

# Integrert avløps- og avfallsbehandling — et alternativ til konvensjonell nitrogen- fjerning?

Av Petter D. Jenssen, Odd Jarle Skjelhaugen, Petter Heyerdahl  
og Erik Romstad.

Av Petter D. Jenssen, JORDFORSK, Senter for jordfaglig miljøforskning.

Odd Jarle Skjelhaugen og Petter Heyerdahl, Inst. for tekniske fag, NLH.

Erik Romstad, Inst. for økonomi og samfunnsfag, NLH.

## Sammendrag

Nitrogen og fosfor i avløpsvann tilsvarende 15% av kunstgjødselbruket i Norge og har en gjødselverdi på vel 200 millioner kroner i året. Idag taper vi mesteparten av denne ressursen til vassdrag. Ved de planlagte nitrogenrensetiltak vil vi tape nitrogenet til luft. 90% av nitrogenet i avløpsvann stammer fra toalettet. Ved å ta i bruk vannsparende toaletter med oppsamling ved hvert hus kan nesten alt nitrogenet samt omlag 80% av fosforet og 75% av det organiske materialet samles opp og omdannes til et hygienisert gjødselprodukt. Dette systemet, som er basert på nyutviklet våtkomposteringsteknikk gir også muligheter for sambehandling av svartvann (toalettavløp) med en rekke andre organiske avfallsprodukter, bl.a. husholdningsavfall. Systemet gir derfor en total løsning på problemet med organisk avfall både fra kommunal- og landbrukssektoren samtidig som slamproblemet reduseres. Fordi avfallet hentes ved kilden vil problemet med miljøbetenkelige stoffer i restproduktet være lettere å kontrollere. Løsningskonseptene vil innebære endringer i

infrastrukturen i avløpshåndteringen. Løsningene bygger imidlertid på komponenter fra kjent teknologi og vil kunne bli tatt i bruk etter en begrenset utprøving og optimalisering. De største usikkerhetene ved løsningene ligger på den hygieniske og økonomiske siden. De foreslåtte løsningene er ikke kostnadseffektive dersom tiltaket kun er et alternativ til utbygging av nitrogentrinet i renseanlegg. I områder hvor det også skal investeres i ledningsnett og fosforfjerning kan bruk av de foreslåtte systemer være et interessant alternativ selv i eldre tettbebyggelse.

## Innledning

Nordsjødeklarasjonen (Bratli et al. 1991) har ført til en stor aktivitet for å fjerne næringssalter fra avløpsvann. For å nå målene i Nordsjødeklarasjonen skal det i de nærmeste årene satses milliardbeløp. Fjerning av nitrogen fra norsk avløpsvann krever teknologi som det tar tid å optimalisere og dessuten blir dette kostbart (Vann 1991).

Avløpsvann er en ressurs som inneholder næringssalter og organisk mate-

riale. Innholdet av nitrogen og fosfor i avløpsvann fra den norske befolkning tilsvarer omtrent 15% av kunstgjødsel-forbruket i Norge og har en gjødselverdi på vel 200 millioner kroner med dagens gjødselpriser (Jenssen og Vatn 1991). I dag taper vi det meste av denne ressursen til vann og vassdrag. Ved de planlagte nitrogenrensetiltak (denitrifikasjon) vil nitrogenet tapes til luft, både i form  $N_2$  og  $N_2O$  (lystgass).

Mesteparten av forurensningen i husholdningsavløp kommer fra vannklosettet (tabell 1)

Tabell 1. *Vannklosettets bidrag til forurensning i husholdningsavløp (Jenssen and Åsgård 1979, Kristiansen and Skaarer 1979).*

Stoff	%
Nitrogen	90
Fosfor	50—90*
Organisk materiale	75

\*) Avhengig av fosforinnholdet i vaskemidler.

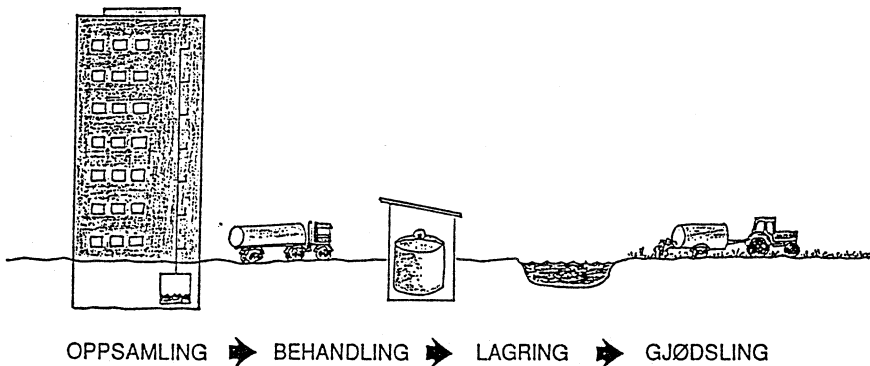
Når fosfatfrie vaskemidler benyttes, vil også 80—90% av fosforet i hushold-

ningsavløp komme fra toalettet (Kristiansen og Skaarer 1979).

Det finnes idag teknologi som gjør det mulig å behandle toalettavløp (svartvann) og BOV-vann (gråvann) separat og omdanne svartvannet til et gjødselprodukt uten store tap av nitrogen. Løsningene vil innebære endringer i infrastrukturen i avløpshåndteringen. Løsningskonseptene bygger imidlertid på komponenter fra kjent teknologi og vil kunne bli tatt i bruk med en begrenset utprøvig og optimalisering. Slike løsninger er skissert og diskutert i denne artikkelen.

### Løsninger i byer/tettbygd strøk

Løsningen er basert på at det nyttes vannsparende toaletter, og at alt svartvann ledes til en samletank. Det finnes flere typer av vannsparende toaletter i handelen idag. Disse gir samme komfort som et vanlig vannklosett. Ved å nytte vannsparende toaletter som bruker ca. 1 liter pr. spyling vil en boligblokk med 20 familier produsere ca. 10 m<sup>3</sup> svartvann pr. måned. Det vil tilsvare tømning 1 gang pr. måned. Med vanlig vannklosett ligger volumet 5—10 ganger høyere.



Figur 1. *Avløpsløsning for svartvann i tettbygd strøk.*

Fra samletanken kjøres avfallet til et behandlingsanlegg der der våtkomposteres.

Under behandlingen vil mesteparten av det organiske materialet bli omsatt, slik at nitrogen og fosfor vil foreligge på ioneform. Når næringsstoffene foreligger på ioneform, er de direkte plantetilgjengelige og vil ha en umiddelbar gjødseleffekt ved spredning i vekstsesongen.

Våtkompostering vil føre til en hygienisering av avfallet. Utenom vekstsesongen vil lagring være nødvendig. En ytterligere hygienisering vil skje under denne lagringen.

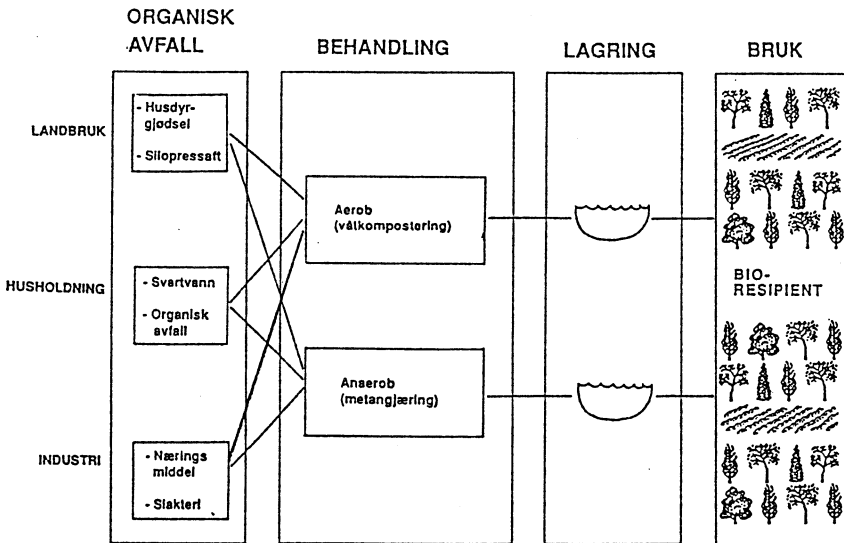
*Samkompostering — en total løsning for organisk avfall*

Svartvann inneholder lite tørrstoff. Det er derfor ikke sikkert at svartvann alene vil egne seg for våtkompostering.

Hvis svartvann blandes med andre typer organisk avfall vil tørrstoffprosenten kunne økes slik at en tilfredstillende kompostering oppnås. Det er flere typer avfall både fra landbruk, kommunal og industrisektor som kan blandes med svartvann (fig. 2).

Det fremgår av figuren at svært mange typer organisk avfall har potensiale til å kunne våtkomposteres. Ved å samkompostere organisk husholdningsavfall og svartvann oppnås en løsning på både avløps- og avfallsproblemet i kommunal sektor.

Dette krever imidlertid at rutiner for samkompostering av ulike avfallstyper utvikles. Slike forsøk er igang ved Institutt for tekniske fag ved Norges landbrukshøgskole, der det er utviklet en våtkomposteringsreaktor som kjøres uten nitrogentap (Skjelhaugen 1991). Reaktoren er utviklet for husdyrgjødsel,



Figur 2. Avfallstyper og mulige behandlingsmåter for fremstilling av et flytende gjødselprodukt fra avløp og avfall.

men er nå brukt til samkompostering av husdyrgjødsel og septikslam (Skjelhaugen et al. 1992, Hanssen et al. 1992). I disse forsøkene ble kravene til hygienisering i.h.t. SFT's foreslåtte retningslinjer for slambehandling oppfylt. Septikslammet hadde en tørrstoffprosent på 2%. Selv med et blandingsforhold på 75% slam og 25% storfejødsel (8% tørrstoff) ble tilfredstillende kompostering og hygienisering oppnådd. Forsøkene er planlagt videreført ved bruk av flere ulike avfallstyper bl.a. svartvann i blanding med husdyrgjødsel og/eller husholdningsavfall.

Med bruk av løsningen som er skissert over vil det være mulig å oppnå en fjerning og resirkulering av bortimot 90% for både fosfor og nitrogen. I tillegg vil 3/4 av det organiske materialet og mesteparten av de patogene mikroorganismene bli tatt hånd om. Ved konvensjonell teknologi/denitrifikasjonsteknikker er det praktisk mulig å fjerne mellom 50 og 70% av nitrogenet. Dette nitrogenet tapes til luft.

#### *Løsning for gråvann*

Gråvannet utgjør store vannmengder og vil, med unntak av der det finnes ekstremt gode infiltrasjonsmuligheter, kreve et ledningsnett. Gråvannet vil imidlertid sette mindre krav til ledningsnettet. Eksisterende ledningsnett vil derfor kunne få forlenget levetid. Gråvannet inneholder bare 10–20% av N og P i husholdningsavløp. Dette åpner muligheter for utslipp til mindre resipienter og vil kunne redusere behovet for lange samleledninger/tuneller og pumpestasjoner. Der det finnes gode sjøresipienter vil gråvann kunne ledes ut uten rensing. Forøvrig vil siling eller enkel biologisk rensing være tilstrekkelig.

#### **Løsninger for spredt bebyggelse, mindre husgrupper, randsoner**

Bruk av konvensjonell avløpsteknologi i spredt bebyggelse blir som regel dyrt p.g.a. lange ledninger for å samle avløpet. Løsninger med rensing på stedet ved bruk av infiltrasjon i jord eller minirensianlegg blir derfor benyttet i slike områder. Vanligvis er et konvensjonelt vannklosett utgangspunkt for dagens løsninger.

Mulige avløpsløsninger i spedt bebyggelse basert på separering av svartvann og gråvann er vist på fig. 3.

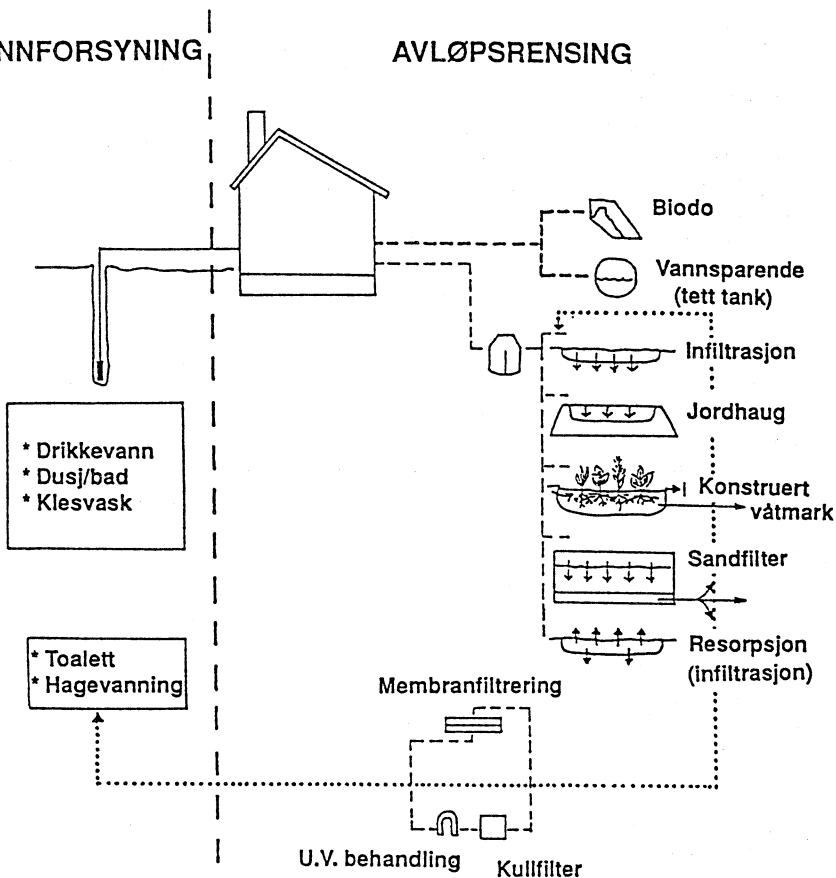
Ved bruk av vannsparende toaletter og tette tanker kan svartvannet våtkomposteres som tidligere beskrevet. Hvert hus kan ha egen svartvannstank. Det er og mulig å tenke seg løsninger for eneboliger/rekkehus basert på samling av svartvann gjennom vakum-/trykkledninger med liten diameter. Disse vil da kunne lede vannet frem til et behandlingsanlegg eller en felles samletank.

#### *Biologisk toalett*

I spredt bebyggelse vil og bruk av komposterende toaletter eller biodoer være mulig. Biologiske toaletter kan betraktes som små rensianlegg som fjerner 90% av nitrogenet omlag 80% av fosforet i tillegg til mesteparten av det organiske materialet. Dagens utgaver av biologiske toaletter kan brukes i frittliggende eneboliger. De vil imidlertid ikke kunne løse avløpsproblemet i mer tett bebyggelse uten en oppgradering. Dette vil innebære at problemene med lukt (utendørs), insekter og væskeoverskudd løses og at ammoniakktapet reduseres. Når disse problemene er løst, vil biodoen kunne anvendes i tettere boligformer enn idag f.eks. tett lavhusbebyggelse. Det er og psykologiske barrierer som hindrer utstrakt bruk av biologiske toaletter.

## VANNFORSYNING

## AVLØPSRENSING



Figur 3. VA-løsninger i spredt bosetning basert på separat behandling av svart- og gråvann.

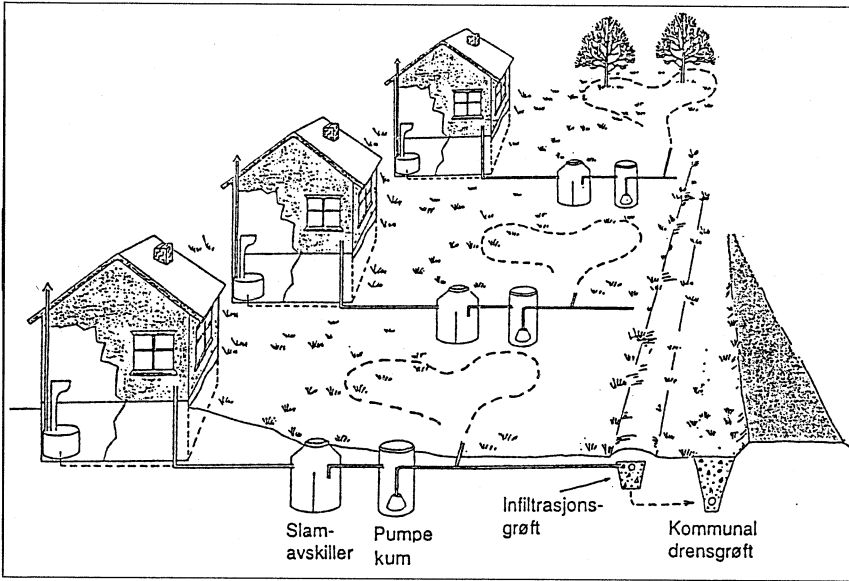
Biologiske toalett må tømmes en til flere ganger i året. Innholdet kan brukes som jordforbedringsmiddel rundt busker og trær.

### Gråvannsløsninger

For gråvann antyder fig. 3 ulike former for rensing i jord eller jord-/plantebaserte anlegg. Det vil og være mulig å resirkulere endel av gråvannet dersom det er ønskelig. I Norge er slike

forsøk er igang i regi av arkitektfirmaet Gaia (Berge 1991).

Den enkleste måten for behandling av gråvann vil være infiltrasjon. Områder der infiltrasjonsanlegg i henhold til gjeldende forskrifter og retningslinjer kan bygges er begrenset. Ved bruk av drenering kan imidlertid områdene der infiltrasjonsløsninger kan nyttes, økes betraktelig (fig. 4).



Figur 4. Gråvannsløsning for eneboliger/rekkehus i områder med finkornig/lavpermeabel jord. Vinterløsning ved infiltrasjon med drenering og sommerløsning med infiltrasjon i rotsonen.

Løsninger med drenering vil i hovedsak være aktuelle i områder med finkornige jordarter. Dette er jordarter med svært god evne til å filtrere og binde forurensningsstoffer. Selv om storparten av de patogene mikroorganismene finnes i svartvann, så inneholder også gråvann betydelige mengder tarmbakterier (USEPA 1978, Kristiansen og Skaarer 1979). Finkornig jord har imidlertid god renseevne overfor bakterier (Lewis et al. 1982, Jenssen and Siegrist 1990). En avstand på noen få meter vil derfor være tilstrekkelig for å rense avløpsvann og især gråvann. Drengsgrøften kan så lede vannet til nærmeste bekk eller vassdrag. Dette vil neppe føre til negative sideeffekter i og med at det er gråvann rensset i jord som slippes ut.

Dersom det er ønskelig kan gråvannet pumpes ut i rotsonen i sommerhalvåret, slik at planter kan ta opp næringsstoffene og dermed føre næringsstoffene tilbake i kretsløpet der de gjør nytte, ikke skade.

Det kan tenkes flere alternativer til bruk av naturlig jordsmonn som rensedium for gråvann. Dette kan være enkle optimaliserte sandfilterløsninger, minirensaneanlegg og plantebasert rensing (rotsoneanlegg). Oppsamling av gråvann i vinterhalvåret for bruk som vanningsvann i vekstsesongen er og en mulighet som har vært prøvd med godt resultat (Skaarer 1980). Denne løsningen vil imidlertid kreve forholdsvis stor investering i lagertanker.

## **Usikkerheter ved de skisserte løsninger**

### *Hygiene*

De skisserte løsninger er ikke ferdig utprøvd i alle ledd. Selv om våtkompostering er kjent, så mangler dokumentasjon på at svartvann lar seg behandle alene med et tilfredstillende hygienisk resultat. Det vil være helt avgjørende for i hvilken grad de foreslåtte løsningene skal kunne taes i bruk. Foreløpige resultater fra våtkompostering av husdyrgjødsel og septikslam (Skjelhaugen et al. 1992) gir imidlertid grunn til å tro at det bør være mulig å oppnå et tilfredstillende hygienisk resultat ved våtkompostering av svartvann. Dette krever også at tømning av tanker og transport av svartvann skjer på en hygienisk akseptabel måte.

### *Spredareal*

Løsningene er og avhengige av at det finnes tilgjengelig og ledig spredareal innenfor rimelig nærhet. Hva som er rimelig nærhet vil avhenge av transportkostnader.

### *Sosial og faglig aksept*

De foreslåtte løsningene bryter i stor grad med det som er vanlig måte å løse avløpspørsmålet. Det vil redusere behovet for bygging av tradisjonelle renseanlegg for kombinert avløpsvann, men vil gi nye utfordringer når det gjelder billig transport og rensing av gråvann. Forbrukeren vil sannsynligvis ikke merke særlig forskjell, så lenge det er utenfor huset de største endringene skjer. Det er imidlertid en viss forskjell på toaletter som bruker ekstremt lite

vann, og tradisjonelle vannklosetter. Det burde imidlertid ikke være vanskelig å motivere for overgang til disse toalettypene dersom driftssikkerheten er like god, og økonomien for brukeren ikke blir forverret.

### *Økonomi*

Foreløpige overslag viser at årlig kostnad ved svartvannsløsningen som er vist på fig. 1 vil variere fra ca. 1900—4100 kroner pr. husstand (3 p.e.)<sup>1</sup> Tallene gjelder bruk av løsningen for eksisterende bebyggelse og omfatter installasjon av vannsparende toalett og tank, våtkomposteringsanlegg og lager samt transport og driftskostnader.

Hvis dette tiltaket gjøres for å redusere nitrogen alene, så er kostnadene fra 156—337 kr/kg nitrogen fjernet. Det er her regnet at en person slipper ut 4,5 kg nitrogen pr. år og at løsningen fjerner 90% av dette nitrogenet. Grenseverdien for kostnadseffektive tiltak når det gjelder nitrogenfjerning er 100 kr/kg (Berger og Johnsen 1988). Dette viser at konseptet i fig. 1 ikke er kostnadseffektivt dersom det skal brukes i et område hvor renseanlegget bare skal oppgraderes for nitrogenfjerning. I områder hvor det skal bygges renseanlegg for både nitrogen og fosfor vil imidlertid kostnadseffektiviteten for det foreslåtte konseptet bli langt bedre. Det foreslåtte konseptet vil og være mer konkurransedyktig i områder der det kreves store investeringer på ledningsnett. Vi mener derfor at de foreslåtte løsningene vil kunne være kostnadseffektive for deler av den eksisterende bebyggelsen også i tettbygde strøk.

For ny bebyggelse, randsonebebyg-

<sup>1</sup>) Det er benyttet 7% realrente og 40 års avskrivningstid ved disse beregningene. Ved andre antagelser om realrente og avskrivningstid vil estimatene endres.

gelse og satelittsenter vil bruk av de foreslåtte løsningene være interessant. Ved ny bebyggelse vil imidlertid kostnadseffektiviteten ved bruk av de foreslåtte løsninger i stor grad avhenge av kostnaden til gråvannhåndteringen. Det er imidlertid helt klart at i endel områder f.eks. med gode sjøresipienter eller infiltrasjonsmuligheter, så vil bruk av desentraliserte løsninger kunne være svært interessant for ny bebyggelse.

### Konklusjoner

En avløpsløsning som fjerner mellom 80 og 90% av nitrogen og fosfor i avløpsvann og omdanner dette til et gjødselprodukt er foreslått.

Løsningen gir muligheter for behandling av organisk avfall fra kommunal- og landbrukssektoren og f.eks. organisk husholdningsavfall.

Løsningen bygger på kjent teknologi og vil kunne taes i bruk etter et begrenset utprøvnings- og optimaliseringsprogram.

Løsningen vil gi redusert vannforbruk og øke levetiden på det eksisterende avløpsnett.

Løsningen vil redusere det slamproblemet vi har idag.

De foreslåtte løsningene vil hindre at avfall oppstår, fremme ombruk, og sikre en miljømessig forsvarlig behandling av sluttproduktet.

Bruk av de foreslåtte konsepter vil redusere næringstoffbelastningen på ferskvanns- og sjøresipienter. Nyten av dette er vanskelig å måle i kroner, men rent vann er verdifullt og gir bedre muligheter for friluftsliv, turisme og næringsmessig utnytting i form av fiske samt bedre råvannskvalitet for vannverk.

### Litteratur

- Berger, M.S. og F.H. Johnsen, 1988. Kostnader ved tiltak mot landbruksforurensning. A-007-88, Norsk inst. for landbruksøkonomisk forskning, Oslo.
- Berge, B., 1991. Personlig meddelelse. GAIA Lista, 4560 Vanse, Norway.
- Bratli, J.L., E. Hauan, G. Ludvigsen, J.E. Pettersen, D.S. Rosland og M. Svelle, 1991. Nordsjødeklarasjonen — tiltak for å redusere næringsalltilførselene. SFT-rapport nr. 91:07.
- Jenssen, P.D. and R.L. Siegrist, 1990. Technology assessment of wastewater treatment of soil infiltration systems. *Wat. Sci. Tech.* 22(3/4): 83—92.
- Jenssen, P.D. and Vatn, A., 1991. Decentralized technologies — the future solution to high nutrient removal and recycling. In: H. Ødegaard (ed) *Emerging technologies in municipal wastewater treatment. Proc. International conference: Environment Northern Seas (ENS)*, Stavanger, Norway, pp. 191—207.
- Jenssen, P.D. and Åsgård, T., 1979. Avløpsløsninger og grunnvannsforsyning (påstedet-løsninger) i Lian — Vådanområdet i Trondheim kommune. Hovedoppgave ved Institutt for biologi og naturforvaltning, Norges Landbrukshøgskole, Ås.
- Kristiansen, R. and Skaarer, N., 1979. BOV-vannets mengde og sammensetning. *Vann* no. 2, pp. 151—156.



- Lewis, W.J., Foster, S.S.D. and Drasar, B.S., 1982. The risk of groundwater pollution by onsite sanitation in developing countries. A literature review. IRCWD Report no. 01/82, Dubendorf Switzerland.
- Skaarer, N., 1980. Rensing av avløpsvann ved infiltrasjon i rotsonen (resorpsjon) kombinert med lager. Ressursvennlige boligformer. Rapport nr. 3, Agricultural Univ. of Norway, Ås.
- Skjelhaugen, O.J., 1991. Liquid composting unit. Proc., International Seminar of the Technical Section of C.I.G.R. «Environmental Challenges and Solutions in Agricultural Engineering», Agricultural Univ. of Norway, Ås, Norway, July 1—4. pp. 52—57.
- Skjelhaugen, O.J., T. Sæther, J.F. Hanssen og P.D. Jenssen, 1992. Samkompostering av septikslam og husdyrgjødsel. Foreløpig rapport. Inst. for tekniske fag. NLH.
- Hanssen, F.F., O.J. Skjelhaugen, T. Sæther og P.D. Jenssen, 1992. Samkompostering av septikslam og husdyrgjødsel. Foreløpig rapport. Inst. for bioteknologifag. NLH.
- USEPA, 1978. Management of small waste flows. U.costs. Environmental Protection Agency, Municipal Environ. Research Lab., Cincinnati OH.
- Vann, 1991. Leder i Vann nr. 4, 1991, pp. 357—358.