | 2980 kg/d PAX-18                                                            |
| Kjemikaliebehov, dimensjonerende                      | 3370 kg/d PAX-18                                                            |
| Polymerbehov, midlere                                 | 4,5 kg/d                                                                    |
| Polymerbehov, dimensjonerende                         | 5,8 kg/d                                                                    |
| Flokkulering og sedimentering                         | Skjer i eksisterende anlegg                                                 |
| <b>Dimensjonerende slamproduksjon (80-persentil):</b> |                                                                             |
| Primærslam                                            | 4098 kg TS/d                                                                |
| Biologisk + kjemisk slam                              | 6433 kg TS/d                                                                |
| Samlet slamproduksjon                                 | 10531 kg TS/d                                                               |
| <b>Midlere slamproduksjon:</b>                        |                                                                             |
| Primærslam                                            | 3542 kg TS/d                                                                |
| Biologisk + kjemisk slam                              | 5415 kg TS/d                                                                |
| Samlet slamproduksjon                                 | 8957 kg TS/d                                                                |
| <b>Estimert arealbehov:</b>                           | ca. 1650 m <sup>2</sup> (inkl. primærsiling)                                |

Tabell B-6. Nøkkeldata for en MBR-prosess med biologisk nitrogenfjerning og simultanfelling av fosfor.

|                                                             |                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Primærfiltrering:</b>                                    |                                                                                                                                                            |
| Salsnes SFK 600 primærsiler                                 | 10 stk., 22,2 m <sup>2</sup> dykket sildukareal                                                                                                            |
| <b>Bioreaktorer:</b>                                        |                                                                                                                                                            |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{middel}}$                   | 934 m <sup>3</sup> /h                                                                                                                                      |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{dim}}$                      | 1200 m <sup>3</sup> /h                                                                                                                                     |
| Innpumpet vannmengde, $Q_{\text{maksdim}}$                  | 2000 m <sup>3</sup> /h                                                                                                                                     |
| Resirkulering av nitrat ( $4 \times Q_{\text{inn}}$ )       | 3736 m <sup>3</sup> /h midlere, 4800 m <sup>3</sup> /h ved $Q_{\text{dim}}$                                                                                |
| Returslam fra membrantanker ( $2 \times Q_{\text{inn}}$ )   | 1868 m <sup>3</sup> /h midlere, 2400 m <sup>3</sup> /h ved $Q_{\text{dim}}$                                                                                |
| Vanddyb alle reaktorer                                      | 6,5 m                                                                                                                                                      |
| Diffusordyp                                                 | 6,3 m                                                                                                                                                      |
| Anoksiske reaktorer (for-denitrifisering)                   | 3 x 1433 m <sup>3</sup> = 4299 m <sup>3</sup> vått volum                                                                                                   |
| Aerobe reaktorer                                            | 3 x 2622 m <sup>3</sup> = 7866 m <sup>3</sup> vått volum                                                                                                   |
| Totalt aktivslam reaktorvolum                               | 12165 m <sup>3</sup> vått volum                                                                                                                            |
| Slamkonsentrasjon, anoksiske reaktorer                      | 6,4 kg SS/m <sup>3</sup>                                                                                                                                   |
| Slamkonsentrasjon, aerobe reaktorer                         | 8,0 kg SS/m <sup>3</sup>                                                                                                                                   |
| Midlere oksygenbehov                                        | 331 kg O <sub>2</sub> /h                                                                                                                                   |
| Dimensjonerende oksygenbehov                                | 464 kg O <sub>2</sub> /h                                                                                                                                   |
| Midlere luftbehov                                           | 7818 Nm <sup>3</sup> /h                                                                                                                                    |
| Dimensjonerende luftbehov                                   | 10968 Nm <sup>3</sup> /h                                                                                                                                   |
| Midlere energiforbruk til lufting                           | 194 kW                                                                                                                                                     |
| Dimensjonerende energiforbruk til lufting                   | 271 kW                                                                                                                                                     |
| Energiforbruk til omrøring                                  | 35 kW                                                                                                                                                      |
| Energiforbruk til pumping, midlere                          | 51 kW                                                                                                                                                      |
| Energiforbruk til pumping, dimensjonerende                  | 66 kW                                                                                                                                                      |
| <b>Fellingskjemikalier:</b>                                 |                                                                                                                                                            |
| Kjemikaliebehov, midlere                                    | 2267 kg PAX-18/d                                                                                                                                           |
| Kjemikaliebehov, dimensjonerende                            | 2564 kg PAX-18/d                                                                                                                                           |
| <b>Membrantanker:</b>                                       |                                                                                                                                                            |
| Kassetter med ZW500D                                        | 48 moduler per kassett, 1651,2 m <sup>2</sup>                                                                                                              |
| Kassetter per membrantank                                   | 8                                                                                                                                                          |
| Antall membrantanker                                        | 6                                                                                                                                                          |
| Dimensjon per kassett                                       | L x B x H = 1,745 m x 2,122 m x 2,59 m                                                                                                                     |
| Dimensjon per membrantank (vått volum)                      | L x B x H = 19,4 m x 2,8 m x 3,50 m = 190 m <sup>3</sup>                                                                                                   |
| Totalt membranareal                                         | 79258 m <sup>2</sup>                                                                                                                                       |
| Fluks med 6 membrantanker i drift                           | 11,8 l/m <sup>2</sup> -h ved $Q_{\text{middel}}$ ;<br>15,1 l/m <sup>2</sup> -h ved $Q_{\text{dim}}$ ;<br>25,2 l/m <sup>2</sup> -h ved $Q_{\text{maksdim}}$ |
| Fluks med 5 membrantanker i drift                           | 14,1 l/m <sup>2</sup> -h ved $Q_{\text{middel}}$ ;<br>18,2 l/m <sup>2</sup> -h ved $Q_{\text{dim}}$ ;<br>30,3 l/m <sup>2</sup> -h ved $Q_{\text{maksdim}}$ |
| Slamkonsentrasjon i membrantanker                           | 12 kg SS/m <sup>3</sup>                                                                                                                                    |
| Luft for rengjøring av membraner, midlere                   | 8010 Nm <sup>3</sup> /h med ca. 3,2 m diffusordyp                                                                                                          |
| Luft for rengjøring av membraner, maksimal                  | 16020 Nm <sup>3</sup> /h med ca. 3,2 m diffusordyp                                                                                                         |
| Midlere energiforbruk til lufting                           | 111 kW                                                                                                                                                     |
| Dimensjonerende energiforbruk til lufting                   | 222 kW                                                                                                                                                     |
| Permeatpumper, dimensjonerende kapasitet                    | 6 x 445 m <sup>3</sup> /h, maks. undertrykk 5,5 mVS                                                                                                        |
| Tilbakespylingspumper, dim. kapasitet                       | 6 x 445 m <sup>3</sup> /h, maks. trykk 5,5 mVS                                                                                                             |
| Midlere energiforbruk til permeat- og tilbakespylingspumper | 19 kW                                                                                                                                                      |
| Permeattank                                                 | 100 m <sup>3</sup>                                                                                                                                         |
| Membranvask, natriumhypokloritt (10 %)                      | 39 tonn/år                                                                                                                                                 |
| Membranvask, oksalsyre (10 %)                               | 184 tonn/år                                                                                                                                                |
| <b>Dimensjonerende slamproduksjon (80-persentil):</b>       |                                                                                                                                                            |
| Primærslam                                                  | 4098 kg TS/d                                                                                                                                               |
| Biologisk + kjemisk slam                                    | 5600 kg TS/d                                                                                                                                               |
| Samlet slamproduksjon                                       | 9698 kg TS/d                                                                                                                                               |
| <b>Midlere slamproduksjon:</b>                              |                                                                                                                                                            |
| Primærslam                                                  | 3542 kg TS/d                                                                                                                                               |
| Biologisk + kjemisk slam                                    | 4587 kg TS/d                                                                                                                                               |
| Samlet slamproduksjon                                       | 8129 kg TS/d                                                                                                                                               |
| <b>Estimert arealbehov:</b>                                 | ca. 2990 m <sup>2</sup>                                                                                                                                    |

## BILAG 2 Investeringskostnader

| Renseprosess                                  | Areal tot. <sup>2)</sup> (m <sup>2</sup> ) | Bygg        | Maskin      | El/auto <sup>3)</sup> | VVS <sup>3)</sup> | Rigg (12 %) | Entreprisekost | Adm (8% / 5%) | Prosj. (12%) <sup>4)</sup> | Basiskalkyle  | Usikkerhet  | Total ("P85") |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------------|-------------|----------------|---------------|----------------------------|---------------|-------------|---------------|
| Sekundærrensing                               | 5520                                       | 149 200 000 | 90 000 000  | 31 500 000            | 22 380 000        | 35 169 600  | 328 249 600    | 26 259 968    | 39 389 952                 | 393 899 520   | 137 864 832 | 531 764 352   |
| N-fjerning alt 1 (bio-P + AS) <sup>1)</sup>   | 13350                                      | 619 000 000 | 110 000 000 | 38 500 000            | 92 850 000        | 103 242 000 | 963 592 000    | 48 179 600    | 115 631 040                | 1 127 402 640 | 394 590 924 | 1 521 993 564 |
| N-fjerning alt 2 (bio-P + IFAS) <sup>1)</sup> | 9850                                       | 409 000 000 | 160 000 000 | 56 000 000            | 61 350 000        | 82 362 000  | 768 712 000    | 38 435 600    | 92 245 440                 | 899 393 040   | 314 787 564 | 1 214 180 604 |
| N-fjerning alt 3 (MBBR)                       | 6700                                       | 220 000 000 | 203 600 000 | 71 260 000            | 33 000 000        | 63 343 200  | 591 203 200    | 29 560 160    | 70 944 384                 | 691 707 744   | 242 097 710 | 933 805 454   |
| N-fjerning alt 4 (MBR)                        | 8040                                       | 300 400 000 | 215 600 000 | 75 460 000            | 45 060 000        | 76 382 400  | 712 902 400    | 35 645 120    | 85 548 288                 | 834 095 808   | 291 933 533 | 1 126 029 341 |

<sup>1)</sup>Beregnet meget grovt mht maskin (kvalifisert gjetting)

<sup>2)</sup>Totalt areal for hele Fuglevik RA's bygningsmasse etter utvidelse

<sup>3)</sup>El/auto = 35 % av maskin og VVS = 15 % av bygg

<sup>4)</sup>Kun detaljprosjekt