

# Forurensning av jord og grunnvann — forurensningskilder, problemområder

Av Petter D. Jenssen.

Petter D. Jenssen er ansatt som forsker ved JORDFORSK/Senter for jordfaglig miljøforskning, NLH-Ås.

*Foredrag i Norsk vannforening  
9. november 1989*

## **SAMMENDRAG**

Grunnvannsforekomster i Norge er generelt dårligere beskyttet mot forurensning enn grunnvann i områder med varmere klima og mektigere løsavsetninger.

Organisk materiale (naturlige forbindelser) og fosfor er sjelden årsak til grunnvannsforurensning i Norge. Høye nitratkonsentrasjoner i grunnvann er funnet i gravde brønner i områder med intensivt landbruk. Mikrobiell forurensning av grunnvann p. g. a. husholdningskloakk er som regel et lokalt problem og skyldes i de fleste tilfeller dårlig utforming av brønner eller kortslutning mellom brønner og utette kloakkledninger. På permeable avsetninger langs våre elver kan det skje en betydelig nedtransport av forurensningsstoffer fra landbruksarealer, men også fra annen arealbruk. I hvilken grad dette påvirker grunnvannskvaliteten og vannkvaliteten i våre vassdrag er lite undersøkt. Grunnvannsmagasin langs våre vassdrag kan og forurenses ved innstrømming av forurenset elvevann.

Menneskelig aktivitet forårsaker utslipp av miljøgifter som tungmetaller, organiske mikroforurensninger og radioaktive stoffer til atmosfæren. Nedfall gir økte konsentrasjoner av disse stoffene i jordsmonnet. Risikoen for grunnvannsforurensning p.g.a. atmosfærisk nedfall er liten. Miljøgifter i jordsmonnet kan føre til opptak i planter og føres inn i næringskjeden. De kan og påvirke den mikrobielle omsetningen i jordsmonnet som er viktig for å bryte ned forurensninger før de når ned til grunnvannet. I utlandet er miljøgifter påvist i grunnvann. I Norge er dette lite undersøkt. Deponier, gamle industritomter, transportuhell og bruk av sprøytemidler i landbruket er potensielle kilder til forurensning av grunnvann med miljøgifter.

## **INNLEDNING**

Mellom 15 og 20 % av Norges befolkning får vann fra grunnvannsbrønner. Grunnvann har vanligvis en god kvalitet og er normalt bedre beskyttet mot forurensning enn overflatevannkilder. Det satses derfor på å øke utnyttelsen av grunnvann og det ansees som mulig å kunne forsyne omlag 40 %

av befolkningen med grunnvann. Våre grunnvannsressurser trues imidlertid også av forurensning. Dersom et grunnvannsmagasin blir forurenset kan det ta svært lang tid før vannet igjen er rent. Det er derfor viktig å være klar over kilder til forurensning av grunnvann og hvilke problemer som kan oppstå ved en eventuell forurensning slik at forebyggende tiltak kan settes iverk mens det enda er tid.

Jord ligger som en beskyttende kappe over grunnvannsmagasinerne. Jord har stor evne til å binde og bryte ned forureningsstoffer. Dersom den ikke hadde det, ville de fleste grunnvannsforkomster allerede vært forurenset i større eller mindre grad. Forurensning av jord har tatt siden industrialiseringen startet. Mange forurensninger spres til atmosfæren. Uansett hvor vi befinner oss på jordkloden kan vi ikke lenger være sikre på at den jorda vi skal dyrke maten vår i er fri for miljøbetenkelige forureningsstoffer. Selv om jord kan

betraktes som et renseanlegg med en voldsom arealmessig utbredelse, kan jorda bli mett slik at utvasking og transport av forureningsstoffer ned gjennom jordprofilen øker.

## FORURENSNINGSKILDER

Nesten all menneskelig virksomhet kan bidra til forurensning av jord og grunnvann (Tabell 1).

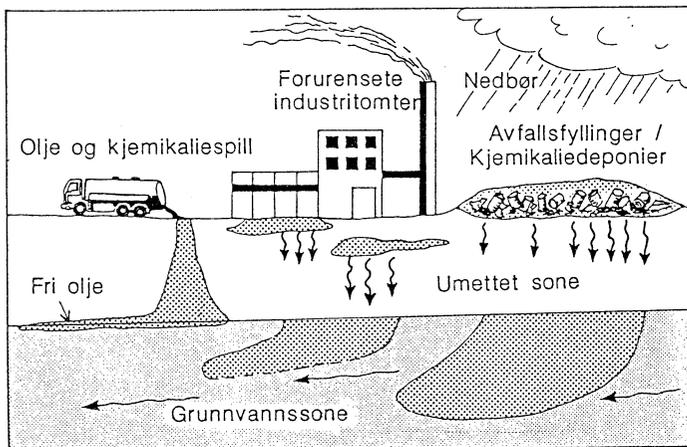
Landbruket produserer store mengder organisk stoff i form av husdyrgjødsel og silopressaft. Betydelige mengder organisk stoff finnes også i sigevann fra avfallsfyllinger og i avløp fra enkelte typer industri og husholdninger. Nitrogen i form av nitrat ( $\text{NO}_3$ ) er en potensiell trussel mot mange grunnvannsforkomster. Nitrogenforbindelser forekommer i sigevann fra fyllinger og jordbruksarealer.

Infiltrasjonsanlegg for avløpsvann og lekkasjer fra kloakkledninger er potensielle kilder til forurensning av

Tabell 1. *Forurensningskilder og stoffer som potensielt kan forurense jord og grunnvann.*

Forurensningskilder	Organisk materiale	Fosfor	Nitrogen	Forurensningsstoffer		
				Patogene mikroorganismer	Tungmetaller	Kjemikalier, organiske/uorganiske mikroforurensninger
Industri	X		X*		X*	X*
Deponier	X	X	X	X	X	X
Avfallsforbrenning					X*	X*
Landbruk	X	X	X*		X	X*
Husholdningsavløp	X	X	X	X	X	X
Veitrafikk			X*		X*	X*

\* Stoffene kan helt eller delvis foreligge i gassform med utslipp til luft



Figur 1. Potensielle kilder til forurensning av grunnvann med kjemikalier (modifisert etter Jensen og Arvin 1988).

grunnvann med patogene mikroorganismer samt nitrogen.

Alle de virksomhetene som er nevnt i tabell 1 er opphav til miljøgifter. Det kan være tungmetaller og organiske mikroforurensninger fra avfallsforbrenning. Industrien er opphav til ulike kjemiske forbindelser som slippes ut i gassform, går til deponi eller i kloakk-avløpet. Det er og viktig å være klar over at endel husholdningsprodukter inneholder miljøgifter som kan havne på fyllinga eller i avløpet.

Utslipp av stoffer til luft kan forurense store jordarealer. Fyllinger, industritomter og transportuhell samt sprøytemiddelbruk i landbruket er de vanligste kilder til forurensning av grunnvannsføremønstre med organiske mikroforurensninger og andre kjemikalier (fig. 1).

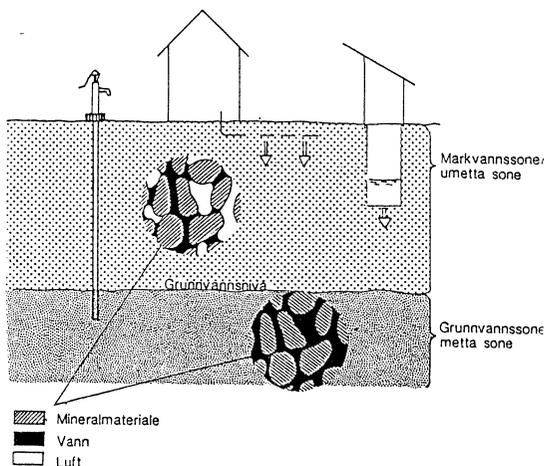
I tillegg til de aktiviteter som er nevnt i tabell 1, vil sur nedbør og radioaktivt nedfall kunne bidra til forurensning av jord og grunnvann.

## PROBLEMRÅDER

### Grunnvannets sårbarhet i Norge

Hvor godt et grunnvannsmagasin er beskyttet mot forurensninger avhenger av egenskaper til jordlaget som ligger over grunnvannsmagasinet, samt klimatiske forhold. Har vi et tykt jordlag, gir det normalt bedre beskyttelse enn et tynt jordlag. I tillegg til mektighet betyr jordtypen mye for hvor godt beskyttet grunnvannsmagasinet er. Finkornig jord (silt, leir) har normalt bedre evne til å binde og filtrere forurensningsstoffer enn grovkornig jord (sand, grus). Et leirlag over grunnvannsmagasinet, gir ofte en god barriere mot forurensning.

Den øvre del av jordprofilen kalles markvannssonen eller den umetta sonen (fig. 2). I den umetta sonen er det både luft og vann i jordporene i motsetning til i grunnvannssonen hvor alle porene er vannfylte. I markvannssonen kan derfor aerobe prosesser finne sted i langt større grad enn i grunnvannssonen.



Figur 2. I grunnvannssonen eller den metta sonen er alle porene væskefylte. I den umetta sonen er det væske i de minste porene og luft i de største.

nen. Det er en av årsakene til at mange renseprosesser er mer effektive i den umetta sonen enn i grunnvannssonen.

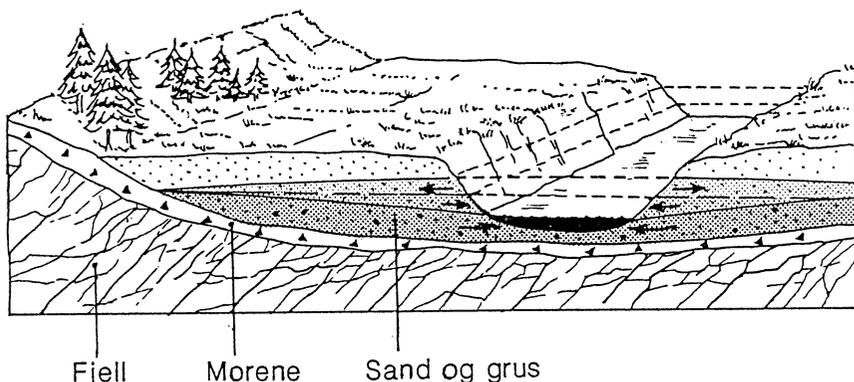
Størsteparten av Norges landareal er dekket av en tynn og usammenhengende morene. Mektigere moreneavsetninger (2—5 meter) finnes bl.a. på Østlandet, Finnmarksvidda og Jæren. Mektige sand og grusavsetninger finner vi stort sett i tilknytning til dalfører og i de såkalte israndavsetningene. Sammenlignet med Danmark og andre land på det Europeiske kontinent er norske avsetninger tynne, mer grovkornige og mindre sammenhengende. I tillegg har vi et fuktig klima som i perioder kan føre til høyt vanninnhold og rask transport av vann gjennom den umetta sonen og ned til grunnvannet. Vårt kalde klima fører til at mikrobielle prosesser i jord som er viktige i nedbryting av stoffer, vil gå langsommere her enn i varmere strøk. Norske grunnvannsressurser må derfor ansees for å være dårli-

gere beskyttet enn grunnvann i mange andre land.

Mange av våre største grunnvannsmagasiner ligger i tilknytning til vassdrag. Dersom ellevannet er forurenset fra utslipp eller deponier oppstrøms grunnvannsmagasinet vil forurensningen kunne strømme inn i grunnvannsmagasinet (fig. 3).

### Problemer knyttet til ulike stoffers forekomst og opptreden i jord og grunnvann.

Fosfor bindes normalt godt i jord. Det har i den senere tid vært antydning at jordas evne til å binde fosfor kan begynne å bli mettet i områder med intensiv gjødsling. Det er imidlertid svært sjelden at forurensning av grunnvann med fosfor er rapportert. Fosfor må derfor ansees å være et lite problem i forbindelse med forurensning av jord og grunnvann.



Figur 3. *Infiltrasjonsmagasin. I perioder med høy vannstand i elva vil vann infiltrere til grunnvannsmagasinet. I perioder med lav vannstand i elva vil grunnvann strømme ut i elva (Skjeseth 1984).*

**Organisk materiale.** Med organisk materiale, menes det her naturlige organiske forbindelser som finnes i gjødsel fra landbruk, husholdningsavløp og organiske syrer i sigevann.

I jordsmonnet finnes det opptil 2 milliarder bakterier pr. gram jord. Disse har et stort potensiale til å tilpasse seg nedbryting av organisk materiale. Som eksempel kan nevnes at når avløpsvann fra husholdninger infiltrerer i jord, vil vannet normalt se rent ut og være luktfritt etter å ha passert mindre enn 1 m jord. Det organiske materialet er altså omsatt, men om det er fritt for andre forurensstoffer er ikke sikkert. Organisk materiale omsettes mikrobielt og renseevnen kan regnes som konstant over tid dersom jordas evne til å omsette organisk materiale ikke overbelastes.

Konsentrerte utslipp av f. eks silopressaft eller sigevann fra fyllinger kan føre til at grunnvannet under store arealer blir ubrukelig til drikkevann. Sjansen for at dette skal kunne skje er størst på grovkornige grus og sandavsetninger med liten avstand til grunn-

vann. Det finnes eksempler på at sigevann fra søppelfyllinger med høyt innhold av organisk stoff, har forurenset drikkevannsbrønner.

*Sykdomsframkallende mikroorganismer* (patogene parasitter, bakterier og virus) har vært årsak til at vannbårne infeksjonssykdommer er påført mennesker via grunnvann brukt som vannkilde.

Den umetta sonen regnes normalt for å være en god barriere mot nedtrengning av patogene mikroorganismer til grunnvann (Lewis et al. 1982, Alföldi 1988). Den umetta sonens evne til å hindre transport av patogene mikroorganismer illustreres med transportavstander som er målt i den umetta sonen og i grunnvannssonen. I den umetta sonen transporteres tarmbakterier fra noen desimeter til noen meter, mens de i grunnvannssonen kan transporteres flere titalls meter i sand og mer enn 100 m i sand og grus (Lewis et al. 1982, Alhajjar et al. 1988). For Virus er datamaterialet noe mer beskjedent. Distansene er noe lengere, men ofte av

samme størrelsesorden som for bakterier (Lewis et al 1982, Bitton og Gerba 1984). Ved lavere temperatur vil normalt overlevelsen og dermed transportavstandene kunne øke. Søyleforsøk med jordtemperatur 6–8°C, dette tilsvarende lavlandet i sør-Norge, viser at under umetta forhold belastning 2,4 cm/d vil tilnærmet alle termostabile koliforme bakterier i avløpsvann kunne fjernes ved filtrering gjennom 0.75 m sand (Jenssen 1989).

Det er sjelden at forurensning med patogene mikroorganismer skyldes kortslutning fra infiltrasjonsanlegg. Mer vanlig er kortslutning og innlekkasje av forurenset overflatevann p.g.a. dårlig utforming og plassering av brønner. Norske avløpsledninger er ikke tette. Et uttett ledningsnett vil kunne representere en større trussel mot grunnvannet enn infiltrasjonsanlegg. Dette fordi lekkasjene er vanskelige å lokalisere og fordi ledningene ofte ligger helt nede i grunnvannssonen.

*Nitrogen* i form av nitrat  $\text{NO}_3^-$  — er kanskje det stoff som oftest forbindes med forurensning av grunnvann. Høye nitratkonsentrasjoner i drikkevann kan gi helsemessige problemer (Winneberger 1982).

Flere undersøkelser har vist at i Norge er høye nitratkonsentrasjoner knyttet til områder med landbruk (Kraft 1988). Det er imidlertid sjelden at nitratkonsentrasjoner i grunnvann overstiger kravet til drikkevann. Når det skjer, er det som regel i gravde brønner.

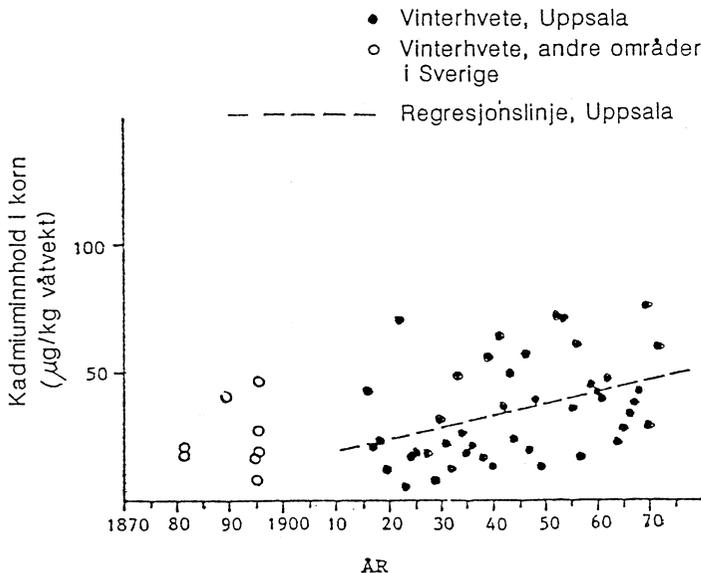
Vi vet lite om hvor mye nitrogen som vaskes ut fra landbruksarealer på permeable avsetninger langs våre vassdrag. Vår og høst står grunnvannet i disse elveavsetningene svært høyt og i

enkelte tilfeller helt oppe i rotsonen. Dette gir store muligheter for utvasking av nitrat og andre forurensende stoffer. Det er mulig at en slik mekanisme kan bidra både til forurensning av grunnvannsmagasinet langs våre vassdrag og til forurensningstransport ut i vassdraget via grunnvann.

Nedvasking av nitrogen til grunnvann kan påvirkes gjennom endrede drifts- og gjødselrutiner i landbruket. Det er og mulig å optimalisere nitrogenfjerningen i infiltrasjonsanlegg for avløpsvann (Jenssen og Siegrist 1988). Når visse betingelser er oppfylt, kan nitrat reduseres til nitrogen gass ( $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) både naturlig og ved manipulasjoner i grunnvannssonen (Braester og Martinell, Jenssen og Siegrist 1988).

*Miljøgifter.* Det er omlag 60 000 kjente kjemiske forbindelser som mennesker eksponeres for og antallet øker med noen tusen hvert år (Shane 1989). Mange av disse stoffene har egenskaper som kan klassifiseres som miljøgifter (Gjøs et al. 1988). Det er imidlertid ikke mulig å kontrollere alle nye forbindelser og langt mindre kontrollere effekten av eventuelle nedbrytingsprodukter eller effekter av ulike stoffer i kombinasjon synergistiske effekter. I det følgende er tungmetaller og organiske mikroforurensninger kort berørt.

Flere tungmetaller kan ha toksisk effekt overfor planter dersom konsentrasjonen blir for høy (Johnsen 1988). Gjennom blokkering av enzymer kan høye tungmetallkonsentrasjoner hemme jordboende mikroorganismer og dermed forstyrre en av nøkkelprosesene i jordsmonnet nemlig mineraliseringen. Dersom inntaket av eller eksponeringen overfor tungmetaller er for høy kan dette føre til en rekke



Figur 4. Endring i kadmiuminnhold i vinterhvet med tiden (fra Naturvårdsverket 1987).

skadevirkninger på den menneskelige organisme (Shane 1989).

Undersøkelser av Hovmand (1981) og Baccini (1989) viser tydelig at innholdet av bl.a. Zn, Pb og Cd øker i jord og biomasse. Det skjer ikke noen systematisk overvåkning av tungmetallforurensningen i norsk jordsmonn, men flere undersøkelser indikerer at det skjer en økning over tid også i Norge (Hvatum 1984, Steinnes 1987).

På landbruksarealer bidrar kunstgjødsel med mer enn halvparten av kadmiumtilførselen, mens resten skyldes atmosfærisk nedfall (Vigerust og Ekeberg 1989). Der kloakkslam benyttes vil størstedelen av tungmetalltilførselen kunne komme fra slam.

Tungmetaller taes opp i planter og dyr, men i varierende grad (Vigerust og Selmer-Olsen 1985, Frøslie 1988). Fig. 4

gir et eksempel på hvordan innholdet av Cd i korn har endret seg de siste 100 år (Naturvårdsverket 1987).

Fig. 4 viser at eksponeringen overfor tungmetaller kan øke som følge av opphopning i jordsmonnet. Fordi endel tungmetaller akkumuleres i kroppssvevet (kadmium i nyrene) er langtidseffekten av en stadig økende tungmetall-eksponering skremmende. Dette har allerede katastrofen med kvikksølvforurensning i Minamata Japan vist. Det er derfor viktig å stoppe eller helst snu denne trenden. Det vil imidlertid kunne ta lang tid før tungmetallinnholdet i jorda reduseres. Tungmetaller bindes generelt sterkt i jord og kadmium har en oppholdstid i jord på omlag 100 år, mens den for bly er omlag 2000 år (Johnsen 1988). Den sterke bindingen reduserer imidlertid faren for en akutt

foreurenning av grunnvann med tungmetaller. Den naturlige forvittringshastighet er og så lav at det bare er i områder med tungmetallrike malmer at naturlig anrikning i grunnvann kan forekomme (Kraft 1988).

*Effekt av sur nedbør på grunnvann og tungmetallinnhold.* Under bestemte forhold vil løseligheten av tungmetaller øke med avtakende pH i jordvæsken. Det er derfor mulig at sur nedbør kan føre til økt innhold av tungmetaller i grunnvannet. Dette gjelder særlig dersom grunnvannets pH også begynner å synke som følge av den sure nedbøren. Det finnes undersøkelser som antyder at dette kan være iferd med å skje innenfor områder som p.g.a. geologiske forhold har liten buffringskapasitet overfor sur nedbør (Jonasson et al. 1985, Henriksen et al. 1989).

Det er utført svært få analyser i Norge m.h.p. tungmetallinnhold i grunnvann. Analyser fra Agderfylkene viser (SIFF 1988) at alle de undersøkte vannverkene hadde et innhold av Cd, As, Co og Mb som var lavere enn deteksjonsgrensen. For Pb og Al økte innholdet med avtakende pH.

*Organiske mikroforensninger.* Et høyt innhold av organiske mikroforensninger i jord kan føre til utvasking av mikroforensninger til grunnvannet. Det kan også båndlegge framtidig arealutnyttelse ved at skadelige gasser trenger inn i bygninger eller gjør opphold på området ubehagelig eller helsefarlig.

Det er svært kostbart å rense områder der jorda har blitt forurenset. Ved gassverkstomta i Stavanger ble jorda sendt til Nederland for rensing av bl.a. PAH

og fenoler. Prosjekter av denne type kommer lett opp i kostnader på over 10 millioner kroner. I USA belastes kostnader til opprydding tomteeieren. Det er derfor vanlig å la et konsulentfirma undersøke tomta før kjøp dersom det er mistanke om foreurenning av jorda med spesialavfall (Siegrist 1988). Hvilke krav som skal settes i forbindelse med opprydding og rensing av forurenset jord er diskutert av Siegrist (1989).

Det er ikke vanlig å analysere drikkevann for organiske mikroforensninger. Da det på 70 tallet ble analysert for mikroforensninger i en rekke grunnvannsføremster i USA var resultatet alarmerende. Mange stoffer bl.a. rester av forskjellige løsemidler og plantevernmidler ble funnet. Vannkilder som var «rene» når det ble analysert på tradisjonelle parametere var forurenset med stoffer som kan være svært skadelige for mennesker.

Mange av organiske mikroforensninger ansees for å være skadelige i konsentrasjoner som er langt under smaksgrensen. Enkelte stoffer f. eks. fenoler kan smakes i svært små konsentrasjoner. På den måten kan små mengder ødelegge store grunnvannsføremster. Grenseverdien for mineralolje i drikkevann er på 1 g/l (SIFF 1987). Grenseverdien for plantevernmiddel er 10 ganger lavere.

Nyere forskning har vist at bakteriepopulasjonen i grunnvannssonene er større enn tidligere antatt og at disse bakteriene har evne til å bryte ned en rekke miljøfremmede organiske forbindelser (Albrechtsen 1988). Dette er årsaken til at det mange steder ikke kan påvises organiske mikroforensninger der det var forventet å finne slike (Jensen & Arvin 1988).

Forskningen omkring nedbryting av miljøfremmede organiske stoffer i grunnvannssonen er imidlertid bare i sin begynnelse og det som foregår er stort sett gjort i utlandet. Om de samme prosessene er like effektive hos oss vet vi ikke. Temperaturen i norsk grunnvann varierer fra ca. 8°C i Sør-Norge til 3—4°C i Nord-Norge. Ved temperaturer under 4 grader er aktiviteten hos mange mikroorganismer svært liten. Det er derfor mulig at vi under våre klimatiske og jordbunnsmessige forhold har grunnvannsmagasin som er dårligere beskyttet og mindre egnet til å bryte ned organiske mikroforurensninger enn i varmere strøk og i områder med tykkere løsmassedekke.

Norsk grunnvann analyseres ikke rutinemessig m.h.p. organiske mikroforurensninger. Spredte analyser av plantevernmidler er foretatt (Berglind 1987 i Nilsen 1989, Røhr et al. 1987) og plantevernmidler ble påvist i 2 av 11 grunnvannsbrønner/kilder. Det finnes imidlertid ikke datagrunnlag for å si i hvilken grad eller hvor norsk grunnvann eventuelt er påvirket av organiske mikroforurensninger.

### **Radioaktivitet**

Etter ulykken i Tsjernobyl har innholdet av radioaktive nukleider i jords-

monnet i Norge økt. Dette har ført til høye konsentrasjoner i vegetasjon og dyr.

Flere undersøkelser har vist at det aller meste av aktiviteten sitter i de øverste 1—2 cm av jordprofilen (Gustafsson et al. 1987, Håkansson et al. 1989, Rudjord og Haugen 1989). Det meste sitter altså helt oppe i humusskiktet. Selv om Antimon Sb-125 Ruthenium Ru-106 og Cobolt Co-60 beveger seg noe raskere og lenger ned enn Cesium (Gustafsson et al. 1987), så konkluderer Riise et al. (1989) med at de fleste radionukleider representerer en relativt «inert pool» i de øverste 2 cm av jordprofilen. Opptreden av nukleider under 20 cm dyp i jordprofiler er imidlertid rapportert, og i februar 1987 10 måneder etter ulykken i Tsjernobyl, påviste (Gustafsson et al. 1987) Ruthenium 106 i en borebrønn. Verdiene var imidlertid nær deteksjonsgrensen. Det som foreligger av data tyder derfor på at de fleste grunnvannsforekomster er godt beskyttet mot forurensning fra radioaktivt nedfall.

### **Etterord**

Jeg vil takke professor Steinar Skjeseeth og kolleger ved Jordforsk og Institutt for jordfag for velvillig bistand i forbindelse med forberedelser til dette foredraget.

## **LITTERATUR**

- Albrechtsen, H.J., 1988. Grundvandzonens mikrobiologi. Afdelingen for Generel Mikrobiologi, Københavns Universitet, Lossepladsprojektet, Rapport P—1, 74 s.
- Alföldi, L., 1988. Groundwater microbiology: Problems and biological treatment — state of the art report. Wat. Sci. Tech. Vol 20. No. 3, pp. 1—31.

- Alhajjar, B.J., Stramer, S.L., Cliver D.O. og Harkin J.M. 1988. Transport modelling of biological tracers from septic systems. *Wat. Res.* vol. 22 no. 7 pp. 907—915.
- Baccini, P., 1989. The control of heavy metal fluxes from the atmosphere to the environment. In: J.P. Vernet (ed.), *Heavy metals in the environment*, Proc. Int. Conf. Geneva, September, CEP Consultants, Edinburgh, pp. 13—23.
- Bitton, G. and Gerba, C.P., 1984. *Groundwater pollution microbiology*. John Wiley & Sons, New York, 377 p.
- Braester, C. and Martinell, R., 1988. The VYREDOX and the NITREDOX methods of in situ treatment of groundwater. *Wat. Sci. Tech.* Vol 20. No. 3, pp. 165—173.
- Gjøs, N., Dybing, E., Dahle, Ø., Ferm, R., Rensvik, H., Rønning, O.I., Østeraas, T., 1988. Miljøgiftforskning, tilbakeblikk og fremtidig strategi, NTNFS utvalg for miljøgifter, Senter for industriforskning, Oslo, 67 s.
- Frøslie, A., 1988. Metaller og sporelementer i norsk vilt. I: N. Fimreite (red.), *Nordisk konferanse om toksiske og essensielle metaller i vilt*, Bø i Telemark, pp. 12—15.
- Gustafsson, E., Skålberg, M., Sundblad, B., Karlberg, O., Tullborg, E.L., Ittner, T., Carbol, P., Eriksson, N. og Lampe S., 1987. Radionukleide deposition and migration within the Gideå and Finnsjön study sites, Sweden: A study of the fallout after the Chernobyl accident. Phase I, initial survey. Tech. Report 28/87, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. Stockholm, 173 s.
- Henriksen, A., Kirkhusmo, L. og Sønsterud, R., 1989. Landsomfattende grunnvannsnett LGN — Grunnvannets kjemiske sammensetning. NIVA rapport 352/89, 63 s.
- Hovmand, M.F., 1981. Cirkulation af bly, cadmium, kobber, zink, og nikkel i dansk landbrug. I: *Slammets Jordbrugsanvendelse II* fokusering, Polyteknisk forlag Lyngby, s. 85—118.
- Hvatum, O.Ø., 1984. Fortsatte undersøkelser over tungmetaller i ombrogen torvmark i Norge. Dr. Scient oppgave, Inst. for jordbunnsforskning, Ås—NLH, 119 s.
- Håkansson, E., Drugge, N., Mattson S. and Alpsten, M. 1989. Migration of gamma-emitting radionuclides in soil and in the soil—grass system. Proc. NJF—seminar nr. 156, *Deposition and transport of radionuclides in Nordic terrestrial environment*, Beitostølen, 21—23 Aug.
- Jensen, B. og Arvin, E., 1988. Miljøfremmede organiske stoffer i dybere jordlag og grundvand. I: A. Helweg, (red.). *Kemiske stoffer i landjordmiljøer*, Teknisk forlag, København, pp 231—250.

- Jenssen, P.D., 1989. Rensing av punktutslipp i Landbruket, GEFO, Ås — NLH, (in prep).
- Jenssen, P.D. and Siegrist, R.L., 1988. Nitrogen removal from wastewater in soil infiltration systems. In: H. Ødegaard (ed.), Fjerning av nitrogen fra avløpsvann, Tapir forlag, pp. 114—128.
- Johnsen, I., 1988. Tungmetaller i Jord. I: A. Helweg, (red.). Kemiske stoffer i landjordsmiljøer, Teknisk forlag, København, pp 97—110.
- Jonasson, S.A., Lång, L.O. og Swedberg, S., 1985. Faktorer som påvirker pH och alkalinitet, En analys av brunnsvatten i sydvastra Sverige, Statens Naturvårdsverk, Solna, 84 p.
- Kraft, P.I., 1988. Forurensning av grunnvann — nitrat, aluminium og tungmetaller. Rapport 7.73—001, Inst. for georessurs og forurensningsforskning GEFO Ås—NLH, 63 s.
- Lewis, J.W., Foster, S.D. and Drasar, B.S., 1982. The risk of groundwater pollution by onsite sanitation in developing countries. IRCWD — Report No. 01/82, EAWAG, Switzerland. 79 p.
- Naturvårdsverket, 1987. Kadmium i miljøen. Statens naturvårdverk, Rapport nr. 3317, Solna.
- Nilsen, H.G., 1989. Undersøkelser vedrørende plantevernmidlers forekomst i grøftevann grunnvann og overflatevann. Nordisk Plantevernkonferanse, 1989, s 417—422.
- Riise, G., Bjørnstad, H.G., Lien, H.N. and Salbu, B. 1989. Studies of radionuclides associated with components in soil using sequential extraction. Proc. NJF—seminar nr. 156, Deposition and transport of radionuclides in Nordic terrestrial environment, Beitostølen, 21—23 Aug.
- Rudjord, A.L. and Haugen L.E., 1989. The distribution of radiocaesium in soil profiles 1986—1988. Proc. NJF-seminar nr. 156, Deposition and transport of radionuclides in Nordic terrestrial environment, Beitostølen, 21—23. Aug.
- Røhr, P.K., Semb, C.E., Gade, A.L., Lode, O., Berge, D., Alexander, J., og Paulsen, J., 1987. Plantevernmidler i overflatevann og grunnvann. GEFO/Statens Plantevern, 39 s.
- Shane, S.S., 1989. Human reproductive hazards. Environ. Sci. Technol., Vol. 23 No. 10, pp. 1187—1195.
- Siegrist, R.L., 1988. Remediation of hazardous waste contaminated land at commercial and small industrial sites. In: E. Rørdam and S. Vedby (eds.). Impact of waste disposal on groundwater and surface water, Proc. Int. Workshop, Miljøstyrelsen, København, pp 365—384.

- Siegrist, R.L., 1989. International review of approaches for establishing cleanup goals for hazardous waste contaminated land. GEFO, Ås—NLH, 81 p.
- Skjeseth, S., 1984. Grunnvann i Norge. NLVF-utredning nr. 107, 110 s.
- SIFF, 1987. Kvalitetsnormer for drikkevann G2. Statens institutt for folkehelse, Oslo, 72 s.
- SIFF, 1988. Spormetaller i Norske drikkevannskilder: Aust-Agder og Vest-Agder, Statens institutt for folkehelse, Rapport nr. 69, Oslo.
- Steinnes, E., 1987. Impact of the long range atmospheric transport of heavy metals to the terrestrial environment in Norway. In: T.C. Hutchinson and K.M. Meema (eds.), Lead mercury cadmium and lead in the environment. John Wiley & Sons, pp. 107—117.
- Vigerust, E. og Selmer-Olsen, A.R., 1985. Tungmetalloptak i planter ved bruk av kloakkslam. Inst. for jordkultur, Ås—NLH, Serie B 2/85, 58 s.
- Vigerust, E. og Ekeberg, E., 1989. Fra skade i vann til nytte på land. Særtrykk fra Samvirke nr. 5/6.
- Winneberger, J.T., 1982. Nitrogen, Public Health and the environment. Ann Arbor Science, Ann Arbor, 77 p.