

Optimalisering av jord- og plantebaserte renseanlegg og muligheter under norske klimaforhold

Av Petter D. Jenssen og Trond Mæhlum.

Petter D. Jenssen er dr. Scient fra Norges landbrukshøyskole og forsker ved JORDFORSK.

Trond Mæhlum er naturforvalterkandidat fra Norges landbrukshøyskole og avdelingsingeniør ved JORDFORSK.

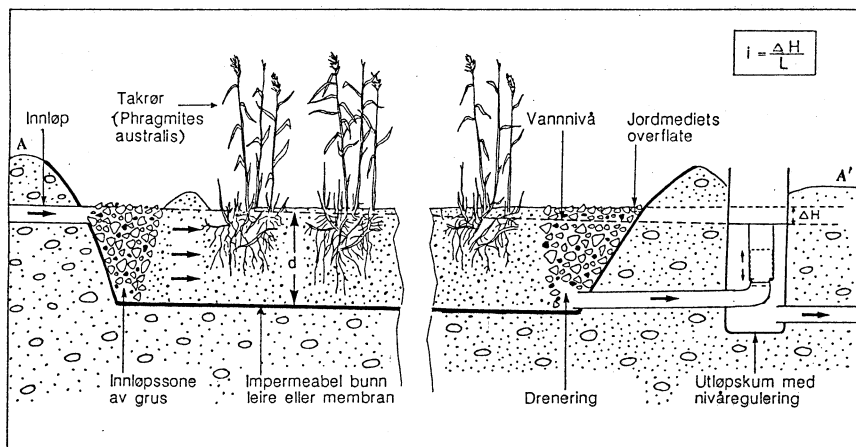
*Innlegg på fagtreff i Norsk Vannforening
14. oktober 1991*

Innledning

Internasjonalt er det i dag en stor forskningsaktivitet omkring bruk av planter og våtmarker til rensing av vann (Reddy og Smith 1987, Brix og Schierup 1989, Hammer 1989, Cooper and Findlater 1990, Etnier og Guterstam 1991). I VANN nr. 4/91 ble det gitt en oversikt over jord- og plantebaserte systemer med hovedvekt på konstruerte våtmarker (Mæhlum og Jenssen 1991). Konseptet vi tar for oss i denne artikkelen, er en konstruert våtmark (KV) utformet som en avgrenset permeabelt jordmedium beplantet med sumpvegetasjon (fig. 1, våtmarksfilter/rotsoneanlegg). KV er enkle driftsekstensive anlegg som kan bygges uten bevegelige deler. KV byr i første rekke på muligheter for rensing av avløpsvann fra enkelthus, turistbedrifter og mindre tettsteder. Utenlandske erfaringer viser imidlertid at systemene også kan anvendes til rensing av punktutslipp fra landbruket, arealavrenning, visse typer

industriavløp og sigevann. Anleggene vil kunne operere som selvstendige enheter, men gir også interessante muligheter kombinert med konvensjonelle rensemetoder, særlig der disse skal optimaliseres for nitrogenfjerning eller trenger etterpolering før utslipp til resipient.

KV har en svært god renseevne overfor organisk materiale, suspendert stoff og patogene mikroorganismer (Reed et al. 1988). KV vil for disse parametrene være like gode, eller bedre enn konvensjonelle metoder. Fjerning av nitrogen (N) er en sterk side ved KV, men når det gjelder fosfor (P), så er resultatene svært variable. Uten at stabil høy P-fjerning kan oppnås, vil KV ha begrensede muligheter som selvstendig behandlingsmetode i innlandet. Utenlandske anlegg er i hovedsak etablert for fjerning av organisk materiale (Reed et al. 1988, Riger-Kusk 1991). Mulighetene for optimalisering av KV for fjerning av næringssalter er relativt lite undersøkt. For at KV skal bli akseptert som en fullverdig renseløsning i Norge må de optimeres for høy P-fjerning og dimen-



Figur 1. Snitt gjennom en konstruert våtmark med horisontal strømning gjennom jordmediet.

sjoneres for et kjøligere vinterklima enn det som er vanlig for slike systemer. I denne artikkelen er tilpasninger til norske klimaforhold diskutert og muligheter for å oppnå høy N- og P-fjerning skissert.

Klimatilpasninger

Store deler av Norge har et kjølig temperert klima med månedlige middeltemperaturer fra -20 til $+15^{\circ}\text{C}$. Bruk av planter til rensing av avløpsvann i anlegg uten overbygg, har åpenbart sin begrensning i områder med en kort vekstsesong. Følgende spørsmål kan reises; 1): vil anleggene fryse og ikke fungere i det hele tatt, eller 2): vil renseseffekten om vinteren være så redusert at den ikke er akseptabel.

Risiko for frost krever spesiell omtanke med hensyn til isolering av jordmediet og rørsystemet. Et stabilt snødekke vil gi en temperatur på ca. 0°C i

markflaten selv om frostklimaet er strengt. Dette vil i første rekke ha betydning i innlandet. Et varig snødekke vil ofte først komme 1—2 uker etter at lufttemperaturen har passert frysepunktet. Det er derfor nødvendig å konstruere anleggene med tanke på barfrost i begynnelsen av vinteren. Dette kan gjøres gjennom å øke dybden på jordmediet i forhold til det som er vanlig, eller ved å isolere filteret. Ved å øke jorddybden vil den øverste delen av filteret kunne dreneres og tjene som isolasjon om vinteren. Dette kan gjøres ved en enkel justering av utløpsnivået (fig. 1).

I de første årene etter etableringen er det særlig viktig med tilleggisolering, f.eks. med halm. Det er flere faktorer som sikrer en relativt høy temperatur i jordfilteret om vinteren, slik at frysing unngås. Etter noen vekstsesonger vil rester av planter som filteret produserer utgjøre et isolerende dekke. Avløps-

vann fra slamavskillere vil ha en egen-temperatur som er høyere enn omgivelsene, og produksjon av varme fra mikrobiell aktivitet vil øke temperaturen i rotsonen. Temperaturen påvirker både filterets hydrauliske kapasitet og renseprosessene. Vannets hydrauliske ledningsevne avtar med avtagende temperatur. Den hydrauliske ledningsevnen er halvparten så stor ved 0°C som ved 25°C. Dette er det imidlertid enkelt å ta hensyn til ved den hydrauliske dimensjoneringen av anlegget. Det er derfor lite som tyder på at funksjonssvikt pga. frost, vil være til hinder for utbredelse av KV i Norge.

Et hovedspørsmål er om renseseffekten vil være tilfredsstillende i vinterhalvåret. Plantenes viktigste funksjon i en konstruert våtmark på våre breddegrader er ikke å fjerne næringssalter gjennom opptak, men å bidra til å skape et gunstig miljø for rensing i jordfilteret. Spørsmålet er da om den mikrobielle omsetningen vil være tilstrekkelig rask og om adsorpsjons- og fellingsmekanismene er tilstrekkelig effektive ved temperaturer ned mot 0°C.

Selv om temperaturen ligger langt under den optimale, vil det ifølge Nissen (1974) foregå en betydelig mikrobiell omsetning i jordbunnen i den kjølige delen av året, når både N- og C-forbindelser er til stede. Wood (1990) hevder at lav temperatur på avløpsvannet vil ha begrenset virkning på effluent-kvaliteten. Dette blir forklart med at det totale antall bakterier i jorda og rhizosfæren (rotsonen) øker i vintermånedene, som et resultat av nedsatt aktivitet for den individuelle bakterie og dermed mindre konkurranse. Dette vil til en viss grad kompensere for de langsommere prosessene. Kuldetole-

rante (psykrofile) bakterier vil overta endel av prosessene i den kalde årstiden. Erfaringer fra Danmark viser at reduksjonen av organisk materiale i KV er lite påvirket av temperaturen (Riger-Kusk 1991). Erfaringer med infiltrasjonsanlegg viser at det kan foregå en høygradig rensing i løsmasser ved lave temperaturer, noe resultatet fra Setermoen infiltrasjonsanlegg i Troms viser. Ved dette anlegget er det oppnådd en gjennomsnittlig rensesevne for P og N på henholdsvis 99% og 76% over en periode på tre år (Jenssen et al. 1990). Årsmiddeltemperaturen i området er 1–2°C.

Mye tyder på at det vil kunne være mulig å oppnå en god renseseffekt i KV også om vinteren, men det er foreløpig få resultater som bekrefter dette, særlig for næringssalter. Redusert effektivitet i renseprosessene kan imidlertid kompenseres med lengere oppholdstid. Både hydrauliske og rensesmessige forhold tyder derfor på at anlegg som skal bygges i Norge bør ha et større jordvolum enn anlegg som bygges på sørligere breddegrader. Dette vil gjøre anleggene dyrere enn i land med et varmere klima.

Optimalisering av fosforfjerning

I Norge settes det strenge krav til P-fjerning, særlig for større anlegg som ligger nær sårbare ferskvannsresipienter. Fosforfjerning i KV er varierende og ligger ofte i underkant av 40% (Cooper et al. 1989, Schierup et al. 1990). Det er imidlertid rapportert om anlegg med 70–99% P-fjerning (Bucksteeg 1990, Rogers et al. 1990, Willadsen et al. 1990). Dette viser at potensialet for fjerning av P er høyt i KV.

På våre breddegrader vil plantene, dersom de høstes, ta opp anslagsvis 15–

20% av tilført P. Hovedmekanismene for fjerning av P i KV blir derfor adsorpsjons- og fellingsreaksjoner i jordfilteret. Jordas evne til å binde P avhenger i stor grad av overflatekjemien på partiklene og tilgjengelig overflateareal. Finkornet jord har derfor større evne til å binde P enn en tilsvarende grovkornet jord. P-bindingsevnen øker også med økende innhold av jern- og aluminiumoksider/hydroksider og innholdet av kalsiumforbindelser (Miller og Wolf 1975). Høy P-fjerning er derfor funnet i anlegg med lav belastning og finkornet jord (Mark et al. 1990), og i jord med et høyt jernoksidinnhold (Bucksteeg 1990). Øvre del av et jordprofil er ofte rustbrunt og har et høyt innhold av oksiderte Fe og Al-forbindelser. Vi antar derfor at dette laget fra sandjord er egnet til bruk i KV. I masseuttak blir dette jordlaget ofte skrapet vekk, siden det ikke tilfredsstiller kravene til handelsvare. Jord fra dette laget er benyttet i det forsøksanlegget som nå følges opp av Jordforsk.

Forsøk med sandfiltrering av avløpsvann har vist at aktivert aluminium eller tilsetning av jernforbindelser til sand kan øke P-bindingskapasiteten (Brattebø 1983, Nilsson 1990). Det er sannsynlig at slike forbindelser også vil øke P-bindingen i KV. Et annet interessant medium for bruk i KV er Leca. Laboratorieforsøk med Leca-fraksjonen 0–4 mm, har vist at denne kan binde opptil 4 kg P/m³ (Jenssen et al. 1991a). Bruk av tilsatsmaterialer eller Leca gir derfor interessante muligheter for å øke P-bindingsevnen i KV. Leca er dessuten mye brukt som vekstmedium for planter. Fullskala utprøving av Leca i en konstruert våtmark er allerede igang i regi av Jordforsk.

I en KV er jorda vannmettet, noe som ofte fører til reduserende forhold. Dette vil kunne redusere P-bindingskapasiteten. Et annet spørsmål er hvordan høy P-binding skal kunne opprettholdes over lang tid. Det er kjent at jordas P-bindingskapasitet til en viss grad kan regenereres ved hvile og opptørking (Miller og Wolf 1975, Sawhney og Hill 1975). Veksling mellom to parallelle anleggsenheter kan derfor være et tiltak for å øke bindingskapasiteten for P. Ved Jordforsk er det satt igang forsøk med hensyn på å belyse dette.

Når P-bindingskapasiteten i jordfilteret har nådd metning, vil jorda måtte skiftes for å tilfredstille kravene til renseevne. Dette er en forholdsvis enkel operasjon, fordi filtermaterialet er lett tilgjengelig. De utskiftete massene vil kunne brukes som gjødsel- og jordforbedringsmedium.

Optimalisering av nitrogenfjerning

I KV fjernes N ved denitrifikasjon, adsorpsjon av ammonium (NH₄⁺), ammoniakkkfordunstning og opptak i planter. Noe N vil dessuten fjernes gjennom oppbygging av biomasse i rotsonen. Ved bruk av tavrør (*Phragmites australis*) og anlegg med inntil 10 m² overflateareal/p.e., vil det anslagsvis være mulig å fjerne 15% N ved høsting (Jenssen et al. 1991b). Regelmessig høsting i vekstsesongen er imidlertid forbundet med problemer og kan resultere i at plantepopulasjonen svekkes (Geller et al. 1990). For å oppnå høy N-fjerning må derfor forholdene legges til rette for denitrifikasjon.

I utgangspunktet ligger forholdene godt til rette for denitrifikasjon. Jordfilteret har aerobe, anoksiske og anaerobe soner, og organisk materiale er tilstede i

avløpsvannet og i form av oppbygd biomas i rotsonen. Det har imidlertid vist seg at nitrifikasjonen kan være den begrensende faktoren for N-fjerning (Brix 1987, 1990, Cooper 1990, Willadsen et al. 1990, Riger-Kusk 1991). En mulighet for å øke N-fjerningen i en våtmark er derfor aerob forbehandling. Dette kan gjøres på mange måter, f.eks. i en luftet biodam (Mæhlum et al. 1991), sandfilter eller biorotor. Flere forsøksanlegg basert på komponentene slamavskiller, luftet biodam og KV, er planlagt etablert i løpet av 1992.

En annen mulighet er å satse på adsorpsjon av ammonium-N. Ved tradisjonell slamavskilling foreligger 70–90% av N som ammonium (Jenssen og Siegrist 1988). Jord har en relativt god evne til å adsorbere ammonium-N og 2–3 m² sand vil normalt ha kapasitet til å binde ammonium-N fra en person i et halvt år. Det skulle derfor være mulig å adsorbere vinterproduksjonen av ammonium i et normalt dimensjonert våtmarksfilter. Ved å la dette filteret dreneres vil forholdene bli aerobe og nitrifikasjon vil kunne foregå. Ved å belaste filteret på nytt med slamavskilt avløpsvann etter en hvileperiode, vil forholdene igjen bli anaerobe samtidig som avløpsvannet vil utgjøre en karbonkilde. På denne måten kan det være mulig å oppnå denitrifikasjon. Dette krever imidlertid at anlegget er konstruert for intermitterende drift med minst to parallelle seksjoner.

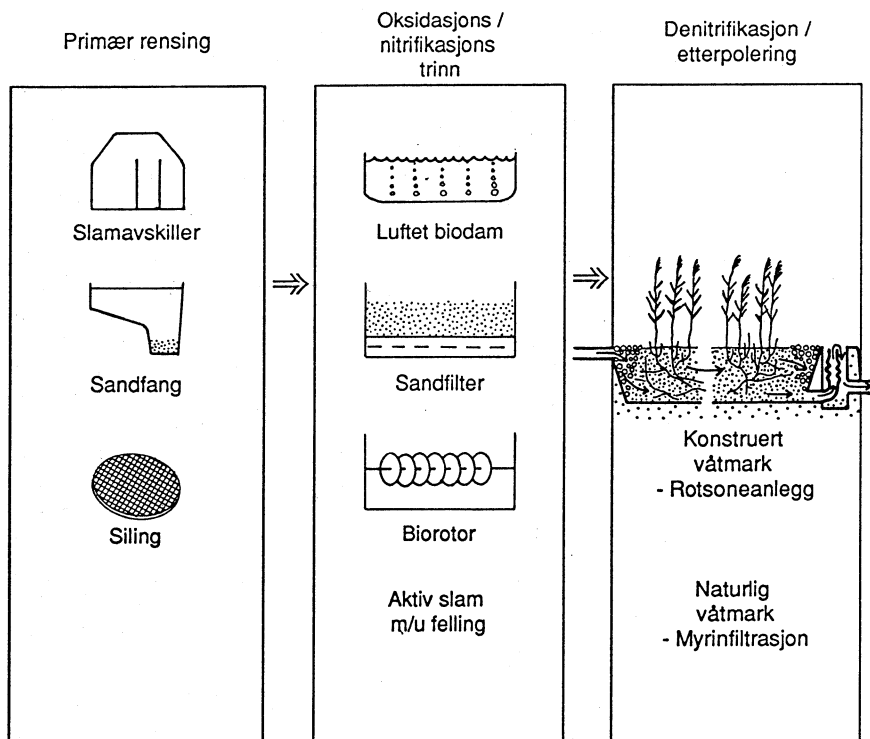
Anleggsutforming

Fig. 2 viser noen av de sekvenser og kombinasjoner av avleggskomponenter som er mulig for å oppnå høy N-fjerning i et anlegg hvor KV inngår. Vi gjør spesielt oppmerksom på muligheten

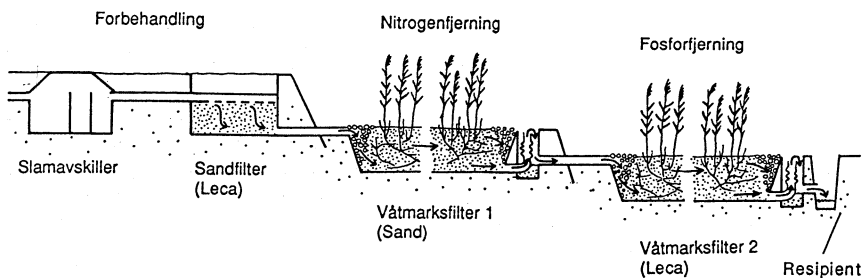
for å oppgradere mindre biologiske og kjemiske anlegg for N-fjerning. F.eks. vil kombinasjonen aktivslam m/felling og KV kunne gi en svært høy renseevne både for N og P. For å unngå gjentetting av innløpsarealet i den konstruerte våtmarken må slamflukt fra aktivslamanlegget kontrolleres.

Det er svært begrensede erfaringer med bruk av KV i Norge. En av de første KV ble etablert høsten 1991 i Enebakk kommune. Forsøksanlegget betjener to familier. Anlegget er forsøkt optimert for både N- og P-fjerning. Det består av slamavskiller, et lite sandfilter av Leca (0–4mm) og to våtmarksfiltre på henholdsvis 60 og 40 m² (fig. 3). I sandfilteret er det meningen å oppnå nitrifikasjon. I våtmarksfilter 1, som er fylt med sand, vil det være muligheter for denitrifikasjon. Det siste filteret, som består av Leca, er ment som et P-bindingsfilter. Anlegget vil i løpet av våren 1992 beplantes med sumpplanter, som takrør, dunkjevle og sjøsvaks. Anlegget skal følges opp med vitenskapelige undersøkelser de førstkomende årene i regi av Jordforsk.

Det er ofte stilt spørsmål om rensemetoder som gjør bruk av høyerestående planter i det hele tatt er egnet for norske naturforhold. Studier av litteraturen har imidlertid vist at det finnes konstruerte våtmarker som har fungert tilfredsstillende under klimaforhold som ligger nær opp til de norske (Herskowitz et al. 1987, Kadlec 1987, Gumbrecht 1991, Mæhlum 1991). Vi vurderer derfor mulighetene for å kunne tilpasse konstruerte våtmarker til norske forhold som gode.



Figur 2. Rensing av nitrogen i avløpsvann ved bruk av konstruert våtmark.



Figur 3. Forsøksanlegg for rensing av husholdningsavløp i en konstruert våtmark.

Jordforsk har i løpet av 1992 planer om å etablere flere konstruerte våtmarker for husholdningsavløp og sigevann, som vil inngå i et flerårig oppfølgingsprogram. Til tross for mange gode utenlandske erfaringer, vil vi være forsiktige med å hevde at konstruerte våtmarker er kostnadseffektiv renseteknologi i Norge før resultatene fra forsøksanleggene foreligger.

Referanser

- Brattebø, H. (1983): Phosphorus removal from wastewater by fixed-bed adsorption on granular activated alumina. Doktoravhandling. Seksjon for VÅR-teknikk, Institutt for Vassbygging, NTH, Trondheim, 192 s.
- Brix, H. (1987): Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants — the root zone method. *Wat. Sci. Tech.*, 19 (1/2), 107—118.
- 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.
- Brix, H. og H.H. Schierup. (1989): The use of aquatic macrophytes in water pollution control. *Ambio*, 18 (2), 100-107.
- Bucksteeg, K. (1990). Treatment of domestic sewage in emergent helophyte beds — german experiences and ATV-guidelines H 262. I: P.F. Cooper og B.C. Findlater (red.): *Use of constructed wetlands in water pollution control*, 505-515. Pergamon Press, Oxford.
- Cooper, P.F. (red). (1990): *European guidelines and operations — guidelines for reed bed treatment systems*. Rapport nr. UI 17. WRc, Swindon. 25s.
- Cooper, P.F. og B.C. Findlater. (1990): *Use of constructed wetlands in water pollution control*. Pergamon Press, Oxford. 605s.
- Cooper, P.F. og J.A. Hobson og B.C. Findlater. (1990). The use of reed bed systems in the UK. *Wat. Sci. Tech.*, 22, 57-64.
- Etnier C, and B. Guterstam. (1991). *Ecological Engineering for Wastewater Treatment*. (Proceedings). Bokskogen, Gøteborg. 365s.
- Geller, G., K. Kleyn og A. Lenz. (1990). «Planted soil filters» for wastewater treatment: the complex system «planted soil filters», its components and their development. I: P.F. Cooper og B.C. Findlater (red.): *Use of constructed wetlands in water pollution control*, 161-170, Pergamon Press, Oxford.
- Gumbrecht, T. (1991). Nutrient reduction using macrophyte systems in temperate climate. Licentiate thesis, Institutionen fr mark- och vattenresurser, KTH, Stockholm.
- Hammer, D.A. (red.) (1989). *Constructed wetlands for wastewater treatment — municipal, industrial and agricultural*. Lewis, Chelsea, MI, USA. 831 s.
- Herskowitz, J. S.A. Black og W. Lewandowski. (1987): Listowel artificial marsh treatment project. I: K.R. Reddy og W.H. Smith (red): *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*. Magnolia, Orlando, FL, USA.

- Jenssen P.D. and R.L. Siegrist. (1988). Nitrogen removal from wastewater in soil infiltration systems. I: H. Ødegaard (red.): *Fjerning av nitrogen i avløpsvann*, 114—128, (Proceedings), Tapir, Trondheim.
- Jenssen P.D., L. Bakken, P.I. Kraft, T. Krogstad, and J.C. Køhler. (1990). Rensing av avløpsvann i løsavsetninger. Setermoen infiltrasjonsanlegg. *Geonytt*, 4, 41—42,50.
- Jenssen P.D., T. Krogstad, T. Briseid og E. Norgaard. (1991a). Testing of reactive filter media (LECA) for use in agricultural drainage systems. Int. seminar of the technical section of CIGR on *Environmental challenges and solutions in agricultural engineering*. Ås-NLH, 1—4. juli 1991, 160—166.
- Jenssen, P.D., T. Krogstad and T. Mæhlum. (1991b). Wastewater treatment by constructed wetlands in the Norwegian climate: Pretreatment and optimal design. I: C. Etnier and B. Guterstam (red.): *Ecological Engineering for Wastewater Treatment*, 227—238. Bokskogen. Gøteborg.
- Kadlec, R.H. (1987). Northern natural wetland water treatment systems. I: K.R. Reddy og W.H. Smith (red.): *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*, 83—98. Magnolia, Orlando, FL, USA.
- Mark, H.S., H. Madsen og B.S. Jepsen. (1989). *Lavteknologisk spildevansrensing for landbrugseiendomme*. Hedeselskabet, beretning nr. 41, Danmark. 115s.
- Miller, F.P. og D.L. Wolf. (1975). Renovation of sewage effluents by soil. I: Individual onsite systems. Second National Conference, Ann Arbor, MI, USA. 87—102.
- Mæhlum, T. (1991). *Økologisk avløpsrensing. Bruk av konstruerte våtmarker til rensing av avløpsvann i Norge*. Hovedoppgave, Norges landbrukshøgskole, Ås. 92 s.
- Mæhlum, T., P.D. Jenssen og T. Krogstad. (1991). Lufting av en biodam med strømningsformer (flowforms). Effekstudier om vinteren. *Vann*, 4, 426—434.
- Mæhlum, T. og P.D. Jenssen. (1991). Jord— og plantebaserte renseanlegg for avløpsvann — en oversikt. *Vann*, 4, 418—425.
- Nilsson, P. (1990). *Infiltration of wastewater — an applied study on treatment of wastewater by soil infiltration*. Rapport nr. 1002, Univ. Lund, Sverige.
- Nissen, T.V. (1974). *Mikrobiell aktivitet i jordbunden ved forskjellige temperaturer*. Statens forsøgsvirksomhed i plantekultur. Statens Planteavl- Laboratorium.
- 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.
- Riger-Kusk, O. (1991). Erfaringer med rodzoneanlæg i Danmark, *Vann*, 4, 410—417.
- Rogers, K.H., P.F. Breen og A.J. Chick. (1990). Hydraulics, root distribution and phosphorus removal in experimental wetland systems. I: P.F. Cooper og B.C. Findlater (red.): *Use of constructed wetlands in water pollution control*, 525—528. Pergamon Press, Oxford.

- Sawhney, B.L. og D.E. Hill. (1975). Phosphate sorbtion characteristics of soil treated with domestic wastewater. *J. Environ. Qual.*, 4, 342—346.
- Schierup, H.-H., H. Brix og B. Lorenzen. (1990) Wastewater treatment in constructed wetlands in Denmark — state of art. I: P.F. Cooper og B.C. Findlater (red.): *Use of constructed wetlands in water pollution control*, 405—504. Pergamon Press, Oxford.
- Willadsen, C.T., O. Riger-Kusk og B. Qvist. (1990). Removal of nutrient salts from two Danish root zone systems. I: P.F. Cooper og B.C. Findlater (red.): *Use of constructed wetlands in water pollution control*, 115—126. Pergamon Press, Oxford.
- Wood, A. (1990). Constructed wetlands for wastewater treatment — engineering and design considerations. I: P.F. Cooper og B.C. Findlater (red.): *Use of constructed wetlands in water pollution control*, 481—494. Pergamon Press, Oxford.