

Hva er levetiden til infiltrasjonsanlegg for avløpsvann, og hvordan evaluere dette?

By Gro Eggen og Esther Bloem

Gro Eggen og Esther Bloem er begge ansatt som forskere ved Bioforsk Jord og Miljø, Ås.

Innlegg på fagtreff i Norsk vannforening 9. mai 2011

Sammendrag

Av separate avløpsløsninger i Norge baseres omtrent 1/3 på infiltrasjon i lokale masser for rensing av avløpsvannet. Infiltrasjonsanlegg bygges i dag etter fastsatte designkriterier, basert på en grunnundersøkelse. Levetiden av slike anlegg er begrenset av jordas fosforbindeevne og gjentetting av anlegget, og er estimert til å vare fra 15-40 år. Det er derimot stor usikkerhet knyttet opp til hvordan eldre anlegg fungerer i felt, og hvordan tilførsel av avløpsvann endrer jordfysiske parametre. Det er derfor behov for en metodikk for å evaluere hvordan eldre anlegg fungerer i felt. Det finnes både tradisjonelle og nye jordfysiske måle- og overvåkningsmetoder som kan benyttes for å analysere infiltrasjonsanlegg. De ulike metodene gir ulik informasjon og har sine fordeler og ulemper, men en integrert kombinasjon av slike metoder har potensiale til samlet å gi god informasjon

om hvordan gamle infiltrasjonsanlegg fungerer. Det trengs imidlertid mer forskning vedrørende dette temaet i Norge.

Introduksjon

I Norge bor omtrent 20 % av befolkningen slik at de ikke er tilknyttet offentlig avløpsanlegg. Disse husstandene er derfor avhengige av lokal rensing og håndtering av avløpsvann. I 2009 var det 342 364 separate avløpsanlegg (< 50 pe) i drift i Norge (SSB 2010). Av disse er 101 650 basert på infiltrasjon i jord som rensetrinn etter slamavskiller (ibid.).

Infiltrasjon av avløpsvann i jord er antatt å være den mest kostnadseffektive blant separate rensemetoder for avløpsvann (bl.a. Jenssen et al. 2006, Siegrist et al. 2001). Metoden er benyttet over hele verden, og i Norge har infiltrasjonsanlegg for avløpsvann vært konstruert siden 1950-tallet. Metoden utnytter umettet sone som rensemedium for å få rensed avløpsvannet. Forventet renseeffekt i et infiltrasjonsanlegg er over 90 % rensing av fosfor, organisk materiale og suspen-

dert materiale og mellom 20-80 % tilbakeholdelse av nitrogen. Renseeffekten i et infiltrasjonsanlegg er avhengig av reaksjoner som skjer i umettet sone: fysisk filtrering og kjemisk og biologisk nedbrytning. Disse reaksjonene er igjen avhengig av jordfysiske og jordkjemiske egenskaper i jordprofilen, bl.a. jordtekstur, struktur, matrikskrefter og jordas mineralogi. Sammen med belastningsrate av avløpsvann bestemmer de jordfysiske parameterne oppholdstid av avløpsvann i jordprofilen. Lang nok kontakttid mellom avløpsvannet og jordpartiklene er vesentlig for at de kjemiske og biologiske reaksjonene skal skje. De jordkjemiske

parameterne er viktig for absorpsjon og nedbrytning av en del av de problematiske stoffene i avløpsvannet.

Oppbygging av infiltrasjonsanlegg

I dag bygges infiltrasjonsanlegg etter bestemte kriterier, basert på grunnundersøkelse der jordas fysiske og kjemiske egenskaper vurderes. Designkriteriene som anleggene bygges etter, er fastsatt for å få optimal utnyttelse av jordas egenskaper som rensedium. Dagens gjeldende kriterier er publisert i VA/miljøblad 59: Lukkede infiltrasjonsanlegg (2003).



Figur 1. Skisse av et infiltrasjonsanlegg. Avløpsvannet renner via tre-kamret slamavskiller til pumpekum, som sørger for støtvis belastning av infiltrasjonsgrøftene. Lokalisering av grøftene i profilet avhenger av mektighet av løsmassene og avstanden til grunnvann i området.

Figur 1 viser en skisse av hvordan et infiltrasjonsanlegg er bygd opp. Avløpsvann fra husholdningen renner først igjennom en tre-kamret slamavskiller i glassfiber. Her siles tørrstoffet i avløpet vekk. Det løste vannet renner videre til en pumpekum der avløpsvann pumpes støtvis til én eller flere grøfter for infiltrasjon i grunnen. Fordelingsrøret ligger i et fordelingslag bestående av pukk. Under fordelingslaget er de stedlige jordmasser hvor avløpsvannet infiltreres og renses. Lengde av grøftene og antall grøfter i anlegget, bestemmes via teoretisk belastning av avløpsvann samt analyse av jordas egenskaper som rensedium.

Forventet levetid

Levetiden til infiltrasjonsanlegg er den perioden man antar at anlegget kan brukes uten at det går utover rensesevnen. Forutsatt at anlegget ikke overbelastes i forhold til dimensjoneringen, vil levetiden hovedsakelig begrenses av to faktorer: jordas evne til å binde fosfor (P) og redusert infiltrasjon gjennom anlegget på grunn av gjentetting av filterflaten. De to faktorene omtales nærmere i avsnittene nedenfor.

Jordas fosforbindeevne

I avløpsvann finnes fosfor hovedsakelig som ortofosfat (PO₄³⁺). Denne formen for fosfor er lett tilgjengelig for alger, og økte verdier av PO₄³⁺ i ferskvann kan bidra til eutrofiering av vassdragene. Jordas evne til å fjerne fosfor i avløpsvann er avhengig av jordas mineralogi og tekstur. Man antar at P fjernes fra avløpsvannet ved to prosesser: en rask re-

versibel prosess der PO₄³⁺ absorberes til kjemiske forbindelser i jorda, hovedsakelig oksider av jern, aluminium og kalsium (FeOH, AlOH og CaOH). Den andre prosessen er irreversibel og skjer langsommere, og inkluderer utfelling av P-mineraler og diffusjon av P-forbindelser i mikroporer og aggregater i jorda (Robertson 1995).

Det antas at en jordprofil har et begrenset antall bindingsplasser for fosfor. For å bestemme jordas fosforbindeevne benyttes karforsøk der suspendert jord blandes med ulike konsentrasjoner av P. Ved hjelp av bl.a. Langmuirs isoterm beregnes jordas teoretiske metningspunkt for P. Basert på denne metoden er levetiden til et infiltrasjonsanlegg estimert til å være om lag 15 til 20 år (Jenssen et al. 2006).

Det er imidlertid flere svakheter knyttet til denne metoden for å bestemme jordas fosforbindeevne. Metoden tar ikke i betraktning den langsomme fosforbindeprosessen. Ved slike kareksperimenter ser man at mer P fjernes dersom blandingen får stå noen dager. Dessuten viser feltforsøk et avvik mellom hva som blir bestemt i karforsøk i lab versus hva som skjer i felt (Jenssen et al. 2006). Oppgraving av eldre anlegg som har vært i bruk noen år, viser at jorda kan binde mye mer fosfor enn hva som opprinnelig ble bestemt. Dette tyder på at det dannes nye P-bindeplasser i jorda ettersom anlegget er i bruk. Det kan være flere faktorer som bidrar til dette, blant annet vekslende redoks-forhold, temperatur og endring av jordkjemien, som følge av konstant tilførsel av avløpsvann.

Gjentetting av filterflaten

Hydraulisk svikt hos infiltrasjonsanlegg skyldes som oftest gjentetting av anlegget. Gjentetting skjer på grunn av akkumulering av biologisk materiale på jordas infiltrasjonsflate. Avløpsvann er svært næringsrikt, noe som gir grobunn for bakterievekst på jordas infiltrasjonsflate (overgangen mellom fordelingslag og de stedlige massene). Dette vil etter hvert føre til dannelsen av et slimete lag, en biofilm, på infiltrasjonsflaten. Biofilmen har ofte mye lavere hydraulisk ledningsevne sammenlignet med omkringliggende jord. Studier har vist at biofilmen har en hydraulisk ledningsevne i størrelsesorden mellom 10 og 103 lavere enn den opprinnelige jorda (Beach et al. 2005, Bumgarner & McCray 2007). Biofilmen vil derfor fungere som et hinder for infiltrasjon av avløpsvann gjennom jordprofilen. I tillegg vil suspenderte stoffer i avløpsvannet samles her og føre til videre gjentetting av filterflaten.

Biofilm dannes ganske raskt etter at anlegget er tatt i bruk, og den er antatt å være positiv for renseseffekten i et infiltrasjonsanlegg. Kolonneforsøk i lab har vist at biofilmen sørger for mer kontrollert og homogen infiltrasjon, og sørger for saktere gjennomstrømming av avløpsvann gjennom infiltrasjonsanlegget (Van Cuyk et al. 2001, Beach et al. 2005). Dette øker kontakttiden mellom avløpsvann og jordpartiklene, og bidrar til en bedre rensing av avløpsvannet. I tillegg vil mikroorganismene i selve biofilmen være positiv for biologisk nedbrytning av organiske forbindelser og patogener i avløpsvannet. Men dersom belastning av

avløpsvann er større enn infiltrasjonskapasiteten gjennom biofilmen, kan dette få alvorlige følger. En konsekvens kan være at avløpsvannet vil strømme gjennom sideveggene på anlegget, der biofilmen antas å være tynnere (Beach and McCray 2003). Stort vannvolum gjennom et lite areal vil gi kort oppholdstid på avløpsvannet som infiltrerer jorda. Med redusert kontakttid mellom avløpsvann og jordpartiklene vil risikoen for forurensning av grunnvann og drikkevannskilder øke. En annen konsekvens kan være at vannet stuver seg opp i anlegget. Dette vil i verste fall føre til vannutslag i kjellerrom eller til terrengoverflaten.

Flere av designkriteriene nevnt tidligere tar sikte på å forhindre hydraulisk svikt som følge av gjentetting av filterflaten. Dersom anlegg bygges etter de kriteriene som er presentert i VA/Miljøblad nr. 59 antas de å fungere tilfredsstillende hydraulisk mellom 20 til 40 år (Jenssen m. fl. 2006).

Kriteriene i VA/Miljøblad har vært gjeldende i snart 10 år, mens over 50 % av anleggene som er i bruk i dag er over 20 år gamle. Disse ble ikke konstruert etter gjeldende kriterier, og dessuten ble mange bygd i en tid da funksjonen til separate avløpsløsninger primært var å transportere vekk avløpsvannet, med mindre fokus på renseseffekt. Det er derfor mange anlegg i bruk i dag med uvisse renseseffekt.

Usikkerhetsmomentene gjelder hovedsakelig to momenter. For det første er det usikkert hvordan biofilm påvirker rensesevnen til gamle infiltrasjonsanlegg. Det

er ingen god dokumentasjon for hvordan anlegg med biofilm fungerer hydraulisk og rensmessig, og man vet ikke om avløpsvannet strømmer preferensielt gjennom sidene på anlegget, om det stives opp i anlegget eller om det infiltreres kontrollert gjennom biofilmen.

Den andre usikkerhetsfaktoren gjelder hvordan heterogene forhold i jorda påvirker transport av avløpsvann i anlegget. Det forutsettes, ved bygging av infiltrasjonsanlegg, at avløpsvann infiltrerer og perkolerer homogent gjennom anlegget. De senere årene har jordfysikere imidlertid satt større fokus på den effekten jordas heterogenitet har på strømning og transport av løste stoffer i umettet sone. Jordfysiske parametre kan endre seg flere 10-talls ganger over små avstander, og både naturlig heterogenitet, makroporer og ustabile strømningsforhold har hatt dokumentert stor effekt på strømningshastighet og fordeling av vann i et jordprofil (bl.a. Biggar og Nielsen 1976, Forrer et al. 1999, Wendroth et al. 1999, Cho og deRooy, 2002).

Dette har igjen betydning for kontakttiden mellom avløpsvann og jordpartiklene, og dermed renseseffekten i anlegget.

Evaluering av infiltrasjonsanlegg

Det er en utfordring å overvåke hva som skjer i et infiltrasjonsanlegg. Dette fordi infiltrasjonsanlegg ikke er lukkede systemer. Etter fordelingslaget strømmer vannet fritt gjennom jordprofilet og det er ikke noe prøvetakingspunkt der man kan vurdere hvor godt avløpsvann renses

i anlegget. Forventet renseseffekt i infiltrasjonsanlegg er basert på kolonneforsøk i lab samt teoretiske likninger. Men både jordas naturlige heterogenitet og endring av strømningsmønster som følge av konstant belastning av avløpsvann kan ha stor påvirkning på strømningsforholdene i et infiltrasjonsanlegg. Da det er en viktig relasjon mellom hydraulisk oppholdstid i jorda og nedbrytning av problematiske komponenter i avløpsvannet, er det viktig å få analysert hvordan avløpsvann infiltrerer både nye infiltrasjonsanlegg, samt anlegg som har vært i bruk over tid.

Det er utviklet flere ulike metoder som kan tar sikte på å analysere jordfysiske parametre og strømning i umettet sone. En del av disse metodene kan benyttes til å analysere funksjonsevnen til infiltrasjonsanlegg. Nedenfor er noen metoder presentert. De er delt inn i tradisjonelle metoder, som lenge har vært brukt for å analysere jordfysiske parametre, og nyere metoder, som er basert på nyere teknologisk utvikling. En del av disse metodene har ikke har vært testet på infiltrasjonsanlegg, men har potensiale til å gi nyttig *in-situ* informasjon om hvordan slike anlegg fungerer i felt.

Tradisjonelle metoder

Jordsylindre

Ved hjelp av jordsylindre kan det samles inn jordprøver fra anlegget i horisontal og vertikal utstrekning. Disse kan analyseres i lab for jordfysiske og kjemiske parametre (bl.a. pF, porøsitet, hydraulisk ledningsevne, absorbert P). Parameterne kan brukes som grunnlag for numerisk

simulering av transport og strømning gjennom et infiltrasjonsanlegg.

Kolonneforsøk

For detaljert analyse av hvordan anlegg fungerer kan jordkolonner graves ut for kontrollerte kolonnestudier i lab. Hva som kommer inn, og hva som renner ut av anlegget blir da nøye overvåket, og man får godt innblikk i hvordan anlegget fungerer.

Infiltrometer

Infiltrometer kan benyttes til å måle hydraulisk ledningsevne i felt, både i horisontale og vertikale gradienter.

Porøse sugekopper

Det er også utviklet metoder for å analysere strømning og nedbrytning i felt. Porøse jordvannsammlere tilkoblet vakuumpumpe ("sugekopper") kan installeres i jordprofilen og brukes for å ekstrahere jordvann fra ulike dyp i anlegget. Vannet kan analyseres for komponenter som er vanlige i avløpsvann, og man får et mål på renseseffekten i anlegget.

Ulempen med både jordprøvesamling, kolonneforsøk og infiltrometer er at mediet som skal analyseres blir ødelagt som følge av undersøkelsen. I tillegg vil disse tradisjonelle jordanalysemetodene gir eksakt informasjon om et område konsentrert rundt der prøven er tatt/analysen er utført. Hvis man tar i betraktning jordas naturlige heterogenitet behøver slike punktmålinger ikke å være representative for hele jordprofilen, og det er vanskelig å fange opp eventuelle preferensielle strømningsveier.

Nyere metodikk

Det har den senere tid blitt utviklet flere nyere metoder for å analysere strømningsmønster i umettet sone. Noen av disse metodene har potensiale til å anvendes for å analysere funksjonsevnen til infiltrasjonsanlegg i felt, og vil bli presentert her.

Multi Compartment Sampler (MCS)

Multi Compartment Sampler er en *in situ* jordvannsamler som installeres i felt under et jordprofil (Bloem 2008, Bloem et al. 2010). Apparatet er inndelt i flere celler. Ved å bruke variabelt vakuumpumpe, som defineres av den naturlige spenningen som finnes i jorda, vil MCS samle opp vann som perkolerer gjennom jordprofilen. De ulike cellene fanger opp ulike mengde vann, og apparatet kan dermed benyttes for å undersøke heterogene strømnings- og transportmønstre i felt eller integreres med kolonneforsøk i lab.

Geofysikk

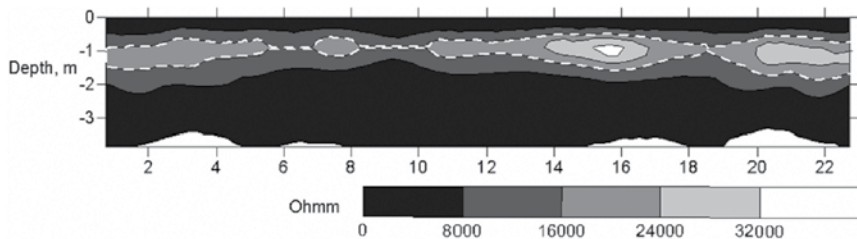
Geofysikk er studiet av jordas fysiske egenskaper og de fysiske prosesser jorda påvirkes av. Geofysisk kartlegging inkluderer mange ulike metoder, bl.a. seismikk, georadar, elektromagnetisk kartlegging, måling av elektrisk motstand (ER) m.m. Fordelen med geofysisk kartlegging er at et stort område kan analyseres *in situ* uten at mediet som skal studeres blir forstyrret. Dessuten er metodikken kostnadseffektiv og gir raske resultater.

Måling av ER er en metode som er mye brukt for å analysere strømningsforhold i umettet sone. Metodikken har blitt brukt bl.a. for å studere struktur av

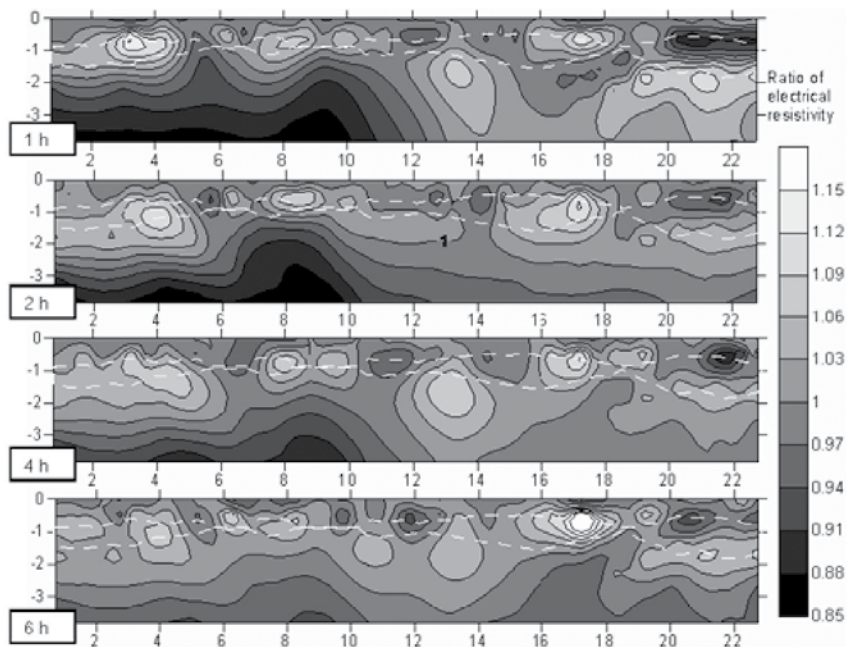
søppelfyllinger, analysere grunnvannsforurensning fra lekkasjer fra fyllinger, kartlegge geometrien og følge bevegelsen til en forurensning, analysere saltvannsinnretning i grunnvannsakviferer og analysere stedvis og tidsmessig varia-

sjon i vanninnhold i jord (Clement et al. 2010).

Måling av elektrisk motstand kan utføres via elektroder som enten plasseres på jordoverflata eller i borehull. Elektrisk motstand påvirkes av jordas porøsitet,



Figur 2. Elektrisk motstand (ER) målt vinkelrett på fordelingsrørene i Åbogen infiltrasjonsanlegg. Den hvite prikkete linjen indikerer fordelingslaget (French et al. 2006).



Figur 3. Relativ endring i elektrisk motstand etter en puls med avløpsvann ble infiltrert i Åbogen infiltrasjonsanlegg. Målingene ble gjort 1, 2, 4 og 6 timer etter infiltrasjon. Mørkere farge viser lavere elektrisk motstand, og dermed fuktigere jord (French et al. 2006).

vanninnhold, salinitet og jordstruktur. Ved å utføre ER-målinger på samme sted over tid kan man dermed analysere endringer i vanninnhold i umettet sone, og slik identifisere strømningsveier og analysere vannets oppholdstid i jordprofilen.

Måling av ER er en relativt ny teknologi som er lite uttestet på infiltrasjonsanlegg, men metoden har vært brukt for å analysere Åbøgen infiltrasjonsanlegg (Forquet 2005, French et al. 2006). Dette er et større anlegg som behandler avløpsvann for omtrent 300 pe (person-ekvivalenter). Figur 2 og 3 viser resultater fra målingene. I figur 2 kan man kjenne igjen strukturer i anlegget, blant annet fordelingslaget som er merket med stiplet linje, mens figur 3 viser relativ endring i elektrisk motstand over tid. Endringene skyldes forandring i vanninnholdet i jorda som følge av infiltrasjon av avløpsvann.

Konklusjon

Infiltrasjonsanlegg for behandling av avløpsvann er ansett å være den mest kostnadseffektive metoden for å rense avløp i spredt bebyggelse. I dag er det mange gamle infiltrasjonsanlegg i bruk i Norge. Problemet med disse er at det er stor usikkerhet knyttet til hvor lenge slike anlegg fungerer tilfredsstillende. Dårlig fungerende anlegg kan ha alvorlige konsekvenser, både med tanke på forurensning av drikkevannskilder, vannutslag til terreng eller kjellerrom og risiko for eutrofiering av vassdrag.

Flere metoder kan benyttes for å analysere funksjonsevnen til infiltrasjonsanlegg. Tradisjonelle metoder gir nøyaktig

informasjon om et lite område, mens nyere metodikk, som omfatter blant annet MCS og geofysisk kartlegging gir informasjon om forhold på en større skala. Det finnes også flere metoder som er utviklet for å analysere strømning og stofftransport i umettet sone som ikke er presentert her. Det ser ut til at en kombinasjon av nye og gamle metoder må til for å kunne gi best mulig informasjon om hvordan gamle infiltrasjonsanlegg fungerer i felt. Det er imidlertid behov for mer forskning for å utvikle en egnet metodikk for å evaluere funksjonsevnen til eldre infiltrasjonsanlegg i Norge.

Referanseliste

Beach, D.N.H. og McCray, J.E. (2003). Numerical modeling of unsaturated flow in wastewater soil absorption systems. *Ground Water Monitoring and Remediation*, 23 (2), pp 64-72.

Beach, D.N.H., McCray, J.E., Lowe, K.S og Siegrist, R. (2005). Temporal changes in hydraulic conductivity of sand porous media biofilters during wastewater infiltration due to biomat formation. *Journal of Hydrology* 311, pp 230-243.

Biggar, J.W., Nielsen D.R. (1976). Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resources Research*, 12 (1), 78-84.

Bloem, E. (2008). *Variation in space and time of water flow and solute transport in heterogeneous soils and aquifers – A new multi-compartment percolation sampler and a new parameterization of the spatio-*

- temporal solute distribution*. Doctoral thesis, Wageningen University, xii-153 pp.
- Bloem, E., Hogervorst, F.A.N., de Rooij, G.H. og Stagnitti, F. (2010). Variable-suction multicompartiment samplers to measure spatiotemporal unsaturated water and solute fluxes. *Vadose Zone Journal* 9, p 148-159, doi: 10.2136/vzj2008.0111.
- Bumgarner J.R. og McCray, J.E. (2007). Estimating biozone hydraulic conductivity in wastewater soil infiltration systems using inverse numerical modeling. *Water Research*, 41, 2349-2360.
- Cho, H. og de Rooij, G.H. (2002). Pressure head distribution during unstable flow in relation to the formation and dissipation of fingers. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6 (4), 763-771.
- Clement, R., Descloitres, M., Günther, T., Oxarango, L., Morra, C., Laurent, J.P., Gourc, J.P. (2010). Improvement of electrical resistivity tomography for leachate injection monitoring. *Water Management*, 30, 452-464, doi: 10.1016/j.wasman.2009.10.002
- Forquet, N. (2005). *Flow and transport in a constructed infiltration system for wastewater treatment. Field experiments and numerical simulations*. Master Theses, Univerite Louis Pasteur Strasbourg/ENGES, 46 s.
- Forrer, I., Kasteel, R., Flury, M., Flüher, H. (1999). Longitudinal and lateral dispersion in an unsaturated field soil. *Water Resources Research*, 35 (10), 3049-3060.
- French, H.K., Forquet, N., Robertsen, K.R., Mæhlum, T. (2006). Flow and transport in a constructed infiltration system for wastewater treatment characterized by electrical resistivity and 2D numerical unsaturated zone modeling. *Computational Methods in Water Resources* (CMWE XVI), 18-22 June, Copenhagen. 8 s.
- Jenssen, P.D., Jonasson S.A. og Heistad, A. (2006). Naturbasert rensing av avløpsvann – en kunnskapssammenstilling med hovedvekt på norske erfaringer. *VA-forsk rapport 2006-20*. 65 s.
- Robertson, W.D. (1995). Development of steady state phosphate concentrations in septic system plumes. *Journal of Contaminant Hydrology*, 19, pp 289-305.
- Siegrist, R.L., Tyler, E.J. og Jenssen, P.D. (2001). Design and performance of on-site wastewater soil adsorption systems. *In National Research Needs Conf. Proc.: Risk-based Decision Making for Onsite Wastewater Treatment*, pp 63-119. EPRI Rep. 1001446. Electric Power Res. Inst., Palo Alto, CA.
- SSB (2010): *Kommunale avløp. Ressursinnsats, utslipp, rensing og slamdisponering 2009. Gebyrer 2010*. SSB-rapporter 54/2010. 90 s.
- VA/Miljøblad nr 59 (2003). *Lukkede infiltrasjonsanlegg*. Stiftelsen NKF og

Norsk vanns VA/Miljø- blad. Norsk rørsenter.

Van Cuyk, S., Siegrist, R., Loagan, A., Masson, S., Fischer, E. og Figueroa, L. (2001). Hydraulic and purification behaviors and their interactions during wastewater treatment in soil infiltration systems. *Water Research* 35 (4), 953-964.

Wendroth, O., Pohl, W., Koszinski, S., Rogasik, H., Ritsema, C.J. og Nielsen, D.R. (1999). Spatio-temporal patterns and covariance structures of soil water status in two Northeast-German field sites. *Journal of Hydrology*, 215, 38-58.