

Overvann med avisingsmidler på Gardermoen

- laboratorieforsøk som grunnlag for prosjektering av jordbasert renseanlegg

Av Per Kraft og Roger Roseth

Forfatterne arbeider som forskere ved Jordforsk

Sammendrag

Jordforsk har gjennomført laboratorieforsøk med bruk av sand og kunstige filtermaterialer for rensing av vann som inneholder avisingsmidler. Anvendte avisingsmidler er Kilfrost (flyavising) med propylenglykol som aktivt stoff og Clearway (baneavising) med kaliumacetat som aktivt stoff. Resultatene fra forsøket inngår som grunnlag for prosjektering av jordbasert renseløsning for overvann med avisingsmidler ved Oslo Hovedflyplass på Gardermoen.

Forsøket ble utført i et klimastyrt laboratorium ved 10 - 6°C og omfattet 6 små (L:1m, D:14cm) og 4 store (L:1,6m, D:35cm) søyler og 4 kar (L:3m, B:25cm, H:60cm). Sand, Leca og zeolitt blir benyttet som filtermateriale i søylene. Filtermaterialene ble testet separat og i ulike kombinasjoner. Karforsøkene omfattet både horisontal (mettet) og vertikal (umettet) strømming. Første del av forsøket pågikk i 16 uker, 6 uker med lav belastning og 10 uker med høy

belastning mhp. konsentrasjon og vannmengde. Etter 3 mnd. hvileperiode ble alle søyler og kar utsatt for høy belastning i 10 uker. Laveste belastning tilsvarer middelvei for målt avrenning mens høyeste belastning ble valgt for å teste hvor mye et jordbasert renseanlegg maksimalt kunne tåle. Renseeffekten ble beregnet på grunnlag av analyser av TOC, glykol og acetat i inn- og utløpsprøver fra søyler og kar.

Resultatene viser at glykol og acetat i konsentrasjonsområdet 0,1 - 1 g/l brytes effektivt ned. Zeolitt og sand gir best renseseffekt. Anaerobe forhold kan oppstå ved mettet strømming. Det fører til nedgang i renseseffekt, tiltetting i filteret og dannelse av illeluktende gasser (merkaptaner).

Resultatene fra laboratorieforsøkene samt utenlandske erfaringer med jordbaserte renseanlegg, har lagt grunnlaget for prosjektering av jordbasert renseløsning for overvann med avisingskjemikalier ved Oslo Hovedflyplass på Gardermoen. Det er behov for å utvide

kunnskapsgrunnlaget og få praktiske erfaringer med drift og renseeffekt for jordbasert renseanlegg under norske klimaforhold. Det vil derfor gjøres fullskala utprøving av jordbaserte renseanlegg på Gardermoen i perioden 1996/97. Resultatene fra utprøvingen i felt kan føre til justeringer av driftsopplegg eller iverksetting av avbøtende tiltak før driftsstart på flyplassen.

Bakgrunn

En av hovedutfordringene ved lokalisering av den nye hovedflyplassen til Gardermoen er forholdet til grunnvannet. Rikspolitiske retningslinjer slår fast at grunnvannet ikke skal forringes som drikkevannskilde og grunnvannsbalansen skal opprettholdes. For å opprettholde grunnvannsbalansen, må overvann fra rullebaner infiltreres til grunnen.

Ved drift av en ny hovedflyplass på Gardermoen, er det aktuelt å benytte avisingsmidlene Kilfrost (flyavising) og Clearway 1 (baneavising). Hovedbestandelen og aktivt stoff i Kilfrost er propylenglykol (1, 2 propandiol). Hovedbestandel og aktivt stoff i Clearway er kaliumacetat. Avisingsmidlene inneholder i tillegg ulike tilsetningsstoffer.

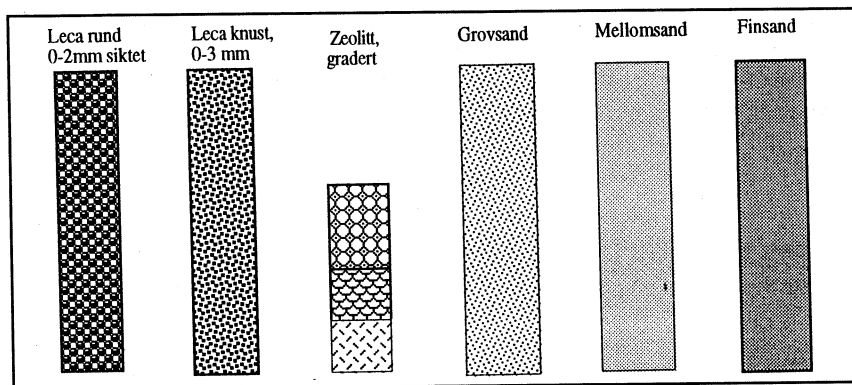
Avising av flykroppene vil foregå på egne avisingsplattformer. Store deler av forbrukt propylenglykol vil samles opp og gjenvinnes eller gå til kommunalt renseanlegg. En del propylenglykol vil imidlertid drive av flykroppen ved akselerasjon og forurensning overvannet som renner av langs rullebanen. Også acetat fra baneavisingen vil følge

overvannet og renne av langs rullebanen.

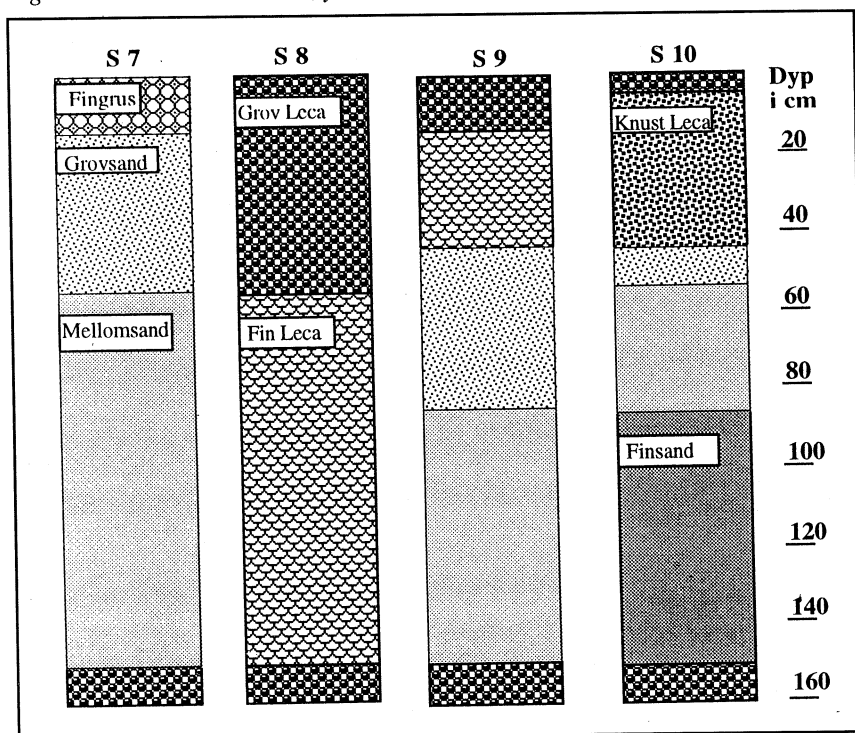
I 1993 fikk Jordforsk i oppdrag av OHAS å gi en innledende vurdering av renseprosesser i jord og potensiale for naturbaserte renseløsninger. I rapporten (Goffeng et. al 1993) pekte Jordforsk på at naturbaserte renseløsninger var i bruk for behandling av avisingskjemikalieholdig overvann på flere internasjonale flyplasser, deriblant Heathrow, Gatwick, Calgary og München (Hofstetter 1989 og 1995). Med bakgrunn i de miljømessige og driftsmessige fordelene som så ut til å ligge i naturbasert rensing ble det arbeidet videre med å konkretisere prinsipper for renseløsninger.

Gjennom prosjektet "Rensekapasitet i jord" ble Faneprosjektgruppen (Institutt for Geologi-UIO og Institutt for Jord- og vannfag-NLH i samarbeid med Jordforsk og NGI) engasjert av OHAS for å gjøre innledende vurderinger av strømning, renseprosesser og renseeffekt i jordmasser og jordprofiler på Gardermoen. Forsøkene som ble utført omfattet lysimeterforsøk i et naturlig jordprofil på Gardermoen og respirometerforsøk for å beskrive nedbrytning av avisingskjemikalier i ulike jordtyper. Forsøkene viste at naturlige jordmasser på Gardermoen hadde en betydelig renskapasitet for overvann med lavt innhold av avisingskjemikalier (French et al. 1994).

På grunnlag av forundersøkelsene og tidligere undersøkelser utført av NIVA (Laake, M. og Eiframsen, H. 1992), har Jordforsk gjennomført laboratorieforsøk for å gi grunnlag for utforming,



Figur 1: Filtermateriale i i søyler med diameter 14 cm og høyde 1 m.



Figur 2: Filtermateriale og lagdeling i søyler med diameter 35

valg av filtermaterialer og dimensjonering av jordrenseanlegg for rensing av overvann med avisingsmidler. Som

avisingsmidler i forsøkene er benyttet Kilfroost (glykolbasert) og Clearway (acetat-basert). Resultatene vil brukes

av Berdal Strømme as som grunnlag for prosjektering av renseløsninger for overvann fra den nye hovedflyplassen på Gardermoen.

Gjennomføring av laboratorieforsøk

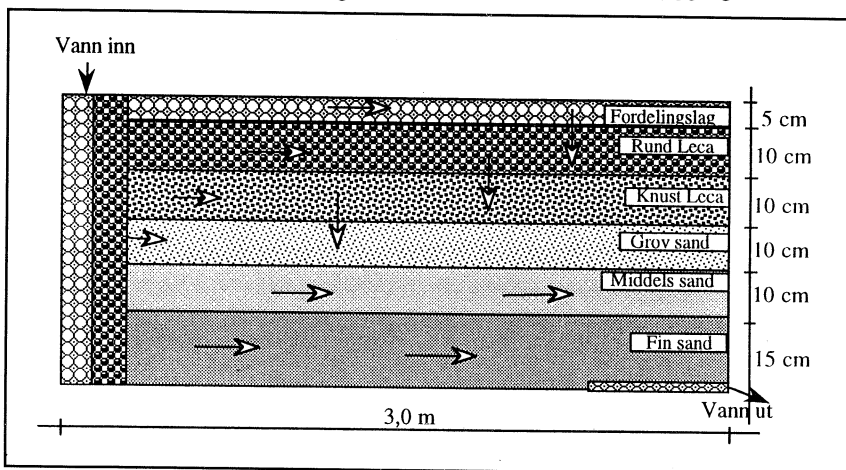
Undersøkelsene ble gjennomført i et klimastyrt laboratorium ved 6 - 10_C og omfattet forsøk med filtermaterialer i søyler, og kar. Renseeffekt for ulike filtermedier ble studert i 6 små søyler. De ulike filtermaterialene er vist på figur 1. Utpøvd sand er ubehandlede sandfraksjoner fra Gardermoen. Leca-materialet er standardprodukter fra Norsk Leca AS. Zeolitt er et naturlig forekommende mineral (knust bergarts-materiale).

Betydning av lagdeling og renseeffekt for ulike kombinasjoner av filtermaterialer ble undersøkt i 4 store søyler. Hovedprinsippet for lagdelingen var grovt materiale på toppen med gradvis

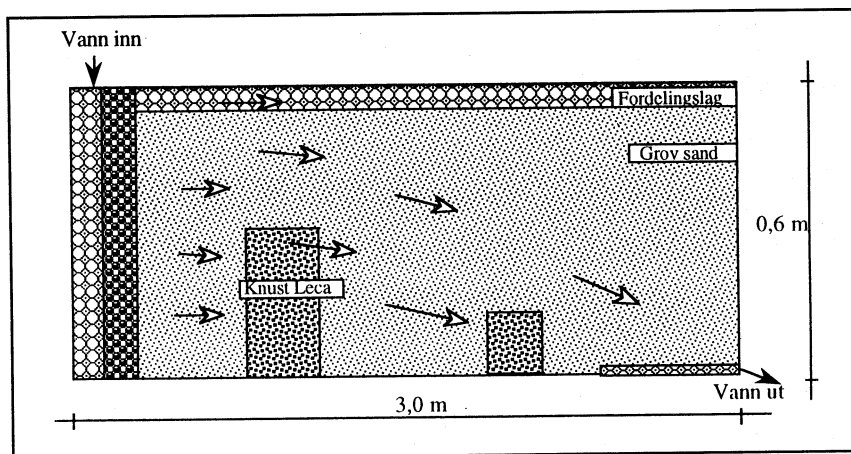
finere materiale mot bunnen. Filtermateriale og lagdeling i de store søylene er vist på figur 2. Søyلة 7 er sammensatt av sand fra Gardermoen, søyلة 8 består av Leca mens søylene 9 og 10 er en kombinasjon av Leca- og sandfraksjoner. 1,6 m.

Karene (L:3,0 m, B:23 cm og H:60 cm) ble brukt for å studere renseeffekt og hydraulisk funksjon i jordbaserte renseløsninger ved en kombinasjon av horisontal og vertikal strømning (kar A), ved ren horisontal mettet strømning (kar B), ved og ved vertikal strømning med og uten fordelingsrør (kar C og D). Filtermaterialet i karene var det samme som i søylene. Rensefilteret i karene ble bygd opp lagvis med det groveste materialet med størst permeabilitet øverst. Karene hadde sidevegger og bunn av glass, noe som muliggjorde visuell inspeksjon under oppbygging av filteret og drift av forsøkene.

Figur 3 viser oppbyggingen av kar A.



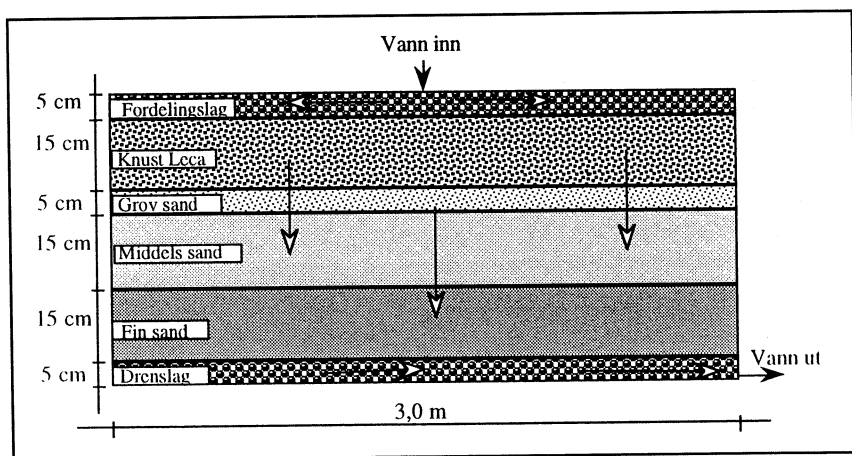
Figur 3. Vertikalsnitt i kar A med prinsipp for kombinasjon av horisontal og vertikal strømning



Figur 4: Vertikalsnitt som viser prinsipp for oppbygging av kar B (horizontal strømning).

Ved støtvis belastning ble innløpsmagasinet (grov Leca) fylt opp og vann strømmet ut i øvre lag med stor vannledningsevne. Påfølgende vertikal infiltrasjon i underliggende finkornige lag, ga en kombinasjon av horisontal og vertikal strømning.

Kar B ble utformet for horisontal strømning av vann fra innløpsmagasin inn i grov sand og videre gjennom, og periodvis over tverrstilte "terskler" av knust Leca. Oppbygging og utforming er valgt på grunnlag av informasjon om jordrenseanlegget ved Munchen flyplass.



Figur 5: Vertikalsnitt som viser prinsipp for oppbyggingen av kar C og D (vertikal strømning).

Kar C og D ble utformet for vertikalt umettet strømming via et fordelingslag. Kar C hadde rør-system for fordeling av vann i karetts lengderetning mens kar D ble punktbelastet på midten.

De ulike søyler og kar ble belastet med vann tilsatt avisingsvæsker. Konsentrasjoner av glykol og acetat ble valgt på grunnlag av målinger utført av Berdal Strømme as (Frogner, T. m.fl.1995). Hydraulisk belastning ble valgt på grunnlag av beregnet avrenning. Laveste belastning tilsvarer middelverdi for målt avrenning mens høyeste belastning ble valgt for å teste hvor mye et jordbasert renseanlegg maksimalt kunne tåle. Søyler og kar ble testet ved lav belastning i 6 uker og høy belastning i 10 uker. Forsøket ble videreført etter ca 3 mnd. hvileperiode med 10 nye uker med høy belastning. I hvileperioden var det ingen tilførsel av vann eller avisingsvæsker til søyler og kar. Hvileperioden simulerer virkningen av en sommerperiode. En hvileperiode kan ha negative og positive påvirkninger på renseseffekten i et jordrenseanlegg. Tabell 1 viser hydraulisk

belastning og konsentrasjoner av glykol og acetat for de ulike forsøksperiodene.

Kar A og B ble belastet med samme konsentrasjoner av glykol og acetat. Hydraulisk belastning ble valgt ut fra beregnet avrenningsintensitet fra rullebanen ved normal og høy avrenning, h.h.v. 260 og 520 l/m. For å simulere et langstrakt jordrenseanlegg, ble vannet i kar A og B kjørt i sirkulasjon en uke.

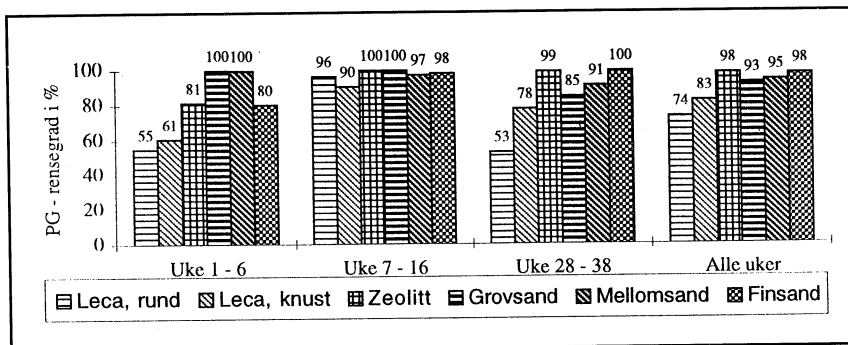
Renseevnen i alle søyler og kar ble undersøkt ved analyse av ukeblandprøver. Prøvene ble analysert for innhold av propylenglykol, acetat og totalt innhold av organisk stoff (TOC). I tillegg ble pH og ledningsevne målt daglig under forsøket. Også vannvolum ut fra søyler og kar ble målt daglig. Det ble gjennomført en studie av oppholdstiden ved høy hydraulisk belastning ved bruk av tritium som sporstoff.

Resultater

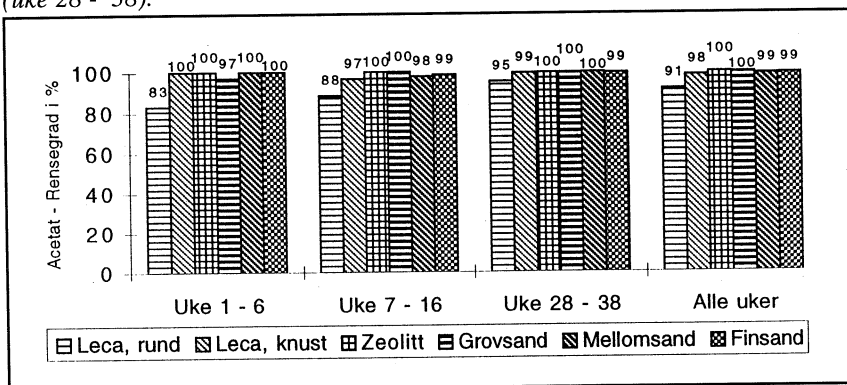
Hovedinntrykket fra analyseresultatene er at glykol og acetat, i moderate konsentrasjoner, brytes effektivt ned i de ulike filtermediene. Figur 6 viser rens-

Tabell 1: Forsøksplan for søyle- og karforsøk

Kolonneforsøk Forsøksperiode	Belastning l/m ² x døgn	glykol mg/l	glykol g/m ² x døgn	acetat mg/l	acetat g/m ² x døgn
Søyler og kar C og D, uke 1 - 6	8,2	142	1,2	100	0,8
Søyler og kar C og D, uke 7-16 og uke 28.39	17	1168	20	500	8,5



Figur 6: Rensegrad for glykol i 1m søyler med ulike filtermaterialer ved lav belastning (uke 1 - 6) og høy belastning (uke 7 - 16) og etter "hvileperiode" (uke 28 - 38).



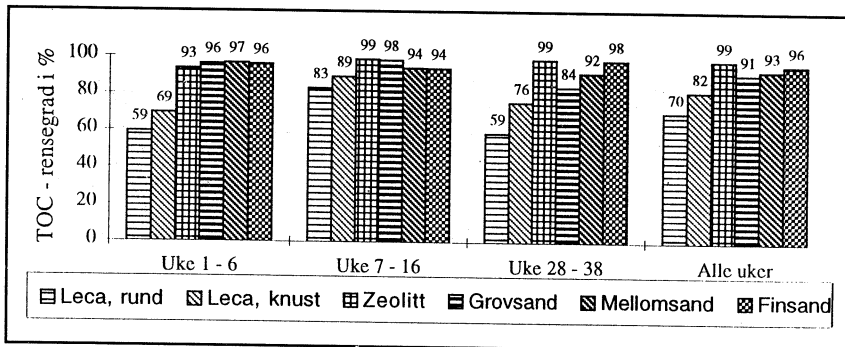
Figur 7: Rensegrad for acetat i 1m søyler med ulike filtermaterialer ved lav belastning (uke 1 - 6) og høy belastning (uke 7 - 16) og etter "hvileperiode" (uke 28 - 38).

grad i % for glykol i de små søylene.

Figuren viser at renseeffektene er størst ved høy belastning. For søylene med Leca skyldes dette sannsynligvis "innkjøringsproblemer" med høy pH som følge av kalkbelegg. Vi ser også at "hvileperioden" mellom uke 16 og 28 virker som en "stressperiode" ned ned-satt renseeffekt for grove filtermaterialer som Leca og grovsand. Nedsatt renseeffekt kan skyldes uttørking eller mangel på næring til biofilmen.

Nedbrytingen av acetat er generelt bedre enn for glykol med unntak av anaerob nedbryting. Figur 7 viser rensegrad i % for acetat i de små søylene som under hele forsøket hadde aerobe forhold.

Endeproduktene ved aerob nedbryting av glykol og acetat er karbondioksid og vann. Analyser av TOC gir derfor best informasjon om total renseeffekt da eventuelle rest- og mellomprodukter vil komme med i analysen. Figur

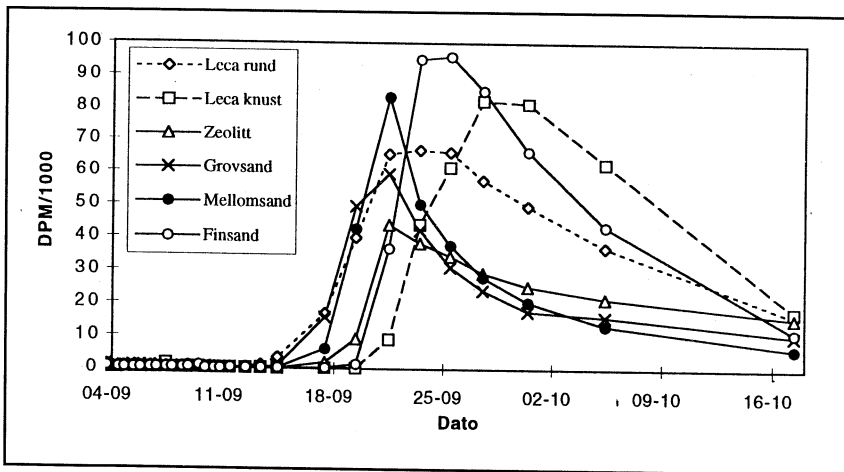


Figur 8: Rensegrad for TOC i 1m søyler med ulike filtermaterialer ved lav belastning (uke 1 - 6) og høy belastning (uke 7 - 16) og etter "hvileperiode" (uke 28 - 38).

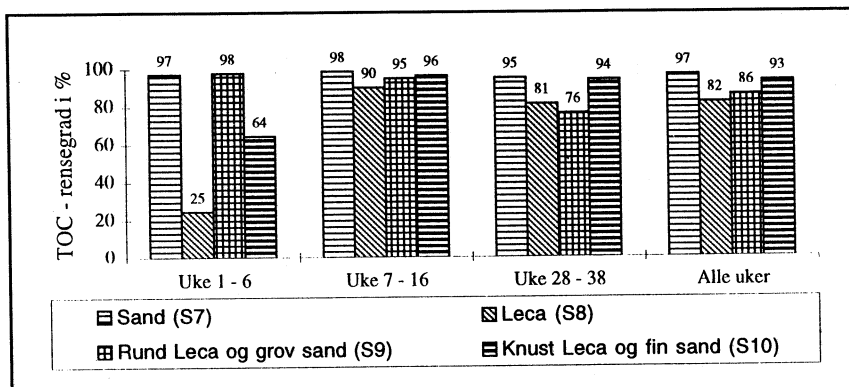
8 viser rensegrad for TOC i % for de små søylene.

Forsøket med filtermaterialer i små søyler viste best resultater for grovsand og zeolitt. Oppholdstiden i disse materialene var ca 3 uker (fig. 9) og tilført glykol og acetat var da brutt tilnærmet fullstendig ned også ved høy belastning.

Forsøksresultatene viste at lagdelte filtere (store søyler) ikke ga økt renseeffekt sammenlignet med en-media filter. Figur 10 viser rensegrad for TOC i ulike forsøksperioder for de store søylene. Sandmaterialet ga best renseeffekt. Dårlig renseeffekt i søylen med Leca kan forklares med svært høy pH ($\text{pH} > 11,5$) under første del av forsøket.



Figur 9: Oppholdstiden i små søyler med tritium som sporstoff. Analyser av tritium tilsatt 04.09. Hydraulisk belastning 17 l/m² døgnet.

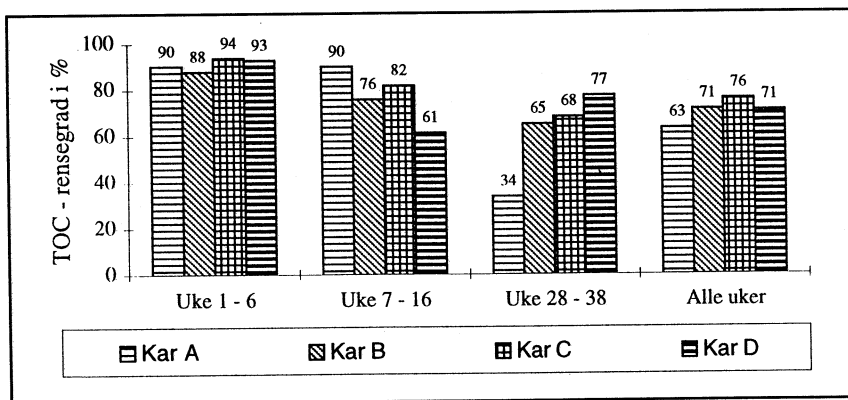


Figur 10: Rensegrad for TOC i søyler med lagdelte filtermasser ved lav belastning (uke 1 - 6) og høy belastning (uke 7 - 16) og etter "hvileperiode" (uke 28 - 38).

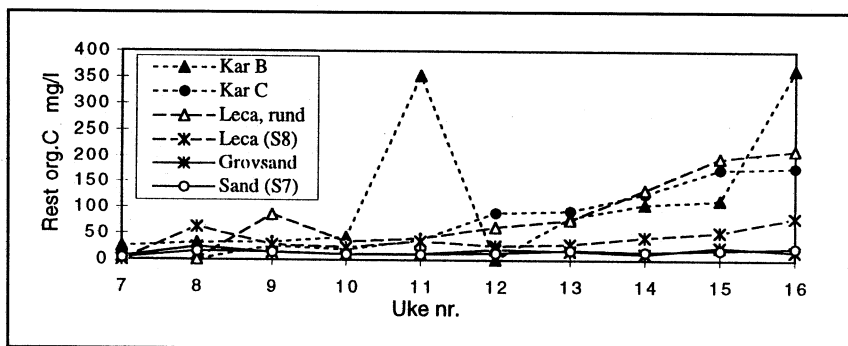
Karforsøkene med horisontal, mettet strømming viste god renseseffekt ved lav belastning, men utvikling av anaerobe forhold ved høy belastning. Anaerobe forhold medførte betydelig redusert nedbrytingshastighet, dvs. redusert renseseffekt og økt dannelse og utlekking av nedbrytingsprodukter. Ett av nedbrytingsproduktene var illeluktende mercaptangasser. Anaerobe forhold ga

også opphoping av biomasse som førte til tilstopping og delvis hydraulisk misfunksjon i karene. Konseptet basert på en kombinasjon av mettet og umettet strømming (kar A) viste seg fordelaktig framfor ren mettet strømming (kar B).

Karforsøk med infiltrasjon og vertikal strømming ga god renseseffekt, men ufullstendig fordeling av vannet på infiltrasjonsflaten medførte utvikling av



Figur 11: Rensegrad for TOC i kar med horisontal og vertikal strømming (kar A) ren horisontal, mettet strømming (kar B) og vertikal strømming (kar C og D).



Figur 12: Beregnet mengde ufullstendig nedbrutte organiske forbindelser (org. C i mg/l) i vann fra utvalgte søyler og kar.

områder med anaerobe forhold. Resultatet illustrerer betydningen av god arealfordeling og jevn utnyttelse av hele filtervolumet. Renseeffekten for TOC i karene er vist på figur 11.

Ufullstendig nedbryting fører til lekkasje av mellomprodukter. Mengden mellomprodukter er beregnet som differensen mellom TOC og glykol + acetat i vann fra søyler og kar. Figur 12 viser utviklingen i innholdet av ufullstendig nedbrutte organiske forbindelser for perioden med høy belastning. Figuren viser resultatene fra utvalgte søyler og kar. Figuren viser en økning i mellomprodukter fra kar B (horisontal strømning) og også fra kar C (vertikal strømning) og søylene med Leca. Søylen med sand viser ingen merkbar økning i utlekking av mellomprodukter.

Diskusjon

Nedbryting av organiske stoffer som glykol og acetat i de aktuelle filtermediene er en oksygenkrevende biofilmprosess (Klecka, G. M., m.fl. 1993). Finkornet materiale har stor spesifikk over-

flate og deved en stor potensiell biofilm-overflate. Finkornet materiale kan imidlertid tiltettes pga. biofilmutviklingen. Tiltetting kan forårsake vannoppstuvning, redusert og mangelfull oksygentilgang og dannelsen av anaerobe forhold. Flere undersøkelser viser at anaerob nedbryting ved lav temperatur foregår svært sakte (Skaarnæs 1992).

Jordbaserte renseanlegg i felt vil utsettes for helt andre belastningsvariasjoner enn hva som kan utprøves i laboratorieforsøk. Virkningene av store variasjoner kan ikke forutsies. Den innlagte hvileperioden i forsøket kan imidlertid si noe om mulige virkninger. Hvileperioden ga ca 15% reduksjon i renseseffekt for grovsand mht. TOC og glykol. Forholdet kan skyldes uttørking eller bakteriell utdøying i biofilmen pga. redusert næringstilgang. Virkningene på finkornet materiale, som ikke i den grad påvirkes av uttørking, var liten.

Rensing av avisingsmidler over lang tid er ikke undersøkt i dette forsøket. Forsøket viste en økning av organiske nedbrytingsprodukter fra kar og enkel-

te søyler etter en tid med høy belastning. Resultater oppnådd i et kortvarig søyle- og karforsøk i laboratoriet gir ikke utfyllende svar på hvilke langsiktige renseresultater som kan forventes i et fullskala jordrenseanlegg under naturlige betingelser. Erfaringer fra flyplassen i Munchen tyder imidlertid på at rensekapasiteten kan opprettholdes over lengre tid dersom en unngår overbelastning.

Konklusjon vedrørende valg av jordrenseløsning

Utforming

Laboratorieforsøket viste at renseeffekten for glykol og acetat var størst ved vertikal, umettet strømning i jord. Forsøket viste at jevnt fordelt overflatebelastning er viktig for renseeffekten. God arealfordeling kan oppnås ved støtbelastning via perforerte rør til fordelingslag

Karforsøkene viste at anlegg basert på horisontal, mettet strømning kan gi god renseeffekt. Høy belastning kan gi utvikling av anaerobe forhold i filteret. Dette fører til gjentetting av infiltrasjonsflaten. For å redusere faren for gjentetting anbefales bruk av gradert filter mellom innløpsmagasin og filtermasser.

Søyleforsøkene viste at lagdelt filter ikke ga bedre rensing enn filter med en type masser. Det ikke er behov for større filtertykkelse enn 1 m ved vertikal infiltrasjon.

Materialvalg

Forsøkene viste at grovsand fra Gardermoen og zeolitt ga meget god renseeffekt.

Forsøkene viste at også Leca, som har stor hydraulisk kapasitet, er et aktuelt filtermateriale i renseanlegg for avisingsvæsker.

Dimensjoneringsgrunnlag- vertikal strømning

Søyleforsøket viste at ved optimal utforming og materialbruk kan jordrenseanlegg basert på vertikal strømning gi tilnærmet fullstendig rensing av vann med opptil 1,2 g glykol/l og 0,5 g acetat/l ved en belastning på 20 l/m² og døgn. Langtidseffekter ved så høy belastning er ikke undersøkt.

Karforsøkene viste ufullstendig nedbryting og økt lekkasje av TOC etter 10 uker med jevnt høy belastning. Jordbaserte renseanlegg som belastes kontinuerlig bør ha en betydelig lavere arealbelastning enn 20 g glykol og 10 g acetat pr. m² og døgn.

Forsøkene viste at renseeffekten kan regenereres i hvileperioder for filtermaterialer som ikke er utsatt for uttørking. Det kan derfor forventes at jordrenseanlegg vil gi god rensing ved periodisk høy belastning.

Dimensjoneringsgrunnlag- horisontal strømning

Karforsøkene med horisontal, mettet strømning ga fullstendig rensing av vann med 140 mg glykol/l og 100 mg acetat/l ved en hydraulisk belastning på 260 l/m og døgn. Belastning med 520 l/m og døgn med 1200 mg glykol/l og 500 mg acetat/l, ga utvikling av anaerobe forhold, ufullstendig nedbryting og opphoping av organisk materiale. Oppholdstiden i filtermassene var 1 uke og strømningslengden ca 15 m.

Høy belastning og horisontal mettet strømnings fører til ufullstendig nedbryting av glykol. Anaerobe forhold medfører betydelig redusert nedbrytingshastighet og dannelse og utlekking av nedbrytingsprodukter. Ett av nedbrytingsproduktene er illeluktende merkaptangasser. Opphoping av nedbrytingsprodukter, biomasse og utfelte jern- og manganoksyder, kan føre til tilstopning og hydraulisk misfunksjon i jordrenseanleggene. Karforsøkene viste at det er særlig grunn for å dimensjonering med betydelig sikkerhetsmargin som sikring mot utvikling av anaerobe forhold.

Litteratur

- French, H. K., Roseth, R., Englund, J. - O., Meyer, K. F., Swensen, B. og Hongve, D. 1994. Rensekapasitet i jord. Fagrapport: Avisningskjemikalier; Transport og nedbrytning i jord. Oslo Hovedflyplass AS/Forskningsparken i Ås.
- Frogner, T. m.fl. 1995. Spredning av glykol og acetat langs takse- og rullebaner. Undersøkelser på Fornebu og Gardermoen vinteren 94/95. Rapport Berdal Strømme as.
- Hofstetter, H. 1995. Groundwater Protection Measures at the New Munich Airport. In: Environmental management at airports. Liabilities and Social Responsibilities. Conference at Manchester Airport 6-7 July 1995.
- Klecka, G. M., Carpenter, C. L. and Landenberger B. D. 1993. Biodegradation of Aircraft Deicing Fluids in Soil at Low Temperatures. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 25: 280-295.
- Kraft, P og Roseth, R. 1996. Rensekapasitet i jord. Jordrenseanlegg for overvann med avisningskemikalier. Laboratorieforsøk.. Oslo Hovedflyplass AS/Forskningsparken i Ås
- Laake, M. og Eiframsen, H. 1992. Nedbrytning av avisingsvæskene Kilfrostr og Clearway 1 i lysimeterforsøk med jord som resipient. NIVA-rapport 2747.
- McGahey, C, and Bouwer, E. J. 1992. Biodegradation of ethylene glycol in simulated subsurface environments. *Water Science Technology* 26 (1-2): 41-49.
- Roseth, R. Aagard, P. m/fl. Utprøving og driftskontroll av jordrenseanlegg for avisningskemikalier og jetdrivstoff. Oslo Hovedflyplass AS/Forskningsparken i ÅS
- Skaarnæs. K. 1992. Anaerobic Degradation of Deicing Chemicals. Diplomoppgave i samarbeid med NIVA og Universitet i Lund.
- Vikstrøm, P. 1995. Surface water at Stockholm-Arlanda Airport. In: Environmental management at airports. Liabilities and Social Responsibilities. Conference at Manchester Airport 6-7 July 1995.