




O-93181

Biologisk fosforfjerning i Grimstad

Evaluering av forprosjekt og
anbefalinger angående FoU-aktiviteter
ved Groos renseanlegg

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Underrnr.:
O-93181	1
Løpenr.:	Begr. distrib.:
2993	

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel:	Dato:	Trykket:
Biologisk fosforfjerning i Grimstad. Evaluering av forprosjekt og anbefalinger angående tilpasning til FoU-aktiviteter ved Groos renseanlegg.	25.01.94	NIVA 1994
Forfatter(e):	Faggruppe:	
Bjørnar Nordeidet Kristin Mørkved	Miljøteknologi	
	Geografisk område:	
	Grimstad kommune	
	Antall sider:	Opplag:
	19	50

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref.:
Grimstad kommune	Kontrakt av 18.10.93

Ekstrakt:
Forprosjekt Groos renseanlegg er gjennomgått for hhv. dimensjoneringsunderlag, prosessdesign og behov for dimensjoneringsendringer for fremtidige FoU-aktiviteter ved renseanlegget. Evalueringen påpeker behov for nærmere dokumentasjon av flere vesentlige forhold vedrørende prosjektering av et avløpsrenseanlegg basert på biologisk fosforfjerning. Det foreslås videre at detaljert karakterisering av avløpsvannet gjøres i forbindelse med detaljprosjektering, eventuelt i forkant av denne.

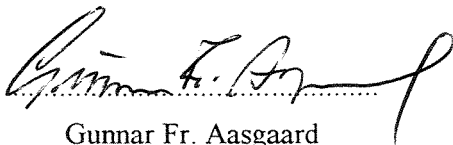
4 emneord, norske

1. Biologisk fosforfjerning
2. Designkriterier
3. FoU-anlegg
4. Avløpsvann


4 emneord, engelske

1. Biological phosphorus removal
2. Design criteria
3. R & D plant
4. Wastewater

Prosjektleder


Gunnar Fr. Aasgaard

For administrasjonen


Bjorn Olav Rosseland

ISBN 82-577-2441-6

Norsk institutt for vannforskning

**Biologisk fosforfjerning i Grimstad.
Evaluering av forprosjekt og anbefalinger
angående tilpasning til FoU-aktiviteter ved Groos
renseanlegg.**

Oslo, 25. januar 1994

Prosjektleder: Gunnar Fr. Aasgaard
Medarbeidere: Bjørnar Nordeidet
Kristin Mørkved

Forord

En evaluering av bruk av biologisk fosforfjerning ved rensing av kommunalt avløpsvann i Norge ble gjennomført i 1993 på oppdrag av Grimstad kommune og Fylkesmannen i Aust-Agder, Miljøvernavdelingen. På dette grunnlag har kommunen igangsatt forprosjektering av Groos renseanlegg, basert på biologisk fosforfjerning, med Norwet/Ugland som ansvarlig konsulent.

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) er engasjert av Grimstad kommune for å evaluere forprosjektrapporten fra Norwet/Ugland samt å skissere anleggs- og utstyrmessige behov for fremtidig, løpende FoU-aktiviteter ved Groos renseanlegg.

Fra NIVA har følgende medarbeidere deltatt i prosjektet:

- Kristin Mørkved (prosjektleder fram til 1. desember 1993)
- Gunnar Fr. Aasgaard (prosjektleder fra 1. desember 1993)
- Bjørnar Nordeidet
- Kristoffer Næs
- Erik Nordgaard

Kontaktmann i Grimstad kommune har vært Bjørn Kristian Pedersen.

NIVA takker for godt samarbeid med kommunen ved gjennomføringen av prosjektet.

Oslo, 25. januar 1994
Gunnar Fr. Aasgaard

Innhold

Forord	2
Sammendrag	4
1. Bakgrunn	6
2. Oppdragsbeskrivelse	7
3. Dimensjoneringsunderlag	8
4. Prosessdesign	10
5. Designendringer for FoU-behov	12
5.1. Prosesstekniske krav til anlegget	12
5.2. Andre fysiske krav til anlegget	15
5.3. Fleksibilitet i utslippskrav	16
5.4. Tilrettelegging og samordning i det regionale fagmiljø	16
5.5. Kombinert fosfor- og nitrogenfjerning	17
5.6. Arealbehov og merkostnader for et FoU-anlegg	17
6. Referanser	18

Sammendrag

Grimstad Kommune har fått utarbeidet et forprosjekt for dimensjonering og prising av et anlegg for biologisk fosforfjerning for Groos, samt sammenligning med et alternativ basert på kjemisk felling. I den forbindelse er Norsk institutt for vannforskning (NIVA) engasjert for å gjennomgå enkelte deler av det biologiske alternativet. NIVA har fokusert på følgende aktiviteter:

- Gjennomgang av dimensjoneringsunderlaget
- Gjennomgang av prosessdesign
- Anbefaling av endring for FoU-formål

Gjennomgangen av dimensjoneringsgrunnlaget og prosessdesign viste at flere problemstillinger må avklares og/eller belyses nærmere. Dimensjoneringsgrunnlaget for hydrauliske og kjemiske belastninger er uklart, og bør spesifiseres nærmere. Sammenhengen mellom dimensjonerende belastninger (hydrauliske og kjemiske), dimensjoneringsmetode og dimensjoneringskriterier er mangelfull eller mangler helt. For å kunne vurdere sterke og svake sider ved prosjekteringen, bør hele dimensjoneringsgrunnlaget gjennomgås i forbindelse med detaljprosjekteringen.

Biologisk fosforfjerning er en utpreget *driftsstyrt* prosess. Det er derfor viktig at det i anleggsutformingen tilrettelegges for fleksibilitet vedrørende inndeling i anaerobe og aerobe volumer. Dette synes ikke å være ivaretatt i forprosjektet.

Det finnes erfaringer fra biologiske fosforfjerning under klimatiske og avløpsmessige forhold som er tilnærmet sammenlignbare med de vi har i Sør-Norge. Ikke desto mindre er dette en relativt ny og lite utbredt teknologi. Ethvert avløpsvann er unikt i sin sammensetning og variasjon. Avvik for enkelte av avløpsvannets parametre kan derfor få betydning for den biologiske omsetning, og følgelig for dimensjoneringen av renseanlegget.

Dimensjonering av biologiske prosesser krever generelt god kunnskap om avløpsvannets sammensetning og variasjon, slik at tilfredsstillende biologisk omsetning sikres. Basert på avløpsvannets sammensetning i de prøvetaksperioder som er utført ved Groos, kan en indikere at sammensetningen er gunstig for biologisk fosforfjerning. Det er imidlertid ikke tilstrekkelig grunnlag for å kunne detaljprosjektet et Bio-P anlegg. Blant annet vites det lite om variasjon og mengde av løst fosfor (ortho-fosfat) i Groos' avløpsvann, samt konsekvenser av lengere perioder med lave orthofosfat-konsentrasjoner.

Ideelt sett bør det utføres biologiske langtidsundersøkelser av valgt prosess i pilotskala, før en detaljprosjektering utføres. På grunn av korte tidsfrister ved dette prosjekt, må en som et minimum skaffe tilveie data som kan karakterisere avløpsvannet. Det må derfor utføres en detaljert karakterisering av avløpsvannet, som tar hensyn til naturlige døgn-, uke- og årsvariasjoner.

NIVA foreslår følgende tillegg og endringer for å sikre fleksibilitet i prosesutforming og -styring, og samtidig tilrettelegge for at et biologisk fosforfjerningsanlegg på Groos skal kunne benyttes til demonstrasjons-, utviklings- og undervisningsformål:

- Anlegget bygges med to like store linjer som foreslått.
- Anlegget kompletteres med et forsøksanlegg (pilotanlegg) som bygges som en tilnærmet kopi av hovedanlegget, men med større fleksibilitet.
- Fleksibiliteten i hver linje økes ved å muliggjøre:
 - friere valg av anaerob og aerob volumfordeling

- bedre soneinndeling i aerob sone
- resirkulering av interne strømmer
- friere vannfordeling og vannmengder
- Anlegget utstyres for god overvåking og kontroll av prosessparametre ved å inkludere:
 - utstyr for automatisk prøvetaking i flere posisjoner
 - god tilgang for annen prøvetaking
 - sensorer for "on-line" registrering av sentrale parametre
 - kontrollsystem med muligheter for alternative kontrollsløyfer
 - tilstrekkelig datalagringskapasitet
- Anlegget tilrettelegges fysisk for undervisning og FoU ved å sørge for tilstrekkelig med laboratoriefasiliteter, personalrom og kontorplass.

Etter at forprosjektet var utført, ønsket kommunen også å vurdere muligheten for å kombinere biologisk fosfor- og nitrogenfjerning. Da dette ikke var en aktuell problemstilling ved utarbeidelsen av forprosjekt-rapporten, er muligheter og konsekvenser ikke utredet. Vi kommenterer likevel kort noen nye momenter som vil være viktige å ta hensyn til ved en eventuell utbygging av et kombinert biologisk fosfor- og nitrogenfjerningsanlegg.

Dersom biologisk nitrogenfjerning skal innføres i tillegg til biologisk fosforfjerning i hele eller deler av året, krever dette en detaljert gjennomgang av avløpsvannets sammensetning og variasjon. Det finnes mange prosesskombinasjoner som muliggjør kombinert fosfor- og nitrogenfjerning. Avløpsvannets sammensetning og ikke minst variasjon vil være avgjørende for hvilke metoder som kan være aktuelle. Uavhengig av hvilken løsning som velges må volumet til de biologiske reaktorer økes (større aerobt volum og innføring av anoksiske soner), og behovet for rørføringer og pumper vil øke. Det vil være svært viktig at anlegget bygges fleksibelt.

1. Bakgrunn

Agderforskning, Norwet og Norsk institutt for vannforskning (NIVA) gjennomførte i første halvdel av 1993 i fellesskap en forstudie for å belyse mulighetene for å innføre biologisk fosforfjerning (Bio-P) i Norge. Studien ble utført på oppdrag av Grimstad kommune og finansiert av SFT, Aust-Agder Næringsfond samt Grimstad kommune, og skulle beskrive "state of the art" for biologisk fosforfjerning generelt og se på tilfellet Grimstad som et konkret eksempel. Resultatene av studien er dokumentert i rapporten "Biologisk fosforfjerning i Norge - Grimstad som eksempel" (Næs *et al.*, 1993 a). Rapporten er også utgitt i en populærvitenskapelig kortversjon under tittelen "Biologisk fosforfjerning - aktuell rensemetode i Norge" (Næs *et al.*, 1993 b)

En av hovedkonklusjonene fra studien var at Bio-P teknisk sett kan være et aktuelt alternativ, også for det klima og de rensekrav og avløpstyper vi har i Norge. Dette underbygges av erfaringer fra bl.a. Canada og USA. Riktig dimensjonering, stor fleksibilitet i anleggsoppbygging og god styring er viktig for å sikre et tilfredsstillende og stabilt renseresultat.

I tillegg til de tekniske kravene, vil selvsagt økonomiske faktorer være av avgjørende betydning ved valg av rensemetode. I Norge er det særlig aktuelt å sammenligne med kjemisk felling, som er den fremherskende prosessløsningen her i landet. Studien pekte på potensialet for innsparinger i driftskostnader ved bruk av Bio-P fremfor kjemisk rensing. Dette skyldes i første rekke eliminerte, eventuelt reduserte utgifter til fellingskjemikalier, samt klart mindre slammengder. Anleggskostnadene forventes imidlertid å være høyere enn for kjemiske anlegg, som følge av større bassengvolum.

Forstudien omtalte disse og andre økonomiske faktorer kvalitativt, men en konkret prissammenligning ble ikke foretatt. Som en oppfølging av forstudien fikk derfor Norwet i oppdrag å utføre et forprosjekt med dimensjonering og prising av et biologisk fosforfjerningsanlegg for Grimstad, samt foreta kostnadssammenligning med et kjemisk alternativ. Forprosjektet ble utført i samarbeid med det kanadiske konsulentfirmaet Reid Crowther og den norske konsulenten Asplan Viak Sør. Resultatene fra dette forprosjektet er dokumentert i rapporten "Forprosjekt Groos Renseanlegg" (Bilstad, 1993).

2. Oppdragsbeskrivelse

Biologisk fosforfjerning representerer en ny teknologi i Norge. Kjennskap til og erfaring med prosessen er derfor begrenset både i FoU-miljøer og blant konsulenter her i landet. For å sikre tilfredsstillende faglig standard, god relevans for norske forhold, samt effektiv overføring av kompetanse til Norge, ønsket oppdragsgiverne at flere fagmiljø skulle delta i prosjektarbeidet. NIVA ble derfor engasjert for å gjennomgå og kommentere forprosjektet som Norwet med samarbeidspartnere utarbeidet.

NIVAs gjennomgang fokuserer på følgende hovedpunkter:

- * Gjennomgang av dimensjoneringsunderlaget
Det er avgjørende at dimensjoneringen som ligger til grunn for prissammenligningen bygger på gyldige og relevante forutsetninger. Dersom sammenligningen skal gjøres gyldig også for andre norske anlegg, må den generelle representativiteten vurderes.
- * Gjennomgang av prosessdesign
Den kanadiske konsulenten antas å være den mest erfarne av de involverte parter. Det er likevel viktig å vurdere den foreslåtte design på grunnlag av generell kjennskap til Bio-P prosessen og rapporterte erfaringer fra andre anlegg. NIVA oppfatter derfor sin rolle dithen at det sentrale ikke er å "kontrollregne" anleggsdimensjoneringen, men å stille spørsmål slik at eventuelle svake/sterke sider blir belyst.
- * Foreslå designendringer som skal sikre egnethet som FoU-anlegg
I tillegg til å oppfylle et direkte rensbehov, er en av visjonene bak dette prosjektet å bidra til å bygge opp det norske fagmiljøet på biologisk rensing generelt og Bio-P spesielt. Etablering av et Bio-P anlegg forventes å gi positive regionale ringvirkninger med muligheter for økt aktivitet og nye muligheter innen FoU, undervisning og miljøteknologi. For å ivareta disse mulighetene bør et eventuelt Bio-P anlegg i Grimstad ha visse funksjoner/muligheter utover det som er strengt tatt nødvendig for å oppfylle renskravet. NIVA skal definere hvilke ekstra funksjoner som kan være aktuelle. Også andre fagmiljø i distriktet trekkes inn i denne diskusjonen. Kostnaden for disse tilleggene kan derved tas med i den endelige økonomiske vurderingen.

Etter at forprosjektet var utført, ønsket kommunen også å vurdere muligheten for å kombinere biologisk fosfor- og nitrogenfjerning. Da dette ikke var en aktuell problemstilling ved utarbeidelsen av forprosjektrapporten, er muligheter og konsekvenser ikke utredet. Vi kommenterer likevel kort noen nye momenter som vil være viktige å ta hensyn til ved en eventuell utbygging av et kombinert biologisk fosfor- og nitrogenfjerningsanlegg.

3. Dimensjoneringsunderlag

Dimensjonerende hydrauliske og kjemiske belastninger er i følge forprosjektet basert på måleprogrammene som er utført siden 1990 samt SFTs "Retningslinjer for dimensjonering av avløpsrensaneanlegg" av 1983.

Følgende problemstillinger bør vurderes/avklares nærmere i detaljprosjekteringsfasen, eventuelt i forkant av denne:

- En grunnleggende forutsetning er at anlegget dimensjoneres for å oppfylle renskravet, som for Groos antas å ligge på 1,0 mg Tot-P/liter. Utslippskonsesjonen kan selvsagt defineres på ulike måter (absolutt krav, krav i en %-andel av tiden, krav for hele eller deler av forurensningsproduksjonen osv.). Det er derfor ønskelig med nærmere spesifisering av hva som ligger i forbeholdet i forprosjektets sammendrag (1. avsnitt) angående oppfylling av renskravet for et biologisk anlegg.
- Hva er dimensjonerende (både minimum og maksimum) temperatur? Dette er avgjørende, ikke minst for å unngå nitrifikasjon om sommeren (maks. temperatur). Nitrifikasjon (danning av nitrat ved omdanning av ammonium i råvannet) vil kunne hemme Bio-P prosessen, og må derfor unngås dersom ikke et nitrogenfjerningstrinn skal inkluderes.
- Er antall personekvivalenter (pe) og vannmengde relevant? Ref. søknad om rammetillatelse for utslipp av avløpsvann (Stoveland Consult, 1993).
- Beregning av dimensjonerende tilrenning, Q_{dim} , er uklar og bør defineres nærmere. Det kan virke som om det ikke er tatt hensyn til den nedbørsavhengige innlekking. Denne utgjorde i følge vannføringsmålinger fra 1990 og 1991 i gjennomsnitt ca. 2500 m³/d, dersom en forutsetter en tørrværstilrenning på 3500 m³/d. Det går heller ikke fram om det er tatt hensyn til belastning fra slamvann. I kapittel 2.1 nevnes det at Grimstad kommune har iverksatt arbeid med å redusere infiltrasjonsvann (Saneringsplan for avløpsanlegg, 1991), og at dette vil redusere dagens toppbelastninger. Vil det si at rensaneanlegget er hydraulisk dimensjonert for tilstanden etter at saneringsplanen er gjennomført, og i såfall hvilken reduksjon i infiltrasjonsvann er det regnet med?
- Kjemiske forurensninger er tilsynelatende bestemt basert på SFTs retningsgivende, spesifikke forurensningsmengder samt beregnet gjennomsnittlig tørrværstilrenning. Er avløpets dimensjonerende sammensetning basert på forholdene etter gjennomføring av saneringsplanen, og/eller ansees ikke egenkontroll 850 dager, kontrollmålinger 1991 og 1992, og intensivanalyse 25.09.92-12.10.92, som relevante? (Ref. kapittel 2.1 tabell 2.1 i forprosjektrapporten.) Totalfosfor er beregnet til 5,6 mg Tot-P/l, hvilket er 2 mg/l høyere enn det som ble målt i intensivanalyseperioden høsten 1992 med lite nedbør. Den løste fraksjonen av totalfosfor (filtrert Tot-P eller PO₄-P) er ikke gitt i dimensjoneringsunderlaget. Hvilken dimensjonerende PO₄-P konsentrasjon er benyttet, og hvordan blir det tatt hensyn til denne? Lave fosfatkonsentrasjoner kan gi fosforbegrensning, som kan føre til redusert biologisk omsetning. Halvmetningskonstant for fosfatopptak er oppgitt til $K_{s, po4} = 0,1-0,5$ mg P/m³ (Henze *et al.*, 1990).

For å kunne innfri kommende konsesjonskrav, er det meget viktig å få klarhet i overnevnte punkter.

Dersom biologisk nitrogenfjerning skal innføres i tillegg til biologisk fosforfjerning i hele eller deler

av året, krever dette en detaljert gjennomgang av avløpsvannets sammensetning og variasjon. Det finnes mange prosesskombinasjoner som muliggjør kombinert fosfor- og nitrogenfjerning. Avløpsvannets sammensetning og ikke minst variasjon vil være avgjørende for hvilke metoder som kan være aktuelle. Dersom en ikke tar tilstrekkelig hensyn til avløpsvannets karakter, kan et ugunstig prosessvalg umuliggjøre tilstrekkelig fjerning av både fosfor og nitrogen.

4. Prosessdesign

Den foreslåtte prosessdesign må vurderes nærmere på følgende punkter:

- Er det selvfølgelig fra eksisterende forbehandling og gjennom anlegget? Det er viktig å unngå unødvendig lufting av innløpet, og valg av eventuelle pumper må tilpasses dette.
- Kan det fremlegges data fra referanseanlegg med tilsvarende design, dvs. denne typen forsedimentering/fermenteringsløsning, tilsvarende belastningsdata (kort hydraulisk oppholdstid/lav slamalder), manglende soneinndeling i aerob reaktor? Finnes det referanser for liknende fermenteringsløsninger for avløp med høyt innhold av partikulært organisk stoff, som kan indikere mengde lavmolekylært organisk stoff som kan produseres?
- Er det i dimensjoneringsarbeidet tatt tilstrekkelig hensyn for å unngå nitrifikasjon? Teoretisk vil en slamalder på 4-5 døgn ved en temperatur på 20 °C gi god nitrifikasjon. Selv om sannsynlig maksimaltemperatur for Groos kanskje ligger 3-4 °C under dette, kan altså betydelig nitratdannelse forekomme. En reduksjon av slamalder kan kompensere for økt temperatur, men det er uklart hvor lav slamalder Bio-P organismen kan tåle. Erfaringer fra svenske forsøk tyder på at en slamalder på 2 døgn ikke er tilstrekkelig.
- Overvåkingsperioden fra 25. september til 12. oktober 1992 viste lave konsentrasjoner av orthofosfat. (0,59-1,68 mg PO₄-P/l, veiet gj.snitt = 1,2 mg PO₄-P/l). Finnes det erfaringer med biologisk fosforfjerning hvor avløpsvannet i perioder har like lave løste fraksjoner av fosfor, og er det tatt hensyn til dette i dimensjoneringen (ref. kap.3)?
- Hvilke dimensjoneringskriterier er lagt til grunn for dimensjonering av de ulike prosessstrinn? Sammenhengen mellom dimensjonerende belastning (hydraulisk og biologisk/kjemisk), dimensjoneringsmetode og dimensjoneringskriterier er mangelfull eller mangler helt. Dette gjelder blant annet for:
 - Forsedimentering/fermentor: Oppholdstid og overflatebelastning er ikke gitt i rapporten. Gjennomsnittlig oppholdstid er derimot i referat fra møte i styringsgruppen torsdag 16. september, 1993, oppgitt til tre timer. Hvordan er denne bestemt, og hva er hydraulisk overflatebelastning ved Q_{dim} og Q_{maxdim} ?
 - Bioreaktorene: Oppholdstid i anaerobt og aerobt trinn, samt slamalder er oppgitt. Hvilken dimensjonerende temperatur, slamkonsentrasjon (MLSS), andel organisk slam (MLVSS/MLSS), slambelastning (kg BOD/kg MLVSS*d), fosfatutløsningshastigheter (anaerob sone) og fosfat-opptakshastigheter (aerob sone) er lagt til grunn? Hvilken renseseffekt av organisk stoff er det lagt opp til?
 - Ettersedimenteringen: Hva er overflatebelastning og oppholdstid ved Q_{dim} og ved Q_{maxdim} ? Hvor stor antas returslammengden å være, og hvilken oppholdstid i ettersedimenteringen representerer det?
 - Flotasjonsbassenget: Dette synes ikke å være dimensjonert. Hva er dimensjonerende hydraulisk overflatebelastning, slambelastning og oppholdstid? (Og dermed: Hva er slamproduksjonen fra biotrinnet?)
 - Sentrifuge: Denne er ikke dimensjonert.

- Savner symboloversikt til tegningene (uklar bruk av instrumenteringssymbol).
- Det finnes erfaringer fra biologisk fosforfjerning under klimatiske og avløpssmessige forhold som er sammenlignbare med de vi har i Sør-Norge. Ikke desto mindre er dette en relativt ny og lite utbredt teknologi. Dette gjelder ikke minst for høyt belastet biologisk fosforfjerning (dvs. Bio-P uten nitrogenfjerning). Anlegget i Grimstad må derfor bygges slik at tilpasning/optimalisering av prosessen under drift ikke utelukkes. *Prosessten er mer "driftsstyrt enn designstyrt", og fleksibel anleggsoppbygging er nødvendig. Fleksible løsninger er også sentralt for FoU-virksomhet ved anlegget og konkrete forslag er nærmere omtalt i kap. 5.*

Dersom biologisk nitrogenfjerning skal innføres i tillegg til biologisk fosforfjerning i hele eller deler av året, krever dette en helt ny design. Det finnes svært mange prosessoppbygginger som kombinerer biologisk fosfor- og nitrogenfjerning (f.eks. modifisert Bardenpho-prosess/Phoredox-prosess, UCT-prosess, Biodenipho-prosess samt avarter av disse). Optimal prosessoppbygging for et rensenanlegg er bestemt av avløpsvannets sammensetning og variasjon, samt krav til renseseffekt for nitrogen og fosfor.

Valg av prosesskombinasjon må derfor være velbegrunnet i avløpsvannets sammensetning og variasjon, samt konsekvenser for drift og prosess-styring. Ved ulike renskrav sommer og vinter, samt relativt store naturlige sesongvariasjoner i avløpsvannets sammensetning, stilles det store krav til prosesskunnskap. Fleksibel anleggsoppbygging er nødvendig for å sikre et økonomisk- og renseteknisk optimalt kombinert Bio-P og -N anlegg. Internasjonalt er det flere som har erfaring med slike kombinerte anlegg, enn rene Bio-P anlegg. Det betyr at referanseunderlaget til et nytt kombinert anlegg blir bedre.

5. Designendringer for FoU-behov

Et nytt renseanlegg i Grimstad må møte myndighetenes utslippskrav på 1,0 mg Total-fosfor/liter på en økonomisk tilfredsstillende måte. Utover dette er det ønskelig at et eventuelt Bio-P anlegg på Groos skal tjene flere andre funksjoner:

- Dokumentere/demonstrere Bio-P prosessen i Norge (første referanseanlegg)
- Fungere som et utviklings-/forskningsanlegg for Bio-P teknologi og tilstøtende fagfelt: biologisk rensing (f.eks. nitrogen), prosessstyring, slambehandling og slamavvaskning, helhetlig avløpsplanlegging, resipienteffekter osv.
- Gi muligheter for utdanning/oppgradering på ulike nivå; driftsoperatører, studenter, teknisk personell (biologiske prosesser generelt og Bio-P spesielt)

Disse funksjonene forventes å gi positive ringvirkninger, men krever at forholdene legges til rette allerede i planleggingsfasen. Denne tilretteleggingen gjelder i første rekke direkte ved renseanlegget:

- Prosessstekniske krav til anlegget
- Andre fysiske krav til anlegget

I tillegg vil en effektiv utnyttelse av et demonstrasjons- og utviklingsanlegg stille noen mer spesielle krav. Disse forventes ikke å ha noen innflytelse på kostnadene for Groos anlegget, men er allikevel kort omtalt for å gi et helhetsbilde:

- Fleksibilitet i utslippskravet
- Tilrettelegging og samordning i regionens fagmiljø

5.1. Prosessstekniske krav til anlegget

Prosessstekniske krav er det viktigste hovedpunktet på dette stadiet, da det er her de største økonomiske konsekvensene kommer inn. Det er tre sentrale moment:

- Antall parallelle linjer
- Fleksibiliteten internt i hver linje
- Gode muligheter for overvåking ("on-line" og ved prøvetaking) og kontroll av prosessparametre

Antall linjer

Muligheten for en referanselinje (basis) og en forsøkslinje har svært stor verdi for alt forsøksarbeid. I forprosjektet er anlegget planlagt med to like store parallelle linjer og kan altså oppfylle dette kravet. Det overordnede målet om å oppfylle utslippskravet tilsier imidlertid at det vil være uheldig å drive all forsøksvirksomhet med 50 % av vannmengden. Også praktiske hensyn taler for at det hadde vært ønskelig å ha noe mindre volumer/utstyr å arbeide med i utviklingssammenheng.

En ideell løsning på dette spørsmålet hadde vært å ha tre linjer på anlegget, fordelt f.eks. med hhv. 50, 25 og 25 % av kapasiteten på hver linje. De to minste linjene kunne dermed tjene som hhv. referanse- og forsøkslinje, mens den store linjen var uberørt. Dermed ville 50 - 75 % av vannmengden kunne møte utslippskravet samtidig som forsøk pågikk.

Plassbehovet forventes å øke med en oppsplitting på tre linjer, selv om bassengvolumet ikke endres.

Ifølge forprosjektet er plassbegrensninger på tomten allerede en viktig begrensning. En tredeling vil dessuten sannsynligvis også bidra til betydelig økte bygge- og utstyrskostnader. Selv om vi ikke har tallfestet disse begrensningene og merkostnadene, synes det som om en tredeling er et urealistisk alternativ.

En annen god, og sannsynligvis mer gjennomførbar, løsning er å komplettere det opprinnelig foreslåtte anlegget med et to linjers pilotanlegg (forsøksanlegg). Pilotanlegget bør skaleres slik at representative forhold sikres, og må kunne drives som en kopi av hovedanlegget. Dermed kan hovedanlegget drives uforstyrret, mens ulike driftsalternativ prøves ut i en referanselinje og en forsøkslinje i piloten. Når en viss erfaring og sikkerhet er oppnådd i forsøksanlegget kan driften i en fullskala linje endres i henhold til dette. Resultatene kan dermed bekreftes i fullskala (med referanselinje) med mindre risiko for forstyrrelser av utslippet.

Ved å bygge inn ekstra fleksibilitet i pilotanlegget kan forsøksvirksomhet på andre prosesser utføres, f.eks. kombinert biologisk fosfor- og nitrogenfjerning, selv om det ikke er satt av volumer for dette på hovedanlegget (foreløpig). En annen mulighet er å benytte pilotanlegget til undervisnings- og opplæringsarbeid uavhengig av hovedanleggets drift. Ved en fleksibel og modulær oppbygging av pilotanlegget kan hele eller deler av dette anlegget gjøres mobilt og derved utnyttes for opplæring eller prosess testing på andre lokaliteter.

Forsøksanlegget bør som nevnt være av rimelig størrelse både for å begrense oppskaleringfenomenet og for å muliggjøre praktisk og rasjonell drift. En skalering på 1:100 i forhold til hovedanlegget kan antydes som hensiktsmessig. Pilotanlegget vil da få en total vannmengde på ca. 2 m³/time og et bassengvolum på ca. 10 m³ fordelt på to linjer.

Fleksibilitet i oppbyggingen

Fleksibel oppbygging av linjene i hovedanlegget er avgjørende både for å sikre at rensekravet kan oppfylles og for å kunne drive FoU-arbeid (kfr. kapittel 4).

For å sikre driftsoptimalisering underveis og åpne for utvikling av forbedrede driftsmetoder (bedre prosessstyring, ny belastningssituasjon, endrede rensekrav, lavere driftskostnader el.lign.), bør følgende funksjoner inkluderes:

- Muligheter for å variere volumfordelingen mellom anaerob og aerob sone. Volumfordelingen er nå satt til 20/80 % fordeling på hhv. anaerobt og aerobt volum. Denne fordelingen synes ikke urimelig, men en forskyvning på +/- 5-10 % kan heller ikke utelukkes før driftsoptimalisering er foretatt. Forprosjekttegnningene viser ikke om en slik forskyvning er mulig, men praktisk kan kanskje dette løses ved å dele sonene med flyttbare skillevegger. Luftesystemet bør dermed overlappes noe inn i den anaerobe sonen. Det er dermed nødvendig med avstengningsmuligheter på det enkelte grenrør til luftdiffusorene. En slik kontrollmulighet er dessuten ønskelig for å kunne avtrappe luftingen i bioreaktoren.
- Muligheter for sonedeling i aerob reaktor. Det fremgår ikke om det er lagt opp til noen strømningskontroll i den over 400 m³ store og tilnærmet kvadratisk aerobe reaktoren. Luftingen vil være eneste omrøring og det er viktig at kortslutningsstrømmer og dødsoner unngås. Det bør derfor vurderes om også den aerobe sonen bør utstyres med flyttbare skillevegger, med f.eks. over- og understrømning slik at en tilnærming mot stempelstrøm oppnåes. En slik oppdeling vil også være avgjørende for om andre prosessvarianter, f.eks. biologisk nitrogenfjerning, kan utprøves i anlegget.

- Muligheter for interne returstrømmer. Utprøving av alternative prosesskonfigurasjoner kan f.eks. kreve resirkulering av vann fra utløpet av aerob sone og tilbake til innløp første eller andre anaerobe sone, eller eventuelle anoksiske soner som opprettes i første del av aerob sone. Det bør vurderes om rørføring og pumper for dette formålet skal inkluderes i en eller begge linjer allerede nå. Et minimumsalternativ er å klargjøre for og sette av plass til slikt utstyr.
- Muligheter for fleksibel vannfordeling og vannmengder. Som for returstrømmene nevnt over, er det ønskelig å kunne fordele både hoved- og sidestrømmer fritt i anlegget. Endel slike muligheter synes inkludert i forprosjektet, men i tillegg bør rørføringen bl.a. gi følgende muligheter:
 - råvannet må kunne ledes forbi forsedimenteringen og direkte til en eller begge biolinjer (ny)
 - bunnstrømmen fra forsedimenteringen må kunne fordeles fritt på en eller begge linjer (uklar), og kunne ledes til fortykker (ny)
 - returstrømmer fra slamhåndtering må kunne returneres fritt til en eller begge linjer (ny)
 - hver linje må kunne drives separat, dvs. med egen ettersedimentering og egen flotasjon (uklar).

Kommentarene i parantes betyr: ny = ikke med i forprosjektet, uklar = ikke klart utifra forprosjektbeskrivelsen hva som er mulig.

I tillegg til selve rørføringen, vil pumpekapasiteten være bestemmende for muligheten for drift med ulike hydrauliske belastninger. Overskudds- og returslumpumpene er definert med regulerbar hastighet, og denne reguleringsmekanismen bør være automatisk (f.eks. frekvensomformer). Både for disse og andre pumper på anlegget bør kapasiteten velges stegvis, slik at ønskede/sannsynlige hydrauliske belastningssituasjoner ikke utelates.

Overvåkning og kontroll

Som tidligere nevnt er Bio-P prosessen i stor grad driftsstyrt, og overvåkning og kontroll av driftsparametre er derfor avgjørende for et godt rensresultat. De følgende momenter har derfor også tilknytning til kvalitetsikringen av prosessdesignen.

For å drive forskning, utvikling og undervisning er det sentralt å ha en god forståelse av det som til en hver tid foregår i anlegget, samt ha enkel tilgang til tidligere data (tidsserier; siste time, døgn, måned, sesong, år osv.). For å tilfredsstille disse behov bør følgende funksjoner inkluderes:

- Utstyr og tilgang for prøvetaking. I forprosjektet er det inkludert prøvetakere på utløpet fra for- og ettersedimenteringen. Disse prøvetakerne bør utstyres med valgfri mengde eller tidsstyring og dessuten omfatte kjølt lagring av blandprøvene. Tilsvarende automatisk prøvetakingsstasjon bør i tillegg installeres på innløpet til forsedimenteringen (forbehandlet råvann), med mulighet for prøveheving også før forbehandlingen. Det er uklart om det er lagt opp til separat prøvetaking av utløpene fra de to ettersedimenteringsbassengene (de har felles mengdemåler), men dette må isåfall inkluderes. Dette er avgjørende for å kunne kontrollere driften av hhv. referanselinje og forsøkslinje. Stasjonene bør være flyttbare slik at de kan benyttes i ulike posisjoner, f.eks. på pilotanlegget når hovedanlegget går i normal drift. Det må være mulighet for kjølelagring av blandprøver. Det bør i tillegg sikres tilgang for prøvetaking fra alle soner i bioreaktoren, fra slamlommer i de tre sedimenteringsbassengene og i ulike dybder i forsedimenteringen (det kan dannes et slamteppe). Det bør dessuten monteres prøvekraner på alle fordelingsledninger og returlinjer.
- On-line-målinger. Utstyr for on-line sensorer og kontrollutstyr er i rivende utvikling og bruk og dokumentering av slikt utstyr vil være en sentral aktivitet ved et FoU-anlegg. En del utstyr er godt dokumentert, mens andre parametre er i en mer eksperimentell-/utprøvningsfase. Nedenfor

listes aktuelle sensorer i begge disse kategoriene. På grunn av utviklingstempoet innen dette feltet må vi forvente en revidering/komplettering av denne listen senere.

- Kommersielt tilgjengelig:
 - pH og temperatur i råvann og i bioreaktor
 - Nitrat i (innløp til) anaerob og (utløp av) aerob sone
 - Ortho-fosfat i råvann, (utløp av) anaerob sone og (utløp av) aerob sone
 - Oksygenkonsentrasjon i aerob og anaerob sone.
- Utviklings/dokumentasjons nivå:
 - Organisk stoff i råvann og innløp bioreaktor
 - VFA (flyktige fettsyrer) fra forsedimenteringen
- Utstyrskontroll. En del utstyr som er planlagt med manuell- eller tidsstyring bør klargjøres for on-line styring, og det bør være mulig å velge alternative styringsfilosofier. Eksempler på mulige kontrollsløyfer er:
 - Røreverk i forsedimentering (nå tidsstyrt) kan kontrolleres mot organisk stoff
 - Støttedosering av kjemikalier kan kontrolleres mot fosfat i utløpet fra bioreaktor
 - Luftinnblåsning (oksygenkonsentrasjon) kan kontrolleres mot fosfat og/eller nitrat-konsentrasjon
- God datalagrings- og styringskapasitet. I forprosjektet er det definert at anlegget skal utstyres med PLS-styring og PC-basert kontrollanlegg. Det må sikres at dette har tilstrekkelig kapasitet til å registrere/lagre flere parametre enn de som er inkludert i forprosjektet, samt at uthenting av disse kan skje på en effektiv måte (riktig programvare). Systemet må dessuten ha kapasitet til å håndtere flere kontrollsløyfer (dvs. styring på basis av målte verdier) enn de definerte.

5.2. Andre fysiske krav til anlegget

I tillegg til de rent prosess tekniske krav som er omtalt ovenfor, må anlegget ha endel andre funksjoner for å fungere som et effektivt utviklings- og undervisningsanlegg. Følgende sentrale moment er kort omtalt:

- Tilstrekkelig plass og utstyr på anleggets laboratorium
- Økt personalavdeling
- Møte-/grupperom for fag- og undervisningsformål, samt kontorplass for forskere/studentere

Det er uklart fra arrangements-/situasjonstegningen for det biologiske alternativet i forprosjektet hvordan laboratoriet og personalavdeling er tenkt organisert. Anbefalingene nedenfor er derfor generelle og må sammenholdes med det som allerede er inkludert i forprosjektdesignen.

Plass og utstyr for laboratorium

I forprosjektet anbefales et daglig måleprogram (pkt. 5.9), men det spesifiseres ikke om det er inkludert utstyr og plass for disse analysene på anleggets laboratorium. Dersom det er tilfelle, antas det at laboratoriet kun bør kompletteres med analysemuligheter for noen flere nitrogenfraksjoner for å dekke basisbehovet også for FoU-formål. Tilleggsbehovet vil da være en begrenset plassutvidelse, slik at flere kan arbeide parallelt. Det anbefales dessuten at anlegget utstyres med flyttbart utstyr for hurtiganalyser (type felt spektrofotometer, Dr.Lange, Hack el. lign.) som er et viktig hjelpemiddel ved pilotdrift.

Personalavdeling

Anlegget er planlagt bemannet med tre stillinger og personalrommene (garderober, spiserom, osv.) antas tilpasset dette antallet. Utviklings- og undervisningsaktiviteter vil medføre at det i perioder vil jobbe flere på anlegget. Garderober og andre personalrom bør derfor utvides noe.

Andre rom

Det anbefales at anlegget utstyres med et grupperom som kan benyttes til møter og undervisning. Det er dessuten ønskelig at det finnes tilgjengelig kontorplass, f.eks. to kontorer, for forskere, fagpersonell eller studenter som skal arbeide periodevis på anlegget.

5.3. Fleksibilitet i utslippskrav

Dersom et anlegg skal benyttes til utviklings- og undervisningsarbeid er det viktig at utslippskonsesjonen ikke utgjør en alvorlig hindring for nytenking og eksperimentering. Et allment miljøhensyn må selvsagt ivaretas og det må ikke foregå ukontrollert forsøksvirksomhet. Miljøvernmyndighetene bør derfor delta allerede ved planlegging av forsøksvirksomheten, slik at ulike modeller for oppfylging av utslippskravet kan diskuteres. Det kan for eksempel tenkes situasjoner hvor den ene linjen i anlegget er underlagt kravet, mens den andre linjen frigjøres for forsøksvirksomhet i en definert periode. Detaljdiskusjoner er ikke aktuelle på dette stadiet, og det viktigste er at både anleggseier og myndigheter er klar over at denne problemstillingen vil måtte håndteres underveis.

5.4. Tilrettelegging og samordning i det regionale fagmiljø

Som nevnt innledningsvis har de tre fagmiljøene Agderforskning, Norwet og NIVA vært engasjert i utredning av Bio-P alternativet for Grimstad. Ytterligere ett norsk miljø har vært involvert gjennom Asplan Viak Sør sitt engasjement i forprosjektet.

Under arbeidet med dette dokument har NIVA vært i kontakt med flere fagmiljø i regionen for å starte en informasjons- og idéutveksling angående mulighetene som vil følge med et eventuelt Bio-P anlegg på Groos. Følgende institusjoner/miljø har fått en foreløpig orientering om forstudien/forprosjektet og er invitert til å komme med innspill vedrørende mulige FoU-interesser:

- Agderforskning (deltager i forstudien)
- Agder Ingeniør og Distrikthøgskole (AID), Avd. Teknisk og Avd. Dømmesmoen
- Statens Forskningsstasjon i Landbruk på Landvik
- Forskningsstasjon Flødevigen

I denne fasen er følgende interesseområder identifisert:

- Renseteknologi; undervisning og utviklingsarbeid
- Prosesstyring og kontroll
- Slambehandling og slamavvendelse
- Resipienteffekter

Kontakten med disse og eventuelt andre aktuelle miljø må videreføres, slik at konkret FoU-samarbeid i regionen kan planlegges.

5.5. Kombinert fosfor- og nitrogenfjerning

Dersom rensanlegget skal bygges med kombinert Bio-P og -N fjerning, vil dette kreve en ny prosessoppbygging for fullskalaanlegget. Blant annet må volumet til de biologiske reaktorer økes (større aerobt volum og innføring av anoksiske soner), og behovet for rørføringer og pumper vil øke. Uansett hvilken prosessoppbygging som velges, vil det være svært viktig at anlegget bygges fleksibelt. For bioreaktorene vil det blant annet medføre ønske om:

- Fleksibel inndeling av anaerobe, anoksiske og aerobe soner.
- Soner som både har omrørere og mulighet for luftinnblåsing (sonene kan benyttes enten til aerobe- eller anoksiske/anaerobe forhold, avhengig av hva som er optimalt).
- Fleksibilitet i muligheten for resirkuleringsstrømmer mellom bioreaktorene og fra ettersedimenteringen og til bioreaktorene.

Når det gjelder forsøksanlegget bør dette uansett bygges opp med svært fleksible løsninger, slik at relevante prosessløsninger for norske forhold kan utprøves. Ved utprøving av enkelte prosessalternativer vil det være behov for eksterne doseringer (f.eks. alkalie, karbonkilde, fellingskjemikalier). Ekstra tanker og doseringspumper må derfor inkluderes og settes av plass til.

5.6. Arealbehov og merkostnader for et FoU-anlegg

Etablering av Groos rensanlegg som et FoU- og undervisningsanlegg medfører merkostnader. Det er imidlertid vanskelig å tallfeste eksakte beløp, blant annet på grunn av usikkerhet om hvilken fleksibilitet i fullskala-anlegget som allerede er lagt inn i forprosjektet.

Nedenfor gis likevel en veiledende oversikt over arealbehov og meromkostninger for de funksjonene hvor grunnlaget er tilstrekkelig til å gi et anslag. Kostnader for tilstrekkelig fleksibilitet i fullskala er ikke mulig å anslå, da prosessløsning for kombinert fosfor- og nitrogenfjerning hverken er valgt eller dimensjonert. Når de totale kostnadene for fullskala anlegget er kjent, kan merkostnadene for fleksibilitet legges inn som en påslagsprosent.

Tabell 1. Veiledende arealbehov og merkostnader knyttet til FoU-virksomhet

FUNKSJON	AREALBEHOV	MERKOSTNADER
Fleksibilitet i fullskala	Ukjent	Ukjent (påslag %)
Prøvetaking	Lavt og ukjent	300 000
On-line måleinstrumenter	Lavt	200 000
On-line styring / EDB-utstyr		Ukjent
Pilot-anlegg	30 m ² , egen bygning	2 200 000
Drift av pilotanlegg		400 000
Kontor, laboratorium, gruppe- og personalrom	100 m ²	600 000
SUM		3 700 000

6. Referanser

- Bilstad, T. (1993). Forprosjekt: Sammenlikning av kjemisk og biologisk fosforfjerning for Groos. Rapport utarbeidet av Norwet i samarbeid med Asplan Viak Sør.
- Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. la Cour, Arvin, E. (1990). Spildevandsrensning. Biologisk og kjemisk. Polyteknisk Forlag, Danmark. Side 83.
- Næs, K., Bilstad, T., Haaland, A., Mørkved, K., Norgaard, E., og Aasgaard, G. Fr. (1993a). Biologisk fosforfjerning i Norge. Grimstad som eksempel. NIVA rapport O-92166, l.nr. 2903, 95 s.
- Næs, K., Mørkved, K., og Aasgaard, G. Fr. (1993b). Biologisk fosforfjerning - aktuell rensemetode i Norge. 16 s.
- Stoveland Consult. (1993). Søknad om rammetillatelse for utslipp av avløpsvann, Grimstad kommune. Rapport utarbeidet av Stoveland Consult i samarbeid med teknisk etat. 23 s.

NIVA



Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2441-6