

# Bruk av dammer og våtmarker til rensing av avløpsvann og sigevann fra fyllplasser

Av Trond Mæhlum,  
Roger Roseth og Arne Høyås

Trond Mæhlum er NFR-stipendiat i Jordforsk  
Roger Roseth er forsker i Jordforsk

Arne Høyås er forsker ved Institutt for økonomi og samfunnsfag, NLH

Innlegg på seminar i Norsk Vannforening 19. oktober 1995

## Sammendrag

Arikkelen presenterer 7 våtmarks- og damanlegg med foreløpige erfaringer. Anleggene inngår i FoU-programmet Naturbasert avløpsteknologi. Målsettingen er å utvikle og utprøve renseløsninger basert på våtmarks- og damsystemer under norske forhold. Det vil foregå en dokumentering av effekten av pilotanlegg i full-, meso- og laboratoriskala for husholdningsavløp og sigevann fra deponier. Renseanleggene ble etablert i perioden 1991-1995. Erfaringene vil bl.a. klarlegge renssevne og prosesser under vinterforhold og potensialet for bruk av filtermaterialer med høy P-binding, som Leca lettklinker. Foreløpige erfaringer viser at våtmarksfiltrene med Leca holder tilbake 97% av fosforet. Det er ikke registrert årstidvariasjoner i rens effekten for organisk stoff, nitrogen og fosfor i anleggene for

husholdningsavløp. Disse løsningene kan være kostnadseffektive for spredt bebyggelse i bl.a. leirjordsområder. Det vil også være behov for driftseksensive løsninger i sigevannshåndteringen i årene som kommer. Aerob forbehandling i luftede dammer etterfulgt av sedimenteringsdammer og våtmarksfiltre kan være en aktuell behandlingsmetode for mange fyllplasser.

## Abstract

### Treatment of wastewater and landfill leachate in wetlands and ponds

Seven Norwegian full-scale subsurface flow constructed wetlands which treat domestic wastewater or, in two cases, landfill leachate, have been evaluated. Expanded clay aggregates, sand and gravel have been used in the wetland construction; Phragmites and Typha have been planted. On a year-round basis, the facilities have removed 49-84% of the organic matter, 37-89% of the suspended solids, 42-97% of the phosphorus, and 39-76% of the nitro-

gen. Especially interesting are the wetlands at Haugstein and Søndre Tvetter, where 97% of the phosphorus continues to be removed after 3-4 years of operation and cold winters (nearly -20 °C) have not affected the removal efficiency. These wetland systems, together with ponds for pretreatment or polishing, have potential for use both on domestic wastewater from sparsely settled areas with clay soil and landfill leachate, for which most Norwegian landfills have no treatment.

## **Innledning**

Våtmarkene virker som naturlige filtre og leveområder for en lang rekke lavede- og høyerestående organismer. Disse bryter ned, omdanner, binder og nøytraliserer ulike forurensninger som f.eks. organisk materiale, næringssalter, jordpartikler, metaller, organiske miljøgifter og surt avløp. I de siste 15-20 årene har behandling av forurenset vann i naturlige og kunstig etablerte våtmarker internasjonalt fått en stor utbredelse, og slike løsninger blir ofte omtalt som svært lovende. Erfaringene så langt er imidlertid varierende og stor spennvidde i valg av konsepter og forskjeller i rensekraft for de ulike lokalitetene. Våtmarker, som ofte kombineres med ulike damsystemer, brukes til rensing av mange ulike forurensningstyper. Kildene til forurensningen kan være diffuse, som avrenning fra landbruk og urbane områder (vegavrenning), eller punkt-kilder som kloakk (svartvann og gråvann), sigevann fra fyllplasser, avløp fra næringsmiddelindustri, oljevirk-somhet og surt gruvealvlop.

Behandling av forurenset vann i våtmarker er arealkrevende, men egnede arealer er ofte tilgjengelige i spredt bebygde strøk. En relativt kort vekstsesong med kjølige vintre og høye krav til rensing forventes å være den største begrensningen for renseseffekten, og dermed utbredelsen for slike løsninger i Norge. Potensialet antas derfor å være størst langs kysten av Sør-Norge. Utprøving og utvikling av nye filtermaterialer for å bedre rensesevnen for fosfor, er en viktig tilpasning av slike rensemetoder for norske rensekraft.

Bruk av biologiske nedbrytningsdammer (biodammer) har liten utbredelse i Norge. Dette skyldes i hovedsak dårlig rensesevne for organisk materiale vinterstid. Renseseffekten for fosfor er ustabil og vanligvis lav hele året. Biodammer uten ekstern lufttilførsel er arealkrevende. Rensedammer har imidlertid et potensiale som forbehandling eller etterpolering i tilknytning til andre systemer, som f.eks. våtmarker.

De fleste avfallsdeponiene i Norge har ingen rensing av sigevannet. Sigevannet er et av de viktigste miljøproblemmene ved håndtering av fast avfall. Ubehandlet sigevann kan utgjøre en svært stor lokal belastning på vann og vassdrag med tilførsel av organisk stoff, nitrogen, smittestoff og miljøgifter. Nedlagte fyllplasser kan lekke forurenset sigevann i flere hundre år etter avslutningen. Sigevannets spesielle sammensetning gjør at bruk av konvensjonell renseteknologi er kostbart og usikker mht. renseseffekt.

Utslipp fra spredtbygd bosetning i leirjordsområder og ukontrollert utslipp

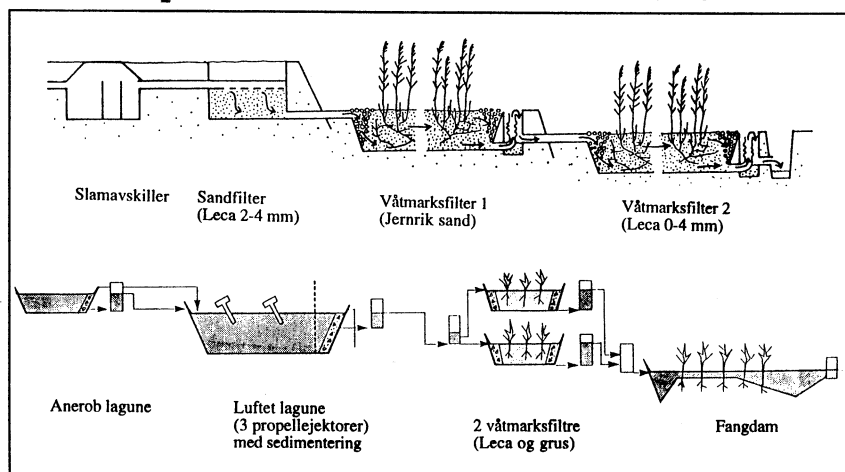
av sigevann fra avfallsdeponier er derfor valgt ut for uttesting av våtmarks-systemer og dammer. Bruk av våtmarks-filtre som nitrogenfjerningstrinn og som etterpoleringstrinn for prosess tekniske konvensjonelle rensemetoder (kjemisk/ biologisk) vinner også stadig større utbredelse. I bl.a. Sverige og USA finnes flere eksempler på slike kombinasjons-anlegg for flere tusen pe. I Norge har det siden 1990 foregått FoU-arbeid på bruk av våtmarksfiltre i regi av Høgskolesenteret i Rogaland, Fylkesman-nen i Rogaland, NIVA og Jordforsk.

En overordnet målsetting med denne delen av NAT-programmet er å utvikle og utprøve renseløsninger basert på våtmarks- og damsystemer under norske forhold. Det vil foregå en dokumentering av effekten av pilotanlegg i full-, meso- og laboratorieskala for hus-holdningsavløp og sigevann fra depo-nier. Erfaringene vil klarlegge renssev-

ne og prosesser under vinterforhold. Utredning av mulighetene for bruk av filtermaterialer med høy P-binding, som f.eks. Leca lettklinker blir vektlagt. Sammen med studie av internasjonale erfaringer vil resultatene gi grunnlag for å utarbeide retningslinjer for dimen-sjonering og drift.

## Beskrivelse av anlegg og prøvetaking

Denne presentasjonen omfatter 7 våtmarks- og damanlegg prosjertert av JORDFORSK i samarbeid med Nes kommune (Esval), Hjellnes COWI a/s (Bølstad) og Gaia Lista (Søndre Tvetter innedørsfilter). Anleggene ble etablert i perioden 1991-1995. I tillegg er det etablert laboratoriemodeller av våtmar-ker der rensprosesser kan studeres i klimakontrollerte rom. Anleggenes bel-liggenhet og oppbygning er beskrevet i



Figur 1. Flytskjema av Haugstein våtmarksfilter (øverst) og Esval rensepark (nederst). Begge anleggene har aerobe rensetrinn og sedimentering i begynnelsen etterfulgt av våtmarksfiltre.

**Tabell 1. Våtmarker og damsystemer som følges opp i NAT-programmet i regi av JORDFORSK.**

Lokalitet	Kommune	Råvann	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> (p.e.)	Eta- blert	Komponenter
Haugstein	Enebakk	Husholdnings- avløp	2(10)	1991	Slamavskiller, forfilter, 2 våtmarksfiltre i serie
Søndre Tvetter	Vestby	Husholdnings- avløp	2(10)	1992	Slamavskiller, 1 våtmarksfilter
Østegarden	Rælingen	Husholdnings- avløp og melkeromavl.	2(10)	1994	Slamavskiller, pumpe- kum, forfilter og våt- marksfilter
Søndre Tvetter	Vestby	Gråvann og urin	1(10)	1994	Slamavskiller, lufting og innendørs våtmarksfilter
Esval	Nes	Sigevann fra deponi	100	1993	Anaerob lagune, luftet lagune, 2 paralelle våt- maksfiltre, fangdam (tilplantet grunn dam)
Bølstad	Ås	Sigevann fra deponi	75	1994	Luftet lagune, sediment. dam, 4 våtmarksfiltre (pilotskala)
Laboratoriet	Ås	Husholdnings- avløp		1995	Kolonner og våtmarks- filtre (lysimeter)

tabell 1. Figur 1 viser et flytskjema av Haugstein våtmarksfilter og Esval rensepark.

Fullskala-anleggene har hatt en rutinemessig oppfølging siden oppstart. Opplegget innebærer feltbesøk på alle lokaliteter hver måned med innsamling av vannprøver, registrering av vannføringsdata samt andre observasjoner. Under valg av prøvetakingstidspunkter er det lagt opp til å prioritere særegne klimatiske episoder som lav temperatur, dyp tele, snøsmelting, tørke med

høy evapotranspirasjon, mye nedbør og forøvrig spesielle belastningsforhold. Det er lagt opp til et mest mulig enhetlig valg av vannkvalitetsparametre. Sigevann har også en overvåkning mht. miljøgifter. Totalt sett forventes oppfølgingsplanen å gi en god oversikt over drift og renseeffektivitet for anleggene under ulike driftsforhold.

Filtrene på Haugstein består av Leca lettklinker (2-4 mm i forfilter og 0-4 mm i våtmarksfilter 2), og jernrik for-

vitringssand (våtmarksfilter 1). Filterflatene, som er tilplantet med takrør og dunkjevle, er tilsammen ca 100 m<sup>2</sup>, dybden er ca 90 cm. Bunnen og sidene av filteret er avgrenset av en geomembran. Anlegget er instrumentert med temperaturfølere som datalogges.

Søndre Tvetter våtmarksfilter består av Leca lettklinker (0-2 mm), og er på ca 110 m<sup>2</sup>, med dybde 90 cm. Filteret, som også er tilplantet med takrør og dunkjevle, er avgrenset i bunn og sider med en geomembran. Anlegget er enklere utformet enn Haugstein.

Østegården våtmarksfilter er belastet med avløpsvann og melkeromsavløp. Prosjektet skiller seg fra de to ovenfor ved at det er lagt større vekt på aerob forbehandling i et 20 m<sup>2</sup> trykkbelastet Leca filter med vertikal strømming. Våtmarksfilteret består av jernrik forvitringssand.

Søndre Tvetter innendørs våtmarksfilter består av et 20 m<sup>2</sup> innendørs våtmarksfilter (vinterhage) som behandler gråvann og urin fra to husstander med urinseparerende toalettssystem. Filtermassene består av Leca lettklinker (2-4 mm) tilplantet med dunkjevle. En luftenhet er tilknyttet filteret.

Esvall rensepark er lokalisert i bunnen av en ravinedal forran fyllingsfronten til Esvall fyllplass. Leirdemninger avgrensede de ulike trinnene. Den viktigste enheten i anlegget består av en luftet lagune som tilføres oksygen via tre flytende 3 kWh propellejektorer (AIRE-O<sub>2</sub>). Gjennomsnittlig teoretisk oppholdstid i lagunen er 30 dager. Vannet fra en sedimentasjonssone i lagunen filtreres gjennom to parallelle våtmarksfiltre, hver 350 m<sup>2</sup> med henholdsvis

vasket rundsingel og Leca lettklinker (8-15 mm knust). Filtrene er tilplantet med dunkjevle og takrør. Siste trinn er en grunn våtmark (fangdam).

Bølstad renseanlegg består av langtidslufting (teoretisk oppholdstid 20 dager) i en lagune med to flytende propellejektorer, hver på 5 kW. Fra lagunen passerer vannet en sedimentasjonssone før utslipp i en bekk. Et mesoskala pilotanlegg med testing av ulike tilplantede filtermaterialer (Leca lettklinker, vasket rundsingel og Expo-Net Bioblokker) ble delvis ferdigstilt i 1995 og er nå i drift. Det er gjort forsøk med fosfortilsetning for å bedre renseseffekten i lagunen.

Det er foretatt laboratorieundersøkelser av ulike filtermaterialer som anvendes i våtmarksfiltre. Bindingsegenskaper for fosfor er undersøkt i bl.a. rysteforsøk. I et av Jordforsk's klimallaboratorier er en modell av våtmarksfilter tatt i bruk i 1995. Modellen omfatter 6 ulike kar fylt med sand og Leca lettklinker, tilplantet med takrør. Karene tilføres avløpsvann. Modellen tester effekten av filtermaterialet, aerob forbehandling, effekten av tilplanting, røttenes innvirkning på hydrauliske forhold i filteret og temperaturens innvirkning på renseprosessene. Det er gjort studier av strømningsforhold og retensjon ved hjelp av tracere (tritium og bromid).

## Resultater

Utdrag fra sammenstillingen av analysedata frem til 01.01.96 er vist i Tabell 2. Anleggene er mer utfyllende beskrevet og rapportert i Jenssen et al. (1993),

**Tabell 2. Renseresultater<sup>1)</sup> for sentrale parametre i forsøksanleggene våtmarker og damsystemer som følges opp i NAT-programmet i regi av Jordforsk.**

Lokalitet	Organisk stoff									Fosfor			Nitrogen		
	KOF			BOF			SS			P-tot			N-tot		
	Inn	ut	%	Inn	Ut	%	Inn	Ut	%	Inn	Ut	%	Inn	Ut	%
Haugstein	262	58	78	171	22	87	60	20	67	10,8	0,3	97	96	39	59
S.Tveter	424	101	76	151	24	84	66	28	57	10,4	0,3	97	98	48	56
Østegården	280	98	65	-	-	-	57	36	37	8,2	0,5	94	78	19	76
Esval	422	214	49	67	31	53	350	40	89	1,0	0,4	60	128	78	39
Laboratoriet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	37	66

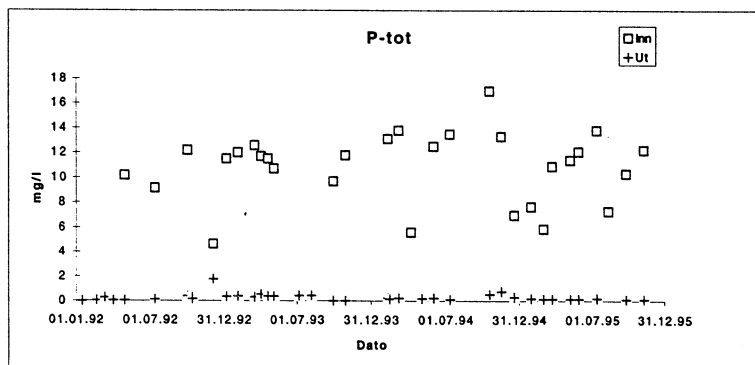
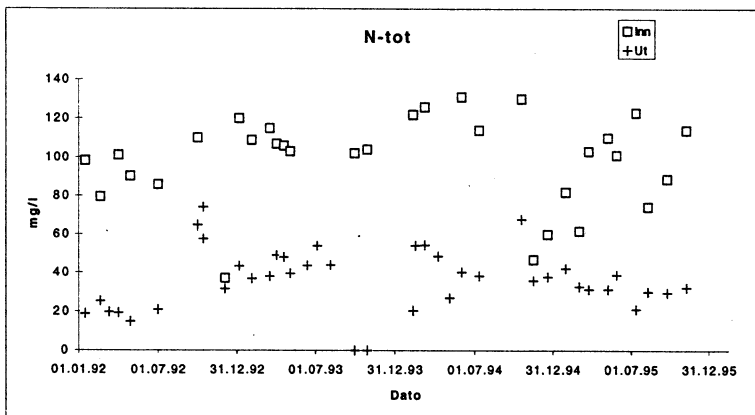
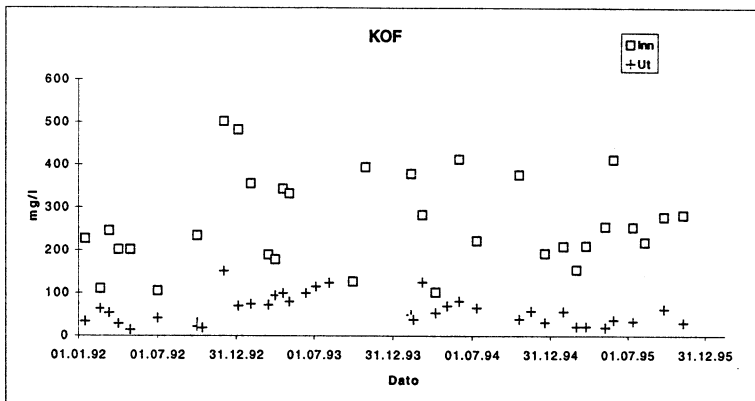
<sup>1)</sup> Alle data (inn og ut) er gjennomsnittsverdier i mg/l (ppm). Renseevne (%) er ikke justert for fortykning eller evapotranspirasjon. Oppfølgingsperioden går frem til 31.12.95. Anleggenes etableringsår er gitt i tabell 1.

Mæhlum (1995), Mæhlum et al. (1995) a og b. Tabell 2 viser % reduksjon av ulike parametre i anleggene omtalt ovenfor. Tabellen viser gjennomsnittsverdier for inn- og utløp av renseanlegget. Figur 2 viser årstidsvariasjoner for KOF, P-tot og N-tot i innløp og utløp av Haugstein våtmarksfilter i oppfølgingsperioden.

Særlig interessant er det å følge utviklingen av våtmarksfilterne på Haugstein og Søndre Tveter. Etter 3-4 års drift er det ikke mulig å se noen reduksjon i renseevnen for fosfor. Resultatene viser også at det er svært liten forskjell i renseevne gjennom de ulike årstidene (figur 2). Så langt i oppfølgingsperioden har det vært både snørike og snøfattige vintre og temperaturer ned mot -20°C uten at det har påvirket resultatene i disse anleggene. Begge anleggene tilfredstiller de strengeste

kravene som settes til minirensanlegg, med BOF < 20 mg/l og total fosfor < 1 mg/l i effluenten. Det er dessuten en betydelig reduksjon av nitrogen og patogene bakterier. En forventet utvikling mht. renseevne vil være en viss økning i nitrogenfjerningskapasiteten og en gradvis reduksjon av fosforbindingsevnen. Fosforbindingsevnen i filtermassene er beregnet å vare i over 10-15 år før utskifting er nødvendig.

I Esval rensepark har det tidligere oppstått problemer med lufteejektorer som følge av lengre kuldeperioder og snø og lite tilsyn. Slike erfaringer er ikke blitt gjort i Bølstad renseanlegg. Bølstad renseanlegg har i perioder motatt store mengder overvann pga. utilstrekkelige avskjæringer på fyllplassområdet. I Bølstad er det registrert en betydelig nitrifikasjon (>80%) i lagunen etter tilførsel av fosforsyre, også



Figur 2. Årstidsvariasjoner for KOF, P-tot og N-tot i innløp og utløp av Haugstein våtmarksfilter i oppfølgingsperioden 01.01.92 - 31.12.95.

når vanntemperaturen er lav ( $< 5^{\circ}\text{C}$ ). Høy nitrifikasjon i forbehandlingstrinnet er også observert i Haugstein og i laboratoriet. Nitrifikasjon i forbehandling er svært gunstig for påfølgende denitrifikasjon og nitrogenfjerning i våtmarksfiltere. Erfaringer fra fullskala-anlegg vil bli sammenholdt med datamodeller mht. temperaturens innvirkning på frost i anleggene og behov for isolasjon. Dette vil også gi et grunnlag for å klarlegge i hvilke klimasoner slike renseløsninger kan anvendes.

## **Nytte-kostnadsvurdering mellom våtmarksanlegg og minirensesanlegg**

Kostnadene ved etablering og drift av våtmarksfiltere som er tilpasset norske klima- og rensekrav blir ofte etterspurt. Det er behov for å sammenlikne forskjellige naturbaserte våtmarksløsninger kostnadmessig og miljømessig i forhold til dagens aktuelle løsninger. Ved vurdering av hvilke tiltak som bør iverksettes, er det naturlig å ta utgangspunkt i kostnadseffektivitet og rensesensiale. Den mest kostnadseffektive løsningen vil være et anlegg som holder de rensekrav som myndighetene setter, til lavest mulig kostnad. Som et eksempel på våtmarksanlegg, har vi gjort en kostnadsvurdering av et våtmarksfilter for 5 p.e. (enebolig). Løsningen tar for seg selve behandlingsdelen av avløpsvannet. Behandlingen er i korte trekk: Slamsedimentering, forfiltrering (avløpsvannet strømmer vertikalt gjennom forholdsvis grovt Leca medium) og rot-soneanlegg. Filteret er beplantet. For å

sette det i en økonomisk sammenheng med lignende behandlingstyper, vil våtmarksanlegget bli sammenlignet med tilsvarende minirensesanlegg.

Forutsetninger:

- Ikke mulighet for å knytte seg til et kommunalt avløpsnett.
- Jordtype i området er leire.
- Ingen egeninnsats.
- Leca lettklinker benyttes som filtermedium.
- Transportkostnader er ikke medregnet.
- Rørledning inn/ut av anleggene er ikke tatt med i kostnadsberegningene.

Pr. i dag er det de små våtmarksanleggene som er utprøvd over lengst tid med tanke på kostnader og rensesgrad. Renseeffekten er så høy at det er naturlig å sammenligne våtmarksanleggene med minirensesanlegg av klasse 1. I dette eksempelet har vi gjort sammenligninger med et minirensesanlegg fra Biovac, type FD 5 p.e. Avløpsvannet ut fra våtmarksanlegget ligger på samme nivå som minirensesanlegget med BOF på ca 20 mg/l. Fosfor renses bedre i våtmarksanlegg og konsentrasjonen ut av anlegget ligger de første leveårene på 0,2-0,5 mg/l. Et tilsvarende minirensesanlegg har et utslipp på ca 1 mg/l. Det er knyttet en viss usikkerhet til levetiden på rensemediet i et våtmarksfilter. Antatt levetid mht. fosfor er ca 15 år, med noe synkende renseseffekt mot slutten av perioden.

Tabell 3 viser at de årlige kapitalkostnadene for våtmarksanlegget, dimensjonert for 5 p.e., er 1.275 kr, hvilket er



**Tabell 3. Kostnadsoversikt for våtmarks- og minirensesanlegg dimensjonert for 5 p.e.**

Våtmarks- anlegg 5 p.e	Invest.- kostn. kr.	Kapital- kostn. kr.	Minirens- anlegg 5 p.e	Invest.- kostn. kr.	Kapital- kostn. kr.
Tot. anleggs- kostn.	63.800	80.900	Tot. anleggs- kostn.	116.000	144.400
Tot. driftskostn.		1.000	Tot. driftskostn.		2.700
Årlige kap. kostn.		5.377	Årlige kap. kostn.		9.597
Driftskostn.		1.000	Driftskostn.		2.700
Årlige drifts- og kap.kostn.		6.377	Årlige drifts- og kap.kostn.		12.297
Årlige drifts- og kap.- kostn.pr. p.e.		1.275	Årlige drifts- og kap.- kostn. pr. p.e.		2.459

*Antatt levetid opp til 40 år, faste 1994-priser, gjennomsnittlig realrente er 6%. Beregningene er gjort av Høyås (1996).*

ca 50 % under et tilsvarende minirensesanlegg fra Biovac. Forskjellen skyldes hovedsaklig at de forskjellige delene i våtmarksanlegget har lang levetid og lave investeringskostnader. Behovet for driftsettersynet er minimalt slik at driftskostnadene er langt lavere enn for et minirensesanlegg. En stor del av anleggskostnadene i våtmarkssystemet skyldes filtermassen. I dette eksemplet har vi brukt Leca lettklinker. Oppskalering av anleggene kan favorisere prosessstekniske løsninger eller kombinasjonsløsninger pga. store utgifter til filtermateriale. Dersom et naturlig materiale med samme filteregenskap kunne nyttes som alternativ til Leca lettklinker ville kostnadene blitt redusert. I dag utgjør sandprisen ca 1/3 av tilsvarende fraksjon i Leca lettklinker. Ved bygging av våtmarksanlegg vil det også

være mulighet for egeninnsats. Er en tilstrekkelig maskinpark tilgjengelig, kan det være mulig å bidra i selve utgravningen, transport av masser og beplantning.

## Konklusjon

Dersom den høye renssevnen opprettholdes i våtmarksfiltre for husholdningsavløp kan renseløsningen vurderes godkjent for bl.a. bruk i områder der løsmassene ikke tillater infiltrasjonsløsninger. Et aktuelt bruksområde som foreløpig skiller seg ut i denne sammenhengen er behandling av avløp fra spredt bebyggelse i leirjordsområder. Kost/nytte analyser viser at våtmarksfiltre for enkelthus kan være kostnadseffektive sammenliknet med minirensesanlegg. Bruk av våtmarksfiltre som etterpolering og nitrogenfjerningstrinn

for mindre kommunale renseanlegg ser også ut til å være en interessant mulighet.

Kravene til en miljømessig forsvarlig drift av kommunale fyllplasser skjerpes stadig. En rekke fyllplasser vil få pålegg om lokal behandling av sigevannet i årene som kommer. Bruk av luftet lagune i kombinasjon med våtmarker eller andre naturbaserte løsninger kan være en aktuell løsning på mange lokaliteter.

## Litteratur

Høyås, A. 1996. Økonomiske betraktninger av våtmarksfiltre for norske forhold. Rapport IØS, NLH. (under utarbeidelse).

Jenssen, P.D., T. Mæhlum og T. Krogstad. 1993. Potential use of constructed wetlands for wastewater treatment in northern environments. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 28. No. 10, pp. 149-157.

Mæhlum, T. 1995. Treatment of landfill leachate in on-site lagoons and constructed wetlands.

*Wat. Sci. Tech.* Vol. 32, No. 3, pp. 129-135.

Mæhlum, T., K. Haarstad and P.I. Kraft. 1995. On-site treatment of landfill leachate in natural systems. I: T.H. Christensen et al. (red): Sardinia 95, fifth int. landfill symposium, Proc. Vol III, pp. 463-469.

Mæhlum, T, P.D. Jenssen og W.S. Warner. 1995. Cold climate constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 32, No. 3, pp. 95-101.