

Jord- og plantebaserte renseanlegg for avløpsvann — en oversikt

Av Trond Mæhlum og Petter D. Jenssen

Trond Mæhlum er naturforvalterkandidat fra Norges landbruks-høgskole og avdelingsingeniør ved JORDFORSK

Petter D. Jenssen er dr. scient fra Norges landbrukshøgskole og forsker ved JORDFORSK.

*Innlegg på seminar i Norsk Vannforening
14. oktober 1991*

Innledning

Det er behov for nye driftsekstensive økologisk gode løsninger for å behandle punktutslipp og diffus avrenning. Sentraliserte avløpssystemer inkluderer ofte et omfattende ledningsnett og et betydelig energi- og ressursforbruk. Ved å behandle avløpsvannet ved kilden kan lekkasjer og innlekking med fortykning av avløpsvannet lettere unngås. Omlag 1/3 av Norges befolkning bor i spredtbygde strøk hvor utbygging av tradisjonelle avløpsledningsnett og renseanlegg krever store investeringer i forhold til antall boliger tilknyttet. I slike strøk er det særlig behov for lokale, kostnadseffektive systemer.

Det har lenge vært kjent at sumpplanter (helofytter) og våtmarker har en stor evne til å rense forurenset vann (Seidel 1966), men det er først i de siste 10—15 årene at denne renseevnen har blitt utnyttet under kontrollerte forhold. Forskning og forsøk med høyerestående planter (makrofyter) til rensing av avløpsvann hadde, i europeisk sammenheng, sin opprinnelse i Tyskland i

1960-årene. I dag finnes et omfattende erfaringsmateriale med ulike konsepter og tilpasninger til ulike naturforhold og rensekrav (Cooper og Findlater 1990).

Ved å ta i bruk naturlige og konstruerte våtmarker kan forurenset vann behandles ved naturlige fysiske, kjemiske og biologiske selvrensingsprosesser. Denne formen for jord- og plantebaserte renseanlegg hører inn under det nye begrepet «økoteknologi». Økoteknologi «ecological engineering/ecotechnology» er syntesen mellom økologi og teknologi, og er definert som «konstruksjon av økosystemer med gjensidig nytte for mennesker og natur» (Mitsch og Jørgensen 1989).

I dette innlegget blir gitt en oversikt over systemer hvor planter inngår som en sentral del av rensingen. Her inngår ulike former for våtmarkssystemer som sentrale metoder. Figur 1 viser en oversikt over noen av de systemene som blir beskrevet.

Jord- og plantebaserte systemer

I jord- og plantebaserte systemer omfatter vannbehandlingen fysiske, kjemiske, og biologiske prosesser som foregår i jorda, rotsonen, strølaget og i vegetasjonen på overflaten.

Våtmarkssystemer

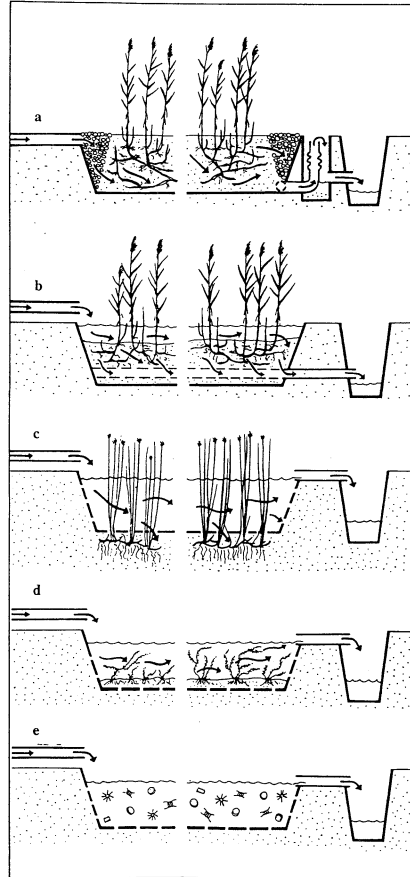
Våtmarkssystemer utgjør den største gruppen av jord- og plantebaserte rensemetoder. Våtmarker er en sammensatt gruppe biotoper med mange ulike dannelsesmåter og vegetasjonstyper. Våtmarker kan defineres som områder hvor vannflaten er lik jordoverflaten eller høyere slik at jorda, med vekst av tilhørende vegetasjon, hovedsakelig forblir vannmettet.

Naturlige våtmarkssystemer

I USA og Canada er ulike typer naturlige våtmarker tatt i bruk til rensing av avløp fra husholdning, industri og landbruk (Reddy og Smith 1987, Hammer 1989, Reed et al. 1988, USEPA 1988). Ved å filtrere, binde og omsette ulike forurensninger fungerer disse våtmarksområdene som rensaneanlegg. I Canada er myr/torvmark tatt i bruk til dette formålet i stor utstrekning.

Konstruerte våtmarkssystemer

Til vannrensing kan våtmarker konstrueres fra grunnen for lettere å optimere de ulike rensesprosessene. På denne måten vil en få en større valgfrihet med hensyn til jordtype, vegetasjon, design og avgrensning, og derved en bedre kontroll av vannkvaliteten i inn- og utløp enn i en naturlig våtmark med tilsvarende areal. Det er finnes mange ulike systemer av konstruerte våtmarker med et permeabelt jordmedium. Det er innen denne gruppe det er gjort flest erfaringer. Begrepene «rotsoneanlegg» og «rotsonemetoden» er ofte brukt i Norden for slike systemer. Navnet viser til de viktige omsetningene som skjer i området rundt planterøttene. Vi foretrekker å kalle disse systemene og lignende systemer for



Figur 1. Ulike typer rensaneanlegg som har planter som en vesentlig, eller viktigste del av rensingen: (a) våtmarksfilter/rotsoneanlegg med horisontal strømning, (b) våtmarksfilter med vertikal strømning, (c) beplantet lagune, (d) undervannsplanteranlegg og (e) algedam (etter Brix og Schierup 1989).

«konstruerte våtmarker», «kunstig etablerte våtmarker» og «våtmarksfilter». Disse betegnelseene er oftest brukt for slike systemer i internasjonal litteratur.

Jordtypens hydrauliske og kjemiske egenskaper har stor betydning i disse systemene. Vannivået ligger vanligvis i flukt med, eller under jordoverflaten. Oksygen transporteres ned i jorda via plantenes rhizomer og røtter, og forbrukes til oksidasjonsprosesser i sonen mellom røtter og jord (rhizosfæren). Konstruerte våtmarker med permeabel jordtype kan videre inndeles etter vannets strømningsretning i filtermediet. De fleste systemene med permeabel jordtype har horisontal vannstrømning i jordfilteret (figur 1a).

Det finnes også mange ulike systemer med vertikal vannstrømning (perkolasjon/infiltrasjon) i jordfilteret (figur 1b). Jorda er som regel ikke permanent vannmettet. Belastningen kan foregå periodisk (intermitterende), og vannet samles i en drenering i bunn av jordfilteret. Jordfilteret kan tørkes ut ved jevne mellomrom slik at porevolumet fylles med luft.

Overflatespredning/vanningsssystemer

Overflatespredning er kontrollert fordeling av avløpsvannet på vegetasjonsoverflaten. Slike systemer er en utbredt behandlingsform i USA (Reed et al. 1988). Systemene krever lagring av avløpsvannet i årstider med kaldt og fuktig vær.

Systemer med overflateavrenning

Systemer med overflateavrenning utnytter renseprosesser i jordoverflaten, i en flerårig gressbevokst vegetasjonssone. Jorda har lav permeabilitet i slike systemer. Vannet beveger seg derfor på overflaten og samles opp lenger ned (Reed et al. 1988).

Systemer med sakte infiltrasjon

Systemer med sakte infiltrasjon anvender samme teknikker for fordeling av avløpsvannet på jordoverflaten som ved tilsvarende spredning av blautgjødning i vanningsanlegg (Reed et al. 1988). Høsting av plantebiomasse blir ofte foretatt. Slike systemer anvendes i jordbruk og skogbruk (energisog). Til vanning og gjødslingsformål i jordbruket må avløpsvannet forbehandles for å tilfredsstille hygieniske krav. Planter som konsumeres i rå tilstand av mennesker egner seg ikke til bruk i slike systemer.

Resorpsjonssystemer

Med resorpsjon menes tilførsel av avløpsvann i rotsonen. Vegetasjonen tar opp noe vann og næring, mens resten infiltrerer i grunnen (Skaarer 1980). Et resorpsjonsanlegg er ikke avgrenset i bunn eller på sidene. Jorda vil derfor ikke være vannmettet som i en våtmark.

Akvatiske systemer

I akvatiske systemer (plantebaserte systemer) foregår de biologiske og kjemiske stoffomsetningene i de frie vannmassene, i øverste delen av bunnsedimentene og i tilknytning til plante og dyreliv. Bløtbunnsfaunaen vil ved aktivitet sørge for at oksygen og nitrat kommer inn i de anaerobe bunnsedimentene. Dette vil øke arealet på de soner der de omsetningsprosessene finner sted. Konstruksjon, rensmekanismer og renseseffekt er delvis forskjellige fra jord- og plantebaserte systemer.

Akvakultur systemer

Akvakultur kan i denne sammenheng defineres som systemer der bruk

av planter og dyr i et akvatisk miljø inngår som komponenter i vannbehandlingen. Akvakultur systemer kan bruke en enkelt plantart i en monokultur drift, eller en variasjon av planter og dyr i en polykultur drift. Konsepter for saltvann og ferskvann er testet i fullskala anlegg (Guterstam og Etnier 1991).

Algedammer

Algedammer (figur 1e) er grunne biodammer optimert for stor algeproduksjon med påfølgende regelmessig høsting av biomassen (Liltvedt et al. 1989).

Våtmarkssystemer med flytende planter

Systemene består av grunne dammer med frittflytende planter (lemnider) som kan høstes. Plantene tar opp næringsstoffer, transporterer oksygen til vannet via røttene og er vertskap for mikroorganismer som har stor betydning for renseprosessen (Reed et al. 1988, Liltvedt et al. 1989). De mest brukte plantene til dette formålet er vannhyasint (*Eichhornia crassipes*) og andemat (*Lemna spp.*). Vannhyasint er en tropisk plante med potensiale for høyt næringsopptak. Andemat, som finnes naturlig i Norge, kan være en egnet plante i systemer for sesongmessig behandling ved nordlige breddegrader (Liltvedt et al. 1989). Systemene krever relativt mye kontroll og vedlikehold med jevnlig høsting.

Beplantet lagune

Systemene er tilplantede biodammer —lagunesystemer (figur 1c). Vanligvis er de utformet som 3-5 m brede og mer enn hundre meter lange vannfylte, grunne grøfter, beplantet med sump-

planter som sivaks (*Scirpus spp.*) og dunkjevle (*Typha spp.*).

Undervannsplanteanlegg

Systemene består av grunne biodammer tilplantet med langskuddplanter (elodeider) som er neddykket i vannet (figur d). Systemene er avhengig av lystilgang og oksygen i vannet og kan derfor ikke anvendes når belastningen av organisk materiale er stor. Næringsstoffer fjernes ved høsting av biomassen. Erfaringer med slike systemer i full skala er få. Systemene er best egnet til etterpolering av effluent fra biodammer og våtmarksenheter.

Flertrinnsbiologiske systemer

Med flertrinnsbiologiske systemer menes her ulike konsept basert på manipulering av næringskjeder hvor næringsstoffene i avløpsvannet utnyttes til biomasseproduksjon som fisk, kreps, muslinger og nytteplanter (Reed et al. 1988). I Kina og India har store dammer med avløpsvann blitt brukt til å produsere fisk i flere hundre år (Guterstam og Etnier 1991). Forsøk med konstruerte næringskjeder innendørs i veksthus med produksjon av fisk, krepsyr og fôrplanter er forsøkt de siste 10 årene i blant annet Sverige, Danmark og USA (Guterstam og Etnier 1991, Reed et al. 1988).

Biodammer

Et tradisjonelt biodamanlegg består av en eller flere grunne dammer hvor avløpsvann tilføres kontinuerlig og blir gitt en oppholdstid på 2-4 måneder. Bakterier, alger, protozoer og hogrestående organismer foretar en nedbrytning, mineralisering og videre omsetning av de ulike komponentene.

Økologiske rensesystemer kan grupperes etter grad av resirkulering/gjenbruk av næringssalter, og ressursinnsats. Ekstensive systemer med høy resirkuleringsgrad av næringsressurser, vil være de «beste» økologiske alternativene.

Utbredelse

Det er konstruert over 500 våtmarkssystemer Europa siden 1984 (Cooper 1990). I Danmark og England er det henholdsvis over 120 og 50 anlegg basert på våtmarksfilter/rotsonekonseptet. Anleggene i Europa er hovedsaklig dimensjonert for en belastning på 50 — 300 pe, men det finnes flere store anlegg for over 1000 pe. I USA og Canada har utvikling og testing av våtmarkssystemer for avløpsrensing foregått parallelt med forskning og utprøving i Europa, og det finnes i dag et svært omfattende erfaringsmateriale herfra (Reddy og Smith 1987, Hammer 1989). I USA er det også et stort erfaringsmateriale på akvatiske våtmarkssystemer med sumpplanter (helo-fytter) og flytende planter (lemnider).

I dag er konstruerte våtmarker for avløpsrensing i bruk og under utvikling i alle verdensdeler, og i de fleste klimasoner. Det er etablert ekspertgrupper for bruk av sumpplanter til vannrensing i Europa (EC/EWPCA expert contact group on emergent hydrophyte treatment systems) og ellers i verden (International association on water pollution research and control IAWPRC-Specialist group: The use of macrophytes in water pollution control). Ekspertgruppene koordinerer forskning og utveksling av erfaringer med bruk av planter til vannrensing.

Våtmarkskomponenter

Basis for behandling av forurenset vann i våtmarksfilter/rotsoneanlegg er samspillet mellom plantene og mikroorganismene som er assosiert med plantenes røtter og rhizomer og den omkringliggende jorda. Disse bestanddelene og systemets ytelse er i sin tur avhengig av temperatur, pH, hydrauliske forhold og oksygenkonsentrasjoner. Biomassen til levende mikroflora og mikrofauna utgjør en liten andel av den totale massen, men i antall når de opp i makroskopiske summer.

De fleste våtmarksfilter/rotsoneanlegg i Europa er beplantet med sumpplanter fra den plantesosiologiske vegetasjonsenheten takrør-sivaks-ump. De mest anvendte sumpplantene er takrør (*Phragmites communis/P. australis* (Cav.) Trin. ex Steudel), sivaks (*Scirpus spp.*), dunkjvle (*Typha spp.*), kjempesøtegress (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.), starr (*Carex spp.*), siv (*Juncus spp.*) og sverdlilje (*Iris pseudacorus*). Disse plantene har en naturlig utbredelse i store deler av verden. Det er størst erfaringsmateriale med denne storkvete flerårige gressplanten takrør. Takrør kan tåle ekstreme miljøforhold hva gjelder pH, saltholdighet, redokspotensiale og forurensinger. Takrør finnes i fuktige næringsfattige og næringsrike biotoper. Den har en svært høy produksjon av biomasse, og utvikler et dypt og kraftig rotsystem med et høyt volum av aktive rhizomer og røtter pr. overflateareal.

Det er gjort forsøk med mange ulike typer jordmedier i konstruerte våtmarker, som kornfraksjoner fra leire til pukk, organisk jord (torv) og reaktivt materiale (f.eks. Leca og pulverisert flyveaske). Valg av jordmedium har stor

betydning for hydrauliske forhold og fosforbinding i anlegget (Jenssen et al. 1991)

Renseprosesser

I våtmarksfilter/rotsoneanlegg er renseprosessene optimert ved å legge til rette for størst mulig kontakt mellom vann, jord og rotsone. Denne formen for avløpsrensing foregår i prinsippet ved hjelp av de samme biologiske omsetningsprosesser som i anvendes i konvensjonelle mekanisk/kjemisk/biologisk renseanlegg med N-fjerning. Forskjellen er at konvensjonelle anlegg i større grad arbeider med enkeltprosesser, mens omsetningsprosessene i et våtmarksfilter/rotsoneanlegg er sammensatte, og foregår i et jordmedium. Våtmarker har renseeffekt på forurensninger som organisk materiale, suspendert stoff, næringssaltene P og N, tungmetaller og organiske miljøgifter. Våtmarker har bufferevne for surt og basisk vann.

Organisk materiale nedbrytes aerobt, anoksisk og anaerobt som en følge av skiftende oksygenforhold i jorda. Fosfor fjernes hovedsaklig ved retensjon i jorda og rensevnen bestemmes derfor i stor grad av jordmediets sorpsjonsegenskaper (innhold av Fe, Al og Ca-forbindelser) og hydrauliske egenskaper. P kan bindes relativt permanent ved utfelling. Nitrogen fjernes ved adsorpsjon av ammonium, evaporasjon av ammoniakk, og ved nitrifikasjon og denitrifikasjon. Denitrifikasjon med dannelse av N₂ og N₂O er den viktigste renseprosessen for N. Lav temperatur, mangel på lettomsattelig karbonkilde og manglende nitrifikasjon kan være begrensende for denitrifikasjonen. Immobilisering av N og P i planter kan være permanent hvis plantene høstes.

Det blir ofte hevdet at oksygen lekker fra sumpplantenes røtter (radial diffusjon), slik at det dannes en oksygenholdig rhizosfære der det foregår oksidering av ammonium-N, organisk materiale, jern(II) og utfelling av jern(III)-fosfat (Armstrong et al. 1990). Det er til nå ingen undersøkelser som viser at denne oksygendiffusjonen har stor betydning ved behandling av avløpsvann i konstruerte våtmarker. Det blir ofte hevdet at røttene vil øke den hydrauliske ledningsevnen i jordmediet etter 3—4 år. Denne hypotesen er ikke blitt bekreftet.

Sumpplantenes viktigste oppgaver er å skape et sammensatt miljø for mikroorganismer i jorda og å isolere jordmediet om vinteren. Bare en mindre del av næringsstoffene i avløpsvannet vil vanligvis opptas av plantene (ca. 5—20%). Høsting av produsert biomasse anbefales som regel ikke i vekstsesongen, hvis målet er optimal renseeffekt med lite vedlikehold. Rensemekanismer/ prosesser i konstruerte våtmarker er mer utførlig beskrevet av Mæhlum (1991).

Erfaringer

Internasjonale erfaringer med konstruerte våtmarker er svært varierende ettersom mangfoldet av konsepter er så omfattende. Erfaringer viser at ved optimal konstruksjon og rett valg av jordtype bør det være mulig å oppnå følgende renseevne for våtmarksfilter/rotsoneanlegg på årsbasis (Mæhlum 1991):

<i>Organisk materiale</i>	BOF > 90%
<i>Suspendert stoff</i>	SS > 95%
<i>Fosfor</i>	Tot-P 50—90%
<i>Nitrogen</i>	Tot-N 50—90%
<i>Patogene mikroorganismer</i>	> 99%

Renseeffekten i våtmarksfilter/rotsoneanlegg er størst i sommersesongen når resipientene er mest sårbare. Biologiske og kjemiske prosesser avtar ved lave temperaturer. På grunn av jordmediets filtrerende og sorberende egenskaper, og en viss mikrobiologisk aktivitet, vil det foregå en rensing i et temperert klima med kalde vintre. Konstruerte våtmarker blir anvendt i områder med tilsvarende klima som Norge. Med de mange internasjonale erfaringer som til nå er gjort bør det være mulig å lage et konsept tilpasset norsk klima og jordbunnsforhold. Foreløpig er myndighetene restriktive med hensyn til å gi utslippstillatelse til slike anlegg. Det er naturlig, i og med at det foreligger minimalt med erfaringer fra bruk av våtmarksfilter/rotsoneanlegg i Norge. Metodene bryter med vanlige prinsipper for rensing av avløpsvann. Mangel på profesjonell kompetanse så vel som profesjonell konser-

vatisme er også store hindringer for en mer utbredt bruk av slike løsninger. Det er derfor viktig å få bygget noen forsøksanlegg slik at erfaringer fra norske forhold kan høstes.

Mange steder i Europa har våtmarker blitt en sjelden biotop som følge av gjenfylling, drenering, senkningstiltak og nydyrking. Bruk av konstruerte våtmarker til vannbehandling kan gjenskape tapte habitater og bidra til å løse et omfattende miljøproblem på en økologisk gunstig måte. Fortsatt er det mange som kaller våtmarker for «vasssjuk jord». Vi håper med dette innlegget å få økt forståelsen for at våtmarker er en verdifull ressurs: SUMP ER IKKE SYKT!

Etterord

En artikkel om optimalisering av jord- og plantebaserte renseanlegg og muligheter under norske klimaforhold vil bli publisert i neste nr. av VANN.

Referanser

- Armstrong, W., J. Armstrong og P.M. Beckett. (1990). Measurement and modelling of oxygen release from roots of *Phragmites australis*. I: P.F. Cooper og B.C. Findlater (red.): *Use of constructed wetlands in water pollution control*, 41-51, Pergamon Press, Oxford.
- Brix, H. og H.-H. Schierup. (1989). The use of aquatic macrophytes in water pollution control. *Ambio*, 18 (2), 100-107.
- Brix, H. (1990). Gas exchange through the soil-atmosphere interphase and through dead culms of *Phragmites australis* in a constructed reed bed receiving domestic sewage. *Wat. Res.*, 24, 259-266.
- Cooper, P.F. (red). (1990). *European guidelines and operations — guidelines for reed bed treatment systems*. Rapport nr. UI 17. WRc, Swindon, England. 25s.
- Cooper, P.F. og B.C. Findlater. (1990). *Use of constructed wetlands in water pollution control*. Pergamon Press, Oxford. 605s.
- Hammer, D.A. (red.). (1989). *Constructed wetlands for wastewater treatment — municipal, industrial and agricultural*. Lewis, Chelsea, MI, USA. 831s.

- Guterstam, B og C. Etnier. (1991). *Proc. Int. Conf. on Ecological engineering for wastewater treatment*, Stensund, Sverige, mars 1991. Bokskogen, Gøteborg.
- Jenssen, P.D., T. Krogstad og T. Mæhlum. (1991). Use of constructed wetlands in Norwegian climate: Pretreatment and optimal design. I: B. Guterstam og C. Etnier (red): *Ecological engeneering for wastewater treatment*, 227-238. Bokskogen, Gøteborg.
- Liltvedt, H., T. Källqvist og B. Faafeng. (1989). *Nitrogenfjerning fra kommunale avløp ved bruk av plantebaserte systemer*. NIVA-rapport nr. 1, Oslo. 58s.
- Mitch, W.J. og S.E. Jørgensen. (1989). *Ecological Engineering. An introduction to ecotechnology*. Wiley, New York. 496s.
- Mæhlum, T. (1991). *Økologisk avløpsrensing. Bruk av konstruerte våtmarker til rensing av avløpsvann i Norge*. Hovedoppgave, Institutt for biologi og naturforvaltning, Norges landbrukshøgskole, Ås.
- Reddy, K.R. og W.H. Smith (red.). (1987). *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*. Magnolia, Orlando, FL, USA.
- Reed, S.C., E.J. Middlebrooks, R.W. Crites. (1988). *Natural systems for waste management & treatment*. McGraw-Hill, London. 308s
- Seidel, K. (1966). Reinigung von Gwessern durch höhere Pflanzen. *Naturwiss.*, 53 (12), 289-297.
- Skaarer, N. (1980). *Rensing av avløpsvann ved infiltrasjon i rotsonen (resorpsjon) kombinert med lager*. Undersøkelser på Danskerudfeltet i Ås. Rapport nr. 3, Ås-NLH. 20s.
- USEPA. (1988). Design manual constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. EPA-625/1-88-022, USEPA, CERL, Cincinnati, Ohio.