

SEPTEMBER 2022
LARVIK KOMMUNE

UTVIDELSE AV LILLEVIK RA MED SEKUNDÆRRENSING OG NITROGENFJERNING

FORPROSJEKTRAPPORT



SEPTEMBER 2022
LARVIK KOMMUNE

UTVIDELSE AV LILLEVIK RA MED SEKUNDÆRRENSING OG NITROGENFJERNING

FORPROSJEKTRAPPORT

OPPDRAKSNR.	DOKUMENTNR.
A227194	10-NOT-PL-116

VERSJON	UTGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
01	01.09.2022	Forprosjektrapport	Oscar Lidholm Erik Johannessen	Erik Johannessen Gorm W.H. Pettersen	Morten Petersen
02	27.01.2023	Forprosjektrapport	Erik Johannessen	Ole K. Haugen H. Vebjørn Kristoffersen	Morten Petersen

INNHOOLD

Sammendrag	5
1 Innledning	7
2 Arbeidsmetodikk og prosjektnotater	8
3 Dimensjoneringsgrunnlag	12
3.1 Forutsetninger i utslippstillatelsen	12
3.2 Befolkningsvekst og økt tilknytning	12
3.3 Dimensjonerende vannmengder	13
3.4 Dimensjonerende stoffmengder	14
3.5 Temperatur	17
4 Kriterier for valg av prosess	18
4.1 Infrastruktur, fysiske begrensninger	18
4.2 Kriterier og vektning for valg av prosess	19
5 Valg av vannbehandlingsprosess	22
5.1 Sekundærrensing	22
5.2 Nitrogenfjerning	27
6 Valg av slambehandlingsprosess	34
7 Dimensjonering av valgte prosesser	39
7.1 Innløp, forbehandling og forsedimentering (felles for S11 og N13)	39
7.2 Biologisk trinn – sekundærrensing S11	40
7.3 Biologisk trinn – nitrogenfjerning N13	41
7.4 Nivåløftere/mellompumpestasjon (felles for S11 og N13)	42
7.5 Etterfelling og slamseparasjon (felles for S11 og N13)	43
7.6 Slambehandling	43
7.7 Utjevning og rensing av returstrømmer	45
7.8 Driftskostnader	46
8 Anleggsutforming	48
8.1 Bygningsmessige utvidelser	48
8.2 Vannets vei gjennom anlegget	50

8.3	Utvendig VA	51
8.4	Arkitektonisk utforming	52
8.5	Landskapsmessig utforming	59
8.6	Sikkerhet i design og redundans	60
9	Tekniske løsninger og kvalitetsnormer	63
9.1	Bygg	63
9.2	Maskin	64
9.3	Elektro/automasjon	65
9.4	VVS	67
10	Prosjektgjennomføring	70
10.1	Entreprisemodell og anskaffelsesstrategi	70
10.2	Drift i byggefasen	71
10.3	Fremdriftsplan	74
11	Kostnader	75
11.1	Basiskalkyler	75
11.2	Usikkerhetsanalyse	77
11.3	Potensielle kostnadsbesparelser (addendum)	77
	Vedlegg A – Tegninger	80
	Vedlegg B – Fremdriftsplan	81

Sammendrag

Lillevik RA har fått krav til sekundærrensing, og skal overholde sekundærrensekrav innen 31.12.2027. Det forventes også at anlegget får krav til nitrogenfjerning, men det er uvisst når krav til N-fjerning kommer. I forprosjektet vurderes et scenario hvor man først bygger ut anlegget med sekundærrensing, og at utbyggingen med nitrogenfjerning skjer senere (to-trinns utbygging). I tillegg vurderes et scenario hvor man bygger ut anlegget med nitrogenfjerning direkte (ett-trinns utbygging). Utvidelse av vannbehandling, slambehandling og støttefunksjoner ved anlegget er inkludert i forprosjektet, og anlegget utvides for tilknytningen som forventes i 2058.

For valg av vann- og slambehandlingsprosess har fokus vært å finne en løsning som er bærekraftig mht. miljø, samfunn og økonomi. Ved valg av vannbehandlingsprosess er det benyttet 17 evalueringskriterier, hvor miljøkriterier gis 60 % vekt, samfunnskriterier vektes til 10 % og årskostnader vektes til 30 %. Slambehandlingsprosess er valgt etter samme prinsipp, men med totalt 14 evalueringskriterier.

For å velge vannbehandlingsprosess ble det først gjennomført en grovsortering, hvor aktuelle prosesskombinasjoner ble evaluert basert på en skjønsmessig vurdering. I grovsorteringen ble 11 prosesskombinasjoner for sekundærrensing og 14 prosesskombinasjoner for nitrogenfjerning vurdert. I en konseptstudie for slambehandling ble 15 prosesskombinasjoner vurdert som aktuelle for utvidelsen av Lillevik RA.

Fra den innledende grovsorteringen ble 3 prosessalternativer for sekundærrensing, 4 prosesser for nitrogenfjerning og 3 slambehandlingsprosesser valgt ut til grovdimensjonering og grov kostnadsestimering. I grovdimensjoneringen ble så energiforbruk, kjemikalieforbruk, arealbehov, klimafotavtrykk, ressursgjenvinning, slamproduksjon og årskostnader kvantifisert. Etter en oppdatert evaluering ble følgende prosessalternativer valgt i forprosjektet:

- > Sekundærrensing: Forsedimentering + MBBR og kjemisk felling + ettersedimentering (S11)
- > Nitrogenfjerning: Forsedimentering + MBBR med kombinert for- og etterdenitrifisering + kjemisk felling og ettersedimentering (N13)
- > Slambehandlingen bygges om til termofil utråtning (P3)

I prosessløsningene utnyttet eksisterende bygningsmasser hvor det er hensiktsmessig, og nødvendig rehabilitering er inkludert for å imøtekomme kommunens krav til funksjoner og arbeidsmiljø. Blant annet utnyttet eksisterende sand- og fettfang, flokkulering og sedimenteringsbasseng i det utvidete anlegget, etter nødvendig rehabilitering. Eksisterende innløpspumper og rister skiftes ut til utstyr med større kapasitet.

MBBR er en norskutviklet biologisk renseprosess hvor rensingen skjer i biofilmen på bærere som holdes i suspensjon i reaktorene. Denne prosessen kom best ut av evalueringen både ved utvidelse med sekundærrensing og nitrogenfjerning. Ved

utbygging med sekundærrensing vil det være mulig å bygge om anlegget slik at bioreaktorene også kan være i bruk ved en senere utvidelse med nitrogenfjerning.

Det har vært fokus på at det utvidete anlegget skal ha en bærekraftig energiutnyttelse. Det forprosjektete anlegget utnytter energien i produsert biogass til strømproduksjon, og på taket installeres solceller. Det legges opp til gjenvinning av varme fra blåsemaskinluft i forprosjektet, samt akkumulatortank for lagring av termisk energi.

For å finne en optimal utforming av anlegget har det vært et tett samarbeid mellom arkitekt og landskapsarkitekt, samt fagpersoner innenfor bygg, maskin/prosess, elektro/automasjon, VA og VVS i prosjekteringsfasen av forprosjektet.

Basiskalkyler er fremskaffet basert på erfaringspriser og innhenting av leverandørpriser, og en usikkerhetsanalyse er gjennomført for å finne forventet sluttkostnad og kostnadsramme for de tre scenarioene. Investeringskostnadene som er beregnet i forprosjektet er angitt i tabellen nedenfor. P50 blir ofte brukt som styringsramme, og P85 som øvre kostnadsramme for prosjektet.

Investeringskostnad	Sekundærrensing (MNOK)	To-trinns nitrogenfjerning (MNOK)	Ett-trinns nitrogenfjerning (MNOK)
Basiskalkyle	506	683	664
P50	620	831	801
P85	752	997	969

1 Innledning

Lillevik renseanlegg (RA) skal utvides for å behandle fremtidig tilknytning i 2058. I gjeldende utslippstillatelse fra statsforvalter datert 02.02.21 er det oppgitt at sekundærrensing skal være innfridd innen 31.12.2027. I forprosjektet tas høyde for at anlegget også kan få krav om nitrogenfjerning. Tre scenarioer for utbyggingen er forprosjektert:

- > Utvidelse med sekundærrensing, hvor anlegget tilpasses senere utvidelse med nitrogenfjerning
- > To-trinns utbygging med nitrogenfjerning (anlegget bygges ut med sekundærrensing, og deretter med nitrogenfjerning)
- > Ett-trinns utbygging med nitrogenfjerning (direkte utbygging med nitrogenfjerning)

Forprosjektet inkluderer både vann- og slambehandlingsprosesser. Målet med forprosjektet er å finne løsninger som oppfyller kravene i utslippstillatelsen, og Lillevik kommune (LK) sine krav til arbeidsmiljø og bærekraft. Det er lagt vekt på bærekraftige løsninger ved valg av prosesser, samt at anlegget skal tilpasse seg de lokale forholdene mht. utforming og arkitektur. Anleggsutforming og tekniske løsninger er beskrevet og ligger til grunn for kostnadsestimeringen. Det er gjennomført en usikkerhetsanalyse i fellesskap med kommunen for å avdekke markedsusikkerheter som vil påvirke kostnadsberegningene.

2 Arbeidsmetodikk og prosjektnotater

Det er gjennomført et systematisk arbeid for å komme frem til de beste løsningene for utvidelsen av Lillevik RA. Veien frem til valgte løsninger for utvidelsen, inkludert målsetninger og resultatdokumenter er beskrevet i dette kapitlet.

I forbindelse med forprosjektet er følgende prosjektnotat (PN) utarbeidet:

- > PN#1 - Oppgavedefinisjon
- > PN#2 - Styringsdokument
- > PN#3 - Evalueringskriterier
- > PN#4 - Flaskehalsanalyse (vann- og slambehandling) + konseptstudie slambehandling
- > PN#5 - Bærekraftig utnyttelse av energikilder
- > PN#6A - Prosessalternativer og prosessvalg - vannbehandling
- > PN#6B - Prosessalternativer og prosessvalg - slambehandling
- > PN#7 - Anskaffelsesstrategi
- > PN#8 - BIM-strategi og -manual
- > PN#9 - Tilstandsvurdering av dagens anlegg
- > PN#10 - Dimensjoneringsgrunnlag
- > PN#11 - Sikkerhet i design, drifts- og vedlikeholdstrategi
- > PN#12 - Fagrapporter
- > PN#13 - Geomatikknotat
- > PN#15 - Premissnotat HMS, SHA
- > PN#16 - Tagkodemanual
- > PN#17 - Prosessdimensjoneringsnotat
- > PN#20 - Pumpestasjon Hølen
- > PN#21 - Rapport - Usikkerhetsanalyse
- > PN#22 - Forprosjektrapport
- > PN#23 - Anleggsgjennomføringsplan/rigg
- > PN#24 - Hydraulisk dimensjonering utslippsledning

Det ble etablert en omforent forståelse av prosjektet innledningsvis, ved at det ble utarbeidet en oppgavedefinisjon (PN#1) og et styringsdokument (PN#2) for arbeidet i forbindelse med forprosjektet. Følgende momenter inngikk:

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| Opgavedefinisjon (PN#1): | > Kommersielle betingelser |
| > Mål | > Arbeidsomfang |
| > Forutsetninger/grunnlag | > Administrative krav |
| > Omfang | > HMS |
| > Begrensninger | > Risikostyring |
| > Suksessfaktorer | > Møteplan |
| > Roller | > Organisering |
| > Interessenter | |
| > Budsjett | |
| > Kostnad/nytte | |
| > Fremdrift/tidsplan | |
| > Leveranser/rapportering | |

Styringsgrunnlag for forprosjektet (PN#2):

Kriterier for prosessvalg ble valgt i samråd mellom COWI og Larvik kommune (LK). Valgte kriterier og vektlegging for prioritering er presentert i PN#3, og er også sammenstilt i kapittel 4 i dette dokumentet. De totalt 17 kriteriene for evaluering av vannbehandlingsprosesser er inndelt i kategoriene miljø, samfunn og økonomi, hvor miljøkriteriene gis 60 % vekt, samfunnskriteriene 10 % vekt og økonomi 30 % vekt. For slambehandling er 14 kriterier valgt, med samme inndeling og vektfordeling mellom miljø, samfunn og økonomi som for vannbehandlingen.

PN#3 beskriver også arbeidsmetodikken for valg av vann- og slambehandlingsprosess, hvor vann- og slambehandlingsprosess blir valgt i to trinn. I trinn 1, grovsorteringen, gis poeng for hvert enkelt kriterium etter beste skjønn for hver enkelt prosesskombinasjon. De prosesser som velges ut fra grovsorteringen blir grovdimensjonert, og endelig prosessvalg blir gjort basert på en revidert evaluering med kvantifiserte parametere. Tilsvarende evaluering ble gjennomført for slambehandlingen.

PN#10 beskriver dimensjonerende forutsetninger for vann- og slambehandlingen, og er sammenfattet i kapittel 3 nedenfor. Det utvidede anlegget dimensjoneres for forventet belastning år 2058. Anlegget har fått krav til sekundærrensing, men det forventes at man også vil få krav til nitrogenfjerning. Det er imidlertid usikkert når anlegget ev. vil få krav til nitrogenfjerning, og i forprosjektet blir begge alternativene vurdert parallelt. Hvis anlegget bygges ut med sekundærrensing først, legges det til rette for å kunne bygge ut med nitrogenfjerning senere.

For å vurdere hvilke deler av eksisterende anlegg som kan utnyttes videre etter utvidelsen, og hvilke deler som må erstattes eller utvides, ble det gjennomført en flaskehalsanalyse av eksisterende anlegg. Resultatet er presentert i PN#4. Det ble også gjennomført en tilstandsvurdering av dagens bygningsmasse, med hensikt å kartlegge generelle rehabiliteringsbehov. Fagspesialister innen bygg (RIB), maskin (RIM), elektro og automasjon (RIE og RIA) samt VVS (RIV) var på befaring på anlegget, og resultatet fra tilstandsvurderingene er sammenstilt i PN#9.

I PN#5 ble energiutnyttelsen ved det utvidede anlegget vurdert. Energiutnyttelsen er vurdert for flere kombinasjoner av vann- og slambehandlingsprosesser, deriblant slambehandling med termofil utråtning, termisk hydrolyse, pyrolyse og kombinasjoner av disse. Ulike alternativer for bruk av produsert biogass er vurdert, samt muligheter for varmeveksling, bruk av varmepumpe og annen energigjenvinning. Også lagring av energi og alternative energikilder, som f.eks. solenergi og bergvarme, er vurdert. Konklusjonen fra energibalansene er at gjenvinning av elektrisitet og varme i et CHP-anlegg anses som den mest bærekraftige løsningen når det gjelder utnyttelse av biogass, og at solcellepaneler installert på taket vil være økonomisk og miljømessig bærekraftig. Også lagring av termisk energi i en sjiktet akkumulatortank og gjenvinning av termisk energi fra blåsemaskinluft ble anbefalt for videre prosjektering.

Grovsortering og grovdimensjonering av vannbehandlingsprosesser er beskrevet i PN#6A, og er også presentert i kapittel 5 nedenfor. I grovsorteringen ble 11 prosesskombinasjoner for sekundærrensing og 14 prosesser for nitrogenfjerning evaluert, hvorav 3 prosesser for sekundærrensing og 4 prosesser for nitrogenfjerning

ble valgt ut til grovdimensjonering og grov kostnadsestimering. Basert på resultater fra grovdimensjoneringen og de grove kostnadsestimeringene ble sekundærrensprosessen S11 (forsedimentering + MBBR + kjemisk felling + sedimentering) og nitrogenfjerningsprosessen N13 (forsedimentering + MBBR med for- og etterdenitrifisering + kjemisk felling + sedimentering) valgt ut til videre vurderinger i forprosjektet. Prosessdimensjoneringsnotatet, PN#17, presenterer dimensjoneringen av de valgte prosessene S11 og N13 i detalj, og resultatet er sammenstilt i kapittel 6 i denne rapporten.

I PN#4 ble det gjennomført en konseptstudie for slambehandlingen i det utvidede anlegget (i tillegg til tilstandsvurderingen for eksisterende vann- og slambehandling). Tre slambehandlingsprosesser ble valgt ut til grovdimensjonering, og grovdimensjonering og evaluering av slambehandlingsprosessene er beskrevet i PN#6B. Det ble valgt å gå videre med termofil utråtning ved det utvidede anlegget. Evalueringen av slambehandlingsprosesser presenteres i kapittel 6 nedenfor, dimensjoneringen av valgt slambehandlingsprosess er presentert i kapittel 7.

PN#7 beskriver anbefalt anskaffelsesstrategi for utvidelsen av rensenanlegget.

Strategi for sikkerhet i design, drift og vedlikehold for prosjekteringen er presentert i PN#11, og konklusjoner er presentert i kapittel 8.6.

Fagrapporter for RIB, RIM, RIE, RIA og RIV beskriver generelle tekniske krav til det nye anlegget (PN#12). PN#16 beskriver anbefalt tagkodemanual for anlegget og PN#15 beskriver et premissnotat for HMS og SHA for prosjekteringen. En anbefalt anleggsgjennomføringsplan og plan for rigg presenteres i PN#23.

PN#8 presenterer forprosjektets BIM-strategi og DAK-manual. Formålet med DAK-manualen er å etablere en omforent beskrivelse for prosjekteringsgruppen mht. modelleringsmetodikk, kvalitetskrav og kvalitetskontroll.

Geomatikknotatet (PN#13) beskriver valg av løsninger og krav til kartgrunnlag, tegninger og 3D-modeller når det kommer til koordinat og høydereferanser. Dokumentet viser også informasjon om etablerte fastmerker og gjennomføring av landmålingsrelaterte oppgaver for Nye Lillevik rensenanlegg.

For de valgte prosessløsningene i forprosjektet er det laget flytskjemaer og hydraulisk profil. Det er også laget en rom- og funksjonsplan for anlegget etter utvidelsen, i samarbeid mellom COWI og LK. For utformingen av anlegget har også arkitekt og landskapsarkitekt hatt en viktig rolle. Prosjektering av maskin, bygg, VVS og el/auto er utført av fagspecialister, og endelig utforming av forprosjektet løsning er modellert i Revit.

Tre scenarier for utbyggingen er forprosjektet; 1) sekundærrensing, 2) to-trinns utbygging med nitrogenfjerning og 3) ett-trinns utbygging med nitrogenfjerning. Ved utbygging med sekundærrensing forberedes anlegget for utvidelse til nitrogenfjerning (to-trinns utbygging). Basert på forprosjekteringen er det gjennomført kostnadsberegninger, hvor det er beregnet basiskostnad for de tre scenarioene. Det er gjennomført en usikkerhetsanalyse i fellesskap med Larvik kommune for å estimere

forventet sluttkostnad (P50) og kostnadsramme (P85). Resultatene fra kostnadsberegninger og usikkerhetsanalyse er presentert i PN#21.

Det går i dag store mengder avløpsvann i overløp ved Hølen pumpe-stasjon. I forbindelse med forprosjektet er tiltak for å redusere overløpet vurdert i PN#20. Tiltak for overføring av avløpsvann fra Hølen pumpe-stasjon er for øvrig ikke beskrevet i denne forprosjektrapporten.

3 Dimensjoneringsgrunnlag

3.1 Forutsetninger i utslippstillatelsen

I gjeldende utslippstillatelse fra statsforvalter datert 02.02.21 er det oppgitt at sekundærrensekrav skal være innfridd innen 31.12.2027. Forprosjektet forutsetter en levetid for anlegget på 30 år fra at anleggsstart. Dimensjonerende år for dimensjoneringsgrunnlaget blir da 2058.

I forprosjektet tas det høyde for at anlegget kan få krav til nitrogenfjerning. Tre scenarier for utbyggingen forprosjekteres:

- > Utvidelse med sekundærrensing, hvor anlegget tilpasses senere utvidelse med nitrogenfjerning
- > To-trinns utbygging med nitrogenfjerning (anlegget bygges ut med sekundærrensing, og deretter med nitrogenfjerning)
- > Ett-trinns utbygging med nitrogenfjerning (direkte utbygging med nitrogenfjerning)

I gjeldende utslippstillatelse har anlegget fått følgende rensekrav, som gjelder fra 1.1.2028:

- > BOF < 25 mg/l eller > 70 % renseeffekt
- > KOF < 125 mg/l eller > 75 % renseeffekt
- > Total P > 90 % renseeffekt som årsgjennomsnitt

Hvis anlegget i tillegg får krav til nitrogenfjerning forventes at man også får følgende rensekrav:

- > Total N > 70 % renseeffekt som årsgjennomsnitt

3.2 Befolkningsvekst og økt tilknytning

Larvik kommune rapporterte til miljødirektoratet at det var 39 402 personer tilknyttet Lillevik RA i 2020. Dette benyttes som grunnlag for å beregne fremtidig belastning i 2058. Belastningen fra industri og fritidsboliger vil inngå som spesifikk belastning for antall personer tilknyttet. Det er ikke forventet mange nye fritidsboliger i kommunen, da det er byggestopp i strandsonen rundt Oslofjorden. COWI vurderer det likevel som svært sannsynlig at fritidsboliger vil øke tilknytningen til kommunalt nett i takt med befolkningsveksten. Bidraget fra industri er også forventet å øke i takt med befolkningsveksten.

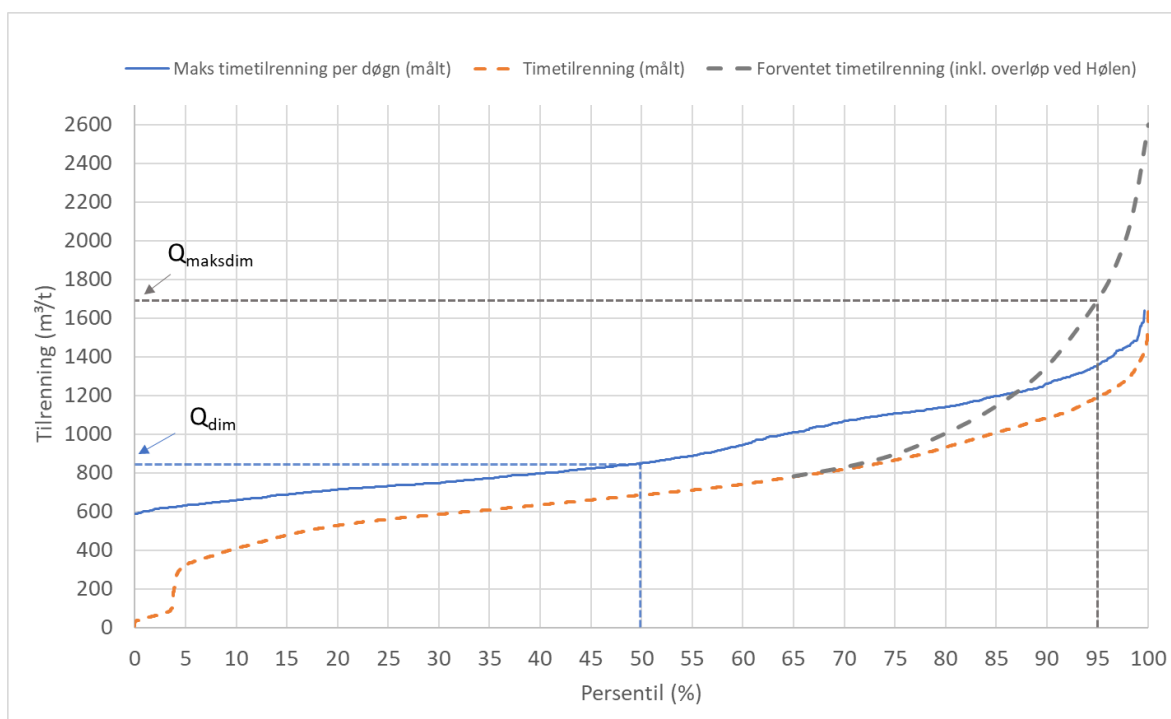
Fra SSB er det oppgitt et innbyggertall på 47 204 personer for Larvik kommune i 2020. Med estimert høy nasjonal vekst er innbyggertallet forventet å øke til 57 340 i 2058, som tilsvarer en vekst på 21,5 %. Dersom tilknytningen til Lillevik RA øker med tilsvarende prosentandel, vil nye tilknytninger frem mot 2058 tilsvare ca. 8 500

personer. Anlegget dimensjoneres dermed for en tilknytning på ca. 48 000 personer i 2058 i forprosjektet.

3.3 Dimensjonerende vannmengder

3.3.1 Nåværende tilknytning

Dimensjonerende vannmengder for dagens tilknytning bestemmes etter metodikk beskrevet i Norsk Vann rapport nr. 256-2020. Målt vannføring (inkl. overløp ved renseanlegget) er innhentet for perioden 01.01.2018 til 20.08.2021. Figur 1 viser varighetskurver for målt timetilrenning (oransje stiplet linje) og målt maksimal timetilrenning per døgn (blå linje). Det går i dag store avløpsmengder i overløp ved Hølen pumpestasjon, og mengdene som går i overløp blir ikke målt. Tiltak skal gjennomføres for å redusere overløpet, og midlere og dimensjonerende vannmengder er derfor estimert for en situasjon når dette overløpet overføres til renseanlegget. Det er laget en varighetskurve for en mulig timetilrenning hvis det ikke hadde gått i overløp ved Hølen pumpestasjon, se grå stiplet linje i Figur 1. En forutsetning for den antatte tilrenningen er at $Q_{maksdim}$ tilsvarer 95-persentilen av timetilrenningen.



Figur 1. Varighetskurve for eksisterende innløpsmengde til Lillevik RA 2018-2021

Følgende midlere og dimensjonerte avløpsmengder er estimert for dagens tilknytning (inkl. overløpet ved Hølen pumpestasjon):

- > $Q_{middel} = 808 \text{ m}^3/\text{t}$
- > $Q_{dim} = 847 \text{ m}^3/\text{t}$
- > $Q_{maksdim} = 1694 \text{ m}^3/\text{t}$
- > $Q_{maks} = 2600 \text{ m}^3/\text{t}$

3.3.2 Vannmengder i dimensjonerende år

Dimensjonerende vannføring for den økte tilknytningen frem til 2058 er estimert basert på metodikk i Norsk Vann rapport nr. 256-2020, og forutsetter at spesifikk mengde spillvann inkl. industriavløp vedvarer for fremtidig vekst (281 l/pe·d). I tillegg antas en spesifikk infiltrasjonsmengde på 100 l/pe·d for den økte tilknytningen (forutsetter separat avløp og tette nye ledninger for den økte tilknytningen).

Normalt bestemmes $Q_{maksdim}$ fra massebalanse og hvor mange % som går i overløp. Pga. usikkerheter med faktiske avløpsmengder gjennom Hølen pumpestasjon foreligger det dessverre ikke godt nok datagrunnlag til å ta en slik beslutning, dermed er $Q_{maksdim}$ besluttet å settes til $Q_{dim} \times 2$ både for nåværende og fremtidig belastning.

Q_{maks} er den maksimale vannmengden som forbehandlingen til renseanlegget skal være dimensjonert for. Dagens Q_{maks} er det ikke mulig å hente ut fra eksisterende datagrunnlag, pga. nevnte situasjon i Hølen p.st. Q_{maks} er bestemt ut i fra faktoren $Q_{maks}/Q_{maksdim} = 1,6$ (som man har sett på anlegg som kan sammenlignes med Lillevik RA).

Følgende dimensjonerende belastninger er estimert for dimensjonerende år:

- > $Q_{middel} = 943 \text{ m}^3/\text{t}$
- > $Q_{dim} = 1050 \text{ m}^3/\text{h}$
- > $Q_{maksdim} = 2050 \text{ m}^3/\text{h}$
- > $Q_{maks} = 3300 \text{ m}^3/\text{h}$

Det understrekes at det er store usikkerheter ved estimeringen av de dimensjonerende vannmengdene, pga. at overløpet ved Hølen pumpestasjon er ukjent.

3.4 Dimensjonerende stoffmengder

Data for stoffbelastningen fra 2018, 2020 og 2021 frem til juli er brukt for å estimere dimensjonerende belastning. For SS var det kun data fra mars 2020. Figur 2 viser en varighetskurve for stoffmengder for KOF og BOF_5 .



Figur 2. Varighetskurve for organisk stoff tilført Lillevik RA

For å overholde krav til sekundærrensing skal 21 av 24 prøver være innenfor renskravet. Dette tilsvarer at 87,5 % av prøvene skal være godkjente, mens 12,5 % kan være over kravverdiene. Ved dimensjonering av et sekundærrensianlegg velges 90-persentilen som dimensjonerende stoffbelastning. For rensianlegg med N-fjerning skal anlegget overholde renskrav for nitrogen som gjennomsnittsverdi per år, og det er da vanlig å dimensjonere anlegg for 80-persentilen av stoffbelastningen (den spesifikke belastningen av organisk stoff vil da bli så lav at man uansett vil klare utslippskravene for organisk stoff).

Det forutsettes at spesifikk stoffmengde per person fra husholdninger og industri vil være uforandret frem til 2058. Dermed antas at dimensjonerende stoffbelastning øker proporsjonalt med befolkningsøkningen frem til dimensjonerende år.

I tillegg til stoffmengdene i innkommende avløp må man ta hensyn til belastning fra interne returstrømmer fra slambehandlingen. For å estimere dimensjonerende vannmengder for returstrømmer fra foravvanning og sentrifugering ble målte mengder i 2020 brukt, og økt proporsjonalt med den forventede økningen i belastningen til rensianlegget i 2058.

Tabell 1. Dimensjonerende tilførsler til Lillevik rensianlegg i 2058 ved utbygging med sekundærrensing

Parameter	Enhet	Før primærrensing (innløpsverdier)	Før primærrensing (med returstrømmer)	Inn til biologi (med returstrømmer)	
Vannmengde 2058	Midlere vannmengde (Q_{middel})	m ³ /d	22 640	22 793	22 793
	Dimensjonerende vannmengde (Q_{dim})	m ³ /h	1 050	1 064	1 064
	Maksimal vannmengde (Q_{maksdim})	m ³ /h	2 050	2 065	2 065
Midlere stoffbelastning 2058	Total KOF (TKOF)	kg/d	6 430	6 966	4 614
	Filtrert KOF (FKOF)	kg/d	1 945	2 263	2 263
	Total BOF5 (TBOF5)	kg/d	2 170	2 354	1 449
	Filtrert BOF5 (FBOF5)	kg/d	448	544	544
	SS	kg/d	3 250	3 480	1 740

	Total N (TN) uten THP	kg/d	620	701	662	
	Total N på filtrert prøve (FTN)	kg/d	558	623	623	
	NH4-N	kg/d	480	545	545	
	Total P (TP)	kg/d	58	63	54	
	Total P på filtrert prøve (FTP)	kg/d	44	44	44	
	Alkalitet	kmol/d	55	61	61	
Dimensjonerende stoffbelastning 2058 (90-persentil)	Total KOF (TKOF)	kg/d	8 800	10 004	6 847	
	Filtrert KOF (FKOF)	kg/d	2 976	3 690	3 690	
	Total BOF5 (TBOF5)	kg/d	3 100	3 513	2 297	
	Filtrert BOF5 (FBOF5)	kg/d	863	1 080	1 080	
	SS	kg/d	4 220	4 736	2 368	
	Total N (TN) uten THP	kg/d	730	912	857	
	Total N på filtrert prøve (FTN)	kg/d	657	803	803	
	NH4-N	kg/d	565	711	711	
	Total P (TP)	kg/d	71	81	68	
	Total P på filtrert prøve (FTP)	kg/d	53	54	54	
	Alkalitet	kmol/d	66	80	80	
Dimensjonerende midlere konsentrasjoner 2058	Total KOF (TKOF)	mg/l	284	306	202	
	Filtrert KOF (FKOF)	mg/l	86	99	99	
	Total BOF5 (TBOF5)	mg/l	96	103	64	
	Filtrert BOF5 (FBOF5)	mg/l	20	24	24	
	SS	mg/l	144	153	76	
	Total N (TN) uten THP	mg/l	27	31	29	
	Total N på filtrert prøve (FTN)	mg/l	25	27	27	
	NH4-N	mg/l	21	24	24	
	Total P (TP)	mg/l	2,6	2,8	2,3	
	Total P på filtrert prøve (FTP)	mg/l	1,9	1,9	1,9	
		Alkalitet	mmol/l	2,4	2,7	2,7

Tabell 2. Dimensjonerende tilførsler til Lillevik renseanlegg i 2058 ved utbygging med nitrogenfjerning

Parameter		Enhet	Før primærrensing (innløpsverdier)	Før primærrensing (med returstrømmer)	Inn til biologi (med returstrømmer)
Vannmengde 2056	Midlere vannmengde (Q_{middel})	m ³ /d	22 640	22 793	22 793
	Dimensjonerende vannmengde (Q_{dim})	m ³ /h	1 050	1 064	1 064
	Maksimal vannmengde (Q_{maksdim})	m ³ /h	2 050	2 065	2 065
Midlere stoffbelastning 2056	Total KOF (TKOF)	kg/d	6 430	6 966	4 614
	Filtrert KOF (FKOF)	kg/d	1 945	2 263	2 263
	Total BOF5 (TBOF5)	kg/d	2 170	2 354	1 449
	Filtrert BOF5 (FBOF5)	kg/d	448	544	544
	SS	kg/d	3 250	3 480	1 740
	Total N (TN) uten THP	kg/d	620	701	662
	Total N på filtrert prøve (FTN)	kg/d	558	623	623
	NH4-N	kg/d	480	545	545
	Total P (TP)	kg/d	58	63	54
	Total P på filtrert prøve (FTP)	kg/d	44	44	44
	Alkalitet	kmol/d	55	61	61
Dimensjonerende stoffbelastning 2056 (80-persentil)	Total KOF (TKOF)	kg/d	7 500	8 704	5 768
	Filtrert KOF (FKOF)	kg/d	2 118	2 832	2 832
	Total BOF5 (TBOF5)	kg/d	2 700	3 113	1 981
	Filtrert BOF5 (FBOF5)	kg/d	633	850	850
	SS	kg/d	3 900	4 416	2 208
	Total N (TN) uten THP	kg/d	660	842	791
	Total N på filtrert prøve (FTN)	kg/d	594	740	740
	NH4-N	kg/d	511	656	656
	Total P (TP)	kg/d	66	76	63

	Total P på filtrert prøve (FTP)	kg/d	50	51	51
	Alkalitet	kmol/d	61	74	74
Dimensjonerende midlere konsentrasjoner 2056	Total KOF (TKOF)	mg/l	284	306	202
	Filtrert KOF (FKOF)	mg/l	86	99	99
	Total BOF5 (TBOF5)	mg/l	96	103	64
	Filtrert BOF5 (FBOF5)	mg/l	20	24	24
	SS	mg/l	144	153	76
	Total N (TN) uten THP	mg/l	27	31	29
	Total N på filtrert prøve (FTN)	mg/l	25	27	27
	NH4-N	mg/l	21	24	24
	Total P (TP)	mg/l	2,6	2,8	2,3
	Total P på filtrert prøve (FTP)	mg/l	1,9	1,9	1,9
	Alkalitet	mmol/l	2,4	2,7	2,7

3.5 Temperatur

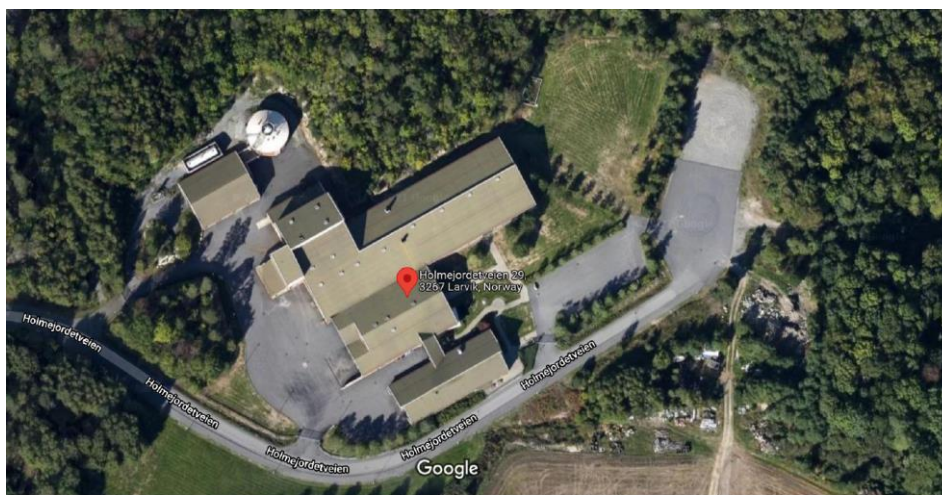
Dimensjonerende middel- og maksimumstemperatur er bestemt utfra 50- og 90-persentilen fra temperaturmålinger ved dagens renseanlegg. Dette er likt for sekundærrenseanlegg og anlegg med N-fjerning. Som dimensjonerende minimumstemperatur velges 10-persentilen fra temperaturmålingene for sekundærrenseanlegg, og den kaldeste sammenhengende perioden over 10-15 døgn for N-fjerningsanlegg:

- > Dimensjonerende maksimumstemperatur: 15,0 °C
- > Dimensjonerende middeltemperatur: 11,1 °C
- > Dimensjonerende minimumstemperatur sekundærrensing: 7,0 °C
- > Dimensjonerende minimumstemperatur N-fjerning: 5,1 °C

4 Kriterier for valg av prosess

4.1 Infrastruktur, fysiske begrensninger

Figur 3 viser en oversikt over området rundt eksisterende renseanlegg. Nytt renseanlegg kan plasseres på renseanleggets tomt, nordøst for eksisterende bassenghall. Tomtearealet som ikke er utbygget er på ca. 2500 m², og dette betyr at det er behov for kompakte prosesser. Det er i tillegg behov for en begrenset utvidelse av tomten mot nord for å få plass med nødvendig infrastruktur rundt renseanlegget, jf. kapittel 8.



Figur 3. Oversikt over området rundt eksisterende anlegg

Eksisterende bygningsmasse vurderes utnyttet i størst mulig grad, spesielt eksisterende sedimenteringshall. Denne integreres så langt som mulig i ny prosessløsning, da dette utgjør store arealer og vil bidra til høyere klimafotavtrykk om det ikke utnyttes. Det er forutsatt at alle bassenger skal være overbygde. Dette av hensyn til naboer, hvor risiko for lukt og større ansamlinger av f.eks. måker vil unngås.

4.2 Kriterier og vekting for valg av prosess

4.2.1 Vannbehandling

LK og COWI har gjennom diskusjoner og arbeidsmøter blitt enige om å benytte FNs bærekraftsmål som utgangspunkt for vekting av kriterier, i tillegg til årskostnader. Figur 4 viser bærekraftsmålene som er brukt for evaluering av vannbehandlingsprosesser.



Figur 4. FNs bærekraftsmål som er brukt for valg av vannbehandlingsprosess

Det er 3 hovedkriterier for valg av vannbehandlingsprosess; miljø (13 delkriterier med til sammen 60 % vekt), samfunn (3 delkriterier med 10 % vekt) og økonomi (30 % vekt). Tabell 3 viser de 17 delkriteriene og vektningen av disse. Vekten for de ulike kriteriene bestemmes av hvor mange av FNs bærekraftsmål som påvirkes av kriteriene. Tabell 4 viser relevansen til de valgte bærekraftsmålene i Figur 4.

Tabell 3. Kriterier for valg av vannbehandlingsprosess

Kriterier		Hovedkriterier	FNs bærekraftsmål						Mellomregning	Vekt (%)		
			Vekt	#8	#12	#13	#14	#17			Sum	
1	Energiforbruk	Miljø	60		1	1				2	29	4,1
2	Kjemikalieforbruk				1	1				2		4,1
3	Kompakthet (areal og bygningsbehov)				1	1				2		4,1
4	Gjenbruk av eksisterende bygningsmasse				1	1				2		4,1
5	Fleksibilitet/modularitet (utvidelser og tilpassing til nye prosesser)				1	1	1	1		4		8,3
6	Driftsstabilitet og robusthet					1	1	1		3		6,2
7	Rensing bedre enn krav for parametrene P, N og BOF/KOF							1		1		2,1
8	Rensing av mikroplast					1		1		2		4,1
9	Rensing av miljøfremmede stoffer (DEHP, PFAS, legemidler, osv)					1		1		2		4,1
10	Klimafotavtrykk					1	1	1		3		6,2
11	Ressurgjenvinning, fosfor					1		1	1	3		6,2
12	Lukt				1					1		2,1
13	Slamproduksjon og slamkonsentrasjon					1	1			2		4,1
14	Kompetansebehov	Samfunn	10	1				1	2	6	3,3	
15	Innovasjonsgrad			1				1	2		3,3	
16	Leverandørkonkurranse			1	1				2		3,3	
17	Årskostnader / LCC	Økonomi	30							30	30	
Sum pr. bærekraftsmål				5	12	8	7	3	35		100 %	

Tabell 4. Relevans for de 17 kriteriene for valg av vannbehandling til FNs bærekraftsmål

Kriterium	Relevans til FNs bærekraftsmål
1	Produksjon og forbruk av energi (12). Minimalt forbruk av fossil energi, produsere grønn energi (13).
2	Forbruk av kjemikalier (12). Utvinning/produksjon av kjemikalier har et klimautslipp (13).
3	Forbruk av areal og bygningsmaterialer (12). Nybygg har et klimautslipp (13).
4	Redusert forbruk (12). Redusert klimautslipp (13).
5	Økonomisk produktivitet og teknologisk modernisering (8). Ansvarlig produksjon (12). Redusert klimapåvirkning pga. enkel utvidelse/tilpassing (13). Lavere utslipp til resipient ved tilpassing til nye prosesser (14).
6	Ansvarlig produksjon av rensed avløpsvann med stabile og robuste prosesser (12). Lavere utslipp av klimagasser (13). Bedre renseeffekter (14).
7	Lavere utslipp til resipient (14).
8	Ansvarlig forvaltning av avfall (12). Mindre utslipp i havet (14).
9	Ansvarlig forvaltning av avfall (12). Mindre utslipp i havet (14).
10	Ansvarlig produksjon og forbruk av innsatsmidler (12). Samlet klimautslipp (13). Temperaturen i havene (14).
11	Produksjon (12). Mindre mengder og mer biotilgjengelig P i slam til landbruksjord, mindre avrenning/erosjon (14). Partnerskap (17).
12	Anstendige arbeidsplasser (8).
13	Produksjon (12). Grønn energi (13).
14	Anstendige arbeidsplasser (8). Partnerskap (17).
15	Innovasjon (8). Partnerskap (17).
16	Kreativitet (8). Ansvarlig produksjon (12).

4.2.2 Slambehandling

For evalueringen av slambehandlingsprosesser er samme metodikk benyttet, og samme vekt er gitt til hovedkriteriene miljø, samfunn og økonomi. Noen av kriteriene er derimot endret til kriterier som er relevante for å evaluere slambehandlingsprosesser. Det er tatt utgangspunkt i 6 av FNs bærekraftsmål for å velge evalueringkriterier. Sammenlignet med evalueringen av vannbehandlingsprosesser utgår 14 (livet i havet), og 3 (god helse og livskvalitet) og 15 (livet på land) er lagt til, jf. Figur 5.



Figur 5. FNs bærekraftsmål som er brukt for valg av slambehandlingsprosess

Kriteriene og vektingen som er brukt for å evaluere slambehandlingsprosesser er vist i Tabell 5. Kriterium 3 (kompakthet) og 5 (fleksibilitet/modularitet) for vannbehandling utgår. Kriterium 7-9 (rensing bedre enn krav, rensing av mikroplast og miljøfremmende stoffer) erstattes med kriterium 5 (bedre slamkvalitet enn krav) og 6 (slamkvalitet mht. mikroplast, legemidler og andre mikroforurensinger). Kriterium 13 (slamproduksjon og slamkonsentrasjon) erstattes med kriterium 10 (slammengder).

Tabell 6 viser relevansen for kriteriene for valg av slambehandlingsprosess for de aktuelle bærekraftsmålene.

Tabell 5. Kriterier brukt for valg av slambehandlingsprosesser

Kriterier		Hoved-kriterier	FNs bærekraftsmål							Mellom-regning	Vekt (%)		
			Vekt	#3	#8	#12	#13	#15	#17			Sum	
1	Energiforbruk	Miljø	60			1	1				2	22	5,5
2	Kjemikalieforbruk					1	1				2		5,5
3	Gjenbruk av eksisterende bygningsmasse					1	1				2		5,5
4	Driftsstabilitet og robusthet					1	1				2		5,5
5	Bedre slamkvalitet enn krav (smittestoffer og stabilisering)				1		1				2		5,5
6	Slamkvalitet mht. mikroplast, legemidler og andre mikroforurensinger				1		1		1		3		8,2
7	Klimafotavtrykk						1	1	1		3		8,2
8	Ressursgjenvinning, fosfor						1		1	1	3		8,2
9	Lukt					1					1		2,7
10	Slammengder						1	1			2		5,5
11	Kompetansebehov	Samfunn	10		1				1	2	6	3,3	
12	Innovasjonsgrad				1				1	2		3,3	
13	Leverandørkonkurranse				1	1				2		3,3	
14	Årskostnader / LCC	Økonomi	30								30	30	
Sum pr. bærekraftsmål					4	10	6	3	3	28		100 %	

Tabell 6. Relevans for de 13 kriteriene for slambehandling til FNs bærekraftsmål

Kriterier	Relevans mht. FNs bærekraftsmål
1	Produksjon og forbruk av energi (12). Minimalt forbruk av fossil energi, produsere grønn energi (13).
2	Forbruk av kjemikalier (12). Utvinning/produksjon av kjemikalier har et klimautslipp (13).
3	Redusert forbruk (12). Redusert klimautslipp (13).
4	Ansvarlig produksjon av stabilisert og hygienisert slam med stabile og robuste prosesser (12). Lavere utslipp av klimagasser (13).
5	Sikker matproduksjon (3). Ansvarlig forvaltning av avfall (12).
6	Sikker matproduksjon (3). Ansvarlig forvaltning av avfall (12). Lavere utslipp av miljøgifter (15).
7	Ansvarlig produksjon og forbruk av innsatsmidler (12). Samlet klimautslipp (13). Temperatur på land (14).
8	Bærekraftig produksjon av gjødselvarer (12). Mer biotilgjengelig P i slam til landbruksjord (15). Partnerskap (17).
9	Anstendige arbeidsplasser (8).
10	Bærekraftig produksjon av jordforbedringsmiddel (12). Energibesparelse ved transport (13).
11	Anstendige arbeidsplasser (8). Partnerskap (17).
12	Innovasjon (8). Partnerskap (17).
13	Kreativitet (8). Ansvarlig produksjon (12).

5 Valg av vannbehandlingsprosess

I utgangspunktet er det et nesten uendelig antall mulige prosesskombinasjoner for både sekundærrensprosesser og nitrogenfjerningsprosesser dersom man inkluderer alle mulige varianter av partikkelseparasjonsprosesser, biologiske og kjemiske prosesser. Mange prosesskombinasjoner er vurdert i forprosjektet, men utvalget er begrenset til hovedprosesser for forskjellige teknologier. Som eksempel har er det for bio-P med aktivslam og nitrogenfjerning bare sett på den enkleste prosessen, uten å ta med alle mulige modifikasjoner som f.eks. 3-trinns Bardenpho, 5-trinns Bardenpho, UCT, Bio-Deniphos, Step-Feed, etc. Hvor flere prosessalternativer er relativt likeverdige er det valgt å bare inkludere de alternativene som best kan utnytte eksisterende infrastruktur på Lillevik renseanlegg.

Eksisterende Lillevik RA er et kjemisk renseanlegg, hvor vannbehandlingen består av innløpspumper, rister, sand- og fettfang, flokkulering og sedimentering. Det er forutsatt at anlegget også etter utvidelsen har standard forbehandling, bestående av rist og sandfang med fettfangsone. Utvidelse av kapasiteten for innløpspumper og rister forutsettes å være lik for alle prosesskombinasjoner som evalueres i forprosjektet. Sand- og fettfanget i eksisterende anlegg videreføres uten utvidelse i forprosjektet.

Eksisterende flokkulering består av 8 linjer med 2 kammer i serie, med et totalt volum på 416 m³. Eksisterende sedimenteringstrinn er bygd i 4 linjer med et vanddyb på 3,5 m og et totalt nominelt areal på 1288 m². Disse to anleggsdeler utnyttes på forskjellige måter for de ulike prosesskombinasjonene som er vurdert i forprosjektet.

5.1 Sekundærrensing

5.1.1 Aktuelle prosesskombinasjoner

Det er en rekke enhetsprosesser som det er mulig å benytte, og disse kan igjen kombineres på mange forskjellige måter. Enhetsprosesser som er vurdert for utvidelse med sekundærrensing er listet opp nedenfor.

Alternativer som er vurdert som primærrensetrinn:

- > Primærsiling
- > Forsedimentering
- > Forfelling med sedimentering

Alternativer som er vurdert som biologisk rensetrinn:

- > Aktivslam
- > Biofilm, MBBR

Alternativer som er vurdert for fosforfjerning:

- > Forfelling

- > Etterfelling
- > Bio-P med aktivslam
- > Bio-P med MBBR

Alternativer som er vurdert for sekundær partikkelfjerning:

- > Sedimentering
- > Flotasjon
- > Skivefilter
- > Sandfilter

Alternativer som er vurdert som poleringstrinn:

- > Sandfilter (ev. med kjemisk felling)
- > Skivefilter (ev. med kjemisk felling)

11 prosesskombinasjoner for sekundærrensing er vurdert som mest aktuelle for utvidelsen av Lillevik RA, og disse ble valgt ut til grovsorteringen i forprosjektet. De aktuelle prosesskombinasjonene er beskrevet med stikkord i Tabell 7, og er også kort beskrevet i PN#6A. De valgte prosesskombinasjonene er tilpasset eksisterende infrastruktur.

Tabell 7. Aktuelle prosesskombinasjoner for vannbehandlingsdelen i et sekundærrensingsanlegg.

Nr.	Kort beskrivelse
S1	Eksisterende primærfellingsanlegg + biologisk rensing av returstrømmer
S2	MBBR (nytt anlegg) + kjemisk felling og sedimentering i eksisterende anlegg
S3	Forsed. + MBBR + kjemisk felling + flotasjon (alt får plass i eksisterende bassenghall)
S4	Forfelling (eksisterende anlegg) + MBBR + (felling) + skivefilter
S5	Forfelling (eksisterende anlegg) + MBBR + (felling) + sandfilter
S6	Primærsiling + aktivslam m/bio-P + sedimentering (eksisterende) + skivefilter
S7	Primærsiling + aktivslam m/bio-P + sedimentering (eksisterende) + sandfilter
S8	Forsed. + utjevning + SBR (aktivslam) m/bio-P + utjevning + skivefilter
S9	Forsed. + utjevning + SBR (aktivslam) m/bio-P + utjevning + sandfilter
S10	Forsed. + MBBR m/bio-P + polymerflokkulering + skivefilter
S11	Forsed. + MBBR + kjemisk felling + sedimentering i eksisterende anlegg

5.1.2 Grovsortering av sekundærrensingsprosesser

Grovsorteringen er første trinn i evalueringen av mulige prosesskombinasjoner. Det ble gitt poeng for evalueringskriteriene (jf. Tabell 3) etter beste skjønn og basert på erfaringer fra tidligere prosjekter for hver enkelt prosesskombinasjon. Det ble gitt poeng fra 0 til 100 for hvert av de 17 delkriteriene, som i sin tur er delt inn i miljøkriterier (med til sammen 60 % vekt), samfunn (10 % vekt) og økonomi (30 % vekt). Resultatet av grovsorteringen er vist i Tabell 8.

Tabell 8. Aktuelle prosesskombinasjoner for vannbehandlingsdelen i et sekundærrensingsanlegg, med angitt poengsum for rangering av prosessene (AS = aktivslam)

Nr.	Kort beskrivelse	Poeng
S1	Eksisterende primærfellingsanlegg + biologisk rensing av returstrømmer	57
S2	MBBR (nytt anlegg) + kjemisk felling og sedimentering (eksisterende anlegg)	67
S3	Forsed. + MBBR + kjemisk felling + flotasjon (alt får plass i eksisterende bassenghall)	70
S4	Forfelling (eksisterende anlegg) + MBBR + (felling) + skivefilter	59
S5	Forfelling (eksisterende anlegg) + MBBR + (felling) + sandfilter	62
S6	Primærsiling + AS m/bio-P + sed. (eksisterende) + skivefilter	61
S7	Primærsiling + AS m/bio-P + sed. (eksisterende) + sandfilter	63
S8	Forsed. + utjevning + SBR (AS) m/bio-P + utjevning + skivefilter	60
S9	Forsed. + utjevning + SBR (AS) m/bio-P + utjevning + sandfilter	61
S10	Forsed. + MBBR m/bio-P + polymerflokkulering + skivefilter	57
S11	Forsed. + MBBR + kjemisk felling + sedimentering i eksisterende anlegg	67

MBBR med kjemisk felling og forskjellige varianter av separasjonsprosesser fikk høyest score. S3 (forsedimentering + MBBR + kjemisk felling + flotasjon) fikk høyest poeng i grovsorteringen, med 70 poeng. Ved en oppgradering etter alternativ S3 får alle enhetsprosessene sannsynligvis plass i eksisterende bassenghall. S2 (MBBR + kjemisk felling og sedimentering) og S11 (forsedimentering + MBBR + kjemisk felling og ettersedimentering) fikk begge 67 poeng. For S2 og S11 er det ikke behov for bygningsmessige endringer i eksisterende anlegg. Forsedimentering og MBBR-delen bygges ny, og bioreaktorene kan få optimal geometri. Man unngår de relativt omfattende ombyggingene i eksisterende bassenghall, som man vil få med alternativ S3.

Basert på grovsorteringen og samtaler mellom Larvik kommune og COWI ble det besluttet å gå videre med en grovdimensjonering, beregning av innsatsmidler, klimafotavtrykk og grove kostnader for disse tre alternativene:

- > S2: MBBR og kjemisk felling + sedimentering
- > S3: Forsedimentering + MBBR + kjemisk felling + flotasjon (alt plassert i eksisterende bassenghall).
- > S11: Forsedimentering + MBBR og kjemisk felling + ettersedimentering

Av de prosessene som hovedsakelig baserer seg på biologisk fosforfjerning fikk aktivslamprosessen S7 (konvensjonell aktivslam) høyest score, med 63 poeng. Ved krav om bare sekundærrensing vil MBBR og kjemisk felling være enkelt å drifte, mens bio-P prosessene vil kreve ansatte med omfattende kunnskaper om biologiske prosesser. Siden prosessene med kjemisk felling også kommer ut med høyest score er det forsvarlig å gå videre med kun prosesser basert på kjemisk felling av fosfor.

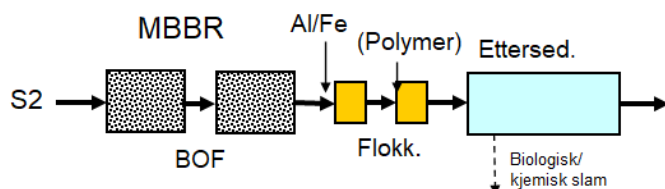
5.1.3 Grovdimensjonering og grov kostnadsestimering

Det ble gjennomført en grovdimensjonering og grov kostnadsestimering av de valgte prosessene, for å forbedre underlaget for valg av prosess.

Nedenfor er en kort beskrivelse av de grovdimensjonerte prosessene, for mer detaljer henvises til PN#6A.

S2 - MBBR og kjemisk felling + sedimentering

Figur 8 viser et forenklet flytskjema for prosess S2, med MBBR i nytt bygg og kjemisk felling og sedimentering i eksisterende anlegg.

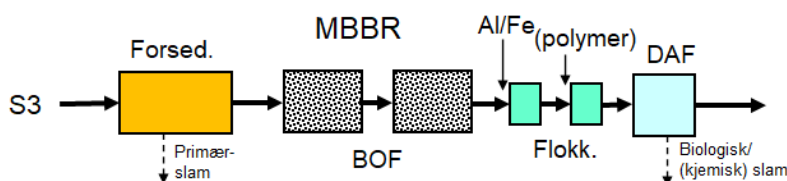


Figur 6. Forenklet flytskjema for S2

S2 utnytter hele eksisterende vannbehandling, og det bygges et nytt biologisk MBBR-trinn som prosessmessig plasseres mellom sandfang og eksisterende flokkuleringsbassenger. Forbruket av fellingskjemikalier blir noe mindre enn ved primærfelling. Produsert slam vil ha noe lavere biogasspotensiale enn før, fordi lett biologisk nedbrytbart organisk materiale brytes ned i det biologiske trinnet.

S3 - Forsedimentering + MBBR + kjemisk felling + flotasjon

Figur 7 viser et forenklet flytskjema for prosess S3, med forsedimentering, MBBR, kjemisk felling og flotasjon, alt plassert i eksisterende bassenghall.

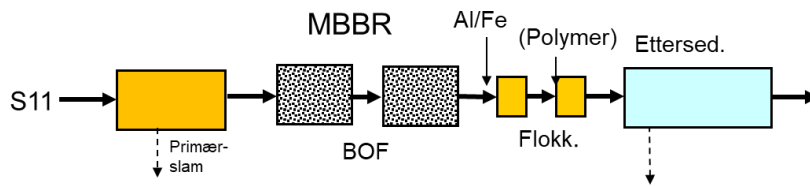


Figur 7. Forenklet flytskjema for S3

S3 får i sin helhet plass i eksisterende prosesshall. To av de eksisterende sedimenteringsbassengene benyttes til forsedimentering. De to resterende bassengene bygges om til MBBR, kjemisk felling og flotasjon. Denne prosesskombinasjonen gir et primærslam med høyt biogasspotensiale, relativt lavt oksygenforbruk i biologisk trinn og redusert behov for fellingskjemikalier (sammenlignet med primærfelling).

S11 - Forsedimentering + MBBR og kjemisk felling + ettersedimentering

Figur 8 viser et forenklet flytskjema for prosess S11, med forsedimentering, MBBR, kjemisk felling og ettersedimentering.



Figur 8. Forenklet flytskjema for S11

S11 er i prinsippet en utvidet versjon av S2, hvor man bygger ny forsedimentering og nye MBBR-reaktorer. Disse nye enhetene plasseres prosessmessig mellom eksisterende sandfang og eksisterende flokkuleringsbassenger. Eksisterende kjemikaliedosering, flokkulering og sedimentering brukes i sin helhet slik som i eksisterende anlegg. Det er behov for å pumpe vann mellom nytt og eksisterende anlegg, pga. begrenset hydraulisk profil. Mengden biofilmbærere blir noe mindre enn for S2, men volumet av MBBR-reaktorene blir bestemt ut fra anbefalt hydraulisk oppholdstid på grunn av tynt avløpsvann.

Oppdatert evaluering og valg av prosess

Evalueringen fra grovsorteringen ble oppdatert med kvantifiserte tall fra grovdimensjoneringen. I forbindelse med grovdimensjoneringen ble følgende evalueringskriterier kvantifisert:

- > 1: Energiforbruk
- > 2: Kjemikalieforbruk
- > 3: Kompakthet (areal og bygningsbehov)
- > 10: Klimafotavtrykk
- > 11: Ressursgjenvinning
- > 13: Slamproduksjon og slamkonsentrasjon
- > 17: Årskostnader

Tabell 9 viser poenggivingen etter en revidert evaluering for å velge ut en av de tre prosessene som ble valgt fra grovsorteringen. Evalueringen viser at prosessalternativene S11 og S2 er relativt like når man ser på de totale poengsummene, med 75 poeng for S11 og 74 poeng for S2. Den største endringen i evalueringen etter grovdimensjoneringen er at alternativ S3 ikke lenger kommer best ut, men får klart lavest poengsum av de tre prosessalternativene. Dette skyldes at, relativt sett i forhold til de andre alternativene, scorer nå S3 noe dårligere både på energiforbruk (kun i forhold til S11), kompakthet, fleksibilitet, driftsstabilitet, robusthet og kompetansebehov enn i den første runden med grovsortering av sekundærrensprosessene. Hovedårsaken til at prosessalternativ S3 kommer dårligst ut av finalistene i denne nye evalueringen er imidlertid årskostnadene, som viser at dette prosessalternativet ikke lenger er billigst, og S3 taper da relativt mange poeng sammenlignet med S11 og S2. S11 scorer, relativt sett i forhold til S2, mye bedre på energiforbruk og noe bedre på robusthet og driftsstabilitet enn i den første runden med grovsortering av sekundærrensprosessene.

Tabell 9. Poenggiving og vektet poengsum for hvert kriterium for de tre sekundærrensese-
 prosessene som er grovdimensjonert for Lillevik renseanlegg

	Kriterier	Vekt	S2		S3		S11	
			%	Vektet	%	Vektet	%	Vektet
1	Energiforbruk	4.14	44	1.8	92	3.8	100	4.1
2	Kjemikalieforbruk	4.14	82	3.4	100	4.1	100	4.1
3	Kompakthet (areal og bygningsbehov)	4.14	85	3.5	100	4.1	56	2.3
4	Gjenbruk av eksisterende bygningsmasse	4.14	100	4.1	80	3.3	100	4.1
5	Fleksibilitet/modularitet (utvidelser og tilpassing til nye prosesser)	8.28	90	7.4	20	1.7	75	6.2
6	Driftsstabilitet og robusthet	6.21	60	3.7	60	3.7	100	6.2
7	Rensing bedre enn krav for parameterne P, N og BOF/KOF	2.07	80	1.7	90	1.9	85	1.8
8	Rensing av mikroplast	4.14	20	0.8	40	1.7	25	1.0
9	Rensing av miljøfremmede stoffer (DEHP, PFAS, legemidler, osv)	4.14	30	1.2	35	1.4	30	1.2
10	Klimafotavtrykk	6.21	91	5.6	100	6.2	100	6.2
11	Ressursgjenvinning, fosfor	6.21	0	0.0	0	0.0	0	0.0
12	Lukt	2.07	70	1.4	65	1.3	60	1.2
13	Slamproduksjon og slamkonsentrasjon	4.14	48	2.0	100	4.1	67	2.8
14	Kompetansebehov	3.33	100	3.3	80	2.7	100	3.3
15	Innovasjonsgrad	3.33	0	0.0	0	0.0	0	0.0
16	Leverandørkonkurranse	3.33	100	3.3	100	3.3	100	3.3
17	Årskostnader / LCC	30	100	30.0	88	26.3	89	26.8
	Vektet SUM	100		74		70		75

Alternativ S11 har altså høyest poengsum etter den reviderte evalueringen, og er utformet med tanke på at bioreaktorene kan gjenbrukes med minimale endringer (montering av omrørere i etterdenitrifiseringen) ved en eventuell senere utbygging til nitrogenfjerning med prosessalternativ N13. Sammenlignet med S2 vil forsedimenteringsbassengene i S11 gjøre sekundærrensingen enda mer robust, gi redusert luftbehov og lavere kjemikalieforbruk, i tillegg til at man får noe økt biogassproduksjon som følge av primærslamproduksjon.

Basert på ovenstående er alternativ S11 valgt i forprosjektet, hvis anlegget skal bygges som et sekundærrenseseanlegg.

5.2 Nitrogenfjerning

5.2.1 Aktuelle prosesskombinasjoner

Enhetsprosesser som er vurdert for utvidelse med nitrogenfjerning er listet opp nedenfor. Det er forutsatt at alle prosesskombinasjoner har standard forbehandling, bestående av rist og sandfang med fettfangsone.

Alternativer som er vurdert som primærrensetrinn er:

- > Primærsiling
- > Forsedimentering
- > Forfelling med sedimentering

Alternativer som er vurdert som biologisk rensetrinn:

- > Aktivslam
- > Biofilm, MBBR
- > IFAS (aktivslam + MBBR)
- > Granulært slam (Nereda)

Alternativer som er vurdert for fosforfjerning:

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

Alternativer som er vurdert for sekundær partikkelfjerning:

- > Sedimentering
- > Flotasjon (DAF)
- > Membran
- > Skivefilter

Alternativer som er vurdert som poleringstrinn:

- > Sandfilter (ev. med kjemisk felling)
- > Membran (ev. med kjemisk felling)

14 prosesskombinasjoner for nitrogenfjerning ble vurdert som mest aktuelle for utvidelsen av Lillevik RA, og disse ble valgt ut til grovsorteringen i forprosjektet. De aktuelle prosesskombinasjonene er beskrevet med stikkord i Tabell 10, og er også kort beskrevet i PN#6A.

Tabell 10. Aktuelle prosesskombinasjoner for vannbehandlingsdelen i et nitrogenfjerningstrinn

Nr.	Kort beskrivelse
N1	Forsed. + utjevning + SBR m/granulært slam, bio-P og simultan nitrifisering-denitrifisering (eksempel Nereda) + utjevning + felling på sandfilter
N2	Primærsiling + IFAS m/for- og etter-DN + sed. + kjemisk felling og flotasjon
N3	Primærsiling + IFAS m/bio-P og for-DN + sedimentering + felling på sandfilter
N4	Primærsiling + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + kjem. felling og sed.
N5	Forsed. + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + kjemisk felling og flotasjon
N6	Primærsiling + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + skivefilter + kjemisk felling på membranfilter
N7	Primærsiling + MBR m/for- og etter-DN og simultanfelling
N8	Primærsiling + IFAS-MBR m/for- og etter-DN og simultanfelling
N9	Primærsiling + MBR m/bio-P og for-DN
N10	Primærsiling + IFAS-MBR m/bio-P og for-DN
N11	Forfelling m/sedimentering + MBBR m/etter-DN + kjemisk felling og flotasjon
N12	Forsed. + MBBR m/bio-P + polymerflokkulering + skivefilter + nitrifisering + etter-DN + sandfilter
N13	Forsed. + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + kjemisk felling og sed.
N14	Forsed. + sil + IFAS-MBR m/bio-P og for-DN

5.2.2 Grovsortering av nitrogenfjerningsprosesser

De 14 prosessalternativene ble evaluert mht. de valgte evalueringskriteriene i forprosjektet (jf. Tabell 3 i kapittel 4.2). Resultatet av denne grovsorteringen er vist i Tabell 11.

Tabell 11. Aktuelle prosesskombinasjoner for vannbehandlingsdelen i et nitrogenfjerningsanlegg, med angitt poengsum for rangering av prosessene (FS = forsedimentering, PS = primærsiling)

Nr.	Kort beskrivelse	Poeng
N1	FS + utjevning + SBR m/granulært slam, bio-P og nitrifisering-denitrifisering (eksempel Nereda) + utjevning + felling på sandfilter	63
N2	PS + IFAS m/for- og etter-DN + sed. + kjemisk felling og flotasjon	46
N3	PS + IFAS m/bio-P og for-DN + sedimentering + felling på sandfilter	57
N4	PS + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + kjem. felling og sed.	68
N5	FS + MBBR m/komb. for- og etter-DN + kjem. felling og flotasjon	74
N6	PS + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + skivefilter + kjemisk felling på membranfilter	61
N7	PS + MBR m/for- og etter-DN og simultanfelling	61
N8	PS + IFAS-MBR m/for- og etter-DN og simultanfelling	62
N9	PS + MBR m/bio-P og for-DN	73
N10	PS + IFAS-MBR m/bio-P og for-DN	76
N11	Forfelling m/sed. + MBBR m/etter-DN + kjemisk felling og flotasjon	69
N12	FS + MBBR m/bio-P + polymerflokkulering + skivefilter + nitrifisering + etter-DN + sandfilter	75
N13	FS + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + kjemisk felling og sed.	72
N14	FS + sil + IFAS-MBR m/bio-P og for-DN	77

De tre prosessene (N10, N12 og N14) med høyest score er alle bio-P prosesser. N14 (forsedimentering + sil + IFAS-MBR m/bio-P og for-DN) får mest poeng, tett fulgt av N10 (primærsiling + IFAS-MBR m/bio-P og for-DN) og N12 (forsedimentering + HIAS-prosessen for bio-P fjerning + nitrifisering + etter-DN + sandfilter). N10 og N14 er veldig like, med forskjellen at N14 har forsedimentering. Det er da ingen grunn til at begge to går til grovdimensjonering og N14 velges fordi den anses å være noe mer robust og dessuten scorer noe bedre enn N10 på miljøkriteriene. I tillegg ble N12 valgt til grovdimensjonering.

På grunn av at det fremdeles er noen usikkerheter rundt hvor godt biologisk fjerning av fosfor vil fungere med kaldt og svært tynt avløpsvann, ble også prosesser med kjemisk felling av fosfor valgt til grovdimensjoneringen. Blant prosessene med kjemisk fosforfjerning fikk alternativ N5 (forsedimentering + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + kjemisk felling og flotasjon) høyest poengsum. Nest best var N13 (forsedimentering + MBBR m/kombinert for- og etter-DN + kjemisk felling og ettersedimentering), som også ble valgt til grovdimensjoneringen.

Følgende fire prosesser ble valgt til grovdimensjonering og beregning av innsatsmidler, klimafotavtrykk og grove kostnader:

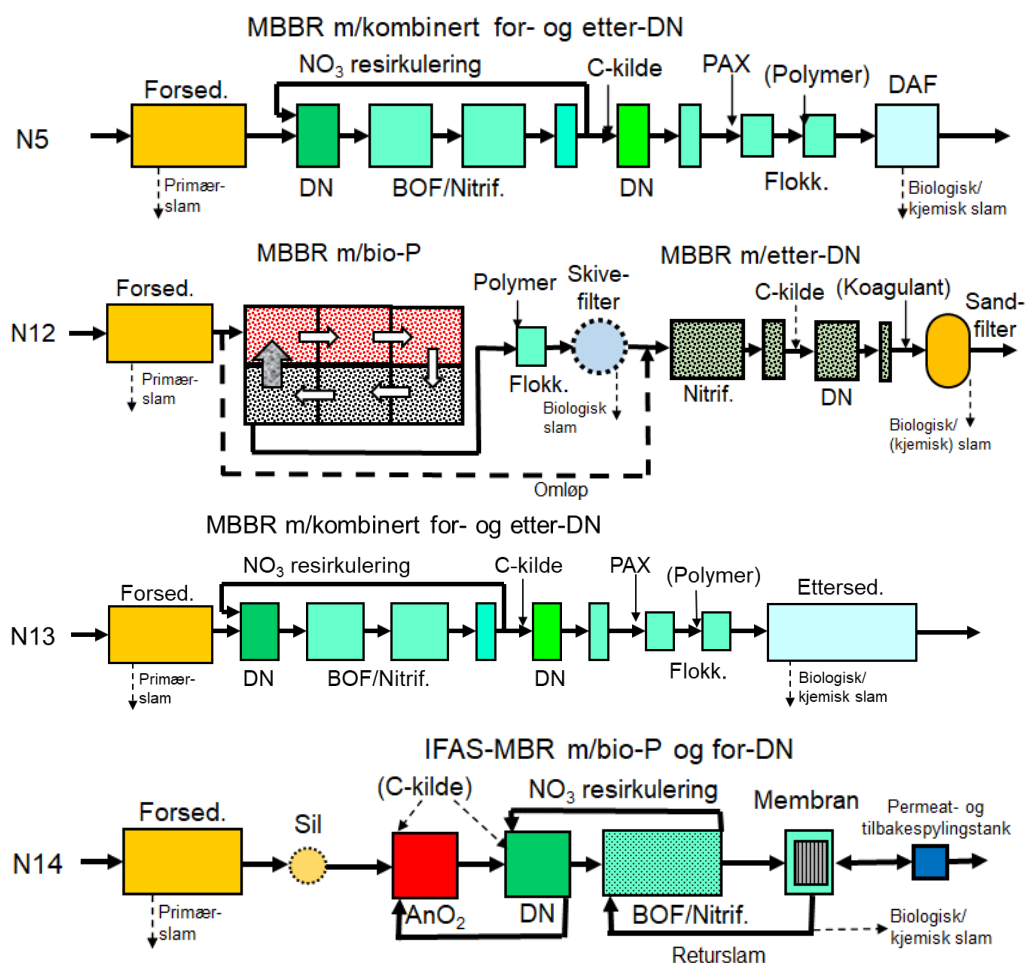
- > N5: Forsedimentering + MBBR med kombinert for- og etter-denitrifisering + kjemisk felling og flotasjon.

- > N12: Forsedimentering + MBBR med bio-P (HIAS-prosessen) + polymerflokkulering og skivefilter + nitrifisering, etter-denitrifisering og kjemisk felling på sandfilter. Omløp rundt HIAS-prosessen og skivefilter ved høye vannmengder.
- > N13: Forsedimentering + MBBR m/kombinert for- og etter-denitrifisering + kjemisk felling og ettersedimentering.
- > N14: forsedimentering + sil + IFAS-MBR m/bio-P og for-denitrifisering, samt mulighet for tilsetning av eksternt karbonkilde til både anaerobe og anoksiske reaktorer.

5.2.3 Grovdimensjonering og grov kostnadsestimering

Nedenfor er en kort beskrivelse av de grovdimensjonerte prosessene, se PN#6A for mer detaljer.

Figur 9 viser forenklete flytskjemaer for de fire prosessløsningene for nitrogenfjerning som ble valgt til videre vurdering etter grovsorteringen.



Figur 9. Forenklete flytskjema for aktuelle vannbehandlingsprosesser i et nitrogenfjerningsanlegg ved Lillevik renseanlegg

N5

N5 er en prosess med forsedimentering, MBBR med kombinert for- og etterdenitrifisering, kjemisk felling, flokkulering og flotasjon. To av de eksisterende sedimenteringsbassengene brukes til forsedimentering. Etterdenitrifisering, etterlufting, kjemisk felling og flotasjon får plass i eksisterende bassenghall ved en ombygging av de de to siste sedimenteringsbassengene. Fordenitrifisering, BOF-reduksjon og nitrifisering må bygges helt nytt. Dersom anlegget først bygges ut med sekundærrensing i henhold til alternativ S3, kan de aerobe bioreaktorene bygges om til henholdsvis etterdenitrifisering og etterlufting, mens kjemisk felling, flokkulering og flotasjon beholdes uendret fra sekundærrensseanlegget.

N12

N12 har forsedimentering, MBBR med bio-P, separasjon av bio-P slam i skivefilter og deretter nitrifisering og etterdenitrifisering i et konvensjonelt MBBR-trinn med nedstrøms slamseparasjon (og mulighet for kjemisk felling av fosfor) i sandfilter. Denne prosesskombinasjonen er kjent som HIAS-prosessen og foreløpig er det ikke bygd noen slike anlegg for både nitrogen- og fosforfjerning. Prosesskombinasjon virker imidlertid veldig lovende. Bio-P delen av prosessen er i drift i fullskala ved HIAS renseanlegg, og har også vært testet i pilotskala andre steder. Avhengig av avløpsvannets karakteristikk kan man i tillegg til fosforfjerning forvente 30-50 % fjerning av nitrogen i bio-P-delen av anlegget. Resten av nitrogenet må fjernes i etterfølgende trinn. Det er imidlertid en del usikkerheter knyttet til kontinuerlig drift av prosessen med tynt vann og lav vanntemperatur, siden det ikke finnes publiserte data fra slike driftsbetingelser.

To av de eksisterende sedimenteringsbassengene brukes til forsedimentering. Forsedimenteringen kan være kortere enn nåværende bassenger, slik at det er plass til en pumpestasjon, og eventuelt utjevningstank og lamellsedimentering for spylevann, i enden av bassengene. Flokkulering og sandfilter med tilhørende utstyr får plass i de to andre sedimenteringsbassengene i eksisterende bassenghall. Reaktorer for bio-P, nitrifisering og denitrifisering samt skivefiltre plasseres i nybygg.

N13

N13 er en prosess med forsedimentering, MBBR med kombinert for- og etterdenitrifisering, kjemisk felling, flokkulering og ettersedimentering. Kjemisk felling og sedimentering kan brukes uendret fra eksisterende anlegg, mens forsedimentering og bioreaktorer må bygges nytt. Ved en utbygging i to trinn, med først sekundærrensing og deretter nitrogenfjerning, kan bioreaktorene i S11 (valgt sekundærrensseprosess) konverteres til henholdes etterdenitrifisering (med omrørere) og etterlufting. Det eneste som må bygges nytt vil da være fordenitrifiseringsreaktorer, aerobe reaktorer for BOF-reduksjon og nitrifisering, resirkuleringssystem for nitrat og doseringsutrustning for ekstern karbonkilde til etterdenitrifiseringen.

N14

N14 er en prosess med forsedimentering og sil etterfulgt av IFAS-MBR med bio-P og fordenitrifisering. Den aerobe sonen er utformet som en IFAS-MBR (med biofilmbærere og aktivslam). Dette reduserer volumbehovet, da nitrifiseringen hovedsakelig skjer i

biofilmen ved lave vanntemperaturer. På grunn av lavere suspendert slamalder vil hastigheter i for-denitrifisering og også normalt være høyere enn for rene MBR-prosesser (uten biofilm). Normalt kan den anaerobe reaktoren også gjøres noe mindre enn for rene MBR-prosesser.

Deler av to av de eksisterende sedimenteringsbassengene brukes til forsedimentering i N14. I resten av disse to bassengene vil det være plass til siler og en pumpestasjon for å pumpe vann til biologisk trinn. Alle biologiske reaktorer må plasseres i nytt bygg, men membraner, permeattank og sandfilter kan få plass i det arealet som frigjøres i de to siste sedimenteringsbassengene.

Oppdatert evaluering og valg av prosess

Tabell 12 viser poenggivning etter en revidert evaluering av de fire prosessene som er grovdimensjonert. Evalueringen viser at det er relativt små forskjeller mellom de fire prosessalternativene når man ser på de totale poengsummene, med 69 poeng for alternativ N5, 71 poeng for alternativ N12, 72 poeng for alternativ N13 og 72 poeng for alternativ N14.

Tabell 12. Poenggivning og vektet poengsum for hvert kriterium for de fire nitrogenfjerningsprosessene som er grovdimensjonert for Lillevik renseanlegg

Kriterier	Vekt	N5		N12		N13		N14	
		%	Vektet	%	Vektet	%	Vektet	%	Vektet
1 Energiforbruk	4.14	97	4.0	71	2.9	100	4.1	58	2.4
2 Kjemikalieforbruk	4.14	0	0.0	76	3.1	0	0.0	100	4.1
3 Kompakthet (areal og bygningsbehov)	4.14	100	4.1	69	2.8	72	3.0	74	3.1
4 Gjenbruk av eksisterende bygningsmasse	4.14	85	3.5	70	2.9	100	4.1	85	3.5
5 Fleksibilitet/modularitet (utvidelser og tilpassing til nye prosesser)	8.28	20	1.7	15	1.2	100	8.3	20	1.7
6 Driftsstabilitet og robusthet	6.21	90	5.6	60	3.7	100	6.2	60	3.7
7 Rensing bedre enn krav for parameterne P, N og BOF/KOF	2.07	80	1.7	80	1.7	75	1.6	40	0.8
8 Rensing av mikroplast	4.14	80	3.3	95	3.9	40	1.7	100	4.1
9 Rensing av miljøfremmede stoffer (DEHP, PFAS, legemidler, osv)	4.14	60	2.5	70	2.9	40	1.7	90	3.7
10 Klimafotavtrykk	6.21	38	2.3	100	6.2	38	2.3	76	4.7
11 Ressursgjenvinning, fosfor	6.21	0	0.0	90	5.6	0	0.0	100	6.2
12 Lukt	2.07	65	1.3	55	1.1	60	1.2	55	1.1
13 Slamproduksjon og slamkonsentrasjon	4.14	76	3.2	33	1.4	40	1.7	74	3.1
14 Kompetansebehov	3.33	70	2.3	35	1.2	80	2.7	30	1.0
15 Innovasjonsgrad	3.33	0	0.0	100	3.3	0	0.0	20	0.7
16 Leverandørkonkurranse	3.33	95	3.2	0	0.0	100	3.3	60	2.0
17 Årskostnader / LCC	30	100	30.0	91	27.4	100	30.0	86	25.8
Vektet SUM	100		69		71		72		72

N5 får 5 poeng mindre etter grovdimensjoneringen, sammenlignet med evalueringen i forbindelse med grovsorteringen. Alternativ N12 får 4 poeng mindre enn i grovsorteringen, N13 ender på samme poengsum, og alternativ N14 får 5 poeng mindre.

Ut fra denne nye og grundigere evalueringen ender de tre prosessalternativene N12, N13 og N14 opp med de tre høyeste poengsummene, og med i praksis like mange poeng. De to første er biofilmprosesser, mens den siste er en IFAS-prosess. Velger

man å bygge nitrogenfjerning med en gang, kan altså alle tre prosessene være aktuelle. For både alternativ N12 og alternativ N14 vil det imidlertid være mer utfordrende å overholde renskravene i byggeperioden enn ved en utbygging basert på alternativ N13. Dersom man først bygger et sekundærrensaneanlegg basert på prosessalternativ S11, så vil også prosessalternativet N13 være det eneste alternativet hvor pumpestasjonen, forsedimenteringen og bioreaktorene fra sekundærrensaneanlegget kan brukes direkte som en del av det nye nitrogenfjerningsanlegget. Det eneste man trenger å gjøre med de eksisterende bioreaktorene vil være å installere omrørere i etterdenitrifiseringsreaktorene. For de andre nitrogenfjerningsalternativene vil det i praksis ikke være mulig å få til optimal gjenbruk av hverken pumpestasjon, forsedimentering eller bioreaktorer, dersom man først bygger S11 for sekundærrensing.

Det anbefales at Larvik kommune går videre med alternativ N13 for forprosjektering av et nitrogenfjerningsanlegg.

6 Valg av slambehandlingsprosess

Nedenfor er en sammenstilling av de vurderinger som er gjort for å velge slambehandlingsprosess for utvidelsen av renseanlegget. En konseptstudie ble gjennomført for å velge slambehandlingsprosesser til videre vurdering i forprosjektet, se PN#4. Grovdimensjonering og evaluering av de valgte prosessene er beskrevet i PN#6B. Kriteriene for evaluering av slambehandlingsprosesser er vist i Tabell 5 i kapittel 4.2.2.

Ved dagens anlegg hygieniseres slammet i dag i en pasteuriseringsprosess, etterfulgt av stabilisering med mesofil utråtning.

6.1.1 Aktuelle prosesskombinasjoner

Enhetsprosessene nedenfor ble vurdert for slambehandlingen for utvidelsen av Lillevik RA. For mer detaljerte beskrivelser, se konseptstudien i PN#4.

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 tilsetninger (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.

Følgende prosesser er ikke vurdert som bærekraftige for et anlegg av Lillevik sin størrelse:

- > Forbrenning, renseanlegget er ikke stort nok for at denne prosessen skal bli aktuell
- > Våtkompostering, kommer dårlig ut med hensyn på energi
- > Kalkstabilisering (Orsa-metoden), har høyt klimafotavtrykk
- > Kompostering, kommer dårlig ut med hensyn på kostnader og energi
- > Langtidslagring, krever store arealer og ikke utnytter energiressursene i slammet

15 prosesskombinasjoner for slambehandling er vurdert som mest aktuelle for utvidelsen av Lillevik RA, jf. Tabell 13.

Tabell 13. 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 + sluttavanning (+ tørking/gjenvinning)
P15	Fortykk. + mesofil anaerob stab. + foravvanning + katalysator + HTC + sluttavanning

6.1.2 Valg av slambehandlingsprosesser til grovdimensjonering

Kommunen ønsket å legge vekt på følgende punkter ved valg av slambehandling:

- > Gode erfaringer/referanser
- > Lett å drifte
- > Overholder forskrifter
- > Lave driftskostnader med stabile utgifter

Det er fordelaktig å anvende anaerob (mesofil eller termofil) slambehandling av flere grunner:

- > Anaerob utråtning er godt egnet for alle typer slam
- > Kommunen har erfaringer med prosessen fra tidligere
- > Prosessen bidrar til å overholde myndighetskrav til stabilisering, og ved termofil utråtning også hygienisering
- > Prosessen produserer biogass
- > Anaerob utråtning er den vanligste behandlingsprosessen og er godt etablert i markedet med flere leverandører
- > Avhending av anaerob utråtnet slam til landbruket er allment akseptert

- > Gjenvinning av fosfor fra bio-P prosesser er mulig
- > Kapasiteten til eksisterende råtnetank er relativt god

Det ble valgt å gå videre med tre alternative prosesser for slambehandling i forprosjektet:

- > P3: Fortykking + termofil anaerob stab. + avvanning
- > P5: Fortykking/foravvanning + THP + mesofil anaerob stab. + avvanning
- > P7: Fortykk. + mesofil anaerob stab. + foravvanning + THP + sluttavvanning

Prosesskombinasjonene P1, P2 og P3 har alle hygienisering med termisk behandling i våtfase (enten i selve råtnetanken eller i forutgående reaktorer) og stabilisering i råtnetank. Studier utført for andre oppdragsgivere har vist at termofil utråtning (P3) er mest konkurransedyktig.

Termisk tørking (P4) gir reduserte slammengder, men er en energikrevende prosess. Kommunen har negative erfaringer med termisk tørking, og prosessen er ikke valgt til grovdimensjonering.

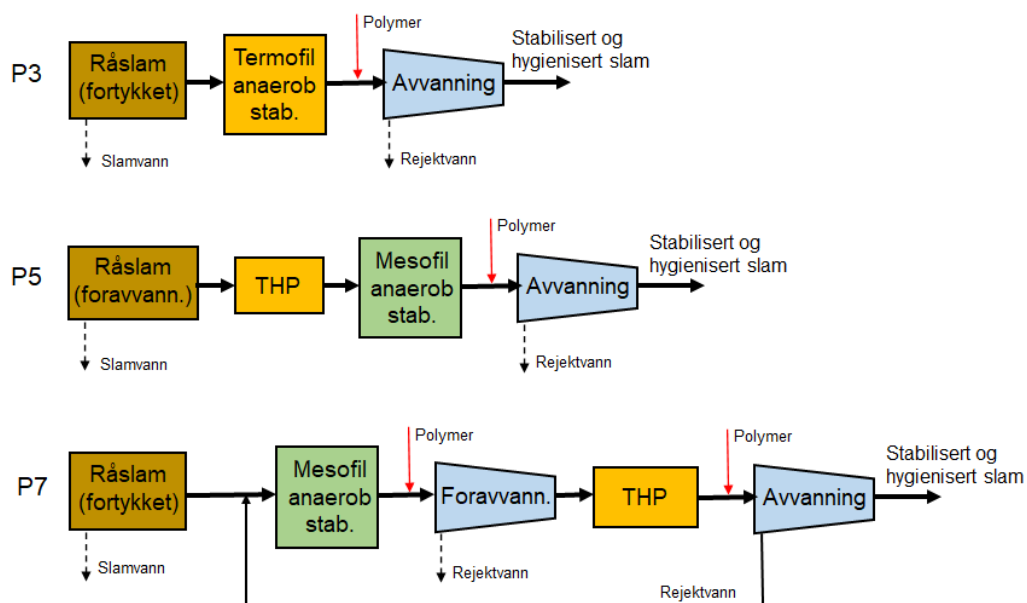
THP i forkant av råtnetanken (P5) gir økt biogassproduksjon og reduserte slammengder. En ulempe med prosessen er at rejektivannet vil inneholde mer nitrogen enn for andre slambehandlingsprosesser, og prosesstrinn for nitrogenfjerning må dimensjoneres noe større hvis man har THP som forbehandling. THP i forkant av mesofil utråtning anses historisk som en mer stabil prosess, sammenlignet med THP før termofil utråtning (P6).

THP plassert etter råtnetanken (P8) er en relativt ny løsning, og det er dermed lite erfaringer fra prosessen. Resirkulasjon over råtnetanken gjør at oppholdstidene i råtnetankene reduseres (trenger større råtnetankvolum enn andre prosesser). Prosessen vil i teorien optimalisere gassproduksjonen, og gir høyere TS-konsentrasjon i avvannet slam, og er valgt til videre vurdering.

Foreløpig er det lite erfaringer av pyrolyseprosesser og HTC-prosesser for behandling av avløpsslam (P8-P15). De valgte prosessene kan ev. kompletteres med pyrolyse av avvannet slam i fremtiden, hvis dette blir aktuelt.

6.1.3 Grovdimensjonering og grov kostnadsestimering

Figur 10 viser forenklete flytskjemaer over de tre prosesskombinasjonene som ble grovdimensjonerte.



Figur 10. Forenklet flytskjema for P3 – termofil utråtning, P5 – standard THP og P7 – THP etter råtnetank

De valgte slambehandlingsprosessene ble grovdimensjonert, og det ble gjennomført energiberegninger, estimering av klimagassutslipp og kostnadsestimeringer for de tre prosessene. Av de 14 kriteriene for evaluering av slambehandlingsprosesser, jf. Tabell 5 i kapittel 4.2.2, er noen vurdert kvalitativt, mens andre er kvantifisert. Følgende kriterier er basert på beregninger i forbindelse med grovdimensjonering og grov kostnadsestimering:

- > 1. Energiforbruk
- > 2. Kjemikalieforbruk
- > 7. Klimafotavtrykk
- > 10. Slammengder
- > 14. Årskostnader

Tabell 14 viser poeng per evalueringskriterium etter vektning for de grovdimensjonerte slambehandlingsprosessene kombinert med de valgte vannbehandlingsprosessene S11 (sekundærrensing) og N13 (nitrogenfjerning). P3, termofil utråtning, får høyest score av de tre slambehandlingsprosessene, med 72 poeng for både S11 og N13. Nest høyest score får P5, THP med etterfølgende mesofil utråtning, med 60 poeng for både S11 og N13. Lavest score får P7, THP etter mesofil utråtning, med 53 poeng for S11 og 54 poeng for N13.

Tabell 14. Poeng per evalueringskriterium etter vekting for slambehandlingsprosess P3, P5 og P7 kombinert med vannbehandlingsprosess S11 og N13

Nr.	Kriterier	Poeng					
		S11			N13		
		P3	P5	P7	P3	P5	P7
1	Energiforbruk	5,0	5,5	5,0	5,1	5,5	5,0
2	Kjemikalieforbruk	5,5	3,4	1,6	5,5	3,4	1,5
3	Gjenbruk av eksisterende bygningsmasse	5,5	4,1	2,7	5,5	4,1	2,7
4	Driftsstabilitet og robusthet	5,5	5,5	2,7	5,5	5,5	2,7
5	Bedre slamkvalitet enn krav (smittestoff/stabilisering)	2,7	5,5	5,5	2,7	5,5	5,5
6	Slamkvalitet mht. mikroplast, legemidler og andre MF	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	Klimafotavtrykk	6,8	7,6	8,2	6,8	7,6	8,2
8	Ressursgjenvinning, fosfor	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	Lukt	1,4	2,7	2,1	1,4	2,7	2,7
10	Slammengder	2,3	4,8	5,5	2,3	4,8	5,5
11	Kompetansebehov	3,3	2,5	1,7	3,3	2,5	1,7
12	Innovasjonsgrad	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	3,3
13	Leverandørkonkurransen	3,3	0,8	0,0	3,3	0,8	0,0
14	Årskostnader / LCC	30,0	17,4	13,2	30,0	17,6	13,5
	Sum	71	60	51	71	60	52

P3 krever mindre omfattende ombygging enn P5 og P7 og har lavest investeringskostnader av de tre prosessene. Det er flere mulige leverandører av P3 enn P5, og for P7 er det kun en leverandør. Kompleksiteten for P3 er også lavere enn for P5 og P7, noe som fører til høy score iht. kompetansebehov.

Netto strømproduksjon og klimafotavtrykk er relativt like for de tre prosessene, men her scorer P5 og P7 høyere enn P3. Termisk hydrolyse kan også redusere lukten for ferdigbehandlet slam, og også for dette kriterium får P5 og P7 høyere score enn P3. Slammengdene vil også være lavere for P5 og P7, da man antas kunne oppnå høyere TS i avvannet slam for hydrolysert slam. Når det gjelder innovasjonsgrad så scorer P7 høyt, da denne prosessen ennå ikke er etablert i Norge, og finnes kun på ett fullskalaanlegg.

Etter vekting av de ulike evalueringskriteriene står man igjen med P3 som en klar vinner av de tre slambehandlingsprosessene som er evaluert, og **P3 anbefales som slambehandlingsprosess for utvidelsen av Lillevik renseanlegg.**

7 Dimensjonering av valgte prosesser

Nedenfor beskrives dimensjoneringen av valgte vannbehandlingsprosesser for henholdsvis sekundærrensing (S11), nitrogenfjerning (N13) og slambehandling (P3). Tre scenarier for utvidelsen er vurdert:

- > Utbygging med sekundærrensing (S11)
- > To-trinns utbygging med nitrogenfjerning (utbygging først med S11, deretter N13)
- > Ett-trinns utbygging med nitrogenfjerning (direkte utbygging med N13)

Prosessdimensjoneringen skiller seg ikke mellom de tre scenarioene, men man vil velge forskjellige layouter ved direkte utbygging med nitrogenfjerning, enn hvis utbyggingen skjer i to trinn. Layoutene er vist i vedlegg A, og anleggsutformingen er nærmere beskrevet i kapittel 8.

7.1 Innløp, forbehandling og forsedimentering (felles for S11 og N13)

7.1.1 Innløpspumper

Eksisterende innløpspumper har kapasitet på 2400 m³/h, og kapasiteten må dermed økes for å kunne pumpe planlagt Q_{maks} på 3300 m³/h. Dette utføres ved å erstatte eksisterende 2 pumper med nye pumper på samme lokasjon i selvberende ståltrau.

7.1.2 Rister

Dagens 2 stk. Meva-rister har spaltevidde 3 mm og kapasitet 1620 m³/h hver. I forbindelse med utvidelsen byttes eksisterende rister ut (etter ønske fra kommunen) med rister med 2 mm spaltvidde. De eksisterende ristene får en kapasitet på 1200 m³/h hver, og det installeres også en ny rist (også den med 2 mm spaltvidde), med en kapasitet på 1200 m³/h. Den nye risten plasseres i en ny kanal, ved siden av eksisterende kanaler, i eksisterende bygg. Eksisterende ristgodshåndtering beholdes.

7.1.3 Sand- og fettfang

Eksisterende sand- og fettfang videreføres til det utvidede anlegget. I eksisterende anlegg er det 2 stk. parallelle sand- og fettfang. Sandfangsdelen er ca. 100 m³ i hvert basseng (fettfangssonen ikke medregnet), totalt ca. 200 m³. Arealet for fettfangssonen er ca. 28 m² per basseng, totalt ca. 56 m². Dimensjonerende vannføring i 2058 gir 11 minutters oppholdstid ved Q_{dim} , 6 minutter ved $Q_{maksdim}$ og en overflatebelastning i fettfangsone ved $Q_{maksdim}$ på 37 m³/m²-h. Sandfangsdelen vil ha tilstrekkelig kapasitet iht. retningslinjer i NV256 (henholdsvis >10 minutter ved Q_{dim} og >3 minutter ved $Q_{maksdim}$), men kapasiteten for fettfjerningen kan forventes å bli redusert (oppgitt til < 25 m³/m²-h i NV256).

7.1.4 Forsedimentering

Det installeres en ny rørledning fra kanalen etter sand- og fettfang til en kanal i nytt bygg, som fordeler vann til forsedimenteringsbassengene. Det etableres tre parallelle

forsedimenteringsbassenger i det nye bygget, hvert basseng med bredde 7 m, lengde 22,1 m og vanddyp 3 m. Det gir et nominelt overflateareal på 443 m² (totalt areal 464 m²) og en dimensjonerende overflatebelastning på 4,8 m³/m²-h ved $Q_{maksdim}$.

Det er forutsatt at 50 % av innkommende suspendert stoff fjernes i forsedimenteringen. Dette gir følgende primærslamproduksjon i dimensjonerende år:

- > Midlere primærslamproduksjon: 1740 kg TS/d
- > 80-persentil: 2208 kg TS/d
- > 90-persentil: 2368 kg TS/d

Slamskraper installeres i bassengene, slampumper som pumper forsedimentert slam til slambehandlingen etableres i kjelleretasje i nytt bygg.

7.2 Biologisk trinn – sekundærrensing S11

Den biologiske rensingen skjer i et MBBR-trinn med tre parallelle linjer og to reaktorer i serie (R1 og R2). MBBR-anlegget plasseres i samme bygg som forsedimenteringen, på tomten øst for eksisterende anlegg. Eksisterende anlegg brukes til flokkulering og ettersedimentering.

COWI har et eget dimensjoneringsverktøy for MBBR-prosesser. I dette verktøyet inngår ligninger for beregning av biologisk slamproduksjon og oksygenbehov som bl.a. tar hensyn til avløpsvannets sammensetning, temperaturen og slamalderen i reaktorene. Dette gir mer nøyaktige verdier for slamproduksjon og oksygenbehov enn de sjablongmessige tallene i Norsk Vanns dimensjoneringsveileder (NV256). For beregninger av nødvendig biofilmareal og reaktorvolum er NV256 benyttet.

Dimensjoneringsveilederens anbefaling om minimum 30 min hydraulisk oppholdstid i MBBR ved $Q_{maksdim}$ blir dimensjonerende for reaktorvolumet. Forbruket av fellingsskjemikalier vil bli betydelig lavere enn i nåværende anlegg, men fordi avløpsvannet er tynt med lav fosforkonsentrasjon vil Al/P-molforhold fremdeles bli høyt sammenlignet med renseanlegg som har høye innløpskonsentrasjoner.

Bassengene forberedes for ev. senere bruk til etterdenitrifisering og etterlufting hvis anlegget bygges ut med N-fjerning. Derfor settes deleveggene inn slik at første reaktor er betydelig større enn andre reaktor. Videre monteres det plansiler i første reaktor, slik at denne er forberedt for senere innsetting av omrørere for anoksisk drift.

Det vil bli lange transportveier for vannet, fra eksisterende sandfang til ny forsedimentering, og tilbake fra utløp biologisk trinn til eksisterende flokkuleringsbassenger. Mellom forsedimenteringen og MBBR-reaktorene etableres kanaler som muliggjør fremtidig transport til og fra bygget for N-fjerning, og det tas høyde også for dette i den hydrauliske profilen.

Dimensjoneringsverdier for MBBR-delen av anlegget, basert på NV256 og mer detaljerte beregninger av slamproduksjon og oksygenforbruk, er vist i Tabell 15.

Tabell 15. Nøkkeldata for biologisk trinn i prosesskombinasjon S11

Parameter	Beskrivelse
Vannmengde, Q_{middel}	950 m ³ /h (inkl. returstrømmer)
Vannmengde, Q_{dim}	1064 m ³ /h (inkl. returstrømmer)
Vannmengde, Q_{maksdim}	2065 m ³ /h (inkl. returstrømmer)
Vanndyp	6,5 m
Diffusordyp	6,3 m
Biofilmbærer	BWT-X, 650 m ² /m ³
R1 BOF-reduksjon	3 x 250 m ³ = 750 m ³ ; 36 % fyllingsgrad; LxB = 5,5x7 m
R2 BOF-reduksjon	3 x 100 m ³ = 300 m ³ ; 36 % fyllingsgrad; LxB = 2,2x7 m
Totalt bioreaktorvolum	1050 m ³ vått volum
Mengde biofilmbærere	376 m ³ ; 244 653 m ² biofilmareal
Midlere oksygenbehov	41 kg O ₂ /h
Dimensjonerende oksygenbehov	90 kg O ₂ /h
Midlere luftbehov	1426 Nm ³ /h
Dimensjonerende luftbehov	3158 Nm ³ /h
Midlere biologisk slamproduksjon	1971 kg TS/d
90-persentil for slamproduksjon	3024 kg TS/d

7.3 Biologisk trinn – nitrogenfjerning N13

MBBR-reaktorer for fordenitrifisering, BOF-reduksjon, nitrifikasjon og oksygenreduksjon plasseres i nytt bygg, øst for eksisterende bassenghall. Eksisterende anlegg brukes til flokkulering og ettersedimentering.

Dimensjoneringen av det biologiske nitrogenfjerningstrinnet er gjort med basis i NV256, men med tilpasninger der hvor NV256 etter vårt syn er for konservativ. Man ender da opp med volumer som er ca. 20 % mindre enn om man bruker NV256 uten endringer. Videre er det benyttet en noe mer presis metode for beregning av biologisk slamproduksjon og luftforbruk, som tar hensyn til vannets sammensetning, temperaturen i reaktorene og slamalderen. Det er videre også akseptert at oksygenkonsentrasjonen i nitrifiserende reaktorer kan være > 5 mg O₂/l ved minimumstemperaturen. Dette er vanlig praksis når minimumstemperaturen er betydelig lavere enn 10 °C.

En viktig endring er at NV256 ikke tar hensyn til at nitrogen fjernes pga. assimilasjon. Den tyske dimensjoneringsveilederen, ATV-DVWK-A 131 fra år 2000 (ATV131), sier at assimilasjonen av nitrogen skal settes til 4-5 % av tilførselen av BOF₅ til biologisk trinn. Det er brukt en assimilasjon på 4 %. Sett i lys av at MBBR prosessene har kortere slamaldere enn aktivslamprosesser og dermed høyere biologisk slamproduksjon er dette mer konservativt enn den tyske veilederen.

Ganske mye nitrogen ender opp i det biologiske slammet som produseres i reaktorene, og deler av dette frigjøres igjen i råtnetanker og kommer tilbake i form av returstrømmer. Tilførselen av nitrogen i returstrømmer er tatt hensyn til i dimensjoneringsgrunnlaget. I forprosjektet dimensjoneres anlegget for å kunne behandle nitrogenet fra returstrømmene i hovedprosessen. Dette gir en noe konservativ dimensjonering, da det planlegges for fjerning av nitrogen i et separat rensetrinn for rejektvannet. I detaljprosjekteringen kan man ev. velge å dimensjonere hovedprosessen for en noe lavere nitrogenbelastning.

Dimensjonering av nitrifiserings- og denitrifiseringsreaktorer er basert på omsetningshastighet istedenfor arealbelastningen (som er beskrevet i NV256), men omsetningshastigheten er redusert i forhold til verdiene for arealbelastning i NV256 for å ta hensyn til at omsetningshastigheten vil være noe lavere enn arealbelastningen.

For dimensjonering av etterluftingsreaktorene er det også et avvik i forhold til NV256. NV256 har to kriterier. Det første er en nedbrytningshastighet på 4 g KOF/m²-d ved 10 °C for ev. rester av den eksterne karbonkilden. Det andre kravet er en hydraulisk oppholdstid på minimum 18 min ved Q_{maksdim}. Vi har bare forholdt oss til kriteriet som baserer seg på nedbrytningshastighet.

Dimensjoneringsverdier for MBBR-delen av anlegget, basert på en modifisert versjon av NV256, er vist i Tabell 16.

Tabell 16. Nøkkeldata for biologisk trinn i prosesskombinasjon N13, dimensjonert etter en modifisert versjon av NV256

Parameter	Beskrivelse
Vannmengde, Q _{middel}	950 m ³ /h (inkl. returstrømmer)
Vannmengde, Q _{dim}	1064 m ³ /h (inkl. returstrømmer)
Vannmengde, Q _{maksdim}	2065 m ³ /h (inkl. returstrømmer)
Resirkulering av nitrat	1579 m ³ /h midlere, 2660 m ³ /h dimensjonerende
Vanddyp	6,5 m
Diffusordyp	6,3 m
Biofilmbærer	BWT-X, 650 m ² /m ³
R1 For-denitrifisering	3 x 690 m ³ = 2070 m ³ ; 60 % fyllingsgrad; L x B = 14,2 x 7,5 m
R2 BOF-reduksjon	3 x 150 m ³ = 450 m ³ ; 65 % fyllingsgrad; L x B = 3,1 x 7,5 m
R3 Nitrifisering	3 x 843 m ³ = 2529 m ³ ; 65 % fyllingsgrad; L x B = 17,3 x 7,5 m
R4 Oksygenreduksjon	3 x 100 m ³ = 300 m ³ ; 40 % fyllingsgrad; L x B = 2,1 x 7,5 m
R5 Etter-denitrifisering	3 x 250 m ³ = 750 m ³ ; 60 % fyllingsgrad; L x B = 5,5 x 7 m
R6 Etterlufting	3 x 100 m ³ = 300 m ³ ; 40 % fyllingsgrad; L x B = 2,2 x 7 m
Totalt bioreaktorvolum	6399 m ³ vått volum
Mengde biofilmbærere	3868 m ³ ; 2 514 428 m ² biofilmareal
Midlere oksygenbehov	154 kg O ₂ /h
Dimensjonerende oksygenbehov	306 kg O ₂ /h
Midlere luftbehov	5328 Nm ³ /h
Dimensjonerende luftbehov	11 610 Nm ³ /h
Ekstern karbonkilde, midlere dosering	1044 l MeOH/d, 831 kg MeOH/d
Ekstern karbonkilde, dim. dosering	1467 l MeOH/d, 1167 kg MeOH/d
Midlere biologisk slamproduksjon	1915 kg TS/d
80-persentil for slamproduksjon	2867 kg TS/d

7.4 Nivåløftere/mellompumpestasjon (felles for S11 og N13)

Etter biotrinnet samles utløpet i en kanal og vannet ledes til en pumpeump i en mellompumpestasjon. Pumpestasjonen plasseres i samme bygg som forsedimentering og bioreaktorene i S11-alternativet, og dette alternativet kan også benyttes for N13 ved trinnvis utbygging. Nivået løftes ca. 2 m med 2 stk. parallelle arkimedesskruer, slik at vannet kan renne med selvføll i en ny rørledning til flokkulering, og videre gjennom flokkulering og ettersedimentering. Dimensjonerende vannmengde er 2050 m³/h.

7.5 Etterfelling og slamseparasjon (felles for S11 og N13)

Eksisterende flokkulering og sedimentering benyttes til etterfelling og slamseparasjon etter utvidelsen av Lillevik RA. Det gjelder både for utvidelse med sekundærrensing (S11) og nitrogenfjerning (N13).

Eksisterende flokkulering består av 8 linjer med 2 kammer i serie. Volum er 26 m³ per kammer, totalt 416 m³. Det gir en oppholdstid i flokkuleringen på 23 minutter ved Q_{dim} (dimensjonerende oppholdstid er >15 minutter i NV256 ved dosering av Al/Fe + polymer).

Forbruket av fellingskjemikalier vil bli betydelig lavere enn i nåværende anlegg, men fordi avløpsvannet er tynt med lav fosforkonsentrasjon vil Al/P-molforholdet fremdeles bli høyt sammenlignet med renseanlegg som har høye innløpskonsentrasjoner. Ved dimensjoneringen forutsettes en spesifikk dose på 4,9 mol Al per mol P.

Eksisterende sedimenteringsbasseng er bygd i 4 linjer med et vanddyp på 3,5 m, lengde på 54,7 m og bredde på 6,0 m. Dette gir brutto areal og volum på henholdsvis 328 m² og 1148 m³ per basseng. Nominelt areal blir 322 m² per basseng og 1288 m² totalt. Det gir en hydraulisk belastning på 0,8 m³/m³-h ved Q_{dim} 1,6 ved Q_{maksdim} (dimensjonerende overflatebelastning er henholdsvis 1,3 m³/m²-h og 2,0 m³/m²-h ved Q_{dim} og Q_{maksdim} i NV256).

Nøkkeltall for etterfellingen og slamseparasjonen ved anlegget er vist i Tabell 17.

Tabell 17. Nøkkeltall for etterfelling og slamseparasjon i prosesskombinasjon S11 og N13

Parameter	Beskrivelse
Koagulant	PAX-18
Spesifikk dosering koagulant	4,9 mol Al/mol total P
Kjemikaliebehov, midlere	2537 kg PAX-18/d
Kjemikaliebehov, 80-persentil	2999 kg PAX-18/d
Kjemikaliebehov, 90-persentil	3207 kg PAX-18/d
Spesifikk dosering flokkulant (polymer)	0,5 g/m ³
Polymerdosering, midlere	11 kg/d
Polymerdosering, dimensjonerende (Q _{dim})	13 kg/d
Flokkulering	4 parallelle linjer, 2 reaktorer i serie 416 m ³ totalt, 3,5 m vanddyp
Sedimentering	4 linjer, 1288 m ² totalt 54,7 m lengde, 6,0 m bredde 3,5 m vanddyp
Kjemisk slamproduksjon, midlere	1370 kg TS/d
Kjemisk slamproduksjon, 80-persentil	1620 kg TS/d
Kjemisk slamproduksjon, 90-persentil	1730 kg TS/d

7.6 Slambehandling

Tabell 18 viser en sammenstilling av midlere slamproduksjon for S11 og N13. For samlet slamproduksjon er det tatt utgangspunkt i et tap på 15 mg SS/l i resnet

utløpsvann. Midlere mengde septik og eksternslam er estimert til 1500 kg TS/d i 2058 i dimensjoneringsgrunnlaget (PN 10).

Tabell 18. Sammenstilling av midlere slammengde for S11 og N13

Midlere slamproduksjon	S11 (kg TS/d)	N13 (kg TS/d)
Primærslam	1740	1740
Biologisk slam	1971	1915
Kjemisk slam	1370	1370
Septik/eksternslam	1500	1500
Tapt i utløp (15 mg/l)	340	340
Samlet slammengde til slambehandling	6241	6185

I forbindelse med utvidelsen legges eksisterende råtnetanker om til termofil drift. Råtnetanken driftes ved en temperatur på ca. 55 °C i stedet for ved 37-40 °C som er normalt ved mesofil utråtning. VS-omsetningen i råtnetankene antas å være 55 % i den grovdimensjonerte prosessen (fra Norsk Vanns dimensjoneringsveileder, NV256). Eksisterende råtnetank benyttes også etter utvidelsen, og man oppnår 17 døgns oppholdstid ved dimensjonerende slambehandling. Nødvendig oppholdstid er 12 døgn, og man vil dermed ha restkapasitet ved anlegget. Også trommelsil i septikmottaket og ristgodsvaskere videreføres etter utvidelsen.

I forbindelse med utvidelsen etableres nye fortykker- og avvanningsmaskiner ved anlegget. Ved dagens anlegg pumpes slam fra septik- og eksternslamlager til en egen fortykkermaskin, og fra buffervolum for internt slam til en annen fortykkermaskin. Etter utvidelsen blandes septik, eksternslam og internslam i et råslamlager (som tidligere var internslamlager), og pumpes derfra til en av de to nye fortykkermaskinene.

Dersom termofil utråtning skal fungere som et hygieniseringstrinn, må driften tilpasses de aktuelle krav for hygieniseringen. Dette vil innebære at man må ha en satsvis (semi-batch) drift av råtnetanken, slik at man sikrer en minimum eksponeringstid for alt slam ved en gitt temperatur. Prosessen dimensjoneres for 2 timers eksponeringstid ved 55 °C. For å kunne varmeveksle utråtnet slam med råslam inn til råtnetanken, etableres en holdetank for utråtnet slam. Utråtnet slam pumpes til holdetanken i løpet av 30 minutter, og utpumping fra tanken skjer i løpet av 1,5 timer. To av dagens tre pasteuriseringstanker benyttes som holdetanker etter utvidelsen. Nye varmevekslere etableres ved anlegget.

Ved dagens anlegg er det to buffertanker for utråtnet slam, men kun en av tankene er i drift. Etter utvidelsen brukes fortsatt ett av volumene til bufring av utråtnet slam, og det andre blir brukt til rejektivannrensing, se kapittel 7.7.

Tabell 19 viser en sammenstilling av nøkkeltall for slambehandlingen med termofil utråtning etter utvidelsen av renseanlegget.

Tabell 19. Nøkkeltall for slambehandlingen etter utvidelse av Lillevik RA

Funksjon		Beskrivelse	Referanse/kommentar
Trommelsil	Septikmottak	10 mm hullperforering (Rotamat RoSF9, Huber) Kapasitet: 300 m ³ /hime	Eksisterende
Ristgods-avvannere	Septikmottak	Kapasitet: 6 m ³ /hime (WAP6, Huber)	Eksisterende
Buffervolumer	Septik/eksternslam (1 % TS)	Volum: 130 m ³ Dim. mengde: 250 m ³ /d	Eksisterende, funksjon for pumping til internslambuffer installeres
	Internt slam/septik/eksternslam (2 % TS)	Volum: 130 m ³ Dim. slammengde: 400 m ³ /d	Lavere dim. mengde hvis septik/eksternslam pumpes direkte til foravv.
	Fortykket slam (6 % TS)	Volum: 2 x 110 = 220 m ³ Dim. slammengde: 130 m ³ /d	Eksisterende
	Holdetank utråtnet slam	Volum: 22 m ³	Benytter 2 av 3 pasteuriserings-tanker (11 m ³ per tank)
	Utråtnet slam (3,7 % TS)	Volum: 220 m ³ Dim. slammengde: ca. 130 m ³ /d	Ett av to eksisterende bassenger
	Slamsilo avvannet slam (25 % TS)	Dim. mengde avvannet slam: 18 t/d Volum: 145 m ³	Eksisterende
Råtnetank	Anaerob stabilisering og hygienisering	Volum: 2200 m ³ Dim. slammengde: 130 m ³ /d (6 % TS) Oppholdstid ved dim. slammengde: 17 d Midlere biogassproduksjon: 2 045 Nm ³ /d Dim. biogassproduksjon: 2 659 Nm ³ /d Midlere metanproduksjon: 1 109 Nm ³ /d Dim. metanproduksjon: 1 442 Nm ³ /d	Eksisterende råtnetank benyttes
Varmevekslere	Slam/slam (inn og ut av råtnetank)	Dim. kapasitet: 14 m ³ /h	Nytt utstyr
Fortykking/avvanning	Fortykking internt slam og septik/eksternslam	2 stk. maskinelle fortykkere Dim. kapasitet per enhet: 338 kg TS/h, 17 m ³ /h (100 % redundans)	Nytt utstyr
	Sluttavvanning	2 stk. avvanningssentrifuger/slampresser Dim. kapasitet per enhet: 396 kg TS/h, 12 m ³ /h, ved 12 timers drift pr dag (100 % redundans)	Nytt utstyr
	Totalt polymerforbruk	21 tonn/år	Antatt 5 kg/tonn TS til fortykking og avvanning

7.7 Utjevning og rensing av returstrømmer

Rejektvannsrensing, med fjerning av nitrogen fra rejektivannet, inkluderes for samtlige alternativer, også ved utvidelse med sekundærrensing, etter ønske fra Larvik kommune.

Dimensjonerende produksjon av slamvann fra fortykkingen er estimert til ca. 272 m³/d (gjelder for både S11 og N13). Ved dagens anlegg renner slamvannet til innløp, og denne funksjonen videreføres til det utvidede anlegget.

Dimensjonerende produksjon av rejeckt fra avvanning av utråtnet slam er estimert til ca. 122 m³/d (gjelder for både S11 og N13). I rejektivannet er det forutsatt en dimensjonerende konsentrasjon på 1200 mg/l total N, 1000 mg/l total N målt på filtrert prøve (FTN) og 900 mg/l NH₄-N. I forprosjektet forutsettes at det etableres et

rensetrinn for behandling av rejektivannet i ett av de to volumene for utjevning av utrånnet slam ved dagens anlegg. Volumet for dette bassenget er 220 m³. Prosessen utformes hovedsakelig for fjerning av nitrogen, men etableres både ved utbygging med sekundærrensing (S11) og nitrogenfjerning (N13). Rensetrinnet utformes med deammonifikasjon, som er sammensatt av en nitrittasjonsprosess (aerob autotrof ammoniumoksidasjon) etterfulgt av en anammoxprosess (anaerob autotrof ammoniumoksidasjon). I forprosjektet er en MBBR-prosess dimensjonert, hvor både nitrittasjons- og anammoxprosessen skjer i samme reaktor. Anlegget er dimensjonert for en spesifikk belastning av filtrert Tot-N (FTN) på 0,6 kg/m³-d og en antatt renseeffekt for FTN på 70 %. Resultatet av dimensjoneringen er vist i Tabell 20.

Tabell 20. Deammonifikasjonsanlegg for rensing av rejektivann fra avvanningen (gjelder både ved utbygging med S11 og N13)

Parameter	Enhet	Verdi
Midlere rejektivannsmengde	m ³ /d	94
Dimensjonerende rejektivannsmengde	m ³ /d	122
Tilført N (midlere)	kg FTN/d	94
Tilført N (dimensjonerende)	kg FTN/d	122
Volum anammox-reaktor	m ³	220
Spesifikt areal for biofilmbærer	m ² /m ³	650
Fyllingsgrad av biofilmbærer	%	50
Volum av biofilmbærer	m ³	110
Midlere energiforbruk til prosess	kW	10

7.8 Driftskostnader

Driftskostnader for de forskjellige prosessalternativene er estimert, blant annet i forbindelse med valg av vann- og slambehandlingsprosesser, jf. kapittel 5.1.3, 5.2.3 og 6.1.3. Kostnadsestimeringene er brukt som grunnlag for prosessvalg, og inkluderer ikke alle kostnader knyttet til driften av et renseanlegg. I dette kapittelet er det redegjort for estimerte kostnader for prosessalternativ S11 og N13, inkludert slambehandling med termofil utrånning (P3). Målet er å gi en indikasjon på kostnadsforskjeller mellom å drifte et sekundærrensianlegg og et anlegg med nitrogenfjerning. Tabell 21 viser enhetspriser for de kostnadselementer som er inkludert i beregningen av driftskostnader i Tabell 22.

Tabell 21. Enhetspriser brukt for grov estimering av driftskostnader

Kostnadselement	Enhetspris	Enhet
Strøm	1,00	NOK/kWh
Bioolje	2,00	NOK/kWh
Bemannning	800 000	NOK/årsverk
Kjemikalie - PAX	2500	NOK/tonn
Kjemikalie - Polymer	35 000	NOK/tonn
Kjemikalie - Metanol	5000	NOK/tonn
Vedlikehold	1,0	% av basiskalkyle
Avhending av utrånnet slam	1000	NOK/tonn

For å beregne strømforbruk og oppvarmingsbehov med bioolje er det forutsatt at man gjenvinner varme fra blåsemaskiner, og at det installeres solceller på 50 % av nytt og eksisterende takareal. Kostnadene er estimert for et nitrogenfjerningsanlegg ved ett-

trinns utvidelse, men vil bli tilnærmet lik ved to-trinns utvidelse. Estimerte driftskostnader for S11 er 18,2 MNOK/år og for N13 er driftskostnadene estimert til 24,2 MNOK/år. Dette gjelder altså driften av selve renseprosessene og slambehandlingen, og det tilkommer ytterligere kostnader for administrasjon, etc. for å drifte renseanlegget (ADK = andre driftskostnader er ikke inkludert).

Tabell 22. Estimerte driftskostnader for drift av hhv. sekundærrenseanlegg (S11) og nitrogenfjerningsanlegg (N13)

Kostnadselement	Driftskostnader (MNOK/år)	
	S11	N13
Strøm	-0,9	0,3
Bioolje	0,07	0,08
Driftspersonell	5,6	7,2
Kjemikalier	3,3	4,8
Avhending slam	5,1	5,2
Vedlikehold	5,1	6,6
Totale driftskostnader	18,2	24,2

8 Anleggsutforming

8.1 Bygningsmessige utvidelser

Figur 11 og Figur 12 nedenfor viser situasjonsplaner for nye bygg ved to-trinns utvidelse av anlegget. Figur 13 viser nye bygg ved direkte utvidelse med nitrogenfjerning (ett-trinns utvidelse). Tegninger i vedlegg A viser mer detaljer for plassering av prosesstrinn, funksjoner i servicebygg, ledningsanlegg, etc.

En ekstra innløpspumpe installeres hvor dagens septikmottak er plassert. Dagens septikmottak flyttes lenger mot vest på dagens tomt. Anlegget utvides med en ny rist, som får plass innenfor dagens bygningsmasse. Eksisterende flokkulering og sedimentering utnyttes også ved det utvidede anlegget, og disse anleggsdeler krever ingen utvidelse av bygningsmassen.

Forsedimentering, slampumper, biotrinn, nivåløfter plasseres i nybygg øst for eksisterende bassenghall. Ved trinnvis utbygging (to-trinns utbygging) etableres prosesstrinnene som kreves for sekundærrensing i et eget bygg, for å kompletteres med ytterligere biobassenger i et separat bygg senere. Et servicebygg etableres sørøst for dagens bassenghall, i første trinn av utvidelsen. I servicebygget plasseres blant annet blåsemaskiner, VVS-rom, trafo, tavlerom, kontrollrom og driftslaboratorium.

Ved direkte utbygging med nitrogenfjerning (ett-trinns utbygging) plasseres prosesstrinnene og servicebygget i ett felles bygg, øst for dagens bassenghall.

Valgt slambehandlingsprosess krever ingen utvidelse av dagens bygningsmasse. Ny gassturbin etableres i eksisterende bygg (i rom hvor det i dag er en slamsil, som skal fjernes).

Det dimensjonerte rejektivannrensaneanlegget får plass i eksisterende anlegg (plasseres i et uutnyttet slamlager).

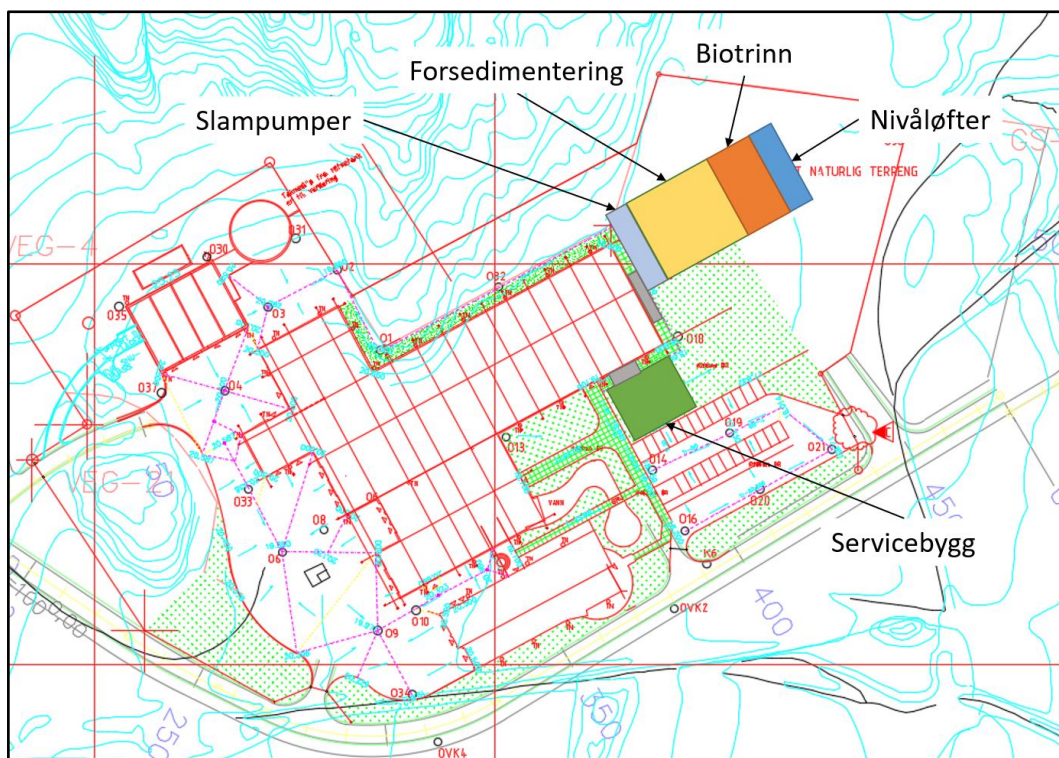
Et nytt driftslaboratorium etableres i det nye servicebygget, og erstatter det eksisterende i administrasjonsbygget.

I eksisterende administrasjonsbygg skal garderobekapasiteten utvides og bygges om. Dette for å oppgradere til den standard og arbeidsmiljø som er vanlig i dag.

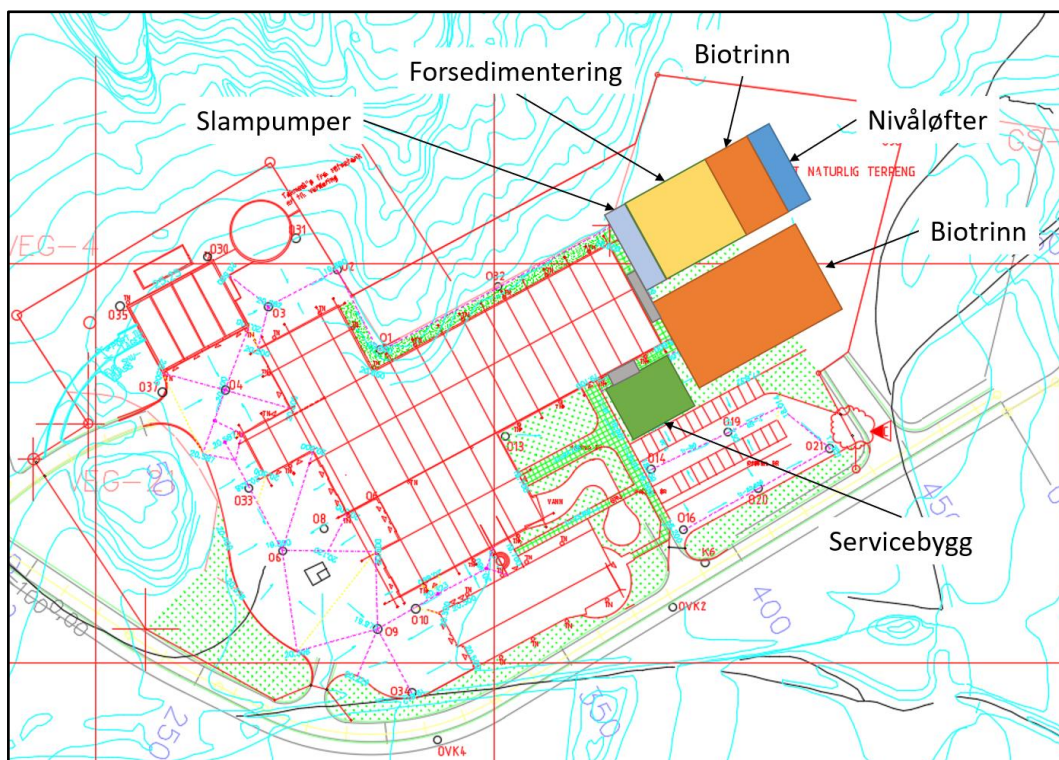
Ny garderobeløsning skal ha kapasitet på 16 stk. individuelle/enpersonsgarderober og nødvendige disponible arealer må avklares i detaljprosjekteringen. Det er avsatt en anslått kostnad for ny garderobeløsning i basiskalkylen og det understrekes at dette anslaget er satt med stor grad av usikkerhet.

Det planlegges for å etablere et solcelleanlegg på ca. halvparten av takarealet i nytt og eksisterende bygg.

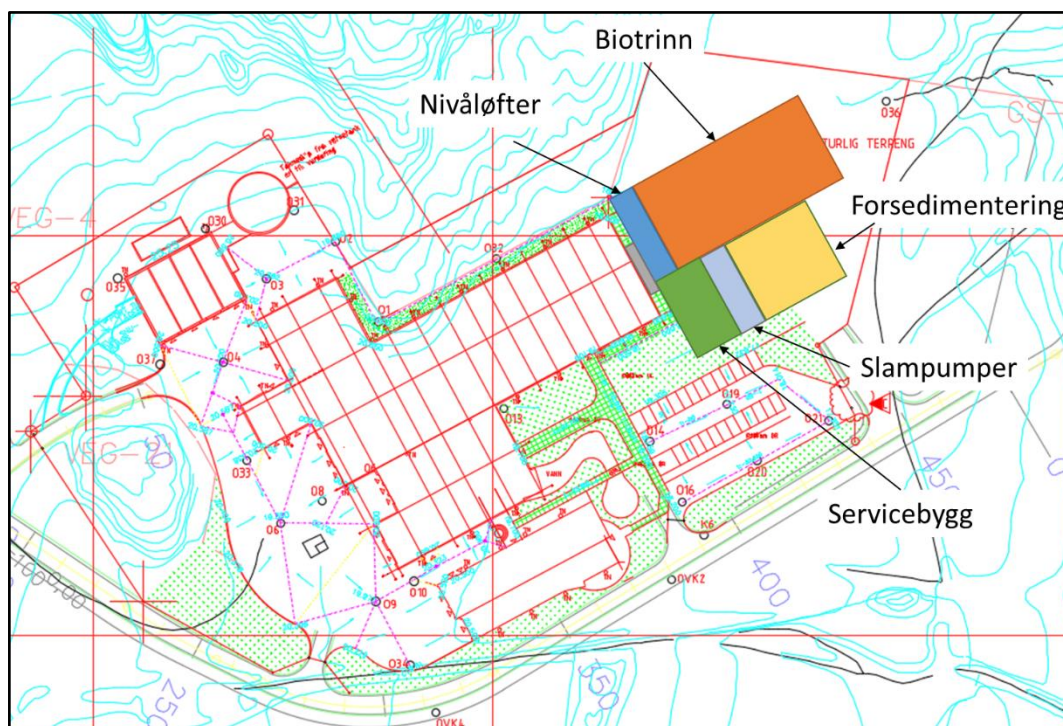
Tomten utvides noe i nordlig retning, for å få på plass en transportvei rundt anlegget. Dette krever noe grunnerverv, og at man sprenger bort noe mer av fjellet mot nord.



Figur 11. Utvidelse med sekundærrensing, første trinn ved to-trinns utvidelse av Lillevik RA



Figur 12. Utvidelse med nitrogenfjerning, andre trinn ved to-trinns utvidelse av Lillevik RA



Figur 13. Utvidelse ved direkte utvidelse med nitrogenfjerning (ett-trinns utvidelse)

8.2 Vannets vei gjennom anlegget

I eksisterende innløpskum er det i dag en overløpsledning, Ø600, som går til resipient hvor vannet slippes ut på ca. 20 m dyp. Det er også en utløpsledning for rensset avløpsvann på Ø800, med diffusor, med utslippspunkt på ca. 50 m dybde. Kapasiteten for eksisterende utløpsledning er for liten, og etter utvidelsen anbefales å utnytte begge de toledningene for rensset avløpsvann. Dette krever blant annet at man øker dimensjonen på skråkum på utslippsledning for overvann fra Ø1000 til Ø1400, og at man installerer diffusor og forlenger utslippsledningen for overløp ned til 50 m. Vurderinger av nødvendige tiltak inkluderes i detaljprosjektet.

Internt i anlegget er det blant annet overføringsledning (Ø1000) fra sand- og fettfang til kanal foran forsedimentering i nytt bygg. Denne rørledningen legges i eksisterende kulvert, parallelt med eksisterende sedimenteringsbassenger, og deretter i grunnen til kanal foran forsedimentering.

Forut for forsedimenteringstrinnet i nytt bygg, vil det være overløp, som dekker hele prosesslinjen i det nye tilbygget. Dvs. dersom oppstuvning skjer i biotrinnet vil dette stuve seg tilbake til foran forsedimentering. Overløpsrør legges i grunnen og kobles sammen med utløpsrør i ny kum som støpes i nytt bygg.

Fra nytt bygg til eksisterende flokkuleringsbassenger (fremtidens ettersedimentering) føres avløpsvannet i utvendig rør (Ø900) i grunnen nord for eksisterende anlegg.

8.3 Utvendig VA

Ved utvidelse av Lillevik er det behov for noe omlegging av eksisterende ledningsanlegg samt kapasitetsutvidelse av eksisterende ledningsanlegg.

8.3.1 Omlegging av eksisterende ledninger

Ved nybygg av bassenhaller mot øst må eksisterende DN300 mm vannledning og DN315 mm spillvannsledning legges om rundt ny bygningskropp. Det må også forutsettes noe mindre omlegginger av overvannsledninger.

8.3.2 Vannledninger

Det må etableres tilstrekkelig slukkevannsdekning rundt ny og eksisterende bygningsmasse. Normale krav er 50 l/s fordelt på to uttak hvor avstand er maks. 50 m fra slukkevannsuttak til fasade (ett uttak). Det er i dag vannledning på vest-, øst- og sydsiden av bygningsmassen. Det må i tillegg etableres en vannledning på nordsiden som sammenkoples med vannledning i øst og vest for å etablere en ringforbindelse. Det anses å være tilstrekkelig med DN150 mm vannledning.

8.3.3 Utslippsledninger

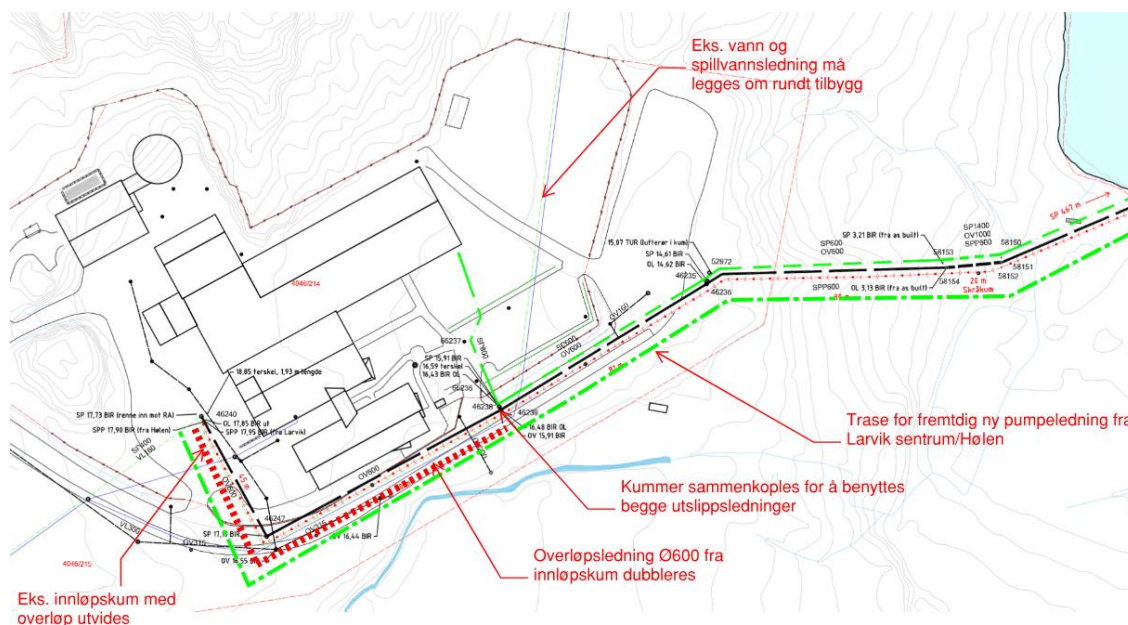
Det er i dag to utslippsledninger fra anlegget, en for rensset avløpsvann og en for overløpsdrift. Hver for seg har ikke ledningen kapasitet til fremtidige vannmengder. Der derfor nødvendig å kople sammen disse og etablere styring for å fordele vannstrømmen. Utslippsledning for rensset avløpsvann går til utslipp på -50 m i sjø. Utslippsledning for overløp går i dag til -30 m og må forlenges til -50 m i sjø. Dette er nærmere beskrevet i PN#24.

8.3.4 Innløpskum/overløp

Innløpskummen i forkant av anlegget må utvides, både for å ha plass til nye ledninger og sikre tilstrekkelig kapasitet på overløpskant. Fra innløpskum går det i dag en Ø600 mm overløpsledning og frem til start for utslippsledninger. Denne overløpsledning har ikke tilstrekkelig kapasitet og må dubleres.

8.3.5 Overføringsledninger

Dagens overføringsledninger fra østsiden av Larviksfjorden har ikke tilstrekkelig kapasitet og det er vurdert å legge ny pumpeledning over fjorden. Det vil være naturlig og mest effektivt å etablere ledningsanlegget på land for denne ledningen ved Lillevik i samme entreprise som resterende anleggsarbeid ifm. utvidelsen. Pumpeledningen er foreløpig antatt å være Ø800 mm PE100.



Figur 14. Oversikt over nytt ledningsanlegg

8.4 Arkitektonisk utforming

Lillevik renseanlegg rett utenfor Larvik ble ferdigstilt tidlig på 2000-tallet, men prosjektert på 90-tallet. Det arkitektoniske uttrykket bærer preg av dette. Samtidig er det et nokså tidløst uttrykk på anlegget, og det er noen klare designprinsipper som er fulgt. Takene har saltak og pulttaksløsninger. Bruken av tegl i rødt og gult – en egen Lillevik-sten laget spesielt for dette anlegget – går igjen i alle bygg. Vinduene er smårutet, og i en dyp flaskegrønn farge. Sammen med et vakkert og gjennomtenkt uteområde fremstår Lillevik som et flott eksempel på et kommunalteknisk anlegg.

Når anlegget nå skal bygges på og utvides har det vært viktig å videreføre de samme prinsippene, så utvidelsen blir godt inn sammen med det som allerede er der.

De nye bassengbyggene har derfor fått saltaksløsninger med samme mønneretning som de store bassengbyggene som allerede er der. Det mindre servicehuset i to-trinnsløsningen får pulttaksløsning, som mange mindre bygg på Lillevik har fra før. Med saltaksløsninger kan også takflatene utnyttes til montering av solcellepaneler.

Inndelingen av vinduene tar opp i seg inspirasjon fra det eksisterende anlegget, med ruter. Store glasspartier i bassengrommene skaper trivsel for de som skal jobbe i anlegget, og bryter opp de lange fasadene.

Anlegget skal stå i mange år, og det anbefales å bruke materialer som er holdbare og har lang levetid. For å knytte materialbruken sammen med det som allerede er der videreføres teglforblendingen. Steinen som er på det gamle anlegget får vi ikke lenger tak i, men intensjonen er å finne en gul og en rød sten som ligger så tett opp til eksisterende palett som mulig. Det er foreslått å bruke sink på tak og i beslagsdetaljer på de nye byggene.

Mellomganger i glass knytter nytt og gammelt anlegg sammen og lar de eksisterende bygningene få minst mulig inngrep. Tanken er at de gamle ytterveggene i tegl nå blir synlig som innervegg.

8.4.1 3d-illustrasjoner av to-trinnsløsningen

Figur 15-Figur 21 viser illustrasjoner av anlegget, hvis anlegget først bygges ut med sekundærrensing, og så nitrogenfjerning senere (to-trinnsløsningen).



Figur 15. Illustrasjon av servicebygg (eksisterende bassenghall til venstre)



Figur 16. Illustrasjon av ny bassenghall (servicebygg til venstre)



Figur 17. Servicebygg (midten), ny bassenghall (til høyre) og eksisterende bassenghall (til venstre)



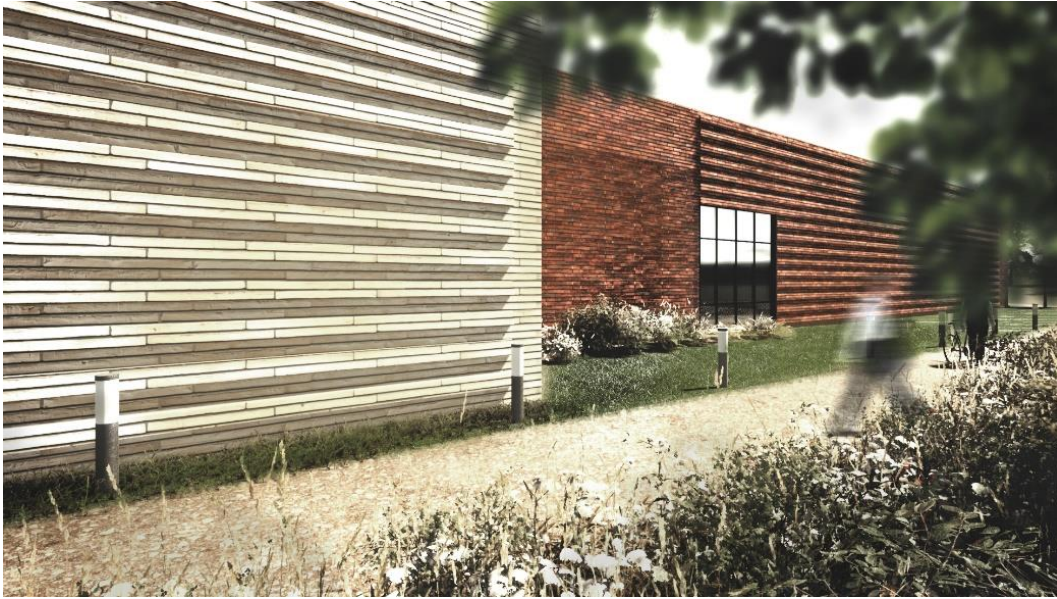
Figur 18. Servicebygg (midten) og eksisterende bassenghall (til venstre)



Figur 19. Nybygg sett fra øst



Figur 20. Anlegget etter utvidelse med to-trinnsløsningen



Figur 21. Fasade-detajler (servicebygg til venstre og ny bassenghall til høyre)

8.4.2 3d-illustrasjoner av ett-trinnsløsningen

Figur 22-Figur 28 viser illustrasjoner av anlegget, hvis anlegget bygges ut med nitrogenfjerning direkte (ett-trinnsløsningen).



Figur 22. Eksisterende og ny bassenghall



Figur 23. Utvidet anlegg sett fra sør-øst



Figur 24. Utvidet anlegg sett fra sør



Figur 25. Utvidet anlegg sett fra sør-vest



Figur 26. Nybygg sett fra øst



Figur 27. Anlegget etter utvidelse med ett-trinnsløsningen



Figur 28. Fasade-detalljer (ny bassenghall til høyre)

8.5 Landskapsmessig utforming

Lillevik renseanlegg ligger fint til i skogkanten nær strandsonen mellom Larvik og Stavern, ved et friområde med strand. I bakkant av bygningene er det høyreist vegetasjon i tresjiktet, løvtreskog med innslag av gran og furu. Rundt bygningene er det et parkmessig opparbeidet grøntareal, med prydbusker av forskjellige arter, plen og kirsebærtrær. Hovedadkomst og parkeringsareal ivaretas i sin helhet. Port for dagens adkomst til basseng-bygningen ivaretas, eksisterende sekundæradkomst med port og grusvei ivaretas også.

Ved en utvidelse av renseanlegget vil eksisterende grøntanlegg i stor grad bevares. Forprosjektet legges opp til utvidelse av anlegget på arealet bestående av plen og trær, sør og øst for eksisterende anlegg.

I forprosjektet legges det til grunn å ta vare på de fleste eksisterende trærne, for så å plante dem i en rekke ved parkeringsplassen, og noen på plenarealet i nordøst. Det er mange fordeler ved å ta vare på trær fremfor å plante nye, her er noen:

- > Oppgraving og mellomlagring av eksisterende trær er et rimeligere alternativ enn plante nye i samme størrelse
- > Trær med lokal proveniens, som man vet trives, bevares
- > Økologiske verdier knytta til eksisterende trær ivaretas (bedre enn å plante nytt)
- > Bevaring av etablerte trær gir større landskapsverdier enn nye trær

Det er foreslått en ny adkomst i nordøst fra eksisterende parkeringsplass for friområdet. Det etableres en ny port for denne adkomsten i eksisterende gjerdelinje. Deler av gjerdet forventes reetablert/skjøtet etter anleggsperioden. Videre er det foreslått å reetablere plen rundt bygningene og sette løk i plenen. Rundt det nye servicebyggets innganger, er det foreslått setting av belegningsstein. Da bør det benyttes samme type som eksisterende, om det er mulig å få tak i, alternativt noe i kontrast til eksisterende.

Mellom den nye og eksisterende bygningsmasse etableres det en rekke smale uterom som er foreslått etablert med elvestein, siden det vil bli vanskelig å etablere vegetasjon i disse arealene.

Den landskapsmessige utformingen for utvidet anlegg er vist i tegninger i vedlegg A.

8.6 Sikkerhet i design og redundans

Det utvidede Lillevik renseanlegg vil bli et komplekst prosessanlegg, med mange avhengigheter og høy grad av instrumentering. Planlegging og design av et slikt anlegg skal ivareta både krav til renseprosessene, men også drift og vedlikehold, samt økonomi og bærekraft. Alle disse momentene skal hensyntas når man bestemmer sikkerhet i design, med tilhørende redundanskrav. I dette forprosjektet gjelder bestemmelser vedørende redundans og sikkerhet i design slik det er beskrevet nedenfor.

8.6.1 Antall prosesslinjer

Antall linjer i behandlingsprosessene bestemmes ut ifra kritikalitet, økonomi og praktiske hensyn. Det er f.eks. ikke økonomisk å bygge inn redundans i vannbehandlingen når det gjelder antall linjer, men inndelingen vil bidra til at man har en viss grad av rensing, også ved vedlikehold og ev. havari hvor man må stenge av en prosesslinje. Dette betyr at man må ha minimum to (2) parallelle linjer i behandlingsprosessene, alternativt at oppgavene kan løses på annet vis.

For slambehandling kan en reserveløsning f.eks. være å transportere slam for behandling annet sted. Når det gjelder vannbehandling må dette imidlertid løses i det anlegget som bygges, da det ikke er praktisk mulig å få vannet behandlet annet sted. For slambehandlingen må man sørge for å ha tilfredsstillende redundans i avvanningen slik at man har sikkerhet for å kunne transportere avvannet slam til eksternt anlegg, da transport av uavvannet slam vil avstedkomme svært høye kostnader og stor transportbelastning.

For Lillevik er det besluttet følgende:

i) Vannrensing

- Innløpspumper – 2 linjer
- Innløpsrister – 3 linjer
- Sand/fettfang – 2 linjer
- Forsedimentering – 3 linjer
- Biotrinn – 3 linjer
- Ettersedimentering – 4 linjer

ii) Slambehandling

- Fortykking – 2 linjer
- Termofil utråtning (varmevekslere) – 1 linje*
- Råtnetank – 1 linje*
- Avvanning – 2 linjer

*Dersom termofil utråtning/råtnetank må tas ut for vedlikehold, eller settes ut av drift pga. havari, forutsettes det at slammet behandles annet sted.

8.6.2 Redundans maskiner

Minimumskrav vedrørende redundans er at planlagt vedlikehold av utstyr og konstruksjoner defineres som en normalsituasjon hvor funksjonskravene skal oppfylles. Det er derfor et grunnleggende krav at alt kritisk prosessutstyr enten; a) skal ha standby-enheter som koples inn automatisk og opprettholder anleggets funksjon hvis en søsterenhet faller ut, eller b) at anleggsdesignen inneholder buffervolumer som gjør at man kan skifte ut havarete komponenter uten at det går ut over delprosessenes funksjon/ytelser. Dette kravet gjelder ikke for vedlikeholdsoppgaver som krever nedstenging av prosesslinjer. Prinsipp a) defineres som *installert redundans* og prinsipp b) som *lagerredundans*. I prinsipp b) må derfor kritiske komponenter finnes på lager.

For Lillevik RA er det besluttet å benytte *installert redundans*, dvs. prinsipp a).

8.6.3 Øvrige installasjoner

Larvik kommune har gjennomført egen risikovurdering som dokumenterer at reservestrømaggregat ikke er nødvendig. Det er få strømvbrudd i området og forsyning kan besørges fra 2 steder.

Tilfredsstillende arbeidsmiljø (ventilasjon) er avgjørende for å holde anlegget i drift, samt for å ha kontroll på luktutslipp. Sikkerhet og redundans for ventilasjon er satt til: 2 x 100 % kullfilter og UV filter (driftes normalt på 2 x 50 %).

9 Tekniske løsninger og kvalitetsnormer

9.1 Bygg

Eksisterende bygg er godt vedlikeholdt, det er imidlertid behov for noe vedlikeholdsmessige tiltak på eksisterende bygningsmasse som reparasjon av områder med sprekker og etter impregnering av fasaden. Tekkingen på taket er slitt og det trengs omteking og forberedelse for montasje av solceller. Innvendig er det planlagt rehabilitering av noen overflater. PN#9 beskriver planlagte tiltak i eksisterende anlegg nærmere, nedenfor er beskrivelser av tekniske løsninger for nye bygg.

Fundamenter, vegger dekker for grunnkonstruksjonene, tekniske rom i underetasje og bærende betongkonstruksjoner benyttes det lavvarme betong, vanntett eller normal. Vegger isoleres etter behov og forblendes. Betongkvalitet dimensjoneres for mekanisk og miljøbelastning tilpasset prosess og drift. Følgende eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser er forutsatt benyttet:

Tabell 23. Eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasse for betong.

Konstruksjonsdel	Klasser		
	Eksponering	Bestandighet	Fasthet
Bassenger	XD2	M-40	B45
Øvrig	XD1	M-45	B35
Utvendige fundamenter	XF2	MF-45	B35

Tidligere geotekniske undersøkelser viser dårlige grunnforhold med varierende dybde til fjell, og tilstedeværelse av kvikkleire. Det er tatt med spunt for anleggsarbeidene. Det er beregnet kalkstabilisering av byggegroppen/grunnen for utvidelsen. Bygget/byggene fundamenteres med pæler stålkjernepeler til fjell og som forankres i fjell.

Det er tatt med overflatebehandling på dekker etter BH-ønske, i tekniske rom, i kummer på vegger osv. Den ekstra overflatebehandlingen skal tilpasses bruken i området den påføres, underlette renhold og eksempelvis tåle høytrykksspyling.

Utsparinger og gjenstøpning i vanntette konstruksjoner bør begrenses, dette krever at Prosessleverandør kommer tidlig nok i gang slik at de kan levere innstøpning for egne arbeider. Det er derfor viktig å ha samtidighet i prosjekteringen. Utførelse av vanntette gjennomføringer skal utføres iht. COWI-standard alternativt etter omforent praksis med prosessleverandør.

Kvalitetene som velges for montasje av elementer som rekkverk, oppheng av VVS/EL, kraner, luker, dører, rister etc. skal være av bestandige materialer som syrefast, rustfritt, galvanisert, kompositt, malt etc. Materialene og overflatebehandlingen skal tilfredsstillende «høy» og «veldig høy» korrosivitetsklasse.

Gulv belegges med akryl eller fliser. Vegger og bunn i bassenger behandles ev. med vannglass. Rom som det skal spyles i utføres med fall (ca. 1:80) til renner og sluk.

Arbeidsstilling ved service, vedlikehold og utbytting av komponenter er viktig. Maskinfundamenter med høyde på ca. 60 cm etableres, der det er mulig, for å gjøre drift og vedlikehold mer ergonomisk.

Øvrig teknisk utstyr monteres på betongsokler, min 10-20 cm. Installasjonene vil da komme opp fra gulvet slik at vann og søl ikke kommer i direkte kontakt. Utstikkende hjørner på vegger, fundamenter fases med trekantlekt.

Laster på konstruksjoner i henhold til NS-EN 1991. Nyttelaster på dekker skal plasseres i Kategori C5 ref. tabell 6.2 i NS-EN 1991.

Alle bassenger og renner skal dimensjoneres for høyeste mulige vannstand. Vannstanden oppgis i prosessdimensjoneringen/hydraulisk profil.

9.2 Maskin

I eksisterende anlegg er det maskinelle utstyret generelt godt vedlikeholdt. Likevel har mye av utstyret nådd sin levealder, som normal er 15-20 år for maskiner og 20-30 år for rør og ventiler. I tillegg til å skifte ut utstyr som har nådd sin forventede levealder i eksisterende anlegg, vil dagens innløpspumper kompletteres med en ny pumpe, som plasseres parallelt med de to eksisterende innløpspumpene. De to eksisterende ristene vil skiftes ut mot rister med 2 mm spaltevidde, og kompletteres med en tredje rist. For mer informasjon om planlagte tiltak i eksisterende anlegg, se PN#9.

For de nye prosesstrinnene er det lagt til grunn maskiner av normalt god kvalitet fra anerkjente produsenter, som f.eks. Huber, Nordic Water, Sulzer, Xylem, Stafsjö, osv. Disse produsentene tilfredsstiller krav til materialkvaliteter, energieffektivitet, overflatekvalitet og reservedelshold som det er normalt å forlange ved anskaffelser i VA-bransjen.

Alle rør er tilpasset væsken som skal transporteres, typisk vil det være rustfritt stål (AISI304) i rør som transporterer vann og syrefast stål (AISI316) i rør som transporterer slam. For dimensjoner opp til DN 50 brukes gjenge- eller pressfittings, større dimensjoner sveises. Rør som transporterer kjemikalier er tilpasset det aktuelle kjemikalium. Sekundærstål er forutsatt montert iht. SSG standard.

Utstyr av støpejern og handelsstål/karbonstål sandblåses til grad Sa 2,5 ifølge SIS 055900, og dekkes med to-komponent epoxy maling med min. tørrfilmtykkelse 250 µm. Utstyr i rustfritt og syrefast stål skal ikke overflatebehandles, men alle sveiseskjøter må vaskes med beisevæske. Sveiser skal ikke slipes.

Alle sveiser skal tilfredsstille sveiseklasse C etter EN ISO 5817. Alt sveisearbeid skal utføres av godkjente sveisere med sertifikat etter NS-EN-ISO 9606-1 (tidligere NS-EN 287-1). Sveiseprosedyrer skal være iht. NS-EN 15614-1:2004 (erstatte NS-EN 288). Dette gjelder alle typer sveisearbeider, også inn sveising av armatur, opphengs anordninger m.m. Sveisearbeider i forbindelse med prefabrikasjon på verksted av rustfrie eller syrefaste rør skal utføres med TIG og bakgass. Sveisearbeider på anlegget utføres med TIG og bakgass så langt det er praktisk mulig.

Maskiner og andre komponenter som trenger ettersyn og vedlikehold vil bli montert slik at det er ergonomisk optimalt. Det er videre lagt opp til at det skal sikres god adgang rundt komponenter, slik at f.eks. minimumsavstand til vegg er 800 mm.

Systemet er bygget med akseptabelt nivå mhp. redundans. Det er ikke lagt opp til 100 % redundans på alle komponenter, men er tilpasset i forhold til hvor kritisk komponenten er, og redundansnivå er bestemt ut ifra risikovurdering koblet med kost/nytte vurderinger.

Bygningsmassen er klassifisert som industrilokaler og er underlagt krav gitt i forskrift om vern mot støy på arbeidsplassen. Det velges utstyr og løsninger som oppfyller lydkrav gitt i byggeforskriftene.

9.3 Elektro/automasjon

Generelt er elektrisk utstyr i eksisterende anlegg godt vedlikeholdt, og skiftes fortløpende ved feil eller på grunn av alder. Noe utstyr planlegges oppdatert i forbindelse med utvidelsen, det gjelder blant annet PLS og instrumentering.

Nytt elektroteknisk utstyr og automasjonsanlegg vil ta utgangspunkt i forskjellige standarder. I hovedsak vil FEL (Forskrift for elektriske lavspenningsinstallasjoner) benyttes for generell elektro i alle bygg, mens maskinforskriften med gjeldene standarder benyttes for maskininstallasjoner.

Installasjonene skal prosjekteres og utføres etter gjeldende versjoner av følgende forskrifter:

- > FEL (Forskrift for elektriske lavspenningsinstallasjoner)
- > NEK400:2022 (Elektriske lavspenningsinstallasjoner)
- > FOR-2009-05-20-544 (Forskrift om maskiner)
- > NEK EN 60204-1:2018 (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)

9.3.1 Elektrotekniske installasjoner

Elektroleveransen innbefatter ny nettstasjon, hovedfordeling, underfordelinger for lys/stikk, tavler for ventilasjon-varmesystem og prosess. Det skal legges stigere til fordelinger/tavler. Føringsveier for bygningsmessige installasjoner, belysning og stikk. Det skal fremføres installasjoner for alminnelig- og driftstekniske anlegg. I tillegg skal det etableres sentralt nødlysanlegg og brannalarmanlegg i nye bygg.

Fordeling for generell elektro bygges etter NEK400:2022. Fordelinger for styringsanlegg bygges etter EN60204-1:2018. Anlegget bygges etter maskindirektivet og EMC- direktivet.

Lokale tavler for utstyr/komponenter plasseres på angitte plasser, og skal være godkjent for det miljøet de skal stå i. Automasjonsanlegget skal være faglig utført og av god kvalitet.

Det skal kun benyttes materiell og utstyr av solid kvalitet. Der det benyttes utenlands fabrikkert materiell eller utstyr, er det et ubetinget krav at produsenten er representert i Norge, med om nødvendig reservedelslager, servicedelelager, serviceapparat etc. som til enhver tid gir byggherren sikkerhet for hurtig reservedelsleveranser, service o.l.

Alt materiell, med unntak av kabler og ledninger, skal være CE- merket. CE- merking viser at produktet er i overensstemmelse med alle relevante EU- direktiver som var obligatorisk på merketidspunktet. En samsvarserklæring med tilhørende dokumentasjon som viser at produktet er utført i henhold til gjeldene forskrifter, skal være tilgjengelig.

Personsikkerhet skal tas i betraktning i alle systemer og ved valg av utstyr. Alle motorer og annet utstyr skal ha lokalt monterte låsbar sikkerhetsbryter for vedlikehold.

- > Systemspenninger: 230/400V TN-C-S
- > Styrestrøm: 230 VAC / 24 VDC

Alle kabler skal legges på kabelstiger. Kraftkabler skal atskilles fra instrumentkabler, men kan gå på samme kabelstige. Kabler skal ikke festes direkte til rør, stålkonstruksjoner eller maskindeler. Der det er noe avstand (over 40cm) fra kabelstiger til objektene som skal tilkobles, trekkes kablene i syrefaste rør. Rørene formes til den aktuelle føringsvei og påsveises festeører. Rør skal ikke festes i demonterbart utstyr. Bæresystemet dimensjoneres for ca. 20% reservekapasitet. Som bæresystem skal det benyttes kabelbroer. Kabelstiger skal i hovedsak være varmgalvanisert stål beregnet for VA miljø, korrosivitetsklasse C4.

Alle kabelstiger og maskinkonstruksjoner skal ha utjevningsforbindelser. Dette gjelder spesielt kabelstiger. Beskyttelsesjordleder (PE), generelt følger som egen leder i lavspente kraftkabler. Alle ledende bygningsdeler tilkobles jordingsanlegget.

Alle arbeider på hovedfordelingen skal være iht. FEL §10, vedlegg I (frakobling). Det skal benyttes kabler med ledere av kobber for ledertverrsnitt til og med 16 mm². For større ledertverrsnitt benyttes kabel med aluminiumsledere. Stigerkabler til underfordelinger/tavler skal dimensjoneres med en reservekapasitet på minimum 30 %. Det skal benyttes halogenfrie kabler.

Lysarmaturer i prosessområder skal ha IP54 eller bedre. Det skal leveres lysstoffarmaturer i aluminium i LED utførelse 4000K. Ved montering av lysarmaturer skal det tas hensyn til vedlikehold. Krav til lysstyrke er som følger (bruksverdier):

- > Gangbaner i prosessområder: 300 lux
- > Tavlerom: 500 lux
- > Utendørs/fasade parkeringsområde etc.: 15 lux

Alle prosessområder både utvendig og innvendig skal dekkes med kabellengde inntil 10 m fra stikkontakt. Utvendig monteres 1 stk. kontakt 3 fas 400 V +N, 32 A og 1 stk. kontakt 1 fas 230 V, 16 A. Stikkontakter skal monteres i alle rom, og skal merkes med fordeling- og kursnummer.

Anlegget er utstyrt med UPS som opprettholder kommunikasjon, drift på styresystemer og kritiske anleggsdeler som ikke er strømkrevende.

Det er med solcelleanlegg på ca. halvparten av takarealet i nytt og eksisterende bygg.

Lynavleder – tiltak for avledning av overspenninger er lagt inn i kostnader.

NEK 400 anbefaler tiltak se 712.443.102.

I eksisterende bygg er installasjoner for nytt utstyr for prosess, ventilasjon og varme inkludert. Nye installasjoner for ombygging og utvidelse av garderobe er også inkludert, samt føringsveier for solcelleanlegg og kabel fra gassturbiner i eksisterende bygg.

9.3.2 SRO

Anlegget skal styres av et enhetlig prosesskontrollanlegg bestående av PLS- anlegg tilkoblet overordnet eksisterende skjermesystem. Anlegget skal utføres iht. gjeldende etablerte standard ved anlegget og de føringer som kommer frem av fagnotat.

Anskaffelsesform for automatikkleveransen avklares under detaljeringsfasen.

Det etableres automatikkskap med PLS i servicebygg som skal dekke installasjoner som luktreduksjon, ventilasjon, brutt vann og andre installasjoner i servicebygg. For prosessinstallasjoner etableres separate automatikkskap med PLS for sekundærrensing og nitrogenfjerning. Avhengig av utbyggingstrinn og videre detaljprosjektering kan det vurderes om det er hensiktsmessig å sentralisere PLS og benytte distribuert IO i anlegget for styring av prosessen.

For installasjoner i eksisterende anlegg utvides eksisterende automatikkanlegg der hvor det er hensiktsmessig. Ved større endringer i omfang etableres ny automatikkskap/distribuerte IO på samme plattform som det nye anlegget.

9.4 VVS

De VVS-tekniske anleggene utformes og dimensjoneres på en slik måte at de tilfredsstiller de krav som både offentlige myndigheter, byggherre og brukerne stiller til innemiljø, påvirkning på ytre miljø, funksjonalitet, driftsforhold og kostnader.

9.4.1 Sanitæranlegg

Sanitæranlegget i eksisterende anlegg er fra når anlegget var nytt, men er godt vedlikeholdt. I områder med større ombygning fornyes anlegget med nytt utstyr og distribusjonsnett. Det må også installeres et distribusjonsnett for brutt vann med

tilbakeslagssikring i kategori 5 (anlegget mangler dette i dag) i eksisterende og nye bygg.

Etter utvidelsen blir det tre ulike separate systemer for vann i anlegget:

- > Sanitær: Dette er rent vann fra offentlig nett som føres frem til tappesteder som krever rent vann, her under servanter, toaletter, nøddusjer, dusjer o.l.
- > Brutt vann: Skal forsyne de tappesteder som er utsatt for tilbakeslag av helseskadelige bakterier og virus. Brutt vannforsyning vil tilfredsstille krav til væskekategori 5. Brutt vann skal i hovedsak forsyne spyleposter, maskinutstyr og prosesser som skal ha forbruksvann.
- > Driftsvann (prosessvann): Dette er rensset avløpsvann som gjennomgår ytterligere rensing i form av filtrering. Vanntypen benyttes til innvendig spyling av komponenter som f.eks. septikmottak og innløpsrister. Vanntypen vil ikke hygieniseres, og skal derfor f.eks. ikke brukes til spyleposter og åpne prosesser.

I sanitæranlegget benyttes utstyr og komponenter av alminnelig god standard og i tråd med retningslinjer fra oppdragsgiver. I denne posten inngår alt utstyr for komplett sanitæranlegg. Herunder også brannskap, nøddusjer, spyleposter, VVB beredere, samt utstyr i adm.bygg og LAB.

9.4.2 Varmeanlegg

Varmeanlegget leverer varme til prosess, ventilasjon og oppvarming av arealer der det er behov for varmetilskudd for opprettholdelse av romlufttemperatur.

Eksisterende varmeanlegg består av 2 stk. olje/gasskjeler og en lukket sirkulasjonskrets. Anleggene er fra når anlegget var nytt, men er godt vedlikeholdt. Det er beregnet en ombygging av rør og shunter i teknisk rom, men en beholder de eksisterende fyrkjelene. I områder med større ombygning i eksisterende anlegg fornyes utstyr og distribusjonsnett.

Anlegget skal kompletteres med gassturbin, med mulighet for produksjon av strøm og termisk energi til varmeanlegget fra produsert biogass. Denne plasseres i rom hvor det i dag er en slamsil, som ikke er i bruk.

Prosessvarme og varme til bygg vil i hovedsak være basert på egenprodusert biogass som brennes i gassturbiner og gasskjele. Utstrakt bruk av energigjenvinning skal være et supplement til fyring av oppvarming med biogass.

I varmeanlegget benyttes utstyr og komponenter av alminnelig god standard og i tråd med retningslinjer fra oppdragsgiver. Alle røropplegg skal utføres som skjult anlegg der dette er mulig. På alle hovedkurser og opplegg, samt fordelingskurser, skal det være avstengningsventiler med inspeksjonsmulighet. Det monteres vakuumskiller i varmeanlegget.

Alle rør og rørdeler installeres for trykkklasse PN6. Alle rør som monteres skjult trykkprøves, om nødvendigvis seksjonsvis.

Det benyttes stålrør som varmeledninger i hovedføringer. For dimensjoner opp til DN 50 brukes gjenge- eller pressfittings, større dimensjoner sveises. For utvendige rør benyttes pre-isolerte kulvertrør.

Det legges opp til et mengderegulert varmeanlegg, og pumper kapasitetsreguleres med frekvensomformere for mengderegulering. Dette gir sirkulasjon av den til enhver tid korrekte vannmengde og er gunstig mht. pumpeenergi.

Det legges opp til gjenvinning av varme fra blåsemaskinluft i forprosjektet, samt akkumulatortank for lagring av termisk energi.

9.4.3 Ventilasjonsanlegg

Det er 2 stk. ventilasjonsaggregater med tilluft og avtrekk i dagens anlegg. Hovedanlegget har også et urent avtrekk med luktreduksjon. I tillegg er det noen mindre avtrekksvifter. Anleggene er fra når anlegget var nytt med unntak av luktreduksjonsanlegget, men fremstår som godt vedlikeholdt.

Ventilasjon i prosessdelen i det utvidete anlegget skal ha tilluftsystem, «rent» avtrekk og «urent» avtrekk med luktreduksjon. Det er medregnet nye aggregater til sekundærrensing og nitrogenfjerning. Det vurderes å bruke et felles system for luktreduksjon for begge anleggene. I det eksisterende prosessanlegget er det beregnet å skifte ut tilluft- og rent-avtrekksaggregatene. Luktreduksjon i eksisterende anlegg er av nyere dato så dette beholdes.

Ved ekstrabehov for ventilering og/eller kjøling er det medtatt mindre separate ventilasjonsanlegg.

Systemene for tilluft og «rent» avtrekk er det kanaler og utstyr utført i galvanisert/lakkert utførelse. I det «urene» systemet er det kanaler og utstyr i syrefaste materialer.

Tilførsel av tilluft/friskluft er på gangsoner og eller i områder hvor personalet oppholder seg. Luften tilføres fra tak med lav hastighet, for ikke å skape mere bevegelse i luften enn nødvendig. Denne løsningen vil gi god kontroll på forurensninger i anlegget. Luften trekkes fra ved gulv eller over bassenger. Spesielle forurensede områder har ekstra punktavsug så nær luktkilden som mulig.

Avtrekk fra prosess med fare for luktspredning gjøres i tett samarbeid med maskin/prosess. Dette for å stenge inne lukt og trekke av forurenset luft og dermed hindre luktspredning. Nye kanalsystem inneholder alle nødvendige deler som tillufts-/avtrekkspunkter, reguleringsspjeld, brannspjeld, vifte. lydfeiler, isolasjon etc.

10 Prosjektgjennomføring

10.1 Entreprisemodell og anskaffelsesstrategi

Lillevik RA vil bli et komplekst prosessanlegg skreddersydd de tekniske løsningene som skal til for å nå krav til avløpsrensing, slambehandling, arbeidsmiljø og bærekraft for øvrig. Uavhengig av både entreprise-/kontraktsform 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 er mange kontraktsformer og entreprisemodeller som benyttes i bygg- og anleggsprosjekter. Ofte benyttede entreprisformer er:

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

For Lillevik RA vil det være fornuftig å kontrahere premissgivende prosessentrepriser først, basert på totalentrepriser med funksjonsansvar. Det er vanlig at prosessleverandører 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.

Øvrige entrepriser tilpasses derfor den anleggsutforming som prosessentreprisene foreslår i sitt design. Disse foreslås da som delte entrepriser. Av konkurransehensyn (marked), ser vi det som fornuftig å dele opp maskinleveransene i flere naturlige prosessavsnitt. I tillegg bør det være separat elektroentreprise og automasjonsentreprise, slik Larvik kommune har foreslått. Det samme gjelder for VVS, hvor varme- og sanitær (rørlegger) med fordel bør skilles fra ventilasjonsleverandører.

Forslag til entreprise- og kontraktsmodell kommer frem av Tabell 24 nedenfor:

Tabell 24. Forslag til entreprise- og kontraktsmodell.

Nr.	Entreprisenavn	Entrepriseform	Kontrakt std.
M1	Vannbehandling - Biotrinn og separasjon	Funksjonsentreprise*	8407
M2	Vannbehandling - Innløp og forbehandling	Delt entreprise	8405
M3	Slam- og biogassanlegg	Funksjonsentreprise	8407
B1	Bygningsmessige arbeider	Delt entreprise	8405
E1	Elkraft	Delt entreprise	8405
E2	Driftskontroll/automasjon	Delt entreprise	8405
V1	Varme- og sanitæranlegg	Delt entreprise	8405
V2	Ventilasjonsanlegg	Delt entreprise	8405

*Kan også gjennomføres som en samspillsentreprise om forholdene taler for det.

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 24 er det vanlig å benytte prosedyren *åpen anbudskonkurranse*. For flere entrepriser kan det imidlertid være ønskelig å benytte *forhandlet prosedyre*. Dette er avhengig av entreprisenes kompleksitet og hvor godt leveransene kan beskrives ved standard beskrivelsestekster.

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 de enkelte entreprisene er oppsummert i Tabell 25.

Tabell 25. Forslag til anskaffelsesprosedyrer for den enkelte entreprisen.

Nr.	Entreprisenavn	Anskaffelsesprosedyre
M1	Vannbehandling - Biotrinn og separasjon	Forhandlet prosedyre (m/prekvalifisering)
M2	Vannbehandling - Innløp og forbehandling	Forhandlet prosedyre (m/prekvalifisering)
M3	Slam- og biogassanlegg	Forhandlet prosedyre (m/prekvalifisering)
B1	Bygningsmessige arbeider	Åpen anbudskonkurranse
E1	Elkraft	Åpen anbudskonkurranse
E2	Driftskontroll/automasjon	Forhandlet prosedyre (m/prekvalifisering)
V1	Varme- og sanitæranlegg	Åpen anbudskonkurranse
V2	Ventilasjonsanlegg	Åpen anbudskonkurranse

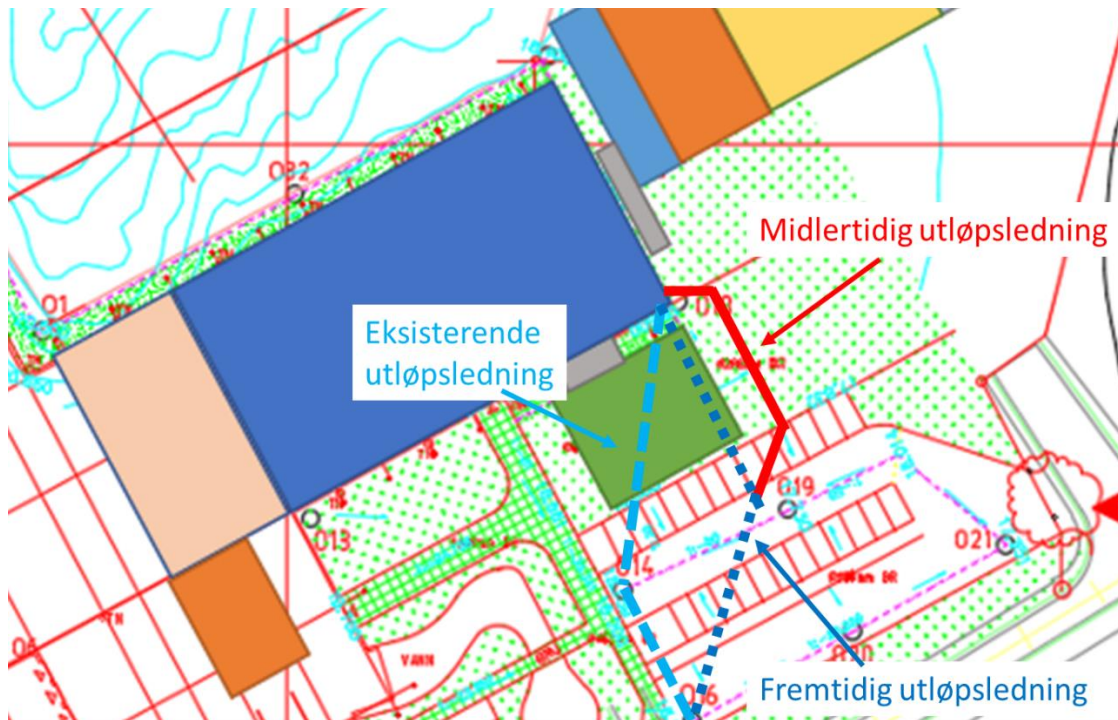
For å motivere til størst deltagelse og som et middel for å motta så gode tilbud som mulig anbefales det at økonomisk kompensasjon inngår som et verktøy i de mest omfattende entreprisene, som f.eks. M1 og M3. Eksempelvis kan dette være kr. 200.000,- for et godkjent siste tilbud.

10.2 Drift i byggefasen

Vannbehandlingen bygges enten ut i ett eller to trinn, jf. beskrivelse av anleggsutformingen i kapittel 8. Ved to-trinns utvidelse bygger man først ut anlegget med sekundærrensing og kompletterer anlegget med nitrogenfjerning senere. Ved ett-trinns utvidelse bygges anlegget ut med nitrogenfjerning direkte.

I to-trinns-løsningen bygges altså sekundærrensing først. For at man senere skal kunne bygge ut med ytterligere biotrinn, samt de begrensingene tomten og anleggsutformingen ellers utgjør, er det vurdert at støttefunksjonene må bygges i et separat bygg. Dagens utløpsrør ligger der hvor dette nye bygget er tenkt plassert, og det er planlagt at nytt utløpsrør skal gå igjennom kjelleren i nytt bygg. Utløp fra eksisterende bygg må derfor legges om midlertidig i perioden hvor det nye støttefunksjonsbygget skal etableres, illustrert i Figur 29. Ved ett-trinns utbygging er

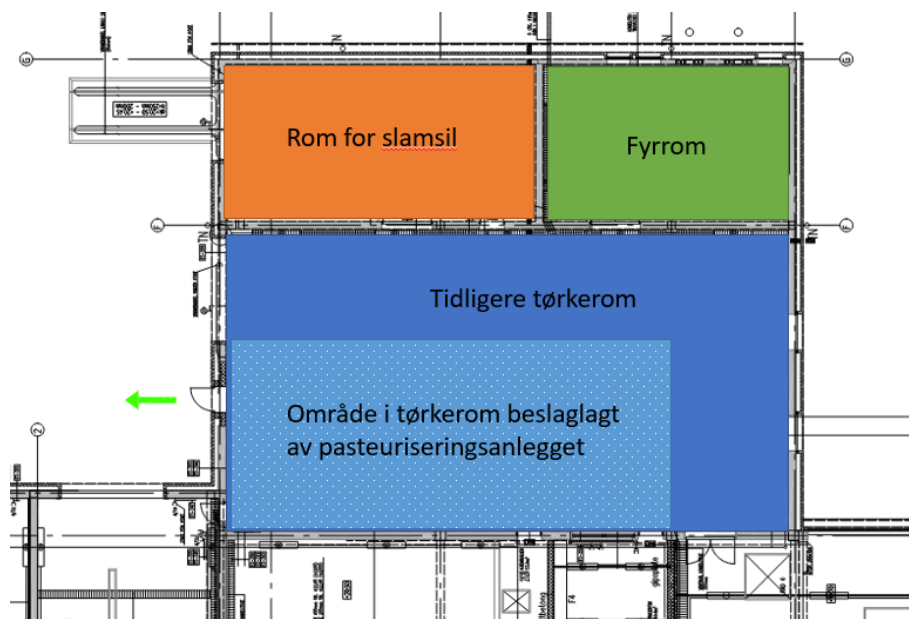
støttefunksjonene plassert i samme bygg som vannbehandlingen, og det er ikke behov for omlegging av utløpsledningen i byggefasen.



Figur 29. Midlertidig omlegging av utløpsledningen og ny trasé for fremtidig ledning

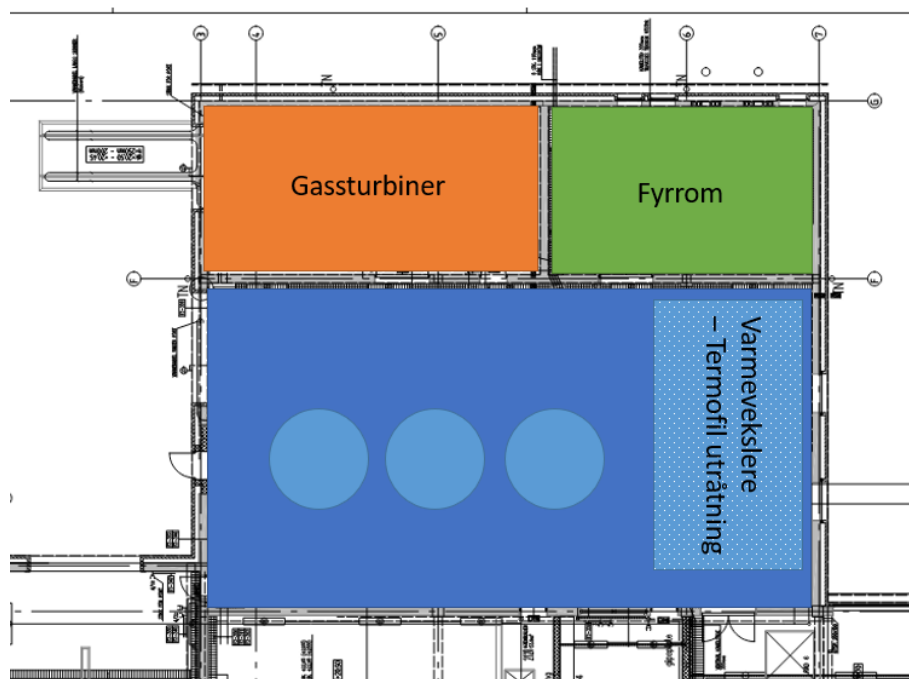
For både ett- og to-trinns løsningen vurderes det at dagens renseanlegg (primærfelling) kan fungere uforstyrret av utbyggingen, siden eksisterende sedimentering kan være i drift i hele anleggsfasen. Unntak fra dette er kortere perioder med innkobling av nye rør, med hulltaking, for overføring til nytt bygg. Dette vil imidlertid kunne utføres på kort tid, hvor rørene senere blindes og åpnes når nye trinn er klare for å bli tatt i bruk.

Eksisterende slambehandling, med hygienisering i et pasteuriseringstrinn og stabilisering med mesofil utråtning, skal bygges om til hygienisering og stabilisering med termofil utråtning. I eksisterende anlegg er 3 tanker for pasteurisering og tilhørende varmevekslere etablert i en hall hvor det tidligere var en slamtørke. En slamsil, som ikke er i bruk, er plassert i tilstøtende rom, ved siden av fyrrommet. Romplassering og disponering i eksisterende anlegg er illustrert i Figur 30.



Figur 30. Plassering av slambehandlingsrom og fyrrom

Nye varmevekslere for termofil utråtning kan etableres ved siden av eksisterende varmevekslere på nytt repos nord for eksisterende. Alternativt kan de plasseres der hvor dagens varmevekslere for pasteuriseringen står, men det medfører lengre nedetid i slambehandlingen. Ved å plassere det nye reposet ved siden av eksisterende vekslere vil man kunne bygge det nye prosessanlegget og samtidig ha full drift på pasteuriseringen i hele byggeperioden. Ny romutnyttelse i forbindelse med slambehandlingen kan dermed se ut som vist i Figur 31.



Figur 31. Mulig plassering av gassturbiner og nye varmevekslere for termofil utråtning.

Det skal i utgangspunktet ikke gjøres noe med råtnetanken, mens utnyttelse av biogass skal suppleres med nye mikrogassturbiner. De eksisterende gass-/oljekjelene i fyrrommet planlegges beholdt. Nye mikrogassturbiner plasseres i eksisterende rom for slamsil. Fyrrommet blir uendret, med unntak av gassrør som skal knyttes sammen med de nye turbinene.

10.3 Fremdriftsplan

I vedlegg B er en mulig fremdriftsplan for utvidelse av rensenanlegget med nitrogenfjerning (ett-trinnsløsningen). Hvis man kun bygger sekundærrensing i første trinn vil utbyggingen ta noe kortere tid. Fremdriftsplanen forutsetter en politisk beslutning om å bygge anlegget i desember 2022. Detaljprosjektering og anskaffelser starter i januar 2023 og pågår til oktober 2024. Antatt byggeperiode er to år, fra august 2024 til august 2026. Etter en periode med igangkjøring og prøvedrift er det estimert at anlegget kan tas i drift før utgangen av 2026.

11 Kostnader

Følgende begrensninger er lagt til grunn for kostnadsberegningene:

- > Det er ikke gjennomført interessentanalyse
- > Prisnivå Q3 - 2022
- > Priser er eks. mva.
- > Prisstigning i byggetiden er ikke inkludert
- > I sammenstillingen er det medtatt innleide byggherrekostnader (prosjektledelse, byggeledelse og øvrige administrasjonskostnader for byggherre)
- > Uspesifisert er inkludert i basiskostnaden
- > Eventuelle forurensinger i grunn er ikke hensyntatt – dvs. det er forutsatt rene masser
- > Finansieringskostnader og grunnverv er ikke medtatt

Det henvises for øvrig til PN#21 – Usikkerhetsanalyse for en mer detaljert oversikt.

11.1 Basiskalkyler

Det er gjort nedenfra-opp-kalkyler basert på mengder multiplisert med erfaringspriser fra tidligere COWI-prosjekter, samt innhenting av enkelte leverandørpriser. Kostnadene er utarbeidet på et relativt detaljert nivå, men er aggregert opp i kostnadskategorier for å bli håndterbare til usikkerhetsanalysen. For utfyllende informasjon se PN#21. Tabell 26, Tabell 27 og Tabell 28 viser basiskalkylene for utvidelse av anlegget med henholdsvis sekundærrensing, utvidelse med nitrogenfjerning i to trinn (to-trinns utvidelse) og direkte utvidelse med nitrogenfjerning (ett-trinns utvidelse). Sannsynlig kostnad for spesifiserte og uspesifiserte kostnader er estimert til 506 MNOK for sekundærrensing, 683 MNOK for to-trinnsløsningen og 664 MNOK for ett-trinnsløsningen.

Tabell 26. Basiskalkyle for utvidelse med sekundærrensing

KOSTNADSELEMENT	NOK
Eksisterende anlegg	122 702 000
RiV	14 509 000
RiE	10 000 000
RiB	19 885 000
ARK	1 868 000
RiM	76 440 000
Servicebygg	50 884 000
RiV	6 567 000
RiE	11 050 000
RiB	22 635 000
ARK	10 210 000
RiM	422 000
Bassenghall 1- sekundærrensing	172 797 000
RiV	13 387 000
RiE	5 030 000
RiB	96 990 000
ARK	14 703 000
RiM	42 687 000
Styringssystemer	3 100 000
RiE	3 100 000
Utomhus	29 824 000
RiE	600 000
RiVA	26 597 000
LARK/RiVeg	2 627 000
Rigg og drift	60 799 950
Prosjektering	44 020 000
Byggherrekostnad	22 010 000
Basiskalkyle	506 137 000

Tabell 27. Basiskalkyle for to-trinns utvidelse med nitrogenfjerning

KOSTNADSELEMENT	NOK
Eksisterende anlegg	122 702 000
RiV	14 509 000
RiE	10 000 000
RiB	19 885 000
ARK	1 868 000
RiM	76 440 000
Servicebygg	50 884 000
RiV	6 567 000
RiE	11 050 000
RiB	22 635 000
ARK	10 210 000
RiM	422 000
Bassenghall 1- sekundærrensing	172 797 000
RiV	13 387 000
RiE	5 030 000
RiB	96 990 000
ARK	14 703 000
RiM	42 687 000
Bassenghall 2- nitrogenfjerning	129 440 601
RiV	8 668 382
RiE	3 822 386
RiB	64 354 399
ARK	10 177 579
RiM	42 417 852
Styringssystemer	3 100 000
RiE	3 100 000
Utomhus	29 824 000
RiE	600 000
RiVA	26 597 000
LARK/RiVeg	2 627 000
Rigg og drift	83 449 101
Prosjektering	59 360 000
Byggherrekostnad	29 680 000
Basiskalkyle	682 547 000

Tabell 28. Basiskalkyle for ett-trinns utvidelse med nitrogenfjerning

KOSTNADSELEMENT	NOK
Eksisterende anlegg	122 702 000
RiV	14 509 000
RiE	10 000 000
RiB	19 885 000
ARK	1 868 000
RiM	76 440 000
Tilbygg	339 946 231
RiV	313 61 000
RiE	20 550 000
RiB	164 757 000
ARK	40 807 000
RiM	82 471 231
Styringssystemer	4 200 000
RiE	4200000
Utomhus	29 824 000
RiE	600 000
RiVA	26 597 000
LARK/RiVeg	2627 000
Rigg og drift	80 607 149
Prosjektering	57 730 000
Byggherrekostnad	28 870 000
Basiskalkyle	663 880 000

11.2 Usikkerhetsanalyse

Det er gjennomført en felles usikkerhetsanalyse med COWI og LK, for å estimere sannsynlige kostnader for prosjektet. Blant annet er investeringskostnader på P50- og P85-nivå estimert, altså kostnader som kan forventes med en sannsynlighet på henholdsvis 50 og 85 %. P50-kostnaden benyttes ofte som styringsramme for prosjektet, og P85-kostnaden vil ofte anvendes som en kostnadsramme.

Tabell 29 viser resultater fra usikkerhetsanalysen. P50 gir et forventet påslag på basiskalkylen på 114 millioner kroner for sekundærrensaneanlegget, 148 millioner kroner for to-trinnsløsningen for nitrogenfjerning og 137 millioner kroner for ett-trinnsløsningen. P85 gir et ytterligere påslag på henholdsvis 132, 166 og 168 MNOK for de tre alternativene. Standardavviket gir et bilde på samlet usikkerhet i prosjektet. Et standardavvik på omkring 17-18 % er i normalområde i denne fasen av prosjektet, og reflekterer at det fortsatt er vesentlig usikkerhet i prosjektet.

Tabell 29. Resultater fra usikkerhetsanalysen for investeringskostnader

Investeringskostnad	Sekundærrensing (MNOK)	To-trinns nitrogenfjerning (MNOK)	Ett-trinns nitrogenfjerning (MNOK)
Basiskalkyle	506	683	664
P50	620	831	801
P85	752	997	969
Relativt standardavvik	18,3 %	17,2 %	18 %

Mye av usikkerheten i prosjektet er knyttet til faktorer som ligger utenfor prosjektets kontroll, slik fremtidig markedssituasjon. Det er stor usikkerhet i markedet med flere år som har vært preget av pandemi, krig i Ukraina og store svingninger i kraftmarkedet. Kostnadene kan også forventes å bli høyere pga. stor etterspørsel når mange anlegg skal bygges ut med nitrogenfjerning samtidig. Markedssituasjonen forklarer 65-75 % av usikkerheten i estimatet. Det er likevel gode muligheter for å kunne redusere noe av usikkerheten i estimatet i det videre arbeidet, både ved spesifikke tiltak, og ved at markedsusikkerhetene blir mindre når man nærmer seg gjennomføring av prosjektet.

11.3 Potensielle kostnadsbesparelser (addendum)

Larvik kommune har i etterkant av at forprosjektrapporten ble ferdigstilt 1. sept. 2022 besluttet å utrede besparestiltak knyttet til opprinnelig prosjektbudsjett. I den forbindelse har det vært ønskelig at COWI, sammen med kommunens egen prosjektgruppe, skulle se på og drøfte potensielle kostnadsbesparelser.

Følgende besparestiltak er vurdert som aktuelle:

1. Innløpsskruer

I denne posten er det i forprosjektkalkylen inkludert ny innløpskrue i tillegg til de eksisterende (2 stk). Så lenge Hølen pumpestasjon driftes som den gjør i dag, vil det ikke være nødvendig å utvide kapasiteten på innløpspumpene. Det ligger i tillegg også en kapasitetsreserve i å rehabilitere eksisterende skruer, samt å gire de opp i

hastighet. En effekt av å ikke øke den hydrauliske kapasiteten tilsvarende ny innløpskrue vil bli at omløpsrør etter sandfang kan beholdes. Dvs i fradragsprisen her inngår både ny innløpskrue (3 050 000,-) og omløpsrør (1 190 000,-). Posten utgjøres for øvrig av følgende øvrige besparelser; elektro tilknyttet innløpsskruen (170 000,-), bygningsmessige tiltak (3 000 000,-) og VVS tekniske tiltak (640 000,-).

2. Innløpsrister

I opprinnelig budsjett inngår utskifting av eksisterende innløpsrister (2 stk), samt at man utvider kapasiteten med én rist til. Med samme argumentasjon som punkt 1, kan man avvente installasjon av den tredje innløpsristen (1 440 000,-). Det vil da også kunne trekkes ut ny transportskrue fra kalkylen (209 000,-). Posten utgjøres for øvrig av følgende øvrige besparelser; elektro tilknyttet innløpsristen og transportskruen (120 000,-), bygningsmessige tiltak (1 440 000,-) og VVS tekniske tiltak (430 000,-).

3. Utvendig VA (ledningsanlegg)

I forprosjektkostnaden er det inkludert nytt VA-anlegg hvor det er tatt hensyn til økt kapasitet i overføringen fra Høen p.st. Siden det nå ikke planlegges å øke kapasiteten på Hølen p.st. vil det meste av innkalkulert VA-anlegg ikke lenger være aktuelt. Det gir et totalt besparelspotensial på 18 000 000,-.

4. Rejektvannsanlegg

I opprinnelig budsjett er det medtatt kostnader for et annamox-anlegg for behandling av rejektivann fra avvanning etter utråtning. Dette er et tiltak som ikke vil være absolutt nødvendig før om mange år. Argumentasjonen for å bygge det nå vil være sparte driftskostnader. Besparelspotensial utgjøres av maskin (15 130 000,-) og tilhørende elektro (300 000,-).

5. Ventilasjonsanlegg

I forprosjektet er det inkludert utskifting av ventilasjonsanlegg både for drift og for administrasjonen. Dette er anlegg driftsorganisasjonen har funnet å kunne utbedre med vedlikeholdstiltak, og det vil derfor ikke være behov for full utskifting. I administrasjonsbygget vil det blir såpas mye omgjøringer i forbindelse med oppgradering av garderobes, at denne delen anbefales ikke trukket ut. Besparelspotensial utgjøres av VVS (1 650 000,-) og tilhørende elektro (400 000,-).

6. Forbehandling

I forprosjektkalkylen er det inkludert omfattende utskifting av maskiner i forbehandlingen. Følgende komponenter kan beholdes i noen år til, og således representere et besparelspotensial: Nivåregulering sandfang m/vippeluke (330 000,-), ristgodscontainer (660 000,-), skinner for ristgodscontainere (240 000,-), teleskop til container (290 000,-), sandvasker (410 000,-), kvern ut fra fettfang (240 000,-), samt tilhørende elektroinstallasjoner (1 650 000,-).

7. Flokkulering og ettersedimentering

Det er inkludert relativt komplett utskifting av maskin/mekaniske installasjoner i eksisterende flokkulerings- og sedimenteringsbassenger. Eksisterende

flokkuleringsomrørere kan beholdes, hvor man kun skifter bunnforing, topplager og gir. Treverket skiftes ut med rustfritt. Samlet besparelse for dette er 3 300 000,-, sammenlignet med forprosjektets budsjett. Øvrige besparelser er rehabilitering av skraper i slamlommer i stedet for utskifting (1 000 000,-), beholde eksisterende avtrekksrenner (1 110 000,-) og vipperenner (350 000,-). Tilhørende elektrobeparelse inngår i post 7.

8. Slambehandling

I forbindelse med diverse slamlager er det i forprosjektet inkludert utskifting av det meste av pumper inkl. ventiler og noe rørføring. I tillegg inngikk en coriolismåler. Dersom dette kan beholdes vil dette utgjøre en samlet besparelse på 1 050 000,-. Tilhørende elektrobeparelse inngår i post 7.

Utover kostnader for komponenter og bygg som er beskrevet ovenfor er det i opprinnelig budsjett medtatt kostnad for rigg og drift, samt byggherrekostnad (5%) og prosjektering (10%). Når dette inkluderes og momentene ovenfor summeres opp er totalt besparelspotensial som vist i Tabell 30.

Tabell 30. Besparelspotensial for utbygging av Lillevik RA ved å redusere omfang av tiltak

Nr	Beskrivelse	Beløp (NOK)
1	Innløpsskruer og omløpsrør	8 050 000
2	Innløpsrister	3 640 000
3	Utvendig VA (ledningsanlegg)	19 000 000
4	Rejektvannsanlegg	15 430 000
5	Ventilasjonsanlegg	2 050 000
6	Forbehandling	3 820 000
7	Flokkulering og sedimentering	5 760 000
8	Slambehandling	1 050 000
	Rigg & drift	7 300 000
	<i>Entrepriisekostnad</i>	<i>66 100 000</i>
	Byggherrekostnad (5%)	3 300 000
	Prosjektering (10 %)	6 610 000
	Sum	76 010 000

Vedlegg A – Tegninger

Vedlegg B – Fremdriftsplan