

Naturbaserte prosesser for nitrogenfjerning

Rune Bakke¹⁾,
Edvard Hagman²⁾,
Per Helge Ollestad³⁾ og
Roald Kommedal⁴⁾

¹⁾ Høgskolen i Telemark Avd. for Tekn.fag & Tel-Tek, Porsgrunn

²⁾ Fylkesmannen i Rogaland, Landbruksavdelingen, Stavanger

³⁾ EnQua as, Tjødnaveien 10, Bryne

⁴⁾ - Tegle Redskapsfabrikk, Bryne (nå Fylkesmannen i Rogaland, Miljøvernnavd, Stavanger)

Foredrag ved Vannfestival seminaret i Kristiansand om Nordsjøen og nitrogenrensing 9.6.95

1. Sammendrag

Dette innlegget omhandler en rekke forskjellige biologiske renseanlegg for fjerning av næringssalter i avløpsvann bygd ut og fulgt opp med teoretiske og kjemiske analyser de siste årene. Prosessene for næringssalt-fjerning dekker hele spekteret fra intensive bioreaktorer til ekstensive våtmarker, der den viktigste fellesnevneren er biofilm. Effektive renseprosesser for fjerning av både nitrogen og fosfor er etablert for 1) diffus avrenning fra landbruk og urbane strøk, 2) kloakk i spredt bebyggelse og 3) kloakk i sentrale strøk (store anlegg). Det dreier seg om ny teknologi og nye anvendelser av gammel teknologi som kan medføre store besparelser for miljø og samfunn. Norske kommuner og konsulentbransjen bør følge nøye med i denne utviklingen for å dra nytte av de mulighetene slik teknologi representerer i de nye avløpsplanene.

Noen av de viktigste konklusjonene så langt er:

- Renseeffekten for fosfor i anlegg for diffus avrenning er svært forutsigbar mens nitrogenfjerningen varierer langt mer tilfeldig.

- Små naturbaserte renseanlegg for kloakk i spedt bebyggelse er et godt og kostnadseffektivt alternativ til dagens løsninger.

- En mer intensiv biofilmprosess er utviklet som et kostnadseffektivt alternativ for sentraliserte løsninger. Dette er verdens første biofilmanlegg med biologisk nitrogen og fosforfjerning i en prosess med kontinuerlig gjennomstrømning.

2. Innledning

Ved utvikling og utbygging av rensetiltak er effektivitet nøkkelen til suksessen enten vi har et rent økonomisk eller et mer økologisk perspektiv på problemstillingen, slik at vi renser maksimalt per innsatsfaktor. Slik kan vi for eksempel totalt sett fjerne flest tonn nitro-

gen innenfor de ressurs-rammenene vi har til disposisjon. Kompetanse over et vidt spekter av renseprosesser er viktig for å finne frem til den mest kostnadseffektive løsning i det enkelte tilfelle. Ekstensive og intensive naturbaserte prosesser kommer ofte svært gunstig ut i et slikt perspektiv og representerer derfor en stor gruppe alternative tiltak som kommuner og andre problemhavere bør ta i bruk i langt større grad enn det som så langt har vært tilfelle.

Hvor grensen går mellom naturbaserte og konvensjonelle biologiske prosesser kan diskuteres. En definisjon for å sette rammene for denne presentasjonen er derfor på sin plass. Våtmarker og andre ekstensive prosesser helt uten pumping og aktiv lufting er opplagt naturbaserte. I mer intensive prosesser med pumping mellom prosessledd og aktiv lufting blir grensene mer diffuse. Energiforbruket til lufting, pumping, etc. må holdes på et minimum. Det skal heller ikke være dosering av fellingskjemikalier i prosessene. Det er også vesentlig at prosessene er bygd opp av flere biologiske kulturer (polykultur) for å øke effektiviteten og gjøre prosessene mer robuste.

Resultatene presentert i dette innlegget er et produkt av den store satsingen på naturbaserte prosesser i Rogaland de siste årene, på kommunalt, fylkeskommunalt og fylkesmann nivå. Det har vært en rivende utvikling fra det første anlegget ble planlagt i Stavanger i 1988, til at det nå er etablert over 40 anlegg og mulige lokaliteter for flere hundre anlegg er kartlagt i regi av Aksjon Jærvassdrag. Bidrag fra sentralt hold: SFT,

MD, LD og SND, har også vært avgjørende for den positive utviklingen.

2.1 Målsetning

Målet med vår FoU aktivitet er å etablere prinsipper for mer effektiv avløpsrensing som egner seg for tilpassning til lokale problemstillinger. Det er lagt vekt på å få frem systemer som ikke bare skiller ut uønskede komponenter, men som i tillegg omdanner og endrer kvaliteten på ulike bestanddeler i avlopssvann.

3. Metoder

3.1 Renseparker

Våtmarker og andre naturbaserte rensetiltak kommer ofte svært godt ut i kost/nytte analyser av renseeffekt i forhold til andre tiltak (Falk Fredriksen et al., 1992), og har derfor fått stor utbredelse i Rogaland med ca 40 renseparkanlegg innenfor aksjonsradius til Aksjon Jærvassdrag. Rensepark-termen er introdusert som et samlebegrep for rensesanlegg som består av integrerte kombinasjoner av naturbaserte prosesser tilpasset lokalmiljøet slik at de også fungerer som parkanlegg for flora, fauna og rekreasjon. Dette medfører stort mangfold i utforming av renseparker og nye utfordringer for optimalisering av miljø-investeringene i hvert enkelt tilfelle. God design for å få maksimal bedring av vannkvaliteten i renseparken viser seg oftest å være sammenfallende med god estetisk utforming. Renseparker kan med fordel utformes for også å produsere nyttevekster og andre verdifulle produkter slik at de fungerer som integrerte produksjonsenheter for

kvalitetsforbedringer på ulike plan i lokalmiljøet.

Forurensings-kildene er relativt jevnt fordelt over hele Jæren, slik at det ligger dårlig tilrette for sentraliserte tiltak utover de som er gjennomført. Avrenning fra landbruket er, til dømes, diffus og fortenna i hele regionen og er samtidig en hovedkilde for næringsemner og en del organisk avrenning, med bl.a. eutrofiering i Jær-vassdraga som en konsekvens. Den ideelle strategi for å løse problemene er å ta seg av forurensingen ved kilden eller så nær denne som mulig. Dette krever integrering av tiltak mot punktkilder og diffuse kilder, som det fins en mengde teknikker for, inkludert hydrologisk tilpasning i vassdraget og reduksjon av avrenning ved hjelp av vegetasjonssoner langs vassdrag (Novotny and Olem, 1993; Novotny, 1994). Behandling i konstruerte våtmarker og andre naturbaserte renseprosesser er den angrepvinkel som i stor grad er brukt i dette arbeidet på Jæren.

3.2 Ekstensiv kloakkrensing

Avløpsrensing i spredt bebyggelse har stort sett vært basert på septiktank med (eller uten) påfølgende infiltrasjon eller sandfilter, eller bare minirensanlegg. Andre typer naturbaserte prosesser, som er populære i mange andre land, har derimot ikke foreløpig blitt akseptert som fullverdige løsninger i Norge. En del anlegg er likevel bygd på Jæren, som demo- og prøveprosjekter, og flere er under planlegging i et større FoU prosjekt (knyttet opp mot "NAT-programmet").

De tre anleggene i denne kategorien

som er bygd på Jæren er alle biofilm-prosesser, utforma og dimensjonert som dykka biofilter. De fungerer m.a.o. som biofilmreaktorer med stort areal tilgjengelig for biofilm vekst på sand og gruspartikler. Det hele er nedgravd og beplantet med våtmarksplanter (takrør etc.) som har rotsonen nede i biofilteret. Røttene gir ekstra areal for biofilm vekst, tar opp næringssalter, tilfører oksygen og bidrar på andre måter positivt til prosessene i filteret.

Alle anleggene har minst septiktank som forbehandling og infiltrasjon eller rensesepark som etterbehandling. I ett av anleggene anvendes også et mekanisk lufteanlegg for å øke kapasiteten, særlig m.h.p. nitrogenrensing (nitrifisering).

3.3 Intensive prosesser

Et mer intensivt økologisk rensanlegg er også utviklet for å betjene byer, store og små tettsteder (>30p.e.) og ulike institusjoner. Det første anlegget ble bygd for Stavanger Turistforenings hytte Haukeliseter Fjellstue i Telemark. En videreutviklet versjon av dette anlegget ble så bygd som en del av et FoU prosjekt på Øksnevad i Rogaland, med støtte fra SND, SFT, Klepp Kommune, Rogaland Fylkeskommune, IVAR og Fylkesmannen i Rogaland. Anleggene er bygd av Tegle Redskapsfabrikk på Bryne.

Øksnevad kloakkrensanlegg er et rent biologisk kloakkrensanlegg som kan deles inn i to enheter, der enhetene fungerer sammen som et integrert, helhetlig, konsept for avløpsrensing. Den ene enheten er et anlegg for rensing av

avløpsvann og den andre behandling av avløpsslam. Målsetningen med dette prosjektet er å utvikle et helhetlig konsept for behandling av avløp og slam, fokusert på ressursgjennvinning, slik at økonomiske og miljømessige kostnader blir holdt på et minimum.

Delen for rensing av avløpsvann betjener Øksnevad v.g.s., et næringsbygg, samt de husständer som tidligere hadde direkte eller indirekte utslipp til Øksnevadtjern. Denne belastningen utgjør ca. 200 p.e. Delen for behandling av slam er dimensjonert for 500 p.e. og betjener husständer med egne septiktanker og slam produsert i enheten for rensing av avløpsvann.

Renset avløpsvann føres ut i Grudabekken som er en del av Figgjovassdraget. Dette er et produktivt vassdrag med betydelig laksefiske (blant de 20 største elver i Norge m.h.p. laksefiske), men med forurensingsproblemer som medfører oksygenvikt og fiskedød. Rensekravene er derfor spesielt strenge her.

Behandlinga av avløpsvannet foregår derfor i fem trinn: 1) Avløpsvannet blir pumpa inn til anlegget v.h.a. kværnpumper slik at alt søppel i vannet blir finmalt (der er ingen rister, sandfang eller annen forbehandling). 2) Hovedprosessen er en intensiv roterende biofilm prosess (RBP) der mikroorganismer/biofilmen vokser på plastelementer som roterer i en sylinderformet tank med lufting. 3) Biomasse produsert i 2 og andre partikkler blir separert v.h.a. sedimentering og overført til slambehandling. 4) Vannet blir så behandlet i et grusfilter (m/ biofilm på grusen) 5) Siste ledd i behandlingen er en naturlig

våtmark med konstruert fordelingsanlegg for vannet slik at det renner delvis gjennom grunnen og delvis på overflaten. Anlegget består m.a.o. av en serie prosesser der de mest intensive kommer først, etterfulgt av stadig mer ekstensive prosesser. I dette innlegget vil prinsippet for nitrogenrensing i den intensive RBP (2) omtales litt grundigere.

Grovt forklart er problemet med konvensjonelle anlegg for nitrogenfjerning at vanlige heterotrofe aerobe bakterier bruker opp det organiske karbonet i kloakken som de denitrifiserende bakteriene trenger for å gjennomføre denitrifiseringen. Derfor må enten dyre resirkulasjonsanlegg inkluderes eller en kostbar ekstern karbonkilde tilføres. I begge tilfeller er det behov for mekanisk sett relativt kompliserte systemer med flere reaktorer eller soner for de ulike prosessene.

Løsningen på problemet ligger i å satse på sekvensiell styring av prosessen (Rambekk, 1995). I dette konseptet legges forholdene til rette for at de denitrifiserende organismene utkonkurrerer de vanlige aerobe i kampen om organisk karbon. Dermed utnyttes organisk karbon i innløpsvannet direkte til denitrifisering, slik at behovet for tilsetning av ekstern karbonkilde elimineres. Dette medfører også at oksygenet som tilføres prosessene ved lufting (den største driftsutgiften) utnyttes maksimalt ved at det i betydelig grad går via nitrifiseringsprosessen ($O_2 + NH_4 \rightarrow NO_3$) før det brukes til oksidasjon av organisk karbon.

4. Resultater

4.1 Renseparker

Renseeffekten i naturbaserte renseanlegg for diffus avrenning varierer av erfaring svært mye på grunn av variasjoner i lokale forhold; innløpskonsentrasjon, belastningsvariasjoner etc. Det har derfor vært nødvendig å modellere prosessene matematisk for å analysere måleresultatene slik at de kan anvendes i dimensjonering av nye anlegg. Modellen antar at renseeffekten er en metningsfunksjon av konsentrasjonen til paramenteren som skal fjernes (Bakke et al., 1994). Resultatene bærer preg av at vi har vært mest opptatt av fosfor og fosfat, slik at vi har relativt få data for nitrogen.

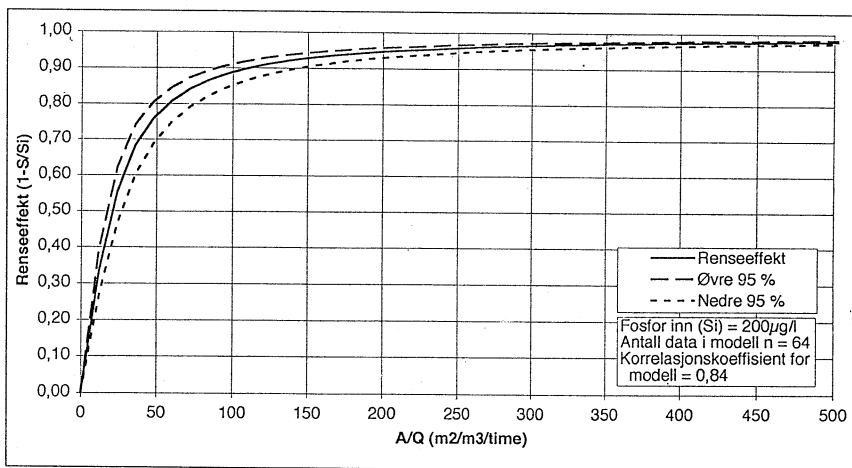
Vi har forløpig ikke funnet frem til en modell som relaterer renseeffekt for nitrogen med belastning, rensepark areal etc. For total fosfor, som er grundig

analysert, har vi derimot funnet en klar sammenheng mellom belastning per rensepark areal og renseeffekt, som vist i eksemplet i Figur 1.

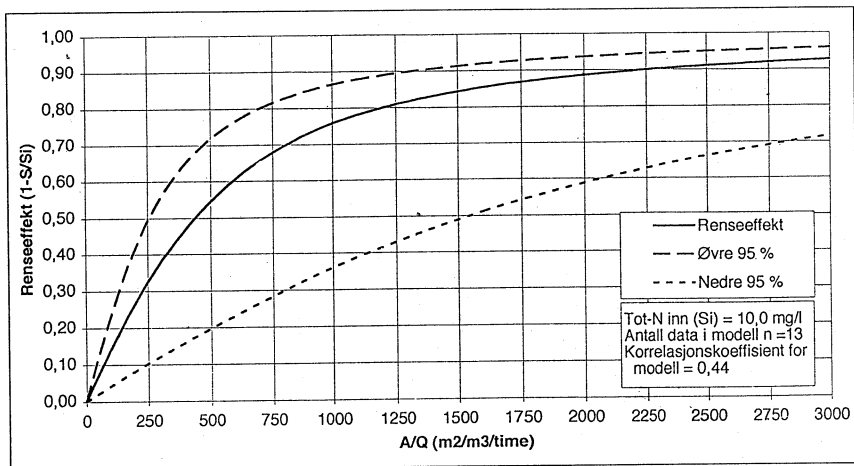
Estetikk og andre park kvaliteter er lagt vekt på i utforminga av rensetiltaka, gode dyrehabitat blir utvikla (for fugl, fisk, etc.), det blir lagt til rette for rekreasjon og unike økologiske nisjer blir etablert i regionen. Anlegg er også utforma for produksjon av nyttevekster. Parkene er ganske forskjellige i utforming siden de er tilpasset den enkelte lokalitet og fordi de er satt sammen av ulike rensetekniske prinsipper for å få maksimal utnytting av begrenset areal til disposisjon for formålet i det enkelte tilfelle.

4.2 Ekstensiv kloakkrensing

De tre anleggene for naturbasert klo-



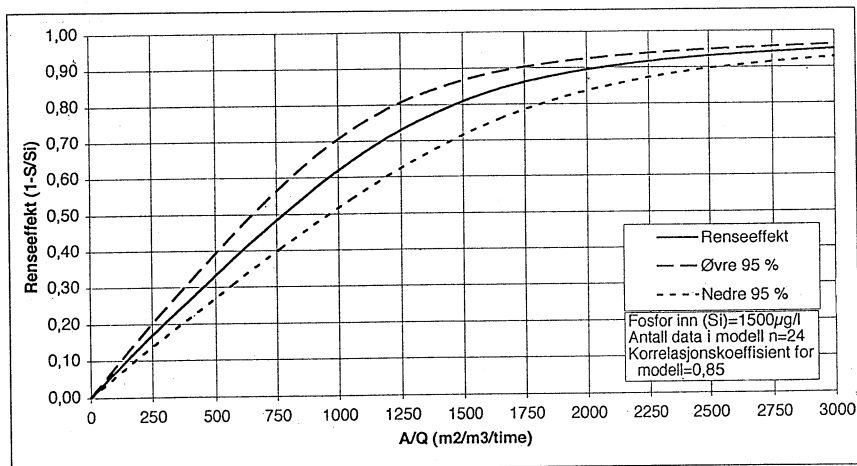
Figur 1. Modellert fosfor-renseeffekt som funksjon av areal, A , for våtmarker som behandler overflateavrenning med volumbelastning Q , for en innløpskonsentrasjon, S_i , på $0,2\text{mgP/l}$, kalibrert basert på 64 målinger i forskjellige renseparker.



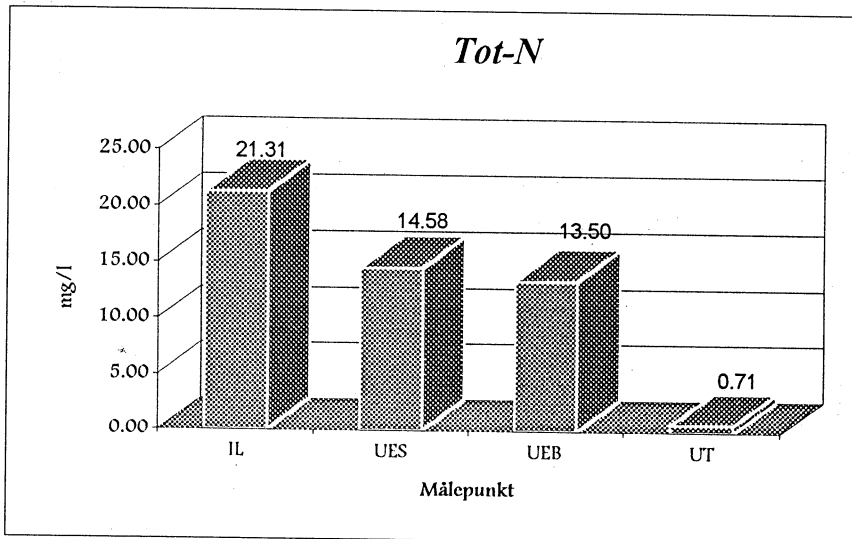
Figur 2. Modellert renseeffekt for total-nitrogen som funksjon av areal, A , for våtmarker som behandler kloakk, for en innløpskonsentrasjon, S_i , på 10mgN/l, kalibrert basert på 13 målinger i en publisert database (Knight et al., 1993).

akkrensing på Jæren er nylig satt i drift slik at måleresultater fortsatt er en mangelfull. For rensing av kloakk i våtmarker er der betydelige mengder rele-

vante data fra andre land som vi har satt inn i modellen utviklet for renseparker. Resultater for rensing av total-nitrogen er vist i Figur 2 (data fra Knight et



Figur 3. Modellert renseeffekt for fosfor som funksjon av areal, A , for våtmarker som behandler kloakk med volumbelastning, Q , for en innløpskonsentrasjon, S_i , på 1,5mgP/l, kalibrert basert på 24 målinger i en publisert database (Knight et al., 1993).



Figur 4. Nitrogenkonsentrasjonen målt i innløp (IL), etter den intensive "RBP"-biofilmprosessen med sedimentering (UES), etter grusbiofilteret (UEB) og i utløpet fra våtmarka (UT). Verdiene er snitt av alle målingene foretatt i testperioden med konvensjonell drift (n~10).

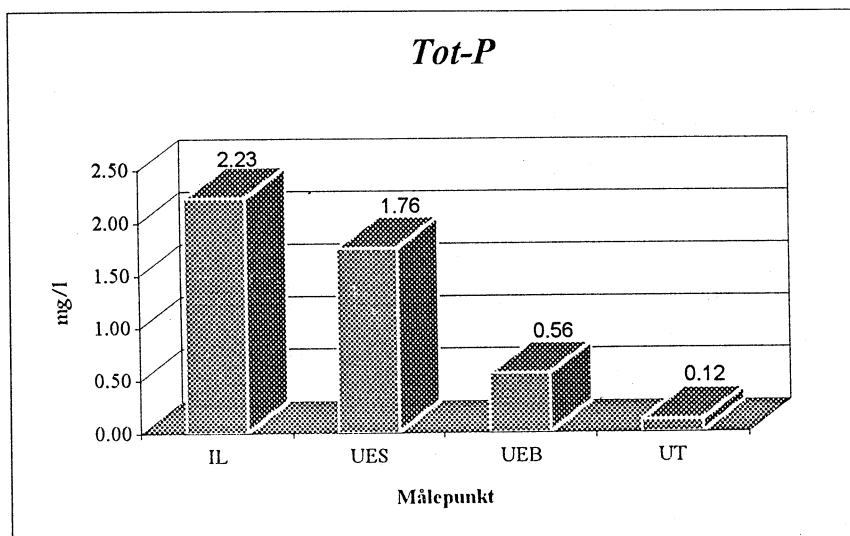
al.,1993). Renseeffekten varierer kraftig på grunn av komplekse fjerningsmekanismer og korrelasjonen blir deretter. Renseeffekten for fosfor er derimot langt mer forutsigbar også for slike anlegg, som det går frem av Figur 3. De få datapunktene som er innhentet i anleggene på Jæren tyder på at resultatene, som forventet, er sammenlignbare med de oppnådd i andre land.

Erfaringene med bygging av slike anlegg viser at kostnadene blir langt lavere enn for minirensesanlegg og kan sammenlignes med kostnadene med å bygge sandfilteranlegg og infiltrasjonsanlegg. Kostnads-effektiviteten blir derfor svært god og slike rotsonefilter/biofilter kan bli et godt alternativ og supplement særlig der forholdene for infiltrasjon ikke er gunstige.

4.3 Intensive prosesser

Innledningsvis ble de ulike prosessene i anlegget på Øksnevad kjørt på konvensjonelt vis og serien med prosesser fra intensive til ekstensive (kap. 3.3) gav gode renseresultater. Resultatene for total nitrogen og fosfor er presentert i Figurene 4 og 5 (Bakke og Thorbjørnsen, 1994). Både total nitrogen og total fosfor ble redusert med over 90% (henholdsvis 97% og 95% på snitt). Mesteparten av rensinga (>60%) foregikk i de ekstensive prosessene.

Et konsept for økt nitrogenrensing i intensive prosesser ble, som forklart avslutningsvis i kap. 3.3, utviklet og testet i anlegget på Øksnevad vinteren og våren 95. Konseptet medførte kraftig økning i renseseffekten både for nitrogen og fosfor i den intensive RBP,



Figur 5. Fosforkonsentrasjonen målt i innløp (IL), etter den intensive "RBP" biofilmprosessen med sedimentering (UES), etter grusbiofilteret (UEB) og i utløpet fraa våtmarka (UT). Verdiene er snitt av alle målingene foretatt i testperioden med konvensjonell drift (n~10).

som oppsummert i Tabell 1, der BNP står for biologisk nitrogen og fosforfjerning. En "bivirkning" var sterkt redusert strømforbruk. Ved temperaturer på under 10°C kom renseeffekten opp i ca 65% og økte så til over 70% da

temperaturen i avløpsvannet steg til over 10°C på forsommeren.

I følge Bilstad (1995) og Rusten (1995) har ingen før oss klart å etablere biologisk fosforfjerning i et fullskala biofilm anlegg. Øksnevad-anlegget er trolig også verdens første BNP anlegg med kontinuerlig gjennomstrømning som baseres på kun ett reaktor kammer.

For også å fjerne fosfor i bioreaktoren ved den såkalt bio-P prosessen må fettsyrer produseres i systemet. For å styrke denne prosessen blir ekstra fettsyrer vanligvis produsert i en egen fer

Tabell 1. Renseeffekt som prosent fjerning av total fosfor og nitrogen i den intensive "RBP" biofilmprosessen på Øksnevad, før og etter etablering av biologisk nitrogen og fosfor (BNP) rensing.

Temp. °C	Renseeffekt (% fjerning)		
	Normal drift	BNP drift	
	6<T<20	6<T<10	T>10.
Tot.P	30±11	63±5	>70
Tot.N	35±11	65±5	>70

mentator basert på slam, som forklart i en rekke artikler i siste utgave av "Water Quality International" (1995). Planen på Øksnevad er at forbehandlingsreaktoren for slambehandlingen skal brukes til dette, men hverken tid eller ressurser har strukket til for dette foreløpig. Vi ser likevel at fosfor blir fjernet relativt effektivt (>70%) ved "BNP-drift", mot bare ca 30% ved konvensjonell drift.

Total fosfor i utløpet ligger nå meget stabilt i overkant av 1 mg/l. Dette tyder på at biofilmen selv produserer en del fettsyrer, sannsynligvis (i følge de matematiske simuleringene) i indre deler av biofilmen. Ved å fore prosessen med flyktige fettsyrer fra en fermentor (anærob slamreaktor) kan ytterligere biologisk fosforfjerning oppnåes.

Øksnevadanlegget er lett å drive og kan automatiseres. Driftskostnadene er derfor lave og er faktisk sammenlignbare med driftskostnadene for et rent mekanisk avløpsrenseanlegg. Byggekostnadene er også relativt lave; sammenlignbare med et rent kjemisk anlegg, og vil trolig komme en del gunstigere ut enn for et kjemisk anlegg i de fleste tilfeller. Kostnadseffektiviteten for konseptet er derfor svært god og kostnadene med nitrogenfjerning på større avløpsanlegg kan kuttes til en brøkdel av dagens kalkyler. Kostnadene med omlegging av anlegget på Øksnevad til BNP var på ca titusen kroner, noe som alt er spart inn p.g.a. reduserte driftskostnader (strømforbruk). I dette tilfellet går m.a.o. investeringen i nitrogenrensing med overskudd!

5. Diskusjon

5.1.1 En helhetlig angrepsvinkel

Utvikling og utbygging av naturbaserte renseparker på Jæren er en del av et storskala prosjekt for restaurering av vassdraga i regionen organisert gjennom diverse lokale aksjoner (e.g. Aksjon Frøylandsvatn) og fra 1993 koordinert gjennom Aksjon Jærvassdrag. Prosjektet er basert på en helhetlig filosofi for generell bedring av miljøkvaliteter, særlig vannkvalitet, og for å legge til rette for bedret bruk av rekreasjon og kulturelle ressurser og muligheter i vassdragene.

Forskning og utvikling av renseparkteknologien i regionen er også integrert i denne helhetlige tenkningen. Utforming og dimensjonering av renseparkene skal produsere kostnadseffektiv bedring av vannkvaliteten og samtidig tilfredsstillende et vidt spekter av sosiale og økologiske krav i miljøet der de blir konstruert.

Grunnlaget for den helhetlige angrepsvinkel er en *evaluering av effekten av renseparker på bærekraften* i Jærens agroøkosystem, med utgangspunkt i en generell modell for effekten av ressursutnyttning (Bakke et al., 1994). Kriterier og parametre som kan anvendes i denne type modell er presentert av Hustvedt (1991).

Dimensjoneringsanalysen for renseparkene er basert på kontinuitetsprinsippet og massebalanser mens termodynamikk er nytta i analysen av rensepark-integreringa i økosystemet.

5.1.2 Renseeffekt

Renseeffekten i en rensepark er resulta-

tet av mange forskjellige naturlige prosesser som fungerer sammen i et komplekst økosystem. Nøyaktig modellering er derfor vanskelig, men grove massebalanser kan anvendes og en modell for dette formål er utviklet. Modellen er kalibrert med reelle data fra forskjellige renseparker og gir fosfor- og fosfatkonsentrasjonene i utløpet fra renseparker, som funksjon av belastning og rensepark dimensjoner, med statistisk signifikans som vist i Figur 1. Modellen blir nå anvendt i dimensjonering av nye renseparker. Tilsvarende modeller for nitrogenforbindelser og andre forurensninger skal også utvikles.

Denne matematiske analysen viste også at areal tilgjengelig for renseprosessen er viktigere enn volum. Dette har trolig sammenheng med at mange sentrale naturlige prosesser har særs gode betingelser i biofilmer, det slimlagte som i hovedsak består av mikroorganismer og som vokser på alle tilgjengelige overflater i kontakt med det forurensede avløpet. Dette er det viktig å legge vekt på i utformingen av renseanleggene slik at mest mulig areal, både levende (planterøtter og blader) og dødt (jord, grus etc.), blir effektivt tilgjengelig for biofilm vekst.

I tillegg til mengden med biofilm i en rensepark kan også mangfoldet være viktig. Det kan for eksempel legges til rette for at både nitrifiserende og denitrifiserende biofilm kan eksistere i samme system dersom denitrifisering er ønskelig. Denitrifisering er forøvrig normalt ikke en ønskelig prosess når ressursgjennvinning er en målsetning.

Da blir det heller lagt til rette for at nitrogenet skal assimileres av planter og/eller dyr for produksjon av nyttige produkter.

I renseparkene oppnår vi effektiv reduksjon av nitrogeninnholdet, uten at dette er like grundig analysert som fosfat rensingen. Det er likevel klart at nitrogenet blir fjernet via tre hovedkanaler, der en del blir: 1) tatt opp av planter, trolig i stor grad via en nitrifiserende biofilm som vokser på og ved planterøttene, 2) assimilert i næringskjeden, først som næring for mikroorganismer, som blir mat for dyreplankton, som blir mat for større rovdyr, etc. opp til fugl, fisk og menneske, og 3) denitrifisert og går dermed til atmosfæren som nitrogen gass. Ut fra en ren massebalanse-analyse kan det konkluderes med at kun kanal 3 gir en reell renseeffekt. Basert på en bredere økologisk forståelse er det klart at kanal 1 og 2 oftest er vel så gunstige for miljøet og for målet om en bærekraftig utvikling. Det er jo lite ideelt i et globalt økologisk perspektiv å bruke ressurser på å sende nitrogenet tilbake til atmosfæren (denitrifisering) når vi vet at det blir bruk store ressurser på den motsatte prosessen i produksjon av kunstgjød-sel.

5.1.3 Entropi effekt

Renseprosesser er vanligvis evaluert basert på renseeffektene de presterer (se Kap. 4) fordi dette vanligvis er definert som hovedformål med renseanlegg og fordi renseeffekt er lett å kvantifisere (måle kjemisk). Fokus burde i tillegg bli retta mer mot produksjons-

potensialet i renseprosessene for å stimulere resirkulering og ressursgjennvinning. Termodynamikk kan bli anvendt for kvantitativ og kvalitativ evaluering av et bredere spekter av kvaliteter produsert i renseprosesser. En modell som tar utgangspunkt i at et sentralt formål med renseprosessen er å skape økologisk "orden", uttrykt som entropi, er utviklet for dette formålet (Bakke et al., 1994).

I et termodynamisk perspektiv kan entropi-reduksjon defineres som målet med renseprosessene. For å oppnå redusert entropi i et system, må systemet tilføres energi utenfra. I naturbaserte renseprosesser blir den nødvendige energi i hovedsak tilført som sol-lys slik at plantevekst og fotosyntese er viktige element for å oppnå den ønska entropi-reduksjon. Begrepet solstimulert entropireduksjon (SER) (på engelsk: solar powered entropi reduction, SPER) er introdusert for dette konseptet. Eksempler på entropireduksjon og ressursgjennvinning er planteproduksjon og utvikling av dyrehabitat, gyteområder etc. i renseparker og andre naturbaserte anlegg. Foredling av nitrogenet og annen næring i slam til høyverdig naturgjødning i slambehandlingen på Øksnevad renseanlegg er et annet eksempel.

5.2 Anvendelser

Rensepark-teknologien har vist seg svært kostnadseffektiv i sammenligning med alternative tiltak for å redusere tilførselen av næringsemner og organisk material til Jær-vassdraga. Dette har medført at en relativt stor del av

miljø-investeringene i regionen blir kanalisert mot bygging av naturbaserte renseprosesser.

Mer intensive (/konvensjonell) biologiske renseprosesser er også tatt i bruk og hele spekteret av intensive til ekstensive renseprosesser er anvendt. I flere tilfeller har kombinasjoner av intensive og ekstensive prosesser vist seg mest kostnadseffektive. Kost-nytte analyser er viktige i planleggingsfasen for å komme frem til den ideelle løsningen i hvert enkelt tilfelle.

Renseprosesser utviklet og/eller anvendt separat eller i kombinasjon med andre prosesser inkluderer ulike våtmarker, sandfilter, dammer med permeable demninger, septikk-tank, intensive biofilm- og aktiv-slam anlegg, og våtkompostering. Avansert våtkompostering med hygienisering og nitrifisering av husdyrgjødsel, kloakkslam (septikkslam etc.) og andre organiske avfall har, for eksempel, vist seg svært lovent i arbeidet for kostnadseffektiv ressursgjennvinnig og forurensings-reduksjon.

Kilder til forurensing behandlet i biologiske renseanlegg i Rogaland inkluderer; 1) kloakk fra enkelt hus, 2) fra flere hus, 3) institusjoner, 4) avløp fra industri, 5) intensive landbruksprosesser (e.g. vaskevann fra melkeproduksjon og husdyrgjødsel) og 6) diffus avrenning fra gjødselsåker, eng, utmark, plen og fra urbane områder med avrenning fra veg, industri og kloakknett med lekkasjer. Resipienter av vann behandlet i renseparker er bekker, elver, innsjøer og drikkevannsreservoar. I forhold til sistnevnte resipient er det ve-

sentlig å analysere mulighetene for hygienisering av vann i renseparker dimensjonert for dette formål.

Den forståelsen at næringsemner ikke nødvendigvis må fjernes fra systemet for å redusere forurensningsproblemer er viktig for fullt ut å dra nytte av de muligheter som de utallige renseteknologiske konsepter stiller til disposisjon. I Mosvatnet i Stavanger er, for eksempel, de tidligere så hyppige, skadelige mikroalge-oppblomstringene eliminert uten at mengden med næringsemner til innsjøen er redusert, ved hjelp av bio-manipulering i innsjøen og entropi-reduksjon i Madlabekken Rensepark (Molversmyr, 1993; Bakke et al., 1994). Produksjon av dyreplankton i renseparker kan være en viktig faktor i denne sammenheng. Utbredelse av krepsdyr og bunndyr i 7 prosessledd i en rensepark er kartlagt som et ledd i arbeidet med å få en bedre forståelse for slike sammenhenger (Walseng et al., 1995). Den termodynamiske modellen (Kap. 5.1.3), der vi ser på renseparker som entropi-reducerende prosesser er nyttig for å forklare og planlegge slike effekter. Dermed kan vi lettere velge rett renseteknologi i det enkelte tilfelle og få til en bedre integrering av rensetiltak i det lokale økosystem.

Entropi-reduksjon kan også betraktes som et mål på verdiskapning. Laks, aure, ender og trær, mulige rensepark produkter, er, i tillegg til å være lav-entropi produkter, alle eksempler på produkter med høy markedsverdi. Dette er en vesentlig faktor for å motivere bønder til å etablere rensetiltak for egne avløp på egen grunn. Med statsstøtte på

60-70% til bygging av renseparker og potensial for produksjon av høgverdige produkter basert på gjødsel på avveier, er renseparkutbygging interessant både for å verne lokalmiljøet og ut fra økonomiske hensyn for den enkelte grunneier.

Utvikling av rensetekniske konsept som reduserer utslipp av skadelige elementer til vassdrag og til atmosfæren er viktig også i et global-økologisk perspektiv. I dette perspektivet er det viktig at renseprosessene som bli utvikla er enkle nok, og energieffektive nok til at de også kan anvendes i fattigere land. Vi har et ansvar som et rikt land, med ressurser til teknologiutvikling, å utvikle prosesser som ikke krever vår relative overflod av ressurser og kompetanse for å brukes. Konseptene presentert her representerer et skritt i riktig retning i så måte, og kan dermed bidra til å løse lokale norske oppgaver så vel som oppgaver innen miljø og utvikling internasjonalt.

6. Konklusjoner

- Renseeffekter oppnådd i renseparker, som er ulike kombinasjoner av naturbaserte renseprosesser, etablert for rensing av diffus avrenning, er predikterbar (kan modelleres/beregnes) for fosfor.
- Matematisk modellering og kjemiske data fra renseparker viser at areal tilgjengelig i renseprosessen er viktigere enn volum.
- Utforming og dimensjonering av renseparker er kompliserte oppgaver som krever multi-disiplinær innsats, men

kostnadene ved bygging, drift og vedlikehold er normalt svært lave.

- Kostnadseffektiviteten med bruk av renseparker til å løse problemene med diffus avrenning er så god at renseparkutbygging er viktigste virkemiddel (størst investering i 1994) i Aksjon Jærvassdrag.
- Naturbaserte anlegg for kloakkrensing i spedt bebyggelse kan bli et kostnadseffektivt og godt alternativ.
- Anvendelse av økologiske og naturbaserte prinsipper innen konvensjonell intensiv avløpsrensing kan gi svært gode resultater og bl.a. redusere kostnadene med nitrogenfjerning til en brøkdel av dagens kostnader.
- Korrekt drift av intensive naturbaserte anlegg er avgjørende for å oppnå høy nitrogen og fosfor fjerning.
- Entropi-analyse er et nyttig verktøy for optimal tilpasning av renseanlegg i lokalmiljøet.
- Renseanlegg tilpasset lokal topografi, geologi, vegetasjon etc. kan også legges til rette for rekreasjon, miljøundervisning, etc., og fungerer dermed også som parkanlegg og som "økologiske oaser" med stort biologisk mangfold.

7. Referanser

- Bakke R., Hagman E., og Hustvedt P.R. (1994) Integrated treatment parks in large scale decentralized management of drainage basins. Akseptert av IAWQ for "4th international conference on wetland systems for water pollution control" 6.-10. nov.94 i Guangzhou, Kina.
- Bakke R. og Thorbjørnssen T. 1994. Øksnevadkonseptet for Avløpsrensing og Slam-

behandling: Pilotanlegg i full skala på Øksnevad i Klepp kommune. Rapport for SFT.

Bilstad T. (1995) Foredrag ved Vannfestival seminaret i Kristiansand om Nordsjøen og nitrogenrensing.

Knight R.L., Rubel R.W., Kadlec R.H. og Reed S. (1993). Wetlands for wastewater treatment; performance data base. Kap.4 i Constructed wetlands for water quality improvements. Ed. G.A. Moshiri. CRC press. London.

Falk Fredriksen O., Bratli J.L., Hauge O. og Vagstad N. (1992) Tiltaksanalyse for Frøylandsvatn.

Hustvedt, P.R. (1991). Sustainable resource utilization. I O.E. Olsen og M. Heide (red.): Bærekraftig næringsutvikling. Rogalandsforskning, Stavanger.

Molversmyr, Å. (1993). Overvåking av Mosvatnet 1993. Rap.nr. RF-59/94. Rogalandsforskning, Stavanger.

Novotny, V., og Olem, H. (1993). Water quality; prevention, identification, and management of diffuse pollution

Novotny, V., (1994). Diverse solutions for diffuse pollution. Water Quality Int., Nol., 24-31.

Rambekk M. (1995). Matematisk modellering av biologisk nitrogenfjerning. Hovedoppgave, Siv.ing. Høgskolen i Telemark - Avd. Tekn. Fag.

Rusten B. (1995) Foredrag ved Vannfestival seminaret i Kristiansand om Nordsjøen og nitrogenrensing.

Walseng B., Hagman E., Halvorsen G. og Sloreid S.E. (1995) Krepssdyr- og bunndyrfaunaen i en rensepark på Jæren med syv fangdammer; et pilotprosjekt. NINA oppdragsmelding 336.

Water Quality International, No 1, 1995, sidene 14-28.