

Grunnvann forurenset av klorerte løsningsmidler

Av John Mather.

John Mather er professor i Geology Department, Royal Holloway and Bedford New College (University of London), Egham, Surrey TW20 0EX, England.

Oversatt av Arve Misund og Geir Morland, Norges geologiske undersøkelse.

Gitt som foredrag på seminaret: Nasjonalt Hydrogeologi Seminar 29.10.91 Grand Hotel Olav, Trondheim, i regi av Norges geologiske undersøkelse.

Introduksjon

Grunnvann forurenset av klorerte løsningsmidler vekker stadig bekymring i Storbritannia. Problemer er spesielt akutt i enkelte eldre områder med tungindustri, hvor manglende kunnskap om forsvarlig bruk av løsningsmidler og håndtering av løsningsmiddelavfall har resultert i omfattende forurensninger. Dette har ført til at både kritt-akviferen i Luton/Dunstable-området og sandsteinsakviferen (permotrias) under Birmingham og Coventry er sterkt forurenset. Forurensningen er for utbredt til å kunne ryddes opp i ved in-situ opprensning, og grunnvannet må gjennom en omfattende vannbehandling før det kan regnes som akseptabelt til vannforsyning (Rivett, Lerner og Lloyd, 1990; Flavin og Harris, 1991).

Et vidt spekter av klorerte løsningsmidler brukes i industrien, og ulike klorerte løsningsmidler har ofte mange forskjellige betegnelser. Ulike betegnelser og forkortelser for klorerte løsningsmidler som kan forekomme i for-

urenset grunnvann er gitt i tabell 1 (etter Rivett, Lerner og Lloyd, 1990). Klorerte løsningsmidler har mange bruksområder i industrien, men benyttes vanligvis til avfetting, spesielt til rengjøring av metalloverflater og i renserier.

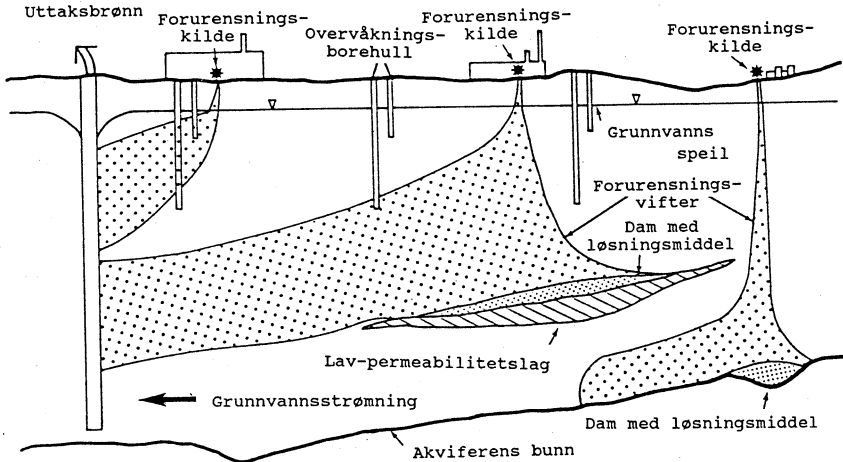
Alle klorerte løsningsmidler er forholdsvis flyktige. Den dominerende spredningsveien ut i omgivelsene er hovedsakelig ved direkte fordampning til atmosfæren. Flyktigheten virker sterkt reduserende på muligheten til å forurense overflatevann, men den er forholdsvis ubetydelig nede i jorden. Slike forbindelser har også fysikalsk-kjemiske egenskaper som gjør dem til spesielt lumske forurensningsstoffer i grunnvann (Lawrence og Foster, 1987). Generelt er ikke klorerte løsningsmidler særlig løselige i vann, og ved utlekking av større mengder vil de opptre i en ikke-blandbar fase som er tyngre og mindre tykflytende enn vann. Dette medfører en rask og dyp nedtrengning i akviferen hvor det dannes dammer. Fordampningen fra slike dammer er så liten at den kan neglisjeres (fig. 1).

Tabell 1. *Kjemisk betegnelse og forkortelser for noen vanlige klorerte løsningsmidler.*

Kjemisk betegnelse	Forkortelse
Diklormetan, metylenklorid	DCM
Triklormetan, kloroform	TCM
1,1,1,-Trikloretan, metylkloroform	TCA
Tetraklormetan, karbontetraklorid	CTC
Trikloretan, Trikloretylen	TCE
Tetrakloretan, perkloretylen	PCE
1,1-Dikloretan, dikloretylen	1,1 DCE
c-1,2-Dikloretan, cis-1,2-dikloretylen	c-1,2 DCE
t-1,2-Dikloretan, trans-1,2-dikloretylen	t-1,2 DCE
Kloretan, vinylklorid	VC

Den ikke-blandbare fasen vil akkumulere på bunnen av akviferen eller oppå lav-permeable soner. Videre strømming vil avhenge av form og helling på akviferens bunn eller andre styrende lag, og ikke av grunnvannets strømningsretning. Dette betyr at en må være meget oppmerksom under utfor-

ming og plassering av overvåkningsbrønner, slik at en får en oversikt over både tilstedeværelse og fordeling av forurensning. Den ikke-blandbare fasen vil litt etter litt løses i den regionale grunnvannsstrøm i en takt som er avhengig av løsningsmiddelets løselighet, hvor mye de to ulike fasene blander



Figur 1. *Skjematisk illustrasjon av spredningen av klorerte løsningsmidler i grunnvann og den gjensidige påvirkningen mellom en pumpebrønn og overvåkningsbrønner. Løsningsmidlene er tyngre enn vann og synker derfor ned til bunnen av akviferen (tatt fra Rivett, Lerner & Lloyd, 1990).*

seg med hverandre, og de hydrauliske egenskaper i akviferen. For løsningsmiddel som er oppløst i vann, vil forurensningsspredningen bli styrt av retningen og hastigheten på grunnvannsstrømmen. Fortynnende prosesser som adsorpsjon og biologisk nedbrytning er sannsynligvis aktive, men det er ennå ikke nok informasjon tilgjengelig til at disse prosessene kan kvantifiseres i detalj.

«Case»-studier

Et av problemene ved å diskutere grunnvannsforurensning er at svært få «case»-studier er rapportert i vitenskapelig litteratur. Grunnen til dette er sannsynligvis at mange undersøkelser er gjort på kommersiell basis slik at resultatene ikke er offentlige, eller fordi enkeltpersoner i drikkevannsindustrien og deres konsulenter, som gjør mye av undersøkelsene, ikke har mulighet til å skrive om sitt arbeid i åpne publikasjoner. Heldigvis har organiske løsningsmidler vært gjenstand for en slik interesse i Storbritannia at flere «case»-studier er dokumentert og tre av disse er av spesiell interesse da de demonstrerer ulike lokale og regionale problemstillinger som kan oppstå.

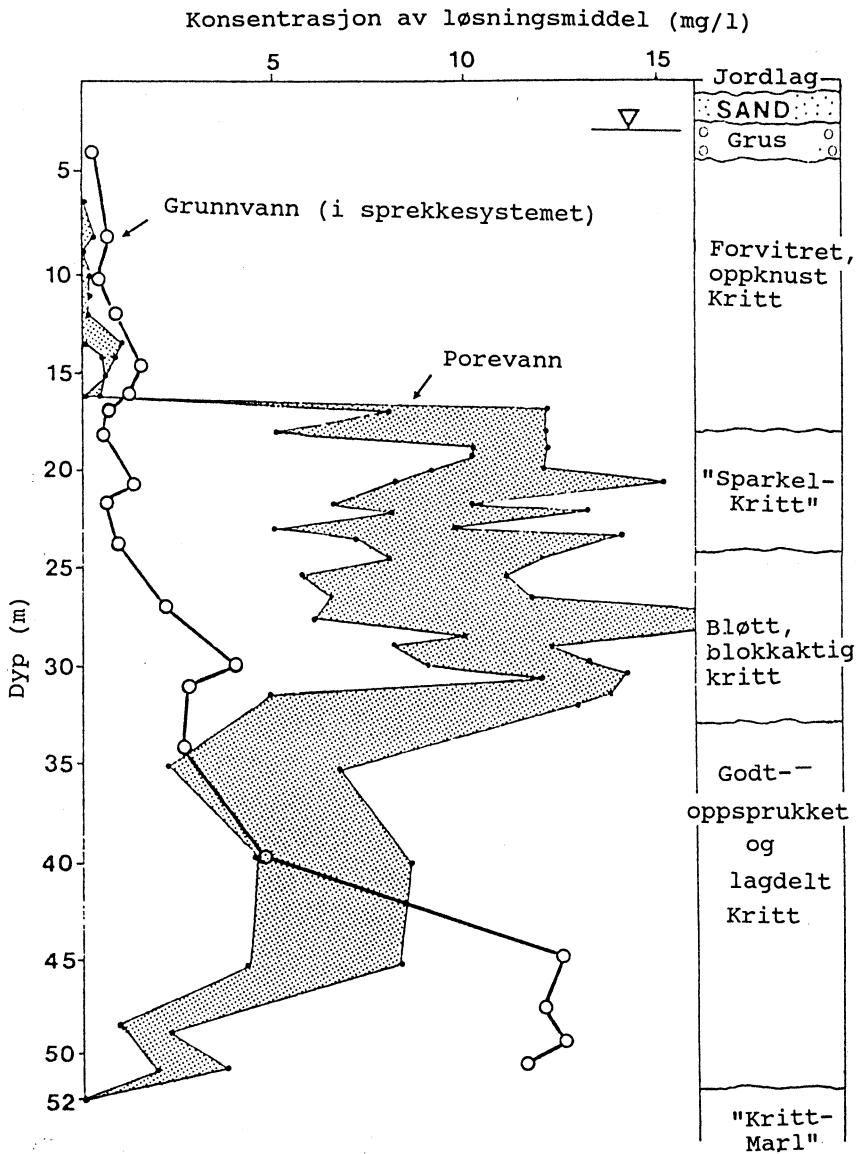
Forurensning av Kritt-akviferen i et område i Øst-England

Kjerneboring og porevannprofilering har blitt utført av British Geological Survey i et område hvor kritt-akviferen har blitt sterkt forurenset av perkloretylen (PCE) (Chilton, Lawrence og Barker, 1990; Lawrence, Chilton, Barron og Thomas, 1990; Lawrence & Foster, 1991). Området er dominert av to til fire meter tykke elvegus som overdekker den ca. 70 meter tykke Kritt-akviferen.

Grunnvannsspeilet er grunt (to til tre meter under overflaten) slik at det ikke er noen umettet sone i kritt-akviferen. Anslagsvis 10.000 liter av PCE har lekket ut fra et garveri, men eksakt tidspunkt, sted og mengde er ukjent. I umiddelbar nærhet av utslippet er det registrert konsentrasjoner av PCE i grunnvannet i størrelsesorden 30.000 til 70.000 µg/L.

Kjerneboringer ble utført nær det stedet utslippet sannsynligvis hadde funnet sted. På tross av en sterk oppadgående grunnvannsstrøm viste både sprekkevann og ekstrahert porevann svært høye konsentrasjoner av forurensning ned til 50 meters dyp (fig. 2). Løsningsmiddelet kunne bare migrert til slike dyp, motsatt av den oppadrettede hydrauliske gradient, hvis det var i en ikke-blandbar fase og styrt av tyngdekraften. Man fant at migrasjonen nedover ble styrt av litologien og strukturen i akviferen. Løsningsmiddelet har tilsynelatende passert hurtig gjennom elvegusen og den forvitrede, oppknuste kritten nær overflaten, slik at det ikke fikk muligheter til å løses opp og spres inn i kritt-matriksen (se figur 2). Ved den mer plastiske «sparkelkritt»-horisonten, ble nedadgående bevegelse bremsert og løsningsmiddelet utbredde seg horisontalt før det så migrerte nedover igjen til den mer massive Krittmarl¹. Den forlengede kontaktiden mellom løsningsmiddelet og akviferen tillot løsningsmiddelet å difundere inn i kritt-matriksen slik at det oppstod høye konsentrasjoner av løsningsmiddel (figur 2). Den nedadgående migrasjonen antar man nokså sikkert har skjedd via tettliggende primær-

¹ Marl er en betegnelse for leiraktig kalk eller kalkaktig leir.



Figur 2. Områdets geologi og konsentrasjoner av perkloretylen i porevann og grunnvann i sprekker (tatt fra Chilton, Lawrence & Baker, 1990).

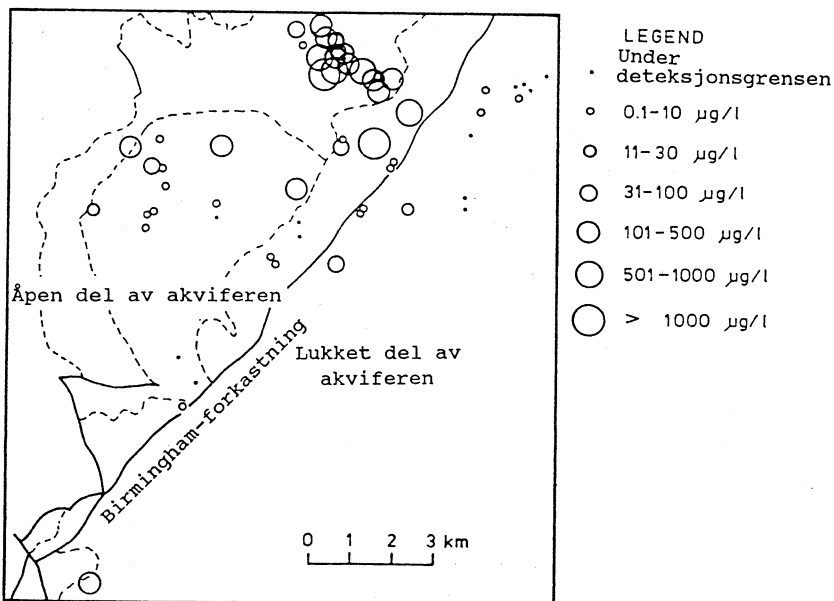
sprekker og ikke i matriks-porene, da disse har en for liten diameter til å kunne tillate noen bevegelse av betydning.

Den ikke-blandbare fasen som er ansamlet på toppen av Krittmarlen (bunnen av akviferen), antas i lang tid å ha vært en kilde til forurensning av oppløste løsningsmidler. Konsentrasjoner over 200 µg/L i bunnen av en tidligere offentlig vannforsyningsbrønn 2 km nedstrøms det forurensede området, indikerer utbredelse av en betydelig forurensningsvifte (Lawrence & Foster, 1987). Uheldigvis har det vært umulig å bestemme oppløsningshastigheten på løsningsmidler i den oppsprukne krittakviferen. Dette skyldes at det har vært umulig å bestemme arealet av kontaktflaten mellom den ikke-blandbare

fasen og grunnvannet, samt grunnvannshastigheten i området. Dette «case»-studiet illustrerer med all tydelighet problemer forbundet med å undersøke denne type forurensninger, og hvilke langtidseffekter forurensningen kan ha på akviferen.

Forurensning av den triassiske sandsteinsakviferen under Birmingham

For Birmingham byområde er det nylig avsluttet et viktig studie av langvarig forurensning forårsaket av urbanisering (Ford, Tellam, Lloyd and Lerner, 1988; Rivett, Lerner, Lloyd and Clark, 1990). Birmingham akviferen består av triassisk sandstein, med en maksimal tykkelse på ca. 200 m. Området er dominert av metallbearbeidende industri, som fører til avfall både fra



Figur 3. *Trikloreten (TCE) konsentrasjoner i grunnvann fra den triassiske sandsteinsakviferen i Birmingham (tatt fra Rivett, Lerner, Lloyd & Clark, 1990).*

rengjøring og overflatebehandling av metaller, samt metallavfall. Ford et al (1988) konkluderte med at forurensningen fra uorganiske stoffer ikke var så ille som en hadde fryktet. Korrelasjon mellom bruk av området og vannkvalitet indikerer at borehull i tilknytning til metallindustrien hadde betydelig høyere verdier for salinitet i vann enn andre borehull; spesielt Cl^- , SO_4^{2-} og Na^+ konsentrasjonene var høye. Nitratkonsentrasjonene var mindre korrelerbare med aktivitetene i området, og dette indikerer en mer diffus kilde.

Undersøkelsen av organisk forurensning viste at klorerte løsningsmidler var den dominerende forurensningskomponenten. Trikloret (TCE) var mest utbredt (Figur 3), og fra 78% av de prøvetatte borehullene inneholdt vann TCE konsentrasjoner over 0,1 $\mu\text{g/L}$ og over 30% av disse inneholdt vann med over 100 $\mu\text{g/L}$. Det ble også funnet konsentrasjoner på over 100 $\mu\text{g/L}$ av TCA og PCE, men generelt var disse langt lavere. Ofte var det slik at de løsningsmidlene som ble påvist i undersøkelsen hadde vært i bruk i industribedrifter som lå i samme område som borehullene. Det regionale bildet indikerer at det er et stort antall punktkilder i området.

Befaringer på området, og samtaler med ansatte på fabrikkene viste at forurensningen både i tidligere tider og i dag er et resultat av lempelig bruk av løsningsmidler og tilfeldig deponering. Løsningsmidlene fordampes lett, og i tidligere tider ble de helt ut over bakken i den tro at problemet ville forsvinne opp i atmosfæren. Denne praksisen var utbredt på grunn av manglende planer for gjenvinning av slikt avfall, før loven om deponering av giftig avfall kom i

1970-årene. Den triassiske sandsteinsakviferen under Birmingham er nå ugjenkallelig forurenset på grunn av en kombinasjon av uforvarlig håndtering av løsningsmidler og utilstrekkelig lovgivning og retningslinjer fra kontrollmyndighetene.

Forurensning av Krittakviferen i Sør-Oxfordshire

Den siste «case»-historien omhandler en alvorlig forurensning av grunnvann under AEA Technologys område ved Harwell Laboratory i Sør-Oxfordshire. Problemet ble oppdaget da rutineanalyser av en vannforsyningsbrønn ca. 6 km fra industriområdet viste at flere typer løsningsmidler hadde konsentrasjoner over bakgrunnsnivå. Dette inkluderer CTC og TCA.

Et detaljert studie av AEA Technology viste at ved to lokaliteter ved laboratoriet hadde brukte løsningsmidler blitt helt ned i flere groper. I perioden 1948—70 skjedde dette i to groper i den sørlige delen av området. Avfallet stammet fra eksperimenter og teknisk arbeid i området. Fra 1970 mottok Harwell også løsningsmiddelavfall fra andre bedrifter, og avfallet ble nå deponert i groper i den vestlige delen av området. All deponering i groper ble stoppet i 1977 (AEA Technology, 1991). De beste anslagene på hvor mye løsningsmidler som er deponert tyder på ca. 10—20 tonn i den vestlige delen, og noen få tonn i den sørlige delen. Felldata tyder på at det er utviklet en betydelig forurensningsvifte i det vestlige område med konsentrasjoner på 1000 $\mu\text{g/L}$ av totalt klorinerte hydrokarboner ca. 400 m fra deponeringsgropane. De høye konsentrasjonene er kun funnet i de høypermeable sonene i kritt-

akviferen, og det er antatt at kilden til forurensningen er en dam av en ikke-blandbar fase som ligger oppå et lag med marl på ca. 45 meters dyp (AEA Technology, 1991).

I det sørlige området er det ikke funnet tegn til en ikke-blandbar fase, og forurensningsgraden er også mye lavere enn i det vestlige området, med maksimumskonsentrasjoner på 500 µg/L. Imidlertid har forurensningsspredningen fra dette området pågått siden 1948, og det er derfor sannsynlig at forurensningen som er observert i vannforsyningsbrønnen, og lokale landsbykilder og borehull skyldes forurensning fra det sørlige området.

Dette tilfellet er interessant da det viser hvor lite vekt de statlige laboratoriene har lagt på problemer forbundet med håndtering av brukte klorerte løsningsmidler. Holdningen var at klorerte løsningsmidler kunne helles i gropen i bakken uten at dette ville føre til noen skade på miljøet. Dette viser en nonchalant holdning til avfallshåndtering, og en mangel på forståelse av hvor sårbart grunnvannet er for forurensning.

Konklusjoner

En nylig gjennomgang av grunnvannskvaliteten i England og Wales (Department of the Environment, 1988) konkluderer med at grunnvannet som

brukes i offentlig vannforsyning har en gjennomgående god kvalitet. Det ble imidlertid funnet tre områder der en regnet med en forverring i situasjonen. Dette gjaldt økende nitratkonsentrasjoner på grunn av gjødsel; forurensning fra avfallsfyllinger; og organisk forurensning i form av løsningsmidler, olje og plantevernmidler. Både nitrat og løsningsmidler har allerede ført til stengning av borehull knyttet til fellesvannverk.

Klorerte løsningsmidler er spesielt alvorlige grunnvannsforurensere. Norm for maksimum innhold i drikkevann slik det er beskrevet i UK Water Supply (Water Quality) Regulation av 1989 er 3 µg/L for CTC, 30 µg/L for TCE og 10 µg/L for PCE. Dette viser at kun et lite utslipp av klorerte løsningsmidler vil kunne føre til en alvorlig forurensning av grunnvannsføremkomsten.

Dersom store mengder klorerte løsningsmidler infiltreres i grunnen vil forurensningen synke ned i akviferen i en ikke-blandbar fase, og samles opp i en dam på bunnen av akviferen. En slik dam vil i lang tid være et forurensningsreservoar. De nevnte «case»-studiene viser lokale problemer som kan oppstå på områder hvor en isolert forurensning har funnet sted, og i en mer regional målestokk hvor manglende kunnskap om håndtering av løsningsmidler har ført til omfattende forurensning av en hel akvifer.

REFERANSER

AEA Technology, 1991: *Investigations into and treatment of the contamination of the groundwater at Harwell Laboratory*. Fremdriftsrapport til Local Liaison Committee ved Harwell Laboratory. 7 s.

- Chilton, P.J., Lawrence, A.R. & Barker, J.A., 1990: *Chlorinated solvents in British aquifers: some preliminary observations on behaviour and transport*. Chalk; Proc. International Chalk. Sym. Brighton 1989, Thomas Telford, London, s. 293—298.
- Department of the Environmental (DoE), 1988: *Assessment of groundwater quality in England and Wales*. HMSO, London, 115 s.
- Flavin, R.J. & Harris, R.C. 1991: *Contaminated land: implications for water pollution*. J. Inst. Water Environmental Management, 5, s 529—533.
- Ford, M., Tellam, J.H., Lloyd, J.W. & Lerner, D.N. 1988: *Inorganic groundwater pollution of the Birmingham aquifer*. Trykt abstract, Royal Society of Chemistry. Water Chemistry Forums møte om «Groundwater Protection and Exploitation», november 1988.
- Lawrence, A.R., Chilton, P.J., Barron, R.J. & Thomas, W.M. 1990: *A method for determining volatile organic solvents in Chalk pore waters (southern and eastern England) and its relevance to the evaluation of groundwater contamination*. Journal Contaminant Hydrology, 6, s. 377—386.
- Lawrence, A.R. & Foster, S.S.D. 1987: *The pollution threat from agricultural pesticides and industrial solvents*. Hydrogeological Report fra British Geological Survey. No 87/2, 30 s.
- Lawrence, A.R. & Foster, S.S.D. 1991: *The legacy of aquifer pollution by industrial chemicals: technical appraisal and policy implications*. Quarterly Journal of Engineering Geology, 24, s 231—239.
- Rivett, M.O., Lerner, D.N. & Lloyd, J.W. 1990: *Chlorinated solvents in UK aquifers*. Jl. Inst. Water Environmental Management, 4, s. 242—250.
- Rivett, M.O., Lerner, D.N., Lloyd, J.W. & Clark, L. 1990: *Organic contamination of the Birmingham aquifer*. Journal Hydrology, 113, s. 307—323.