

# Behandling av sigevann i luftet lagune og våtmarksfiltre

Av Trond Mæhlum

Dr.scient. Trond Mæhlum er ansatt som forsker ved Jordforsk

## Sammendrag

Artikkelen presenterer driftserfaringene med to forsøksanlegg for rensing av sigevann fra fyllinger med kommunalt avfall. Renseanleggene Esval og Bølstad i Akershus behandlet sigevannet i en luftet lagune og sedimentasjonsbasseng etterfulgt av våtmarksfiltre. Den viktigste effekten av anleggene er reduksjon av lettomsattelig organisk stoff (BOF), ammonium nitrogen og redusert jern, siden ammonium er toksisk for bl.a. fisk og alle disse forbindelsene forbruker oksygen i resipienten. Luftet lagune og sedimentasjon viser en reduksjon av organisk materiale (KOF) og jern på henholdsvis 40-60% og 70-80%. 30-40% av total nitrogen og ammonium nitrogen er fjernet i lagunen i samme periode. Våtmarksfiltrene har hatt størst effekt for suspendert stoff og lettomsattelig organisk stoff, BOF (>40%), effekt på øvrige parametre har vært lav (<20%), sannsynligvis pga. overbelastning. Økende og variabel hydraulisk belastning, lav vanntemperatur, snø, frost og

tilførsel av partikulært materiale fra avrenning på fyllplassområdet har skapt problemer for renseprosessene i lagunene og i filtrene. Utslipp av giftige tungmetaller har vært svært lavt. Funn av organiske miljøgifter er betenkelig for enkelte stoffgrupper, men stikkprøver antyder at stoffene holdes tilbake i renseanlegget eller nedbrytes. Ved etablering av nye renseanlegg anbefales bedre kontroll med sigevannets slamalder i luftesystemet før evt. påfølgende filtrering i arealkrevende naturbaserte filtersystemer.

## Innledning

Produksjon og utslipp av forurenset sigevann fra fyllplasser representerer et stort problem ved håndtering av avfall. Konsentrasjonen av forurensende stoffer i sigevann kan være svært høy. Dette kan gi til alvorlige miljøeffekter, særlig i sårbare resipienter som bekker og grunnvannsforekomster. Retningslinjer fra SFT med skjerpede krav til drift og

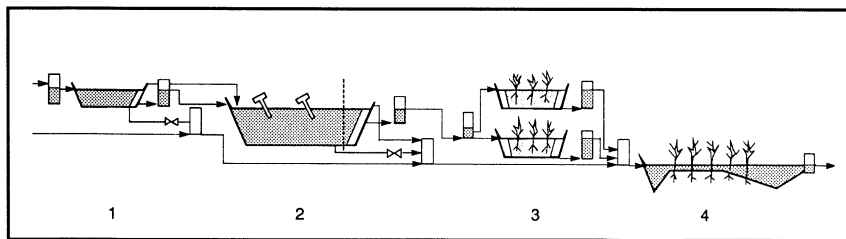
kontroll av fyllingene og påfølgende strengere konsesjonskrav fra Fylkesmannen har aktualisert behovet for lokal sigevannsbehandling. Fyllingen kan lekke ut forurensede stoffer i svært lang tid, opptil flere hundre år. En generell beskrivelse av sigevannets sammensetning og lokale behandlingsmetoder er gitt av Mæhlum og Harstad (1998) og Haarstad et al. (1998).

I program for Naturbasert avløps-teknologi (NAT 1994-97) ble luftet lagune i kombinasjon med sedimentering og våtmarksfiltre testet ut som behandling av sigevann fra avfallsfyllinger. Laguneanlegg er internasjonalt en kjent og utbredt metode for sigevannsbehandling. Sigevann inneholder vanligvis så høy andel av reduserte forbindelser at det ikke kan gjennomgå en filtrering uten at det skjer en aerob forbehandling først. Uten en effektiv lufting og slamseparering vil filterløsninger raskt gjentettes. Våtmarksfiltre er derimot et relativt nytt konsept, spesielt i norsk sammenheng. Internasjonalt er våtmarksfiltre i dag brukt til behandling av en rekke ulike organiske og uorganiske vannforurensninger. Det er det aktive mikrobielle miljøet i rotsonen som danner grunnlaget for nedbrytning, omsetning og retensjon. Ar-

tikkelen beskriver renseanleggene for sigevannet fra Esval og Bølstad fyllplasser i Akershus hvor kombinasjonen av lagune og våtmarksfilter har blitt testet ut i regi av NAT-programmet (Mæhlum 1998a, b). Jordforsk har hatt ansvar for overvåkning av renseanleggene. Overvåkningen omfatter analyser av inn- og utløpsvann i samsvar med fastsatt analyseprogram, foruten kontroll av prosessene i anlegget. En viktig målsetting med prosjektet har vært å fremskaffe erfaringer med naturbaserte metoder for behandling av sigevann.

## Beskrivelse av anleggene *Esval*

Esval fyllplass i Nes kommune ble etablert i 1972 i den øvre delen av et 1-2 km langt ravinedalføre som munner ut i Vorma. Deponiet hadde i 1997 et areal på 70 da hvorav aktivt deponi utgjorde 20 da. Fyllplassen er uten bunntetting. Sigevannsoppsamlingen antas likevel å være god siden grunnen under fyllplassen består av marine avsetninger med relativt fast siltig leire. På begynnelsen av 90-tallet ble Esval utvidet fra kommunal til interkommunal fyllplass og har siden mottatt blandet hushold-



Figur 1. Flyteskjema for Esval renseanlegg

**Tabell 1. Oversikt over dimensjonene til de ulike delene av Esval renseanlegg og teoretiske oppholdstider for vannet ved ulike vannføringer.**

| Anleggs-<br>komponent | Bredde<br>(m) | Lengde<br>(m) | Middel<br>dyp (m) | Areal<br>(m <sup>2</sup> ) | Volum<br>(m <sup>3</sup> ) | Teoretisk oppholdstid (døgn)* |                    |                    |
|-----------------------|---------------|---------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
|                       |               |               |                   |                            |                            | 50 m <sup>3</sup>             | 130 m <sup>3</sup> | 500 m <sup>3</sup> |
| Sedimentering         | 15            | 30            | 1,5               | 450                        | 675                        | 14                            | 5                  | 1                  |
| Lagune                | -             | -             | 1,5               | 2750                       | 4125                       | 82                            | 32                 | 8                  |
| Filter-lettklinker    | 12            | 33            | 0,9               | 400                        | 340                        | 5**                           | 2                  | 0,5                |
| Filter- naturgrus     | 12            | 33            | 0,9               | 400                        | 340                        |                               |                    |                    |
| Fangdam               | -             | -             | 0,5               | 2000                       | 1000                       | 20                            | 8                  | 2                  |
| SUM                   | -             | -             | -                 | 6000                       | 6000                       | 122                           | 47                 | 12                 |

\* Teoretisk oppholdstid ved sigevannsmengder på hhv. sommerstid, årsmiddel og flom. Tiltførsel av overflateavrenning fra nedbørfeltene rundt anlegget er ikke medregnet.

\*\* Ved beregning av teoretisk oppholdstid for våtmarksfiltrene er porevolumet til grus og lettklinker satt til 40%, noe om gir et samlet porevolum (vannvolum) på ca. 280 m<sup>3</sup> i filtrene.

ningsavfall, industriavfall og bygningsavfall, ca 50 000 tonn pr år. I perioden 1972-97 ble det deponert ca 1 066 000 m<sup>3</sup> (ca 600 000 tonn).

I 1992/93 ble det bygget et lokalt tilpasset renseanlegg i fire trinn: 1) sedimenteringsbasseng, 2) en ekstensiv luftet lagune med tre flytende 3 kW propellejektorer, 3) to våtmarksfiltre med horisontal strømming i henholdsvis grus og lettklinker og 4) en åpen tilplantet etterpoleringsdam for overvann og sigevann. Tabell 1 gir en oversikt over dimensjonene til de ulike delene av anlegget og teoretisk oppholdstid for vannet ved ulike vannføringer. Teoretisk oppholdstid i hele anlegget ved midlere vannføring er 45 dager. Bassengene og filtrene er etablert ved å bygge opp leirdammer ved naturlige innsnevring i terrenget. Anlegget ble satt i drift i juli 1993. Anleggskostnadene var ca kr 2 000 000 inkludert tilrettelegging med 300 m adkomstvei og avskjæring av rent overvann. Driftskostnadene utgjør årlig kr 25-50 000 (strøm), foruten ukentlig inspeksjon, analyser og overvåkning (månedlig).

## Bølstad

Bølstad renseanlegg renser sigevannet fra Bølstad kommunale fyllplass i Ås kommune. Fyllplassen, som ligger i en ravinedal langs Bølstadbekken mellom Østensjøvannet og Årungen, ble etablert i 1962 og dekker et område på ca 45 da. Bølstad har mottatt blandet husholdningsavfall, ca 7000 tonn pr år, til sammen ca 200 000 tonn. Fyllingen ble avsluttet i 1997. Renseanlegget ble etablert langs Bølstadbekken, ca 250



*Figur 2. Flyfoto av Bølstad renseanlegg*

meter nedenfor fyllingsfronten, og anlegget ble satt i drift november 1994. Anlegget består av en luftet lagune ( $2000 \text{ m}^3$ ) med to 5 kW propellejktorer, overløps- og målestasjon, sedimenteringsbasseng ( $300 \text{ m}^3$ ) etterfulgt av våtmarksfiltre i pilotskala ( $4 \times 10 \text{ m}^2$ ) for en delstrøm av sigevannet. Teoretisk oppholdstid ved midlere vannføring ( $85 \text{ m}^3/\text{d}$ ) er ca 30 dager. Anleggskostnadene inkludert tilrettelegging med 300 m adkomstvei var NOK 1 500 000. Driftskostnader (strøm og kjemikalier) utgjør årlig NOK 50 000, foruten analyser og overvåkning (månedlig inspeksjon).

Sigevannets sammensetning av næringsstoffer er ikke gunstig for produksjon av biologisk slam i luftet lagune. Generelt vil sigevann fra metanfasen

inneholde lite organisk stoff som er lett nedbrytbart, mye ammonium nitrogen og svært lite fosfor. For biologisk behandling er det ideelle næringsforholdet BOF:N:P oppgitt til ca 100:3:1. Forholdet mellom nitrogen og fosfor i råvannet på Bølstad er i størrelsesorden 200:1. Det ble derfor regelmessig tilført fosfor (ca 5 l fosforsyre pr mnd) i luftet lagune for å få i gang en større biologisk aktivitet. Firmaet J.C. Cock a/s som har levert propellejektorene har i 1997 benyttet Bølstad luftebasseng til å gjennomføre en testing av nyutviklede ejektorer i samarbeid med produsenten Aeration Industries International (USA) og Hjeltnes COWI a/s. Det er utviklet en ny propellejektor (Triton) som kan styres med periodisk aktiv innblåsing av luft under en kontinuerlig omrøring.

Hensikten er å optimalisere forhold for både nitrifikasjon og dentrifikasjon i lagunen ved å legge til rette for aerobe og anaerobe forhold.

## Prøvetaking, analyser og beregninger

I overvåkningen av renseanleggene har overvåkningsprogrammet dekket følgende behov:

1) statistiske parametre som karakteriserer sigevannets sentral-tendens (f eks gjennomsnitt, median og standard avvik), 2) mulige konsentrasjonstrender, 3) spesielle sesongsituasjoner som flom, tørke og kulde, og 4) belastningsparametre. Ubehandlet og rensert sigevann er prøvetatt som stikkprøver i sigevann fra fyllingsfronten (S1), utløp av lagune og sedimentering (S3) og utløp av våtmarksfiltre. Prøvetaking og inspeksjon har vært fortatt månedlig. Tabell 1 viser kjemiske parametre og analysemetoder som er undersøkt i råvannet og ut av renseanleggene.

Anleggenes renseeffekt kan fremstilles på flere alternative måter. Den enkleste metoden er basert på differanse i årlig middelerverdi av inn- og ut prøver. Stofftransporten beregnes her som produkt av årlig middelerverdi i stoffkonsentrasjon og akkumulert vannføring. På grunn av store variasjoner i II

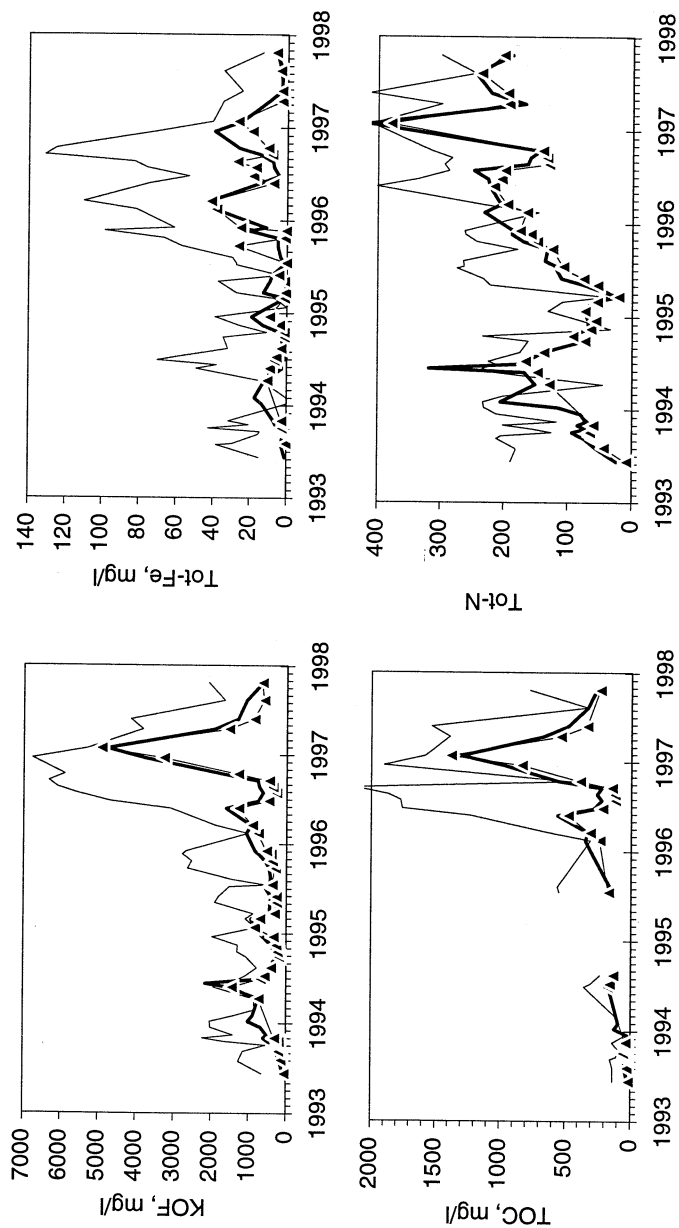
**Tabell 2. Kjemiske analyser av sigevannet på Esva og Bølstad.**

| Program                   | Parametre             |                                                                                                                                            |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Basis 6-12 g/år           | Fysisk/kjemiske       | pH, ledningsevne, oksygen, varmtemperatur                                                                                                  |
|                           | Organisk materiale    | Kjemisk oksygenforbruk (KOF),<br>Biokjemisk oksygenforbruk (BOF <sub>5</sub> ),<br>Total organisk karbon (TOC)                             |
|                           | Suspendert stoff      | SS og VSS (flyktig SS)                                                                                                                     |
|                           | Fosfor                | Total fosfor (Tot-P)                                                                                                                       |
|                           | Nitrogen              | Nitrogen (Tot-N), nitrat (NO <sub>3</sub> -N), ammonium (NH <sub>4</sub> -N)                                                               |
|                           | Metaller              | Total jern (Tot-Fe)                                                                                                                        |
|                           | Klorid                | Cl <sup>-</sup>                                                                                                                            |
|                           | Alkalitet             | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                                                                                              |
|                           | Metaller              | Natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), mangan, (Mn), bor (B), bly (Pb), kadmium (Cd), kobber (Cu), sink (Zn), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) |
|                           | Organiske miljøgifter | Fenol, aromater, PAH, PCB (1996), plantevernmidler, AOX, organiske syrer (1997)                                                            |
| Utvidet program, 1-2 g/år |                       |                                                                                                                                            |

**Tabell 3. Stoffinnhold i sigevannet fra Esval fyllplass  
i perioden 1993-1997**

| Dato               |           | Middel | Median | SD   | min  | max  | n  |
|--------------------|-----------|--------|--------|------|------|------|----|
| pH                 |           |        | 7,1    |      | 6,3  | 7,8  | 47 |
| El. kond           | mS/m      | 641    | 662    | 181  | 182  | 1013 | 44 |
| HCO <sub>3</sub> - | mg/l      | 2868   | 2727   | 934  | 610  | 4349 | 28 |
| Q                  | l/s       | 1,0    | 0,5    | 1,4  | 0,1  | 8,0  | 49 |
| KOF                | mg/l      | 2267   | 1710   | 1686 | 540  | 6770 | 48 |
| BOF7               | mg/l      | 735    | 307    | 690  | 125  | 2515 | 23 |
| TOC                | mg/l      | 678    | 329    | 692  | 41   | 2130 | 31 |
| SS                 | mg/l      | 147    | 120    | 130  | 22   | 790  | 44 |
| Gl. rest           | mg/l      | 68     | 54     | 69   | 6    | 358  | 25 |
| P tot              | mg/l      | 1,1    | 0,9    | 0,9  | 0,2  | 6,1  | 47 |
| PO <sub>4</sub> -P | mg/l      | 0,14   | 0,10   | 0,12 | 0,03 | 0,48 | 21 |
| N-tot              | mg/l      | 219    | 223    | 86   | 34   | 412  | 48 |
| NO <sub>3</sub> -N | mg/l      | 0,20   | 0,20   | 0,09 | 0,02 | 0,38 | 22 |
| NH <sub>4</sub> -N | mg/l      | 179    | 179    | 80   | 30   | 397  | 48 |
| Cl                 | mg/l      | 964    | 1000   | 296  | 250  | 1460 | 49 |
| Na                 | mg/l      | 624    | 619    | 191  | 164  | 885  | 19 |
| K                  | mg/l      | 241    | 212    | 97   | 52   | 452  | 19 |
| Ca                 | mg/l      | 432    | 338    | 225  | 139  | 917  | 19 |
| Mg                 | mg/l      | 90     | 84     | 33   | 22   | 181  | 19 |
| Fe                 | mg/l      | 45     | 36     | 31   | 4    | 131  | 44 |
| Mn                 | mg/l      | 4,4    | 4,2    | 2,0  | 1,8  | 10,0 | 19 |
| Cu                 | µg/l      | 20     | 15     | 17   | 0,0  | 70   | 20 |
| Zn                 | µg/l      | 312    | 140    | 352  | 20   | 1190 | 19 |
| Pb                 | µg/l      | 8,1    | 5,0    | 7,4  | 1,0  | 26,0 | 11 |
| Cd                 | µg/l      | 0,88   | 1,00   | 0,94 | 0,00 | 3,20 | 10 |
| Ni                 | µg/l      | 39     | 30     | 18   | 3    | 83   | 20 |
| Cr                 | µg/l      | 39     | 29     | 22   | 20   | 100  | 18 |
| Ba                 | µg/l      | 307    | 280    | 82   | 201  | 466  | 17 |
| Hg                 | µg/l      | 0,19   | 0,20   | 0,14 | 0,05 | 0,43 | 6  |
| B                  | mg/l      | 2,7    | 2,4    | 1,0  | 0,6  | 4,8  | 19 |
| S                  | mg/l      | 20     | 13     | 22   | 6    | 98   | 19 |
| <i>E.coli</i>      | pr 100 ml | 1880   | 540    | 2430 | 10   | 6500 | 9  |

SD - standard avvik, n - antall prøver



Figur 3. Inn- og utløpskonsentrasjoner av sigevannet fra Esval renseanlegg i perioden 1993-97. Råvann (S1), utløp luftet lagune (S3) og utløp våmårksfiltre (S4/5)

**Tabell 3. Stofftransport\* (tonn) ut av Esvalfylling (Sl) og ut av renseanlegget (S3) for hele driftsperioden og for driftsåret 1997.**

| Stasjon             | KOF     |      | Tot-N   |      | NH <sub>4</sub> -N |      | Fe      |      |
|---------------------|---------|------|---------|------|--------------------|------|---------|------|
|                     | 1993-97 | 1997 | 1993-97 | 1997 | 1993-97            | 1997 | 1993-97 | 1997 |
| Ut fylling (Sl)     | 484     | 161  | 47      | 16   | 38                 | 14,5 | 9,6     | 1,4  |
| Ut våtmark (S4/5)   | 154     | 92   | 27      | 11   | 20                 | 9,3  | 1,9     | 0,4  |
| Stoffmengde fjernet | 330     | 69   | 20      | 5    | 18                 | 5,2  | 7,7     | 1,0  |
| Reduksjon (%)**     | 68      | 49   | 42      | 27   | 46                 | 36   | 80      | 70   |

\* Stofftransport = middelverdi av stoffkonsentrasjon (vedlegg 2) x middelverdi i vannføring i perioden (130 m<sup>3</sup>/d).

\*\* Stoffmengde fjernet og renseevne er fremstilt uten korrigering for fortynning, jfr tabell 4.

stoffkonsentrasjoner kan dette gi et relativt usikkert bilde av effekten. Differensen mellom inn og ut basert på middelverdi eller median av parvise observasjoner vil gi et noe sikrere beregning av renseeffekten. Sigevannets innhold av klorid før og etter behandling brukes som indikator på fortynning i renseanlegget. Anleggenes effekt er vurdert under varierende hydraulisk belastning og varierende vanntemperatur.

## Resultater og diskusjon

Data fra oppfølgingen av renseanleggene av beskrevet av Mæhlum (1998a, b). Et utdrag av driftserfaringene er omtalt nedenfor.

### Esval

Tabell 3 viser middelverdi, median, standard avvik (SD), minimum og maksimumsverdier av sigevannet i perioden 1993-1997. Tabell 4 gir en estimering over stofftransporten ut av fyllingen og ut av lagunen i oppfølgingsperioden 1993-1997 og for driftsåret 1997. Figur 3 presenterer endringer i inn- ut verdier for sentrale parametre.

I gjennomsnitt utgjør sigevannsproduksjonen 630 mm (90-100% av årsnedbøren) basert på et oppgitt fyllplassareal på 70 da. Under norske forhold er det vanlig at sigevannet utgjør 30-60% av årsnedbøren. Høye verdier for Esval indikerer et betydelig bidrag av overvann fra omkringliggende jordbruksarealer. Gjennomsnittlig vannsføring var 1,5 l/s (130 m<sup>3</sup>/d). Sigevannet fra Esval har en relativt stor andel av sigevann fra ny fylling med ferskt avfall i syrefasen (tabell 3). Stikk-



prøver fra den nye delen av fyllinga viser KOF verdier >15000 mg/l og nitrogen >700 mg/l. Sigevannet fra denne delen blir imidlertid fortynnet med øvrig sigevann. Sigevannets midlere konsentrasjoner har økt kraftig for organisk stoff, nitrogen og jern med en topp i 1996/97. Innhold av KOF har økt fra ca 500 mg/l til over 6000 mg/l (figur 3). I samme periode har det vært en fordobling av nitrogen til ca 400 mg N/l og en økning av jern fra 15 til 125 mg/l. 80-90% av nitrogenet foreligger som  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Konsentrasjonene har imidlertid avtatt løpet av 1997 (figur 3). Innhold av fosfor har vært lavt i hele perioden (< 1 mg/l). Stoffbelastningen pr døgn i 1997 var i gjennomsnitt 40 kg SS, 440 kg KOF, 43 kg N og 4 kg redusert jern. Omregnet i antall person-ekvivalenter tilsvarer utslippene 2500-3500 pe for organisk stoff og nitrogen og 50 pe for fosfor. For de fleste stoffgruppene foregår en fortynning av råvannet under perioder med stor vannføring.

I luftet lagune skjer det en betydelig reduksjon av organisk stoff til tross for den relativt store belastningsøkningen. Utslipet er relativt stabilt i forhold til store svingninger i innløpskonsentrasjonene, bortsett fra i vinterperioder med redusert antall ejektorer. Differansen i KOF og TOC-verdier mellom inn- og utløp av lagunen er størst utover våren og sommeren. Målingene antyder en reduksjon av KOF og TOC i lagunen på 50-70%. Beregningene viser noe høyere effekt for BOF (65-75%), men det er ikke foretatt BOF analyser i hele driftsperioden (figur 3). Generelt

er det høyere renseeffekt om sommeren og høsten enn vinter og vår. Ved testing av renseevne mot vannføring ble det observert høyest renseeffekt under lave vannføringer (<0,9 l/s). Det ble ikke funnet noen klare forskjeller i renseeffekt som følge av lav eller høy hydraulisk belastning vinterstid. Reduksjon av nitrogen og ammonium i lagunen ligger i området 35-45%. Med korrigering for fortynning reduseres effekten betydelig (<20%). Det er ikke påvist nitrifikasjon med høye nitratkonsentrasjoner i lagunen.

Avhengig av beregningsmetode viser våtmarksfiltrene en fjerning av organisk stoff parametre i området 4-48% og 7-14% for nitrogen. Det er høyest effekt for reduksjon av BOF (>40%) og suspendert stoff (60%) i våtmarksfiltrene. Det er ikke noen statistisk signifikant påvirkning av vanntemperatur, vannføring og sesong for renseeffekten av organisk stoff og nitrogen. Årsaken til relativt lave effekten anses å være for høy organisk og hydraulisk belastning (økning på 10 ganger for KOF, 3 ganger for nitrogen), og mangelfull sedimentering i luftet lagune med påfølgende gjentetting. Forskjeller i renseeffekten som følge av høy eller lav vannføring innenfor samme årstid ble ikke påvist.

Renseeffekten av sedimentasjonsdam, luftet lagune og våtmarksfiltre samlet uten korrigering for fortynning var i størrelsesorden 70% for KOF, TOC og SS, >80% for BOF og 45% for total nitrogen og ammonium. Med korrigering for fortynning reduseres effekten til ca 40% for KOF og TOC, 75%

**Tabell 5. Middelverdi, median, standard avvik, minimum og maksimumsverdier av råvannet fra Bølstad i perioden 1995-1997**

|                               |      | Middel | Median | SD  | Min  | Max  | n  |
|-------------------------------|------|--------|--------|-----|------|------|----|
| pH                            |      |        | 7,5    |     | 6,9  | 8,0  | 52 |
| El. kond.                     | mS/m | 290    | 294    | 78  | 105  | 416  | 44 |
| KOF                           | mg/l | 311    | 314    | 82  | 155  | 500  | 37 |
| BOF <sub>7</sub>              | mg/l | 78     | 63     | 53  | 7    | 201  | 29 |
| TOC                           | mg/l | 125    | 124    | 60  | 52   | 331  | 30 |
| SS                            | mg/l | 275    | 180    | 261 | 11   | 900  | 19 |
| Tot-P                         | mg/l | 0.4    | 0.3    | 0.3 | 0.02 | 1.1  | 29 |
| PO <sub>4</sub> -P            | mg/l | 0.19   | 0.05   | 0.2 | 0.01 | 0.8  | 27 |
| Tot-N                         | mg/l | 126    | 131    | 47  | 34   | 257  | 45 |
| NO <sub>3</sub> -N            | mg/l | 1.5    | 0.5    | 3.0 | 0.1  | 16   | 37 |
| NH <sub>4</sub> -N            | mg/l | 96     | 100    | 40  | 27   | 171  | 45 |
| Cl                            | mg/l | 220    | 212    | 80  | 73   | 361  | 39 |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | mg/l | 1547   | 1452   | 861 | 542  | 4331 | 15 |
| Tot-Fe                        | mg/l | 32     | 24     | 35  | 1,7  | 150  | 42 |
| Na                            | mg/l | 185    | 169    | 67  | 73   | 303  | 24 |
| K                             | mg/l | 149    | 135    | 50  | 51   | 205  | 13 |
| Ca                            | mg/l | 188    | 163    | 36  | 150  | 258  | 13 |
| Mg                            | mg/l | 53     | 44     | 17  | 20   | 73   | 13 |
| Mn                            | mg/l | 1.9    | 1.6    | 0.7 | 0.6  | 2.4  | 21 |
| Cu                            | ug/l | 10     | 4      | 8   | 0,5  | 30   | 20 |
| Zn                            | ug/l | 53     | 60     | 34  | 20   | 135  | 20 |
| Pb                            | ug/l | 5.0    | 1.0    | 7.0 | 1.0  | 35   | 27 |
| Cd                            | ug/l | 0.3    | 0.4    | 1.0 | 0.1  | 0.6  | 27 |
| Ni                            | ug/l | 23     | 23     | 12  | 9    | 50   | 18 |
| Cr                            | ug/l | 15     | 8      | 5   | 7    | 20   | 9  |
| Ba                            | ug/l | 165    | 132    | 34  | 127  | 210  | 9  |
| Hg                            | ug/l | 0.3    | 0.1    | 0.3 | 0.1  | 1.3  | 14 |

SD - standard avvik, n - antall prøver

BOF, og <20% for nitrogen. Reduksjonen i stoffmengder i 1997 tilsvarer maksimalt 70 tonn organisk materiale (KOF) og 5 tonn nitrogen (ammonium).

Konsentrasjonen av jern ut av fylkinga og renseanlegget viser svært store

variasjoner (figur 3). Renseeffekten var ca 80% for jern og sink. Med korrigering for antatt fortynning reduseres effekten til ca 70%. Reduksjonen i 1997 tilsvarer ca 1000 kg jern. Jernutfellingen foregår i hovedsak i lagunen som

**Tabell 6. Stofftransport\* (kg) ut av fylling (S1) og ut av renseanleggt (S3) for hele driftsperioden 1994-97.**

| Stasjon              | KOF     |      | Tot-N   |      | NH4-N   |      | Fe      |      |
|----------------------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|
|                      | 1994-97 | 1997 | 1994-97 | 1997 | 1994-97 | 1997 | 1994-97 | 1997 |
| Utfylling (S1)       | 30800   | 9000 | 12600   | 5000 | 9600    | 4000 | 3200    | 800  |
| Utløstet lagune (S3) | 18200   | 5550 | 7900    | 2850 | 3700    | 1150 | 700     | 300  |
| Stoffmengde fernet   | 12600   | 3450 | 4700    | 2150 | 5900    | 2850 | 2500    | 500  |
| Reduksjon (%)        | 41      | 38   | 37      | 43   | 61      | 71   | 78      | 61   |

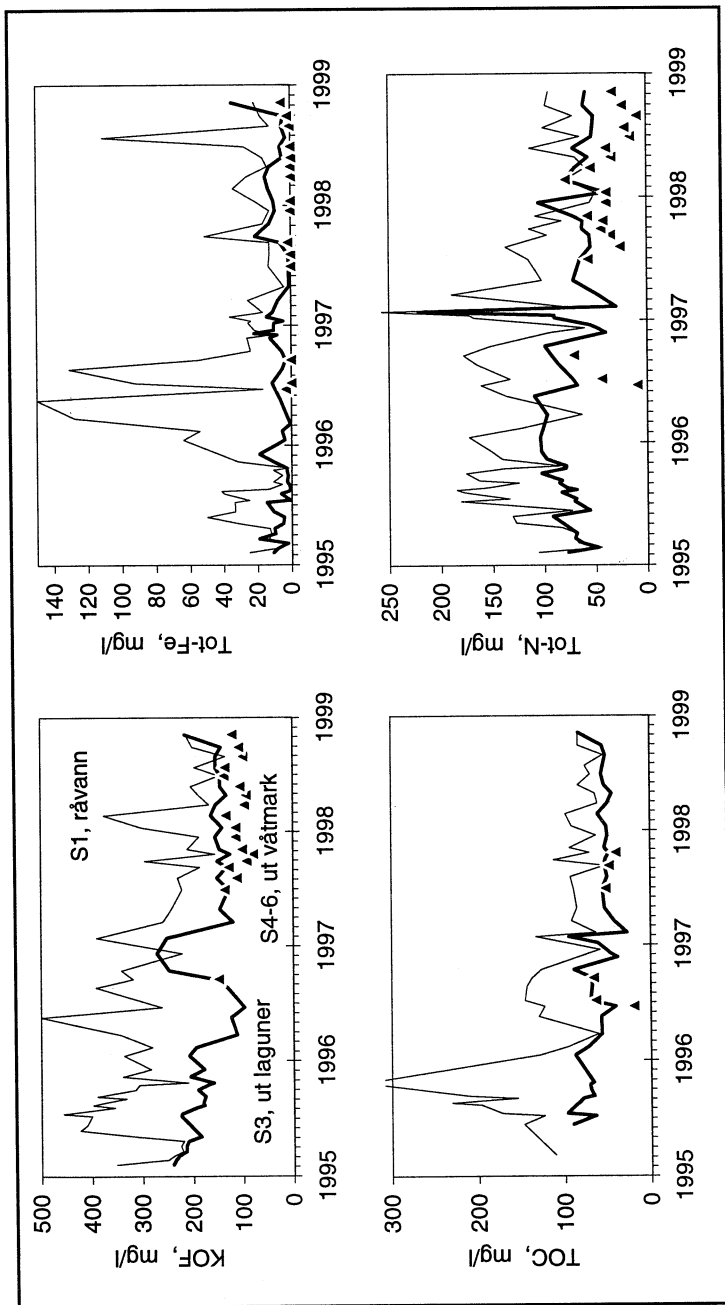
\*Stoffmende = middelværdi av stoffkonsentrasjon x akkumulert avrenning for perioden

oksider og hydroksider. Det er ingen negativ utvikling med økte tungmetallutslipp fra fyllingen siden 1992/93. Tungmetaller bindes effektivt i avfallsfyllinga.

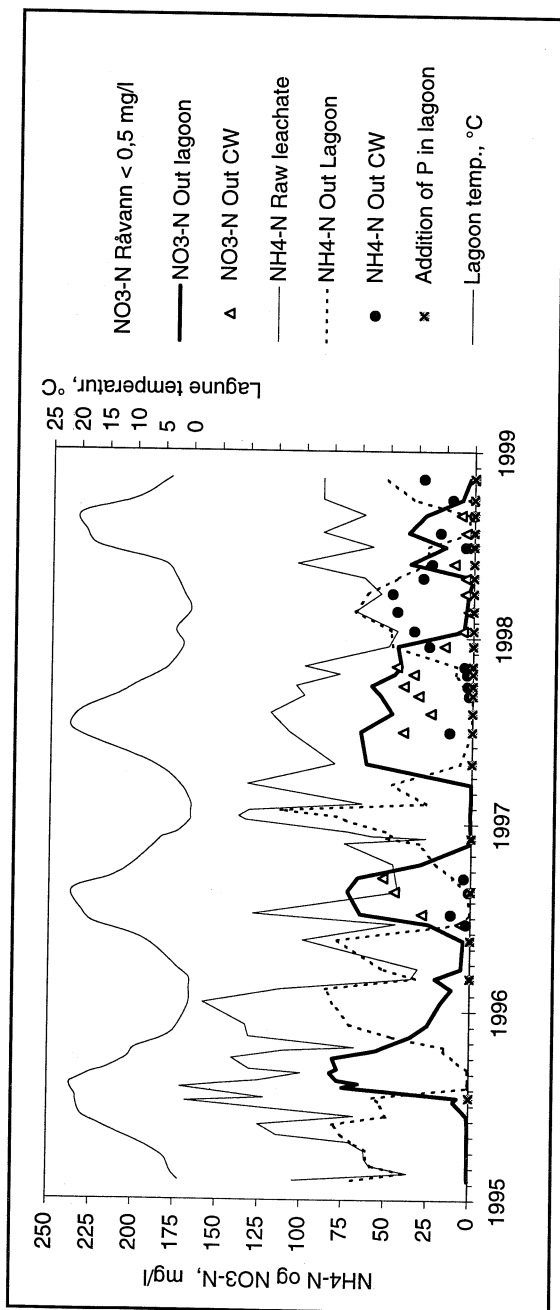
## Bølstad

Tabell 5 viser middelværdi, median, standard avvik, minimum og maksimumsverdier av råvannet fra Bølstad i perioden 1995-1997. Tabell 6 gir en oversikt over stofftransporten ut av fyllingen og ut av lagunen i oppfølgingssperioden 1995-1997 og for driftsåret 1997. Figur 4 presenterer endringer i inn- ut verdier av overvåkningsparametre i perioden 1995-1998. Figur 5 viser lagunetemperaturen og effekten av tilsats av fosfor med konsentrasjon av nitrat og ammonium i råvann, utløp av sedimentasjonsbassenget og utløp av våtmarksfiltrene.

For 1997 utgjør sigevannet 400 mm (nær 50% av nedbøren) basert på et areal på nedslagsfeltet på 90 daa. Av dette utgjør gammel og ny fylling henholdsvis 20 og 25 da. Høye verdier for Bølstad indikerer en økning i avrenningen pga mangelfull avskjæring av overvann fra fyllplassområdet. Gjennomsnittlig vannføring ut av renseanlegget var 1,1 l/s (85 m<sup>3</sup>/d). Sigevannet fra Bølstad er fortynnet av overflatevann og har en relativt liten andel av sigevann fra ny fylling med ferskt avfall. Sigevannets styrke endres som følge av nedbørsepisoder, snøsmelting, og tørre perioder om sommeren og i kalde perioder med snø og is. For de fleste stoffgruppene foregår en fortyn-



Figur 4. Inn- og utløpskonsentrasjoner av sigevannet fra Bølstad renseanlegg i perioden 1995-98: Råvann (S1), utløp luftet lagune (S3) og utløp våtmarksfiltere i forsøksanlegg (S4). (våtmarksfilterene har blitt prøvetatt siden juni 1996).



Figur 5. Lagune temperatur og konsentrasjoner av nitrat og ammonium i råvannet (S1), utløpet av luftet lagune (S3) og utløp våtmarksfiltere - forsøksanlegg (S4) som respons på varierende temperatur og tilførsel av fosfor.

ning av råvannet under perioder med stor vannføring.

Stoffbelastningen p.r. døgn i luftet lagune utgjør i gjennomsnitt 23 kg SS, 26 kg KOF, 2 kg BOF, 10 kg TOC, 10 kg N og 3 kg redusert jern. Renseeffekten for organisk stoff (KOF), jern og nitrogen ved høy vanntemperatur var signifikant høyere enn ved moderat eller lav temperatur. Generelt er det høyere renseseffekt om sommeren og høsten enn vinter og vår. Det er påvist statistisk signifikant redusert renseevne for jern og ammonium ved høy vannføringer sammenliknet med moderat vannføring. I slike perioder er slamalderen lav pga. utvasking og lav vanntemperatur. Reduksjon av klorid i renseanlegget indikerer fortykning pga. overflatevann og evt grunnvann fra områder rundt luftebassenget.

Det skjer en betydelig reduksjon av organisk stoff i lagunen. Utslipet er relativt stabilt i forhold til store svingninger i innløpskonsentrasjonene, hvilket kan tyde på at det er overskudd av kapasitet for fjerning av disse stoffene (figur 4). Differansen i KOF-verdier mellom inn- og utløp av anlegget er størst utover våren og sommeren. Selv om det er en synkende trend er KOF verdiene i utløpet av lagunen fortsatt relativt høye mot det som var forventet. Målingene antyder en reduksjon i KOF på under 50%. Etter tilsetning av fosfor var reduksjonen av BOF >75% i 1997. Reduksjonen i stoffmengder i 1997 tilsvarer ca 3,5 tonn organisk materiale, 2,2 tonn nitrogen og 2,9 tonn ammonium. Renseeffekt for organisk stoff (KOF) og total nitrogen i luftet lagune for hele

driftsperioden er ca 40%. I 1997 er det oppnådd noe høyere effekt for nitrogen som følge av fosfortilsetning i lagunen og utprøving av ny propellejektor. Reduksjon av ammonium pga nitrifikasjon ligger i området 50-70%. Etter tilsetning av fosfor i april økte nitrifikasjon fra 0 til nær 100% i løpet av en kort periode. 1997 er det beste driftsåret mht nitrifikasjon (70%). Det er oppnådd en betydelig nitrifikasjon på 50-99% i perioder når vanntemperaturen er >5-10°C, noe som viser at luftesystemet har potensiale til å oppnå høy kapasitet hvis forhold som oppholdstid, temperatur og næringssammensetning ikke er begrensende. Etter tilsetning av fosforsyre kan det i perioder påvises en svak økning av fosfor i utløpet, men målinger antyder at hovedmengden av tilsatt fosfor holdes tilbake i renseanlegget (bl.a. som utfelt jernfosfat). Resultatene fra våtmarksfiltrene viser 20-40% fjerning av organisk stoff og 40% reduksjon av nitrogen med en fast hydraulisk belastning på 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d (5 cm/d).

Konsentrasjonen av jern viser svært store variasjoner (figur 4). Reduksjonen i 1997 tilsvarer ca 500 kg jern og ligger på ca 70%. Ved tilstrekkelig oksygentilførsel med aerobe forhold vil jern (III) felles ut i slammet som oksyder og hydroksider. Det ser imidlertid ut for at deler av jernslammet har dårlige sedimenteringsegenskaper og blir med sigevannet ut i resipienten. Kun 10-20% av det sedimenterte jernet finnes i sedimenteringsbassenget, resten sedimenterer i luftet lagune. Målinger av jerninnholdet i bunnslammet viser

ca 70 g/pr kg TS. Innholdet av giftige tungmetaller i dette slammet ligger under Miljøverndepartementets krav til tungmetallinnhold i kloakkslam som skal anvendes til jordbruksarealer. Det anbefales likevel å deponere/avvanne dette slammet på fylling fremfor å blande det sammen med kloakkslam. Funn av organiske miljøgifter på Bølstad ligger på tilsvarende nivå som andre fyllplasser med blandet kommunalt avfall, med unntak av relativt høye verdiene av 1.1.1-trikloretan (20 ppb). Dette kan stamme fra deponerte rester av maling og lakk, renserivirksomhet og metallindustri. Stikkprøver av utløpet antyder en reduksjon i lagunen på 60-99% av de organiske miljøgiftene som ble funnet i innløpet.

## **Generelle driftserfaringer**

Renseanleggene har vist å kunne utjevne store årlige variasjoner i stofftransporten. Lagunene har også vist å kunne motta en betydelig økning i stoffbelastningen hvis luftingen fungerer som forutsatt. En tilstrekkelig oksygentilførsel og oppholdstid i luftet lagune er de viktigste forutsetningene for at renseprosessene skal virke som forutsatt. Propellejektorene på Bølstad har fungert bra gjennom fire vintre uten driftsproblemer, til tross for lengre perioder med svært lave temperaturer (-20°C). Oksygenmålinger viser at lagunen har vært aerob i hele driftsperioden. På Esval har det derimot vært lengre driftsavbrudd vinterstid. Lufting og omrøring og sedimentasjon har ikke vært tilfredstillende i disse periodene. Det foregår en betydelig sedimentering

i luftet lagune, til tross for omrøring av vannmassene. Den naturgitte utformingen av bassenget er ikke optimal i forhold til omrøring av vannmassene.

Konsesjonskravene om 75% KOF reduksjon og 90% reduksjon av jern er ikke tilfredsstilt for Esval og Bølstad. Det er driftsproblemer, lave temperaturer vinterstid i kombinasjon med stor hydraulisk belastning som trekker ned den totale effekten av anleggene. Med unntak av nitrogen har Esval tilfredsstilt konsesjonskravene i sommersesongen når luftesystemet fungerer best og den hydrauliske belastningen er lav. Det kan stilles spørsmål om KOF og jern er de mest relevante renseparametrene for sigevann. Den andelen av KOF som ikke brytes ned i anlegget antas å være tungt nedbrytbare stabile organiske forbindelser (humus- og fulvoliknende syrer) som sannsynligvis ikke påfører resipienten skade. Utslipp av oksydert jern til resipientene kan virke positivt på utfelling av løst fosfor. Esval renseanlegg må tilpasses økt stoffbelastning og krav om nitrogenfjerning og nitrifikasjon. Mangel på riktig nærings sammensetning i sigevannet har også bidratt til den relativt lave renseeffekten ved Esval. Våtmarksfiltrene har vært underdimensjonert i forhold til de aktuelle stoffbelastningene. Etter 2-3 år ble det observert økende gjentetting av våtmarksfiltrene, spesielt i innløp. Årsakene er hydraulisk og organisk overbelastning og mangelfull lufting og slamfjerning. Det pågår arbeid for å tilpasse anlegget dagens belastning og rensekrav.

## Anbefalinger

Følgende konsept anbefales for rensing av sivevann fra blandet kommunalt avfall mht organisk stoff, total nitrogen, ammonium-nitrogen og jern:

- Luftet lagune med propellejektorer kan gi en høy reduksjon av forurenninger i under forutsetning av kontinuerlig oksygentilførsel, god omrøring, tilstrekkelig og stabil oppholdstid (<20-30 dager) og gunstig næringssammensetningen. Fosforsyre bør tilsettes etter behov (ca 1-2 ganger pr mnd).
- Dersom det er spesielt sårbare resipienter og det stilles krav om høy effekt anbefales langtidslufting (> 10-15 dagers oppholdstid) i en lukket isolert reaktor hvor sivevannets varme konserveres og evt suppleres med varme fra fyllinga. Lufting kan skje periodisk for å oppnå bedre nitrifikasjon og nitrogenfjerning (f eks sekvensiell batch reaktor, SBR). Det bør velges et luftesystem som setter minimale krav til tilsyn og vedlikehold. Slamsepareringen bør foregå i et separat basseng. Returpumping av slam bør vurderes.
- Naturbaserte filterløsninger for sivevannsbehandling bør kun an-

vendes på aerobt forbehandlet sivevann med lavt slaminnhold. Arealbelastningen i våtmarksfiltre bør være mindre enn 5 cm/dag (0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d). For  $Q_{dim}$  på 100 m<sup>3</sup>/d tilsvarende dette et areal på minimum 2 da.

- Grunne våtmarker og fangdammer kan egne seg til etterpolering av luftet sivevann, men den hydrauliske oppholdstiden bør være mer enn 3 uker i gjennomsnitt for å oppnå en betydelig forbedring av vannkvaliteten.

## Referanser

- Haarstad, K., T. Mæhlum og P.I. Kraft. 1998. Dannelse, utslipp og prøvetaking av sivevann fra kommunalt avfall. VANN, 33 (1), 60-80.
- Mæhlum, T. 1998a. Behandling av sivevann fra kommunalt avfall i luftet lagune og våtmarksfiltre. Esval renseanlegg. Jordforsk rapport 18/98.
- Mæhlum, T. 1998b. Behandling av sivevann fra kommunalt avfall i luftet lagune og våtmarksfiltre. Bølstad renseanlegg. Jordforsk rapport 19/98.
- Mæhlum, T. og K. Haarstad. 1998. Lokal behandling av sivevann fra kommunalt avfall. Jordforsk rapport 29/98.