

MOVAR IKS

UTVIDELSE FUGLEVIK RENSEANLEGG

FORPROSJEKTRAPPORT TIL STATSFORVALTEREN

ADRESSE COWI AS
Karvesvingen 2
Postboks 6412 Etterstad
0605 Oslo
TLF +47 02694
WWW cowi.no

INNHold

1	Innledning	3
2	Dimensjoneringsgrunnlag	4
2.1	Forutsetninger i utslippstillatelsen	4
2.2	Tilknytning	4
2.3	Vannmengder	4
2.4	Stoffmengder	6
2.5	Septik	11
2.6	Slammengder	12
2.7	Temperatur	12
2.8	Oppsummering	15
3	Fremtidig prosessløsning – vannbehandling	16
3.1	Evalueringskriterier	16
3.2	Evaluering og valg av prosesskombinasjoner til grovdimensjonering	17
3.3	Resultater fra grovdimensjonering og revidert evaluering	19
3.4	Dimensjonering av prosesskombinasjon 1: N15B (trinnvis utbygging)	22
3.5	Dimensjonering av prosesskombinasjon 1: N23	28
4	Fremtidig prosessløsning – slambehandling	32
4.1	Generelt om slambehandling	32
4.2	Aktuelle enhetsprosesser	33
4.3	Aktuelle prosesskombinasjoner	33
4.4	Vurderinger knyttet til valg av slambehandling for nye Fuglevik RA	39
5	Beskrivelse av generelle rehabiliteringstiltak, kvalitet på nytt utstyr og nye konstruksjoner	49
5.1	Bygningstekniske installasjoner	49
5.2	Maskin	50
5.3	Elektro og driftskontrollanlegg	52

OPPDRAGSNR.	DOKUMENTNR.
A207440	10-RAP-102

VERSJON	UTGIVELSES DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
0.1	29.10.2021	Rapport	Oscar Lidholm Erik Johannessen	Erik Johannessen	Hans Vebjørn Kristoffersen

5.4	VVS-anlegg	54
6	Prosjektgjennomføring	56
6.1	Entrepriseform	56
6.2	Anskaffelsesstrategi	58
6.3	Drift i byggefasen	59
6.4	Fremdrift	60
7	Kostnader	62
Bilag		64

1 Innledning

Fuglevik renseanlegg (RA) skal utvides for å behandle forventet fremtidig belastning i år 2056. Anlegget dimensjoneres for at Kambo RA legges ned og at avløpet derfra overføres til nye Fuglevik RA. Selv om det ikke er besluttet endelig skal det dimensjoneringsmessig også tas høyde for at Svinndal RA i Våler legges ned og overføres til nye Fuglevik RA.

MOVAR har mottatt utslippstillatelse fra Statsforvalteren i Oslo og Viken med krav til fosforfjerning og sekundærrensing med forhøyede krav samt nitrogenfjerning. Kravet om nitrogenfjerning ble påklagd, hvoretter klagen ble avvist av Statsforvalteren. Pr. oktober 2021 ligger anke til behandling hos Miljødirektoratet, men klagen har ikke fått oppsettende virkning på prosjektets framdrift. MOVAR har derfor gjennomført parallell planlegging og forprosjektering for utbygging både med og uten nitrogenfjerning. Denne forprosjektrapporten beskriver utvidelsen av anlegget for å tilfredsstille kravene fra Statsforvalteren inkl. nitrogenfjerning.

Fuglevik RA vil bli et komplekst prosessanlegg skreddersydd de tekniske løsningene som skal til for å nå MOVARs krav til avløpsrensing, slambehandling, arbeidsmiljø og bærekraft for øvrig. I dette forprosjektet er det fokusert mest på vannbehandlingsprosesser, med evaluering av forskjellige prosesser og kostnadsestimering. Vurderinger knyttet til valg av slambehandlingsprosess er også vurdert i forprosjektet. Før man kan ta en endelig beslutning om hvilken slambehandlingsprosess man ønsker å gå videre med vil man imidlertid gjennomføre ytterligere undersøkelser og ev. målrettede FoU-aktiviteter, som kan løpe parallelt med planleggingen av vannbehandlingen ved nye Fuglevik RA.

2 Dimensjoneringsgrunnlag

2.1 Forutsetninger i utslippstillatelsen

I utslippstillatelse fra Statsforvalteren i Oslo og Viken datert 25.02.2021 har Fuglevik renseanlegg krav om å overholde følgende rensekraav fra 01.01.2026, hvor kun det siste er påklagd:

- > BOF < 25 mg/l eller > 80 % renseeffekt
- > KOF < 125 mg/l eller > 85 % renseeffekt
- > Total P > 93 % renseeffekt som årsgjennomsnitt
- > Total N > 70 % renseeffekt som årsgjennomsnitt

Fra 01.03.2026 skal avløp overføres fra Kambo renseanlegg til Fuglevik renseanlegg, og Kambo renseanlegg skal legges ned. Når Kambo RA blir lagt ned, omfatter tillatelsen også alt avløpsvann fra tettbebyggelse 01-014 Moss som i dag går til Kambo RA.

2.2 Tilknytning

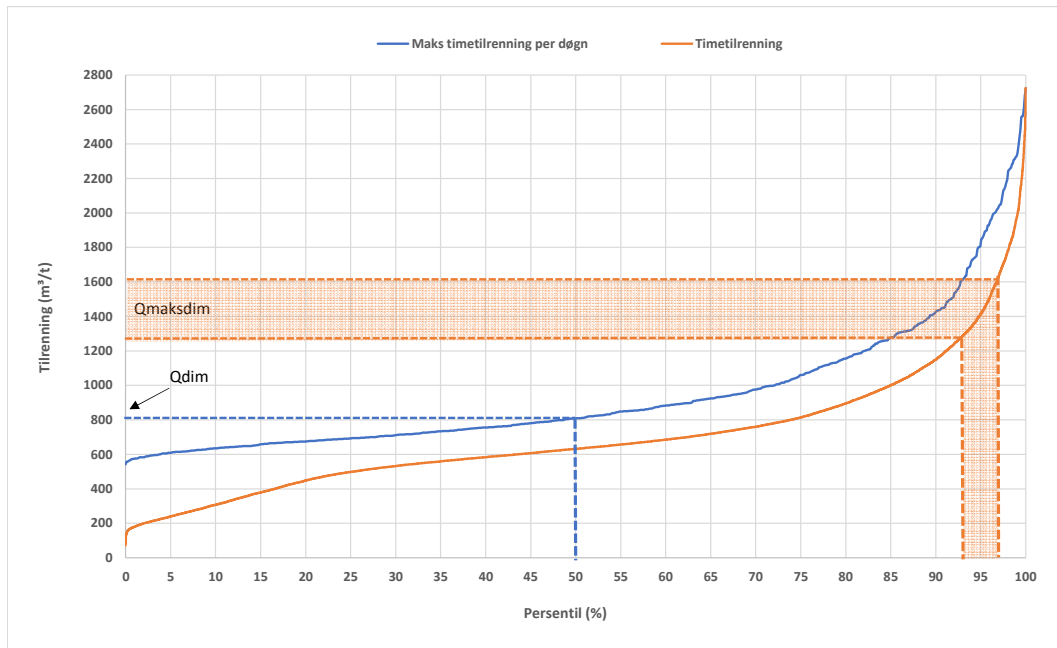
Tilknytningen i 2021 til Kambo RA og Fuglevik RA fra kommunene Moss, Vestby og Våler er brukt som utgangspunkt i dimensjoneringsgrunnlaget. I tillegg er det tatt høyde for at Svinndal RA i Våler legges ned og overføres til nye Fuglevik RA. For Moss og Vestby er det lagt til grunn 1 % vekst pr år, noe som gir 42% vekst frem til 2056. Forventet vekst i Våler er oppgitt av kommunen til å være 45 % frem mot 2056, og denne økningen er brukt for å beregne fremtidig belastning fra Våler kommune. Tabell 1 viser dagens tilknytting til Kambo RA og Fuglevik RA (58 518 personer), og dimensjonerende tilknytting til nye Fuglevik RA i 2056 (83 968 personer). Økningen i tilknytting tilsvarer 25 450 personer (24 508 personer uten Svinndal RA).

Tabell 1. Estimert tilknytning til nye Fuglevik RA i 2056.

Kommune/ År	Moss	Vestby	Våler (dagens tilknytning)	Svinndal RA (ny tilknytning)	Sum
2021	49 418	5244	3856		58 518
Vekstfaktor	1,42	1,42	1,45		1,43
2056	70 006	7429	5591	943	83 968

2.3 Vannmengder

Eksisterende hydrauliske belastninger er hentet fra datainnsamlingsverktøyet Gurusoft for perioden 01.01.2018 til 08.05.2021. Figur 1 viser en varighetskurve som består av data fra både Kambo og Fuglevik RA, der innløpsmengdene fra samme tidspunkt er lagt sammen.



Figur 1. Varighetskurve for vannmengder tilført nye Fuglevik RA

Trenddata fra Figur 1 er brukt for å beregne midlere tilrenning og Q_{dim} for dagens tilrenning. $Q_{maksdim}$ for dagens tilrenning er beregnet utfra en massebalanse for fosfor, og er basert på en konservativ beregning av tillatte overløpsmengder for at utslippskravene skal overholdes. Utslippstillatelsen for nye Fuglevik oppgir at overløp fra Kambo pumpestasjon skal inngå i regnskapet til renseanlegget. Det forutsettes at pumpestasjonen bygges med god nok kapasitet til at overløp ikke forekommer. For definisjon av Q_{dim} og $Q_{maksdim}$, se Norsk Vanns dimensjoneringsveileder, rapport 256-2020. Q_{maks} bestemmes for dagens tilrenning utfra en skjønnsmessig vurdering til 2700 m³/t. Dette tilsvarer en faktor på 1,97 for $Q_{maks}/Q_{maksdim}$. Den høye faktoren kan forklares fra en relativt bratt varighetskurve fra 95 til 100 persentilen. Følgende dimensjonerende vannmengder er beregnet for tilrenningen i 2021:

- > $Q_{middel,2021}$: 700 m³/t
- > $Q_{dim,2021}$: 809 m³/t
- > $Q_{maksdim,2021}$: 1370 m³/t
- > $Q_{maks,2021}$: 2700 m³/t

Metodikk beskrevet i Norsk Vanns dimensjoneringsveileder, rapport 256-2020, er brukt for å beregne fremtidig Q_{middel} , Q_{dim} og $Q_{maksdim}$. Tilrenningen estimeres basert på befolkningsveksten, som er estimert til 25 450 personer frem mot 2056, jf. Tabell 1. Det er forventet at fremtidig forhold mellom Q_{maks} og $Q_{maksdim}$ blir noe lavere enn for dagens tilrenning, da overføringen av avløp fra Kambo via et utjevningsbasseng vil medføre noe treghet i ledningsnett. Fremtidig $Q_{maks}/Q_{maksdim}$ bestemmes til 1,8. Følgende dimensjonerende vannmengder er beregnet for tilrenningen i 2056:

- > $Q_{middel,2056}$: 1050 m³/t
- > $Q_{dim,2056}$: 1270 m³/t
- > $Q_{maksdim,2056}$: 2280 m³/t
- > Q_{maks} : 4100 m³/t

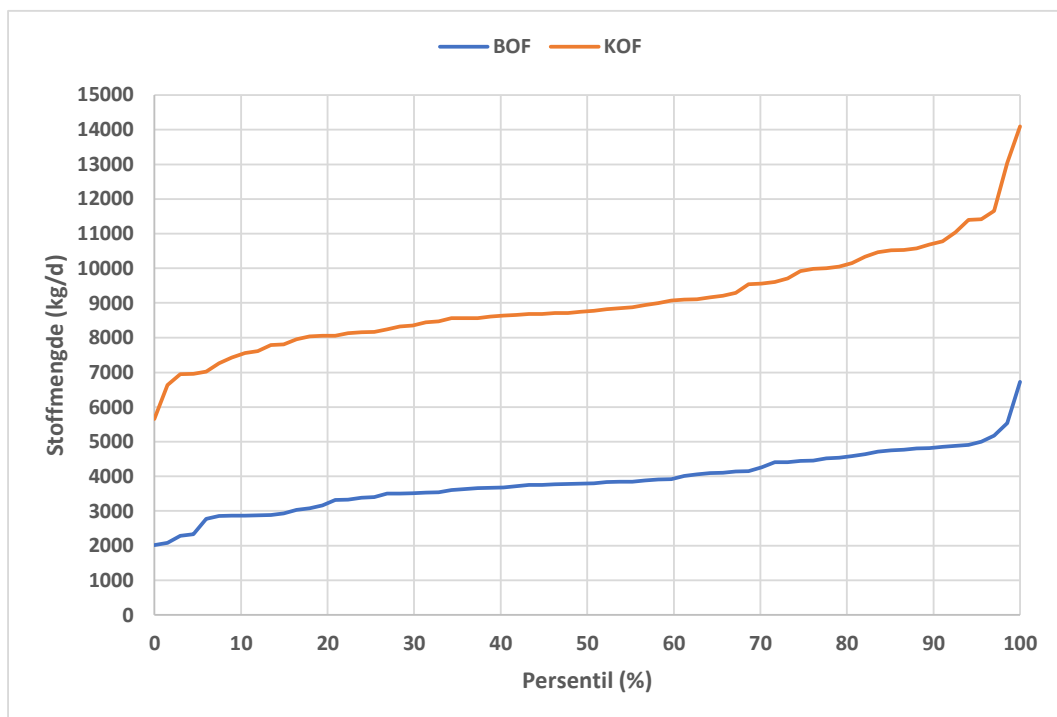
2.4 Stoffmengder

2.4.1 Stoffmengder i innløp

I utslippstillatelsen er det mht. KOF og BOF₅ beskrevet at 21 av 24 prøver skal være innenfor rensekravet for sekundærrensing. Dette tilsvarer at 87,5 % av prøvene skal være godkjente, mens 12,5 % kan være over kravverdiene. En konservativ vurdering blir da å legge dimensjonerende stoffbelastning til 90-persentilen på en varighetskurve for organisk stoff. En slik varighetskurve for eksisterende tilknytning er vist i Figur 2.

For renseanlegg med N-fjerning gjelder rensekravene for nitrogen og fosfor som gjennomsnittsverdiene gjennom året. Det er relativt vanlig å dimensjonere nitrogenfjerningsanlegg for 80-persentil tilførslene av både nitrogen og organisk stoff. I et anlegg med biologisk nitrogenfjerning vil den spesifikke belastningen av organisk stoff (g BOF₅/m²-d) i et biofilmanlegg bli så lav, eller slamalderen i et aktivslamanlegg så høy, at man uansett vil klare utslippskravene for organisk stoff (jfr. forrige avsnitt). Vi benytter dermed 80-persentilen for å dimensjonere prosessen med N-fjerning.

Eksisterende stoffbelastning fra Kambo og Fuglevik er hentet fra datainnsamlings- verktøyet Gurusoft for perioden 06.01.2018 til 07.12.2020. Mengdene er summert for de to anleggene. Figur 2 viser et varighetsdiagram for den summerte belastningen til Kambo og Fuglevik renseanlegg.



Figur 2. Varighetskurver for summert organisk belastning til Fuglevik og Kambo renseanlegg 2018-2020

Basert på data vist i figuren over er 80-persentilen for belastningen følgende:

KOF = 10 111 kg KOF/d

BOF₅ = 4566 kg BOF₅/d

Med ca. 58 500 personer tilknyttet til Kambo og Fuglevik renseanlegg er den spesifikke belastningen for dagens tilknytting følgende:

$$\text{KOF} = (10\,111 \text{ kg KOF/d} \cdot 1000 \text{ g/kg}) / 58\,500 \text{ pe} = 172,8 \text{ g KOF/pe}\cdot\text{d}$$

$$\text{BOF}_5 = (4566 \text{ kg BOF}_5/\text{d} \cdot 1000 \text{ g/kg}) / 58\,500 \text{ pe} = 78,0 \text{ g BOF}_5/\text{pe}\cdot\text{d}$$

De spesifikke stoffmengdene per person er høyere enn hvis det kun hadde vært husholdninger tilknyttet (normalt ikke høyere enn 120 g KOF/pe·d og 60 g BOF₅/pe·d ved dimensjonerende belastning). Det betyr at det er et betydelig bidrag fra industrien mht. stoffmessig belastning. For beregning av fremtidig stoffbelastning antas at påslippet fra industriene i Kambo og Fuglevik rensedistrikt vil øke proporsjonalt med befolkningsveksten. Den organiske belastningen for den økte tilknyttingen i rensedistriktet (24 508 personer) beregnes dermed til:

$$\text{KOF} = (24\,508 \text{ pe} \cdot 172,8 \text{ g KOF/pe}\cdot\text{d}) / 1000 \text{ g/kg} = 4397 \text{ kg KOF/d}$$

$$\text{BOF}_5 = (24\,508 \text{ pe} \cdot 78,0 \text{ g BOF}_5/\text{pe}\cdot\text{d}) / 1000 \text{ g/kg} = 1\,986 \text{ kg BOF}_5/\text{d}$$

Som nevnt innledningsvis er det ønskelig at dimensjoneringsgrunnlaget skal ta høyde for at Svinndal RA legges ned og overføres til Fuglevik RA. I tillegg er det ønskelig at man tar hensyn til økt belastning fra en batterifabrikk som muligens skal etableres i på Gylderåsen i Våler. Befolkningen i Svinndal rensedistrikt forventes å være 943 personer i 2056. Belastningen fra rensedistriktet beregnes utfra spesifikke tall fra Norsk Vanns dimensjoneringsveileder, rapport 256-2020. Batterifabrikk kan få opptil 2000 arbeidere, det antas at en arbeider står for 40 % av utslippet fra en innbygger og at hovedtyngden er bosatt utenfor MOVARs avløpsdistrikter. Samlet tilleggsbelastning fra eventuell ny batterifabrikk og overføring fra Svinndal blir dermed:

$$\text{KOF} = (((2\,000 \text{ arbeidere} \times 0,4 \text{ pe/arbeider}) + 943 \text{ personer}) \times 120 \text{ g KOF/pe}\cdot\text{d}) / 1000 \text{ g/kg} = 209 \text{ kg KOF/d}$$

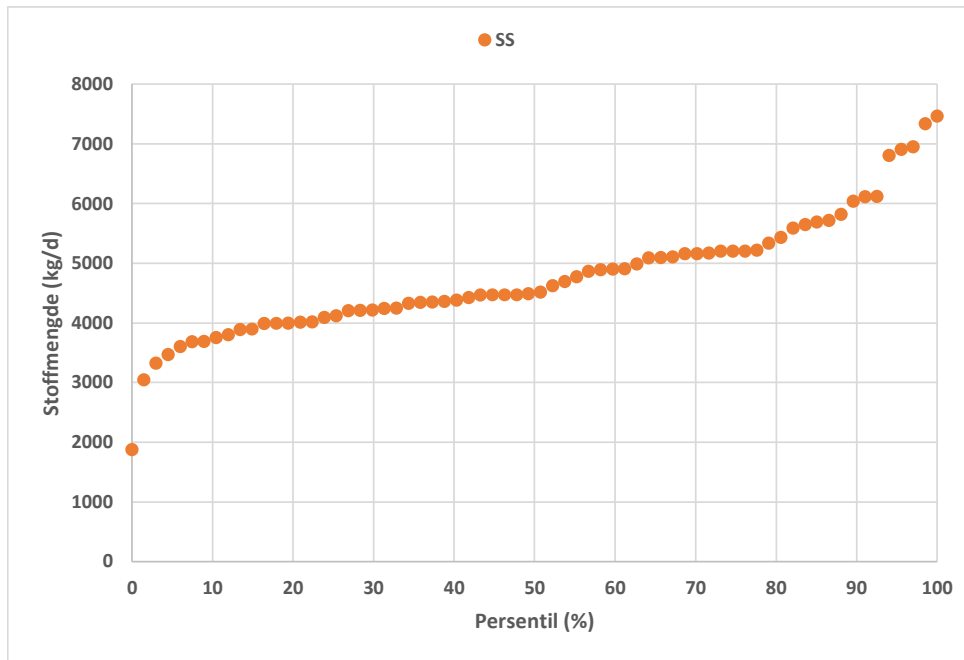
$$\text{BOF}_5 = (((2\,000 \text{ arbeidere} \times 0,4 \text{ pe/arbeider}) + 943 \text{ personer}) \times 60 \text{ g BOF/pe}\cdot\text{d}) / 1000 \text{ g/kg} = 105 \text{ kg BOF}_5/\text{d}$$

Total fremtidig dimensjonerende organisk stoffbelastning i innløpsvannet blir dermed:

$$\text{KOF}_{\text{dim}, 2056} = 10\,111 + 4397 + 173 \approx 14\,750 \text{ kg KOF/d}$$

$$\text{BOF}_{5, \text{dim}, 2056} = 4566 + 1989 + 105 \approx 6660 \text{ kg BOF}_5/\text{d}$$

Figuren nedenfor viser varighetskurven for SS-målinger sammenstilt for Fuglevik RA og Kambo RA.

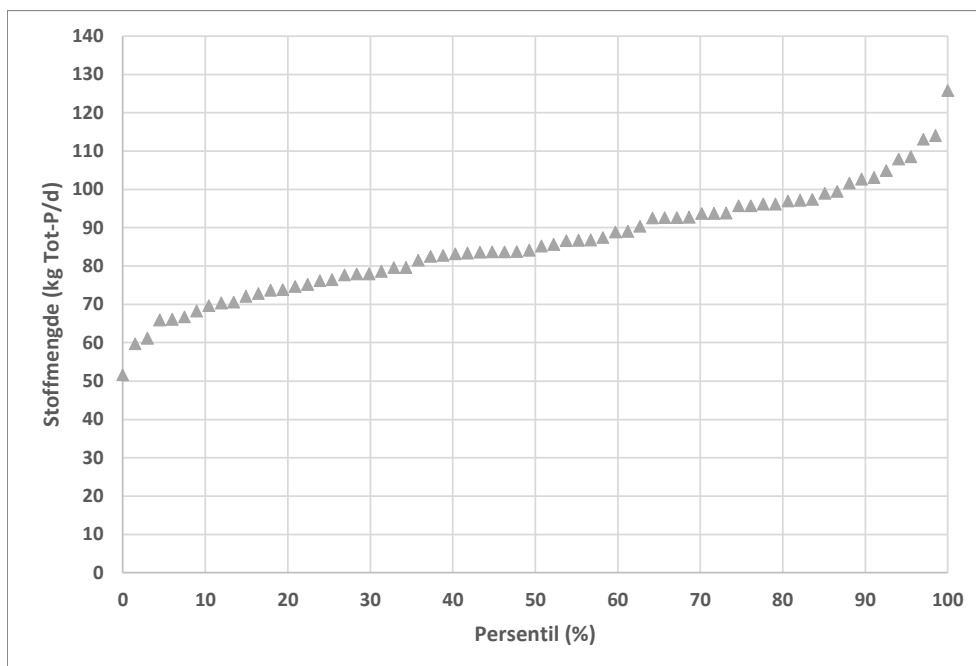


Figur 3. Varighetskurve for suspendert stoff i innløpsvannet til nye Fuglevik RA 2018-2020.

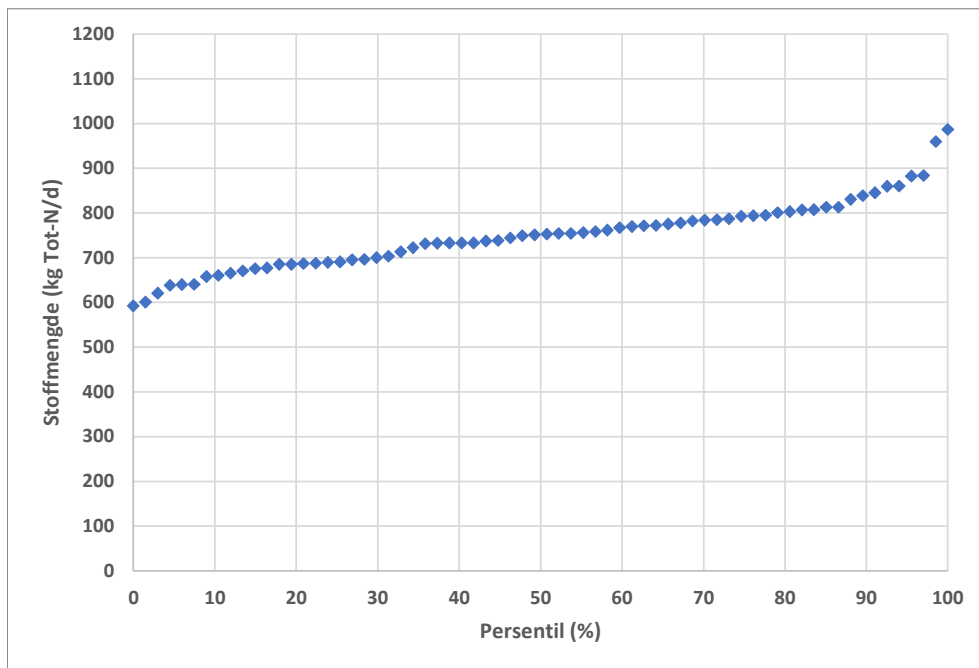
80-persentilen for SS-belastningen var 5 395 kg/d, som tilsvarer en spesifikk stoffmengde på 92 kg SS/pe-d. Fremtidig dimensjonerende belastning er beregnet som følger:

$$\text{SS}_{\text{dim, 2056}} = 5\,395 + 24\,508 \text{ pe} \cdot 0,092 \text{ kg SS/pe-d} + (2\,000 \cdot 0,4 + 943 \text{ pe}) \cdot 0,070 \text{ kg SS/pe-d} \approx 7810 \text{ kg SS/d}$$

Figurene nedenfor viser varighetskurvene for Tot-P og Tot-N sammenstilt for Fuglevik RA og Kambo RA.



Figur 4. Varighetskurve for Tot-P i perioden 2018-2020.



Figur 5. Varighetskurve for Tot-N i perioden 2018-2020.

80-persentilen for Tot-P-belastningen var 97 kg/d, som tilsvarer en spesifikk stoffmengde på 1,65 kg Tot-P/pe-d. For Svindal benyttes en dimensjonerende spesifikk mengde på 1,8 g Tot-P/pe-d (fra Norsk Vann 256-2020). Fremtidig dimensjonerende belastning er beregnet som følger:

$$\text{Tot-P, dim.} = 97 + 24\,508 \text{ pe} \cdot 0,00165 \text{ kg Tot-P/pe-d} + (2000 \cdot 0,4 + 943 \text{ pe}) \cdot 0,0018 \text{ kg Tot-P/pe-d} \approx 140 \text{ kg Tot-P/d}$$

80-persentilen for Tot-N-belastningen var 802 kg/d, som tilsvarer en spesifikk stoffmengde på 13,7 kg Tot-P/pe-d. For Svindal benyttes en dimensjonerende spesifikk mengde på 12 g Tot-P/pe-d (fra Norsk Vann 256-2020). Fremtidig dimensjonerende belastning er beregnet som følger:

$$\text{Tot-N, dim.} = 802 + 24\,508 \text{ pe} \cdot 0,0137 \text{ kg Tot-N/pe-d} + (2000 \cdot 0,4 + 943 \text{ pe}) \cdot 0,012 \text{ kg Tot-N/pe-d} \approx 1160 \text{ kg Tot-N/d}$$

2.4.2 Stoffbelastning fra returstrømmer

Foruten de stoffmengdene som kommer med innløpsvannet må anleggets dimensjonering også ta hensyn til returvannstrømmene. Midlere slamvannsmengder fra fortykking og avvanning forutsettes å være henholdsvis 195 m³/d og 85 m³/d for nye Fuglevik i dag. Forventede slamvannsmengder i 2056 forventes å øke proporsjonalt med vannmengden, og beregnes ved at dagens mengder multipliseres med en faktor på 1,5 ($Q_{\text{midl, 2056}}/Q_{\text{midl 2021}}$) dvs. totalt ca. 420 m³/d. Som dimensjonerende slamvannsmengder benyttes en faktor på 1,3 x midlere mengde, noe som gir en dimensjonerende returvannstrøm på 550 m³/d.

Som grunnlag for dimensjonering mhp. returstrømmer legges følgende konsentrasjoner til grunn: 3500 mg KOF/l, 1200 mg BOF₅/l, 1500 mg SS/l og 30 mg Tot-P/l. Disse konsentrasjonene varierer ikke mellom rejektivann fra fortykker eller avvanning.

Prosessvalg og hvor rejektivannet kommer fra vil i stor grad påvirke returvannets konsentrasjon for Tot-N. Vi kan anta følgende:

- > Rejekt fra fortykker: 150 mg Tot-N/l
- > Rejektivann fra avvanning etter anaerob stabilisering: 1 000 mg Tot-N/l
- > Rejektivann fra avvanning etter termisk hydrolyse og anaerob stabilisering: 2 200 mg Tot-N/l

Konsentrasjonen av Tot-N vil da tilsvare 420 mg/l uten THP og 790 mg/l med THP. Dette gir følgende bidrag fra returstrømmer:

Tabell 2. Belastning fra returstrømmer for nye Fuglevik RA i 2056.

Parameter	Q (m ³ /d)	KOF (kg/d)	BOF ₅ (kg/d)	SS (kg/d)	Tot-P (kg/d)	Tot-N uten THP (kg/d)	Tot-N med THP (kg/d)
Midlere	420	1 470	504	630	13	176	332
Dimensjonerende	550	1 925	660	825	17	231	435

Ved dimensjonering av prosesser (jf. kapittel 3.3, 3.4 og 3.5) forutsettes at man etablerer et rensetrinn med anammox (deammonifikasjon) for behandling av rejektivann fra avvanning av utråtnet slam. Dette vil føre til en betydelig reduksjon av den interne nitrogenbelastningen, mens påvirkningen på andre parametere er neglisjerbar.

2.4.3 Bidrag fra industri

EU har besluttet å innføre felles rensekrav fra industrien, uavhengig om man slipper ut til resipient eller via kommunale renseanlegg. Dersom dette vil bli gjeldende i Norge vil dette påvirke avløpsvannet hvor man i dag har betydelige påslipp fra tre bedrifter tilknyttet nye Fuglevik RA; Idun, Nora og Bama. MOVAR ønsker at dimensjoneringsgrunnlaget tar for seg hvor mye bidraget fra disse bedriftene utgjør av total stoffbelastning i dag.

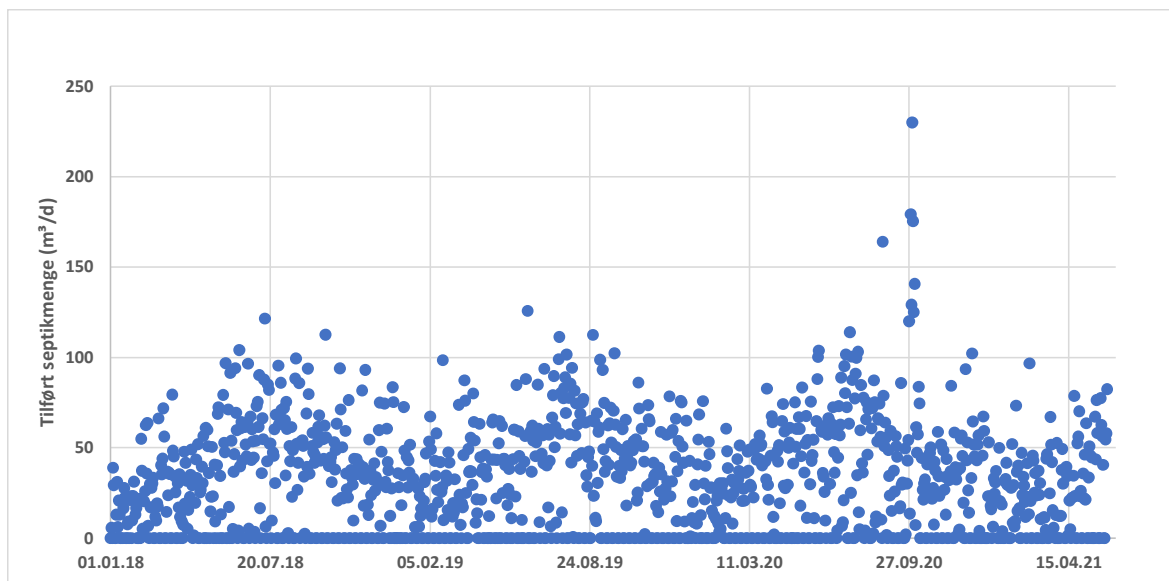
Bidraget fra industri er beregnet fra gjennomsnittlig stoffbelastning. Det er mye usikkerhet knyttet til industridataene da konsentrasjoner og vannmengder varierer i stor grad. Data fra industribedriftene er oversendt fra MOVAR. Det er også lagt inn en "peak-faktor" på 1,5 for å illustrere at tilførslene fra bedriftene kan svinge i forhold til øvrig tilførsel til renseanlegget. Som det kommer frem av tabellen er det ikke betydelige bidrag knyttet til fosfor og nitrogen, mens det er betydelige bidrag av organisk stoff (KOF) og suspendert stoff (SS).

Tabell 3. Dagens stoffbelastning fra Nora, Idun og Bama til nye Fuglevik RA.

Parameter	KOF (kg/d)	Tot-P (kg/d)	Tot-N (kg/d)	SS (kg/d)
Stoffbelastning fra Nora	700	1,3	7,6	54
Stoffbelastning fra Idun	290	0,2	1,5	83
Stoffbelastning fra Bama	1 027	-	-	628
Stoffbelastning fra industri totalt	2 017	1,5	9,1	765
Stoffbelastning nye Fuglevik RA i 2018-2020	10 715	86	841	6 064
Midlere bidrag fra industri pr i dag	19 %	1,7 %	1,1 %	13 %
Dimensjonerende bidrag fra industri (peak-faktor 1,5)	28 %	2,6 %	1,6 %	19 %

2.5 Septik

Kambo RA har i årene 2018-2020 mottatt 11 419 - 12 864 m³ septik per år. Daglige tilførte mengder er vist i Figur 6. Fra grunnlagsdata er det tydelig at større mengder septik blir tilført Kambo RA i sommerhalvåret sammenlignet med vinterhalvåret. I månedsskifte september/oktober ble det tilført unormalt store mengder septik. COWI kjenner ikke til årsaken for den høye belastningen.



Figur 6. Tilført eksternslam til Kambo RA fra 2018.

Det er registrert at septik mottas ca. 265 dager i året, noe som gir gjennomsnittlig tilskudd av eksternslam på ca. 45 m³/d. Sett bort ifra belastningstoppene som inntraff ved månedsskifte september/oktober 2020, anses belastningstopper å være ca. 130 m³/d. Det forutsettes ingen særlige endringer i tilført septik de kommende årene, slik at dagens verdier benyttes videre. For å være på den konservative siden oppjusteres dimensjonerende verdier for 2056 til:

Midlere mengde septik: 50 m³/d

Dimensjonerende mengde septik: 150 m³/d

Som grunnlag for dimensjonering mhp. septik legges 1 % TS til grunn, som tilsvarer en konsentrasjon på 10 kg SS/m³. Forventet belastning til anlegget blir da:

Midlere SS belastning fra septik: 500 kg/d**Dimensjonerende SS belastning fra septik: 1 500 kg/d**

Septik blandes ikke inn i vannfasen ved Kambo RA i dag, men pumpes direkte til slambehandlingen. Det er forutsatt at septikmottaket ved Kambo RA flyttes til nye Fuglevik RA. Tilførsel av eksterntslam vil da sendes direkte til slambehandling. Det mottas i dag ikke annet eksterntslam eller andre substrater ved noen av MOVARs anlegg, og det er heller ikke planlagt i fremtiden.

2.6 Slammengder

Slamproduksjonen er avhengig av stoffbelastningen til anlegget, samt prosessvalg. Slammengdene i Tabell 4 er estimert for prosessen som er valgt i forprosjektet (primærfiltrering som primærrensing og IFAS-MBR med bio-P og fordenitrifisering som hovedprosess, jf. kapittel 2.8).

Tabell 4. Dimensjonerende slammengder for nye Fuglevik RA i 2056.

Parameter	Slamtype	Enhet	Slamproduksjon
Midlere slam-produksjon	Primærslam	kg TS/d	3 931
	Biologisk slam	kg TS/d	4 392
	Kjemisk slam	kg TS/d	150
	Septik	kg TS/d	500
	Tap slam	kg TS/d	0
	Råslam	kg TS/d	8 973
	Samlet VS innhold	%	82 %
	Nedbryting av VS	%	50 %
	Utråtnet slam	kg TS/d	5 316
	Nedbryting av VS m/THP	%	67,5 %
	Utråtnet slam m/THP	kg TS/d	4 035
Dim. slam-produksjon	Primærslam	kg TS/d	4 527
	Biologisk slam	kg TS/d	5 547
	Kjemisk slam	kg TS/d	0
	Septik	kg TS/d	1 500
	Tap slam	kg TS/d	0
	Råslam	kg TS/d	11 574
	Samlet VS innhold	%	82 %
	Nedbryting av VS	%	50 %
	Utråtnet slam	kg TS/d	6 856
	Nedbryting av VS m/THP	%	67,5 %
	Utråtnet slam m/THP	kg TS/d	5 205

Det er forventet at disse slammengdene som stammer fra grovdimensjonering knyttet til valg av prosess er noe høyere enn hva nye slammengder etter revidert dimensjoneringsgrunnlag tilsier. Dette skyldes hovedsakelig endring av nåværende og fremtidig tilknytning til nye Fuglevik RA rensedistrikt. Det er forventet at dette vil utgjøre ca. 10-15% reduksjon og vil bli beregnet endelig i senere prosjektfaser.

2.7 Temperatur

Det er forventet at temperaturen på avløpsvannet fra Kambo RA vil reduseres betraktelig gjennom overføringsledningen til nye Fuglevik RA. For å beregne forventet temperatur på innløpsvannet til nye Fuglevik RA må to faktorer vurderes:

- Temperaturen på innløpsvannet fra Kambo RA (°C)

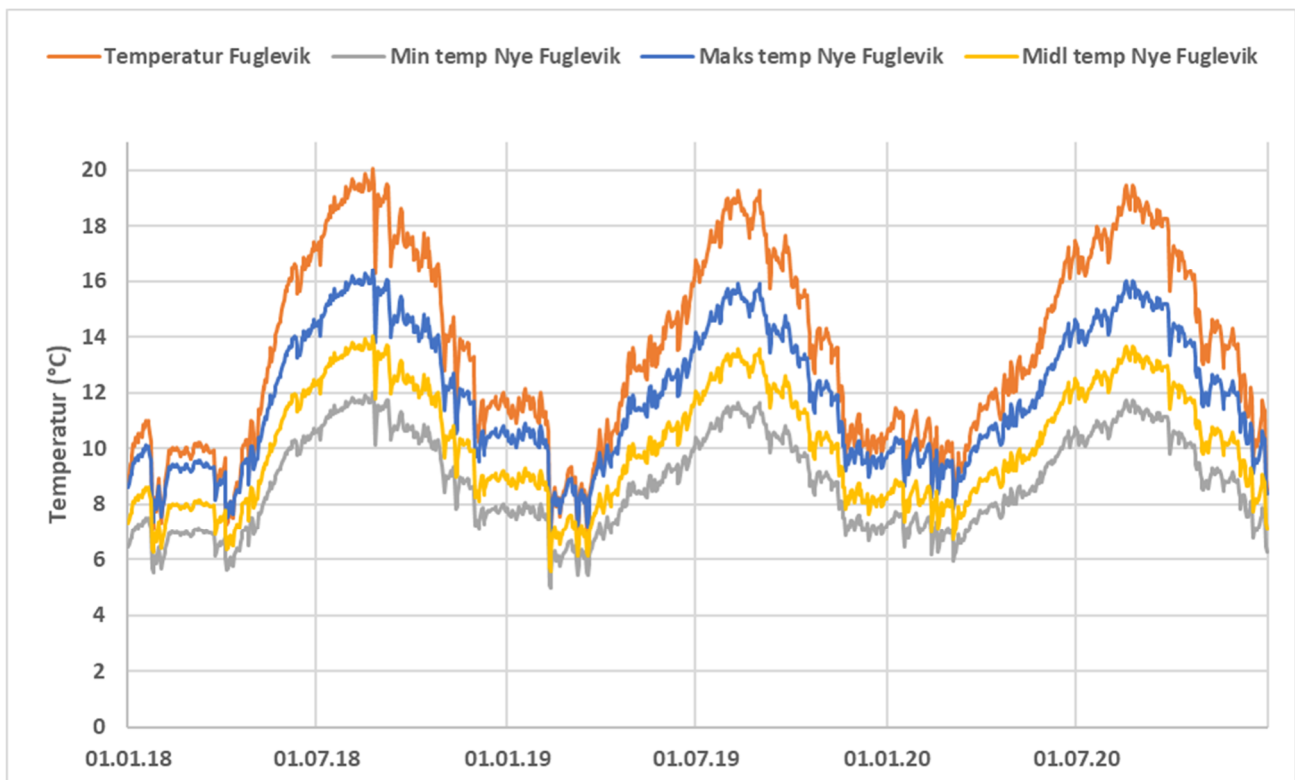
b) Fordeling av innløpsmengde mellom Fuglevik RA og Kambo RA (%)

Med bakgrunn i disse faktorene er følgende senarioer simulert:

Tabell 5. Scenarier for beregning av forventede temperatursvingninger på innløpsvann til nye Fuglevik renseanlegg.

Scenario	Parameter	Verdi
Maks temperatur	Antatt temperatur fra Kambo	8 °C
	Andel innløpsvann fra Kambo RA	30 %
	Andel innløpsvann fra Fuglevik RA	70 %
Midlere temperatur	Antatt temperatur fra Kambo	5 °C
	Andel innløpsvann fra Kambo RA	40 %
	Andel innløpsvann fra Fuglevik RA	60 %
Min temperatur	Antatt temperatur fra Kambo	4 °C
	Andel innløpsvann fra Kambo RA	50 %
	Andel innløpsvann fra Fuglevik RA	50 %

Beregnet temperatursvingning for nye Fuglevik RA i Figur 7 tar utgangspunktet i temperaturmålinger fra Fuglevik RA i perioden 01.01.18 til 01.01.21 (oransje graf). De tre resterende grafene representerer forventet maksimal temperatur (blå), middels temperatur (gul) og minimum temperatur (grå) der disse er beregnet fra Tabell 5 over.



Figur 7. Forventet temperatursvingning gjennom året for nye Fuglevik RA.

Basert på overnevnte beregninger blir dimensjonerende maksimum- og middeltemperatur beregnet med persentiler. Dimensjonerende maksimumstemperatur er 90 persentilen av maks temperatur-scenarieret. Dimensjonerende middeltemperatur er 50 persentilen av midlere temperatur-scenarieret:

Dimensjonerende maksimumstemperatur: 15,4 °C

Dimensjonerende middeltemperatur: 10,0 °C

For et anlegg med N-fjerning, velges den kaldeste sammenhengende perioden over 10-15 døgn som dimensjonerende kaldeste temperatur. Den dimensjonerende minimumstemperaturen blir da 5,8 °C for perioden 10.02.19 til 20.02.19:

Dimensjonerende minimumstemperatur: 5,8 °C

2.8 Oppsummering

Tabell 6 viser **midlere** og **dimensjonerende** vann- og stoffbelastninger med og uten returstrømmer ved nye Fuglevik RA i 2056. Dimensjonerende stoffbelastning tilsvarer 80-persentilen. Det er forventet at returvannet tilføres prosessen etter primærfiltrering for å unngå unødvendig driftsproblematikk.

Det er lagt til grunn følgende reduksjon i primærfiltreringen: 25 % TKOF, 25 % TBOF, 45 % SS, 5 % Tot-N, 15 % Tot-P. Nitrogeninnholdet i returstrømmer er kun vist uten THP.

Tabell 6. Total stoffbelastning for nye Fuglevik RA med nitrogenfjerning.

Parameter		Enhet	Før primærrensing (innløpsverdier)	Etter primærrensing (uten returstrømmer)	Inn til biologi (med returstrømmer)
Vannmengde 2056	Midlere vannmengde (Qmiddel)	m ³ /d	25 200	25 200	25 620
	Dimensjonerende vannmengde (Qdim)	m ³ /h	1 270	1 270	1 293
	Maksimal vannmengde (Qmaksdim)	m ³ /h	2 280	2 280	2 303
Midlere stoffbelastning 2056	Total KOF (TKOF)	kg/d	13 050	9 788	11 258
	Filtrert KOF (FKOF)	kg/d	3 727	3 727	4 591
	Total BOF5 (TBOF5)	kg/d	5 560	4 170	4 674
	Filtrert BOF5 (FBOF5)	kg/d	1 748	1 748	2 044
	SS	kg/d	6 850	3 768	4 398
	Total N (TN) uten THP	kg/d	1 090	1 036	1 212
	Total N på filtrert prøve (FTN)	kg/d	956	956	1 098
	NH4-N	kg/d	820	820	955
	Total P (TP)	kg/d	125	106	119
	Total P på filtrert prøve (FTP)	kg/d	86	86	89
	Alkalitet	kmol/d	98	98	128
Dimensjonerende stoffbelastning 2056 (80-persentil)	Total KOF (TKOF)	kg/d	14 750	11 063	12 988
	Filtrert KOF (FKOF)	kg/d	5 151	5 151	6 134
	Total BOF5 (TBOF5)	kg/d	6 660	4 995	5 655
	Filtrert BOF5 (FBOF5)	kg/d	2 543	2 543	2 881
	SS	kg/d	7 770	4 274	5 099
	Total N (TN) uten THP	kg/d	1 160	1 102	1 333
	Total N på filtrert prøve (FTN)	kg/d	1 084	1 084	1 260
	NH4-N	kg/d	943	943	1 114
	Total P (TP)	kg/d	141	120	136
	Total P på filtrert prøve (FTP)	kg/d	109	109	111
	Alkalitet	kmol/d	124	124	176
Midlere konsentrasjoner 2056	Total KOF (TKOF)	mg/l	518	388	439
	Filtrert KOF (FKOF)	mg/l	148	148	179
	Total BOF5 (TBOF5)	mg/l	221	165	182
	Filtrert BOF5 (FBOF5)	mg/l	69	69	80
	SS	mg/l	272	150	172
	Total N (TN) uten THP	mg/l	43	41	47
	Total N på filtrert prøve (FTN)	mg/l	38	38	43
	NH4-N	mg/l	33	33	37
	Total P (TP)	mg/l	5,0	4,2	4,6
	Total P på filtrert prøve (FTP)	mg/l	3,4	3,4	3,5
	Alkalitet	mmol/l	3,9	3,9	5,0

3 Fremtidig prosessløsning – vannbehandling

3.1 Evalueringskriterier

MOVAR har i samarbeid med COWI kommet fram til kriterier for valg av prosess, som vist i Tabell 7. Disse bygger på MOVARs 3-delte bunnlinje som består av Miljø, Samfunn og Økonomi, samt FNs bærekraftsmål. I en grovsorteringsfase ble en score fra 0 til 100 % estimert for hvert delkriterium, basert på COWIs generelle kjennskap til de enkelte prosesskombinasjonene og de forutsetningene som gjelder for nye Fuglevik renseanlegg. Kriteriet «Slambehandling utover krav» ble ikke vurdert i forbindelse med valg av vannbehandlingsprosess, slik at maksimal poengsum med 100 % score på alle delkriterier var 95,8.

Tabell 7. Kriterier for valg av prosess.

Kriterier	MOVARs 3-delte bunnlinje		FNs bærekraftsmål							Vekt
		Vekt	#6	#8	#9	#12	#13	#17	Sum	
Energiforbruk	Miljø	50			1	1	1		3	4,2
Kjemikalieforbruk					1	1	1		3	4,2
Kompakthet (areal og bygningsbehov)						1	1		2	2,8
Gjenbruk av eksisterende bygningsmasse						1	1		2	2,8
Fleksibilitet/modularitet (utvidelser og tilpassing til nye prosesser)				1		1	1		3	4,2
Driftsstabilitet og robusthet				1	1				2	2,8
Rensing bedre enn krav for parameterne P, N og BOF/KOF			1			1			2	2,8
Rensing av mikroplast			1			1			2	2,8
Rensing av miljøfremmede stoffer (DEHP, PFAS, legemidler, osv)			1			1			2	2,8
Rensing av smittestoffer (eks. TKB)			1			1			2	2,8
Slambehandling utover krav			1			1	1		3	4,2
Klimafotavtrykk			1	1	1	1	1		5	6,9
Ressurgjenvinning, fosfor					1	1			2	2,8
Lukt				1					1	1,4
Slamproduksjon og slamkonsentrasjon						1	1		2	2,8
Prosessens modenhet	Samfunn	20				1			1	1,7
Kompetansebehov				1				1	2	3,3
Innovasjonsgrad				1	1			1	3	5,0
Leverandørkonkurranse				1		1		1	3	5,0
Annen samfunnsnytte			1	1				1	3	5,0
Årskostnader / LCC	Økonomi	30								30,0
Sum pr. bærekraftsmål			7	8	6	15	8	4		

3.2 Evaluering og valg av prosesskombinasjoner til grovdimensjonering

Det er en rekke enhetsprosesser som det er mulig å benytte, og disse kan igjen kombineres på mange forskjellige måter. Enhetsprosesser som er vurdert er listet opp nedenfor. Det er forutsatt at alle prosesskombinasjoner har standard forbehandling, bestående av rist og sandfang med fettfangsone.

Alternativer som ble vurdert som primærrensetrinn:

- > Primærfiltrering
- > Forsedimentering
- > Forsedimentering med hydrolyse av primærslam (for evt. karbonkilde til bio-P prosess)
- > Forbedret forsedimentering (m/polymer)
- > Forfelling med sedimentering

Alternativer som ble vurdert for biologiske renseprosesser:

- > Aktivslam
- > Biofilm, BAF (biological aerated filter)
- > Biofilm, MBBR
- > IFAS (aktivslam + MBBR)
- > Granulært slam (Nereda)
- > Anammox-prosesser

Alternativer som ble vurdert for fosforfjerning:

- > Forfelling
- > Simultanfelling
- > Etterfelling
- > Bio-P med aktivslam

Bio-P med MBBR kan ikke vurderes, fordi prosessen ikke er ferdig utviklet for bruk i kombinasjon med fullverdig nitrogenfjerning.

Alternativer som ble vurdert for sekundær partikkelfjerning:

- > Sedimentering
- > Flotasjon
- > Membran
- > Trommelfilter/Skivefilter

Alternativer som ble vurdert som poleringstrinn:

- > Sandfilter (evt. med kjemisk felling)
- > Membran (evt. med kjemisk felling)
- > Skivefilter (evt. med kjemisk felling)

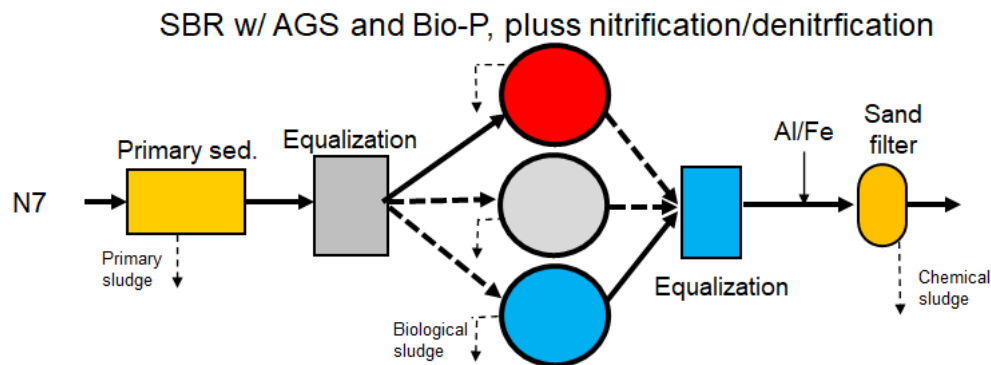
27 prosesskombinasjoner (N1-N27) av enhetsprosessene over ble vurdert for utvidelsen av Fuglevik renseanlegg. I en innledende grovsortering ble 6 prosesser valgt ut til grovdimensjonering, se Tabell 8. Disse prosessene hadde høyest poengsum basert på vekting av kriterier i Tabell 7 over. Det ble også lagt til en prosess (N15B) etter grovsorteringen. Denne

prosessen passer for en trinnvis utbygning, hvor man først etablerer enhetsprosesser i eksisterende anlegg for å kunne overholde sekundærrensekrav, for deretter å etablere rensetrinn i ny bygningsmasse for å overholde nitrogenfjerningskrav.

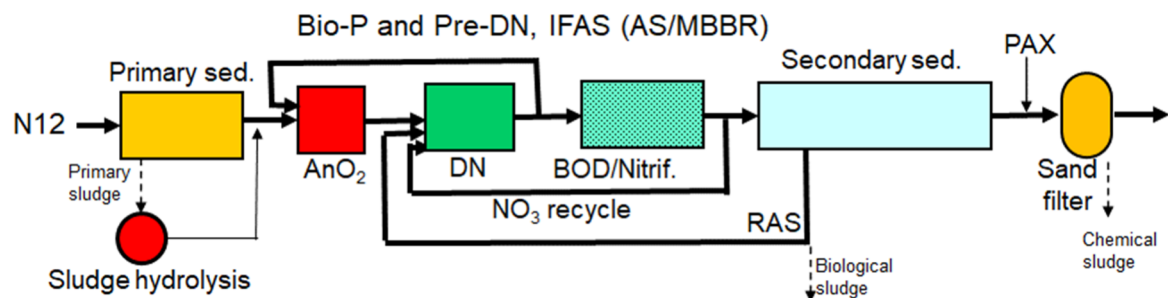
Tabell 8. Prosesskombinasjoner valgt ut til grovdimensjonering etter grovsortering.

Nr.	Prosesskombinasjon	Poengsum
N7	Forsedimentering + utjevning + SBR m/granulært slam, bio-P og nitrifisering-denitrifisering (eks. Nereda) + utjevning + felling på sandfilter	64
N12	Forsedimentering m/slamhydrolyse + IFAS m/bio-P og for-DN + sedimentering + felling på sandfilter	63
N15	Forsedimentering + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + kjemisk felling og flotasjon	65
N15B	Primærfiltrering + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + kjemisk felling og flotasjon	-
N22	Primærfiltrering + MBR m/bio-P og for-DN	68
N23	Primærfiltrering + IFAS-MBR m/bio-P og for-DN	69
N25	Forfelling m/sedimentering + MBBR m/etter-DN + kjemisk felling og flotasjon	63

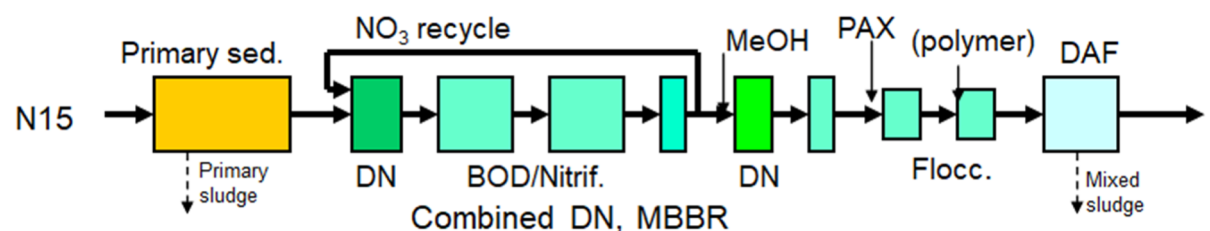
Figur 8 t.o.m. Figur 14 viser forenklede flytskjemaer for de 7 prosessene som er grovdimensjonert i forprosjektet.



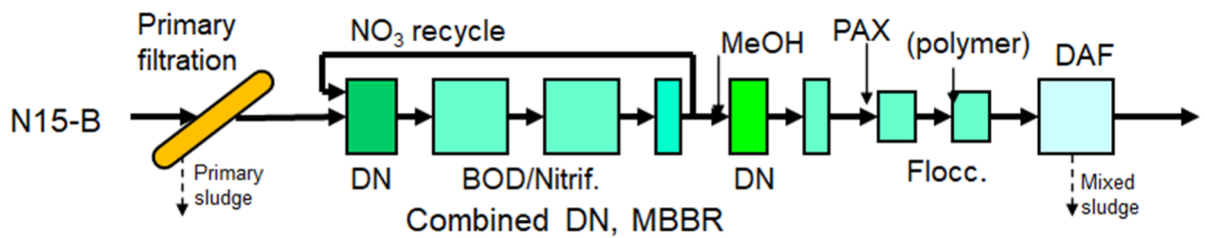
Figur 8. Forenklet flytskjema for prosesskombinasjonen med forsedimentering, SBR med granulært slam, bio-P og simultan nitrifisering-denitrifisering, felling på sandfilter.



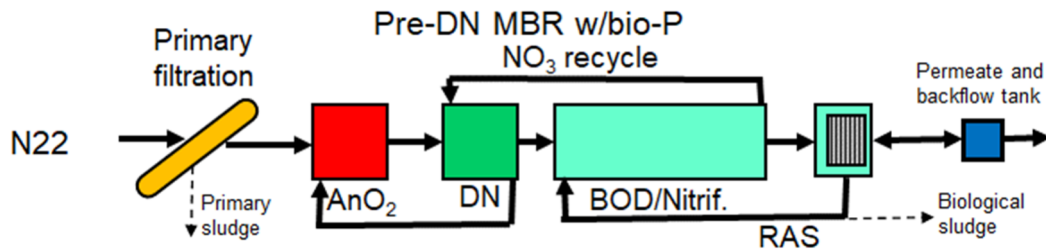
Figur 9. Forenklet flytskjema for prosesskombinasjonen med forsedimentering med slamhydrolyse, IFAS med bio-P og fordenitrifisering, sedimentering, felling på sandfilter.



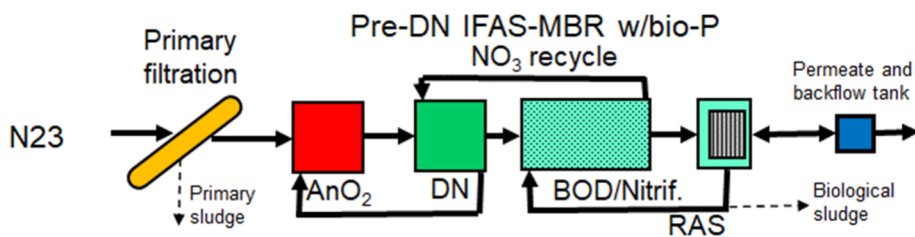
Figur 10. Forenklet flytskjema for prosesskombinasjonen med forsedimentering, MBBR med kombinert for- og etterdenitrifisering, kjemisk felling og flotasjon.



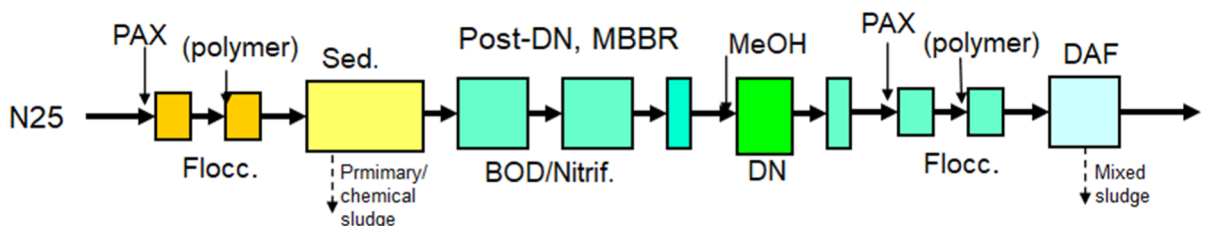
Figur 11. Forenklet flytskjema for prosesskombinasjonen med primærfiltrering, MBBR med kombinert for- og etterdenitrifisering, kjemisk felling og flotasjon.



Figur 12. Forenklet flytskjema for prosesskombinasjonen med primærfiltrering, MBR med bio-P og fordenitrifisering.



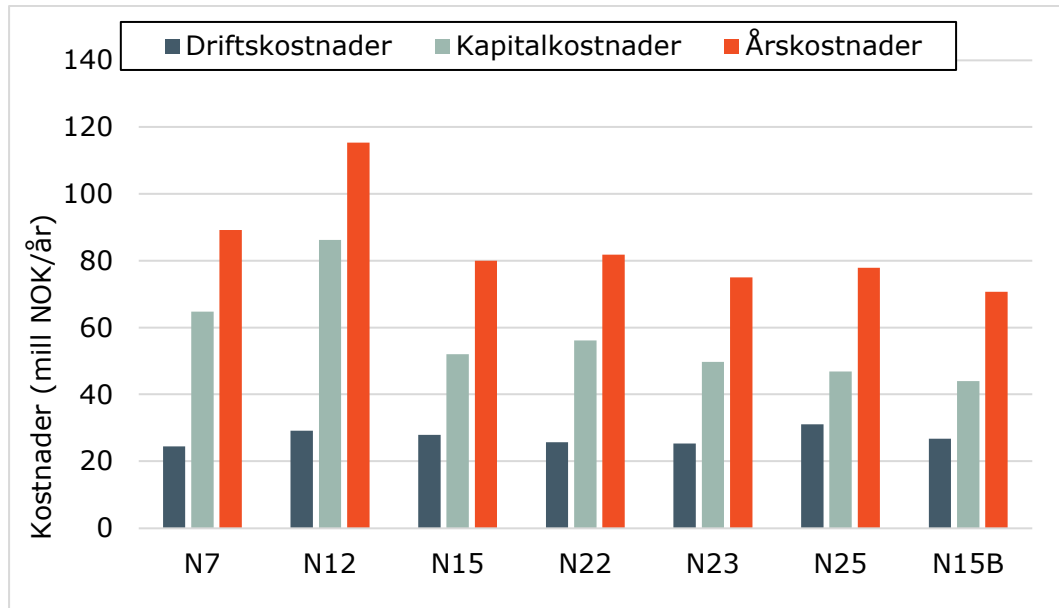
Figur 13. Forenklet flytskjema for prosesskombinasjonen med primærfiltrering, IFAS-MBR med bio-P og fordenitrifisering.



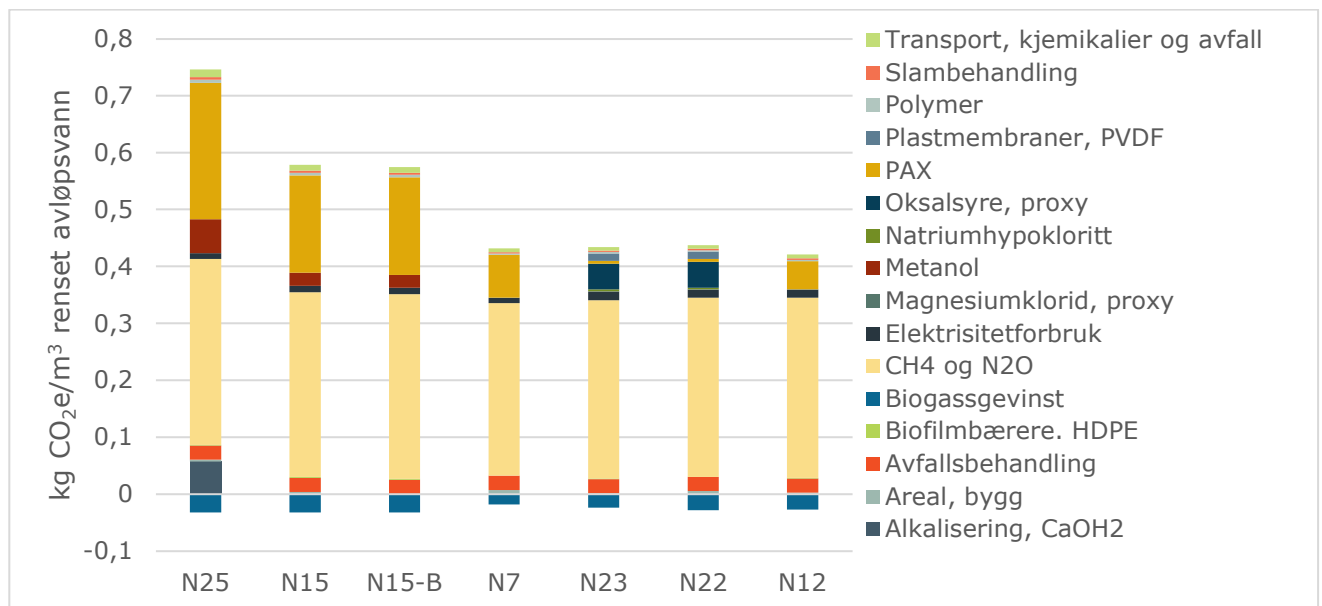
Figur 14. Forenklet flytskjema for prosesskombinasjonen med forfelling, MBBR med etterdenitrifisering, kjemisk felling og flotasjon.

3.3 Resultater fra grovdimensjonering og revidert evaluering

Grovdimensjoneringer ble gjennomført for de 7 utvalgte prosesskombinasjonene for å mer detaljert informasjon om de ulike evalueringskriteriene i Tabell 7 over. Det forutsettes at man benytter rejektivannrensning med anammox for å fjerne nitrogen fra rejektivann, og at belastningen fra returstrømmer dermed er neglisjerbar. Basert på grovdimensjoneringene ble det blant annet gjennomført grove kostnadsestimeringer for å finne drifts- og investeringskostnader og screening-LCA for å finne klimafotavtrykket for de 7 prosessene. Figur 15 viser hvordan estimerte årskostnader (summen av årlige kapital- og driftskostnader) varierer for de 7 prosesskombinasjonene. Figur 16 viser en sammenstilling av resultatet fra screening-LCA for beregning av klimafotavtrykket.



Figur 15. Årskostnader for grovdimensjonerte prosessalternativer



Figur 16. Resultat fra screening-LCA for klimagassutslipp

Figur 16 viser at de mest betydningsfulle bidragene til klimagassutslipp er utslipp av gassene metan (CH₄) og lystgass (N₂O), samt bruk av kjemikalier (PAX, metanol, oksalsyre). Den relativt beskjedne betydningen av egenproduksjon av biogass, skyldes at det i disse beregningene ble lagt som forutsetning av biogassen i sin helhet erstatter elektrisk energi og det ble brukt nordisk strømmiks for kvantifisering. Hadde man satt som forutsetning at biogass erstattet f.eks. fossilt drivstoff ville bidraget fra egenprodusert biogass vært betydelig høyere. Prosessene N22 og N23 er anlegg med biologisk fosforfjerning (bio-P) og partikkelseparasjon i membranlegg (såkalt MBR), og det er forutsatt at de vil klare rensekravene uten bruk av fellingkjemikalier.

Tabell 9 viser resultatet fra evalueringen etter gjennomført grovdimensjonering basert på de 21 evalueringskriteriene i Tabell 7.

Tabell 9. Evaluering av prosesskombinasjoner basert på evalueringskriterier i Tabell 7, etter grovdimensjonering

Prosess-kombinasjon	Poengsum etter grovsortering
N7	66,7
N12	56,6
N15	66,6
N15B	71,2
N22	72,5
N23	73,3
N25	63,2

N23 fikk mest poeng av de evaluerte prosessene. Dette er altså en prosess med primærfiltrering, IFAS-MBR med bio-P og fordenitrifisering. N22 fikk nest høyest poengsum, og er en prosess som er relativt lik N23 (N22 er en ren MBR-prosess mens N23 er en IFAS-MBR-prosess, som altså har biofilmbærere i tillegg til aktivslam). N22 er en konvensjonell prosess som er vanlig brukt, mens N23 er mindre utprøvd. Det ble imidlertid valgt å gå videre med N23 i forprosjektet, da fordelene med lavere kostnader og en mer kompakt løsning er foretrukket av MOVAR.

MOVAR ønsket også å gå videre med alternativ N15B, som har tredje høyest score. Denne prosessen kan bygges ut trinnvis, hvor man først etablerer enhetsprosesser i eksisterende anlegg for å kunne overholde sekundærrensekrav, for deretter å etablere rensetrinn i et nytt/utvidet anlegg for å overholde nitrogenfjerningskrav.

Prosesskombinasjonen N15B har altså lavere årskostnader enn N23. N15B kommer også bedre ut i prosessevalueringen når det gjelder energibehov, kompaktet, fleksibilitet/modularitet (utvidelse og tilpasning til nye prosesser), driftsstabilitet og robusthet, jf. vektning av evalueringskriterier i Tabell 7. Prosessen vil også kunne oppnå bedre rensing for parameterne P, N og BOF/KOF enn N23 (bedre enn krav) og det er flere tilgjengelige leverandører på markedet. Prosessen har også en fordel i at man kan bygge ut prosessen trinnvis, hvis det blir aktuelt.

N23 kommer imidlertid noe bedre ut totalt sett, med de evalueringskriterier og den vektning som er valgt i forprosjektet, jf. Tabell 7. Dette takket være lavere kjemikalieforbruk og klimafotavtrykk, bedre rensing av mikroplast, miljøfremmede stoffer og smittestoffer, mulighet for gjenvinning av fosfor og annen samfunnsnytte. Tabell 10 viser vektet poengscore for de forskjellige evalueringskriteriene for de to prosesskombinasjonene.

Tabell 10. Vektete poeng for ulike evalueringskriterier for prosesskombinasjon N15B og N23

Kriterier	Vekting	
	N15B	N23
Energiforbruk	3,25	0
Kjemikalieforbruk	2,94	5,00
Kompakthet (areal og bygningsbehov)	3,33	2,88
Gjenbruk av eksisterende bygningsmasse	2,00	2,00
Fleksibilitet/modularitet (utvidelser og tilpassing til nye prosesser)	3,25	2,50
Driftsstabilitet og robusthet	3,00	1,83
Rensing bedre enn krav for parameterne P, N og BOF/KOF	2,67	1,67
Rensing av mikroplast	2,83	3,33
Rensing av miljøfremmede stoffer (DEHP, PFAS, legemidler, osv)	2,00	2,83
Rensing av smittestoffer (eks. TKB)	2,17	3,33
Slambehandling utover krav	0	0
Klimafotavtrykk	5,20	8,00
Ressurgjenvinning, fosfor	0	3,33
Lukt	1,67	1,17
Slamproduksjon og slamkonsentrasjon	2,75	2,56
Prosessens modenhet	0,83	0,83
Kompetansebehov	1,08	0,50
Innovasjonsgrad	0	0,63
Leverandørkonkurranse	2,25	1,50
Annen samfunnsnytte	0	0,63
Årskostnader / LCC	30	28,8
Vektet SUM	71,2	73,3

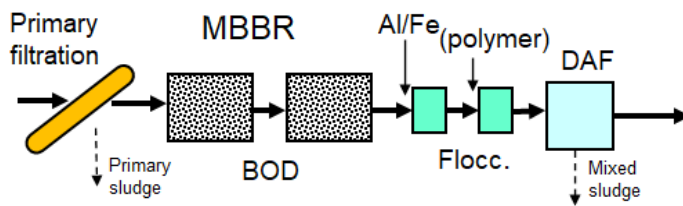
Det ble derfor valgt å gå videre med å dimensjonere to prosesskombinasjoner for vannbehandlingen:

- > Prosesskombinasjon 1: N15B - Primærfiltrering + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + kjemisk felling og flotasjon
- > Prosesskombinasjon 2: N23 - Primærfiltrering + IFAS-MBR m/bio-P og for-DN

Disse prosessene er foreløpig grovdimensjonert og denne dimensjoneringen er vist i kap. 3.4 og 3.5 nedenfor. Ytterligere dimensjonering vil bli foretatt for MOVARs endelige budsjettering, og i tillegg vil leverandører av renseprosessene gjennomføre sin egen dimensjonering når den tid kommer.

3.4 Dimensjonering av prosesskombinasjon 1: N15B (trinnvis utbygging)

Proessen bygges først ut for å overholde sekundærrensekrav, hvor primærfiltrering, MBBR, kjemisk felling og flotasjon plasseres i eksisterende bygg. For å få en kompakt løsning benyttes finsiler (roterende beltesiler eller trommelsiler) til primærfiltrering, MBBR til biologisk rensing og flotasjon til sluttseparering. Et forenklet flytskjema av denne prosesskombinasjonen er vist i Figur 17.



Figur 17. Forenklet flytskjema for prosesskombinasjonen med primærfiltrering, MBBR, kjemisk felling og flotasjon (trinn 1 av N15B).

Det dimensjoneres et anlegg med 10 st. Salsnes Filter SFK 600 i parallell. Bygget er litt for smalt til å ha 10 siler ved siden av hverandre. En fornuftig design vil da være å bygge et anlegg med totalt 10 st. SFK 600 siler, hvor vannet kommer inn i en senterkanal og fordeles på 5 st. SFK 600 siler på hver side av kanalen. Alternativt kan vannet føres inn i en kanal på hver side av filterrekkene, og samles i en senterkanal etter å ha gått gjennom sildukene. Med en slik design vil det være rom for å utvide anlegget med flere siler (maks 8 ekstra siler) dersom det skulle være ønskelig. Et finsilanlegg med 10 siler for et framtidig Fuglevik renseanlegg vil kreve et byggeareal på ca. 180 m², inklusive kanaler.

MBBR bygges i fire linjer med to bassenger i hver linje i eksisterende sedimenteringsbassenger. Vandndypet er 3,5 m. De grunne bioreaktorene gir høyere energiforbruk til luftingen, og primærsiling og flotasjon er også mer energikrevende enn sedimentering. I bioreaktorene vil det bli høye luftmengder i forhold til reaktortvolumene og dette kan øke sannsynligheten for skumming og behov for tilsetning av skumdemper. Det er imidlertid ikke tatt med skumdemper som en del av det kjemikaliebehovet som er vist i Tabell 11.

Det må legges inn et pumpetrinn for å løfte vannet ca. 1,0 m ut fra eksisterende sandfang for at det deretter skal kunne gå med selvfall gjennom finsiler, MBBR og flotasjonstrinn. Alternativt kan det gå med selvfall gjennom finsilene, og deretter løftes inn til MBBR.

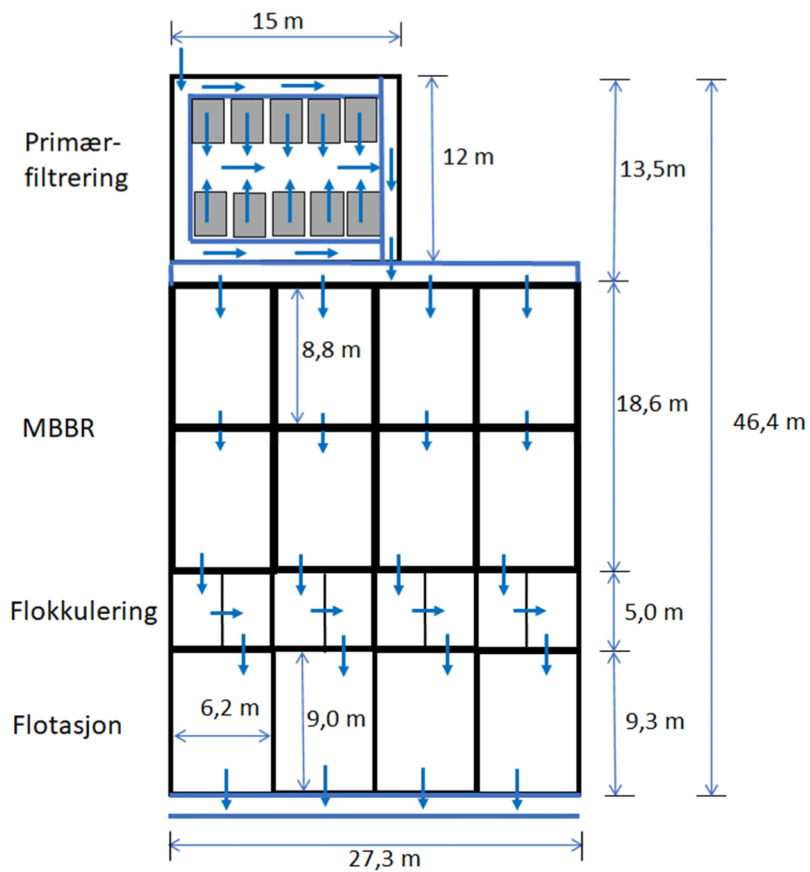
Tabell 11 viser nøkkeltall for trinn 1 av utbyggingen av prosess N15B, for å overholde sekundærrensekrav.

Total midlere slamproduksjon er beregnet til 11 474 kg TS/d, mens total dimensjonerende slamproduksjon er beregnet til 14 670 kg TS/d. Midlere og dimensjonerende energiforbruk til kun prosess (eksklusive innpumping til forbehandling og forbehandling) er estimert til henholdsvis 189 kW og 375 kW. Det er ikke behov for nytt areal til vannbehandlingsdelen i dette alternativet. Med betydelige ombygginger vil prosessenhetene få plass i eksisterende bygg.

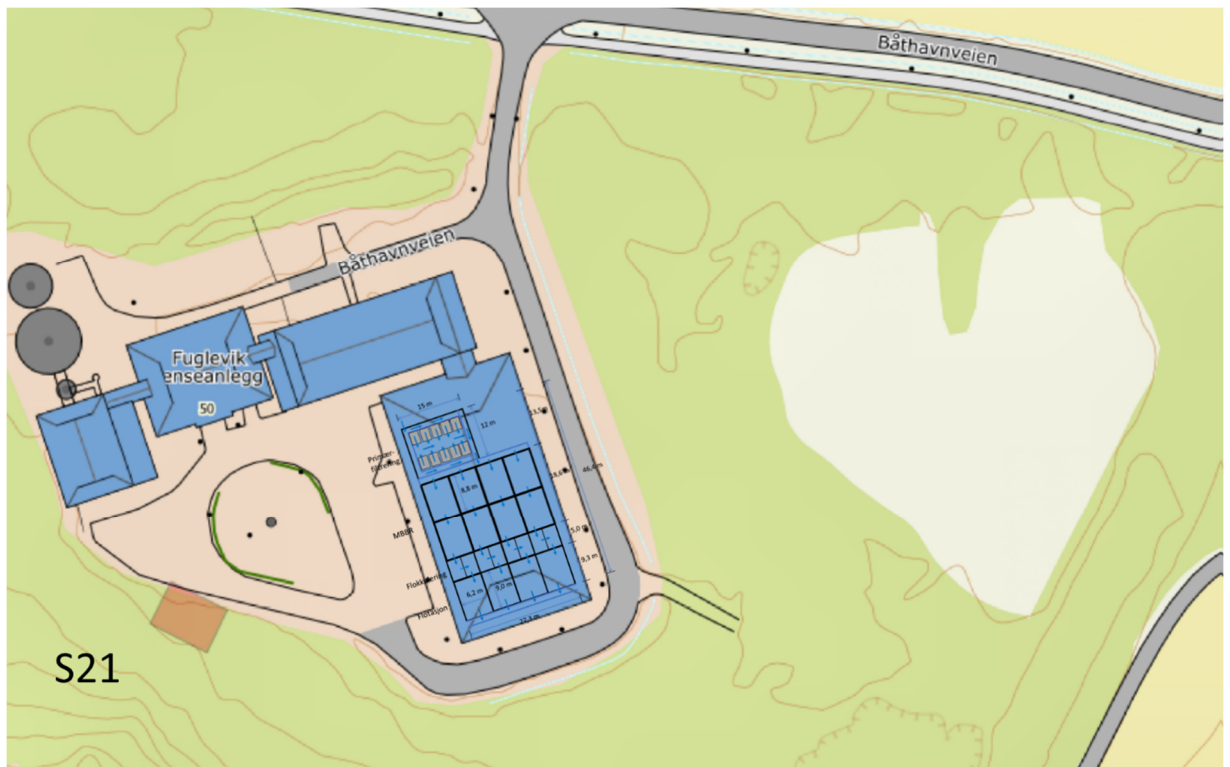
Tabell 11. Nøkkeldata for primærrensing med siler og sekundærrensing med MBBR prosess (trinn 1 av N15B).

Primærfiltrering:	
Salsnes SFK 600 primærsiler	10 stk., 22,2 m ² dykket sildukareal
Midlere energiforbruk	12 kW
Dimensjonerende energiforbruk	27 kW
Bioreaktorer:	
Vanddyp alle reaktorer	3,5 m
Diffusordyp	3,3 m
Biofilmbærer	BWT 15, 828 m ² /m ³
R1 BOF-reduksjon	4 x 250 m ³ = 1000 m ³ ; 60 % fyllingsgrad
R2 BOF-reduksjon	4 x 120 m ³ = 480 m ³ ; 60 % fyllingsgrad
Totalt bioreaktortvolum	1480 m ³ vått volum
Mengde biofilmbærere	888 m ³ ; 735264 m ² biofilmareal
Midlere oksygenbehov	138 kg O ₂ /h
Dimensjonerende oksygenbehov	264 kg O ₂ /h
Midlere luftbehov	8560 Nm ³ /h
Dimensjonerende luftbehov	17220 Nm ³ /h
Midlere energiforbruk til lufting	122 kW
Dimensjonerende energiforbruk til lufting	243 kW
Energiforbruk til pumping, midlere	5 kW
Energiforbruk til pumping, dimensjonerende	10 kW
Etterfelling:	
Kjemikaliebehov, midlere	3821 kg/d PAX-18
Kjemikaliebehov, dimensjonerende	4579 kg/d PAX-18
Polymerdosering, midlere	14 kg/d
Polymerdosering, dimensjonerende	18 kg/d
Flokkulering og partikkelseparasjon:	
Flokkulering (4 linjer, 2 reaktorer i serie)	375 m ³ totalt (hver reaktor 4,6 m L; 3,0 m B; 3,4 m D)
Flotasjon (4 linjer)	221 m ² totalt (9,0 m L; 6,2 m B; 3,4 m D per linje)
Midlere energiforbruk	50 kW
Dimensjonerende energiforbruk	95 kW
Dimensjonerende slamproduksjon (90-persentil):	
Primærslam	5105 kg TS/d
Biologisk slam	7631 kg TS/d
Kjemisk slam	2473 kg TS/d
Tapt i utløp (15 mg/l)	540 kg TS/d
Samlet slamproduksjon	14670 kg TS/d
Midlere slamproduksjon:	
Primærslam	3931 kg TS/d
Biologisk slam	5913 kg TS/d
Kjemisk slam	2063 kg TS/d
Tapt i utløp (15 mg/l)	432 kg TS/d
Samlet slamproduksjon	11474 kg TS/d

En mulig utforming av anlegget er skissert i Figur 18. Denne skissen viser at man trenger en lengde på 46,4 m pluss at eksisterende utløpskanaler benyttes. Fra endeveggen på eksisterende sedimenteringsbassenger og til nordre vegg på eksisterende flokkuleringsbassenger er det 47,3 m, så det er så vidt plass til den viste prosessløsningen. Et eksempel på en mulig situasjonsplan er vist i Figur 19. Prosessen er lite fleksibel i den forstand at dersom man må gjøre vedlikehold på enten MBBR eller fellingstrinnet i ei av linjene må hele linja stenges. Med 4 linjer bør imidlertid dette gå greit for kortere perioder.



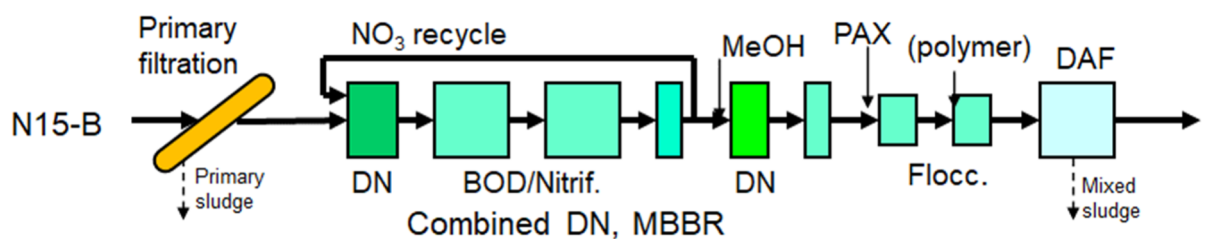
Figur 18. Eksempel på utforming av sekundærrensing med primærfiltrering, MBBR, kjemisk felling og flotasjon (trinn 1 av N15B)



Figur 19. Eksempel på situasjonsplan for sekundærrensing med primærfiltrering, MBBR, kjemisk felling og flotasjon (trinn 1 av N15B)

I neste byggetrinn blir anlegget utvidet for å overholde nitrogenfjerningskrav. Det blir etablert nye volumer for fordenitrifisering, BOF-reduksjon, nitrifisering og oksygenreduksjon i et tilbygg. Det forutsettes at man benytter rejektivannrensing med anammox for å fjerne nitrogen fra rejektivann, og at belastningen fra returstrømmer dermed er neglisjerbar. Etterdenitrifisering og etterlufting blir plassert i eksisterende anlegg (i MBBR-volumene fra trinn 1). Dersom belastningen i trinn 1 (når anlegget skal overholde sekundærrensekrav) ikke kommer over ca. 80 % av dimensjonerende belastning før utvidelse til N-fjerning, kan det brukes BWT-X-bærere med et spesifikt biofilmareal på $650 \text{ m}^2/\text{m}^3$ i trinn 1-utbyggingen (istedenfor BWT15-bærere med et spesifikt overflateareal på $828 \text{ m}^2/\text{m}^3$).

Et forenklet flytskjema av prosesskombinasjonen med primærfiltrering, MBBR med kombinert for- og etter-denitrifisering, kjemisk felling og flotasjon (trinn 2 av N15B) er vist i Figur 20.



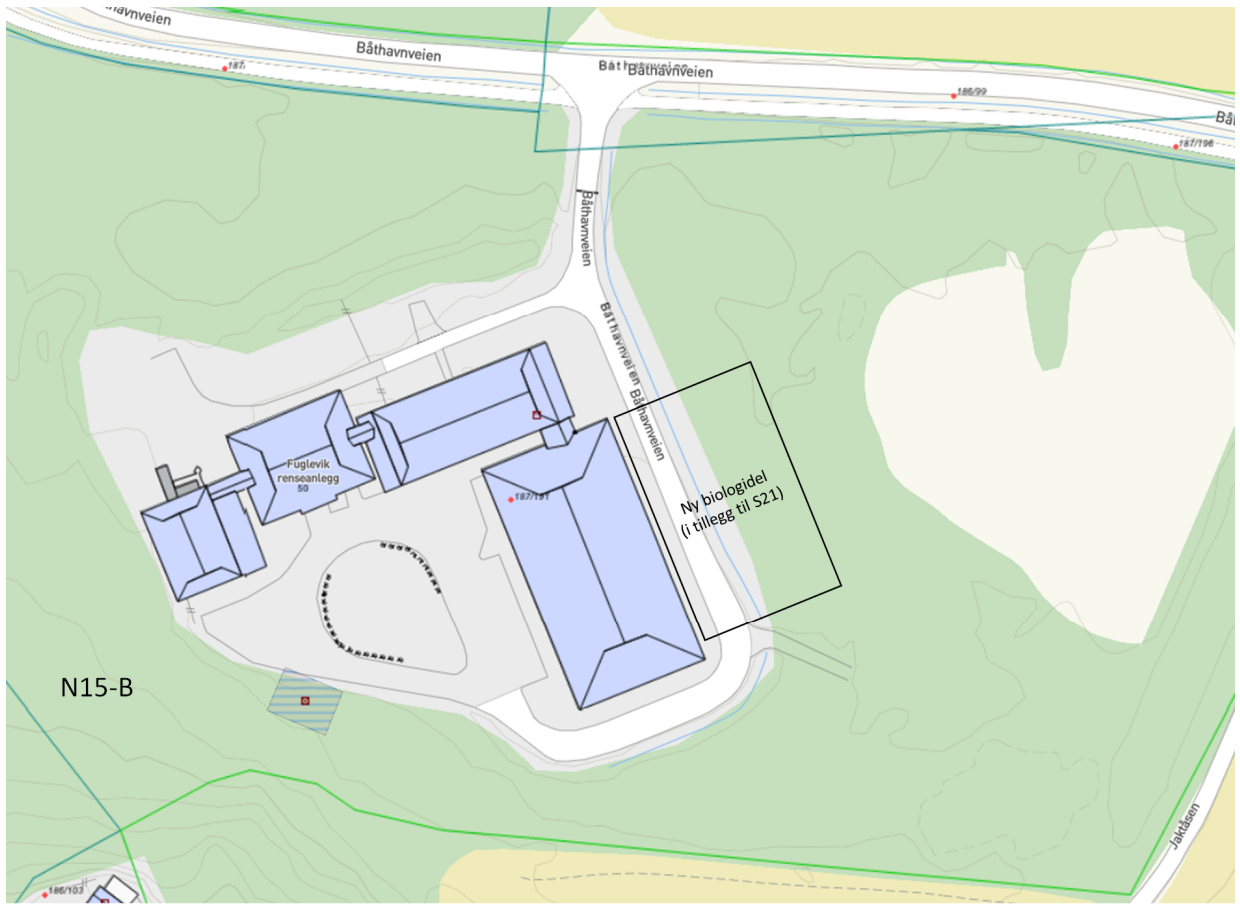
Figur 20. Forenklet flytskjema for prosesskombinasjonen med primærfiltrering, MBBR med kombinert for- og etter-denitrifisering, kjemisk felling og flotasjon.

Tabell 12 viser nøkkeltall for trinn 2 av utbyggingen av prosess N15B, for å overholde nitrogenfjerningskrav.

Total midlere slamproduksjon er beregnet til $11\,210 \text{ kg TS/d}$, mens total dimensjonerende slamproduksjon er beregnet til $12\,920 \text{ kg TS/d}$. Midlere og dimensjonerende energiforbruk til kun prosess (eksklusive innpumping til forbehandling og forbehandling) er estimert til henholdsvis 474 kW og 695 kW . Behovet for nytt areal til vannbehandlingsdelen av anlegget er estimert til 1850 m^2 . Et eksempel på en mulig situasjonsplan er vist i Figur 21.

Tabell 12. Nøkkeldata for prosesskombinasjonen med primærsiling, MBBR med kombinert for- og etter-denitrifisering, kjemisk felling og flotasjon (N15-B).

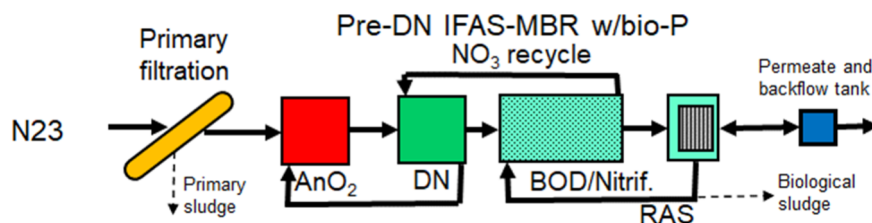
Primærfiltrering:	
Salsnes SFK 600 primærsiler	10 stk., 22,2 m ² dykket sildukareal
Midlere energiforbruk	12 kW
Dimensjonerende energiforbruk	27 kW
Bioreaktorer:	
Biofilmbærer	BWXT, 650 m ² /m ³
R1 For-denitrifisering (6,5 m vanndyp)	3 x 1140 m ³ = 3420 m ³ ; 60 % fyllingsgrad
R2 BOF-red./Nitrifisering (6,5 m vanndyp)	3 x 730 m ³ = 2190 m ³ ; 65 % fyllingsgrad
R3 Nitrifisering (6,5 m vanndyp)	3 x 1245 m ³ = 3735 m ³ ; 65 % fyllingsgrad
R4 Oksygenreduksjon (6,5 m vanndyp)	3 x 120 m ³ = 360 m ³ ; 55 % fyllingsgrad
R5 Etter-denitrifisering (3,5 m vanndyp)	4 x 250 m ³ = 1000 m ³ ; 50 % fyllingsgrad (30 % overkap.)
R6 Etterlufting (3,5 m vanndyp)	4 x 120 m ³ = 480 m ³ ; 50 % fyllingsgrad
Totalt bioreaktorvolum	11 185 m ³ vått volum
Mengde biofilmbærere	6841 m ³ ; 4.446.650 m ² biofilmareal
Midlere oksygenbehov	382 kg O ₂ /h
Dimensjonerende oksygenbehov	465 kg O ₂ /h
Midlere luftbehov	13703 Nm ³ /h
Dimensjonerende luftbehov	19266 Nm ³ /h
Midlere energiforbruk til lufting	334 kW
Dimensjonerende energiforbruk til lufting	471 kW
Energiforbruk til omrøring	54 kW
Energiforbruk til pumping, midlere	24 kW
Energiforbruk til pumping, dimensjonerende	48 kW
Metanolforbruk, midlere	1097 kg/d
Metanolforbruk, dimensjonerende	1392 kg/d
Etterfelling:	
Kjemikaliebehov, midlere	2891 kg/d PAX-18
Kjemikaliebehov, dimensjonerende	4342 kg/d PAX-18
Polymerdosering, midlere	14 kg/d
Polymerdosering, dimensjonerende	18 kg/d
Flokkulering og partikkelseparasjon:	
Flokkulering (4 linjer, 2 reaktorer i serie)	375 m ³ totalt (hver reaktor 4,6 m L; 3,0 m B; 3,4 m D)
Flotasjon (4 linjer)	221 m ² totalt (9,0 m L; 6,2 m B; 3,4 m D per linje)
Midlere energiforbruk	50 kW
Dimensjonerende energiforbruk	95 kW
Dimensjonerende slamproduksjon (80-persentil):	
Primærslam	4527 kg TS/d
Biologisk slam	6587 kg TS/d
Kjemisk slam	2345 kg TS/d
Tapt i utløp (15 mg/l)	540 kg TS/d
Samlet slamproduksjon	12 919 kg TS/d
Midlere slamproduksjon:	
Primærslam	3931 kg TS/d
Biologisk slam	5576 kg TS/d
Kjemisk slam	2139 kg TS/d
Tapt i utløp (15 mg/l)	432 kg TS/d
Samlet slamproduksjon	11 213 kg TS/d
Estimert (netto) arealbehov:	ca. 1850 m ²



Figur 21. Eksempel på situasjonsplan for nitrogenfjerning med prosessalternativ N15B.

3.5 Dimensjonering av prosesskombinasjon 1: N23

Prosessten består av primærfiltrering, IFAS-MBR med bio-P og fordenitrifisering. Et forenklet flytskjema av prosesskombinasjonen er vist i Figur 22. Primærfiltrering er valgt for å beskytte membranene mot hår og andre fiber i avløpsvannet. Det er forutsatt at primærfiltreringen fjerner 45 % SS og 27 % BOD₅. Det forutsettes at man benytter rejektivannrensing med anammox for å fjerne nitrogen fra rejektivann, og at belastningen fra returstrømmer dermed er neglisjerbar.



Figur 22. Forenklet flytskjema for prosesskombinasjonen med primærfiltrering, IFAS-MBR med bio-P og fordenitrifisering.

Fordi den anaerobe reaktoren i bio-P prosessen er meget følsom for oksygen, og vi heller ikke ønsker at oksygen i anaerobe og anoksiske reaktorer skal unødigg forbruke tilgjengelig

karbonkilde, blir det mange resirkuleringsstrømmer i denne prosessen. Disse resirkuleringsstrømmene er en stor utfordring, fordi vannet må gjennom siler som skal sørge for at biofilmbærerne holder seg på plass i den aerobe IFAS-reaktoren. Med en returslammengde fra membrantanken på 3 ganger innløpsvannmengden, og en resirkulering av nitrifisert vann fra IFAS-reaktoren til fordenitrifisering blir samlet vannmengde gjennom silene i utløpet fra IFAS-reaktoren på 7 ganger innkommende vannmengde. Dette krever et meget stort silareal og det vil være en stor utfordring å designe en reaktor med tilstrekkelig silareal og en god hydraulisk utforming.

For å unngå ekstremt høye flukser på membranen kjøres vannmengder mellom 2100 m³/h og 2650 m³/h i omløp, og renses med kjemisk felling, flokkulering og sedimentering i 1 linje i eksisterende bassenghall. Dette gir $v_{f, maks}$ på 2,1 m/h. Det er grovt estimert at mindre enn 5 % av vannmengden blir behandlet med primærfelling, og at vannet da er ganske tynt med ca. halvparten av de innløpskonsentrasjonene man har ved normal tilrenning. I gjennomsnitt over året vil dette tilsvare et forbruk av fellingskjemikalier på bare 100-110 kg PAX-18/d og ca. 150 kg TS/d med en blanding av primærslam og kjemisk slam.

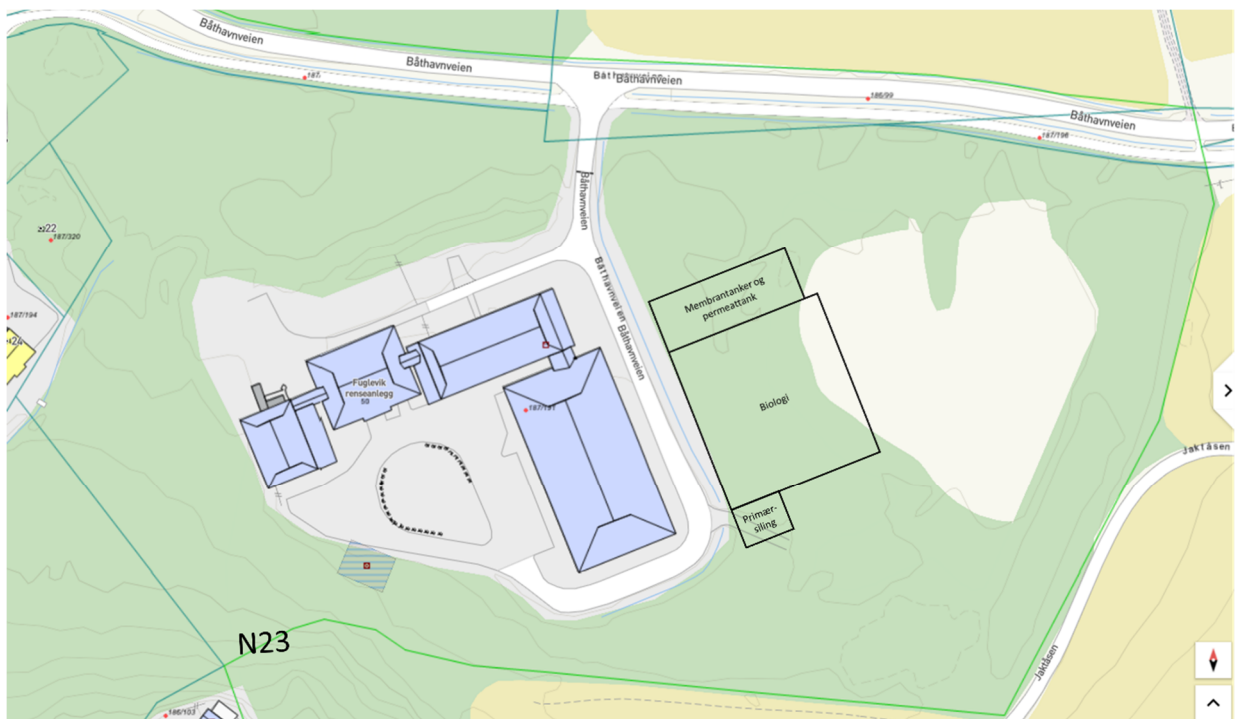
Membranpakkene som er brukt i dette eksempelet har en høyde på 2,59 m. Det må være litt vann både over og under pakkene på grunn av membranluftingen. Bassengene i eksisterende bassenghall skulle imidlertid være dype nok, men takhøyden i hallen er for lav til å løft membranpakkene ut for periodisk vedlikehold. Membranpakkene må derfor plasseres i et nybygg. Arealbehovet inklusive vegger og rørføringer vil være på ca. 700 m², inklusive permeattanken.

En sedimenteringslinje i eksisterende bassenghall brukes til primærfelling ved høye vannmengder, mens deler av arealet i de tre ledige bassengene brukes til plassering av primærsiler og pumpestasjon. Nøkkeldata for prosesskombinasjonen med primærfiltrering, IFAS-MBR med bio-P og fordenitrifisering er vist i Tabell 13.

Total midlere slamproduksjon er beregnet til 8320 kg TS/d, mens total dimensjonerende slamproduksjon er beregnet til 10 070 kg TS/d. Midlere og dimensjonerende energiforbruk til kun prosess (eksklusive innpumping til forbehandling og forbehandling) er estimert til henholdsvis 677 kW og 955 kW. Behovet for nytt areal til vannbehandlingsdelen av anlegget er estimert til 3040 m² med nybygg til membrantankene, slik som indikert i Figur 23.

Tabell 13. Nøkkeldata for prosesskombinasjonen med primærfiltrering, IFAS-MBR med bio-P og fordenitrifisering.

Primærfiltrering:	
Salsnes SFK 600 primærsiler	10 stk., 22,2 m ² dykket sildukareal
Midlere energiforbruk	12 kW
Dimensjonerende energiforbruk	27 kW
Bioreaktorer:	
Anaerobe reaktorer (bio-P)	3 x 1314 m ³ = 3942 m ³ vått volum
Anoksiske reaktorer (fordenitrifisering)	3 x 1171 m ³ = 3513 m ³ vått volum
Aerobe IFAS reaktorer	3 x 1730 m ³ = 5190 m ³ vått volum
Biofilmbærere i IFAS reaktorer (BWT-X)	2855 m ³ ; 1.855.750 m ² ; 55 % fylling
Totalt reaktorvolum	12645 m ³ vått volum
Slamkonsentrasjon, anaerobe reaktorer	5,06 kg SS/m ³
Slamkonsentrasjon, anoksiske reaktorer	6,75 kg SS/m ³
Slamkonsentrasjon, aerobe reaktorer	9,0 kg SS/m ³
Midlere oksygenbehov	428 kg O ₂ /h
Dimensjonerende oksygenbehov	547 kg O ₂ /h
Midlere luftbehov	13372 Nm ³ /h
Dimensjonerende luftbehov	16838 Nm ³ /h
Midlere energiforbruk til lufting	330 kW
Dimensjonerende energiforbruk til lufting	416 kW
Energiforbruk til omrøring	75 kW
Energiforbruk til pumping, midlere	83 kW
Energiforbruk til pumping, dimensjonerende	112 kW
Membrantanker:	
Kassetter med ZW500D	48 moduler per kassett, 1651,2 m ²
Kassetter per membrantank	8
Antall membrantanker	8
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 ³
Totalt membranareal	105677 m ²
Fluks med 8 membrantanker i drift	11,4 l/m ² -h ved Q _{middel} ; 14,2 l/m ² -h ved Q _{dim} ; 19,9 l/m ² -h ved Q _{maksdim}
Fluks med 7 membrantanker i drift	13,0 l/m ² -h ved Q _{middel} ; 16,2 l/m ² -h ved Q _{dim} ; 22,7 l/m ² -h ved Q _{maksdim}
Slamkonsentrasjon i membrantanker	12 kg SS/m ³
Luft for rengjøring av membraner, midlere	10680 Nm ³ /h med ca. 3,2 m diffusordyp
Luft for rengjøring av membraner, maksimal	21360 Nm ³ /h med ca. 3,2 m diffusordyp
Midlere energiforbruk til lufting	148 kW
Dimensjonerende energiforbruk til lufting	296 kW
Permeatpumper, dimensjonerende kapasitet	8 x 335 m ³ /h, maks. undertrykk 5,5 mVS
Tilbakespylingspumper, dim. kapasitet	8 x 335 m ³ /h, maks. trykk 5,5 mVS
Midlere energiforbruk til permeat- og tilbakespylingspumper	29 kW
Permeattank	100 m ³
Membranvask, natriumhypokloritt (10 %)	45 tonn/år
Membranvask, oksalsyre (10 %)	214 tonn/år
Kjemisk felling (av vann i omløp):	
Kjemikaliebehov, midlere	100 kg/d PAX-18
Dimensjonerende slamproduksjon (80-persentil):	
Primærslam	4527 kg TS/d
Biologisk	5547 kg TS/d
Tapt i utløp	0 kg TS/d
Samlet slamproduksjon	10074 kg TS/d
Midlere slamproduksjon:	
Primærslam	3931 kg TS/d
Biologisk	4392 kg TS/d
Tapt i utløp	0 kg TS/d
Fra kjemisk felling av vann i omløp	150 kg TS/d
Samlet slamproduksjon	8473 kg TS/d
Estimert arealbehov:	ca. 2510 m ²

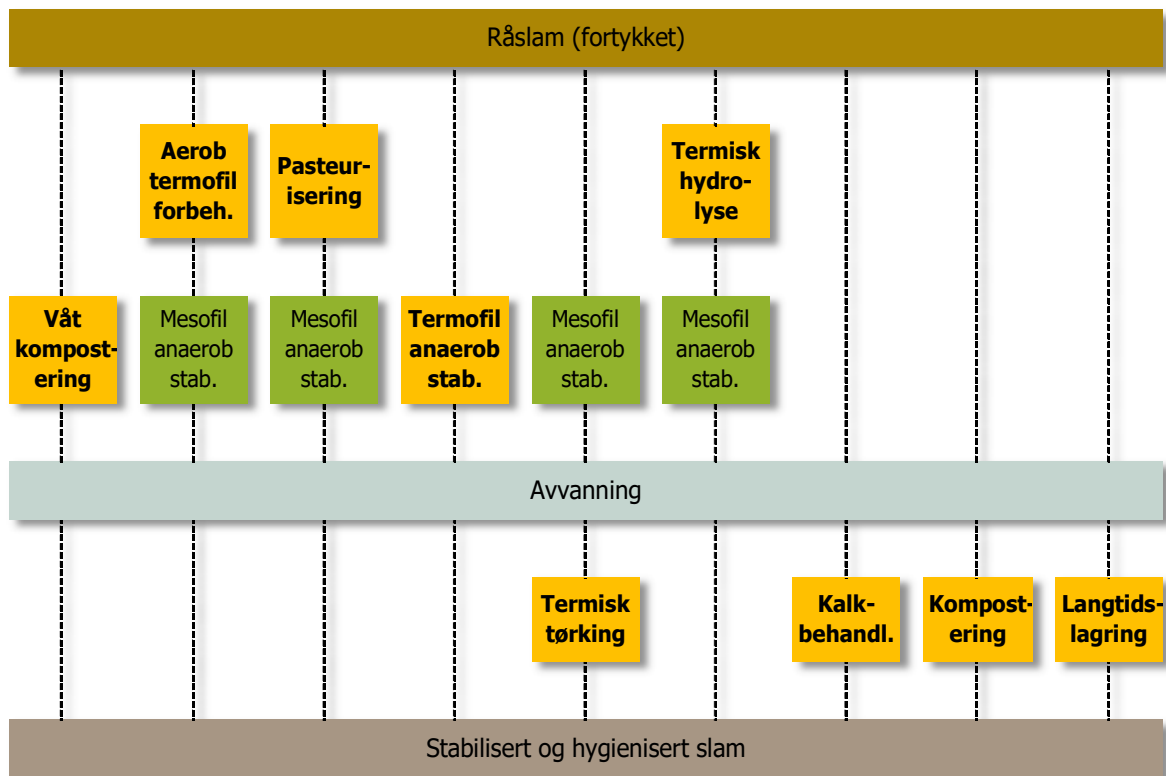


Figur 23. Eksempel på situasjonsplan for nitrogenfjerning med prosessalternativ N23.

4 Fremtidig prosessløsning – slambehandling

4.1 Generelt om slambehandling

For å oppfylle kravene i gjødselvereforskriften om stabilisering og hygienisering av avløpsslam, benyttes det i Norge i dag ulike behandlingsmetoder (se Figur 24). Noen av metodene kan gi både stabilisering og hygienisering av slamm i én prosess, mens de fleste omfatter en kombinasjon av prosesser for å oppnå både stabilisering og hygienisering.



Figur 24. Slambehandlingsmetoder som kan gi et stabilisert og hygienisert slam, basert på validering av metodene mhp inaktivering av parasittegg (*Ascaris suum*). De gule boksene utgjør hygieniseringstrinnet for hver metode.

I tillegg til de hovedprosessene som er vist i Figur 24 er det under utvikling flere innovative prosesser for behandling av avløpsslam, som til dels er tatt i bruk i andre land, men som ikke finnes i fullskala i Norge. Dette gjelder blant annet pyrolyse og HTC (hydrotermisk karbonisering). Forbrenning er også en mulig teknologi, men en tidligere utredning (Paulsrud og Blytt, 2012) har vist at det ikke er noen renseanlegg i Norge som er store nok til at forbrenning av slam vil være aktuelt.

Noen av de hovedprosessene som er vist i Figur 24 er i utgangspunktet vurdert som ikke aktuelle. De er ikke bærekraftige for et anlegg av nye Fuglevik sin størrelse og derfor ikke forenlig med MOVAR sin visjon. Dette gjelder:

- > Våtkompostering, som kommer dårlig ut med hensyn på energi
- > Kalkstabilisering (Orsa-metoden), som har høyt klimafotavtrykk
- > Kompostering, som kommer dårlig ut med hensyn på kostnader og energi
- > Langtidslagring, som krever store arealer og ikke utnytter energiressursene i slamm

4.2 Aktuelle enhetsprosesser

Aktuell enhetsprosess for fortykking:

- > Fortykkermaskiner

Aktuelle enhetsprosesser for avvanning:

- > Sentrifuger
- > Skruepresser
- > Filterpresser

Aktuelle enhetsprosesser for hygienisering:

- > Aerob termofil forbehandling
- > Pasteurisering
- > Termisk hydrolyse (THP)

Aktuell enhetsprosess for stabilisering:

- > Mesofil anaerob stabilisering
- > Aktuelle enhetsprosesser som kombinerer hygienisering og stabilisering:
- > Termofil anaerob stabilisering
- > Termisk tørking
- > Pyrolyse
- > Hydrotermisk karbonisering (HTC)

I tillegg kan det bli aktuelt med tilsettinger (f.eks. kalk) til ferdig behandlet slam for å gjøre det mer attraktivt for bøndene. Dette vil imidlertid ikke inngå i våre vurderinger av valg av slambehandlingsprosess.

4.3 Aktuelle prosesskombinasjoner

De 15 prosesskombinasjoner for slambehandling som er vurdert som mest aktuelle for nye Fuglevik RA er presentert i Tabell 14. Hvor flere prosessalternativer er relativt likeverdige er de valgt å bare inkludere de alternative som best kan utnytte eksisterende infrastruktur på Fuglevik renseanlegg. Dette er gjort for å få en viss spredning av enhetsprosesser som vurderes.

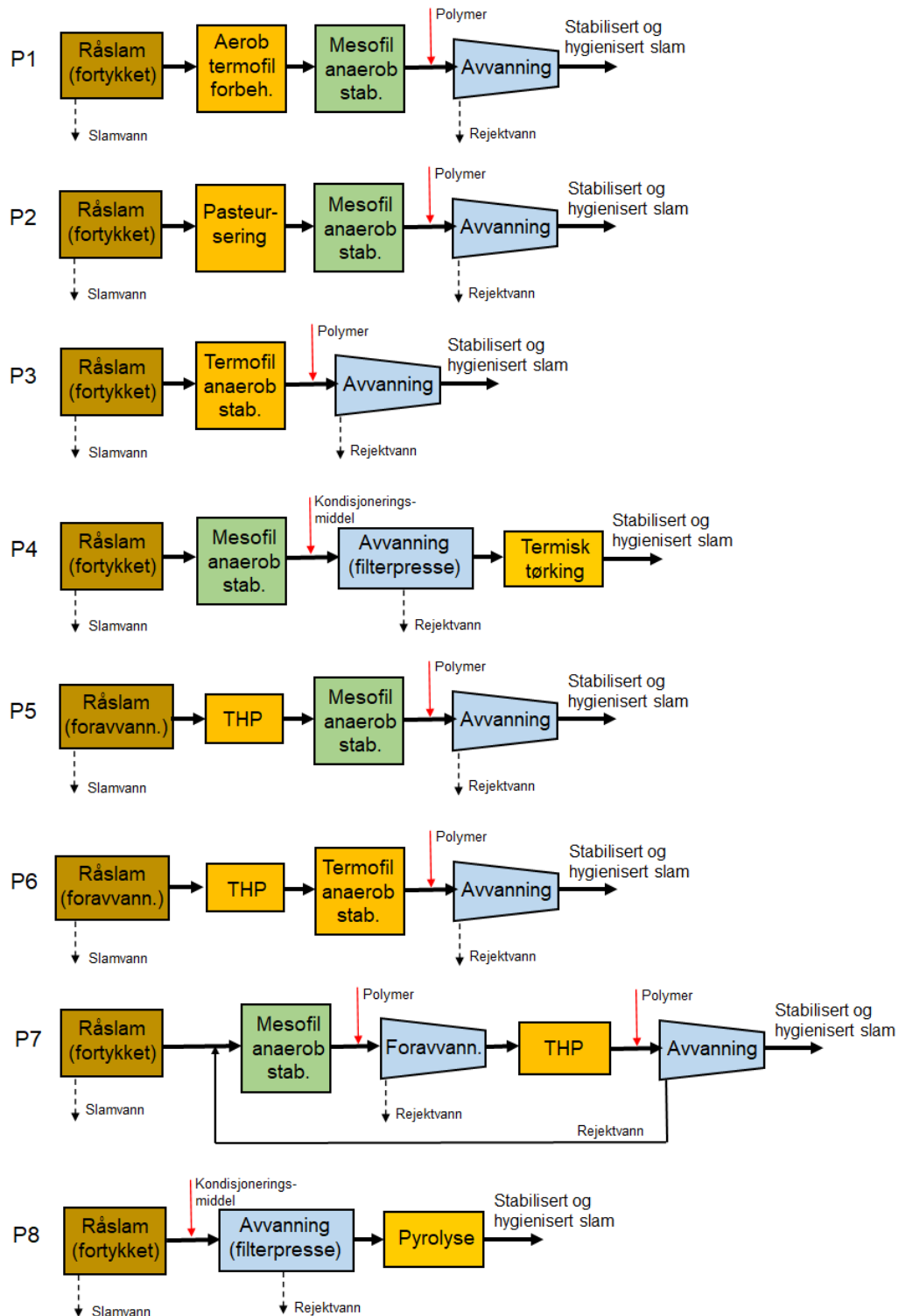
Det gjøres oppmerksom på at det for slambehandling, i større grad enn ved vannbehandling, gjennomgående er større innslag av «leverandørprosjektering». Dette vil være enten fordi prosessene er proprietære, eller fordi det er leverandørspesifikke løsninger, som det ikke vil være aktuelt for en anleggseier og/eller rådgiver å begi seg inn på, hverken for overordnede beregninger eller mer detaljert prosjektering. Man vil for slike prosesser være avhengig av innspill fra aktuelle leverandører i forbindelse med planlegging.

Tabell 14. Prosesskombinasjoner valgt ut til evaluering

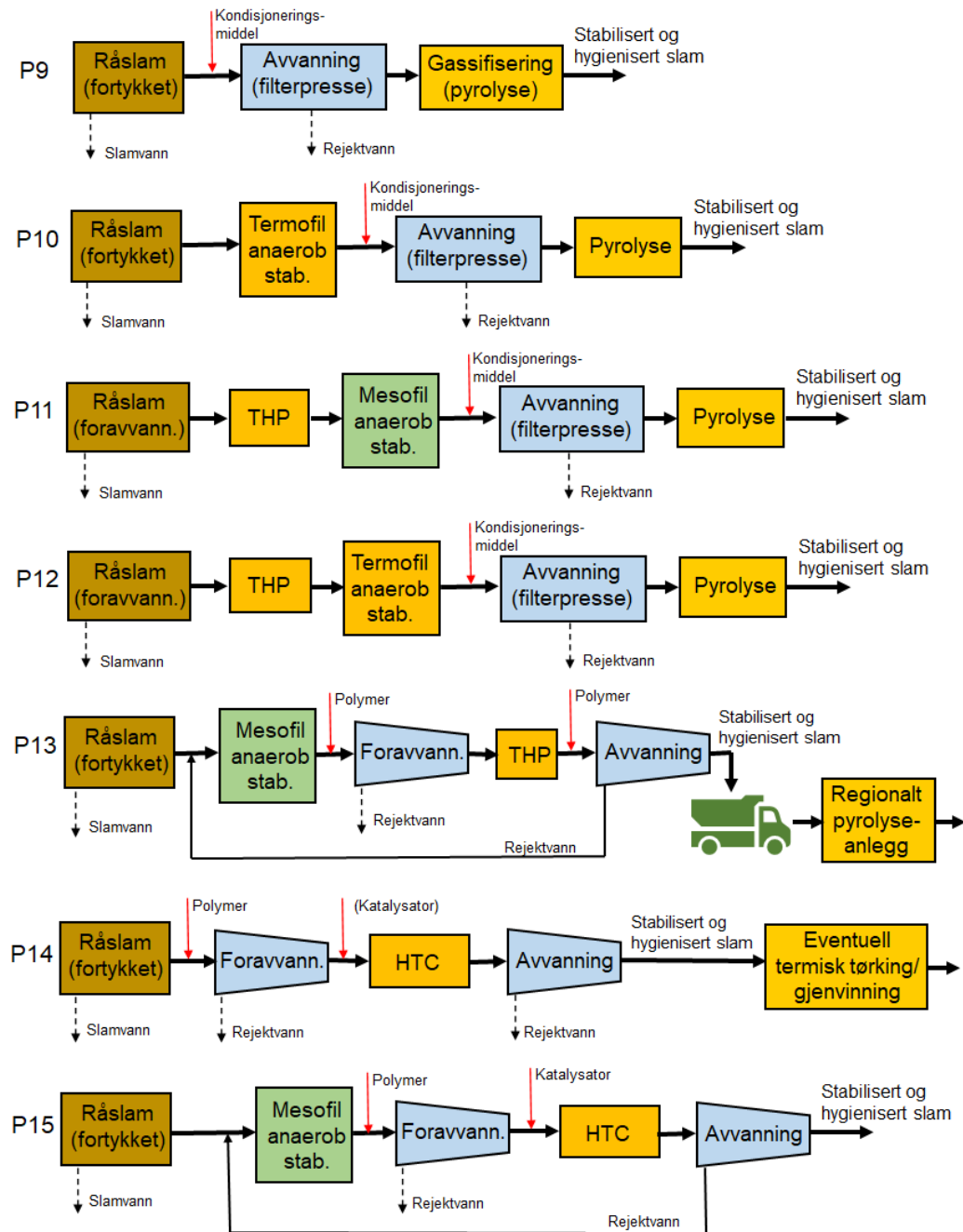
Nr.	Kort beskrivelse
P1	Fortykk. + aerob termofil forbeh. + mesofil anaerob stab. (ATAD) + avvanning
P2	Fortykk. + pasteurisering + mesofil anaerob stab. + avvanning
P3	Fortykk. + termofil anaerob stab. + avvanning
P4	Fortykk. + mesofil anaerob stab. + avvanning (filterpresse) + termisk tørking
P5	Fortykk./foravvann. + THP + mesofil anaerob stab. + avvanning
P6	Fortykk./foravvann. + THP + termofil anaerob stab. + avvanning
P7	Fortykk. + mesofil anaerob stab. + foravvanning + THP + sluttavanning
P8	Fortykk. + avvanning (filterpresse) + pyrolyse
P9	Fortykk. + avvanning (filterpresse) + gassifisering (pyrolyse)
P10	Fortykk. + termofil anaerob stab. + avvanning (filterpresse) + pyrolyse
P11	Fortykk./foravvann. + THP + mesofil anaerob stab. + avvanning (filterpresse) + pyrolyse
P12	Fortykk./foravvann. + THP + termofil anaerob stab. + avvanning (filterpresse) + pyrolyse
P13	Fortykk. + mesofil anaerob stab. + foravvann. + THP + sluttavann. + transp. til reg. anlegg + pyrolyse
P14	Fortykk. + avvanning + (katalysator) + HTC + sluttavvanning (+ tørking/gjenvinning)
P15	Fortykk. + mesofil anaerob stab. + foravvanning + katalysator + HTC + sluttavvanning

Slambehandlingsprosessene må tilpasses de vannbehandlingsprosessene som velges. Prosesskombinasjonen N23 (primærfiltrering + IFAS-MBR m/bio-P og for-DN), som er en av de to vannbehandlingsprosessene som det er valgt å gå videre med i forprosjektet, har en midlere slamproduksjon på 8,3 tonn TS/d og det er mulig å gjenvinne fosfor fra rejektivannet. Dersom en bio-P-prosess ikke kombineres med anaerob stabilisering, kan gjenvinning av fosfor (utfelling av struvitt) bare skje dersom det biologiske slammet føres til en egen reaktor for anaerob slamhydrolyse. I denne reaktoren vil det produseres eddiksyre som vil gjøre at fosforet løses ut og deretter kan fjernes som struvitt. Det er usikkert hvor godt biologisk slam som bare har vært gjennom et anaerobt syretrinn vil kunne avvannes.

Figur 20 nedenfor viser enkle flytskjemaer av slambehandlingsprosessene P1-P15 i Tabell 14. I Tabell 15 er de 15 prosesskombinasjonene illustrert i Figur 20 beskrevet noe mer utdypende.



Figur 25. Forenklede flytskjema for aktuelle slambehandlingsprosesser (del 1).



Figur 25. Forenklede flytskjema for aktuelle slambehandlingsprosesser (del 2).

Tabell 15. Beskrivelser av de 15 prosesskombinasjonene som er vurdert som aktuelle for utbygningen av nye Fuglevik RA

Nr.	Prosessbeskrivelse
P1	Fortykk. + aerob termofil forbehold. + mesofil anaerob stab. (ATAD) + avvanning: Råslam fortykkes til typisk 6-8 % TS, før det går til aerob termofil forbehandling for hygienisering (>60 °C). Det må normalt tilføres varme i form av varmevekslere til hygieniseringstrinnet, i tillegg til den varmen som utvikles i prosessen. Rånetanken kjøres mesofilt (35-40 °C) og utrånet slam avvannes til typisk 25-30 % TS dersom det brukes sentrifuger, silbåndpresser eller skruepresser. Med kammerfilterpresser kommer man opp i 30-35 % TS.
P2	Fortykk. + pasteurisering + mesofil anaerob stab. + avvanning: Råslam fortykkes til typisk 6-8 % TS, før det går til pasteurisering. Pasteurisering krever at slammet holder >70 °C i mer enn 30 minutter. Normalt heves temperaturen ved varmeveksling i tre trinn (med slam ut av rånetank, med slam ut av pasteuriseringsenhet og med varmt vann eller damp). Rånetanken kjøres mesofilt (35-40 °C) og utrånet slam avvannes til typisk 25-30 % TS dersom det brukes sentrifuger, silbåndpresser eller skruepresser. Med kammerfilterpresser kommer man opp i 30-35 % TS.
P3	Fortykk. + termofil anaerob stab. + avvanning: Råslam fortykkes til typisk 6-8 % TS. Rånetanken kjøres termofilt (55-60 °C) og kombinasjonen av temperatur og oppholdstid sørger for at slammet blir både hygienisert og stabilisert. Utrånet slam avvannes til typisk 25-30 % TS dersom det brukes sentrifuger, silbåndpresser eller skruepresser. Med kammerfilterpresser kommer man opp i 30-35 % TS.
P4	Fortykk. + mesofil anaerob stab. + avvanning (filterpresse) + termisk tørking: Råslam fortykkes til typisk 6-8 % TS og går deretter til en mesofil (35-40 °C) rånetank. Deretter avvannes slammet for å få det så tørt som mulig (gjerne med filterpresse), for å begrense energiforbruket til den termiske tørkingen i det avsluttende hygieniseringstrinnet. Slamme tørkes vanligvis til mellom 85 og 90 % TS.
P5	Fortykk./foravvann. + THP + mesofil anaerob stab. + avvanning: Råslammet fortykkes/foravvannes til typisk 12-20 % TS, før termisk hydrolyse (THP). THP innebærer at slammet oppvarmes til 140-180 °C med damp og et trykk på 4-7,5 bar. Med THP blir slammet sterilisert. Rånetanken kjøres mesofilt (35-40 °C). Utrånet slam avvannes til typisk 30-35 % TS dersom det brukes sentrifuger, silbåndpresser eller skruepresser. Med kammerfilterpresser kommer man opp i 35-40 % TS.
P6	Fortykk./foravvann. + THP + termofil anaerob stab. + avvanning: Råslammet fortykkes/foravvannes til typisk 12-20 % TS, før termisk hydrolyse (THP). THP innebærer at slammet oppvarmes til 140-180 °C med damp og et trykk på 4-7,5 bar. Med THP blir slammet sterilisert. Rånetanken kjøres termofilt (55-60 °C). Utrånet slam avvannes til typisk 30-35 % TS dersom det brukes sentrifuger, silbåndpresser eller skruepresser. Med kammerfilterpresser kommer man opp i 35-40 % TS.
P7	Fortykk. + mesofil anaerob stab. + foravvanning + THP + sluttavvanning: Denne prosesskombinasjonen markedsføres som SolidStream av Cambi. Råslam fortykkes til typisk 8-10 % TS og går deretter til en mesofil rånetank. Etter rånetanken foravvannes slammet til ca. 16-17 % TS, før termisk hydrolyse (THP) hvor slammet steriliseres (>150 °C, > 7 bar). Rejektivannet fra foravvanningen går til rejektivannsbasseng/rejektivannrensing. Sluttavvanningen skjer ved høy temperatur og man får typisk et avvannet slam med 45 % TS. Gjenvinningsgraden ved sluttavvanningen velges slik at rejektivannet får et TS-innhold på ca. 4 %. Rejektivannet inneholder mye lett nedbrytbart organisk materiale og resirkuleres i sin helhet tilbake til den mesofile rånetanken for å øke gassproduksjonen. I tillegg sørger det varme rejektivannet (80 °C) for å varme opp innkommende råslam. Så langt finnes det ett fullskala anlegg med SolidStream, i Tyskland.
P8	Fortykk. + avvanning (filterpresse) + pyrolyse: Denne prosesskombinasjonen består av fortykking, avvanning til høyest mulig tørrstoffinnhold og pyrolyse. Pyrolyse er en prosess der det ved temperaturer på 400-600 °C uten tilgang på oksygen blir satt i gang en produksjon av gasser som forbrennes videre i prosessen. Pyrolyseenhetene leveres ofte som containerløsninger med alle komponenter inkludert. Dette kan være forprosesseringsutstyr (siler, filtre), materialbehandling (beltetransport, lagringstanker) og mateutstyr (mateskruer, matebelter), tørke, pyrolyseovn, syntesegassbrennere, gassrensing, kjøling, instrumenter og annet elektrisk utstyr. Slammet tørkes til 90 % TS før det føres inn i pyrolyseovnen. Sluttproduktene er hovedsakelig syntesegass, bioolje og biokull.

Nr.	Prosessbeskrivelse
	Mengden av hvert sluttprodukt er avhengig av både oppvarmingshastighet og temperatur. Både biokullandelen og biooljeandelen synker ved økende temperatur. Biokull har gode jordforbedrende egenskaper og vil inneholde fosforet som i utgangspunktet var i slammet. Biokull fra avløpsslam kan imidlertid inneholde for høye konsentrasjoner av tungmetaller. Vanlig pyrolyse gir et stort overskudd av termisk energi, men lite elektrisk energi. Dersom pyrolyseanlegget ikke ligger ved et fjernvarmeanlegg kan det bli vanskelig å utnytte den termiske energien. Ved vanlig forbrenning fjernes de fleste PFAS-komponenter ved temperaturer på 350-500 °C, og mye tyder på at dette er tilfelle også for pyrolyse. For å fjerne de mest stabile PFAS-komponentene kan det imidlertid være nødvendig med forbrenningstemperaturer over 1000 °C. Både mikropplast, medisinerester, PAH og en rekke miljøgifter destrueres helt eller delvis ved pyrolyse.
P9	Fortykk. + avvanning (filterpresse) + gassifisering (pyrolyse): Denne prosesskombinasjonen består av fortykking, avvanning til høyest mulig tørrstoffinnhold og gassifisering. Gassifisering er pyrolyse ved så høy temperatur (>800 °C) at biooljeandelen blir borte og man sitter igjen med bare gass (>80 % av sluttproduktet), litt væske og litt biokull. Gassen kan brukes i et CHP-anlegg for produksjon av elektrisitet.
P10	Fortykk. + termofil anaerob stab. + avvanning (filterpresse) + pyrolyse Råslam fortykkes til typisk 6-8 % TS. Råtnetanken kjøres termofilt (55-60 °C). Utråtnet slam avvannes til høyest mulig tørrstoffinnhold og går deretter til pyrolyse. Med denne kombinasjonen kan man få en bedre balanse mellom termisk og elektrisk energiproduksjon enn ved å gå direkte til pyrolyse.
P11	Fortykk./foravvann. + THP + mesofil anaerob stab. + avvanning (filterpresse) + pyrolyse: Råslammet fortykkes/foravvannes til typisk 12-20 % TS, før termisk hydrolyse (THP). Råtnetanken kjøres mesofilt (35-40 °C). Utråtnet slam avvannes til høyest mulig tørrstoffinnhold og går deretter til pyrolyse. Med denne kombinasjonen kan man få en bedre balanse mellom termisk og elektrisk energiproduksjon enn ved å gå direkte til pyrolyse.
P12	Fortykk./foravvann. + THP + termofil anaerob stab. + avvanning (filterpresse) + pyrolyse: Råslammet fortykkes/foravvannes til typisk 12-20 % TS, før termisk hydrolyse (THP). Råtnetanken kjøres termofilt (55-60 °C). Utråtnet slam avvannes til høyest mulig tørrstoffinnhold og går deretter til pyrolyse. Med denne kombinasjonen kan man få en bedre balanse mellom termisk og elektrisk energiproduksjon enn ved å gå direkte til pyrolyse.
P13	Fortykk. + mesofil anaerob stab. + foravvann. + THP + sluttavvann. + transp. til reg. anlegg + pyrolyse: Dette er den samme prosessen som P7 (Cambi SolidStream), men i tillegg fraktes avvannet slam til et regionalt pyrolyseanlegg for ytterligere behandling.
P14	Fortykk. + avvanning + (katalysator) + HTC + sluttavvanning (+ tørking/gjenvinning) : Råslam fortykkes og foravvannes til ca. 20 % TS. Deretter tilsettes i de fleste tilfeller en katalysator før slammet går til et trinn for hydrotermisk karbonisering (HTC). HTC er også kjent som våt pyrolyse. Ved temperaturer mellom 180 og 250 °C og et trykk mellom 15 og 20 bar omdannes den våte biomassen til et materiale som kan sammenlignes med kull, kalt hydrokull. Omtrent 75-80 % av karbonet i slammet ender opp i den faste fasen som hydrokull, ca. 15-20 % ender opp i væskefasen som lett nedbrytbare organiske stoffer (f.eks. furaner og organiske syrer), mens ca. 5 % blir til gass (hovedsakelig CO₂). Etter HTC-trinnet avvannes slammet, gjerne i en filterpresse, og det oppnås over 65 % TS. Det er mulig å kombinere en slik HTC-prosess med f.eks. termisk tørking og/eller gjenvinning av fosfor. Ved gjenvinning av fosfor tilsettes syre før sluttavvanning for å vaske ut fosforet til væskefasen. Deretter blir fosfor i rejeckt vannet fiksert ved hjelp av kalsiumsilikathydrat (CSH) og ekstrahert i en filterpresse.
P15	Fortykk. + mesofil anaerob stab. + foravvanning + katalysator + HTC + sluttavvanning: Råslam fortykkes til typisk 8-10 % TS og går deretter til en mesofil råtnetank. Etter råtnetanken foravvannes slammet til ca. 25 % TS, før tilsetting av katalysator og HTC-behandling (175-210 °C, 12-20 bar). Rejeckt vannet fra foravvanningen går til rejeckt vannsbasseng/rejeckt vannsrensing. Ved sluttavvanningen kan man oppnå et avvannet slam med 65 % TS, uten bruk av polymer. Rejeckt vannet inneholder mye lett nedbrytbart organisk materiale og resirkuleres i sin helhet tilbake til den mesofile råtnetanken for å øke gassproduksjonen. En slik prosesskombinasjon markedsføres av Suez som DehydroTM Ultra.

4.4 Vurderinger knyttet til valg av slambehandling for nye Fuglevik RA

I forbindelse med forprosjektet er det gjennomført flere utredninger som skal ligge til grunn for valg av slambehandling ved nye Fuglevik RA. Det er blant annet gjennomført en undersøkelse som vurderer ulike energikilder, og utnyttelse av disse, jf. kapittel 4.4.1. Det er også gjennomført en studie som vurderer forventet slamkvalitet og muligheter for avsetning for slam fra nye Fuglevik RA, ved bruk av forskjellige slambehandlingsteknologier, jf. kapittel 4.4.2. Det gjenstår arbeid med å evaluere de ulike prosessalternativene, og det er ikke planlagt å ha en endelig konklusjon før i en senere fase av planleggingen for nye Fuglevik RA. Det gjennomføres blant annet en litteraturstudie og markedsundersøkelse spesifikt for pyrolyse og biokull, da informasjonen er begrenset når det gjelder denne teknologien for bruk til behandling av avløpsslam. Hensikten er å innhente nødvendig informasjon for å konkludere om pyrolyse er riktig prosess for nye Fuglevik RA, og/eller om man eventuelt ser behov for konkrete og målrettede FoU-aktiviteter, eller andre ytterligere undersøkelser, som kan løpe parallelt med planleggingen av den utvidede vannbehandlingen ved nye Fuglevik RA.

4.4.1 Bærekraftig utnyttelse av energikilder

Energikildene er sett i sammenheng med energibehov for ulike renseløsninger og slambehandlingsmetoder. Energikilder som er uavhengig av behandlingsteknologi (både for vann og slam) er også evaluert.

De ulike slambehandlingsmetodene som er vurdert er anaerob stabilisering (utråtning), termisk hydrolyse (THP), pyrolyse og kombinasjoner av disse. I alle alternativer hvor råtnetanker er inkludert er det forutsatt termofil drift, dvs. >55 °C. De to pyrolysekonseptene som så langt er vurdert er "tradisjonell pyrolyse" ved 600-800 °C (heretter kun omtalt som pyrolyse) og gassifisering >900 °C. I pyrolysekonseptet forbrenner syngassen internt, noe som resulterer i kun termiske overskudd. I gassifiseringskonseptet forbrennes syngassen i en CHP, som gir både termisk og elektrisk energi. Det presenteres også en variant av gassifiseringskonseptet som er kalt for «COWI modellen», hvor prinsippet er å redusere behovet for termisk energi ved å hente energi fra syngassen før den forbrennes i CHP. Dette for å muliggjøre denne teknologien for bruk på råslam (dvs. uten biogassproduksjon i forutgående utråtningsanlegg).

For utnyttelse av biogass fra råtnetanker er bruksområdene gasskjel, CHP og gassoppgradering vurdert. Brenning av gass i kjel som eneste utnyttelsesmetode anses ikke som en bærekraftig løsning da man vil måtte dumpe mye energi, spesielt om sommeren. En gasskjel vil imidlertid uansett måtte inngå som en backup-løsning. Oppgradering av biogass til drivstoffkvalitet er benyttet på anlegg med høyere gassproduksjon enn hva man kan forvente på nye Fuglevik RA. Kjøretøy basert på biogass har relativt lav virkningsgrad sammenlignet med el. biler. Fuglevik ligger ikke sentralt plassert i forhold til fylling av biogass. Samlet gjør dette at biogassoppgradering sannsynligvis ikke vil være å anse som den mest bærekraftige løsningen for nye Fuglevik RA. Gjenvinning av både elektrisitet og varme i et CHP-anlegg, tilsvarende de eksisterende gassturbinene, anses som en bærekraftig løsning.

COWIs vurdering er at CHP bør foretrekkes framfor oppgradering i alternativene med og uten THP. I alternativet med pyrolyse av utråtnet slam, hvor prosessen avgir mye termisk energi, er det en fare for at total termisk energimengde blir så stor at man må dumpe mye spillvarme. I en slik situasjon kan oppgradering muligens være et alternativ til CHP.

Bruk av varmepumpe ved bruk av rensed avløpsvann som energikilde er benyttet på en del avløpsrenseanlegg. Tilgjengelig varme i avløpsvannet er beregnet til 1400 kW og 12 000 MWh per år, basert på en minimums mengde avløpsvann ($Q_{\min}$) for 2040 på 300 m³/h og en

temperatursenkning på 4 °C. Utnyttelse av øvrige energikilder ved renseanlegget vil sannsynligvis gjøre at installasjon av varmepumpe ikke er høyaktuelt for intern bruk ved nye Fuglevik RA.

Eksport av varmeenergi basert på varmepumpe er vurdert i forbindelse med nærliggende gartnerier, men vurderes ikke å være konkurransedyktig med nåværende prisnivå på LPG som benyttes i dag. Salg av spillvarme fra eksempelvis pyrolyse kan derimot være aktuelt.

Gjenvinning av varmeenergi fra blåsemaskinluft til det biologiske rensetrinnet er vurdert, men slik gjenvinning er mindre aktuelt når det er store overskudd på termisk energi. Når det etableres en pyrolyseprosess, uansett hvordan denne kombineres med øvrige prosesser, så gir denne mye spillvarme og det termiske overskuddet blir stort. Siden man har tilstrekkelig med termisk overskudd på stort sett alle prosesskombinasjoner anses blåseluftgjenvinning som mindre aktuelt for nye Fuglevik RA.

Solenergi, bergvarme og vindkraft er vurdert som alternative energikilder. Bergvarme og vindkraft anses ikke som særlig aktuelle for nye Fuglevik RA. Solenergi kan være aktuelt for å produsere elektrisk energi. Dersom det forutsettes at solcellepaneler plasseres på taket av renseanlegget etter utbygging med N-fjerning, er det estimert ca. 700 – 1000 MWh/år i elenergi fra solcellepaneler.

Energilagring er vurdert både for elektrisk- og termisk energi. Begrepet energilagring handler i denne sammenheng om å lagre billig energi, for så å benytte seg av energien når prisen er høyere. Dette kan være aktuelt for elektrisk energi, hvor man kan lagre energi (både egenprodusert og kjøpt) i en batteribank hvor strømmen benyttes i tider på døgnet hvor strømprisen er høy. I den videre prosjekteringen anbefales det at dette inngår som et bærekraftstiltak som samtidig vil kunne redusere MOVAR sine kostnader. Lagring av termisk energi, for utjevning av effektopper under et døgn, kan skje i en sjiktet akkumulatortank som også anbefales vurdert i videre prosjektering.

Energibalanser for ulike kombinasjoner av vann- og slambehandlingsprosesser er beregnet. Det er laget energibalanser med kombinasjoner av følgende vann- og slambehandlingsprosesser:

Prosesskombinasjoner for vannbehandling:

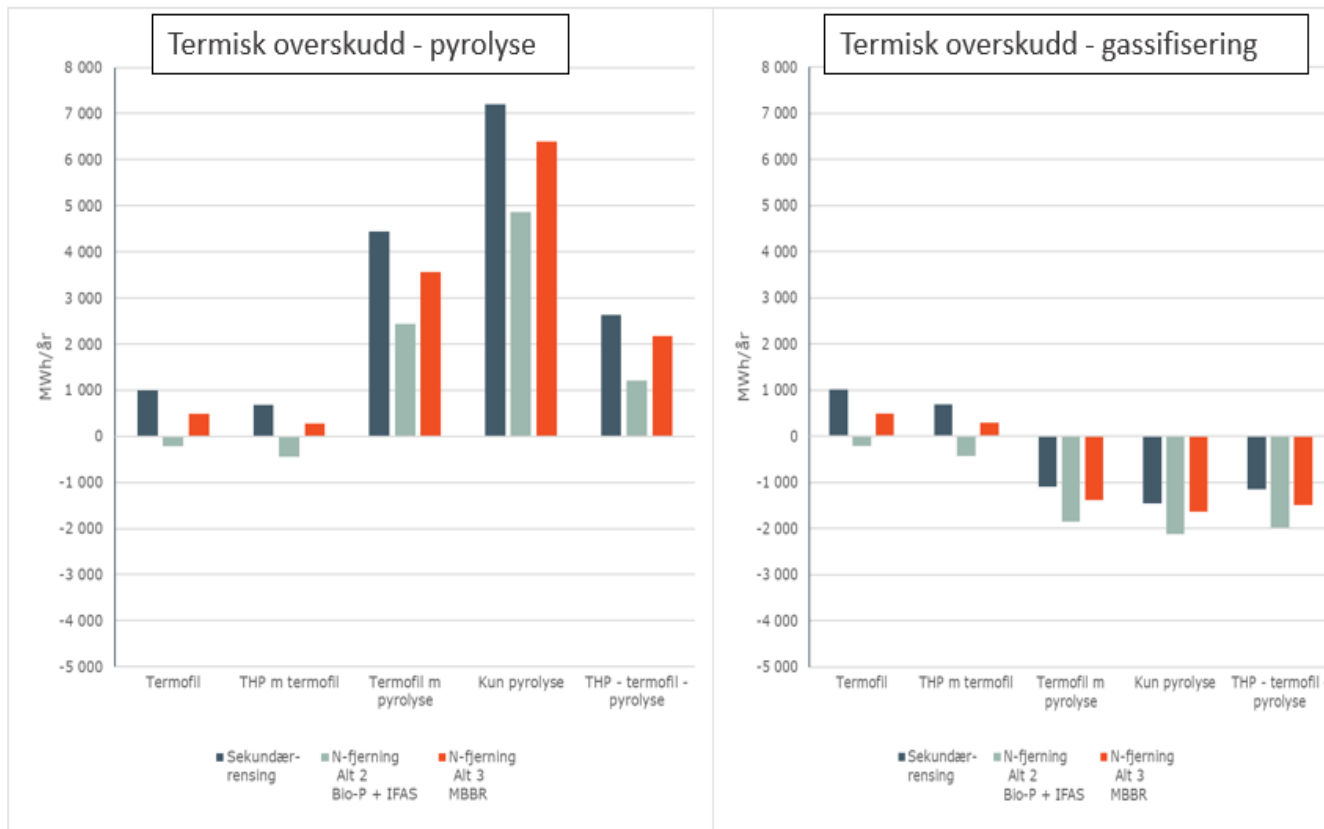
- > Sekundærrensing: MBBR
- > N-fjerning alt. 1: Bio-P m. aktivslam
- > N-fjerning alt. 2: Bio-P m. IFAS
- > N-fjerning alt. 3: MBBR
- > N-fjerning alt. 4: MBR

Prosesskombinasjoner for slambehandling:

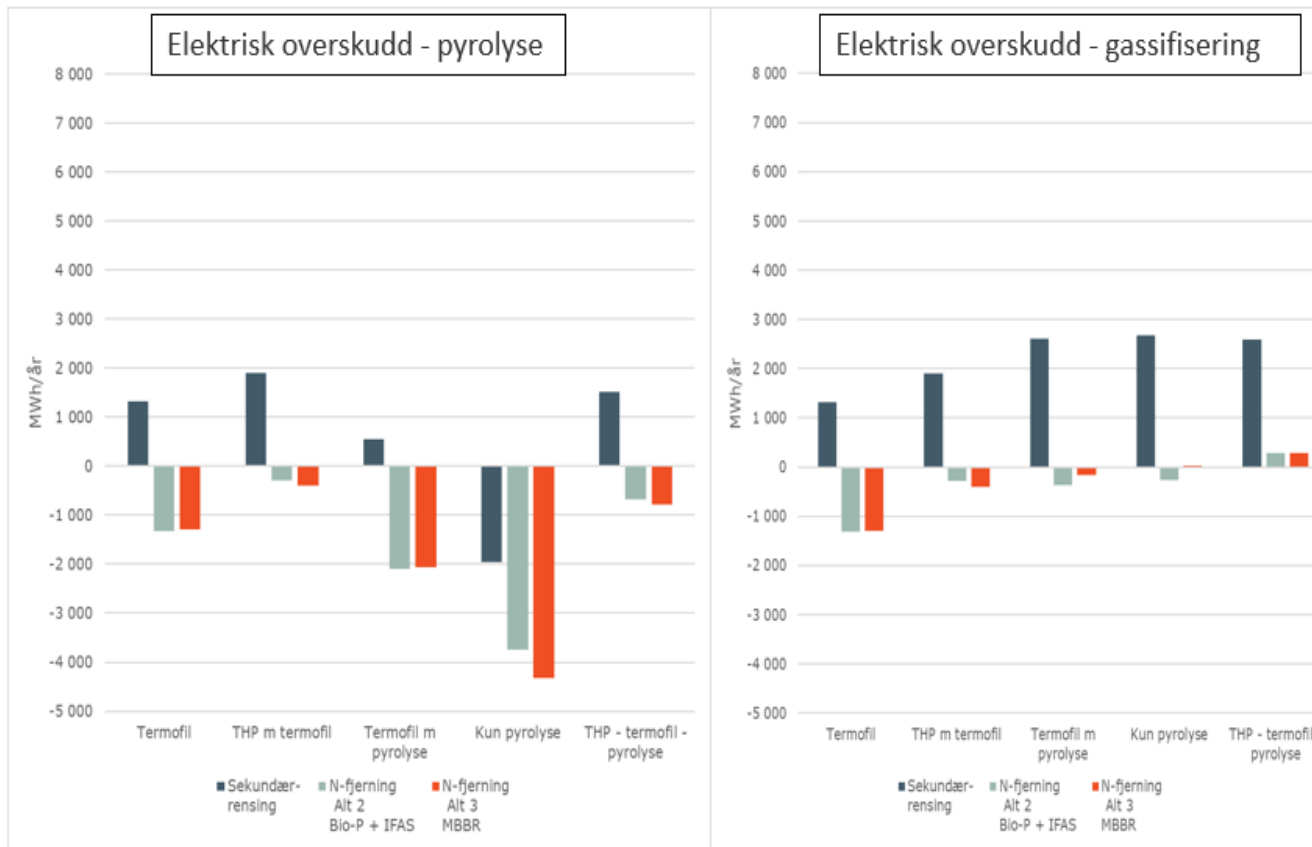
- > Termofil utråtning
- > THP med termofil utråtning
- > Termofil utråtning med pyrolyse av utråtnet slam
- > Kun pyrolyse
- > THP og termofil utråtning med pyrolyse av utråtnet slam

Konsepter for pyrolyse/gassifisering:

- > Pyrolyse: Forbrenner syngassen internt, noe som resulterer i kun termiske overskudd
- > Gassifisering: Forbrenner syngassen i en CHP, som gir både termisk og elektrisk energi
- > COWI-modellen: Variant av gassifisering hvor energi hentes fra syngassen før den forbrennes i CHP for å redusere behovet for termisk energi til fortørking av slam



Figur 26 illustrerer det termiske overskuddet for tre av vannbehandlingsprosessene, kombinert med ulike slambehandlingsprosesser og konsepter for pyrolyse.



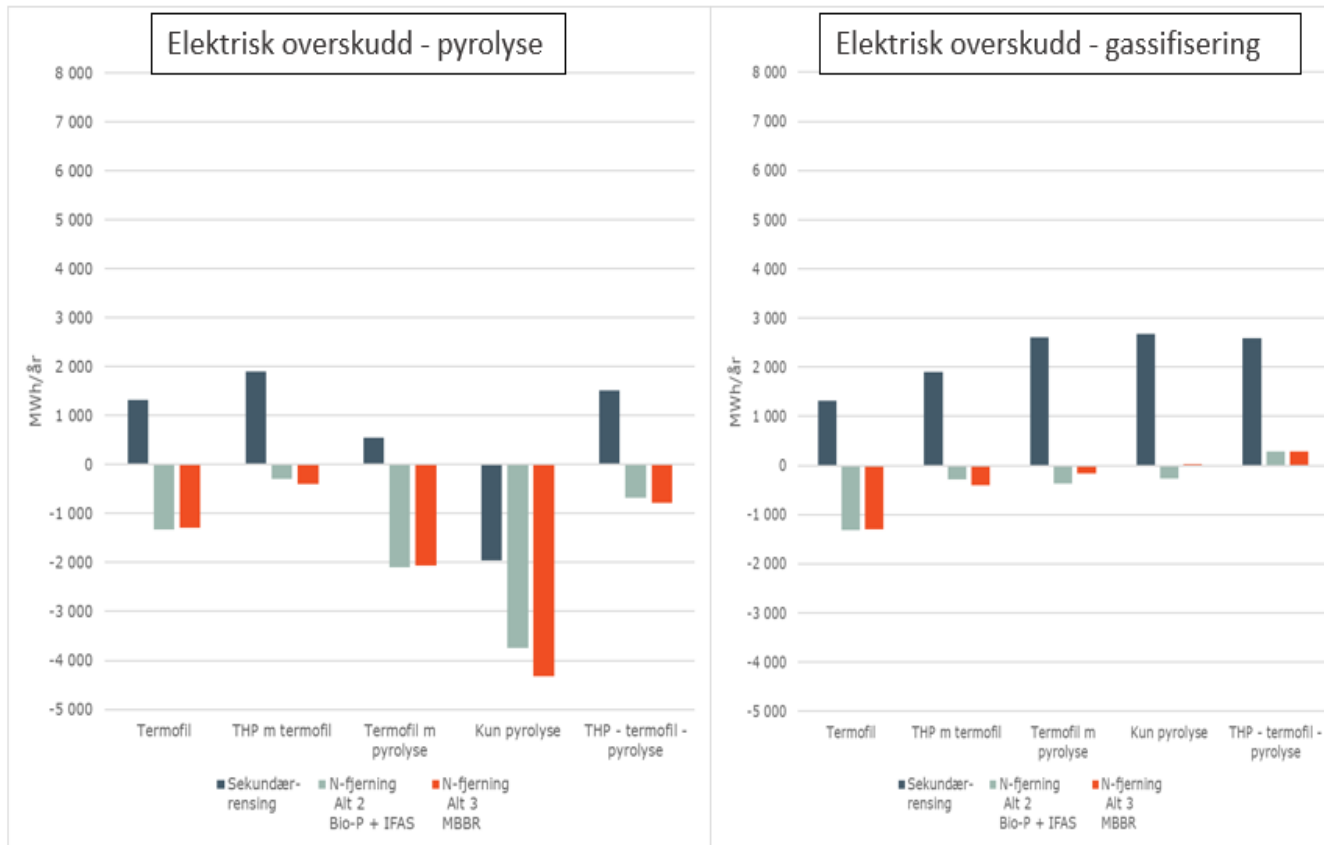
Figur 27 illustrerer det elektriske overskuddet for tre av vannbehandlingsprosessene, kombinert med ulike slambehandlingsprosesser og konsepter for pyrolyse.

En universell trend er at det er stor forskjell i behov for elektrisk energi når man sammenligner anlegg for sekundærrensing med anlegg for nitrogenfjerning, hvor det forbrukes langt mer elektrisk energi med nitrogenfjerning.

Pyrolysekonseptet har det klart største overskuddet av termisk energi, noe som er naturlig da det her ikke produseres elektrisitet av syngassen. Denne løsningen kommer således også dårligst ut når det gjelder elektrisk energi, med store underskudd for termofil med pyrolyse og pyrolyse av råslam. Elektrisitetsunderskuddet er ikke like stort når pyrolysekonseptet kombineres med THP, noe som må tilskrives økt gassproduksjon i biogassanlegget. På den annen side krever denne kombinasjonen også mer varme, slik at det termiske overskuddet er lavest for dette pyrolysebaserte alternativet. Det store underskuddet mht. elektrisk energi for løsningen basert på pyrolysing av råslam («kun pyrolyse» i figur 26 og 27) henger selvfølgelig sammen med at det i dette alternativet ei heller blir produsert elektrisk energi fra biogass.

Alternativene uten pyrolyse har langt mindre termisk overskudd enn de med pyrolyse. For konseptene med bruk av gassifisering vil man ha behov for tilførsel av ekstern termisk energi, altså underskudd. Resultatene for COWI-modellen ligger mellom pyrolyse og gassifisering, og kan nærmest sies å være termisk energinøytral med små overskudd for både sekundærrensing og N-fjerning med MBBR og kun mindre termisk underskudd for bio-P-prosessen.

Som det kommer frem av



Figur 27 krever nitrogenfjerning store mengder elektrisk energi, og nesten ingen av prosesskombinasjonene kommer positivt ut totalt sett. Gassifiseringskonseptet klarer å begrense behovet for ekstern elektrisitet, mens behovet blir stort når det gjelder pyrolyse. THP begrenser også det elektriske underskuddet både med og uten pyrolyse, for begge konseptene, noe som også her må tilskrives den økte biogassproduksjonen som følger av THP.

Når gassifiseringsløsningen er brukt i kombinasjon med sekundærrensing er overskuddet så stort at det kunne vært brukt i en elkjele for å dekke det termiske underskuddet.

Sammenligner man COWI-modellen med gassifiseringsløsningen, så kommer den bedre ut mht. termisk energi. Dette går imidlertid på bekostning av behov for elektrisk energi, og er ikke overraskende da COWI-modellen bruker syngassen som energikilde for å tørke slammet, hvor gassifisering forutsetter «ekstern varme». For COWI-modellen med THP blir det imidlertid et termisk underskudd. Dette skyldes at all energi i slammet må brukes til tørkingen, og det er i prinsippet ikke behov for et CHP-anlegg for syngassen (ikke overskudd på syngass). Et annet viktig aspekt i denne sammenhengen er at gassifiseringskonseptet har behov for høytemperaturvarme for å dekke underskuddet. Denne energiformen må fremskaffes eksternt, da tørken er basert på hetoljeoppvarming, noe som gjør løsningen mindre bærekraftig. En annen tørkeløsning, f.eks. en damp tørke, ville ha gjort den løsningen mer bærekraftig, da varmeenergi i tørken kan gjenvinnes. Siden gassifiseringskonseptet også er den løsningen med best energibalanse mht. elektrisk energi, kan en raffinering av dette konseptet, hvor man har en mer bærekraftig tørkeløsning, være et spor MOVAR forfølger videre.

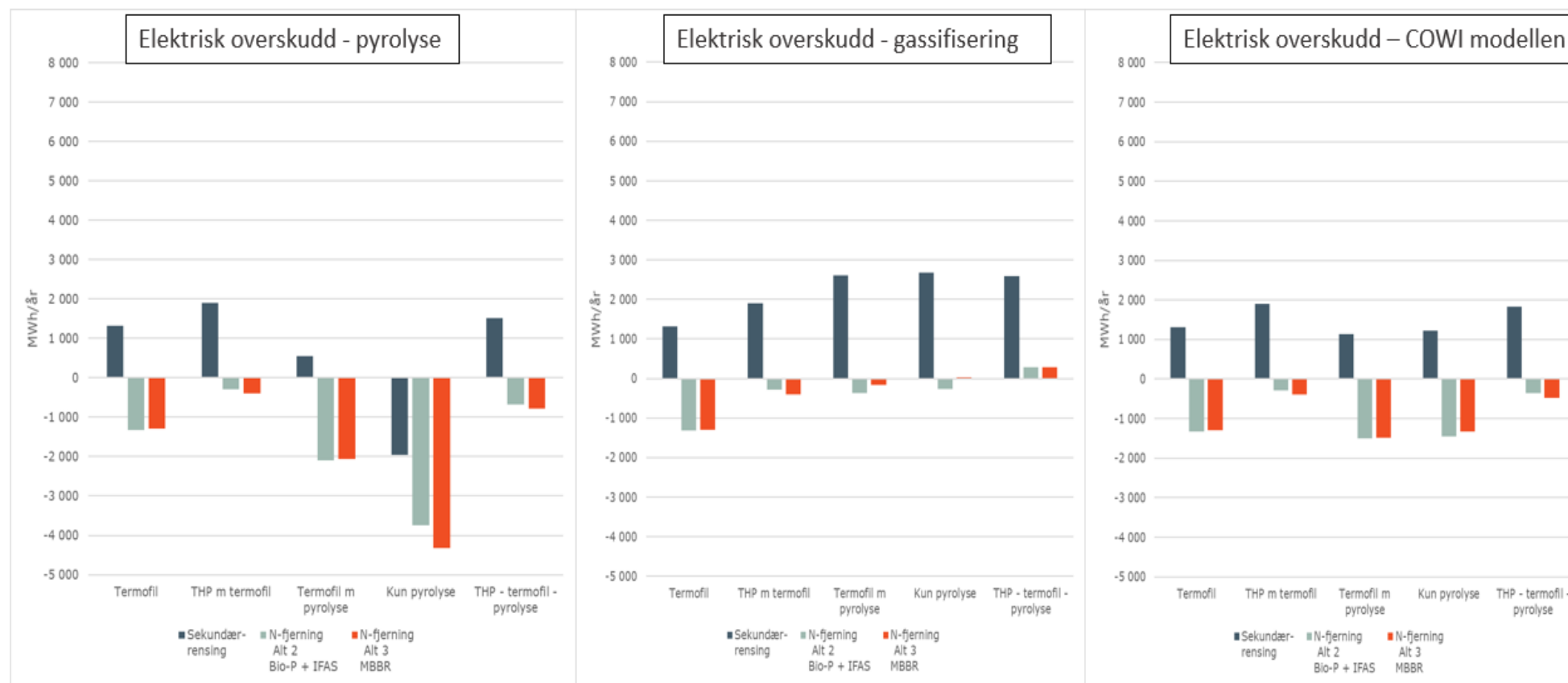
Det er diskutert å bruke varme fra Fuglevik RA til å forsyne nærliggende drivhus. Denne løsningen vil kun kunne kombineres med pyrolysekonseptet, da øvrige løsninger ikke vil ha store nok termiske overskudd. Ved nitrogenfjerning vil dette imidlertid komme på bekostning av

store underskudd på elektrisk energi, slik at dette vurderes som mindre aktuelt. Unntaket kan være hvis man velger en løsning basert på THP, men da er muligens det termiske overskuddet for lavt.

Gjennomgående har prosessløsning basert på tradisjonell MBBR for nitrogenfjerning høyere termisk overskudd enn løsningene basert på IFAS + Bio-P. Dette skyldes i hovedsak at MBBR er en mer kompakt løsning som gir mindre forbruk til bygningsoppvarming.



Figur 26. Illustrasjoner over det termiske overskuddet for de forskjellige renseprosessene og slambehandlingsmetodene, fordelt på pyrolysekonseptene til pyrolyse, gassifisering og COWI modellen.



Figur 27. Illustrasjoner over det elektriske overskuddet for de forskjellige renseprosessene og slambehandlingsmetodene, fordelt på pyrolysekonseptene til pyrolyse, gassifisering og COWI modellen.

4.4.2 Avsetting av sluttprodukt fra slambehandling

Som følge av endringer i regelverket bør MOVAR forvente økte kostnader tilknyttet disponering av slam. Dette er i hovedsak konsekvens av forvente økt arealbehov for spredning og økt arealbehov for slamlagring. I tillegg, dersom slam fra MOVAR benyttes som ingrediens i jordblandinger, er det mulig at nye regler vil gjøre dette mindre lønnsomt.

Bedre slamavvanning fra dagens 25 % til 35 % TS kan redusere transport og disponeringskostnader betraktelig. Det vil alltid være et fast priselement for slamdisponering og det vil være relatert mengde slam som tonn TS, men kostnader knyttet til transport og lagerhåndtering vil påvirkes av slammets tørrstoffinnhold. Transportprisen øker med avstander og dersom man påvirker markedet nærmere Moss for å bruke mere slam, kan det være at prisene kan gå ytterligere ned.

Tilgjengelige landbruksarealer

Selv med begrensede tillatte mengder slam/daa som er skissert i ny gjødselvarsforskrift, er det, i teorien, tilstrekkelig areal i nærliggende kommuner til anlegget for å kunne disponere alt slammet i landbruket. Dersom man velger teknologi som gjør slam mer plantetilgjengelig vil man også ha tilstrekkelig areal i kommuner i umiddelbar nærhet. Det er med andre ord gode forhold for direkte anvendelse av slam i regionen i landbruket. Dette forutsetter at landbruket er positive til å bruke avløpsslam som en gjødselvar og at bruk av avløpsslam ikke medfører eutrofiering av vassdrag som for eksempel Vansjø. MOVARs erfaring i dag er at avløpsslammet må i stor grad kjøres ut av eget distrikt, til tross for at det er tilgjengelige kornarealer i egne kommuner. En av årsakene kan være pålegg om redusert jordarbeiding om høsten for å redusere erosjon og eutrofiering i Vansjø.

Forurensinger i slammet

Utfordringen til Fuglevik er at konsentrasjon av PFOS+PFOA i slam er over foreslåtte grenseverdier, og dette kan føre til at slam kan ikke benyttes som gjødselvar i fremtiden. Dersom man ikke klarer å fjerne PFOS+PFOA i slam eller i tilført avløpsvann ved kilden, kan anlegget få utfordringer med disponeringen både i landbruk og i grøntanlegg. Det blir sannsynligvis ikke et krav om rensing av kommunalt avløp, men siden kilden er flyplassen bør man ha utslippstillatelse til kommunalt nett som inkluderer maksimal PFAS konsentrasjon samt mengde. Overholdelse av et slikt utslippskrav vil påvirke muligheten til å gjenvinne slam som gjødselvar. Forsvarsbygg har planer om å sette i gang tiltak for å redusere PFAS fra Rygge flyplass til kommunalt avløpsnett og dette vil også forhåpentligvis redusere innholdet i slammet.

Pyrolyse kan være et alternativ for slambehandling dersom man ikke kan fjerne miljøgifter ved kilden. Det har vært usikkerhet om pyrolyse er et alternativt for PFOS+PFOA-fjerning i slammet, men studier fra en leverandør har dokumentert at pyrolyse fjerner PFAS forbindelser fra biorest. Et annet scenario kan være monoforbrenning av utrånnet avløpsslam, med mulighet for gjenvinning av fosfor fra slamaske.

Konsentrasjonen av DEHP fra Fuglevik ligger under foreslått grenseverdi for DEHP, men sikkerhetsmarginen er ikke spesielt stor. Det er usikkert hvordan slam/avløpsvann fra Kambo vil kunne påvirke slammet på nye Fuglevik da Solgård avfallsplass har sigevann som går til Kambo. Det foreligger data for 2011 og 2016 for

DEHP-konsentrasjon i sigevannet til Kambo og de er lave: 1 mg/l. Vannanalysen er basert på årlig stikkprøve så en slamblandprøve fra Kambo bør analyseres for DEHP.

Sink ser også ut til å kunne bli en brems for å utnytte slammet som en gjødselvarer etter pyrolysing. Overvann fra veg kan inneholde en del sink på grunn av at sink finnes i bildekk og i vegoppmerking og dersom man klarer å identifisere større kilder og stoppe disse, kan det bidra til å forbedre slamkvaliteten.

Videre anbefaler COWI at MOVAR tar blandprøver av slam fra Kambo for analyse av DEHP, sink og ev. PCB. PCB er ukjent da det ikke overvåkes i sigevannet. COWI har sett forhøyede verdier av PCB og DEHP i slam som mottar vann fra deponier. Det er mer bærekraftig å fjerne disse miljøgiftene ved kilden, enn å måtte håndtere forurensset slam som avfall. Forsvarsbygg har planer om å sette i gang tiltak for å redusere PFAS til kommunalt avløpsnett fra Rygge flyplass. MOVAR bør derfor også følge opp dette arbeidet (dialog, prøvetaking) for å få oversikt over tilførsler av miljøgifter som kan utfordrer brukskvaliteten til slam som gjødselvarer. Dette gjelder både sigevann fra Solgård og avrenning fra Rygge flyplass.

Gjenvinning av fosfor

Hvis man velger å gjenvinne fosfor, er det grunn til å anta at utkrystallisering av fosfor som struvitt eller amorft kalsiumfosfat, kan gi en verdifull ressursutvinning av slammet. Flere leverandører har utprøvd teknologi for dette. Uansett vil kontrollert fosforutfelling kunne være nødvendig dersom man går for biologisk fosforfjerning som vannrenseprosess for å unngå eventuelle driftsproblemer og kostnader i vann og slambehandlingen. Nye studier viser at fosforgjenvinningsteknologi kan ha store variasjoner i kostnader både i investering og driftskostnader, og det synes som teknologi som fremmer amorft kalsiumfosfat er den rimeligste veien til målet.

Avsetning av biokull

Når det gjelder kvalitet på biokull som gjødselvarer styres dette av innhold av karbon. Det er usikkert om biorest må tilsettes andre karbonrike substrater for å kunne oppnå en godt nok biokull produkt basert på slam alene. Videre er det usikkerhet om tilgjengelighet og innhold av næringsstoff, tungmetaller, mikroforurensninger i biokullet og askeprodukter. Det er ikke i dag et etablert marked for disse type produkter. Mulig anvendelse av biokull kan være å aktivere kullet og kunne benytte det som adsorbent, eller biokull som en del av en renseprosess for polering av mikroforurensninger i vann, luktrenging eller for å øke biogassproduksjonen. Det gjenstår å se fullskala utnyttelse av biokull fra slam som et produkt i industrien. I Danmark, RGS 90, produserer et pyrolysert produkt basert på slam og slopp fra oljeindustrien. Dette et glassaktig produkt som brukes som sandblåsesand.

Det gjenstår en del spørsmål knyttet til biokull basert på slam. Det finnes mye litteratur og forsøk på biokull basert på trevirke, og her er det en svært positive funn alt fra å se det på som en løsning for karbonlagring og som jordforbedringsmiddel. Biokull basert på slam derimot inneholder mindre karbon og mer metaller og næringssalter enn biokull basert på trevirke og vil begrense mengde slambasert biokull som kan tilbakeføres til jord. Det som er spørsmålet er om klima, gjødsel eller jordforbedrende effekten av biokull blir større eller mindre enn fordelene av å tilføre nedbrytbart karbon som utrånnet slam til jord. Vi anbefaler at en del av disse spørsmålene blir undersøkt dersom man velger å gå videre med teknologi for pyrolysing av slam.

5 Beskrivelse av generelle rehabiliteringstiltak, kvalitet på nytt utstyr og nye konstruksjoner

Eksisterende bygningsmasse bør søkes utnyttet maksimalt, da dette i de fleste tilfeller gir reduserte byggekostnader og klimafotatrykk. I den forbindelse er det viktig å avdekke eventuelle mangler og begrensninger ved bygningsmassen. Kapittel 5.1-5.4 beskriver kort status for eksisterende bygg. Befaringsrapportene i Bilag A-Bilag D beskriver eksisterende anlegg og behov for tiltak mer i detalj for henholdsvis bygg, maskin, elektro og automasjon og VVS. I Bilag E-Bilag H er foreløpige fagbeskrivelser for respektive fag. Dokumentasjonen er foreløpig, og vil oppdateres inntil endelige anbudsdokumenter skal ferdigstilles.

5.1 Bygningstekniske installasjoner

Renseanlegget er oppført på starten av 90-tallet. Bygget består i hovedsak av armerte betongkonstruksjoner utført som plass-støpt betong og prefabrikkerte dekker. Tak er hovedsakelig oppstolpet tretak. For utvendig overflate er det generelt for byggene pusset sokkel, fasade av liggende trepanel og takstein på tak. Tabell 16 gir en overordnet beskrivelse av eksisterende anlegg, for mer informasjon se Bilag E.

Tabell 16. Informasjon om eksisterende bygningsmasse

Bygg	Anleggsdel	Beskrivelse
Sentralbygg	Vegger etasje 1	Plasstøpte betongvegger
	Dekke over etasje 1	Plasstøpt betongdekke belagt med fliser eller belegg
	Vegger etasje 2	Plasstøpte betongvegger
	Dekke over etasje 2	Prefabrikkerte HD-elementer (hulldekke) hvilende på betongvegger
	Tak	Oppstolpet tretak, som står på HD-elementer
Forbehandlingsbygg	Fundamenter og vegger underetasje	Malte betongvegger og flislagt betonggulv
	Dekke over underetasje	Malt plasstøpt betongdekke
	Vegger etasje 1	Frittstående betongsøyler, betongvegger eller vegger av Lecablokker
	Dekke over etasje 1	Prefabrikkerte DT-elementer hvilende på betongbjelker
	Tak	Oppstolpet tretak, som står på DT-elementer
Bassengblokk	Fundamenter underetasje	Bassenger av vanntett betongkonstruksjon, behandlet innvendig med epoxymaling
	Dekke over underetasje	Malt plasstøpt betongdekke
	Gangveier over bassenger	Prefabrikkerte hulldekker
	Vegger etasje 1	Betongsøyler og Lecablokker
	Dekke over etasje 1	Prefabrikkerte DT-elementer hvilende på betongbjelker
	Tak	Oppstolpet tretak, som står på DT-elementer
Slambygg	Fundamenter alle etasjer	Plasstøpt betongkonstruksjon; betongvegger og betongdekker
	Tak	Oppstolpet tretak, som står på plasstøpt betongdekke, og på betongvegg over møne
Råtnetank	Tank	Plasstøpt betongkonstruksjon kledd med malte falsede stålplater på tak og fasade, vertikal fals på fasade og radielt på tak.
Gasstank	Tank	Ståltank på betongfundamenter

Generelt fremstår bygget som godt vedlikeholdt. I Tabell 17 er en liste med generelle observasjoner fra befaring ved anlegget, samt forslag på tiltak. For mer detaljer, se befaringsrapport i Bilag A og foreløpig fagbeskrivelse i Bilag E.

Tabell 17. Generell tilstandsvurdering av eksisterende bygningstekniske installasjoner og foreslåtte tiltak. For detaljer, se Bilag A.

Objekt	Beskrivelse	Beskrivelse av tiltak
Generelt bygningsmasse	Bygningsmassene behøver å oppgradere overflater og utskifting av belegg.	Overflatebehandle overflater og utskifting av belegg.
Generelt vinduer	Vinduer er godt vedlikeholdt, men er snart 30 år gamle, og isolerer ikke så godt som nye vinduer.	Samtlige vinduer skiftes ut.
Generelt dører	Dører er godt vedlikeholdt. Det er ønske fra MOVAR om at dørene skiftes ut.	Samtlige dører skiftes ut.
Generelt tak	Taksteiner er snart 30 år gamle, og har en levetid på 50 år. Siden det nå skal gjøres en stor rehabilitering, bør det gjøres en vurdering av tak og takstein.	Det vurderes hva som skal gjøres med tak og takstein.

Krav til rehabilitering, ombygging og utbygging av renseanlegget er beskrevet i den foreløpige fagbeskrivelse i Bilag E. Fagbeskrivelsen vil bli oppdatert frem til anbudsdokumenter skal leveres. Generelt gjelder at ombyggingen og utbyggingen av Fuglevik RA prosjekteres etter følgende styrende dokumenter:

- > Konstruksjonsstandarder i Eurokode 1990–1999-serien
- > NS-EN 13670:2009+NA:2010 - Utførelse av betongkonstruksjoner
- > Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK17)

5.2 Maskin

Dagens anlegg består av:

- > Innløpsspumpestasjon
- > Innløpsrister
- > Sandfang
- > Kjemikalidosing
- > Flokkulering
- > Sedimentering med slamlommer
- > Utløpsarrangement med rensed avløpsvann.
- > Slambehandling (termofil prosess)
- > Utråtning med gassproduksjon
- > Gassbehandling med energiproduksjon med turbiner
- > Avvanning med sentrifuger
- > Slamutlasting (silo)

Generelt fremstår mye av det maskinelle utstyret som godt vedlikeholdt. Likevel har mye av det mekaniske utstyret nådd sin levealder som normal vil være fra 15-20 år og 20-30 på rør og ventiler. Tabell 18 beskriver observasjoner fra befaring ved anlegget i forbindelse med forprosjektet, samt forslag på tiltak. Mer detaljer er beskrevet i befarringsrapport i Bilag B.

Tabell 18. Tilstandsvurdering av maskinelt utstyr ved eksisterende anlegg og foreslåtte tiltak. For mer informasjon, se Bilag B.

Objekt	Beskrivelse	Beskrivelse av tiltak
Røranlegg generelt	Utvendig virker kvalitet bra. Alder fra tidlig 90. Normal levetid på rør ca. 25 - 30 år. Nådd levetid.	Kan kontrolleres med tykkelsesmåler. Bør normalt byttes for å unngå kontinuerlig utskifting i fremtiden.
Innløspumpestasjon	4 stk. innløspumper.	Anbefales å anskaffe nye pumper hvis pumpestasjonen skal videreføres.
Innløpsrister	2 stk. eldre Huber stepscreen trapperister.	Stoppe vannføring til aktuell rist og vurdere nærmere. anbefaling å bytte disse, nådd levetid. Nyere typer på markedet. De passer ikke inn på dagens plassering.
Transport ristgoods.	Presser av eldre dato som skyver/presser ristegods over i ristegodscontainer. Ingen vasking av ristegods	Utskifting til nye ristegodsvaskere. Bytte til nye lukkede krokraftcontainere med fordeling.
Sandfang	Vogner av eldre dato (tidlig 90). Disse er stort sett i god stand. Galvanisert ramme. Drivhjul og skinner er stort sett utsatt for slitasje. Fettskrape ikke visuelt inspisert under dekke.	Rammer kan benyttes videre. Bevegelig utstyr byttes. Det forutsettes at bassenger benyttes videre. Anbefales nye vogner hvis det skal bygges nye bassenger. Dagens system med vogner og sandpumping og fettskraper er det mest driftssikre systemet og som gir minst slitasje på utsyr.
Sandavvanner	Ikke inspisert	Bytte til sandvasker
Sandcontainer	Ikke inspisert	Bytte til lukket kroliftcontainer med fordeling
Flokkulering.	Omrørere og drifter er av eldre dato. Ikke mulig å vurdere tilstand på omrørerblader. Vannfylte kammer.	Har normalt levetid på 15-20 år og har nådd levetid. Anbefales skiftes.
Slamskraper i slamlommer	Tilstanden på disse virker bra. Denne typen har utskiftbart bunnlager. Slitasje kjedehjul under deksler ikke inspisert.	Hvis bassenger skal benyttes videre kan det vurderes å gi en oppgradering av kjedehjul og bunnlager + skrapegummi.
Vipperenner	Manuelle vipperenner. Renner er i god stand	Byttes til automatisk drift. Skifte av glideringer og tettepakninger. Forutsettes at de samme bassenger benyttes.
Utløpsrenner	Dykkede renner. Samler slam ovenpå.	Skal samme basseng benyttes videre, anbefales det å bytte til utløpsrenner med V-hakk. kan da også fjerne styrt ventil på utløpsarrangement.
Utløpsmengdemåler	Eldre dato.	Skiftes til ny.
Eksenterskruepumper	Godt vedlikeholdt. Lite lekkasjer i akseltetninger. Varierende årstall	Anbefales å skifte til nye.
Coriolismålere	Utsendemessig av nyere dato.	Dyre målere benyttes videre hvis kapasiteter passer.
Slambehandling	UTB-anlegg. Nådd levetid. Plasskrevende.	Skiftes ut avhengig av hvilken slamprosess som skal benyttes senere.
Avvanning	Noxon sentrifuger. Levert for ca. 10-12 år siden. Levetid ca. 15 år.	Overhales og service på kort sikt. Anskaffes nye på lang sikt eller vurdere annet utstyr for avvanning.
Tørrslamsiloer	Agder maskin. Nye siloer	Kan benyttes i nytt anlegg hvis funksjonen videreføres.
Råtnetank	Nylig revidert. Ståltank.	God stand, men fremtidig kapasitet er for liten.
Gassklokke	Nyere dato.	Kan benyttes videre.
Fakkel	Åpen fakkel av eldre dato.	Skiftes til nyere lukket med pilotflamme på ekstern gass for oppstartfase.
Gassturbiner	Adigo gassturbiner med adikomp oppgraderingsanlegg. Driftssatt 2020.	Benyttes videre.
Ventiler, skyvespjeld	Lite lekkasje på ventiler. Nådd levealder	Byttes
Kjemikalitanker	Glassfibertanker	Tilstand avklares.
Kjemikaliepumper	Stempelmembranpumper. ca. 15 år. Nådd levealder	Vedlikeholdes inntil nytt anlegg er i drift. Disse er fra 20/21 og kan ev. benyttes i nytt anlegg hvis kapasiteten er tilstrekkelig.
Fortykkermaskiner	Nye maskiner nærmest ubrukte.	1 maskin benyttet på KRA. Kan benyttes hvis kapasiteten er tilstrekkelig.

Krav til mekanisk prosessutstyr er beskrevet i den foreløpige fagbeskrivelsen i Bilag F. Generelt gjelder at anlegget skal prosjekteres i henhold til de prosesser som blir valg og hva som er tilgjengelig i markedet med nødvendig tilpasninger. Maskinelt utstyr prosjekteres for å følge maskindirektivet og røranlegg skal følge NS-EN13480 Metalliske industrielle rørsystemer. Fagbeskrivelsen oppdateres inntil anbudsdokumenter skal sendes ut.

5.3 Elektro og driftskontrollanlegg

Anlegget er bygget med flere fordelinger spredt rundt i anlegget. IO-innsamling foregår med lokale skap ute i anlegget og mangeledere som går til koblingspaneler som er tilkoblet hoved-PLS. Frekvensomformere er lokalt plassert ved motorer og kommuniserer over Bus mot PLS.

Det er brukt integralbrytere fra Telemecanique som motorstartere. Disse har gått ut av produksjon og en del er byttet med konvensjonelle motorstartere.

Generelt er elektrisk utstyr og komponenter godt vedlikehold og utstyr er erstattet med nytt eller tilsvarende der det er feil.

Det er installert et SCADA system fra Guard Automation som er utvidet mange ganger siden anlegget var nytt.

Tabell 19 beskriver observasjoner fra befaring ved anlegget i forbindelse med forprosjektet, samt forslag på tiltak. Mer detaljer er beskrevet i befarringsrapport i Bilag C.

Elektroleveransen i forbindelse med utvidelsen av Fuglevik RA innbefatter ny nettstasjon, hovedfordeling og underfordelinger for lys/stikk og tavler for ventilasjon-varmesystem. Det skal legges stigere til bygningsmessige-, VVS- og prosesstavler. Føringsveier for bygningsmessige installasjoner, belysning og stikk. Det skal fremføres installasjoner for alminnelig- og driftstekniske anlegg. I tillegg skal det etableres sentralt nødbelysningsanlegg, brannalarmanlegg i hele bygningsmassen. Eksisterende innbruddsalarm og adgangskontroll tilpasses det nye anlegget.

Krav til elektroteknisk anlegg og automasjonsanlegg for utvidelsen er beskrevet i den foreløpige fagbeskrivelsen i Bilag G. Fagnotatet beskriver kvaliteten på hvordan anlegget vil bli prosjektert og utført. Det er lagt vekt på at anlegget skal ha høy kvalitet og at anlegget skal ha lang levetid. Fagbeskrivelsen vil kunne bli oppdatert inntil anbudsdokumenter skal sendes ut.

Generelt gjelder at installasjonene skal prosjekteres og utføres etter gjeldende versjoner av følgende forskrifter:

- > FEL (Forskrift for elektriske lavspenningsinstallasjoner)
- > NEK400 (Elektriske lavspenningsinstallasjoner)
- > FOR-2009-05-20-544 (Forskrift om maskiner)
- > NEK EN 60204-1 (Maskinsikkerhet)
- > EN12100
- > NEK439 (Lavspenningstavler og kanalskinnesystemer)

- > NS-EN 12464 (Belysning av arbeidsplasser)
- > NS-EN 1838 (Anvendt belysning – Nødbelysning)
- > NS 3960 (Brannalarmanlegg – Prosjektering, installasjon, drift og vedlikehold)
- > NEK700 (Informasjonsteknologi)

Tabell 19. Generell tilstandsvurdering av eksisterende elektro og driftskontrollanlegg og foreslåtte tiltak. For detaljer, se Bilag C.

Objekt	Beskrivelse	Beskrivelse av tiltak
Hovedtavler generell elektro	Hovedtavler – godt vedlikeholdt, men utstyret begynner å bli gammelt. Beregnet levetid for utstyret er 25-35 år.	Fordelinger bør fornyes med nytt utstyr
Styretavler/ Motortavler	Tavlene er godt vedlikeholdt, men utstyret begynner å bli gammelt.	Fordelingene kan holdes i liv i mange år til ved å bytte utstyret når det går i stykker. Anbefalt å bytte tavlene i sin helhet.
VVS-tavler	Tavlene T1.3 i Ventilasjonsrommet er godt vedlikeholdt. Noe utstyr er byttet med nytt. Diodepanelet for meldinger er tatt ut av drift.	Fordelinger bør fornyes med nytt utstyr
Lokale signalinnsamlings skap for IO	Det benyttes mangeledere for å sende signalene til Hoved PLS. Dette er en «gammel» måte å gjøre dette på. Løsning var god i sin tid.	Lokale skap ute med distribuerte IO sentraler for innsamling av data. Benytte fibernettverk for distribusjon av IO til Master PLS. Det etableres en singelmodus fiberring i anlegget
Belysning	Det er opprinnelig montert armaturer med T8 lysstoffrør. En del er byttet til T5 og de som har røket de seneste årene er byttet med LED armaturer.	Hele lysanlegget byttes til et LED basert anlegg.
Føringsveier	Føringsveiene har hold godt i det miljøet de er installert for.	Ingen behov for skifte føringsveier i anleggets levetid.
Kabel	Det er benyttet gode industrikabler som har levetid opp til 40-60 år. Så lenge kable får være i fred holder denne i anleggets levetid.	Ingen gjenbruksverdi ved bygging av nytt anlegg
Ledesystem	En del av armaturene er benyttet som ledelys og koblet opp mot batteripakker. Anlegget virker godt vedlikeholdt.	Det anbefales et sentralt nødlysanlegg med egne armaturer for dette. Markeringsskilt/lys monteres over alle rømnings-dører. I øvrig del av anlegget vurderes ledesystem langs rømningsveier.
Brannalarmanlegg	Eksisterende brannalarmanlegg dekker hele anlegget og ble gjennomgått og oppdatert i 2016. Anlegget er modernisert og utvidbart for nye utvidelser. Anlegget har årlig vedlikehold og er i orden.	Årlig vedlikehold og testing etter gjeldene krav. Utskifting av komponenter som ryker.
UPS	UPS relativt ny og blir jevnlig oppdatert og vedlikeholdt.	Gjenbruk av UPS ved utvidelse så lang det går. Eventuelt ny UPS for hele driftskontrollanlegget.
Data	Det er installert nye trådløse aksesspunkter i anlegget i 2021.	Gjenbruk og utvidelser av aksesspunkter
PLS-system	Det er benyttet Schneider Modicon PLSer. Noen av PLSene er oppdatert med nye grunnet alderdom er vedlikeholdt godt.	PLS-er må fornyes og kommunikasjonskapasitet økes. Er ivarettatt i ny entrepris for driftskontroll.
Toppsystem	Det er installert SCADA system fra TS-elektro i sin tid, nå Guard. Anlegget er lappet siden anlegget var nytt. Anlegget er ikke oppdatert med siste løsning fra Guard.	Ny entrepris for driftskontroll utarbeides og sendes ut.

5.4 VVS-anlegg

Eksisterende VVS-anlegg er i hovedsak fra tiden anlegget ble bygget, med unntak av blant annet fyrkjeler til varmeanlegget. Ventilasjonsanlegget har luktreduksjon med et Pepconanlegg.

Eksisterende ventilasjonsanlegg har 4 st. aggregater med tilluft og avtrekk. Hovedanlegget VE1 har også et urent avtrekk med luktreduksjon. I tillegg er det noen mindre avtrekksvifter. Utstyret er fra når renseanlegget var nytt (1993) men fremstår som meget godt vedlikeholdt.

Eksisterende varmeanlegg består av 2 st. olje/gass-kjeler og gjenvinning fra gassturbiner og en lukket sirkulasjonskrets. Utstyret er fra når renseanlegget var nytt (unntatt brennere og hovedsirkulasjonspumper som er byttet nylig), men fremstår som meget godt vedlikeholdt.

Sanitæranlegget er fra når renseanlegget var nytt, men fremstår som meget godt vedlikeholdt. Utstyret har ikke tilbakeslagssikring i kategori 5.

Generelt fremstår mye av det VVS-tekniske utstyret som godt vedlikeholdt, men det har generelt liten restlevetid. Tabell 20 beskriver observasjoner fra befaring ved anlegget i forbindelse med forprosjektet, samt forslag på tiltak. Mer detaljer er beskrevet i befaringsrapport i Bilag D.

Tabell 20. Generell tilstandsvurdering av eksisterende VVS-anlegg og beskrivelse av foreslåtte tiltak. For detaljer, se Bilag D.

Objekt	Beskrivelse	Beskrivelse av tiltak
Ventilasjonsanlegg	Godt vedlikeholdt, men utstyret og kanalnett begynner å bli gammelt. Beregnet levetid for utstyret er 25-35 år. Iht. dagens krav kan man ikke bruke kanaler i brennbar materiale	Bør fornyes med nytt utstyr og distribusjonsnett. Kanaler til urent avtrekk må ved en ombygging byttes til kanaler i ubrennbar materiale.
Varmeanlegg	Godt vedlikeholdt, men utstyret begynner å bli gammelt. Beregnet levetid for utstyret er 30-35 år.	Bør fornyes med nytt utstyr og distribusjonsnett.
Sanitæranlegg	Godt vedlikeholdt, men utstyret begynner å bli gammelt. Beregnet levetid for utstyret er 30-40 år.	Bør fornyes med nytt utstyr og distribusjonsnett. Det må også installeres et distribusjonsnett for brutt vann med tilbakeslagssikring i kategori 5.

I forbindelse med rehabilitering, ombygging og utvidelse av Fuglevik RA skal byggene skal utstyres med nye VVS-anlegg. Følgende VVS-leveranser skal inngå:

- > Ventilasjon med luktreduksjon
- > Varmeanlegg
- > Sanitæranlegg med brutt vann kategori 5
- > Renset avløpsvann, (pumper prosjekteres av RIM, fordeling av RIV)
- > Trykkluft (prosjekteres av RIM)
- > Blåsemaskiner (prosjekteres av RIM)

Ventilasjonsanlegget skal ha tilluft, «rent» avtrekk og urent avtrekk med luktreduksjon. Varmeanlegget skal dekke varmebehovet for bygget, ventilasjon og prosessoppvarming.

Følgende tekniske bestemmelser, veiledninger og bransjenormer legges til grunn for prosjekteringen:

- > TEK17
- > NS-ISO 7730 Ergonomi i termisk miljø, nivå B
- > Arbeidstilsynets Best.nr. 444 "Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen"
- > NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse
- > Gjeldende normalreglement for sanitæranlegg
- > Standard abonnementsvilkår for vann og– tekniske bestemmelser og Standard abonnementsvilkår for vann og avløp- administrative bestemmelser utgitt av KS.
- > Byggebransjens våtromsnorm
- > «Rent Bygg»-modellen.
- > BV Nett – Veileder for brannsikker ventilerings versjon 4 nov. 2015
- > Retningslinjer i Prenøkserien
- > Retningslinjer i Ventøkserien

Mer informasjon om krav til VVS-installasjonene nye Fuglevik RA er beskrevet i den foreløpige fagbeskrivelsen i Bilag H. Fagbeskrivelsen vil kunne bli oppdatert inntil anbudsdokumenter skal sendes ut.

6 Prosjektgjennomføring

Fuglevik RA vil bli et komplekst prosessanlegg skreddersydd de tekniske løsningene som skal til for å nå MOVARs krav til avløpsrensing, slambehandling, arbeidsmiljø og bærekraft for øvrig. Uavhengig av både entrepriseform og anskaffelsesstrategi vil det være mange aktører som bidrar og er til stede i prosjektet, både tidsforskjøvet og på samme tid. Dette krever god planlegging og det er en stor fordel at man starter riktig.

Det ligger i prosjektets natur å utnytte prosessleverandørers kunnskap knyttet til detaljering av designerte prosessavsnitt. I tillegg er det anbefalt å inkorporere ytelseskrav i entreprisene (med målbart sanksjonsregime) for å sikre at rensekrav og ev. andre krav skal overholdes. Samtidig skal det hele knyttes sammen i et komplekst anlegg hvor alle hensyn beskrevet ovenfor i bunn og grunn skal være ivare tatt. Hvordan dette løses best diskuteres i det etterfølgende.

Foruten entreprisemodell vil vi også i denne fasen diskutere anskaffelsesstrategi, dvs. hvilke anskaffelsesprosedyrer som er best egnet for prosjektet. Disse skal også ivareta MOVARs strategiske mål knyttet til bærekraft og innovasjon, samtidig som lovkrav effektivt gjennom Forsyningsforskriften skal overholdes.

6.1 Entrepriseform

Det er mange former for kontraktsformer eller entreprisemodeller som benyttes i bygg- og anleggsprosjekter. Ofte benyttede entrepriseformer er:

- > Generalentreprise
- > Totalentreprise
- > Delte entrepriser (utførelsesentrepriser)
- > Samspillsentrepriser

Generelt er det slik at for *Totalentreprise* ligger prosjekteringsansvaret hos entreprenøren, mens for *Generalentreprise* og *Delte entrepriser* er det byggherren (oppdragsgiver) som tar hånd om prosjekteringen. I *Samspillsentrepriser* vil prosjekteringsansvaret bli avtalt spesifikt fra kontrakt til kontrakt og kan ligge både hos entreprenøren og hos byggherren.

Én samlet totalentreprise vil by på fordeler for byggherren, som f.eks. redusert administrasjon, men også risiko spesielt knyttet til kostnader som konsekvens av markedet (færre tilbydere pga. funksjonsansvar og kompleksitet) og kostnader knyttet til entreprenørpåslag. Det vurderes at det også er større risiko knyttet til kvalitet og fremdrift knyttet til én totalentreprise. Samlet vurderes det som større risiko for MOVAR å gjennomføre dette som én totalentreprise, og det anbefales delte entrepriser kombinert med prosessentrepriser med funksjonsansvar.

De delte entreprisene deles opp etter fag. For maskin/prosess kan det være ønskelig at én eller flere vil gjennomføres som funksjonsentrepriser (i praksis totalentrepriser etter NS8407). En viktig årsak til at det kan være aktuelt med totalentrepriser er at disse entreprisene, vil sannsynligvis være beheftet med prosessansvar (funksjonsansvar). Det vil da være naturlig at disse leverandørene også utfører prosessdesign for at de skal kunne gi slikt funksjonsansvar. De vil således være premissgiver for utforming av bygget, samt også i forhold til grensesnitt mot andre entrepriser som f.eks. elektro og VVS.

En annen årsak til å velge totalentrepriser knyttet til prosess/maskin er å utnytte kompetansen i firmaet, slik at dette kommer byggherren til gode ved smarte løsninger som gir merverdi. Siden disse entreprisene er premissgivere for all annen detaljprosjektering, og bør de derfor gjennomføres i forkant av de andre entreprisene.

En løsning mht. prosessentrepriser er å sette ut hele prosess/maskindelen i én totalentreprise for å ivareta prosessmessige grensesnitt. Det anbefales imidlertid ikke i dette tilfellet, da dette vil potensielt gi MOVAR høyere kostnader uten at det gir merverdi, siden totalentreprenører alltid vil legge på påslag, normalt i størrelsesorden 10-25 %. Det er svært få leverandører (om noen) som kan levere det fulle spekteret av prosesskombinasjoner vi ser for oss kan være aktuelt for MOVAR, og underleverandører mht. spesifikke prosesser blir da et svært sannsynlig utfall. Vi ser for oss at firmaer som Purac, Suez og Veolia kunne ha konkurrert i en slik situasjon, men nå fusjoneres de to sistnevnte og det blir lite konkurranse på det nivået. Ingen andre firmaer vi kjenner til er i stand til, både teknisk og finansielt, å kunne levere hele produktspekteret basert på egne løsninger. Vi anbefaler derfor at prosessentreprisene splittes opp, og begrenses til der hvor det er aktuelt å pålegge funksjonsansvar.

Det er vanlig at leverandører må garantere ytelse for gitte parametere, dvs. leveransen bør inkludere funksjonsansvar. En del av en kontrakt inkluderer derfor normalt prosessgaranti (eller ytelsesgaranti), som etterprøves og hvor manglende kravoppnåelse knyttes opp til et sanksjonsregime med økonomiske virkemidler.

Av konkurransehensyn (marked), samt tilsvarende påslagseffekt, anbefales også å dele opp i separat elektroentreprise og automasjonsentreprise. Det samme gjelder for VVS hvor varme- og sanitær (rørlegger) med fordel bør skilles fra ventilasjonsleverandører.

Forslag til entreprisemodell kommer frem av Tabell 21 nedenfor:

Tabell 21. Forslag til oppdeling i entrepriser.

Entreprise		Entrepriseform
Nr.	Navn	
M1	Vannbehandling - Forbehandling	Delt entreprise
M2	Vannbehandling - Separasjon og biotrinns	Funksjonsentreprise
M3	Slambehandling - Biogass	Funksjonsentreprise
M4	Slambehandling - Pyrolyse	Funksjonsentreprise
M5	Slambehandling - Avvanning og utlasting	Funksjonsentreprise
M6	Øvrige maskininstallasjoner	Delt entreprise
B1	Bygningsmessige arbeider	Delt entreprise
E1	Elkraft	Delt entreprise
E2	Driftskontroll/automasjon	Delt entreprise
V1	Varme- og sanitæranlegg	Delt entreprise
V2	Ventilasjonsanlegg	Delt entreprise

Byggentreprisen inneholder i dette oppsettet også alle leveranser knyttet til grunnarbeider, dette inkluderer graving, fundamentering, vei, grøntanlegg, bunnledninger og utvendig VA.

Av tidsmessige hensyn kan det være aktuelt å splitte opp i ytterligere entrepriser for fagene bygg, VVS og elektro. Slike forberedende entrepriser vil kanskje være

nødvendige, og tidsmessig ligge så lang tid i forveien av øvrige arbeider, at det er fornuftig å opphandle de særskilt.

Hovedentreprisen er også et begrep som ofte benyttes når man diskuterer ulike entreprisemodeller. Vi mener dette er mer et begrep om hvordan man organiserer seg på byggeplassen, og kan meget godt kombineres med modellen basert på delte entrepriser og prosessentrepriser. I et slikt tilfelle er det normalt at byggentreprenøren er hovedentreprenør. Begrepet er definert av Direktoratet for byggkvalitet (2021) slik:

«Denne organiseringen innebærer vanligvis at én entreprenør, hovedentreprenøren, påtar seg utførelsen av alle bygningsmessige arbeider, mens de installasjonstekniske arbeidene utføres i separate entrepriser. Hovedentreprenøren og de tekniske entreprenørene er sideentreprenører. Det er vanlig at hovedentreprenøren får ansvaret for koordinering på byggeplassen og for fremdriftskontroll av de andre sideentreprenørene mot særskilt godtgjørelse. For utførelsen kan hovedentreprenør velge å påta seg ansvarsrett for hele tiltaket eller pålegge underentreprenørene å påta seg ansvarsretten for sine arbeider.»

Hovedentreprenøren skal godtgjøres for denne koordineringen, som også ofte inkluderer HMS på byggeplassen. Hvorvidt man ønsker å tillegge en entreprenør dette ansvaret, og dermed gjennomføre den spesifikke entreprisen som en *hovedentreprisen* må være besluttet før den første entreprisen kontraheres, slik at spillereglene på byggeplassen gjøres kjent og kan prissettes.

6.2 Anskaffelsesstrategi

Den totale anskaffelsen vil havne i Forskrift om innkjøpsregler i forsyningssektorene (Forsyningsforskriften) del I og II. Dvs. alle entrepriser må i utgangspunktet kunngjøres på den europeiske databasen TED. For flere av entreprisene i tabell 2 er det vanlig å benytte prosedyren åpen anbudskonkurranse. For noen entrepriser kan det imidlertid være ønskelig å benytte forhandlet prosedyre.

Å benytte forhandlet prosedyre i Forsyningsforskriften anses ikke som spesielt problematisk, og anskaffelsesprosedyren konkurranse med forhandling etter forutgående kunngjøring er listet opp som tillatt prosedyre i §9-1 ledd (1).

Ordlyden forut forutgående kunngjøring er allment tolket som at anskaffelsen må gjennomføres i to trinn, dvs. med en prekvalifiseringsrunde først.

Forslag til anskaffelsesprosedyrer for den enkelte entreprise er oppsummert i Tabell 22.

Tabell 22. Forslag til anskaffelsesprosedyrer for den enkelte entreprisen.

Entreprise		Entrepriseform
Nr.	Navn	
M1	Vannbehandling - Forbehandling	Forhandlet prosedyre i faser (m/prekvalifisering)
M2	Vannbehandling - Separasjon og biotrinns	Forhandlet prosedyre i faser (m/prekvalifisering)
M3	Slambehandling - Biogass	Forhandlet prosedyre i faser (m/prekvalifisering)
M4	Slambehandling - Pyrolyse	Forhandlet prosedyre i faser (m/prekvalifisering)
M5	Slambehandling - Avvanning og utlasting	Forhandlet prosedyre i faser (m/prekvalifisering)
M6	Øvrige maskininstallasjoner	Åpen anbudskonkurranse
B1	Bygningsmessige arbeider	Åpen anbudskonkurranse
E1	Elkraft	Åpen anbudskonkurranse
E2	Driftskontroll/automasjon	Forhandlet prosedyre i faser (m/prekvalifisering)
V1	Varme- og sanitæranlegg	Åpen anbudskonkurranse
V2	Ventilasjonsanlegg	Åpen anbudskonkurranse

Et alternativ for forhandlet prosedyre er å benytte anskaffelsesprosedyren *konkurransepreget dialog*, men etter COWIs syn er dette ikke stor forskjell fra hvordan vi normalt har opphandlet prosessentrepriser. En viktig forskjell er at det ligger en forventning om at tilbydere i konkurransepreget dialog mottar økonomisk kompensasjon for sin deltagelse i dialogen. En må være oppmerksom på at det kreves ganske mye av tilbyderne i slike konkurranser, også ved «vanlige» forhandlede prosedyrer. For å motivere til størst deltagelse og som et middel for å motta så gode tilbud som mulig anbefales det at økonomisk kompensasjon inngår som et verktøy i de mest omfattende entreprisene, som f.eks. M2 og M3. Eksempelvis kan dette være kr. 300 000,- for et godkjent siste tilbud.

6.3 Drift i byggefasen

Fuglevik RA skal i størst mulig grad være i drift under utbyggingen av renseanlegget. I denne forbindelse ønsker man så høy grad av rensing som mulig til enhver tid. Normalt vil man akseptere redusert rensning i kortere perioder, dersom dette er nødvendig i forbindelse med kritiske byggearbeider. I dette avsnittet belyses de problemstillinger som er felles og ikke løsningsspesifikke.

Rehabilitering og utvidelse av forbehandlingen (rister/sandfang) forutsettes kunne utføres med anlegget i delvis drift, ved å ta en og en linje i drift av gangen. I korte perioder for innkobling av eventuelt nytt sandfang og tilkobling til nytt overløp etter sandfangene, kan det være aktuelt å stenge fullstendig. Dette må planlegges slik at nedetiden kun vil ha noen timers varighet.

Rehabilitering av eksisterende sedimenteringsbassenger for bruk i utvidet anlegg forutsettes kunne utføres med anlegget i delvis drift, ved å ta en og en linje i drift av gangen. Dette betyr at 3 av 4 bassenger vil kunne være i normal drift, noe som i perioder med høy vannføring vil føre til redusert rensing mht. fosfor.

Nytt biotrinns anlegges øst for eksisterende bassenghall. Drift av eksisterende vannbehandlingsprosess vil i stor grad kunne foregå uforstyrret av utbyggingsaktivitetene. Unntak i denne forbindelse er aktiviteter i forbindelse med tilknytning av nye prosessenheter til det eksisterende anlegget. Her vil man måtte forvente redusert til ingen rensning i korte perioder.

Rehabilitering og utskifting av bygningstekniske installasjoner, VVS-utstyr samt elektro- og automasjonsanlegg i eksisterende anlegg forventes å ha neglisjerbar

påvirkning på vannbehandlingen i driftsfasen (unntatt for ev. rehabilitering av bassenger, som skjer ved å rehabilitere et og et basseng av gangen).

Utvidelsen av slambehandlingen forventes å ha liten påvirkning på driften vannbehandlingen. Eksisterende slambehandling kan fortsette som tidligere i utbyggingsfasen av vannbehandlingsprosessene.

Det skal utarbeides detaljerte planer, inkludert risikoanalyser, for arbeider som vil kunne påvirke utslippene. Eventuelle perioder med redusert rensing skal søkes om i særskilte søknader til Statsforvalteren.

6.4 Fremdrift

I utslippstillatelse fra Statsforvalteren i Viken datert 25.02.2021 har Fuglevik renseanlegg krav om å overholde skjerpede sekundærrensekrav og krav til fosforfjerning, samt standard nitrogenfjerningskrav fra 01.01.2026. Dette medfører at utvidelsen av Fuglevik RA må være klar til drift god tid før 01.01.2026.

Fra 01.03.2026 skal avløp overføres fra Kambo renseanlegg til Fuglevik renseanlegg, og Kambo renseanlegg skal legges ned.

MOVAR har påklaget innholdet i utslippstillatelsen, og saken ligger nå hos Miljødirektoratet. Pga. lang saksbehandlingstid hos Statsforvalteren anses det nå ikke lenger som sannsynlig at man klarer å overholde fristen 1.1.2026 mht. stabil drift av anlegget iht. nye rensekrav. I tabell 23 er forventet fremdrift vist, hvor det kommer frem at uttesting kan starte ultimo 2025 og at stabil drift av nye renseprosesser ikke kan forventes før i 2. kvartal 2026. Årsaken til at igangkjøring tar så lang tid er bl.a. alle funksjoner skal testes, testing må ivareta grensesnitt mellom entreprenører, garantiforhold på utstyr, spesifikke bakteriekulturer skal bygges opp, samtidig som prosessgarantier fra entreprenør må sikres, og det ofte oppstår uventede forhold gjennom slik uttesting.

Det er i denne sammenheng viktig å understreke at klagesaken med Statsforvalteren og Miljødirektoratet må være avklart før man setter i gang med utarbeidelse av konkurransegrunnlag for prosessentrepriser, dvs. før 1.4.2022. Skjer ikke dette, vil prosjektet bli ytterligere forsinket.

Tabell 23. Overordnet fremdriftsplan for utvidelsen av Fuglevik RA

7 Kostnader

Det er gjennomført kostnadsestimater for de to prosesskombinasjoner for vannbehandling (inkl. estimert kostnad for slambehandling) som er vurdert som mest aktuelle for utvidelsen av Fuglevik RA. Tabell 24 viser investeringskostnader for prosesskombinasjon N15B og N23. N15B har lavest investeringskostnader av de to prosesskombinasjonene.

Tabell 24. Investeringskostnader for prosesskombinasjon N15B og N23

Kostnadspost	N15B (MNOK)	N23 (MNOK)
Bygg - Nye arealer	170	210
Bygg - Rehab. arealer	110	110
Maskin	100	120
VVS	40	50
El/auto	40	40
Rigg	60	60
Entreprisekostnad	520	590
Prosjektadministrasjon, byggherrekostnad	40	40
Prosjektering	60	70
Basiskalkyle	620	700
Uforutsett/usikkerhet	220	250
Budsjettkostnad	840	950

Tabell 25 viser investeringskostnader for hvert trinn, hvis man deler opp utbyggingen med prosesskombinasjon N15B i to trinn. I trinn 1 bygges anlegget ut for å overholde sekundærrensekrav og i trinn 2 for å overholde nitrogenfjerningskrav.

Tabell 25. Investeringskostnader for prosesskombinasjon N15B ved trinnvis utbygging

Kostnadspost	Trinn 1 (MNOK)	Trinn 2 (MNOK)	Sum (MNOK)
Bygg - Nye arealer	80	90	170
Bygg - Rehabiliterte arealer	110	0	110
Maskin	70	40	110
VVS	30	20	50
El/auto	20	10	30
Rigg	30	20	50
Entreprisekostnad	340	180	520
Prosjektadministrasjon, byggherrekostnad	20	20	40
Prosjektering	30	30	60
Basiskalkyle	390	230	620
Uforutsett/usikkerhet	140	80	220
Budsjettkostnad	530	310	840

Tabell 26 viser driftskostnader for de to for prosesskombinasjonene N15B og N23. N23 har lavest investeringskostnader av de to prosesskombinasjonene.

Tabell 26. Driftskostnader for prosesskombinasjon N15B og N23

Kostnadspost	N15B (MNOK/år)	N23 (MNOK/år)
Bemannning	8,0	8,0
Kjemikaliekostnad	4,1	1,3
El. forbruk	4,7	6,2
Vedlikehold	5,6	6,4
Slambehandlingskostnad	4,3	3,4
Totale driftskostnader	26,7	25,3

Kapitalkostnader er beregnet for en nedbetalingstid på 30 år av budsjettkostnaden i Tabell 24 og en rente på 4 %. Tabell 27 viser en sammenstilling av årskostnadene (summen av kapital- og driftskostnader) for prosesskombinasjonene N15B og N23.

Tabell 27. Årskostnader for prosesskombinasjon N15B og N23

Kostnadspost	N15B (MNOK/år)	N23 (MNOK/år)
Kapitalkostnader	48,6	55,5
Driftskostnader	26,7	25,3
Årskostnader	75,3	80,8

Det må understrekes at dette er kostnadsestimater, og at ytterligere raffinering med grundigere kostnadsberegninger, med usikkerhetsanalyse, for både investeringsbeslutning og finansiering vil utføres i senere faser i prosjektet.

Bilag

Bilag A	Befaringsrapport RIB
Bilag B	Befaringsrapport RIM
Bilag C	Befaringsrapport RIE
Bilag D	Befaringsrapport RIV
Bilag E	Fagbeskrivelse Bygg
Bilag F	Fagbeskrivelse Maskin
Bilag G	Fagbeskrivelse Elektro og automasjon
Bilag H	Fagbeskrivelse VVS