

Anbefalinger til sagsforløb ved in-situ oprensning af jordforurening

Per Loll & Claus Larsen

Dansk Miljørådgivning A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
RESUMÉ	7
SUMMARY	9
1 INDLEDNING	11
2 TYPISK SAGSFORLØB	13
2.1 Indledende betragtninger	14
2.1.1 <i>Oprensningsformål og stopkriterier</i>	14
2.1.2 <i>Fysiske forhold</i>	15
2.1.3 <i>Oprensningens tidsramme</i>	16
2.2 Skitseprojektering og valg af afværgemetode	16
2.3 Detailprojektering	17
2.3.1 <i>Metodebeskrivelse</i>	18
2.3.2 <i>Fastlæggelse af en Plan B</i>	19
2.4 Afværgeetablering	20
2.5 Drift og løbende monitoring	20
2.6 Slutmonitoring og afslutningsrapport	20
3 LØBENDE MONITERING	23
3.1 Analyseparametre	23
3.2 Prøvetagningsmedier og prøveplacering	24
3.3 Analyseantal	25
3.4 Prøvetagningshyppighed	27
3.5 Rapportering	28
4 SLUTMONITERING	31
4.1 Prøvetagningstidspunkt	31
4.2 Analyseparametre	33
4.3 Prøvetagningsmedier og prøveplacering	33
4.4 Analyseantal	34
4.5 Rapportering	35
5 REFERENCER	37
BILAG A: OVERORDNEDE SAGSTYPER	39
A.1: Offentligt finansieret oprensning	39
A.2: Frivillig privat oprensning	40
A.3: Oprensning efter påbud	41
BILAG B: MYNDIGHEDSOPGAVER	43
B.1: Checkskema til offentligt finansieret oprensning	43
B.2: Checkskema til frivillig privat oprensning	44
B.3: Checkskema til oprensning efter påbud	45

BILAG C: IN-SITU METODER	46
C.1: Vakuumentilering	47
C.2: Biologisk nedbrydning.....	48
C.3: Termisk assisteret oprensning.....	49
C.4: Kemisk oxidation.....	51
C.5: Forceret udvaskning.....	52
C.6: Phytooprensning	53

Forord

Denne rapport skitserer en række anbefalede retningslinjer, der kan anvendes som udgangspunkt i forbindelse med fastlæggelse af et tilstrækkeligt dokumentationsgrundlag ved in-situ oprensning af jordforurening.

Rapporten henvender sig primært til kommunale miljøsagsbehandlere, der tager stilling til projektforslag og dokumentationsmateriale. Den kan dog muligvis ligeledes finde anvendelse hos miljøsagsbehandlere hos regionerne, samt af rådgivere og entreprenører, der beskæftiger sig med projektering og gennemførelse af in-situ oprensning af jordforurening.

Projektet er udført af Dansk Miljørådgivning A/S (DMR) under Miljøstyrelsens Teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening.

Resumé

<i>Baggrund</i>	På baggrund af to erfaringsopsamlinger udført for Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen 2000 og 2006a) og DMR's generelle rådgivererfaringer vurderes det, at der ofte udføres en mangelfuld dokumentation i forbindelse med in-situ oprensning af jordforurening. Konsekvensen er, at en række lokaliteter sandsynligvis ikke er oprenset som forudsat når in-situ sagerne afsluttes.
<i>Formål</i>	Formålet med rapporten er derfor, at opstille nogle forslag til retningslinjer, som de kommunale miljømyndigheder kan anvende i deres sagsbehandling, samt i forhold til bygherrer, rådgivere og entreprenører, når der skal fastlægges et rimeligt dokumentationsniveau i sager med in-situ oprensning af jordforurening.
<i>Typisk sagsforløb</i>	I rapporten gives i Kapitel 2 en overordnet gennemgang af et typisk sagsforløb i forbindelse med in-situ oprensning af jordforurening.
<i>Monitering</i>	Efterfølgende opstilles der forslag til retningslinjer i forhold til prøvetagningsstrategi og dokumentation ved hhv. den løbende monitering (Kapitel 3) og slutmoniteringen (Kapitel 4).
<i>Sagstyper og checklister</i>	I bilag A er der givet en overordnet gennemgang af myndighedens rolle i forhold til tre forskellige sagstyper; hhv. offentlige oprensninger, private frivillige oprensninger og påbudssager, mens der i bilag B er præsenteret checklister til hver af de tre sagstyper, som kan benyttes i forbindelse med håndtering af sager omkring in-situ oprensning af jordforurening. I checklisterne henvises til relevante rapportafsnit.
<i>In-situ metoder</i>	I bilag C er der givet en overordnet gennemgang af forskellige in-situ metoder, der kan benyttes til oprensning af jordforurening.

Summary

<i>Background</i>	An assessment on the basis of two follow-up reports of experience carried out for the Danish Environmental Protection Agency (Danish Environmental Protection Agency 2000 and 2006a) and DMR's (Danish Environmental Consultancy) general experience with consultancy shows that documentation of in-situ dredging of soil pollution is often inadequate. This means that it is possible that a number of locations have not been dredged as required when in-situ cases are completed.
<i>Objectives</i>	Therefore the objective of this report is to suggest some guidelines for local authorities to use in their case processing and in relation to property developers, consultants and contractors when setting a fair level of documentation in cases with in-situ dredging soil pollution.
<i>Typical case</i>	Chapter 2 of the report gives a general review of the process of a typical case in relation to in-situ dredging of soil pollution.
<i>Monitoring</i>	Following this, there are suggestions for guidelines for sampling strategy and documentation in continuous monitoring (Chapter 3) and in final monitoring (Chapter 4).
<i>Case types and checklists</i>	Appendix A gives a general review of the role of the authorities in three different case types: public dredging, private voluntary dredging and orders. Appendix B presents checklists for each of the three case types that may be used in managing cases concerning in-situ dredging of soil pollution. The checklists refer to relevant sections of the report.
<i>In-situ methods</i>	Appendix C gives a general review of different in-situ methods that may be used for dredging soil pollution.

1 Indledning

Baggrund

Dansk Miljørådgivning A/S har, bl.a. i forbindelse med gennemførelsen af to erfaringsopsamlinger for Miljøstyrelsen, hhv. med geooxidation (Miljøprojekt nr. 554, 2000) og BioGel (Miljøprojekt nr. 1060, 2006a), erfaret, at der ofte udføres en mangelfuld dokumentation af oprensningsforløbet og af det endelige oprensningsniveau ved in-situ oprensning af jordforurening.

På baggrund af erfaringsopsamlingerne og DMR's generelle rådgivererfaringer vurderes der at være tale om et forholdsvis udbredt problem i forbindelse med gennemførelse af projekter til in-situ oprensning af jordforurening. Efter vores vurdering er konsekvensen, at en række lokaliteter sandsynligvis ikke er oprenset tilfredsstillende når in-situ sagerne afsluttes.

Formål

Formålet med rapporten er at opstille anbefalinger til sagsforløb, der kan anvendes af miljømyndighederne ved deres behandling af sager med in-situ oprensning af jordforurening (ikke grundvandsforurening). Herunder opstilles overordnede retningslinjer i forbindelse med prøvetagning og dokumentation af oprensningen.

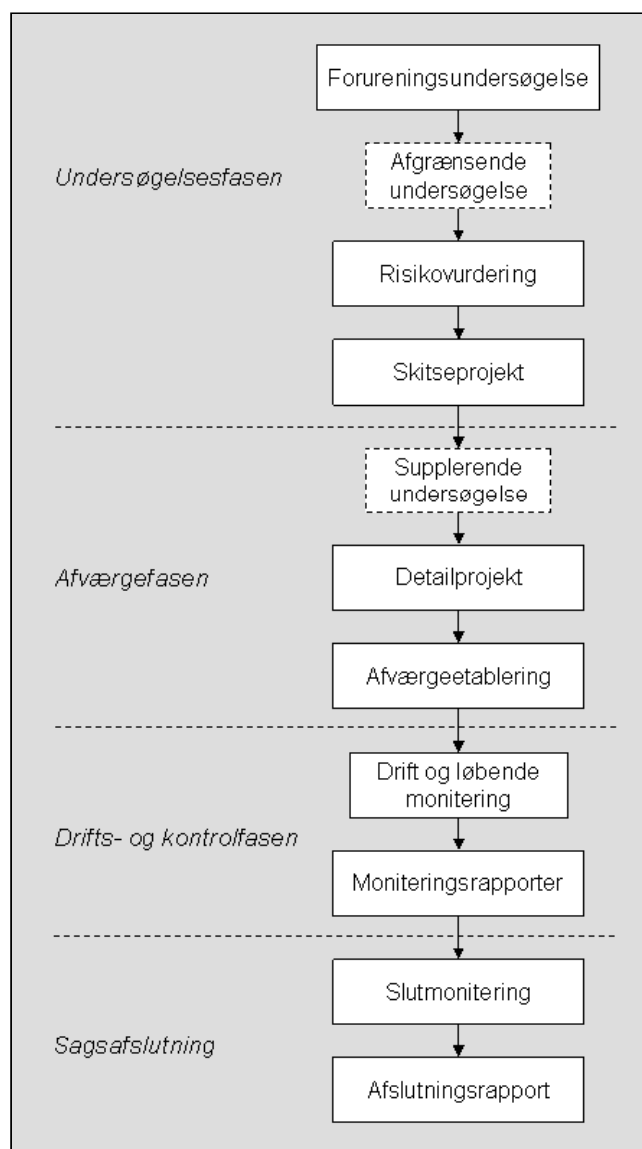
Målgruppe

Rapporten henvender sig overvejende til kommunale miljøsagsbehandlere med et relativt begrænset erfaringsgrundlag ifht. vurdering af in-situ oprensninger, mens regionale miljøsagsbehandlere og udførende rådgivere og entreprenører muligvis også kan finde nogen inspiration heri.

2 Typisk sagsforløb

I Miljøstyrelsens Vejledning nr. 6, 1998 gives en grundig gennemgang af et typisk sagsforløb i forbindelse med forureningsager generelt.

I det følgende opridses et typisk sagsforløb med in-situ oprensning af forurenede jord, jf. figur 2.1, for at danne baggrund for en beskrivelse af overordnede retningslinjer ifht. monitoring og dokumentation i sådanne sager.



Figur 2.1: Skematisk opstilling af et typisk sagsforløb.

Afgrænsning og forudsætninger

I forhold til nedenstående beskrivelse forudsættes det, at der ved forudgående undersøgelser er konstateret jordforurening på grunden og at denne som minimum er overordnet afgrænset.

2.1 Indledende betragtninger

Oprensningens overordnede formål

I forbindelse med fastlæggelse af mål for og krav til en given oprensning, er det essentielt at holde sig for øje, hvilke overordnede hensyn, der driver oprensningen. Der vil således være stor forskel på om oprensningen foretages for at opfylde et oprensningspåbud, af kortlægningsmæssige hensyn, om den gennemføres for at få ejendommen frigivet til en (fremtidig) følsom arealanvendelse, eller for at afværge anden miljømæssig risiko (f.eks. ifht. grundvand eller recipienter), jf. bilag A.

Overordnede bindinger

Formålet med oprensningen vil således ofte lægge en række overordnede bindinger, i form af en tidsramme for oprensningens afslutning, det endelige oprensningsniveau og specifikke krav til den dokumentation, der skal fremskaffes under og efter oprensningsforløbet.

Praktiske bindinger

Desuden vil en række praktiske forhold kunne lægge bindinger på oprensningen, som f.eks. den konkrete forureningstype, forureningens beliggenhed og de geologiske forhold, ligesom der kan være grundejerønsker vedr. æstetiske forhold (udseende, støj m.v.) eller en uforstyrret anvendelse af ejendommen mens afværger gennemføres.

Samlet set, vil oprensningsformålet og eventuelle bindinger af både overordnet og praktisk karakter, få indflydelse på de mulige metodevalg og omkostningerne i forbindelse med oprensningen. Følgende forhold bør derfor inddrages under skitseprojektering og detailprojektering (jf. figur 2.1):

- Oprensningsformål og stopkriterier.
- Fysiske forhold.
- Oprensningens tidsramme.

2.1.1 Oprensningsformål og stopkriterier

På baggrund af in-situ oprensningens overordnede formål foretages en beskrivelse af oprensningskravene/stopkriterierne for oprensningen. I det følgende gives et par eksempler.

Eksempel: Udtagning af kortlægning

Foretages oprensningen med henblik på at få et område udtaget af kortlægningen, vil oprensningskravet som udgangspunkt være, at det efter endt oprensning dokumenteres, at der ikke forekommer overskridelser af Miljøstyrelsens kvalitetskriterier (primært jordkvalitetskriterier) i området eller at restforureningens omfang er under den pågældende Regions bagatelgrænse.

Ændring af arealanvendelse/sikring af indeklima

Foretages oprensningen derimod med henblik på at få tilladelse til ændret arealanvendelse, f.eks. sikring af at forureningen ikke udgør en risiko i forhold til indeklimaet i en planlagt boligejendom, vil formålet med oprensningen typisk være, at det via en poreluft- eller indeklimaundersøgelse dokumenteres, at restforureningen ikke længere udgør en risiko for indeklimaet i det planlagte boligbyggeri.

Dokumentation

Med hensyn til fastlæggelse af et rimeligt dokumentationsniveau henvises til kapitel 3 og 4.

Som udgangspunkt for dokumentationsniveauet, er det dog på sin plads at bemærke, at der stort set altid er behov for et mere omfattende dokumentationsgrundlag ved afværgens afslutning end ved forureningsundersøgelsen (hvorved der blev påvist et forureningsproblem). Dette skyldes, at der ved slutdokumentationen skal tages højde for eventuelle variationer i tid og sted, som ikke er nødvendige når der dokumenteres et muligt problem. Der skal således en mere omfattende vurdering til at afvise, at forureningen kan udgøre en risiko end til at dokumentere at forureningen udgør eller kan udgøre en risiko.

2.1.2 Fysiske forhold

De fysiske forhold vil ofte have stor betydning for udformningen af et givent afværgeprojekt.

Forureningsstoffer

Først og fremmest vil forureningstypen have betydning for valget af metode, tidsramme og oprensningsniveau. Er der således tale om mobile, dvs. flygtige eller letopløselige, stoffer (f.eks. benzinstoffer) vil der, alt andet lige, være større råderum i forhold til valget af afværgemetode end hvis der er tale om forholdsvist immobile stoffer (f.eks. tungmetaller eller tjærestoffer). Alt andet lige vil mobile forureningskomponenter desuden være befordrende for en hurtig oprensning til lave niveauer.

Forureningens beliggenhed

Næst efter forureningstypen, vil forureningens beliggenhed ifht. terræn, grundvand, bygninger, installationer, veje m.v. ofte have afgørende betydning for valg og udformning af afværgemetode. Terrænnære forureninger, der er umiddelbart tilgængelige, vil stort set altid blive bortgravet, da det er forholdsvist ukompliceret, billigt og indebærer en stor sikkerhed for oprensningsniveauet. Derfor foretages in-situ oprensninger stort set altid under forhold, hvor forureningen er forholdsvist utilgængelig eller hvor en graveløsning vil være forbundet med store anlægsmæssige omkostninger, f.eks. til afstivning af bygninger, veje m.v.

Hydrogeologiske forhold

For så vidt angår de hydrogeologiske forhold, er det især aflejringstypen, der er afgørende for valget af afværgemetode og de konkrete muligheder i forbindelse med udformning af projektet. Er der tale om homogene og forholdsvis permeable sandaflejringer vil der, alt andet lige, være flere afværgemetoder til rådighed end hvis der er tale om forholdsvis impermeable leraflejringer. Desuden vil aflejringernes homogenitet ofte spille en afgørende rolle, idet inhomogene (evt. opsprækkede) aflejringer typisk vil komplicere en oprensning; både ifht. dimensionering/projektering og ifht. den efterfølgende kontrol/dokumentation. Dertil kommer forureningens beliggenhed ifht. et evt. grundvandsspejl (sekundært eller primært). Typisk vil tilstedeværelsen af et højtliggende grundvandsspejl komplicere og fordyre en oprensning.

Æstetik og anvendelse

Mens ovenstående forhold er vigtige ifht. den tekniske opgaveløsning, og dermed også har relevans for myndigheden, vil bygherren ofte være interesseret i en række ydre forhold omkring afværgeløsningen, som udseen-

de, støj, lugt, el-forbrug m.v. Det kan derfor ofte være en fordel, hvis flest muligt af afværgeløsningens komponenter (el-installationer, beholdere, pumper, filtre mv.) kan placeres samlet i en container, evt. på bagsiden af bygninger eller lidt afsides på ejendommen. Dertil kommer, at in-situ oprensninger ofte kan foregå med en forholdsvis uforstyrret anvendelse af ejendommen, når der ses bort fra en installationsperiode i starten af projektet.

2.1.3 Oprensningens tidsramme

Foretages oprensningen som følge af et oprensningspåbud, skal der typisk fastsættes et tidspunkt for afværgens afslutning i det udstedte påbud. Tidsrammen vil afhænge af oprensningsformålet. Er der f.eks. tale om en oprensning med et akut formål, f.eks. som afværge af en forurening, der udgør et akut indeklimaproblem, vil der skulle fastsættes en kortere tidsramme end hvis der ikke er tale om et akut formål.

Akutte sager

For akutte sager skal der derfor altid fastsættes en tidsramme for opfyldelse af oprensningsmålet – som minimum for at fjerne den akutte risiko. Denne tidsramme kan således være to-delt; dels ifht. en øjeblikkelig sikring ifht. den akutte risiko, dels en tidsramme til gennemførelse af den egentlige oprensning.

Sager uden akut formål

Er der tale om en frivillig oprensning uden akut formål, f.eks. at undgå kortlægning eller få hævet en kortlægning af arealet/ejendommen, vil der som udgangspunkt ikke være nogen fast tidsramme, med mindre bygherren står med et konkret projekt (f.eks. boligbyggeri) eller et salg, der fordrer at ejendommen/arealet ikke er kortlagt. Dog bør miljømyndigheden indledende forholde sig til om den opstillede tidsplan er realistisk ved valg af den pågældende afværgeteknologi og informere bygherren herom.

Hvis der er tale om en offentlig oprensning, uden akut formål, vil myndighedens primære interesse i forhold til oprensningstiden bunde i at sagen har en fornuftig økonomi, herunder i form af de tidsmæssige ressourcer der bindes ved lange sagsforløb. Hvis der er tale om en påbudssag, er det de aktuelle sagsomstændigheder der afgør hvad der er en passende tidsramme, som dog normalt vil være forholdsvis kort.

2.2 Skitseprojektering og valg af afværgemetode

Som afslutning på undersøgelsesfasen udarbejdes et skitseprojekt, der indledningsvist bør indeholde en overordnet opsummering af oprensningens formål og fysiske forhold, der kan have overordnet betydning for valget af oprensningens metode.

Skitsering af de tekniske alternativer

Hovedformålet med skitseprojektet er at give en overordnet teknisk beskrivelse af ét eller flere alternativer, der kan opfylde målene med oprensningen. Herunder gives en beskrivelse af eventuelle supplerende tests, der er nødvendige for at foretage en detailprojektering af de enkelte afværgestrategier; bl.a. i forbindelse med tilsætning og dosering af eventuelle hjælpestoffer eller for at hindre spredning af forurening og hjælpestoffer under afværgens udførelse. Endvidere gives en overordnet beskri-

velse af det nødvendige monitoringsprogram, hhv. under drift og ved afslutning af afværgen.

Fordele og ulemper ved de enkelte alternativer

Dernæst gives, for hvert alternativ, en overordnet vurdering af pris, tids-horisont, det forventede oprensningsniveau, og af en eventuel risiko for utilsigtede effekter. Desuden gennemføres en samlet afvejning af fordele og ulemper for de enkelte alternativer, og der peges på den afværgestrategi, der samlet set bedst opfylder krav og ønsker til oprensningen.

En overordnet gennemgang af forskellige, anvendte in-situ metoder er vedlagt i bilag C. I det følgende forudsættes, at det via teknologivurderingen er konkluderet, at en in-situ oprensningsmetode bedst opfylder de opstillede oprensningskriterier til fjernelse/afværgen af jordforureningen.

2.3 Detailprojektering

Teknisk beskrivelse

I detailprojektet gives en detaljeret teknisk beskrivelse af den valgte strategi og eventuelle installationer, inkl. en overordnet metodebeskrivelse (se afsnit 2.3.1).

Supplerende undersøgelse

Det er væsentligt, at pointere, at detailprojekteringen meget ofte kræver, at der foretages en supplerende forureningsundersøgelse, jf. figur 2.1, så der foreligger en grundig karakterisering og afgrænsning af forureningen. Denne karakterisering udgør samtidig sammenligningsgrundlaget for de senere monitoringsresultater, til vurdering af oprensningens effekt og fremdrift. Ofte udføres lokalitetsspecifikke tests, der er rettet mod at fastlægge kritiske driftsvariable for den valgte in-situ metode.

Tids- og dokumentationsplan

Endvidere gives en detailtidsplan samt en detaljeret beskrivelse af drifts- og kontrolforhold, herunder en monitoringsplan med angivelse af prøvetagningsmedier (jord, vand og luft), monitoringspunkter, -parametre og -frekvens, samt en plan for udarbejdelse og fremsendelse af monitoringsdokumentation. Fysiske installationer, behandlingsområder m.v. indtegnes på en målfast situationsplan.

Tidsramme

Der bør opstilles et massefjernelsesregnskab, der underbygger/dokumenterer den forventede massefjernelse ved forskellige fjernelsesmekanismer, og dermed underbygger, at oprensningsmålet kan nås indenfor den planlagte tidsramme. Sådanne regnskaber kan bygge på en kombination af litteraturoplysninger, erfaringer med metoden under lignende forhold eller pilotforsøg udført på lokaliteten.

Opstilling af "Plan B"

I detailprojektet gives endvidere en kort beskrivelse af en "Plan B", som kan tages i anvendelse, hvis den planlagte afværgen ikke lever op til de opstillede forventninger, jf. beskrivelsen i afsnit 2.3.2.

Detailbudget

Der udarbejdes eventuelt udbuds-/licitationsmateriale, eller der indhentes tilbud på gennemførelse af delopgaver i forbindelse med afværgens gennemførelse, og der udarbejdes et detailbudget for afværgen.

Kommentar eller godkendelse

Detailprojektet sendes til miljømyndighedens orientering eller kommentar, og det er vigtigt, at myndigheden forholder sig kritisk til den frem-

sendte monitoringsplan (inkl. slutmonitoring), dog afhængig af myndighedens rolle i den aktuelle sag, jf. bilag A. Hvis myndigheden anser den udarbejdede monitoringsplan og oplæg til slutdokumentation for utilstrækkelig, er det væsentligt, at bygherren gøres opmærksom på det allerede på dette tidspunkt i afværgeforløbet.

2.3.1 Metodebeskrivelse

I forbindelse med udarbejdelse af detailprojektet bør der vedlægges en beskrivelse af den principielle virkemåde for den valgte oprensningstype. Myndigheden kan typisk ikke kræve en sådan dokumentation ved en frivillig oprensning, men der bør altid kræves en metodebeskrivelse i forbindelse med en offentligt finansieret oprensning og i påbudssager. Desuden bør der kræves dokumentation for at metoden ikke har skadelige følgevirkninger.

Formål

Formålet med metodebeskrivelsen er, at den, sammen med forureningsundersøgelsens resultater, og resultaterne af eventuelle udførte lokalitets-specifikke tests/forundersøgelser, skal klarlægge hvilke styrker og svagheder metoden forventes at have under de forureningsmæssige, geologiske og praktiske forhold, der gør sig gældende på den konkrete lokalitet.

Afklaring af forventningsniveau

Det pointeres, at alle sagens parter vurderes at drage fordel af en gennemarbejdet metodebeskrivelse, da den – især for de ikke-udførende parter – kan være med til at opstille et *realistisk* forventningsniveau til den konkrete oprensning. Det er ikke reglen, men undtagelsen, at en oprensning går bedre end forventet, og det er i alles interesse, at forventningsniveauet ikke ligger urealistisk højt fra starten!

Metodebeskrivelsens indhold

Det primære indhold af methodedokumentationen bør være en principiel beskrivelse af de fysiske, kemiske og biologiske principper og processer, som primærteknologien gør brug af for at fjerne jordforureningen, samt af de fysiske installationer, der benyttes under afværgen. Herunder diskuteres eventuelle svagheder ved metoden, jf. bilag C.

Tilsætning/ekstraktion

Hvis der foretages en ekstraktion eller tilsætning af gasser eller væsker skal der gives en beskrivelse, dels af de indgående væsker/gasser (formål og sammensætning), dels af de mængde- eller volumenmæssige betragtninger, der ligger bag dimensioneringen af ekstraktionen/tilsætningen. Desuden diskuteres eventuelle følgevirkninger, der kan opstå ved ekstraktionen/tilsætningen; f.eks. en utilsigtet spredning af forureningen eller dannelse af biprodukter. Endvidere beskrives de tiltag der iværksættes for at imødegå sådanne følgevirkninger og for at kontrollere deres effektivitet.

Erfaringsgrundlag

Slutteligt kan der redegøres for metodernes generelle effektivitet og det generelle erfaringsgrundlag, samt evt. for de udførende parter egne erfaringer, med anvendelse af de indgående metoder; specielt under forhold, der er relevante for den konkrete lokalitet.

Vejledende omfang

Det nødvendige omfang og detaljeringsniveau for metodebeskrivelsen vil bl.a. afhænge af metodens almene udbredelse/accept. Dokumentationen

kan derfor variere fra få A4-sider for en simpel veldokumenteret afværgelse til en større dokumentationsrapport, hvis der er tale om en forholdsvis ny uafprøvet teknologi. Som overordnet inspiration henvises til metodebeskrivelserne vedlagt bilag C.

Det anbefales, at miljømyndighedens sagsbehandler umiddelbart i forlængelse af skitseprojektet klargør det nødvendige dokumentations- og detaljeringsniveau overfor bygherren.

2.3.2 Fastlæggelse af en Plan B

På baggrund af de fastsatte krav og ønsker til den konkrete oprensning træffes beslutning om valg af den samlet set mest hensigtsmæssige afværgeteknologi. I praksis vælger bygherren næsten altid den metode, der under en række forudsætninger, billigst kan opfylde oprensningens formål.

Ingen garanti for succes

Da det i forbindelse med in-situ projekter, i praksis ikke er muligt at udstede nogen forhåndsgaranti for succes, er det væsentligt, at der i forbindelse med detailprojekteringen er foretaget en vurdering af backupmuligheder (en Plan B), hvis oprensningen ikke forløber som planlagt/forventet.

Ikrafttræden af en Plan B kan komme på tale i to principielt forskellige tilfælde, der gennemgås nedenfor:

1. Hvis oprensningens fremdrift ikke er tilfredsstillende.
2. Hvis der opstår utilsigtede sideeffekter; f.eks. i form af en ukontrolleret forureningsspredning.

Sikring af fremdrift

Hvis oprensningens fremdrift ikke er tilfredsstillende vil en Plan B typisk bestå af én eller flere metoder, der kan accelerere oprensningen og dermed være med til at sikre en hensigtsmæssig fremdrift. Der vil i praksis næsten altid være tale om nogle af de alternative afværgeløsninger, eller delløsninger, som er vurderet i forbindelse med skitseprojekteringen; dog evt. under hensyntagen til genanvendelse af nogle af de installationer, der er etableret i forbindelse med den valgte afværgemetode.

Hindring af sideeffekter

Hvis der opstår en ukontrolleret forureningsspredning i forbindelse med oprensningen vil en Plan B bestå af en eller flere støtteteknologier, som kan være med til at sikre mod en yderligere uhensigtsmæssig forureningsspredning, evt. i kombination med teknologier til afskæring af en yderligere forureningsspredning mod grundvand, recipienter eller indeklima. F.eks. kan der, ved den planlagte løbende monitoring, være påvist en uacceptabel stigning i forureningsniveauet i nogle monitoringsboringer (grundvand) placeret nedstrøms behandlingsområdet, hvorfor der igangsættes en afværgepumpning til sikring af hydraulisk kontrol med forureningsspredningen.

2.4 Afværgeetablering

Miljøtilsyn

Afværgeinstallationerne etableres under miljøtilsyn for at sikre, at specifikationer i detailprojektet overholdes og for at tage hånd om eventuelle nødvendige ændringer i projektet pga. de konkrete forhold på lokaliteten.

I gangsatning og indkøring

Et eventuelt afværgeanlæg igangsættes, og der foretages en indkøring og indledende kontrol med, at afværgeren fungerer som planlagt; eksempelvis ved udførelse af målinger/analyser i forbindelse med etablering af hydraulisk kontrol med behandlingsområdet.

Afrapportering

Der foretages en afrapportering af afværgeetableringen, indeholdende en beskrivelse af de gennemførte tiltag og udførte installationer, herunder eventuelle ændringer ifht. detailprojektet. Beskrivelsen af de udførte tiltag og installationer kan ofte med fordel, underbygges med en vedlagt fotodokumentation. Med relevant dokumentation redegøres der endvidere for et eventuelt indkøringsforløb, herunder for de indledende driftsparametre, og der foretages en vurdering af om disse er som forventet. Endelig vedlægges rapporten en opdateret målfast situationsplan samt et opdateret monitoringsprogram.

2.5 Drift og løbende monitoring

Forholdene omkring driftskontrol og løbende monitoring er behandlet indgående i kapitel 3. Her gives blot en kort oversigt.

Ved driftskontrollen følges det opstillede kontrol-/monitoringsprogram, der ofte vil være intensivt i starten og mindre intensivt senere i forløbet. Formålet med kontrollen er at sikre, at de iværksatte afværgetiltag fungerer efter hensigten og at afværgeren ikke har utilsigtede følgevirkninger.

Monitoringsrapporter

Der udarbejdes regelmæssigt monitoringsrapporter, hvori oprensningens fremdrift dokumenteres. Såfremt den ønskede effekt ikke opnås, eller hvis der konstateres uønskede følgevirkninger, foretages en revurdering af oprensningen og der iværksættes om nødvendigt supplerende/korrigerende afværgetiltag, ligesom den fremtidige monitoringsplan revideres.

Den sidste monitoringsrunde (i den løbende monitoring) gennemføres ved den aktive afværges afslutning, og der udarbejdes en sidste monitoringsrapport. Slutmonitoringen udføres på et senere tidspunkt, jf. afsnit 2.6.

2.6 Slutmonitoring og afslutningsrapport

Forholdene omkring slutmonitoring og afslutningsrapporten er behandlet nærmere i kapitel 4. Her gives blot en kort oversigt.

Tilbageslag/rebound

Ved in-situ oprensning af jordforurening er der ofte forskel på den effekt, der opnås under den aktive drift af afværgeforanstaltningerne og den effekt, der kan forventes opnået på lang sigt, efter ophør af driften. Dette skyldes det såkaldte tilbageslag, hvor der ved mange oprensningsformer forekommer en migration af forureningskomponenter ud af forholdsvist

utilgængelige dele af jordmatricen, efter ophør af den aktive afværge. Det er derfor vigtigt, at slutmonitoringen foretages et stykke tid efter afværgens ophør; eksempelvis efter 6 eller 12 mdr., og at der ved denne monitoring også foretages monitoring i monitoringspunkter, der ikke har været benyttet i forbindelse med den løbende monitoring.

Afslutningsrapport

Når de opstillede oprensningskriterier er opnået eller når driften afsluttes, udarbejdes en afslutningsrapport, hvori der foretages en opsummering af resultaterne fra det gennemførte kontrol-/monitoringsprogram, inkl. slutmonitoring. Rapporten indeholder resultaterne af den afsluttende monitoring og det dokumenteres, at de opstillede oprensningskriterier er opfyldt. Hvis det er relevant udføres der en risikovurdering i forhold til en efterladt restforurening.

Evt. risikovurdering

Da in-situ oprensninger ofte afsluttes på en risikovurdering, er det essentielt, at analysetyper, omfang og vurderingsmetoderne er aftalt på forhånd; enten i forbindelse med godkendelse af skitse- og detailprojektet (hvis det fra starten var planlagt, at der ville blive efterladt restforurening), eller inden slutmonitoringen gennemføres. Alle parter har interesse i, at disse ting er aftalt på forhånd.

Sagen afsluttes når miljømyndigheden har godkendt afslutningsrapporten.

3 Løbende monitoring

Formål

Formålet med den løbende dokumentation/driftskontrollen er at dokumentere, at de iværksatte afværgetiltag fungerer efter hensigten og at afværgeren ikke har utilsigtede følgevirkninger. Resultaterne skal endvidere danne grundlag for en løbende vurdering og evt. justering af afværgetiltagene.

Forudgående aftaler om oprensningskriterier

Som nævnt i afsnit 2.3 og 2.6 vil det ofte være befordrende for, at såvel miljømyndigheden, som bygherre og entreprenør/rådgiver oplever et tilfredsstillende forløb, at der er fastlagt entydige oprensningskriterier inden afværgeren sættes i gang. Herunder er det vigtigt, at der er aftalt konkrete og målbare milepæle for oprensningen, og at disse revideres, hvis projektet ændrer sig undervejs i forløbet.

Jo mere konkrete aftaler – f.eks. omkring art og antal af analyser, tidspunkter, antal af analyserunder, massebalancer, vurderingsgrundlag m.v. – jo bedre. Endvidere kan skriftlige aftaler, f.eks. i form af godkendte og underskrevne mødereferater, være af stor værdi for alle parter senere i forløbet, da der således er fuldstændig klarhed over de indgåede aftaler.

Forudsætninger

I den følgende gennemgang af retningslinjer for den løbende dokumentation tages der, som tidligere, udgangspunkt i oprensning af en kendt jordforurening for så vidt angår forureningens udbredelse og de aktuelle forureningsstoffer. Endvidere forudsættes det, at der er foretaget et konkret valg af afværgemetode.

I det følgende diskuteres betragtninger omkring:

- Analyseparametre.
- Prøvetagningsmedier og prøveplacering.
- Analyseantal.
- Prøvetagningshyppighed.
- Rapportering.

Miljømyndigheden bør forholde sig til ovenstående punkter, allerede i forbindelse med opstarten af in-situ oprensningen, så der fra starten er enighed om alle de indgående aftaler i forbindelse med disse punkter.

3.1 Analyseparametre

Primære forureningskomponenter

Det er åbenlyst, at der under oprensningen analyseres for de forureningskomponenter, der er konstateret problematiske i forbindelse med den gennemførte forureningsundersøgelse. Er der f.eks. tale om en forurening med tjærestoffer (PAH'er), udføres der som udgangspunkt kemiske analyser for (et udvalg af) disse. Er der tale om en benzin- eller olieforurening udføres der, som udgangspunkt kemiske analyser for totalindhold af kulbrinter og indhold af BTEX'er.

Sekundære forureningskomponenter

Hvad der måske er mindre åbenlyst er, at det muligvis også er relevant, at foretage kemiske analyser for sekundære forureningskomponenter, der kan opstå som følge af processer i forbindelse med oprensningen. De mest almindelige eksempler er TBA (tert-butylalkohol), der dannes som nedbrydningsprodukt ved aerob biologisk nedbrydning af benzintilsætningsstoffet MTBE (mehtyl tert-butyl ether), og vinylklorid, der opstår som nedbrydningsprodukt ved anaerob biologisk nedbrydning af opløsningsmidlerne TCE og PCE (tri- og perchlorethylen). Begge stoffer (TBA og vinylklorid) er mere kritiske end moderprodukterne.

Indikatorparametre

I tillæg til de primære og sekundære forureningskomponenter kan det ofte være relevant at måle forskellige parametre, der indikerer, at kritiske betingelser for oprensningen er opfyldt og at oprensningsprocesserne forløber tilfredsstillende. Der kan eksempelvis være tale om redox-følsomme parametre, jordens vandindhold, indhold af organisk stof, reducerede metaller, pH, temperatur, næringssalte eller parametre der kan relateres direkte til biologisk aktivitet: O₂, CO₂, CH₄, eller antallet af (aktive) mikroorganismer.

Akkrediterede analyser ikke absolut nødvendige

Da den løbende monitoring primært foretages for at give sagens parter en status for oprensningens forløb, og ikke (nødvendigvis) for at forholde det aktuelle oprensningsniveau til Miljøstyrelsens kriterier, er det ikke nødvendigt, at de kemiske analyser foretages som akkrediterede analyser. Dermed kan der ofte med fordel anvendes uakkrediteret feltudstyr (f.eks. felt-GC, MIMS m.v.), idet disse analysetyper er hurtigere, ofte kan udføres på lokaliteten og er billigere end de tilsvarende akkrediterede analyser. Disse fordele kan evt. udnyttes til øge prøvetagningsfrekvensen eller den rumlige dækning af lokaliteten. Det kan dog ofte være en god idé for den udførende part, at lave en (begrænset) sammenligning af resultaterne fra feltmetoderne med akkrediterede analyser.

3.2 Prøvetagningsmedier og prøveplacering

Primært prøvetagningsmedium

Eftersom der i dette projekt fokuseres på oprensning af jordforurening er den mest betydende monitoringsparameter ofte jordkoncentrationen af de pågældende forureningskomponenter. Hvis oprensningsformålet er en risikofjernelse ifht. indeklimate eller grundvand kan poreluften eller grundvand dog være det primære prøvetagningsmedium. Man bør dog (især som myndighed) holde sig for øje, at der typisk ikke kan forventes en permanent risikofjernelse, hvis der ikke kan dokumenteres en forureningsfjernelse i jorden; typisk ved en reduktion af koncentrationsniveauet, jf. diskussionen af tilbageslag i afsnit 2.6.

Er der tale om en afværgemetode hvor der fjernes forurening via op-pumpning af forurenede luft eller vand, er det naturligvis også nærliggende at monitorere forureningskoncentrationen i disse faser. Monitoringen bør bestå af både en registrering af de oppumpede mængder og koncentrationer, så den samlede mængde forurening, der fjernes kan estimeres.

Prøveplacering

Den primære monitoring vil naturligvis skulle finde sted i oprensningsområdet, evt. med fokus på et hot-spot. Hvis der er risiko for at der under oprensningen kan ske en spredning af forureningen, f.eks. som følge af

naturlig transport eller injektion af gasser eller væsker, bør der ligeledes foretages en monitoring udenfor det primære oprensingsområde. Endvidere bør forureningens eventuelle primære spredningsveje afdækkes, eksempelvis i højpermeable slirer, langs bygningsfundamenter, i ledningsgrave m.v.

Prøvetagning i jord over tid

I forhold til at foretage monitoring af koncentrationsniveauet i jord, er det vigtigt at pointere, at det i praksis er umuligt at foretage kemiske analyser på den samme jordprøve over tid. Prøverne udtages med en eller form for miljøteknisk bor (som destruktiv prøve), og efterfølgende prøver vil i praksis skulle udtages i umiddelbar nærhed af tidligere prøver, både hvad angår punktet i planen og dybden. For meget homogene jordmatricer vil dette sandsynligvis ikke medføre betydelige usikkerheder, men for f.eks. moræneaflejringer vil der ofte være tale om betydelige rumlige variationer i de geologiske lag og dermed i forureningskoncentrationerne. Det kan derfor være en tilsnigelse, at tolke enkeltstående ”koncentrationsfald”, over tid i et givent punkt, som et entydigt tegn på massefjernelse. Konsekvensen af en sådan logik ville være, at eventuelle koncentrationsstigninger i et givent målepunkt (i praksis en højere koncentration i en prøve udtaget tæt på tidligere prøver), under en biologisk oprensning, skulle tolkes som en forureningsdannelse, mens den reelt er et udtryk for rumlige variationer i forureningsituationen!

Med ovenstående in mente, bør monitoringen således generelt ikke afsluttes i et område på baggrund af enkelte analyseresultater, der indikerer at området er oprenset. Som udgangspunkt skal rene prøver altid bekræftes af yderligere prøver fra samme område og dybde.

Sekundære prøvetagningsmedier

Afhængigt af de geologiske og forureningsmæssige forhold og den valgte oprensningsteknologi kan det i mange tilfælde være relevant at foretage en monitoring i sekundære prøvetagningsmedier, specielt hvis der er tale om oprensning af mobile forureningskomponenter. F.eks. kan det ved biologisk oprensning af en jordforurening med benzin være relevant, at monitere på indholdet af O₂ og CO₂ i poreluften i jordmatricen for at sikre sig, at der er gunstige betingelser for oprensningen og at processerne forløber som planlagt. Det kan ligeledes ofte være relevant, at monitere på forureningskoncentrationen i grundvandet under oprensingsområdet, for at få en fornemmelse for den mængde forurening, der ikke oprenses, men som nedsiver til grundvandet mens oprensningen pågår.

3.3 Analyseantal

Jordprøver

Ud over størrelsen af spildet og det forurenede område, er jordens homogenitet, eller mangel på samme, den mest afgørende enkeltfaktor af betydning for fastlæggelsen af et tilstrækkeligt prøvetagningsnet (punkter i planen og dybden), og dermed for antallet af jordprøver.

Er der f.eks. tale om en homogen sandgeologi, vil forureningen, alt andet lige, være forholdsvis ”velordnet”, mens der for en inhomogen morængeologi ofte vil være tale om primære spredningsveje i slirer, og tilsvarende lille spredning i kompakte lermatricer, samt evt. lommer af sekundært grundvand, der medfører en kompliceret forureningsbeliggenhed fra

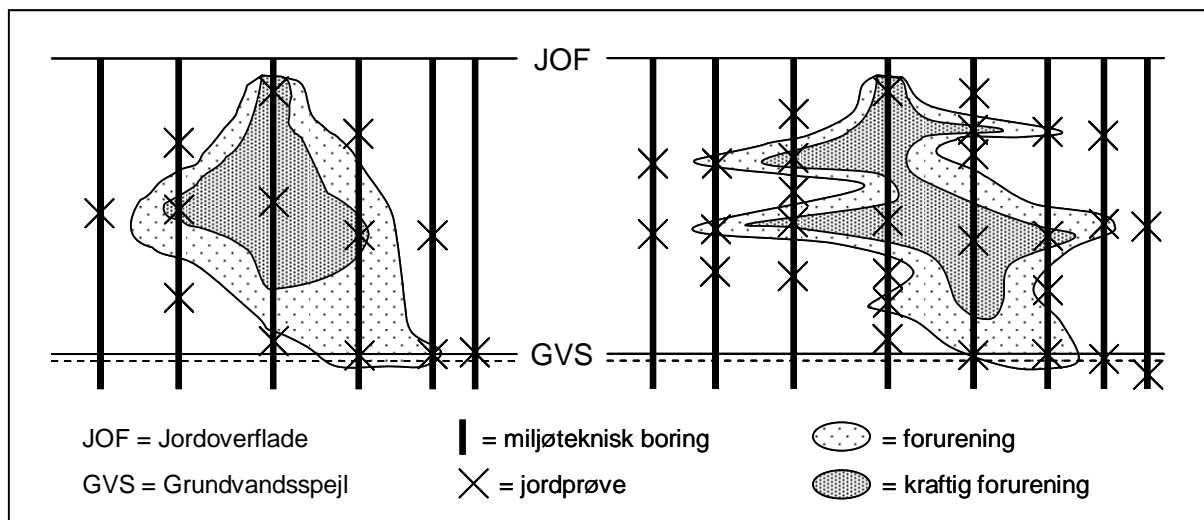
oprensningens begyndelse. Det skal dog bemærkes, at forureningens spredningsveje også kan være komplicerede i relativt homogene aflejringer, da selv små grus- og sandlag eller slirer kan være styrende for forureningsspredningen. Kort sagt: jo mere inhomogen jordmatricen er, jo flere prøver skal der til.

Udgangspunkt = undersøgelsesomfang

Allerede efter de miljøtekniske undersøgelser, vil man, ud fra det undersøgelsesniveau, der var nødvendigt for at foretage en tilstrækkelig afgrænsning af forureningen, have en fornemmelse af det prøveantal, der senere bliver nødvendigt i forbindelse med dokumentation af oprensningen.

Figur 3.1 viser en principskitse (tværsnit) af det endelige undersøgelsesomfang ved undersøgelse og afgrænsning af jordforureningen på hhv. en homogen (sand) og en inhomogen (ler) lokalitet med overfladenære spild af ca. samme størrelse. Det bemærkes, at billedet vist på figur 3.1 ofte vil være fremkommet efter en indledende miljøteknisk undersøgelse og én eller flere efterfølgende supplerende undersøgelser, og at det reelle undersøgelsesomfang naturligvis omfatter tilsvarende boringer og jordprøver i planen.

Jordprøverne er udvalgt til kemisk analyse på baggrund af en samlet vurdering af syns-/lugtindtryk og efterfølgende PID-analyse udført på jordprøver udtaget i gastætte Rilsan-poser. Det resulterende forureningsbillede er optegnet på baggrund af de kemiske analyseresultater, PID-resultaterne samt feltvurderingen af syns- og lugtindtryk.



Figur 3.1: Principskitse af undersøgelsesomfang for hhv. homogen og en inhomogen lokalitet.

Som det fremgår af figur 3.1 er antallet af miljøtekniske boringer og jordprøver, der er nødvendige for at opnå en tilstrækkelig karakteristik og afgrænsning af forureningen, væsentligt større for den inhomogene lokalitet (8 boringer og 29 jordprøver i tværsnittet) end for den homogene lokalitet (6 boringer og 13 jordprøver i tværsnittet). Det er således ikke urealistisk, at det er nødvendigt med f.eks. to til fire gange så mange jordprøver for en inhomogen geologi/forureningsudbredelse end for en ho-

mogen geologi – for at opnå den samme grad af sikkerhed i forureningsbeskrivelsen.

Delvis monitoring under oprensning

I forhold til ovenstående beskrivelse skal det dog bemærkes, at det ved den løbende dokumentation af oprensningsforløbet sjældent er nødvendigt at have et fuldstændigt sammenligneligt prøvetagningsnet til alle tidspunkter. Ofte vil det således (især i starten af oprensningen) være tilstrækkeligt at fokusere den primære monitoring omkring områderne med kraftig forurening (hot-spot), og at supplere denne monitoring med enkelte punkter i forureningen udenfor hot-spot, samt evt. nogle punkter, hvor der er risiko for at der kan ske en forureningsspredning.

Fuld monitoring efter endt oprensning

Derved bliver forskellen i antallet af prøver for de to ovenstående scenarier udvisket noget under den løbende monitoring. Dog får den geologiske kompleksitet igen afgørende betydning i forbindelse med slutdokumentationen, jf. kapitel 4.

Sekundære prøvetagningsmedier

Som ved prøvetagning i jord, vil det for sekundære prøvetagningsmedier, være størrelsen af spildet og det forurenede område samt jordens homogenitet, der er afgørende for prøveantallet. Dette skyldes bl.a., at det er disse forhold, der afgør de potentielle spredningsveje og dermed også behovet for sekundære installationer, som f.eks. indblæsning/infiltration og udsugning/ekstraktion eller sekundær monitoring af uønsket spredning i grundvand eller poreluft.

3.4 Prøvetagningshyppighed

Overordnet afhænger den ønskede/nødvendige prøvetagningshyppighed dels af forureningens mobilitet ifht. den forventede oprensningstid, dels af om det er primære eller sekundære analyseparametre, samt af oprensningens følsomhed og aggressivitet overfor de naturlige eller påførte fysiske, kemiske eller biologiske betingelser. Dertil vil det næsten altid være ønskeligt at foretage en forholdsvis hyppig monitoring i starten af oprensningsforløbet, herunder specielt under en eventuel indkøringsfase, og en mindre hyppig monitoring senere i forløbet, når man har sikret sig, at oprensningen forløber planmæssigt.

Oprensningens varighed

Er der tale om en langvarig oprensning af relativt immobile forureningskomponenter; f.eks. ved phytooprensning af en tungmetalforurening (typisk > 20 år), kan det være nok at monitorere med f.eks. 5 års mellemrum. Er der til gengæld tale om anvendelse af en forholdsvis aggressiv metode, som dampassisteret vakuumventilering, til oprensning af en forurening med terpentin (ca. 1 måned til 1 år), kan det være hensigtsmæssigt og nødvendigt, at foretage en monitoring med dages, ugers eller få måneders mellemrum.

Primære vs. sekundære analyseparametre

Dertil kan det være nyttigt, at skelne imellem de primære og sekundære analyse-/monitoringsparametre. Ofte vil det således være væsentligt billigere at udføre analyserne for de sekundære parametre end for de primære forureningskomponenter. Dette skyldes, at de ofte kan udføres med feltudstyr eller som billige akkrediterede analyser, mens de primære forureningskomponenter oftere er forholdsvis dyre analyser udført på et akkre-

diteret analyselaboratorium. Med prisen in mente kan det ofte være nok, med forholdsvis stor analysehyppighed, at forvise sig om, at oprensningens betingelserne er som ønsket via sekundære parametre, for med mindre hyppighed, at monitere de primære analyseparametre.

Kritiske parametre

Såfremt den oprensningens metode, der anvendes er meget følsom overfor visse betingelser; f.eks. en biologisk oprensning, der er afhængig af redoxforholdene, eller hvis metoden kan forventes at ændre på kritiske betingelser kan det ligeledes være nødvendigt, at foretage en forholdsvis hyppig monitoring af de kritiske parametre.

3.5 Rapportering

Formål

Formålet med den løbende dokumentation er, på passende tidspunkter i forløbet, at give bygherre og miljømyndighed et samlet overblik over oprensningsforløbet, samt en mulighed for at evaluere dette ifht. til oprensningens målet. Desuden udgør afrapporteringen en naturlig platform for den udførende part (rådgiver/entreprenør) til at anbefale eventuelle korrigerende oprensningstiltag. Den løbende afrapportering kan foretages i rapport- eller notatform afhængigt af omfanget.

Vejledende hyppighed

Rapporteringens hyppigheden fastlægges, som udgangspunkt, i forbindelse med detailprojektet, jf. afsnit 2.3, og afhænger i det store hele af de samme faktorer som prøvetagningens hyppighed, jf. afsnit 3.4. I forhold til afrapportering af den løbende monitoring/dokumentation, virker det, for de fleste korte oprensningsforløb (< 2-3 år) umiddelbart rimeligt, at der udarbejdes en statusrapport ca. hvert halve til hele år, mens det for middellange oprensningsforløb (ca. 3-10 år) virker rimeligt, at der udarbejdes en statusrapport ca. en gang om året. For lange oprensningsforløb kan det være rimeligt, at der udarbejdes en statusrapport hvert andet eller tredje år.

Opsummering af forløb

Rapporten/notatet bør indledningsvis indeholde en henvisning til tidligere undersøgelses- og monitoringsresultater, en sammenfatning af de tiltag der er udført siden sidste monitoringsrapport, samt en overordnet gennemgang af og begrundelse for eventuelle afvigelser fra det planlagte forløb. For bedst muligt overblik henvises i sammenfatning og gennemgang til eventuelle installationer, behandlingsområder, bygninger m.v. på én eller flere målfaste situationsplaner.

Monitoringsresultater – samlet oversigt

Efterfølgende gives en summarisk gennemgang af de indsamlede monitoringsdata, der sammenstilles med tidligere monitoringsresultater, så det seneste notat altid giver et samlet overblik over oprensningsforløbet. Samtlige prøvetagningsskemaer, og deres placering ifht. det forurenede område, bygninger, installationer m.v., bør fremgå tydeligt af én eller flere målfaste situationsplaner.

Diskussion og vurdering

Der foretages en diskussion, tolkning og vurdering af monitoringsresultaterne ifht. de indgående processer og det planlagte oprensningsforløb. Der opstilles, om muligt, et massebudget, og der redegøres for forudsætninger og antagelser for en detaljeret beregning af de forureningsmængder, der hhv. er fjernet og som er tilbage i jorden.

Anbefalinger

Rapporten afsluttes med anbefalinger til det videre forløb, herunder eventuelle ændringer af oprensingsstrategien, monitoringsprogrammet og/eller tidsplanen.

Rapporten sendes til myndighedens kommentar og godkendelse.

4 Slutmonitering

Formål

Formålet med slutdokumentationen er at dokumentere, at oprensningsmålet er nået – eller, i modsat fald, at dokumentere i hvilket omfang det *ikke* blev nået.

I forbindelse med slutdokumentationen redegøres for den fjernede forureningsmængde. Hvis der efterlades restforurening, skal slutdokumentationen ligeledes belyse omfanget og beliggenheden af restforureningen og danne grundlag for en risikovurdering.

Forudgående aftaler

Som tidligere nævnt er det uhyre vigtigt, at sagens parter på forhånd har aftalt hvor mange dokumentationsprøver, der skal udtages og prøvetagningsstederne for disse – og, at denne aftale i nødvendigt omfang er blevet revideret/opdateret under oprensingsforløbet. Som for den løbende monitering gælder det, at jo mere konkrete aftaler der er indgået, jo lettere forløber sagsafslutningen for alle parter. Selvfølgelig skal der dog være mulighed for at revidere de indgåede aftaler, hvis der er (gode) grunde hertil.

I det følgende diskuteres betragtninger omkring:

- Prøvetagningstidspunkt.
- Analyseparametre.
- Prøvetagningsmedier og prøveplacering.
- Analyseantal.
- Afrapportering.

Absolut minimumskrav

Inden der går i detaljer, skal det pointeres, at der, som en helt grundlæggende betragtning, ikke bør kunne accepteres et dokumentationsomfang, der er mindre end det miljømyndigheden ville have krævet for en opgravning under tilsvarende geologiske og forureningsmæssige forhold; f.eks. jf. (Miljøstyrelsen, 1998c - eksempel 4 i bilag 1).

4.1 Prøvetagningstidspunkt

Tilbageslag

Som nævnt i afsnit 2.6, er der typisk forskel på den oprensningseffekt, der måles ved moniteringen under den aktive drift af afværgeforanstaltningerne, og den effekt der måles efter ophør af driften.

Dette forhold skyldes, at de aktive afværgetiltag oftest vil have den største effekt i de forholdsvist permeable jordlag i behandlingszonen, hvori den primære forureningsspredning ligeledes har fundet sted. Fra disse zoner er der over tid sket en sekundær forureningsspredning til mindre permeable zoner, hvorfra der, efter afværgens afslutning, forekommer en ”baglæns” migration af forureningskomponenter; det såkaldte tilbageslag.

Betydende faktorer

Omfanget og varigheden af dette tilbageslag vil afhænge af forureningskomponenterne og de geologiske forhold, samt ofte også af forureningsalderen.

En overvejende kompakt geologi, med få permeable zoner, vil derfor generelt give anledning til større og længerevarende tilbageslag end overvejende permeable geologier med forholdsvis få/små impermeable zoner.

Jo mere mobile forureningskomponenter der er tale om (f.eks. olie- og benzin-komponenter), jo hurtigere vil et tilbageslag kunne observeres, mens forholdsvis immobile forureningskomponenter (f.eks. PAH'er og tungmetaller) vil give anledning til et langsommere og mere længerevarende tilbageslag.

Med hensyn til forureningens alder, vil en ældet forurening generelt give anledning til et mere længerevarende tilbageslag.

Fra forholdsvis homogene sandede aflejringer med mobile forureningskomponenter vil man altså generelt få de mindste tilbageslag.

Anbefaling

Som det fremgår af ovenstående, vil man i størstedelen af in-situ oprensninger af jordforurening kunne forvente et tilbageslag. Spørgsmålene er så, hvor stort det bliver og hvornår det topper. Derfor bør prøvetagnings-tidspunktet for slutmoniteringen udføres "et stykke tid" efter ophøret af den aktive afværge, under hensyntagen til ovenstående faktorer.

Ofte vil behovet for at vente med den endelige monitoringsrunde skulle vægtes mod et overordnet ønske om at få sagen afsluttet, hvorfor det er meget almindeligt, at slutmoniteringen udføres f.eks. 6 eller 12 måneder efter afværgens afslutning.

Tidspunktet kan evt. vælges efter overslagsberegninger over stoffernes migrationshastigheder (diffusion og konvektion) imellem kilde og monitoringspunktet.

Resultatbearbejdning

Efterfølgende er det væsentligt, at resultaterne sammenlignes dels med resultaterne fra den monitoringsrunde, der er udført ved afslutningen af den aktive afværge, og dels med de aktuelle oprensningskriterier.

Hvis der observeres et forholdsvis stort tilbageslag, ifht. runden ved afværgens afslutning, eller et tilbageslag, med koncentrationer tæt på oprensningskriterierne, kan der være behov for endnu én monitoringsrunde for at afklare om det bliver værre eller om slutniveauet for tilbageslaget er nået.

En sådan ekstra monitoringsrunde kan ofte udføres som en reduceret monitoringsrunde, med fokus på at beskrive tilbageslaget i de områder, hvor risikoen er størst, og bør udføres efter endnu en "hvileperiode"; f.eks. endnu 6 måneder.

4.2 Analyseparametre

I forlængelse af beskrivelsen i afsnit 3.1, hvor det primære formål med prøvetagningen var at sikre sig, at oprensningen forløb som planlagt, så er det primære formål nu, at dokumentere det opnåede oprensningsniveau ifht. oprensningsmålet. Dermed bør det altovervejende fokus ligge på de primære forureningskomponenter og eventuelle sekundære forureningskomponenter, og kun lidt (eller slet ikke) på indikatorparametre.

Undtagelser fra dette kan dog forekomme; f.eks. med kemiske oxidationsmetoder, der kan ændre radikalt på naturlige kemiske miljøvariable (eks. pH), eller termiske metoder, hvor jordens efterfølgende temperatur kan være af interesse.

Akkrediterede analyser

I forlængelse af valget af analyseparametre, er det, som udgangspunkt, et krav, at de kemiske analyser udføres som akkrediterede analyser og ikke som feltanalyser. Dette skyldes, at Miljøstyrelsens kvalitetskriterier ofte er fastsat på baggrund af specifikke analysemetoder – og at kalibreringsprocedurer, tolkningsalgoritmer m.v. – er ude af hænderne på sagens interessenter, hvorved der ikke kan stilles spørgsmålstegn ved en uvildighed i den basale tolkning af resultaterne.

Geologiske forhold

Da både den oprindelige forureningsfordeling, og in-situ metodens effektivitet, ofte vil være meget afhængig af de geologiske lag i behandlingsområdet (jf. figur 3.1 og afsnit 4.1), vil det ofte være af stor hjælp, hvis der – sammen med analyseresultaterne – foreligger en god beskrivelse af de geologiske forhold.

Hvis vurderingen af oprensningsniveauet baseres, på et antal jordprøver udtaget fra miljøtekniske borer, som stikprøver i et forholdsvis ukendt jordvolumen, bør boreprofilerne vedlægges afslutningsrapporten, påført feltobservationer og screenings-/PID-resultater. Dermed kan det sandsynliggøres, at de analyserede prøver er udtaget relevante steder, og det kan evt. vurderes om de højeste restkoncentrationer forekommer i forholdsvis permeable eller impermeable zoner.

4.3 Prøvetagningsmedier og prøveplacering

Prøvetagningsmedium

De relevante prøvetagningsmedier vil være dikteret af oprensningsformålet. Er formålet således at nedbringe jordkoncentrationerne i behandlingsområdet til under et givent niveau (ofte jordkvalitetskriterierne), vil det primære prøvetagningsmedium selvfølgelig være jorden i behandlingszonen.

Er formålet derimod, at sikre en risikonedbringelse i forhold til grundvand eller indeklima, vil det primære prøvetagningsmedium være grundvandet eller poreluften/indeklimaluften – og sekundært jorden i behandlingszonen. I forhold til risikonedbringelsen er jordkoncentrationen naturligvis relevant hvis der ikke kan konstateres koncentrationsfald i jorden, da der dermed heller ikke kan forventes et permanent fald i koncentrationen i de mobile faser, og dermed i risikoen.

I forhold til tilbageslag, er det væsentligt at påpege, at dette i overvejende grad kan observeres i de mobile faser (poreluft og -vand) og kun i (meget) mindre grad i jorden. Prøveudtagning ifht. tilbageslag skal derfor primært forgå i de mobile faser.

Prøveplacering

I forhold til prøveplaceringen er det naturligvis væsentligt, ligesom for den løbende monitoring, at få en god dækning af selve behandlingsområdet, evt. med fokus på et evt. hot-spot. Der bør ligeledes udtages dokumentationsprøver i behandlingsområdets randområder, dvs. bund- og kantprøver.

I forhold til slutdokumentationen er det vigtigt, at der også udtages prøver i behandlingsområdet (horisontalt og vertikalt), hvor der ikke tidligere er monitoreret, for i nogen grad at tage hensyn til geologiske rumlige variationer og spredningsveje, der potentielt ikke er blevet afklaret i forbindelse med de tidligere undersøgelser på lokaliteten. Dermed opnås en større sikkerhed for at oprensningen er udført tilfredsstillende.

Det kan ligeledes være relevant at foretage en prøvetagning udenfor behandlingsområdet (både vertikalt og horisontalt), hvis der under oprensningen har kunnet ske en spredning af forureningen, f.eks. som følge af naturlig transport eller ”påtvunget” transport via injicerede eller ekstraheerede væsker eller gasser.

Restforurening

Hvis der efterlades restforurening, bør der foretages en grundig karakterisering og afgrænsning af denne. Denne bør som minimum foretages på lige fod med den der skulle foretages for en tilsvarende gravesag.

Eksempel

I forbindelse med udførelsen af Miljøstyrelsen (2006a) blev det konstateret, at slutmonitoringen i flere sager blev udført sammen med den løbende monitoring ved, at der blev udtaget prøver i konstaterede hot-spots frem til et tidspunkt i løbet af oprensningen, hvor der kunne konstateres et tilfredsstillende koncentrationsniveau i det enkelte monitoringspunkt. Derefter blev monitoringen i dette punkt indstillet og den fortsatte driftsmonitoring blev udelukkende fortsat i de øvrige monitoringspunkter.

Ved en sådan monitoringsstrategi ses der indirekte bort fra betydningen af de rumlige variationer i forureningssituationen der kan være betydelig indenfor ganske korte afstande (jf. afsnit 3.2 og 3.3), ligesom der kun monitoreres i områder, hvor indsatsen har været koncentreret (hot-spots), og hvor oprensningseffekten dermed kan antages at have været størst.

Set i lyset af ovenstående diskussion og anbefalinger er en sådan dokumentationsstrategi ikke retvisende.

4.4 Analyseantal

Jordprøver

Som for den løbende monitoring (afsnit 3.3) vil det nødvendige analyseantal primært være bestemt af størrelsen af behandlingsområdet samt af de geologiske forhold; herunder specielt jordens inhomogenitet. Jo større behandlingsområde og jo mere inhomogen jordmatrix er, jo flere prøver er påkrævet for at opnå en given grad af sikkerhed for at oprensningen

resultatet er tilfredsstillende (se nedenfor). Dertil kommer et antal analyser til karakterisering og afgrænsning af en eventuel restforurening; som absolut minimum én i centrum af restforureningen samt tre analyser i planen og to i dybden.

Mobile faser

I forbindelse med undersøgelse for tilbageslag og til brug for en risikovurdering ifht. grundvand og inde- eller udeklima bør der, som nævnt i afsnit 4.3, foretages kemiske analyser af de mobile faser (porevand og -luft). Igen skal analyseantallet afspejle størrelsen af behandlingsområdet, graden af geologisk inhomogenitet, samt om der er efterladt restforurening på ejendommen – og udstrækningen af denne.

Absolut minimum

Det er utroligt svært at opstille nogle generelt gyldige retningslinjer for hvor mange kemiske analyser der vil udgøre et tilstrækkeligt dokumentationsgrundlag, men som nævnt i afsnit 3.3, vil man allerede efter de indledende miljøtekniske undersøgelser have en fornemmelse for det prøveantal, der er nødvendigt i forbindelse med en karakterisering af oprensningen. Som nævnt i indledningen til kapitlet, bør et absolut minimum af dokumentation dog være, at oprensningen skal dokumenteres mindst lige så godt som en opgravning under tilsvarende forureningsmæssige og geologiske forhold; f.eks. jf. (Miljøstyrelsen, 1998c - eksempel 4 i bilag 1).

Dette skyldes, at man ved en opgravning, har mulighed for visuelt at se geologiske variationer, spredningsveje, misfarvninger osv. mens man ved en in-situ oprensning, i langt højere grad skal "gætte" sig til den rumlige situation ud fra udførte borer og kemiske analyser. Dertil kommer at man ved en opgravning "kun" skal analysere kant- og bundprøver, mens man ved en in-situ oprensning også skal dokumentere oprensningen i selve behandlingszonen. Derved skal prøvetagningen ved en in-situ oprensning skulle repræsentere et større jordvolumen.

Da dokumentationen ved en in-situ oprensning foretages ud fra et antal stikprøver fra det oprensede jordvolumen er det essentielt, at der udtages et tilstrækkeligt antal stikprøver til, at der er opnået en god repræsentation af dette volumen. I den henseende er det ikke kun antallet af prøver der er vigtigt, men i lige så høj grad, at man har en berettiget forventning om, at prøverne er udtaget de rigtige steder, jf. afsnit 4.3.

4.5 Rapportering

Formål

Som afslutning på oprensningsforløbet udarbejdes en afslutningsrapport, hvis formål er at give et samlet overblik over oprensningsforløbet.

Opsummering af forløb

Rapporten bør indeholde en opsummering af/henvisning til de undersøgelsesdata der beskriver den oprindelige forureningssituation, og en præsentation af oprensningsformålet og de indgåede aftaler, herunder aftaler om monitorering og slutdokumentation.

Desuden bør der henvises til relevante tidligere monitoringsrapporter og der gives en sammenfatning af de tiltag der er udført siden den sidste monitoringsrapport og resultaterne af slutdokumentationen.

<i>Moniteringsresultater – samlet oversigt</i>	Der foretages en sammenstilling af resultaterne fra det gennemførte moniteringsprogram (løbende og afsluttende monitering). Samtlige prøvetagningspunkter, og deres placering ifht. behandlingsområdet, bygninger, installationer m.v., bør fremgå tydeligt af én eller flere målfaste situationsplaner.
<i>Tolkning og vurdering</i>	<p>Der foretages en tolkning og vurdering af resultaterne fra slutmoniteringen ifht. oprensningsmålet og de indgåede aftaler. Herunder opstilles et massebudget, og der redegøres for forudsætninger og antagelser for en detaljeret beregning af de forureningsmængder, der hhv. er fjernet og som evt. efterlades i behandlingsområdet. På baggrund heraf dokumenteres det, at de opstillede oprensningskriterier er opfyldt (hvis det er tilfældet).</p> <p>Hvis der efterlades restforurening på ejendommen, foretages en grundig beskrivelse af denne (herunder indtegning på en målfast situationsplan), og der udarbejdes en risikovurdering i forhold til grundvand (de aktuelle indvindingsinteresser og ressourcen), samt ifht. recipienter og arealanvendelse, herunder inde- og udeklima. Der foretages ligeledes en vurdering og beskrivelse af risikoen for tilbageslag.</p>
<i>Anbefalinger</i>	<p>Rapporten afsluttes med anbefalinger til sagens afslutning eller til en fortsat monitering af tilbageslag.</p> <p>Rapporten sendes til miljømyndighedens kommentar eller godkendelse.</p>

5 Referencer

- CLU-IN (2007)* The Hazardous Waste Clean-Up Information (CLU-IN). Technology innovation Program. Technology Focus. (www.clu-in.org/techfocus).
- Dall-Jepsen (2003)* J. Dall-Jepsen, 2003. Erfaringer med kemisk oxidation på 5 lokaliteter forurenede med chlorerede opløsningsmidler. Skriftligt indlæg ved ATV-Vintermødet 4.-5. marts 2003.
- FRTR (2007)* Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR). Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide version 4.0. (www.frtr.gov/matrix2).
- Heron (2003)* G. Heron, 2003. Miljøstyrelsens Teknologiprogram – Termiske metoder og Geooxidation. Side 83-94. Skriftligt indlæg ved ATV-Vintermødet 4.-5. marts 2003.
- Jensen et al. (2003)* B. Jensen, T. Larsen og O. Kiilerich, 2003. Miljøstyrelsens Teknologiprogram – Vakuumentilering under danske forhold. Side 35-45. Skriftligt indlæg ved ATV-Vintermødet 4.-5. marts 2003.
- Loll et al. (2007a)* P. Loll, C. Larsen og K. Henriksen, 2007. Stimuleret biologisk nedbrydning af fyringsolie – Feltresultater der viser muligheder og begrænsninger. Side 121-132. Skriftligt indlæg ved ATV-Vintermødet 6.-7. marts 2007.
- Loll et al. (2007b)* P. Loll, C. Larsen, K. Henriksen og P. Brask, 2008. Bio-nedbrydning af fyringsolieforurening. Side 142-145. Vand & Jord, 14. årgang, december 2007.
- Miljøstyrelsen (1998a)* Miljøstyrelsen, 1998. Oprydning på forurenede lokaliteter - hovedrapport. Vejledning nr. 6.
- Miljøstyrelsen (1998b)* Miljøstyrelsen, 1998. Oprydning på forurenede lokaliteter – appendikser. Vejledning nr. 7.
- Miljøstyrelsen (1998c)* Miljøstyrelsen, 1998. Prøvetagning og analyse af jord. Vejledning nr. 13.
- Miljøstyrelsen (1998d)* Miljøstyrelsen, 1998. Miljøprojekt nr. 421. Vakuumentilations-sager fra Oliebranchens Miljøpulje.
- Miljøstyrelsen (1998e)* Miljøstyrelsen, 1998. Miljøprojekt nr. 408. Naturlig nedbrydning af miljøfremmede stoffer i jord og grundvand.
- Miljøstyrelsen (1998f)* Miljøstyrelsen, 1998. Miljøprojekt nr. 409. Termisk assisterede oprensninger.
- Miljøstyrelsen (1998g)* Miljøstyrelsen, 1998. Miljøprojekt nr. 407. Oprensning af tungmetalforurenede jord.

- Miljøstyrelsen (1999)* Miljøstyrelsen, 1999. Miljøprojekt nr. 503. Oprensning af blandingsforurenede jord.
- Miljøstyrelsen (2000)* Miljøstyrelsen, 2000. Miljøprojekt nr. 554. Afprøvning af ny elektrokemisk metode til oprensning af olieforurenede jord og grundvand.
- Miljøstyrelsen (2001)* Miljøstyrelsen, 2001. Miljøprojekt nr. 582. Naturlig nedbrydning af PAH'er i jord og grundvand.
- Miljøstyrelsen (2003)* Miljøstyrelsen, 2003. Miljøprojekt nr. 872. Oprensning af PCE ved kemisk oxidation med kaliumpermanganat.
- Miljøstyrelsen (2005)* Miljøstyrelsen, 2005. Miljøprojekt nr. 1059. Forceret udvaskning på Hjørring Gasværk – Afslutningsrapport.
- Miljøstyrelsen (2006a)* Miljøstyrelsen, 2006. Miljøprojekt nr. 1060. BioGel til rensning af olieforurenede jord.
- Miljøstyrelsen (2006b)* Miljøstyrelsen, 2006. Miljøprojekt nr. 1066. Kemisk oxidation med permanganat.
- Tsitonaki og Bjerg (2007)* A. Tsitonaki og P.L. Bjerg, 2007. Jordforurening.*info* nr. 3, s. 2-4. In situ kemisk oxidation som afværgeteknologi.

Bilag A: Overordnede sagstyper

Som baggrund for en beskrivelse af de vejledende retningslinjer ifht. monitoring og dokumentation, gives i det følgende en kort gennemgang af tre overordnede sagstyper, og miljømyndighedens rolle i disse.

Overordnede sagstyper

Helt overordnet kan in-situ oprensningerne inddeles i følgende sagstyper:

- Offentligt finansierede oprensninger.
- Frivillige private oprensninger.
- Oprensning efter påbud.

Selv om der er en række fællestræk i sagsforløbet i ovenstående sager, er der også en række principielle forskelle i miljømyndighedens rolle, og dermed også i hvilke krav de løbende kan/bør stille til gennemførelsen og afslutningen af en in-situ oprensning. En række af disse forskelle skitseres kort i det følgende.

Afgrænsning

I beskrivelsen er der udelukkende fokuseret på den miljømæssige vurdering af sagsforløbene. Der er således ikke inddraget en diskussion vedr. de principielle forskelle mellem de forskellige udbudsformer som totalentrepriser, underhåndsbud m.v., eller en eventuel ansvarsfordeling mellem bygherre og entreprenør, hvis in-situ oprensningerne ikke forløber som forudsat. Tilsvarende er der ikke taget stilling til de juridiske problemstillinger, der kan være i f.eks. påbudssager.

A.1: Offentligt finansieret oprensning

Formål

På de offentligt finansierede oprensninger er formålet med oprensningen typisk at fjerne en aktuel miljørisiko, og normalt ikke at foretage en fuldstændig oprensning af forureningen. Oprensningerne afsluttes derfor typisk på baggrund af en risikovurdering.

Metodevalg

Ovenstående medfører, at der som udgangspunkt vælges den oprensningsmetode, der billigst muligt fjerner den risiko som forureningen aktuelt udgør. Oprensningens tidshorisont og spørgsmålet om en efterfølgende forureningskortlægning af ejendommen er derfor normalt ikke afgørende for valget af oprensningsmetode eller -omfang.

Dokumentation

Både monitoring og slutdokumentationen bør derfor typisk målrettes mod at oprensningen kan indstilles når der er sikkerhed for at restforureningen ikke længere udgør en miljørisiko.

Myndighedens rolle

Da miljømyndigheden typisk selv er bygherre i denne type sager bør myndigheden være fokuseret på at sikre, at den oprensning, der vælges, kan opfylde det opstillede formål. Derfor bør myndigheden tage mere aktivt stilling til om oprensningsmetoden er veldokumenteret, og om oprensningens formål, og det ønskede oprensningsniveau, kan opnås. Dette er i modsætning til frivillige private oprensninger, hvor den konkrete vur-

dering af metodens egnethed, og risikoen for at formålet med oprensningen ikke opnås, påhviler den private bygherre.

Miljømyndighedens primære opgaver på de offentligt finansierede oprensninger er derfor, at:

1. vælge den mest cost-effektive oprensningsmetode, der kan opfylde oprensningens formål.
2. sikre, at der vælges en oprensningsmetode, der er veldokumenteret under de aktuelle forhold (eller at man alternativt, som minimum, er bevidst om sin risiko og har en alternativ oprensningsmetode klar).
3. følge sagen tæt for at sikre sig, at der hele tiden er en klar sammenhæng imellem økonomi og oprensningseffekt.

A.2: Frivillig privat oprensning

Formål

På de frivillige private oprensninger er formålet typisk enten at ejendommen efterfølgende kan udtages af kortlægningen eller, at der kan opnås tilladelse til en ændret arealanvendelse. Typisk er der således ikke nogen akut miljømæssig risiko på disse sager.

Metodevalg

Når der er tale om en frivillig oprensning og ikke er en akut miljømæssig risiko, kan miljømyndigheden typisk ikke stille krav til selve valget af oprensningsmetode. Som udgangspunkt er valget af oprensningsmetode og ansvaret for om den valgte oprensningsmetode kan opfylde de ønskede oprensningskriterier således alene bygherrens. Når det er sagt, kan det være formålstjenligt, hvis miljømyndigheden, allerede fra starten af projektet, påpeger hvis de, f.eks. på baggrund af tidligere erfaringer, mener, at det er tvivlsomt om den valgte oprensningsmetode kan opfylde de opstillede oprensningsformål og -kriterier.

Dokumentation

Såfremt en frivillig privat oprensning afsluttes med en risikovurdering, gøres dette normalt ved at godtgøre, at restforureningen ikke udgør en aktuell miljørisiko (evt. for den specifikt planlagte arealanvendelse).

Myndighedens rolle

Miljømyndighedens primære opgaver på de frivillige private oprensninger er derfor, at:

1. opstille relevante og velbeskrevne krav til bygherren vedr. monitoringsprogram og slutdokumentation, set i forhold til det formål bygherren har med oprensningen (f.eks. udtagning af kortlægning vs. tilladelse til ændret arealanvendelse).
2. sikre, at oprensningen ikke har skadelige sideeffekter, f.eks. forureningsspredning, forværring af indeklimaproblemer, eller at der skabes nedbrydningsprodukter, der udgør en større miljørisiko end de primære forureningskomponenter.
3. sikre at den fremsendte monitoring og slutdokumentation er fyldestgørende.

A.3: Oprensning efter påbud

<i>Formål</i>	Oprensninger efter påbud er specielle på en række punkter, herunder de juridiske og bevissikringstekniske spørgsmål. Disse drøftes som nævnt ikke yderligere, men idet det antages, at der er givet et gyldigt oprensningpåbud gennemgås en række forhold, der gør sig gældende ved denne sagstype.
<i>Metodevalg</i>	Størstedelen af påbudssager vedrører nye, akutte forureninger (spild eller uheld), hvorfor en hurtig, aktiv oprensningsindsats kan være nødvendig; f.eks. for at sikre indeklimaet i nærliggende bygninger eller for at hindre en uacceptabel forureningsspredning. Der gøres opmærksom på, at sagens akutte natur kan begrænse mulighederne i forbindelse med metodevalg for den akutte del af afværgeindsatsen.
<i>Dokumentation</i>	<p>Da det forudsættes, at der er gjort et forureneransvar gældende, er formålet med oprensningen på en påbudssag, som udgangspunkt, en fuldstændig fjernelse af forureningen, dog under hensyntagen til proportionalitetsprincippet.</p> <p>Hvis der efterlades restforurening, og sagen skal afsluttes på en risikovurdering, vil forudsætningen for denne typisk være, at den restforurening der efterlades, ikke udgør hverken en aktuel eller fremtidig miljørisiko. Derved adskiller påbudssagerne sig typisk fra de offentligt finansierede oprensninger og de frivillige private oprensninger, der afsluttes med en risikovurdering, da disse sagstyper normalt kan afsluttes ved at godtgøre, at restforureningen ikke udgør en aktuel miljørisiko. Typisk vil der således være et større dokumentationskrav til in-situ oprensninger på påbudssager end på de andre sagstyper.</p>
<i>Myndighedens rolle</i>	<p>Miljømyndighedens primære opgaver på oprensninger efter påbud er derfor, at:</p> <ol style="list-style-type: none">1. få opstillet velbeskrevne og relevante krav til påbudsadressaten vedr. monitoringsprogram og slutdokumentation.2. sikre, at oprensningen afværger eventuelle akutte og potentielle miljøproblemer og hindrer en uacceptabel forureningsspredning.3. sikre, at oprensningen opfylder de krav der er stillet i påbuddet, herunder krav til oprensningsniveau, tidsfrister m.v.

Bilag B: Myndighedsopgaver

B.1: Checkskema til offentligt finansieret oprensning

Forhold omkring denne sagstype er gennemgået i bilag A.1. Da miljømyndigheden typisk selv er bygherre, påhviler fastlæggelse af oprensningsformål og valg af oprensningstype myndigheden selv. Dermed har myndigheden en direkte interesse i oprensningens effekt og økonomi.

Tabel B.1: Checkskema over myndighedsopgaver ved offentligt finansierede oprensninger.

Opgave		Afsnit	√
Valg af afværgemetode – skitseprojekt og detailprojekt (2.2 og 2.3)			
1.	Klarlægge oprensningsformål, tidshorizont, praktiske bindinger m.v.	2.1	
2.	Foretage en screening af mulige metoder ifht. forureningstype, geologi, tidshorizont og oprensningsformål	–	
3.	Udvælge konkret(e) in-situ metode(r)	–	
4.	Indgå skriftlig aftale om tidsplan, monitoringsprogram og slutdokumentation. Vær opmærksom på at monitoringen undersøger evt. utilsigtede sideeffekter	2.5, 2.6 og kapitel 3 og 4	
5.	Sikre, at metode(r) er veldokumenteret under de konkrete forhold	2.3.1	
6.	Sikre at der opstilles en Plan B, der kan benyttes hvis: a) oprensningens effekt ikke er som forventet/forudsat b) der opstår utilsigtede sideeffekter, f.eks. utilsigtet forureningsspredning, indeklimaproblemer, sætningsskader m.v.	2.3.2	
7.	Godkende/revidere detailbudget	–	
8.	Indgå skriftlig aftale omkring ansvarsfordeling, hvis oprensningen ikke forløber som forudsat. Da myndigheden selv er bygherre skal ansvar og aftaler vedr. økonomi vurderes grundigt	A.1	
Afværgeetablering og indkøring (2.4)			
9.	Vurdere behov for supplerende oplysninger i rapport over etablering/indkøring, herunder en beskrivelse af eventuelle ændringer ifht. det forudsatte	–	
10.	Vurdere behov for ændring af afværge, tidsplan eller monitoringsstrategi	–	
Drift og løbende monitoring (2.5)			
11.	Sikre, at afværge forløber som forudsat	3.1-3.3	
12.	Vurdere dokumentation for, at der ikke sker utilsigtede effekter (spredning m.v.)	3.1-3.3	
13.	Vurdere behov for korrektion af afværgeindsats	3.4-3.5	
14.	Vurdere behov for revision/supplement af monitoring eller godkende det aftalte	3.5	
15.	Vurdere driftsøkonomien	A.1	
Slutmonitoring og sagsafslutning (2.6)			
16.	Sikre, at der er taget højde for tilbageslag ved tidspunkt for slutmonitoring	4.1	
17.	Sikre, at der er tilstrækkelig dokumentation for oprensningsniveauet	4.2-4.4	
18.	Vurdere dokumentation af og risikovurdering(er) ifht. efterladt restforurening	4.2-4.5	
19.	Vurdere behov for revision/supplement af afslutningsrapport eller godkende den	4.5	
20.	Afslutte sagen med udarbejdelse af myndighedserklæring	–	

B.2: Checkskema til frivillig privat oprensning

Forhold omkring denne sagstype er gennemgået i bilag A.2. Da der er tale om en frivillig, bygherre-drevet oprensning, er myndighedens rolle væsentligt mindre end for de offentligt finansierede oprensninger. Myndighedens primære opgaver er koncentreret omkring opstilling af krav i forhold til oprensningsmålet, sikring imod utilsigtede effekter og godkendelse af oprensningen.

Tabel B.2: Checkskema over myndighedsopgaver ved frivillige private oprensninger.

Opgave		Afsnit	√
Valg af afværgemetode – skitseprojekt og detailprojekt (2.2 og 2.3)			
1.	Fastlægge myndighedskrav i forbindelse med opnåelse af oprensningsformål	2.1.1	
2.	Evt. kommentere metodevalg ifht. forureningstype, geologi, tidshorisont og oprensningsformål	2.1.2-2.1.3	
3.	Indgå skriftlig aftale om monitoringsprogram, tidsplan og slutdokumentation. Vær opmærksom på at monitoringen undersøger evt. utilsigtede sideeffekter	2.5, 2.6 og kapitel 3 og 4	
4.	Sikre at der opstilles en Plan B, der kan benyttes hvis: a) oprensningens effekt ikke er som forventet/forudsat b) der opstår utilsigtede sideeffekter, f.eks. utilsigtet forureningsspredning, indeklimaproblemer, sætningsskader m.v.	2.3.2	
Afværgeetablering og indkøring (2.4)			
5.	Evt. vejlede om behov for ændring af afværge eller tidsplan	–	
6.	Kræve beskrivelse af eventuelle ændringer ifht. det forudsatte	–	
7.	Vurdere behov for en ændring af monitoringsprogram mht. slutmonitoring og monitoring af utilsigtede effekter	–	
Drift og løbende monitoring (2.5)			
8.	Vurdere dokumentation for at der ikke sker utilsigtede effekter (spredning m.v.)	3.1-3.3	
9.	Evt. kommentere behov for korrektion af afværgeindsats eller fremtidig løbende monitoring	3.4-3.5	
10.	Vurdere om der er behov for en ændring af monitoringsprogram mht. slutmonitoring og monitoring af utilsigtede effekter	3.5	
11.	Vurdere behov for supplement af monitoringsrapport eller godkende den	3.5	
Slutmonitoring og sagsafslutning (2.6)			
12.	Sikre, at der er taget højde for tilbageslag ved tidspunkt for slutmonitoring	4.1	
13.	Sikre, at der er tilstrækkelig dokumentation for oprensningsniveauet	4.2-4.4	
14.	Vurdere dokumentation af og risikovurdering(er) ifht. efterladt restforurening	4.2-4.5	
15.	Vurdere behov for revision/supplement af afslutningsrapport eller godkende den	4.5	
16.	Afslutte sagen med myndighedserklæring	–	

B.3: Checkskema til oprensning efter påbud

Forhold omkring denne sagstype – ekskl. juridiske problemstillinger – er gennemgået i bilag A.3. Myndighedens primære opgaver er koncentreret omkring opstilling af oprensningsmål, tidsfrister og dokumentationskrav, samt sikring imod akutte miljøproblemer og forureningsspredning - og slutteligt godkendelse af oprensningen.

Tabel B.3: Checkskema over myndighedsopgaver ved påbudssager.

Opgave		Afsnit	√
Valg af afværgemetode – skitseprojekt og detailprojekt (2.2 og 2.3)			
1.	Fastlægge myndighedskrav i forbindelse med opnåelse af oprensningsformål og tidshorizont	2.1.1	
2.	Udstede påbud – undersøg de juridiske forhold, herunder proportionalitet	–	
3.	Vurdere metodevalg ifht. forureningstype, geologi, tidshorizont og oprensningsformål	2.1.2-2.1.3	
4.	Sikre at der opstilles en Plan B, der kan benyttes hvis: c) oprensningens effekt ikke er som forventet/forudsat d) der opstår utilsigtede sideeffekter, f.eks. utilsigtet forureningsspredning, indeklimaproblemer, sætningsskader m.v.	2.3.2	
5.	Indgå skriftlig aftale om monitoringsprogram, tidsplan og slutdokumentation. Vær opmærksom på at monitoringen undersøger evt. utilsigtede sideeffekter	2.5, 2.6 og kapitel 3 og 4	
Afværgetablering og indkøring (2.4)			
6.	Vurdere om der er behov for ændring af afværge ifht. tidsplanen	–	
7.	Kræve beskrivelse af eventuelle ændringer ifht. det forudsatte	–	
8.	Vurdere behov for en ændring af monitoringsprogram mht. slutmonitoring og monitorering af utilsigtede effekter	–	
Drift og løbende monitorering (2.5)			
9.	Vurdere dokumentation for, at der ikke sker utilsigtede effekter (spredning m.v.)	3.1-3.3	
10.	Vurdere behov for korrektion af afværgeindsats	3.4-3.5	
11.	Vurdere om der er behov for en ændring af monitoringsprogram mht. slutmonitoring og monitorering af utilsigtede effekter	3.5	
Slutmonitoring og sagsafslutning (2.6)			
12.	Sikre, at der er taget højde for tilbageslag ved tidspunkt for slutmonitoring (forhåbentlig aftalt)	4.1	
13.	Sikre, at der er tilstrækkelig dokumentation for oprensningsniveauet, herunder at der er tilstrækkelig dokumentation, hvis der efterlades restforurening	4.2-4.4	
14.	Vurdere dokumentation af risikovurdering(er) ifht. efterladt restforurening, herunder også i forhold til en eventuel <i>fremtidig</i> miljørisiko	4.2-4.5	
15.	Vurdere behov for revision/supplement af afslutningsrapport eller godkende den	4.5	
16.	Afslutte sagen med myndighedserklæring	–	

Bilag C: In-situ metoder

Metoder

I dette bilag gives en helt kort overordnet præsentation/beskrivelse af nogle forholdsvis almindelige metoder til in-situ oprensning af jordforurening. For hver metode gives der en kort beskrivelse af metodens principielle virkemåde, anvendelsespotentiale (geologi og forureningskomponenter), monitorering, tidshorisont samt krav til støtteteknologier, installationer m.v., og der gives en kort liste af referencer til yderligere information. Følgende metoder gennemgås, med udgangspunkt i, at metoden anvendes som primær massefjernelsesteknologi (ikke støtteteknologi):

- Vakuumentilering.
- Biologisk nedbrydning.
- Termisk assisteret oprensning.
- Kemisk oxidation.
- Forceret udvaskning.
- Phytooprensning.

Indledende overvejelser vedr. valg af in-situ metode

Ved valg af afværgeteknologi er det væsentligt at bemærke, at in-situ løsninger oftest vil have én eller flere af følgende ulemper i forhold til en konventionel opgravningsløsning: Lang tidshorisont, efterladt restforurening, energikrævende, dokumentationskrævende eller ingen garanti for at man får det hele med (specielt under komplicerede eller inhomogene geologiske forhold). Til gengæld kan in-situ metoderne ofte bruges på steder der er svært tilgængelige, eller hvis man gerne vil bevare en vis anvendelse af grunden.

Metodemæssige referencer på internettet

Som en overordnet indgang til valg af en egnet afværgeteknik, kan man evt. hente inspiration i et amerikansk on-line afværgekatalog, som er sponsoreret og vedligeholdt af otte amerikanske føderale organer, herunder det amerikanske Miljøministerium (EPA): "Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide", der i skrivende stund ligger i en version 4.0 (www.frtr.gov/matrix2). Der er også mulighed for at hente gode, korte metodebeskrivelser på hjemmesiden for "The Hazardous Waste Clean-Up Information (CLU-IN)", under det amerikanske miljøministerium (EPA): www.clu-in.org/techfocus. Desuden kan der hentes danske referencer på konkrete anvendelser af diverse afværgeteknikker via litteraturlisten LIX, der vedligeholdes af Videncenter for Jordforurening: www.dwb.dk/irs/lix2001/lix.htm.

Af hensyn til anvendelse af de amerikanske referencer, vil metodernes amerikanske betegnelser være nævnt i referenceafsnittet, under hver enkelt metode.

C.1: Vakuumentilering

<i>Virkemåde</i>	Ved vakuumentilering suges forurenede dampe ud af jordens umættede zone, via en række lodrette eller vandrette miljøtekniske filterrør, som er placeret i eller omkring jordforureningen. Filtrene er via slanger forbundet med en gnistfri eller eksplosionssikker vakuumpumpe med afkast til atmosfæren; evt. via et filter og/eller en skorsten.
<i>Anvendelsespotentialer</i>	Metoden er anvendelig som afværgeteknologi overfor relativt flygtige forureningskomponenter; f.eks. BTEX'er og klorerede opløsningsmidler. Dertil kommer, at metoden er mest effektiv i geologiske lag med en forholdsvis høj permeabilitet; f.eks. grus eller mellem- til grovkornet sand. Vakuumentilering egner sig bedre til risikoreduktion, ved fjernelse af de mest mobile stoffer, end til en egentlig massefjernelse.
<i>Fysiske installationer</i>	Metoden kræver, i sin basale udformning, blot en række ventilationsfiltre, en vakuumpumpe, med tilhørende el-installationer, og nogle slanger til at forbinde filtrene med pumpen.
<i>Støtte teknologier</i>	Afhængigt af stof typer og koncentrationer i den oppumpede luft, kan der være krav om rensning/filtrering af luften, inden den udledes til atmosfæren. Endvidere kan det være nødvendigt med yderligere filtre og en pumpe, for at sikre en kontrolleret og tilstrækkelig lufttilførsel til behandlingszonen.
<i>Monitering ifht. primært teknologi</i>	Den primære monitering bør som udgangspunkt koncentreres omkring at dokumentere massefjernelse af jordforureningen; dels igennem en monitering af det ekstraherede flow og forureningskomponenterne heri og dels igennem en direkte monitering på jordprøver i behandlingsområdet; gerne udtaget så der kan foretages en sammenligning igennem oprensingsforløbet (jf. dog bemærkninger i afsnit 3.2 omkring prøvetagning i jord). Dertil kan det være relevant at foretage en monitering af vakuumentilsudbredelse omkring ekstraktionsboringerne for at dokumentere, at behandlingszonen er som ønsket.
<i>Tidshorisont</i>	Såfremt metoden anvendes overfor en flygtig forurening i egnede geologiske aflejringer vil den projekterede driftsperiode ofte være i størrelsesordenen 2-5 år.
<i>Fordele</i>	De primære fordele ved metoden er, at den er relativt simpel (og dermed billig) at installere og drive, og at den er forholdsvis velafprøvet – også under danske forhold.
<i>Begrænsninger</i>	Da metoden primært er virksom overfor de relativt flygtige forureningskomponenter (også indenfor en given produkttype; f.eks. benzin) vil man kunne se en ændret komponentsammensætning i den oppumpede luft over tid, ligesom der forventes en præferentiel oprensning af relativt grovkornede lag og et "efterslæb" fra relativt finkornede lag. Begge disse forhold vil medføre en ikke-lineær massefjernelse, med en tidsmæssigt aftagende oprensningseffektivitet til følge.

Referencer Yderligere information kan hentes i (Miljøstyrelsen, 1998d) og (Jensen et al., 2003), hvor danske erfaringer med metoden er opsummeret. På engelsk (USA) hedder metoden Soil Vapor Extraction (SVE).

C.2: Biologisk nedbrydning

Virkemåde Ved biologisk nedbrydning udnyttes det, at mikroorganismer kan opnå et energi-/vækstudbytte ved at nedbryde organiske forureningsstoffer. Metoden kan enten anvendes uden tilsætning af hjælpestoffer (moniteret naturlig nedbrydning), eller ved tilsætning af forskellige stoffer for at ændre betingelserne imod en øget nedbrydningshastighed (stimuleret nedbrydning). Endelig kan visse forureningskomponenter eller feltbetingelser kræve, at der tilsættes specifikke mikroorganismer, der er virksomme under de aktuelle betingelser (augmenteret nedbrydning).

Anvendelsespotentialer Metoden er primært anvendelig til massefjernelse overfor relativt letnedbrydelige forureningskomponenter; primært BTEX'er, benzin og lette olier. Dertil kommer, at metoden er mest effektiv og lettest at kontrollere i homogene geologiske lag med en forholdsvis høj permeabilitet; typisk sand. De hidtidige erfaringer viser, at biologisk nedbrydning i de fleste tilfælde egner sig bedre til risikoreduktion/-fjernelse, ved nedbrydning af de mest mobile stoffer - eller til en "efterpolering" bagefter anden afværge - end til en egentlig massefjernelse/oprensning i kildeområder.

Fysiske installationer Når der er tale om "moniteret naturlig nedbrydning" kræves kun de fysiske installationer der er påkrævet i forbindelse med monitering. Ved "stimuleret" og "augmenteret" naturlig nedbrydning kræves også de installationer der er nødvendige for at foretage tilsætninger af gasser eller væsker med mikroorganismer, iltningmidler, næringsalte og lignende. Typisk vil der være tale om lodrette eller vandrette dræn eller filtre/-sonder, samt evt. div. beholdere, slanger og pumper som er nødvendige til opbevaring og dosering af tilsætningsstofferne.

Støtteteknologier Ofte anvendte støtteteknologier ved biologisk nedbrydning er gennemluftning/iltning og kontrol med flygtige dampe i forureningsområdet, ved at foretage en bioventilering (dvs. en vakuumventilering med fokus på iltleverance; ikke massefjernelse) eller en decideret vakuumventilering. Der kan også være behov for afværgepumpninger og eventuelle filterteknologier til rensning af det oppumpede vand.

Monitering ifht. primært teknologi Den løbende monitering vil ofte kunne udføres i forhold til indikatorparametre, der indikerer at kritiske betingelser for de biologiske processer er opfyldt. Herunder vil det være specielt relevant at forholde sig til redoxforhold (evt. iltrige forhold), næringsalte (der er nødvendige for mikrobiologisk vækst) og pH (da kraftig biologisk aktivitet ofte kan medføre en sænkning af pH-værdien til niveauer der er ugunstige for yderligere biologisk nedbrydning). Dertil kan der med fordel, og relativt billigt, foretages en monitering af O₂ og CO₂ samt evt. af antallet af aktive mikroorganismer i behandlingszonen. Dertil bør der foretages en monitering for at dokumentere massefjernelse af jordforureningen igennem direkte monitering på jordprøver i behandlingsområdet; gerne udtaget så der kan foreta-

ges en sammenligning igennem oprensingsforløbet (jf. dog bemærkninger i afsnit 3.2 omkring prøvetagning i jord).

Tidshorisont

For ”moniteret naturlig nedbrydning” kan der være tale om endog meget lange tidshorisonter (>10 år) – noget der endnu ikke er (ret store) erfaringer med i Danmark. Ved ”stimuleret” og ”augmenteret nedbrydning” stiles naturligvis efter at afkorte oprensningstiden (mest muligt), men indledende studier af biologisk nedbrydning tyder på, at det som udgangspunkt er urealistisk at forvente oprensningstider <3 år for fyringsolie, hvis oprensningskravet er Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier (Miljøstyrelsen, 2006a).

Fordele

Den primære fordel ved metoden er, at den benytter sig af ”naturens egne mekanismer” og har potentiale til at omdanne forureningen til harmløse bestanddele. Dertil kommer, at den, i forhold til mange andre in-situ metoder, kræver relativt få (og ofte simple) installationer, hvilket – alt andet lige – vil reducere vedligeholdelsesomkostningerne i forbindelse med oprensningen.

Begrænsninger

Den primære begrænsning ved metodens anvendelse er at biologiske processer bedst lader sig optimere under homogene og kontrollerede forhold, som kan være svære at opnå under en in-situ oprensning. Således kan ganske få inhomogeniteter i geologi, forureningsbeliggenhed eller leverance af tilsætningsstoffer bevirke, at der er afgørende forskel på nedbrydningsforholdene indenfor ganske korte afstande, hvilket kan få afgørende betydning for oprensningens udfald. Disse forhold gør, at der oftest er tale om en ganske videns- og dokumentationstung metode.

Referencer

Yderligere information omkring naturlig nedbrydning af BTEX'er, benzin, olie, klorerede opløsningsmidler og PAH'er kan hentes i (Miljøstyrelsen, 1998e og 2001). Information omkring danske erfaringer med stimuleret/augmenteret biologisk nedbrydning af fyringsolie kan f.eks. hentes i (Miljøstyrelsen, 2006a) og (Loll et al., 2007a og 2007b). På engelsk (USA) benyttes betegnelserne Bioremediation, Biodegradation og Natural Attenuation for naturlig nedbrydning. I forhold til sidstnævnte betegnelse er det dog væsentligt (i forhold til dansk praksis), at den også omfatter andre mekanismer, der får stofferne til at ”forsvinde”; f.eks. adsorption, fortynding og fordampning. I forhold til stimuleret nedbrydning benyttes betegnelserne Biostimulation og Bioaugmentation.

C.3: Termisk assisteret oprensning

Virkemåde

Der findes flere forskellige termiske metoder, som er oversigtsmæssigt behandlet i (Miljøstyrelsen 1998f). Fælles for dem er, at de benytter sig af en opvarmning af det forurenede jordvolumen til temperaturer omkring 100°C. Ved opvarmningen stiger stoffernes flygtighed, hvorved de mere effektivt kan trækkes ud af behandlingszonen via f.eks. vakuumventilering eller afværgepumpning.

Anvendelsespotentialer

Den mest anvendte opvarmningsmetode benytter sig af nedblæsning af vanddamp som trækkes igennem behandlingszonen. Termisk assisteret oprensning anvendes primært til oprensning af klorerede opløsningsmid-

ler, men kan ligeledes anvendes overfor f.eks. terpentin, benzin, kreosot og PCB. Metoden kan anvendes både under permeable og forholdsvis impermeable, såvel som inhomogene geologiske forhold, og er mest kosteffektiv ved massefjernelse i kildeområder, pga. høje enhedsomkostninger til opvarmning af jorden.

Fysiske installationer

Metoden er forholdsvis installationskrævende idet der er behov for et anlæg til generering og levering af energi/damp, samt et anlæg til håndtering, køling og rensning af meget varme ekstraherede gasser eller væsker. På grund af de store temperaturer kræves der forholdsvis meget af installationernes temperaturbestandighed og af sikkerhedsforanstaltningerne i og omkring anlægget. For at sikre en tilstrækkelig oprensningseffektivitet (og sikre mod utilsigtede effekter) kræves god kontrol med varmeudbredelsen i formationen, som igen fordrer en detaljeret monitorering af tryk, temperaturer og en grundig vurdering af jordens geotekniske egenskaber.

Støtteteknologier

Støtteteknologierne omfatter altid vakuumventilering samt kondensering og rensning af den optrukne forurenede damp. Dertil kommer ofte afværgepumpning for at have kontrol med spredning af forurenede in-situ kondensat og grundvand.

Monitorering ifht. primært teknologi

Den primære monitorering bør som udgangspunkt koncentreres omkring at dokumentere massefjernelse via en monitorering af det ekstraherede flow og forureningskomponenterne heri. Den løbende monitorering vil ofte kunne udføres i forhold til parametre, der indikerer at kritiske betingelser for oprensningen er opfyldt; hhv. at der er opnået tilstrækkeligt høje temperaturer i behandlingszonen og at der opnås en tilstrækkelig udbredelse af vakuomet omkring ekstraktionsboringerne. Dertil kommer, at det som regel vil være særligt relevant at dokumentere, at der ikke sker en utilsigtet forureningsspredning; f.eks. til underliggende grundvand og til omkringliggende poreluft. Dette er specielt interessant ifht. termiske oprensninger da der er tale om en metode, der meget hurtigt flytter store forureningsmængder. Dertil bør der foretages en monitorering på jordprøver i behandlingsområdet for at dokumentere massefjernelse af jordforureningen; gerne udtaget så der kan foretages en sammenligning igennem oprensningsforløbet (jf. dog bemærkninger i afsnit 3.2 omkring prøvetagning i jord).

Tidshorizont

Termiske oprensninger kan – i sammenligning med de øvrige in-situ metoder – gennemføres indenfor forholdsvis korte tidsrum. En succesfuld og ikke alt for stor/kompliceret termisk oprensning kan således gennemføres på imellem nogle få måneder og 1 år.

Fordele

De primære fordele ved metoden er, at den er relativt hurtig og at der kan opnås meget lave slutkoncentrationer – også under lavpermeable og inhomogene geologiske forhold.

Begrænsninger

Nogle begrænsninger for metodens udbredelse er, at den kræver et meget stort energiinput og forholdsvis store anlægsinvesteringer. Dertil kommer sikkerhedsrelaterede problemer med kontrol af dampudbredelsen og risiko for tab af bæreevne i ler- og siltlag – med følgende risiko for sætningsskader på omkringliggende bygninger. Endelig vil termisk behand-

ling ofte medføre en sterilisering af behandlingszonen, som kan nedsætte jordens evne til naturlig nedbrydning, hvis der efterlades restforurening.

Referencer

Yderligere information om termisk assisterede oprensninger kan findes i (Miljøstyrelsen, 1998f) og (Heron, 2003). På engelsk (USA) benyttes begreberne Thermal Treatment og In-Situ Thermal Desorption (ISTD).

C.4: Kemisk oxidation

Virkemåde

Der findes flere former for kemisk oxidation, der alle benytter sig af kemiske forbindelser til at oxidere/nedbryde de forurenende stoffer (Tsitonaki og Bjerg, 2007). Den mest udbredte metode bygger på oxidation med kalium-permanganat.

Anvendelsespotentialer

Kemisk oxidation anvendes næsten udelukkende til oprensning af klorede opløsningsmidler, men kan i princippet anvendes til oprensning af alle organiske forureningskomponenter der "nedbrydes" ved oxidation. Metoden kræver, at der opnås en god kontakt imellem forurening og oxidationsmiddel, hvorfor en god indledende geologisk og forureningsmæssig vurdering er altafgørende for den opnåede effekt. Metoden egner sig forholdsvist godt til massefjernelse i kildeområder, men kan også benyttes til oprensning udenfor hot-spot.

Fysiske installationer

Tilsætning af oxidationsmiddel kan ske på opløst (vandig) form eller på gasform, afhængigt af oxidationsmidlet (infiltration eller injektion). Typisk vil der være tale om lodrette eller vandrette dræn eller filtre/sonder, samt evt. div. beholdere, slanger og pumper som er nødvendige til opbevaring og dosering af oxidationsmidlerne. Da oxidationsmidlerne er meget aggressive kræves der forholdsvist omfattende sikkerhedsforanstaltninger i og omkring anlægget. For at sikre en tilstrækkelig oprensningseffektivitet (og sikre mod utilsigtede effekter) kræves god kontrol med oxidationsmidlets udbredelse i formationen, som igen fordrer en detaljeret monitorering i og omkring behandlingszonen.

Støtteteknologier

Afhængigt af tilsætningsmetoden for oxidationsmidlet (gas eller væske), vil de mest hyppige støtteteknologier bestå af hhv. vakuumventilering eller afværgepumpning for at holde kontrol med udbredelsen af oxidationsmidlet og eventuelle nedbrydningsprodukter.

Monitorering ifht. primært teknologi

Den primære monitorering bør som udgangspunkt koncentrerer omkring at dokumentere at der opnås en tilstrækkelig udbredelse af oxidationsmidlet samt, at doseringen er hensigtsmæssig; dvs. nok til at fjerne forureningen, men ikke så meget, at oxidationsmidlet spredes uhensigtsmæssigt – specielt til overfladerecipienter. Forbruget af kemisk oxidationsmiddel vil ofte være stærkt afhængigt af jordens naturlige indhold af organisk stof og reducerede metaller samt af jordens pH-værdi hvorfor disse parametre kan være relevante at få kortlagt grundigt. Nogle kemiske oxidationsprocesser er eksoterme, hvorfor det kan være relevant at monitere temperaturen i og omkring behandlingsområdet. Dertil bør der foretages en monitorering på jordprøver i behandlingsområdet for at dokumentere massefjernelse af jordforureningen; gerne udtaget så der kan foretages en sammen-

ligning igennem oprensingsforløbet (jf. dog bemærkninger i afsnit 3.2 omkring prøvetagning i jord).

Tidshorisont

Kemisk oxidation er en forholdsvis aggressiv teknologi, baseret på hurtige processer, hvorfor oprensninger potentielt kan gennemføres indenfor en relativt kort tidshorisont. Typiske oprensningstider for kemisk oxidation ligger således i størrelsesordenen ½ - 3 år.

Fordele

De primære fordele ved metoden er, at den er relativt hurtig og at der kan opnås lave slutkoncentrationer ved en korrekt frembringelse af oxidationsmidlet til de forurenede områder.

Begrænsninger

Nogle begrænsninger for metodens udbredelse er, at der kan være et forholdsvis stort forbrug af oxidationsmiddel til naturligt forekommende organisk stof og reducerede uorganiske forbindelser (f.eks. reducerede metalforbindelser); til en sådan grad, at det naturlige forbrug langt over skygger forbruget til forureningsreduktion. Metoden har tillige sine begrænsninger i forhold til forureninger der ligger i inhomogene eller forholdsvis impermeable aflejringer (ler eller silt), hvor det er svært at fordele og frembringe oxidationsmidlet til de forurenede områder. Ved behandling i koncentrerede hot-spots kan der endvidere være sikkerhedsmæssige betragtninger omkring varme-/trykudvikling, da oxidationsprocesserne er varmeudviklende.

Referencer

Yderligere information om kemisk oxidation kan findes i (Dall-Jepsen, 2003) samt i (Miljøstyrelsen, 2003 og 2006b). På engelsk (USA) benyttes betegnelsen In-Situ Chemical Oxidation (ISCO).

C.5: Forceret udvaskning

Virkemåde

Ved forceret udvaskning foretages en lodret gennemskylning/vaskning af behandlingszonen med vand, som evt. er tilsat tilsætningsstoffer (f.eks. detergenter) for at øge opløseligheden af forureningsstofferne. Stofferne udvaskes med vandet til grundvandszonen hvorfra de oppumpes og vandet behandles. Metoden svarer til en accelereret version af den udvaskning der naturligt sker ved infiltration og nedsivning af nedbør.

Anvendelsespotentialer

Metoden har selv sagt det største potentiale i forhold til stoffer med en forholdsvis høj opløselighed (BTEX'er, phenoler og klorerede opløsningsmidler), men har – i konkurrence mod de øvrige in-situ metoder – nok sit primære potentiale i forhold til uorganiske forureningskomponenter (primært tungmetaller) og radioaktive stoffer. Anvendelsespotentialet er størst i forholdsvis homogene og permeable jordtyper (mellem- til grovkornede sandjorde). Metoden er ikke velegnet til forureninger med forekomst af fri fase.

Fysiske installationer

Injektion eller infiltration af vand kan ske fra vandrette dræn, skråtstillede eller lodrette filtre, eller fra bunden af udgravninger. Dertil kræves evt. beholdere, slanger og pumper i forbindelse med opbevaring, dosering og opblanding af vand og eventuelle tilsætningsstoffer. Til oppumpning og sikring af hydraulisk kontrol kræves en eller flere grundvandspumper

samt et evt. anlæg til rensning, re-infiltration og evt. oparbejdning af tilsætningsstofferne med henblik på genbrug.

Støtteteknologier

En integreret støtteteknologi ved metoden er afværgepumpning til sikring af hydraulisk kontrol med det udvaskede vand og de indeholdte forureningsstoffer. Dertil kommer eventuelle filterteknologier til rensning af vandet for forureningsstoffer og/eller oparbejdning af tilsætningsstofferne såfremt de kan og ønskes genbrugt og re-infiltreret.

Monitering ifht. primært teknologi

Moniteringen bør som udgangspunkt koncentrerer omkring at dokumentere at den ønskede udvaskning finder sted, hvilket lettest lader sig gøre i det vand der oppumpes fra grundvandet under behandlingszonen. Via en registrering af de oppumpede vandmængder kan der gives et estimat på massefjernelsen. Endvidere vil det altid være særligt relevant at dokumentere, at der er opnået hydraulisk kontrol med infiltrationen og de udvaskede forureningskomponenter, således at der opnås sikkerhed for, at der ikke sker en utilsigtet forureningsspredning til grundvandet omkring og nedstrøms behandlingszonen. Dertil bør der foretages en monitering på jordprøver i behandlingsområdet for at dokumentere massefjernelse af jordforureningen; gerne udtaget så der kan foretages en sammenligning igennem oprensingsforløbet (jf. dog bemærkninger i afsnit 3.2 omkring prøvetagning i jord).

Tidshorisont

Der er kun meget begrænsede erfaringer med metoden, hvilket gør, at det er svært at give et bud på typiske oprensningstider. Vores umiddelbare gæt er dog i størrelsesordenen 1-3 år.

Fordele

Den primære fordel ved metoden er, at den kan anvendes overfor nogle forureningskomponenter (tungmetaller og radioaktive stoffer), som de konkurrerende teknikker ikke egner sig til at fjerne. Dertil kommer, at metoden er forholdsvist egnet til at behandle dybe umættede zoner – uden væsentlige meromkostninger.

Begrænsninger

Nogle begrænsninger for metodens udbredelse er, at den ikke er særligt egnet i lavpermeable eller inhomogene geologiske formationer idet den mulige gennemstrømning begrænses væsentligt. Brug af tilsætningsstoffer/detergenter for at øge udvaskningseffektiviteten kræver ligeledes, at man kan bevise overfor myndigheder, at der er fuldstændig styr på spredningsvejene i både den umættede og mættede zone.

Referencer

Yderligere information om forceret udvaskning kan findes i (Miljøstyrelsen, 2005) hvor metoden er kombineret med naturlig nedbrydning. På engelsk (USA) benyttes betegnelserne Soil Flushing eller Cosolvent Flushing.

C.6: Phytooprensning

Virkemåde

Ved phytooprensning benyttes planter til at fjerne, nedbryde eller stabilisere forureningskomponenter. Metoden benytter sig af tre mekanismer til forureningsfjernelsen. Dels kan de befordre en biologisk nedbrydning omkring planterødderne eller inden i planternes ved eller blade, dels kan de udtrække stofferne fra jorden/porevandet og akkumulere dem i plan-

tematerialet, og endelig udskiller nogle plantetyper stoffer via rodnettet, som medfører en stabilisering umiddelbart omkring rødderne.

<i>Anvendelsespotentialer</i>	Phytooprensning kan anvendes til at oprense metaller, pesticider, klorerede opløsningsmidler, tung olie og PAH'er, men kræver en dybdemæssig beliggenhed og en jordtype, der er befordrende for rodvækst. Metoden egner sig bedst til diffuse forureninger der ikke udgør en akut risiko.
<i>Fysiske installationer</i>	Metoden kræver kun plantning af planter/træer, med en tilstrækkelig tæthed til at dække behandlingsvoluminet med et kraftigt rodnet. Det kan evt. være nødvendigt med etablering af anlæg til kunstvanding og evt. faciliteter til håndtering af gødning.
<i>Støtte teknologier</i>	Kan kræve kunstvanding og gødskning.
<i>Monitering ifht. primært teknologi</i>	Den primære monitering bør som udgangspunkt koncentreres omkring at dokumentere massefjernelse af jordforureningen igennem en monitering af forureningskomponenterne i jordprøver udtaget i behandlingsområdet; gerne så der kan foretages en sammenligning igennem oprensingsforløbet (jf. dog bemærkninger i afsnit 3.2 omkring prøvetagning i jord). Der til kan det være relevant at foretage en monitering ifht. at sikre, at betingelserne for planternes vækst er optimale, herunder specielt mht. vand og næringsstoffer.
<i>Tidshorisont</i>	Afhængigt af forureningstype, jordtype og plantetype kan der være forskelle i oprensningstiden, men ét ligger dog fast: Der er tale om en forholdsvis langsom oprensningstype. Det er formentlig urealistisk at forvente oprensningstider på mindre end 5-10 år, og man kan formentlig opstille scenarier med oprensningstider på op mod 100 år eller mere.
<i>Fordele</i>	Metoden er billig og lavteknologisk og har tilsyneladende en bred vifte af anvendelsesmuligheder hvad angår forureningskomponenter.
<i>Begrænsninger</i>	Den primære begrænsning for teknologiens anvendelse er formentlig, at den er meget langsommelig, og at den sætter store begrænsninger for arealanvendelsen mens oprensningen foregår. Dertil kan metoden ikke anvendes ved dybtliggende forureninger, i meget fede jorde eller for stærkt adsorberede forureninger. Rodvæksten kan yderligere være begrænset hvis der forekommer fri fase eller høje koncentrationer (specielt af metaller) pga. toksiske effekter overfor planterne.
<i>Referencer</i>	Yderligere information om phytooprensning kan findes i (Miljøstyrelsen, 1998g og 1999). På engelsk (USA) benyttes betegnelsen Phytoremediation.