

Tiltaksmetoder for forurenset grunn

Av Gijs Breedveld.

Gijs Breedveld er forsker ved Norges Geotekniske Institutt.

*Innlegg på møte i Norsk Vannforening
26. mai 1992*

Sammendrag

Tiltaksmetoder for forurensninger i grunnen kan deles inn i teknikker som isolerer forurensningen fra omgivelsene, og teknikker som fjerner forurensningen fra grunnen. Isolering kan utføres ved hjelp av fysisk tildekning og avskjæring eller ved hjelp av hydrologisk avskjæring. Fjerning av forurensningen kan utføres ved at det forurensete jordvolumet graves opp eller ved *in situ* rensing. Massene kan etter oppgraving renses i et mobilt renseanlegg på stedet (on site) eller transporteres til et stasjonært anlegg (off site). De viktigste renseteknikkene er basert på forbrenning/avdamping av forurensning (termiske teknikker), utvasking av forurensningen (ekstraksjonsteknikker) og nedbryting av forurensningen ved hjelp av mikroorganismer (biologiske teknikker). Anvendelsesmuligheter av de ulike renseteknikkene er avhengig av forurensningstype og grunnforhold. *In situ* renseteknikker er relativt nye og erfaringen er begrenset. Det er utviklet fysiske, kjemiske, og biologiske *in situ* renseteknikker. Foreløpig er metodene bare brukbare i permeable jordarter der forurensningen består av relativt mobile/flyktige forbindelser.

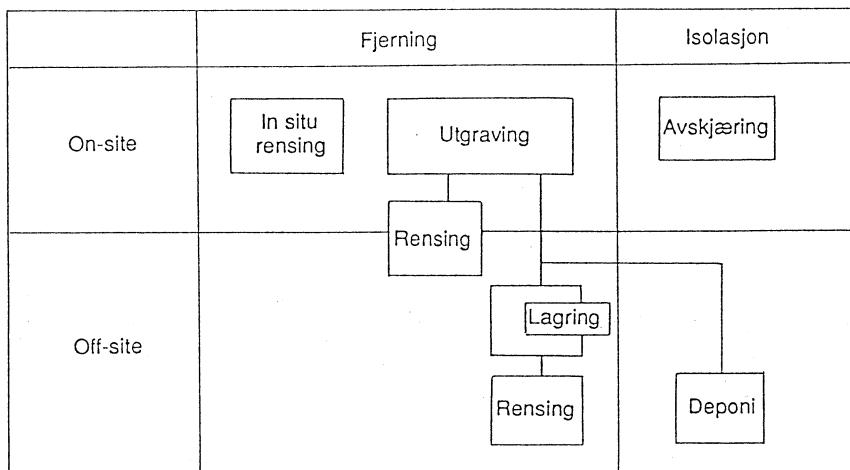
Internasjonalt er det en rask utvik-

ling igang innen renseteknologier. Det er spesielt interesse for *in situ* teknikker og rensesmuligheter for klorerte hydrokarboner og tungmetaller i silt og leirholdige jordarter.

Innledning

Resultatene fra SFT's landsomfattende kartlegging av spesialavfall i deponier og forurenset grunn viser at Norge har et betydelig problem på dette området, og det er sannsynlig at flere forurensete områder blir oppdaget de nærmeste årene. I SFT's foreløpige handlingsplan for disse forurensete områdene er målsettingen å ha ryddet opp i de verste forurensningstilfellene innen 5 år. Spørsmålet er hvilke muligheter vi har for å rydde opp. De fleste vestlige land har problemer med forurensning i grunn og har vært nødt til å gjøre noe med det. Det er spesielt USA, Nederland, Tyskland og også Danmark som har kommet langt på dette feltet. Erfaringer fra disse landene kan hjelpe oss i å velge de mest egnede tiltak, både med hensyn til tekniske muligheter, miljømessige effekter og kostnader. Denne artikkelen gir en kort oversikt over mulige tiltaksmetoder.

Metodene som skal velges i de ulike tilfeller er svært lokalitetsavhengige. For å vurdere behov for tiltak og hvilket tiltak som er best egnet, må området først undersøkes i detalj. Dersom det



Figur 1. Oversikt over tiltaksmetoder for forurenset grunn.

blir påvist forurensning i grunnen er det ikke automatisk nødvendig med tiltak eller opprensning. Behovet for tiltak er avhengig av risikoen forurensningen utgjør for mennesker og miljø.

Tiltaksmetodene kan inndeles i tre hovedgrupper:

- Isolasjon av kilden, som har til målsetning å forhindre spredning av forurensning i miljøet.
- Fjerning av kilden. Forurensningen graves opp og deponeres kontrollert eller renses.
- *In situ* rensing. Grunnen renses uten å grave opp massene.

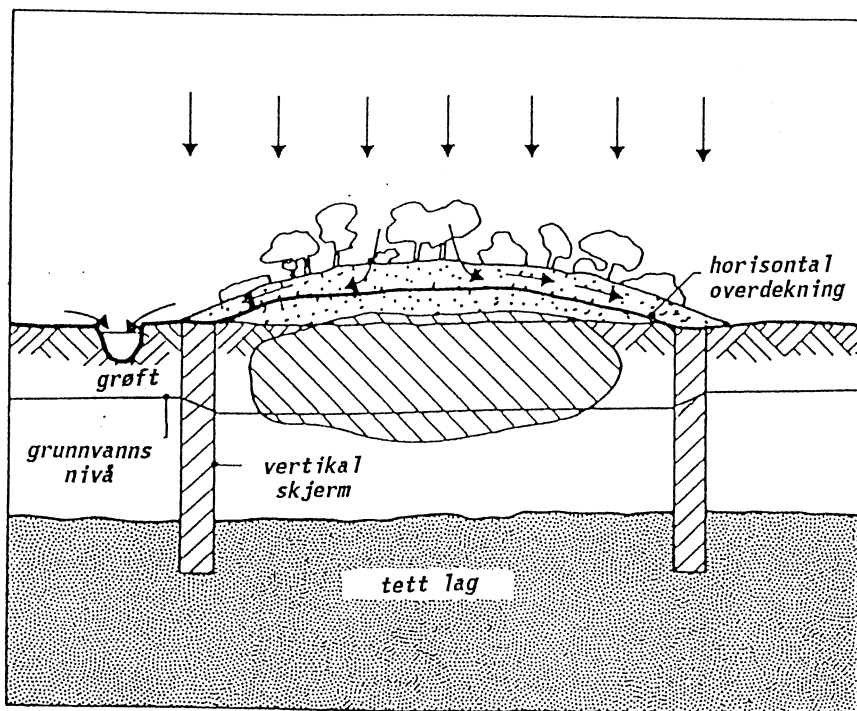
De forskjellige muligheter er skjematisk angitt i figur 1.

Isolasjonsmetoder

Spredning av forurensning kan skje i fast form via støv eller overflate erosjon,

i vannløst form til f.eks. grunnvannet eller i damp form. Isolasjonsmetoder skal avskjære mulige transportveier for de aktuelle forurensningene. Fysisk innkapsling kan oppnås ved tildekking med impermeable membraner av naturlige eller kunstige materialer, f.eks. leire og HDPE geomembran. For å forhindre horisontal spredning kan det brukes stålpuntvegger eller betong/bentonittvegger. Disse veggene skal fortrinnsvis føres ned i et impermeabelt jordlag (figur 2).

Dersom spredning i vannløst form er hovedproblemet kan området isoleres hydrologisk. Hydrologisk avskjæring forhindrer at forurenset grunnvann sprer seg ved å sikre en innadrettet grunnvannsstrøm ved hjelp av pumpep. Pumpevannet renses og kan eventuelt infiltreres igjen for å øke gradienten.



Figur 2. Eksempel på en isolert fylling.

Fjerning av kilden

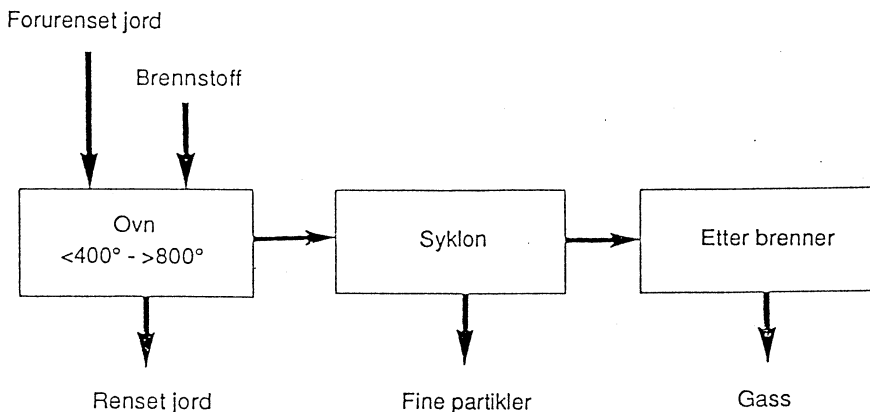
Oppgraving av forurensede masser og tilbakefylling med rene masser er en mye brukt metode for rehabilitering av forurensede områder. Etter utgraving kan de forurensede massene deponeres på et kontrollert deponi eller renses. Rensing kan skje på stedet med et mobilt renseanlegg (on-site) eller massene kan transporteres til et renseanlegg (off-site). Det finnes en rekke forskjellige teknikker som kan inndeles i hovedsakelig tre ulike rensesystemer:

- Termiske teknikker, forurensningen forbrennes eller fordampes.

- Ekstraksjonsteknikker, forurensningen overføres fra faststoff- til væskefasen ved bruk av fysiske og kjemiske prosesser.
- Biologiske teknikker, forurensningen brytes ned av (mikro) biologiske prosesser.

Termiske teknikker

Termiske teknikker renser massene ved bruk av forskjellige ovner. Et generelt prosesskjema er gitt i figur 3. Avhengig av temperaturen i oven fordampes forurensningen eller den forbrennes. Ved fordampning ligger tempe-



Figur 3. *Prosesskjema for termisk jordrensing.*

aturen mellom 200 og 500°C, mens forbrenning utføres ved temperaturer mellom 750 og 1000°C avhengig av type forurensning.

Termiske teknikker er spesielt egnet for å rense jord forurenset med ikke klorerte hydrokarboner, polysykliske hydrokarboner (PAH) og cyanider. Etterbehandling av gasser er nødvendig for å unngå luftforurensning.

Uorganiske forurensninger kan ikke behandles med termiske teknikker. I teori skulle det være mulig å dampe av flygtige metallforbindelser (f.eks. kvikksølvforbindelser) fra forurenset jord men det eksisterer ingen erfaring med denne metoden.

Renseresultat for ikke klorerte hydrokarboner og cyanider er meget bra, større enn 99%. Jord med totalt oljeinnhold på 100—20.000 mg/kg renses til et nivå <100—500 mg/kg. Cyanide konsentrasjoner fra 110—4000 mg/kg reduseres til 0,5—5 mg/kg (VROM, 1988).

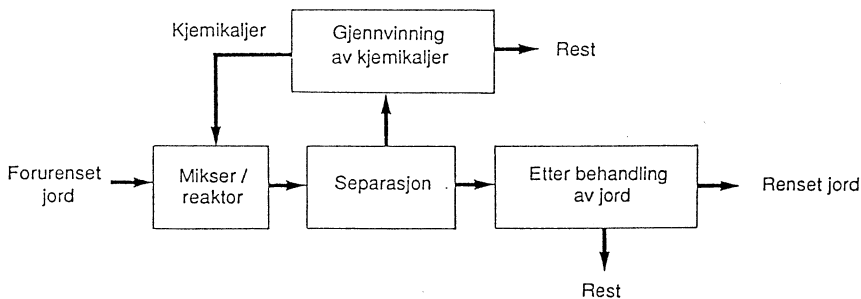
Anvendelsesmuligheter av termiske teknikker er ikke avhengig av jordart, men vanninnholdet bør ikke være høyere enn 25% for at prosessen skal gå uten for stort energiforbruk til avdampning av vann.

Et vanlig anlegg har en kapasitet på 20—50 tonn pr. time.

Bortsett fra forurensningen forbrenner også alle andre «naturlige» organiske stoff i jorden. Jorden kan derfor bare brukes for geoteknisk formål og har ingen biologisk/økologisk verdi igjen.

Ekstraksjonsteknikker

Ekstraksjonsteknikker har som formål å overføre forurensningen fra faststoff- til væskefasen (evt. gassfasen). Til dette brukes det kjemiske tilsetninger og fysiske prosesser. Prosesser basert på tilsetning av syre, base eller overflateaktive stoffer er de mest brukte. Prosesser basert på organiske løsemidler og kompleksere stoffer



Figur 4. *Prosesskjema for ekstraksjonsteknikker.*

er under utvikling. Forurensningen i prosessvæsken fjernes og væsken resirkuleres. Figur 4 gir det generelle prosessskjemaet for ekstraksjonsteknikken.

Rensesprosessen er brukbar for jord forurenset med tungmetaller, cyanider, ikke-klorerte og klorerte hydrokarboner. Renseresultatene for prosessen varierer fra 70-90% for tungmetaller til 90-99% for cyanider, alifatiske hydrokarboner og PAH. Sand som inneholder 800 mg/kg nikkel renses til 60 mg/kg, cyanidkonsentrasjoner fra 120-1000 mg/kg reduseres til 5-25 mg/kg. Oljekonsentrasjoner reduseres fra 9000 mg/kg til 110 mg/kg, og PAH-holdig sand renses fra 200 mg/kg til 8 mg/kg (VROM, 1988). Det eksisterer i praksis ingen erfaring med ekstraksjon av klorerte hydrokarboner.

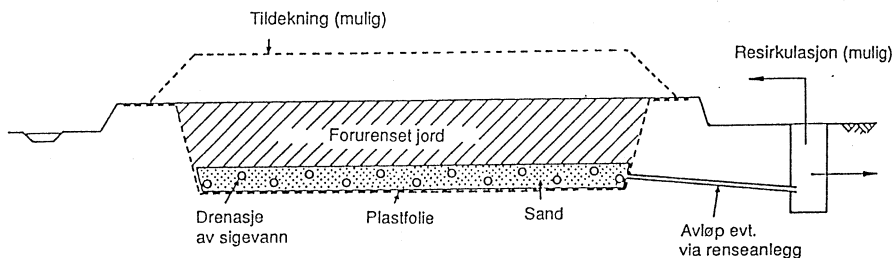
Anvendelse av teknikken begrenses av innholdet av leire og organisk materiale i jorden. Både bindingsevne av jorden og mengde ekstraksjonsresidu øker med innhold av leire og organisk materiale. Dette gjør at teknikken er mest anvendbar i sand og sandige jordtyper.

Anleggene har kapasiteter på 10-30 tonn pr. time. Etterbehandling av rensset jord er ofte nødvendig for å fjerne rester av ekstraksjonsvæsken.

Ekstraksjon kan også utføres ved bruk av fysiske prosesser. Metoden går ut på fraksjonering av jord i en forurenset fraksjon som består av fine partikler og en ren fraksjon som består av større partikler. Hydrosyklonering er best kjent i denne gruppen. Disse metoder viser store potensialer for «rensing» av forurensete sedimenter.

Biologiske teknikker

Ved biologisk rensing brukes naturlige mikroorganismer i grunnen til å «spise» forurensningen. Mikroorganismene bryter ned organiske forbindelser for å få energi og til å lage nye celler (biomasse). Ved nedbrytning dannes kulldioksyd, vann og biomasse. Teknikken stimulerer nedbrytning ved å sørge for at det er nok oksygen, fuktighet og næringsstoffer tilstede. I tillegg skal grunnen ikke være for sur eller basisk.



Figur 5. Landfarmingsanlegg for biologisk rensing.

Biologisk rensing har tidligere hovedsakelig vært brukt i såkalte «landfarm» metoder, hvor forurensningen spres i et tynt lag på bakken og nedbrytningen stimuleres ved gjødsling og pløying som i vanlig landbrukspraksis. Figur 5 gir en skjematisk oversikt over et landfarmingsanlegg.

Erfaring med landfarming av dieselolje viser en halveringstid av 1,5–2 måneder, crude oil viser ca. samme nedbrytningshastighet (Hoeks, 1986). For sandjord med 2000 mg/kg dieselolje eller fyringsolje angis en rensekapasitet av 4000–6000 tonn jord pr. ha pr. dyrknings sesong (VROM, 1988). Biologiske prosesser er svært temperaturavhengig, derfor regner man ofte med 1–2 dyrknings sesonger før forurensningsnivået er lavt nok. I tillegg til nedbrytning kan fordamping av de lettere oljefraksjoner gi et betydelig (uønsket?) bidrag til det totale rensesultatet.

Basert på de samme prinsipper har det vært prøvd å øke den biologiske nedbrytningshastigheten ved hjelp av øket temperatur. Et system bruker forvarmet luft, og et annet system bruker et

møblert drivhus for å øke temperaturen, men renseprosessen tar fortsatt 6 til 10 måneder (Verschuere, 1986).

Bruk av biologiske reaktorer for nedbrytning av olje viser gode resultater i pilot skala (Raijmakers and Soczo, 1990). Bare et system er til nå brukt i praktisk skala, en biologisk trommelreaktor (BTR) med kontinuerlig blanding og øket temperatur (30°C). Dette systemet viser betydelig økede nedbrytningshastigheter (Munckhof, 1990). Oljekonsentrasjoner på 1000–6000 mg/kg jord reduseres til <50–250 mg/kg i løpet av ca. 2,5 uker. Reaktor kapasiteten er 3,5 tonn pr. dag. Gassbehandling er nødvendig for lettflyktige hydrokarboner. Biologisk nedbrytning av mere kompliserte polysykliske hydrokarboner og noen klorerte hydrokarboner er bevist mulig på lab skala. En del eksperimenter på felt skala er igang.

En oversikt over renseteknikker som er egnet for ulike forurensninger i sand og andre jordtype (høyt innhold av leire og/eller organisk materiale) gis i tabell 1.

Tabell 1. Oversikt over rensmuligheter av forskjellige forurensningstyper i sandige og andre jordtyper (VROM, 1988).

Teknikk	Jordtype	Forurensningstype				
		Olje + Aromater	PAH	Cyanider	Klorerte Hydrokarb.	Tungmetaller
Termisk	Sandig	+	+	+	o	-
	Andre	+	+	+	o	-
Ekstraksjon	Sandig	+	+	+	o	o/+
	Andre	-	-	-	-	-
Biologisk	Sandig	+/o	o/+	-	o	-
	Andre	-/o	-	-	-/o	-

+ = rensbar

o = potensiell rensbar

- = ikke rensbar pr. idag

In situ teknikker

Teknikker for å rense grunnen uten graving, *in situ* teknikker, er reelt nye i forhold til de tidligere diskuterte rensemetodene. Status for de forskjellige teknikkene varierer fra laboratorieeksperimenter til anvendelse i full skala. Mekanismen i *in situ* teknikker kan være fysisk, kjemisk, eller biologisk. Prinsippet i teknikken er å mobilisere eller nedbryte forurensning bundet til jordmassene. Ved mobilisering kan forurensningen transporteres til vann- eller gassfasen til overflaten, hvor forurensningen kan samles opp eller behandles. Anvendelse av *in situ* metoder er pr. idag bare mulig i jordtyper med god permeabilitet og relativt lav bindingsevne (sandige jordtyper). Problemer kan oppstå på grunn av:

- heterogen sammensetning av grunn eller/og forurensning
- vanskeligheter med å kontrollere prosessen

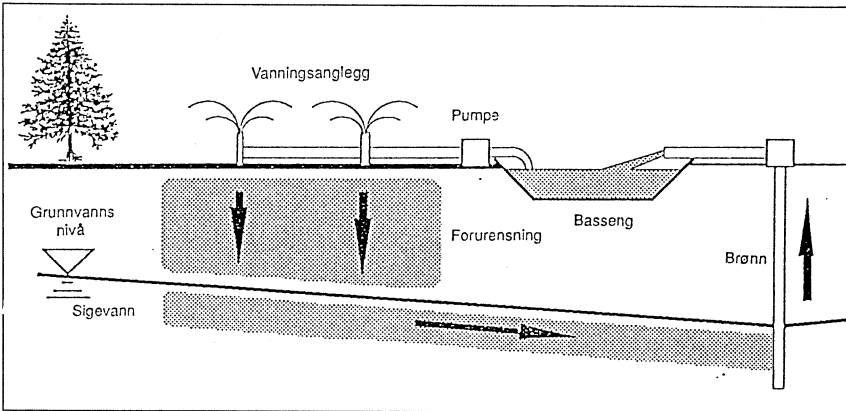
- vanskelig kvalitetskontroll.

Pr. idag er det en del teknikker i bruk i full skala for å fjerne organiske forurensninger og noen få vannløselige uorganiske forbindelser. Følgende metoder brukes (EPA, 1990):

- jordvasking med vann og tilsetningsstoffer
- damp/gass avsuging
- *in situ* biologisk rensing

Jordvasking

Jordvaskingsprosesser mobiliserer forurensningen ved pumping av grunnvann og infiltrasjon av vann eller andre væsker. Metoden er ofte anvendt for å fjerne oljelag på grunnvannet. Det kan anvendes en eller flere pumpesystemer for å øke grunnvannsgradienten. I praksis virker dette bare i relativt porøse jordtyper. Ved bruk av et vanningsanlegg kan også forurensning i umettet sone mobiliseres (figur 6).



Figur 6. *In situ* jordvasking av forurenset grunn.

For organiske forurensninger bundet til jordpartiklene har en oppnådd begrensete resultater på grunn av lav løslighet av de fleste hydrokarboner. Ved i tillegg å bruke biologisk nedbryting kan resultatet forbedres. Forsøk med tilsetning av overflateaktive stoffer (såpe) for å øke vannløsligheten av hydrokarbonene har ikke gitt forbedret resultat (EPA, 1990).

Tilsetning av syre til infiltrasjonsvannet har vist seg å være en egnet metode for å rense et område forurenset med kadmium i den umettede sonen (Urtings et al., 1988).

Damp/gass avsuging

Lettflyktige forbindelser i grunnen befinner seg delvis i jordgassfasen. Ved å suge forurensede gasser og tilføre «ren» luft, øker sirkulasjonen i bakken og mer forurensning kan fordampe. Avhengig av konsentrasjonen kan gassen slippes ut til atmosfæren eller må det behandles.

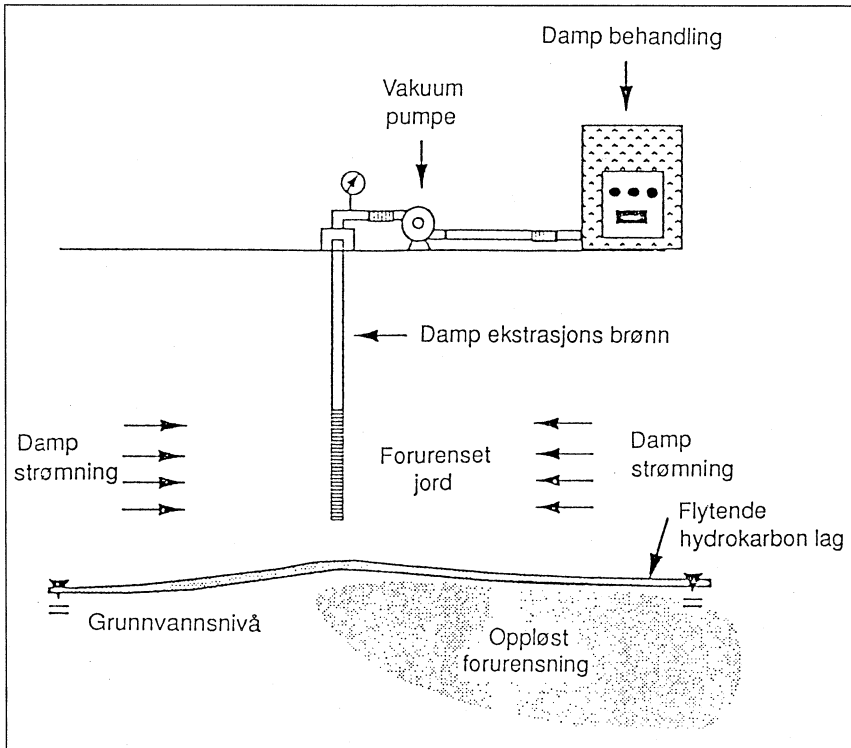
Figur 7 viser en skjematisk oversikt

over et gassavsugingssystem. Anvendelse av teknikken er begrenset til lettflyktige forbindelser i den umettede sonen.

For en bensinstasjon med ca. 4000 kg hydrokarboner i bakken, ble det fjernet ca. 25% etter fire måneders pumping. Konsentrasjonen i gassfasen gikk ned fra 60 mg/l til ca. 25 mg/l i samme periode. Erfaring med opprensning av annen bensinlekkasje i USA viser en gjenvinning av 90 kg totalt hydrokarboner over en 25 dagers periode (EPA, 1990).

In situ biologisk rensing

Denne metoden går ut på å optimalisere forholdene i bakken for mikroorganismene som kan bryte ned forurensningen. De viktigste faktorer for å stimulere nedbrytningen *in situ* er tilførsel av tilstrekkelige mengder oksygen og næringsstoffer (nitrogen og fosfor). I umettet sone er også fuktighet en viktig faktor. Mulighetene for å øke tempera-



Figur 7. *In situ* gassavsuging av forurenset grunn.

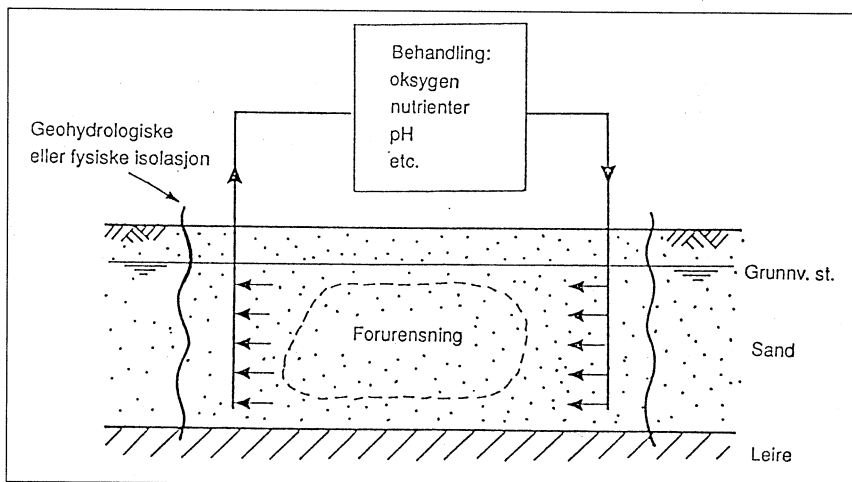
turen *in situ* er ofte begrenset av de høye energikostnadene.

Dersom en grunnvannsakvifer er forurenset av organiske forbindelser må først den eventuelle frie organiske fasen fjernes før biologisk rensing kan settes igang. Mikrobiologisk aktivitet kan deretter stimuleres ved å infiltrere akviferen med vann som inneholder oksygen (evt. alternativt elektronakseptor) og næringsstoffer. Nedstrøms for infiltrasjonspunktet pumpes vannet opp igjen, evt. renses, og tilsettes oksygen og næringsstoffer, og infiltreres

igjen. Dette kretsløpet er vist på figur 8. For å hindre at forurensningen skal spre seg ukontrollert er ofte fysisk eller hydrologisk avskjæring av området nødvendig.

Ved bruk av infiltrasjonsvann er løslighet av oksygen i vann ofte begrenset. Derfor har det vært vanskelig å få tilført optimal mengde oksygen i grunnen. Det er brukt luft, rent oksygen, ozon, nitrat og hydrogenperoksyd for å øke oksygeninnholdet i vannet (EPA, 1990).

I umettet sone kan oksygen tilføres ved hjelp av jordluftsuging. Denne



Figur 8. *In situ* biologisk rensing av forurenset grunn i grunnvannssonen.

metoden har NGI tatt i bruk for å rense en oljetanklekkasje i Trandum militærleir (Breedveld et al., 1991).

Resultatet og rensesiden er sterkt avhengig av de lokale forhold, men *in situ* biologisk rensing er generelt billigere enn andre renseteknikker dersom den er anvendbar.

Nye metoder

Internasjonalt skjer det en rask utvikling innen tiltaksteknologier. I USA, Nederland og Tyskland er det opprettet statlige FoU programmer for å utvikle nye teknikker.

Hovedmålsettinger for nye renseteknikker er:

- Finne løsninger for forurensninger som ikke lar seg rense pr. idag. Dette gjelder spesielt klorerte hydrokarboner, tungmetaller i silt og leirhol-

dige jordtyper og blandede forurensninger av for eksempel tungmetaller og organiske stoffer.

- Forbedre rensesultat av eksisterende teknikker. Sluttkonsentrasjonene er ofte for høyt for ny anvendelse av rensed jord.
- Redusere kostnadene for jordrensing ved forbedring av kjente teknikker eller nye teknikker. Spesielt *in situ* teknikker kan gi vesentlige besparelser, men erfaringene med *in situ* teknikker i praktisk skala er pr. idag svært begrenset.

NGI's interesse er spesielt rettet mot *in situ* rensing og i samarbeid med Senter for Industriforskning (SI) har NGI startet et forskningsprogram for å videre utvikle *in situ* biologiske rensemetoder for ulike typer organiske forurensninger.

Litteratur

- Breedveld, G.D., P. Kolstad, A. Hauge, T. Briseid and B. Brønstad (1991). *In situ* bioremediation of oil pollution in the unsaturated zone. NATO/CCMS Pilot study, 5. international conference, Washington 18-22 November 1991. 6 s.
- EPA (1988). Technology screening guide for treatment of CERCLA (Comprehensive Environmental Response Compensation, and Liability Act) soil and sludges. EPA report nr. EPA/540/2-88/004. U.S. Environmental Protection Agency, Washington.
- EPA (1990). Handbook on in situ treatment of hazardous waste-contaminated soils. EPA report nr. EPA/540/2-90/002. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati.
- Hoeks, J. (1986). General aspects of landfarming research (in Dutch). Symposium on biological soil cleaning. Rotterdam. Proceedings, KIVI and NIRIA.
- Munckhof, G.P.M. van den (1990). Experiments with cleaning oil polluted soil under field dry conditions in a biological drum reactor on full scale (in Dutch). In Raijmakers and Soczo (1990). pp 26—27.
- Raijmakers, W.M.F. and E.R. Soczo (1990). report of workshop «Bioreactors for soil cleaning». RIVM report nr. 736102001. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven.
- Reintjes, R.C. and C. Schuler (1990). Ten years experience in thermal soil treatment. In: Arendt, F., M. Hinsenveld and W.J. van den Brink (eds.), Contaminated Soil '90, pp 885-893.
- Staps, J.J.M. (1990). International evaluation of in situ biorestauration of contaminated soil and groundwater. RIVM report no. 738708006. National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven.
- Urlings, L.G.C.M., V.P. Ackermann, J.C. van Woudenberg, P.P. van der Pijl & J.J. Gaastra (1988). In situ cadmium removal — full-scale remedial action of contaminated soil. In: Wolf, K., W.J. van den Brink and F.J. Colon (eds.), Contaminated Soil '88, pp. 911-920.
- Verschuere, K. (1986). CUMBAC: a optimal biotechnical soil cleaning system (in Dutch). Symposium on biological soil cleaning. Rotterdam. Proceedings, KIVI and NIRIA.
- VROM (1988). Handbook soil cleanup techniques (in Dutch). 2. ed. Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- VROM (1990). Guidelines soil protection 6th rev. (in Dutch). Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. Staatsuitgeverij, Den Haag.