

Säkring av efterbehandlingsåtgärders effekt över tiden

RAPPORT 5757 • NOVEMBER 2007



Kunskapsprogrammet

**HÅLLBAR
SANERING**



Säkring av efterbehandlingsåtgärders effekt över tiden

Bo Carlsson (huvudförfattare)
Envipro Miljökonsult
Hifab AB

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: natur@cm.se

Postadress: CM-Gruppen, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: www.naturvardsverket.se/bokhandeln

Naturvårdsverket

Tel 08-698 10 00, fax 08-20 29 25

E-post: natur@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 978-91-620-5757-2.pdf

ISSN 0282-7298

Elektronisk publikation

© Naturvårdsverket 2007

Tryck: CM Gruppen AB

Omslagsfoto: Bo Carlsson, Envipro Miljöteknik

Förord

Ett av riksdagens miljömål är Giftfri miljö, och i detta mål ingår att efterbehandla och sanera förorenade områden. Brist på kunskap om risker med förorenade områden och hur de bör hanteras har identifierats som hinder för ett effektivt saneringsarbete. Naturvårdsverket har därför initierat kunskapsprogrammet Hållbar Sanering.

Denna rapport redovisar projektet ”Långsiktig effekt av efterbehandling” som har genomförts inom Naturvårdsverkets kunskapsprogram Hållbar sanering. Projektet omfattar tekniska och administrativa efterbehandlingsåtgärder utförda i områden där föroreningar lämnas kvar. Projektets övergripande mål är att analysera behovet av och möjligheterna till att säkra efterbehandlingsåtgärders effekt över tiden genom att definiera betydelsefulla processer, faktorer och skeenden rörande förutsättningar för, egenskaper hos samt kontroll och eventuella korrigeringar av tekniska och administrativa åtgärder. Projektets tyngdpunkt ligger således på att analysera viktiga frågeställningar som på något sätt bör tas upp och behandlas i efterbehandlingsprojekt rörande efterbehandlingens funktion över tiden. Avsikten är dock inte att projektet ska forma någon handbok.

I projektgruppen har medverkat Bo Carlsson, Tom Lundgren, Per Östlund och Pär Elander vid Envipro Miljöteknik (Hifab AB) samt Bo Svensson, Tema Vatten vid Linköpings universitet. Bo Carlsson har fungerat som projektledare och är huvudförfattare till rapporten. Grundmaterialet till kapitel 3 (föroreningskällans biogeokemiska processer) är framtaget av Bo Svensson och Per Östlund, kapitel 5 (föroreningskällans fysikaliska egenskaper) av Bo Carlsson och Pär Elander, kapitel 7 (omgivningsförändringar) av Tom Lundgren samt kapitel 8 (tekniska åtgärder) och kapitel 10 och 11 (övervakning, kontroll och korrigering respektive deponering) av Bo Carlsson. Lisa Ledskog (Envipro Miljöteknik) har väsentligt bidragit till kapitel 9 (administrativa åtgärder).

Som underlag för diskussionerna har utredningsmaterial och erfarenheter från ett antal genomförda efterbehandlingar använts där föroreningar, skyddade av barriärer, kvarlämnats och där frågor om beständighet i ett längre tidsperspektiv varit centrala. Projektet har fått värdefulla synpunkter av en referensgrupp bestående av Per Gullbring, länsstyrelsen i Halland län, Mikael Hägglöf, Fröberg och Lundholm advokatbyrå, Gunnar Karlsson, GK-resurs/Envipro Miljöteknik (tidigare miljöchef vid Swedish Tissue) samt Hållbar sanerings kontaktperson Tommy Hammar, länsstyrelsen i Kalmar län. Mikael Hägglöf har granskat de juridiska frågorna som tagits upp i de olika kapitlen. Projektgruppen vill tacka dessa och alla andra som bidragit med information och synpunkter.

Naturvårdsverket har inte tagit ställning till innehållet i rapporten. Författarna svarar ensamma för innehåll, slutsatser och eventuella rekommendationer.

Naturvårdsverket november 2007

Innehåll

FÖRORD	3
INNEHÅLL	5
SAMMANFATTNING	7
SUMMARY	13
1 PROJEKTETS BAKGRUND OCH SYFTE	16
2 METOD OCH GENOMFÖRANDE	18
3 FÖRORENINGSKÄLLANS FYSIKALISKA, KEMISKA OCH BIOLOGISKA PROCESSER	20
3.1 Allmänt	20
3.2 Icke organiska föroreningar	20
3.3 Organiska föroreningar	23
4 TIDSPERSPEKTIVET	29
5 FÖRORENINGSKÄLLANS FYSIKALISKA EGENSKAPER	31
6 SKYDDSOBJEKTEN	34
7 OMGIVNINGEN	36
7.1 Allmänt	36
7.2 Oavsiktlig grävning i skyddsbarriär eller förorenade massor	37
7.3 Oavsiktlig borring i skyddsbarriärer eller förorenade massor	38
7.4 Grundvattennivåförändring	39
7.5 Storm med vindfällning av träd	41
7.6 Påverkan av frost	42
7.7 Påverkan av växter (rotpenetration)	43
7.8 Påverkan av (grävande) djur	44
7.9 Förändrade stabilitetsförhållanden	45
7.10 Brand i området eller i dess omgivning	46
7.11 Översvämning	47
7.12 Sabotage eller krigshandling	48
7.13 Landhöjning/landsänkning	48
7.14 Klimatförändringen	49
7.15 Jordbävningar	49
7.16 Nästa istid	49
8 TEKNISKA ÅTGÄRDER	51
8.1 Allmänt	51

8.2	Kontrollerbarhet, åtkomlighet, reparerbarhet och framtida åtgärder	51
8.3	Beständighet (funktion på lång sikt)	51
8.4	Åtgärds mål, funktioner och kravspecifikationer	53
9	ADMINISTRATIVA ÅTGÄRDER	54
9.1	Allmänt	54
9.2	Administrativa verktyg	54
10	ÖVERVAKNING, KONTROLL OCH KORRIGERING	60
10.1	Allmänt	60
10.2	Validering, verifiering och korrigerande åtgärder	60
10.3	Övervakning, kontroll och korrigerande åtgärder på lång sikt	61
11	DEPONERING	64
11.1	Allmänt	64
11.2	Tidsperspektivet i deponerings- förordningen	64
11.3	Deponikonstruktioner i praktiken	65

Sammanfattning

I denna rapport analyseras frågeställningar avseende efterbehandlingsåtgärder i områden där föroreningar lämnas kvar. Särskild betoning är lagd på vad som bör innefattas av aspekter och ställningstaganden när det gäller tekniska och administrativa åtgärders beständighet i syfte att säkra åtgärdernas effekt över lång tid. De effekter som analysen avser begränsas till risken för ökad exponering eller ökad spridning av föroreningarna från området. Någon värdering av andra effekter, t.ex. ökad toxicitet hos föroreningskällan, görs inte.

En mängd processer och faktorer påverkar en förorenings exponering och spridning. I ett kort perspektiv kan dessa processer och faktorer kartläggas och en prognos upprättas för tillstånd och utveckling i föroreningskällan, dess exponering och spridning samt vad som krävs av skyddsåtgärder. I ett längre tidsperspektiv blir en sådan prognos osäker för att med tilltagande tidsperspektiv till slut inte bli trovärdig.

I rapporten redovisas och diskuteras i sista avsnittet säkringen av skyddsåtgärders funktion vid deponier. Avsikten är att ge en jämförelse inom ett område där en reglering av liknande frågor existerar i lagstiftningen genom förordningen 2001:512 om deponering av avfall, som har sitt ursprung i ett EU-direktiv om deponering.

Nedan redogörs för de konklusioner som gjorts i varje kapitel i rapporten.

Föroreningskällans fysikaliska, kemiska och biologiska processer

En föroreningskällans egenskaper med avseende på dess spridningsbenägenhet domineras av respektive förorenings löslighet i vatten och flyktighet i luft. Vilka faktorer som styr dessa egenskapers förändring är därför centrala att kartlägga. För den del av föroreningen som inte är löslig krävs för spridning en fysisk omfördelning av materialet, t.ex. via erosion. Spridningen äger då rum via suspenderat material i vatten eller via damm i luft, ett förhållande som oftast går att eliminera med relativt enkla skyddsåtgärder.

Vatten har en central roll i en föroreningskällans förändring. Förenklat kan man säga att ju torrare en föroreningskälla är desto sämre förutsättningar finns för förändringar. Ofta medför dessutom högre vattenomsättning i källan större förutsättning för förändringar genom att externt vatten kan föra in substanser som startar nya eller påskyndar befintliga förändringsprocesser.

Processer som dominerar förändringar i oorganiska föroreningars egenskaper, relaterade till exponerbarhet och spridning, är pH, redox och starkt komplexbildande organiska ämnen samt mikrobiella processer som förbrukar syre, sänker pH eller omvandlar föroreningsämnen.

Processer som dominerar förändringar i organiska föroreningars egenskaper, relaterade till exponerbarhet och spridning, är förbundna med föroreningarnas laddningsförhållanden och den mikrobiella nedbrytningen. Laddningsförhållandena är i sin tur beroende av föroreningsens struktur och kommer till uttryck i föroreningsens hydrofoba och hydrofila egenskaper. För den mikrobiella nedbrytningen är sannolikt redox, främst i form av syretillgången, och vattenlösligheten av störst

betydelse. Vattenlösligheten, som också väl beskriver adsorptionsbenägenheten till partiklar, bestämmer också föroreningskoncentrationen i markvattnet, vilken är av betydelse eftersom tröskeeffekter finns. Andra betydande faktorer är temperatur, vattenhalt, pH och tillgång till näringsämnen.

De förändringsprocesser som över tiden är betingade enbart av förhållandena i själva källan, utan påverkan från omgivningen, bör i de flesta fall kunna förutses och kalkyleras avseende utfall och hastighet. Därutöver bör, om omgivningsförhållandena är kända, en prognos kunna upprättas även för yttre påverkan. Osäkerheten ökar emellertid i prognosen i ett långt tidsperspektiv, eftersom omgivningsförändringarna blir mer osäkra med tiden. Följaktligen är det osäkerheten i omgivningens förändring som dominerar osäkerheten i föroreningskällans ändrade egenskaper. En väsentlig aspekt på val av efterbehandlingsåtgärd är därför att skapa stabila betingelser för föroreningskällan och att helst eliminera ogynnsam framtida omgivningspåverkan eller i vart fall att reducera risken för sådan påverkan.

Tidsperspektivet

Det är i praktiken inte möjligt att dimensionera en efterbehandlingsåtgärd med en funktion över "evig tid" med mindre än att föroreningskällan helt avlägsnas. I de fall föroreningar kvarlämnas inom ett område måste antingen tiden begränsas och åtgärden ersättas alternativt att en "långtidsåtgärd" skapas som övervakas, underhålls och justeras eller ersätts vid behov. Dimensioneringen av en "långtidsåtgärd" kan sannolikt i många fall göras trovärdig i ett hundraårsperspektiv, möjligen i några hundra år. I ett längre tidsperspektiv blir osäkerheterna i omgivningens påverkan, på såväl föroreningskällan som åtgärden, så stora att funktionen bör ifrågasättas.

Föroreningskällans fysikaliska egenskaper

De fysikaliska egenskaper som betyder mest för exponeringen och spridningen är föroreningskällans permeabilitet (genomsläpplighet) för gas och vatten samt förmågan att hålla vatten. Dessa egenskaper är i sin tur beroende på kornstruktur och kornstorlek.

Den mest väsentliga förändringen av permeabiliteten i en föroreningskälla uppkommer sannolikt vid omlagringar skapade av någon brottmekanism, t.ex. skred eller hydrauliskt brott. Andra väsentliga förändringar kan framkallas genom deformationer (främst sättningar), vittring och nedbrytning av organiskt material.

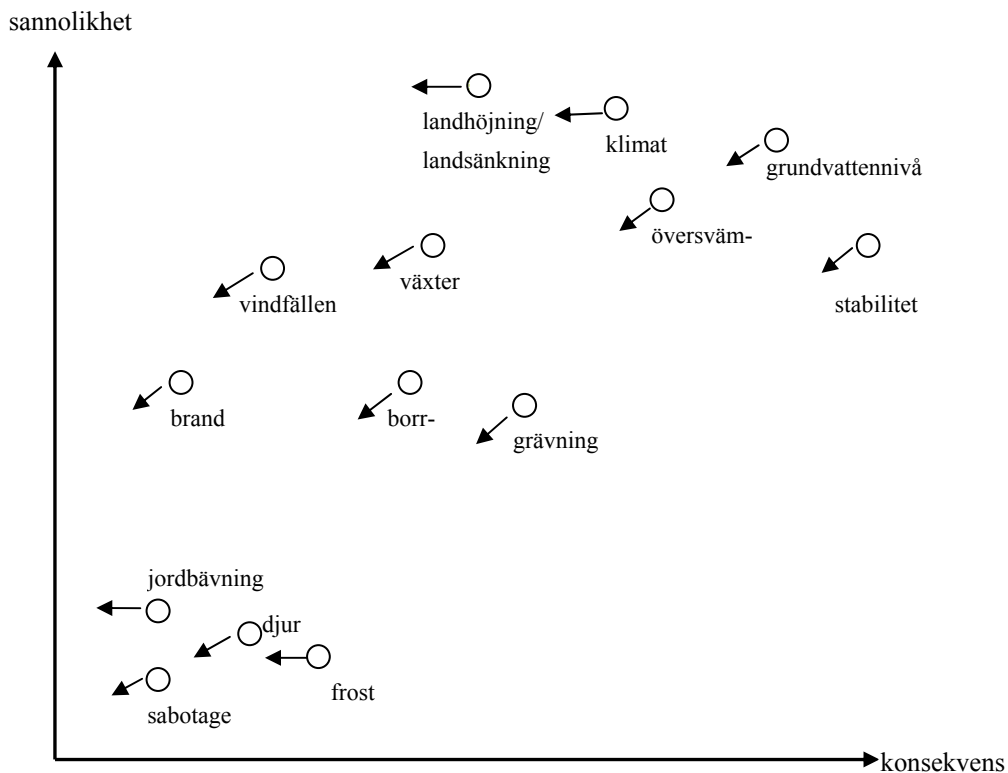
Skyddsobjekten

Det har i projektet, främst beroende på svårigheter att kräva att efterbehandlingsåtgärder ska kompletteras i efterhand på grund av att annat skyddsobjekt eller annat skyddsvärde inträder, inte ansetts fruktbart att analysera förändringar i skyddsobjektets status över tiden.

Arbetsgruppen och referensgruppen kom därför fram till att skyddsobjekten och skyddsbehoven bör ses som givna vid efterbehandlingstillfället, t.ex. genom en fastlagd markanvändning, samt att samhället ska förutsättas kunna upprätthålla information och styrmedel över mark och vatten.

Omgivningen

En översiktlig sammanfattning ges nedan där ogynnsamma utfall av omgivningsförändringar på lång sikt har lagts in i ett diagram med stigande sannolikhet på vertikala axeln och ökad negativ konsekvens för exponering och spridning på horisontella axeln. I diagrammet markerar pilar hur åtgärder kan minska sannolikheten och konsekvensen. Åtgärderna för att åstadkomma detta är en kombination av tekniska och administrativa åtgärder, där i allmänhet de administrativa åtgärderna verkar vertikalt i diagrammet och de tekniska horisontellt.



Ogynnsamma utfall av olika omgivningsförändringar samt åtgärders effekt (pilar)

Tekniska åtgärder

Det finns begränsat med beständighetsstudier på konstruktioner och konstruktionsmaterial i tidsperspektivet hundra år eller mer. Bristen kan kompenseras med studier av naturens egna formationer och de artificiella konstruktioner som människan skapat och som fungerat under mycket lång tid. Det är emellertid viktigt att klargöra under vilka förutsättningar materialen, formationerna och byggnadsverken fungerat och att jämföra dessa med de förutsättningar som råder i det aktuella efterbehandlingsfallet.

Inte bara materialen som sådana är av intresse utan också samverkan mellan materialen. Det är därför inte tillräckligt att visa på beständighet hos de enskilda materialen utan också hur de kombineras. Exempel är utformningen av dräneringsskikt där valet av fel kornstorleksfördelning i och kring dräneringen kan leda till inre erosion och igensättning av dräneringen.

Ett naturligt (geologiskt) material som bör uppmärksammas särskilt i detta sammanhang är bentonit. Materialet används idag frekvent i ”miljökonstruktioner” och planeras bland annat att användas som buffert i djupförvaret för kärnavfall. Bentonit utgörs av sedimenterad vulkanisk aska. Bentonit säljs idag i förtillverkade element (mattor) och i lös form. Bentonit kan inte brytas ned och förstöras men dess egenskaper kan förändras i vissa (geokemiska) miljöer.

Cement- och betongliknande material intar en särskild ställning i fråga om beständighet. Romarna använde för flera tusen år sedan sådana material i sina konstruktioner, av vilka flera fortfarande är intakta och kan studeras. Det finns också flerhundraåriga artificiella konstruktioner i naturmaterial som kan tjäna som vägledning i beständighetshänseende. Exempel är jorddammar, kanalbyggnader och invallningar.

En särställning intar åtgärder som innebär att föroreningarna fixeras kemiskt genom inblandning av stabiliseringsmaterial i den förorenade matrisen, eller i s.k. reaktiva barriärer. Denna typ av metoder bygger vanligtvis på att föroreningar fastläggs i en kemisk form, eller adsorberas, och som ger en begränsad mobilitet. Dessa metoder kan vara effektiva men också känsliga för långsiktiga förändringar av de biogeokemiska förhållandena.

Kontrollerbarhet, åtkomlighet och reparerbarhet understryks särskilt i denna rapport när det gäller utformningen av tekniska åtgärder. Mot bakgrund av osäkerheten om framtida omgivningspåverkan i kombination med osäkerhet i tekniska funktioners beständighet, bör i samtliga efterbehandlingsfall dessa faktorer beaktas i utformningen.

Administrativa åtgärder

I så gott som alla områden, där föroreningar kvarlämnas, krävs någon form av administrativa skyddsåtgärder. I kombination med tekniska åtgärder kan administrativa åtgärder vara verkningsfulla och kostnadseffektiva för att nå önskat resultat i efterbehandlingen.

Exempel på administrativa åtgärder är restriktioner i grävning eller föreskrifter och anvisningar om placeringen av VA-ledningar i syfte att framtida läckor eller reparationer inte ska öka risken för exponering eller spridning av föroreningarna.

En central fråga är om och hur administrativa åtgärder kan göras tillämpliga och beständiga. I rapporten diskuteras fyra administrativa verktyg; miljöriskområden, regionala och lokala databaser, fastighetsregistret och detaljplaner. Av dessa verktyg är det endast miljöriskområden som med dagens regelverk kan sägas uppfylla kraven på beständighet.

Inget område i Sverige är idag förklarat som miljöriskområde. Förklaringarna är många; man anser bland annat att processen är komplicerad och att den rättsbindande verkan som ett beslut för med sig har psykologiska effekter ("döda områden" eller liknande). Miljöriskområden som administrativa verktyg borde dock kunna utvecklas i syfte att säkra efterbehandlingsåtgärders effekt på lång sikt. En förklaring om miljöriskområde medför också möjligheter att under lång tid fastlägga markanvändningen, vilket kan vara till fördel i samhällets investeringar i t.ex. infrastruktur.

Övervakning, kontroll och korrigerering

Den kvalitetssäkring som görs idag är i de flesta fall inriktad på sluttillståndet av en åtgärd och ska visa att fastställd funktion uppnåtts omedelbart efter utförandet och inom viss garantitid. Miljökontrollprogram, ofta baserade på effektmätningar (t.ex. halt i vatten eller i fisk) utförs därefter, av verksamhetsutövaren eller av samhället, i syfte att kontrollera att åtgärden fungerar som avsett. Effekterna är dock sällan kopplade till enskilda funktioner hos åtgärden, varför svårigheter uppstår om korrigeringar i åtgärden behöver göras till följd av utebliven eller liten effekt.

För att säkra efterbehandlingsåtgärders effekt över lång tid bör övervakning och kontroll också omfatta "nyckelparametrar" i föroreningskällan, i omgivningsförändringar och i tekniska konstruktioner som vid förändring får stor betydelse för exponeringen och spridningen. Viss, i förväg, fastställd dignitet på förändringarna bör aktivera en handlingsplan. I planen ska ingå korrigerande åtgärder som går ut på att kompensera eller mildra förändringens negativa effekt.

Dagens miljökontrollprogram fyller en viktig funktion men är till sin natur "reaktiva" och går ut på att reparera redan uppkomna olägenheter eller skador. Önskvärt är att införa ett "proaktivt" synsätt där kritiska processer och skeenden för oacceptabel exponering och spridning så långt som möjligt kartlagts redan från början och som kan aktiveras innan olägenheten eller skadan uppstått.

Deponering av avfall

Deponeringsförordningen föreskriver ingen direkt tidshorisont som ska ligga till grund för dimensioneringen av skyddsåtgärderna kring en deponi. Däremot anges sådana på vissa ställen i allmänt råd och i vägledningen till förordningen. I fallet med sluttäckning sägs i vägledningstexten att det ska framgå av underlaget hur länge som valda material är beständiga och om behov finns att i framtiden underhålla, byta ut eller laga något skikt.

I praktiken konstrueras idag skyddsåtgärderna för deponier med syftet att material och konstruktioner ska vara beständiga över lång tid. Det finns dock uppenbara svagheter i konstruktionerna, bland annat gäller detta mäktigheten på sluttäckningen, som inte tillgodoser kravet på tjocklek för fri markanvändning. Avslutade deponier borde därför förses med administrativa restriktioner i detta avseende.

Slutsatsen kan dras att de skyddsåtgärder som idag vidtas kring en deponi inte är noterbart mer säkrade på lång sikt än de skyddsåtgärder som vidtas kring förorenade områden.

Summary

This report is focused on long term issues concerning remediation measures in areas where contaminants to some extent still remain after remediation. Special attention is put on topics associated with aspects regarding the constancy or durability of “engineered” and administrative measures taken in order to secure the area.

The analysis of the study addresses effects of increased risk for exposure or increased mobility of the contaminants. Other effects, such as increased toxicity of the source of the contamination, have not been assessed.

Below, the head sections of the report, including brief conclusions, are presented.

The physical, chemical and biological processes of the source of contamination

In a long time perspective, the uncertainty about changes of the surrounding conditions, and their impacts, affects the uncertainty of changed characteristics of the source more than the changes within the source itself. An essential aspect when choosing method of remediation is therefore to secure stable conditions for the source and also preferably to eliminate unfavourable future impacts from the surroundings, or at least, to reduce the risk of such impacts.

The time perspective

In many cases, long lasting remediation measures can be designed with confidence in a time perspective of hundred years, possibly a few hundred years. In a longer time perspective, the uncertainties regarding impacts on the source induced by changed external conditions will be so large that the functions of the measures should be questioned.

The physical properties of the source of contamination

The most important physical properties of the source for increased exposure or increased mobility are permeability for gas or fluids and the ability of the contaminated volume to contain water. These properties can significantly be changed by e.g. slope failure, erosion, hydraulic failure, weathering and biodegradation.

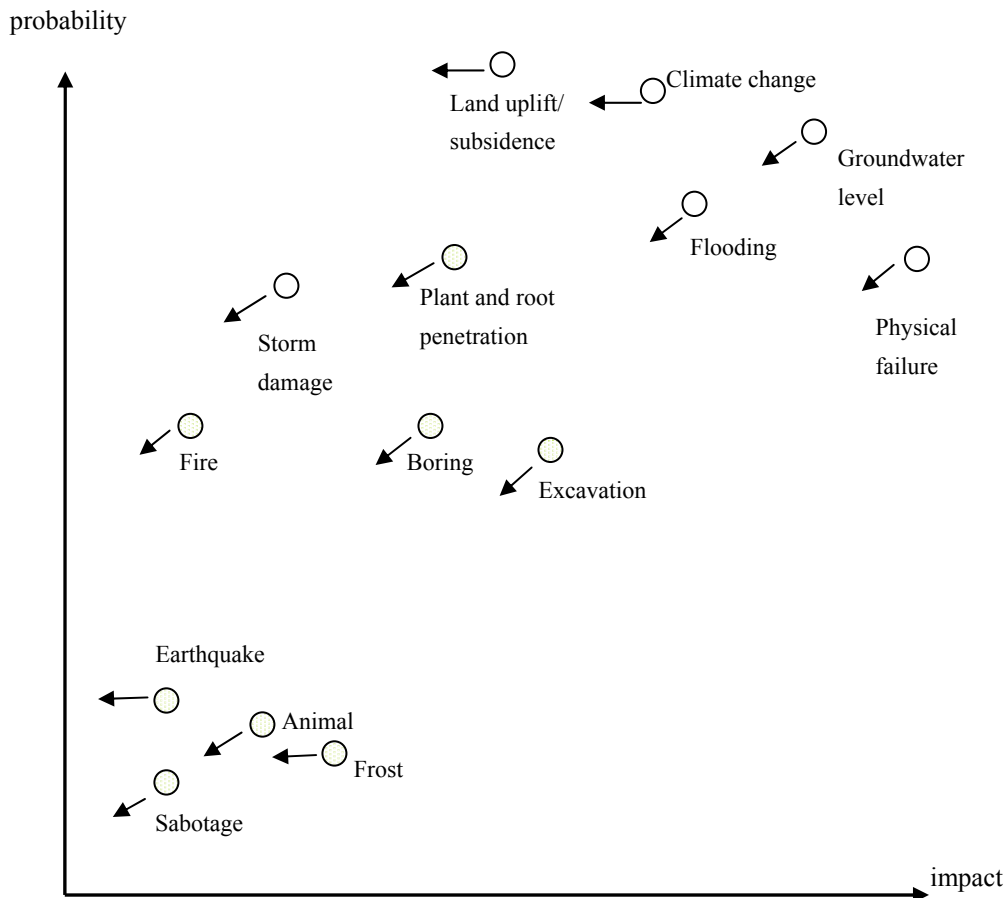
Future sensitivity of exposed objects

Remediation measures taken with the purpose to avoid harmful consequences for such exposed objects (humans and environment) that are subjected to a future rise in sensitivity, have not been concluded in the project. The main reason for this is that there is no legal basis in Sweden to force anybody to take into account unforeseeable future changes. This issue is therefore merely of theoretical concern.

The surroundings

In the figure below external changes are noted, which probably will lead to increased exposure or mobility of contaminants. The vertical axis shows increasing probability and the horizontal axis shows increasing harmful impact.

Arrows in the figure mark how remediation measures can reduce probability and harmfulness of impacts. In general, vertical arrows are related to administrative regulations (e.g. land use restrictions) and horizontal arrows to “engineered” measures.



Unpleasant impacts caused by indicated changes in the surroundings and effects of measures (arrows)

“Engineered” remediation measures

There are few studies made concerning durability of structures and materials over long time periods (hundred of years). The need for such results can be compensated by studies of formations in nature or of still working artificial, ancient structures. However, when comparing them with remediation measures, it is important to make clear the working conditions for such natural formations and artificial structures. Completely other conditions can be at hand in a contaminated area.

In this section of the report, special attention has been put to the ability of controlling, reaching and restoring measures already taken. This is of vital interest since the uncertainty of future impact increases with time.

Administrative controls

Administrative precaution measures, of any type, are required for most remediated areas where contaminants remain. Combined administrative and “engineered” measures are efficient regarding costs and reduction of harmful impacts. One of the most important administrative measures in a remediated area is a restriction on land use.

Surveillance, monitoring and corrective actions

Today most surveillance programs are focused on effects on humans and environment. In case of non-conformance, corrective actions are reactive in the sense that they are aimed to stop and “repair” inconveniences or damages already arisen. Introduction of a “proactive” approach is discussed in the report, where e.g. critical changes in the surroundings, which probably will trigger unacceptable exposure or mobility of contaminants, should be analysed and settled. Preventive actions can then take place in order to eliminate or reduce harmful impacts.

Landfills

Landfill design and associated protective measures are to a great extent governed by legislative regulations. The report discusses shortly protective measures for landfills and their durability over time. The conclusion is drawn that the protective measures for landfills taken today in Sweden is evidently not more durable in the long time perspective than protection measures currently taken for contaminated sites.

1 Projektets bakgrund och syfte

Detta projekt omfattar tekniska och administrativa efterbehandlingsåtgärder utförda i områden där föroreningar lämnas kvar. Projektets övergripande mål är att analysera behovet av och möjligheterna till att säkra efterbehandlingsåtgärders effekt över tiden genom att definiera betydelsefulla processer, faktorer och skeenden rörande förutsättningar för, egenskaper hos samt kontroll och eventuella korrigeringar av tekniska och administrativa åtgärder.

Analysen avser påverkansförändringar i form av ökad exponering eller ökad spridning av föroreningarna från området. Någon värdering av övriga effekter, t.ex. ökad toxicitet, görs inte.

I många fall leder inte efterbehandlingsåtgärder till en fullständig borttagning av föroreningar i jord eller sediment, dvs. föroreningskällan elimineras inte helt. Anledningarna är flera; en nödvändig riskreduktion kräver inte alltid eliminering av föroreningskällan utan kan klaras med att t.ex. bygga en eller flera barriärer på platsen. Andra anledningar är att massor med måttliga föroreningshalter kvarlämnas för att de inte bedöms utgöra någon risk vid rådande markanvändning eller att föroreningarna förekommer i rasbenägna eller skredfarliga områden där borttagningen i sig innebär så stora risker att någon form av käll-, transport- eller skyddsobjektbarriär är att föredra. Vidare blir en eliminering av föroreningskällan ibland så kostsam att den inte bedöms rimlig eller skäligen i förhållande till riskerna och hur dessa kan begränsas med andra åtgärder på platsen.

I ett efterbehandlingsprojekt ska riskanalysens och riskbedömningens slutsatser omvandlas till konkreta åtgärder baserade på fastställda åtgärds mål. Åtgärderna förses med funktionskrav och kravspecifikationer som omfattar föreskrifter om hur åtgärderna ska genomföras samt hur målen, kraven och specifikationerna ska säkras. Ofta föreslås alternativa åtgärder med olika omfattning och ambitionsnivå som tillgodoser åtgärds målen. I riskvärderingen görs sedan en avvägning mellan kostnaden för åtgärderna vid olika ambitionsnivå, kvarstående risker och påverkan på andra intressen varefter ett beslut tas om vilka åtgärder som ska genomföras.

Utöver tekniska åtgärder krävs i så gott som alla fall där föroreningar kvarlämnas också administrativa åtgärder. De administrativa åtgärderna kan utgöras av restriktioner i någon form, t.ex. för markanvändningen, men också av informationsaktiviteter etc. I denna rapport avses med begreppet åtgärd både tekniska och administrativa åtgärder.

En fråga som hittills inte utretts tillfredsställande är hur länge respektive åtgärd ska vara beständig över tiden och vilken tidshorisont som är rimlig att betrakta. Det finns därför behov av att utreda vilka aspekter och vilka analyser som ska föregå beslut om åtgärder i syfte att säkra åtgärdernas effekt på lång sikt.

Projektet har som syfte att, med avseende på efterbehandlingsåtgärders beständighet över tiden, upprätta ett förslag till vad man bör analysera och hantera avseende:

- Förutsättningar som ligger till grund för åtgärder och som rör föroreningskällan, omgivningen och skyddsobjektet/skyddsobjekten

- Tekniska åtgärder
- Administrativa åtgärder
- Övervakning och kontroll av åtgärder och förutsättningar samt möjlighet till korrigerande åtgärder

2 Metod och genomförande

Projektet har organiserats i en arbetsgrupp och en referensgrupp. Arbetsgruppens medlemmar har varit:

- Bo Carlsson (Envipro, projektledare)
- Pär Elander (Envipro)
- Tom Lundgren (Envipro)
- Bo Svensson (Linköpings universitet)
- Per Östlund (Envipro)

Referensgruppens medlemmar har varit:

- Per Gullbring (Länsstyrelsen i Hallands län)
- Mikael Hägglöf (Fröberg & Lundholm Advokatbyrå)
- Gunnar Karlsson (Tidigare Swedish Tissue, numera GK-resurs/Envipro)

I arbetsgruppen för projektet har uppgifter fördelats i följande delarbetsuppgifter:

- Förutsättningar som ligger till grund för åtgärder och som rör föroreningskällan, omgivningen och skyddsobjektet/skyddsobjekten under följande rubriker:
 - a) Föroreningskällans biologiska, kemiska och biogeokemiska processer
 - b) Föroreningskällans fysikaliska processer
 - b) Omgivningen
 - c) Skyddsobjekten
- Tekniska åtgärder
- Administrativa åtgärder
- Övervakning och kontroll av åtgärder och förutsättningar samt möjlighet till korrigering av åtgärderna

Arbetsgruppens medlemmar har inom sina respektive specialområden utarbetat förslag till de mest betydande processerna, faktorerna och skeendena som bör beaktas i ett efterbehandlingsprojekt. Det har även preciserats under vilka betingelser dessa processer, faktorer och skeenden uppträder. Uppmaningen har varit att hålla sig till de generella förlopp som bör beaktas i ett långt tidsperspektiv med avseende på förorenings exponering och spridning. Exempel är processer som medför ökad biotillgänglighet, ökad löslighet och ökad flyktighet av föroreningen.

Arbetsgruppens medlemmar har deltagit i ett betydande antal efterbehandlingsprojekt med särskild inriktning på åtgärdsutredningar och projekteringar. Dessa efterbehandlingsprojekt har i huvudsak varit arbetsgruppens referenser vid diskussioner och framtagning av innehållet i rapporten. Att explicit ta upp och diskutera efterbehandlingsprojekten i rapporten har inte visat sig vara lämpligt.

Förutom den diskussion som förts inom arbetsgruppen har mötena med referensgruppen varit betydelsefulla för projektet. Arbetsgruppen riktar därför ett stort tack till Per Gullbring, Mikael Hägglöf, Gunnar Karlsson samt inte minst Naturvårdsverkets kontaktperson, Tommy Hammar, som också deltagit vid några möten.

Rapporten är sammanställd, bearbetad och redigerad av Bo Carlsson. Granskning av materialet avseende de juridiska frågorna har gjorts av Mikael Hägglöf, som dock inte ansvarar för texten. Lisa Ledskog, Envipro, har bidragit med värdefull information kring administrativa åtgärder.

3 Föroreningskällans fysikaliska, kemiska och biologiska processer

3.1 Allmänt

Den förorening som lämnas kvar i området, föroreningskällan, och dess utveckling över tiden är central för föroreningens exponering och spridning. Nedan beskrivs processer i föroreningskällan som bör beaktas vid val av åtgärder i ett förorenat område. Resonemanget kring processerna kan appliceras såväl på föroreningar som lämnas kvar utan att åtgärder vidtas på grund av att de biogeokemiska faktorer som styr spridning och exponering bedöms som tillräckligt gynnsamma, liksom på förhållanden som nåtts genom stabilisering/kemisk fixering av föroreningarna på platsen där man överför föroreningen till en mindre spridningsbenägen förekomstform. I båda fallen förlitar man sig på att de biogeokemiska förhållandena är ut hålliga i tiden.

För att långsiktigt säkerställa efterbehandlingen av ett område bör, generellt sett, föroreningen inte påverkas fysiskt, inte heller tillåtas att omvandlas eller frisättas. I ett energiperspektiv bör man sträva efter att hålla materialet på låga energinivåer, dvs. inte tillföra rörelseenergi eller kemiskt bunden energi. Energi är drivkraften för kemiska processer och omvandlad till värme eller rörelse lämnar energin systemet, vilket innebär att den bundna energin är lägre efter en kemisk reaktion än före, förutsatt att energi inte tillförs.

3.2 Icke organiska föroreningar

Fysikaliska och kemiska processer

Förenklat kan de processer som i stor skala enbart omfördelar det förorenade jord- eller sedimentmaterialet kallas för fysikaliska medan de processer som både omfördelar och omvandlar själva föroreningarna kallas kemiska.

Vatten har en central betydelse genom sina eroderande, syresättande och transporterande egenskaper. Nedan diskuteras de huvudsakliga processer som reglerar koncentrationen av metaller i vatten.

Kemisk jämvikt, adsorption, toxicitet m.m., av ett visst ämne påverkas starkt av den kemiska form som ämnet förekommer i. Lösligheten av många metaller styrs av inte bara pH och redoxmiljön utan även av närvaron av andra lösta komponenter i vattnet som t.ex. karbonat, fosfat eller organiska komponenter. Löslighet i sig kan vara ett vagt begrepp om man beaktar komplexbildning, i synnerhet organiska komplex som jämfört med enkla oorganiska komplex kan vara mycket stora, så stora att de börjar närma sig partiklar. I praktiken definieras därför ofta en lösning som den vätska som kan passera genom ett 0,45 µm filter.

Den enklaste processen som reglerar halten av ett ämne i lösning är jämvikt mellan det lösta ämnet och ämnet i fast fas, där jämviktskoncentrationen teoretiskt kan ses som den högsta möjliga koncentrationen i lösning. I praktiken är dock

halterna av metaller i naturliga vatten avsevärt lägre. Den främsta förklaringen är att metallerna adsorberas till ytor och/eller att den lösta metallen förekommer i ett annat oxidationstal än i den fasta fasen.

Vissa metaller är i praktiken olösliga i en naturlig oxiderande miljö, t.ex. järn, medan andra är olösliga i en reducerande miljö, t.ex. uran. I närvaro av reducerat svavel bildar många metaller metallsulfider som är stabila och i princip olösliga så länge miljön i deras omgivning är kemiskt reducerad.

Adsorption av metaller till ytor beskrivs ofta med en linjär fördelningskoefficient, K_d , genom ekvationen:

$$m_{ads} = K_d \cdot m_{l\text{sn}}$$

där m_{ads} är koncentrationen av det aktuella ämnet som är adsorberat till den fasta ytan/fasen och $m_{l\text{sn}}$ är koncentrationen av det aktuella ämnet i lösning. Ett K_d -värde är i princip unikt för varje kombination av ämne, lösning och fast fas, vilket gör det tveksamt att tillämpa fördelningskoefficienter från ett system i ett annat.

Oxider och silikater, dvs. huvudinnehållet i vanligt jordmaterial, har antingen negativt eller positivt laddade ytor beroende på pH i dess omgivning. Exempelvis så faller löst järn i en oxiderande (syresatt) lösning ut som $\text{FeO}(\text{OH})$, vilket har stor förmåga att binda andra metaller (katjoner, t.ex. bly, koppar, zink, kadmium) på dess yta. Förmågan är så stor att den används som fällningskemikalie i reningsverk. Emellertid, om pH sjunker under 6-7 i en lösning med $\text{FeO}(\text{OH})$ frisätts metaller bundna till dess yta. Det omvända gäller för adsorption av metaller som förekommer som anjoner, dvs. negativt laddade joner, t.ex. arsenik och selen, vilka konkurrerar med OH-grupper om bindningsställena på mineralytor.

Olika funktionella (mindre del av en molekyl som på ett avgörande sätt påverkar molekylens egenskaper) grupper i organiskt material bildar olika starka komplex med metaller. Det organiska och i de flesta fall naturligt bildade materialet innehåller en rad olika funktionella grupper, varav vissa har förmågan att binda metaller och därigenom behålla dem i lösning. Som exempel på sådana funktionella grupper kan nämnas karboxylsyror, fenolgrupper och aminogrunder. En typ av starka komplex mellan metaller och organiska ämnen kan bildas om den organiska molekylen har två eller flera ändar med metallbindande förmåga och brukar kallas chelat. Oxalsyra är ett exempel på ett ämne som kan chelera metaller.

Metallers komplexbildning till organiskt material har även en påverkan på deras toxicitet. Flera metaller, t.ex. aluminium och koppar, är avsevärt mindre toxiska än deras fria joner eller hydroxylkomplex.

Mikrobiella processer

Utöver sin transporterande och eroderande förmåga utgör vatten en förutsättning för biologiska processer. I nära nog alla miljöer, även i ett efterbehandlat material, är mikroorganismer närvarande. Mikroorganismer, t.ex. bakterier, svampar och alger, är involverade i processer där energi omsätts och där ämnen omvandlas. När energi från solen eller kemiskt bunden energi i organiskt eller oorganiskt material

frigörs, genom mikrobiella processer, äger olika förändringar rum, t ex, syre förbrukas, pH sänks, material omvandlas eller bryts ner.

Under kontrollerade förhållanden kan mikrobiella processer vara önskvärda, och tillhandahåller ytor och/eller funktionella grupper till vilka föroreningar kan bindas. Exempelvis är sulfidmalmer bildade i syrefria miljöer med ”aktiva” sulfat-reducerande bakterier. Omvänt vittrar metallsulfider snabbt i närvaro av syre. I andra situationer kan mikrobiella processer vara oönskade.

En process som fått stor uppmärksamhet är metylering av kvicksilver i närvaro av bakterier i en syrefattig miljö eftersom den metylerade formen är avsevärt mer toxisk än den ”oorganiska” formen och dessutom fettlöslig varför den ackumuleras i biologiska system. Även andra metaller och metalloider har potential att metyleras med förändrade bindningsegenskaper och toxicitet som följd, t.ex. tenn, antimon, arsenik, bly, selen, tellur, vismut och tallium.

Tidsaspekten

Ser man till omvandlingshastigheten i icke organiska föroreningar är tre tidsperspektiv intressanta att betrakta:

- momentana processer
- ca 10 år
- 100 år och längre

Exempel på momentana processer får man vid grävning i föroreningskällan, vilket medför att föroreningen exponeras för syre och eventuellt också vatten. Ett annat exempel är plötslig höjning av vattennivån i föroreningskällan där ytor som tidigare varit mer eller mindre torra blir vattenmättade. De kemiska och biologiska system som störningarna påverkar kommer att anpassas snabbt, sannolikt inom timmar, dagar eller möjligen månader. Mikroorganismer har vanligen en generationstid om timmar eller dagar, vilket innebär att en anpassning till nya miljöer går fort.

Exempel på omvandlingsprocesser i tioårsperspektivet är tillgången till en extern källa av elektronacceptorer som förbrukas efterhand, sänkning av pH och fermentering av organiskt material. Med vilken hastighet föroreningskällan omvandlas blir i hög grad beroende av tillgången på förändringssubstanser samt förändringar i föroreningskällans omgivning. Sammantaget bör förändringar i föroreningskällan i tioårsperspektivet kunna prognosticeras, givet att förändringsprocesserna är identifierade och omgivningsförhållandena är kartlagda.

I hundraårsperspektivet dominerar storskaliga förändringar som på olika sätt påverkar föroreningskällan, t.ex. landhöjning och växthuseffekt. Osäkerheten är där betydligt större gällande förändringarnas art och omfattning, dock förändras principiellt inte de grundläggande omvandlingsprocesserna i föroreningskällan.

En genomtänkt efterbehandlingsåtgärd ska beakta och anpassas efter förutsättningarna över den tid åtgärden ska fungera. Både naturliga processer och mänsklig aktivitet kan ändra förutsättningarna, tillföra ett transportmedium eller energi och

möjliggöra att bunden energi omsätts. Generellt kan man förvänta sig de minsta förändringarna i torra miljöer där energi inte tillåts bli omsatt.

Förutom att kartlägga omedelbara och uppenbara förändringar t.ex. till följd av en barriäråtgärd, bör möjliga scenarier i ett efterbehandlat område analyseras där förutsättningarna för upplösning, transport och fastläggning av föroreningar klarläggs.

3.3 Organiska föroreningar

Kontakt med vatten och transport i vatten är oftast orsaken till ökad spridning av organiska markföroreningar. Föroreningarna kan transporteras som gaser genom förångning, som vätskor och som lösta ämnen eller associerade till partiklar i vatten.

Fysikalisk-kemisk miljö

På liknande sätt som metaller påverkas av organiska föreningar och av den fysikaliska och kemiska miljön de befinner sig i, bestämmer laddningsförhållandena lösligheten av organiska föroreningar i markvattnet. Beroende på strukturen hos föreningen kommer dess elektriska laddning till olika uttryck i föreningens hydrofoba respektive hydrofila egenskaper. Detta avgör även föreningens benägenhet till komplexbindning till andra föreningar och dess adsorption till partikelytor i markmatrisens fasta och flytande faser. Egenskaperna beskrivs och kvantifieras ofta genom att ange föroreningarnas fördelning i oktanol och vatten (K_{oc}). Förekomsten av komplexerande metaller utgör en specifik faktor i detta sammanhang.

Faktorerna ovan kan påverka toxiciteten hos själva substansens, men också hur toxiciteten kommer till uttryck. Det senare ingår i bedömningen för den potentiella risk som föreningen utgör i en markföroreningssituation och vid förändringar i denna.

Mikrobiell nedbrytning

Utöver att mikroorganismer påverkar den fysikalisk-kemiska miljön är deras möjlighet att transformera och bryta ned organiska föreningar en viktig process. Förutsättningarna för att dessa processer ska kunna ske är beroende av föreningens kemiska struktur, redoxförhållande, temperatur, vattenhalt, pH, näringsämnestillgång m.m. Organismerna som sådana och som "föna" är partiklar, som fungerar som absorbenter, dvs. de ingår i den pool av partiklar som kan vara transportmedium i markvätska eller i form av damm.

Tillgängligheten för nedbrytning av föreningen i markmatrisen är kopplad till vattenlösligheten, som också ofta väl beskriver adsorptionsbenägenheten och bestämmer föreningens koncentration i markvätskan. Porer som är så små att en mikrobiell kolonisering är omöjlig innebär hinder för nedbrytningen. Omsättningen av substansen styrs då av diffusionen av den organiska föreningen ut ur aggregatet som omsluter poren. Redoxförhållandena är ibland avgörande för om en förorening kommer att brytas ned eller inte. Oxiderade substanser kräver ibland reducerade

förhållanden för att brytas ned, medan andra kräver närvaro av syre och oxiderande förhållanden för att kunna attackeras primärt och därefter brytas ned. Exempel på det första fallet är klorerade etener (tetrakloreten etc), medan många aromater kräver att syre finns med vid en första enzymatisk attack för att dessa ska kunna brytas ned.

Benägenheten för en mikroorganism att bryta ned en förening är kopplad till dess inneboende drift att vilja växa. Föreningen måste föreligga i en koncentration (träskelvärde), som ger en tillräcklig signal för att initiera de extra- och intracellulära system som krävs för att en nedbrytning ska komma till stånd. Adaptationsförmågan hos enskilda organismer eller genuppsättningen hos en population av mikroorganismer i mark ger ofta förutsättningar för en nedbrytning av en förening givet att övriga näringsförhållanden är gynnsamma.

Nedbrytningen kan ske i olika utsträckning och innebära att metaboliter ansamlas temporärt eller blir slutprodukt, medan en fullständig nedbrytning sker i andra fall (mineralisering). Transformationer kan också ske genom att en förening omsätts som en sidoeffekt av att andra föreningar utnyttjas för tillväxt (co-metabolism). Den resulterande produkten och/eller temporära metaboliten kan i sig ha en större toxicitet än modersubstansen eller innebära en ökad risk genom att den är mer vattenlöslig och därmed lättare når människor och andra organismer.

Av beskrivningen ovan förstås att egenskaperna hos en organisk förening i en föroreningskällas perspektiv kan variera avsevärt beroende på de lokala förutsättningarna. De mest betydelsefulla förändringarna är sannolikt de som påverkar syretillgången (redox) och vattenlösligheten, eftersom de påverkar möjligheterna för transport och tillgänglighet för mikrobiell nedbrytning. Detta har demonstrerats i många studier gällande spridning av organiska föroreningar från framför allt punktkällor via grundvatten. Plymernas utbredning medför ofta en redoxgradient med lägst redox vid källan och hög i periferin. Denna fördelning beror på att syre inte hinner diffundera in till källområdet på grund av den mikrobiella konsumtionen kopplad till nedbrytningen av föreningen.

Tidsperspektivet

Över tiden förändras föroreningskällan genom mikrobiologiska transformationer, som i många fall leder till en fullständig nedbrytning. Hastigheten beror på tillgången på näringsämnen och bestäms till stor del av markens syrehalt. Den senare bestäms av diffusionen från luft i kombination med syrekonsumtionen hos mikroorganismer och rötter. Diffusionen påverkas starkt av vattensituationen; den är mer än 10 000 gånger större i gasfas än i vatten. Transporten av syre blir begränsad vid förekomst av vatten i jord, eftersom markens porer då, delvis eller helt, är fyllda med vatten. Syrekonsumtionen hos mikroorganismerna är kopplad till tillgången på organiskt material, varför en organogen jord oftast är mer reducerad än en minerogen jord (låg mullhalt).

Syret har två funktioner vid nedbrytning; att vara elektronacceptor för mikroorganismers andning och som oxidationsmedel vid primär attack på organiskt material. Den första innebär att mikroorganismer kan utnyttja energin i det organiska materialet mer effektivt än vid anoxi. Den andra funktionen innebär att

många organiska föreningar omvandlas och kan utnyttjas som kol- och energikälla. Resultatet blir att sådana föreningar är inerta i syrefri miljö eller åtminstone kräver en lång tid för nedbrytning. Nedbrytningen engagerar fler organismer som ska dela på en (relativt den oxiska situationen) liten energimängd.

I tabell 1 visas halveringstiden för BTEX och PAH i jord respektive grundvatten som en funktion av mikrobiell nedbrytning. Av tabellen framgår att skillnaden i nedbrytningshastighet varierar stort för dessa föreningar. Halveringstiden är längre i grundvatten, vilket beror på lägre syrediffusion och sannolikt också lägre näringsämnestillgång och därmed sämre förutsättning för mikrobiell tillväxt.

Tabell 1 ger en indikation om tidsaspekterna för persistens hos organiska föreningar i mark-grundvatten; halveringstider från några dagar till över tio år. I en anoxisk miljö är halveringstiden sannolikt mycket längre för dessa substanser.

Tabell 1. Exempel på mikrobiell nedbrytning av BTEX- och PAH-substanser i jord och grundvatten uttryckt som halveringstid i dagar. (Modifierad efter Morrison, 1999).

Substans	Jord	Grundvatten
Bensen	5-16	10-720
Toluen	4-22	7-28
Etylbensen	3-10	6-228
Xylene	7-28	14-360
Acenaften	12-102	25-204
Antracen	50-460	100-920
Bensopyren	60-530	110-1060
Krysen	370-1000	740-2000
Naftalen	17-48	1-260
Fenantren	16-200	32-400
Pyren	210-1900	420-3800

En annan grupp av organiska föreningar fungerar som elektronacceptorer, dvs. vissa bakterier kan andas med dessa substanser. Det är främst klorerade organiska föreningar som kan utnyttjas. För denna transformation krävs tillgång på en energikälla, dvs. någon ytterligare organisk förening eller t.ex. vätgas. Metabolismen kallas reduktiv dehalogenering och har visats ske för ett antal klorerade föreningar där främst de klorerade alifatiska lösningsmedlen är i fokus. Syre

konkurrerar i denna funktion genom att mikroorganismerna får ut mer energi genom att andas med syre. Detta medför att en syrefri miljö gynnar transformationen och en eventuell total nedbrytning av halogenerade substanser. På samma sätt som vid andra nedbrytningsförlopp med växande mikroorganismer påverkar näringstillgången förloppet.

Av ovanstående förstås att tillgången på syre är ytterst betydelsefull för regleringen av nedbrytningsförloppen i organiska föroreningar, där alltså vissa nedbrytningsprocesser gynnas av en syrefri miljö.

Kvaliteten hos det vatten som tillförs via ökad nederbörd eller ökat inflöde av grund- eller ytvatten kan på flera sätt kan påverka föroreningskällan. Som framgår av diskussionen ovan är tillgången på näringsämnen och organiskt material som energi- och kolkälla betydelsefull för mikrobiella transformationer av föroreningarna. Tillförsel av elektronacceptorer i form t ex järn- mangan, kväve- och svaveloxider medför relativt effektiva energiutnyttjanden trots att en anoxisk miljö uppstår. Tillförsel av energikälla via organiska komponenter i vattnet ökar sannolikheten för omsättning via reduktiv dehalogenering. Näringsämnen i allmänhet stimulerar den mikrobiella aktiviteten. Innehållet i det vatten som tillförs är därför avgörande för föroreningskällans utveckling.

Förutsägelser av utlakning av näringsämnen, elektronacceptorer och organiskt material på dess väg till ett förorenat område är därför betydelsefullt att beakta i ett längre tidsperspektiv. Klimatförändringar och högre intensiteter vid enstaka nederbördstillfällen utgör kritiska faktorer. Bräddning av reningsverk i samband med översvämning kan ge liknande effekter.

Att behålla acceptabla förhållanden för organiska föroreningar i en föroreningskälla under långa tidsrymder är således till största delen en fråga om att ta hänsyn till och styra eventuella förändringar i vattnet i det område där föroreningen finns. Detta innebär också att en riskbedömning bör övervägas som tar in andra framtida aspekter än vad som i allmänhet ingår idag.

Exempel på påverkan på föroreningskällan

Störning på skyddsskikt eller andra barriärer med konsekvensen att förändrade fysikaliska och kemiska förhållanden uppstår, kan innebära en ökad rörlighet av organiska föroreningar och påverka deras omvandling. Barriärstörningen kan innebära ett utflöde av vatten med en oönskad upptorkning av ett vattenmättat område. Intrång av vatten kan medföra en ökad transport av lösta föroreningar eller av föroreningar adsorberade till partiklar. I fall där man bedömt att en förorening kan lämnas för remediering in situ förändras sannolikt förutsättningarna radikalt för denna. Det sistnämnda gäller förmodligen också vid upptorkning. Både flöden och mikrobiell aktivitet kommer att förändras under dessa förhållanden. Ändrade grundvattenförhållanden i ett förorenat område får motsvarande konsekvenser.

Vid ett varmare klimat kommer marktemperaturens medeltemperatur att öka. Vid samma vattenförhållanden innebär detta att hastigheten för fasövergångar, jämviktsutbyten och mikrobiella transformationer ökar. Följden skulle kunna bli att mängden tillgänglig förorening i matrisen ökar och därmed även risken för läckage. Detta kan kompenseras av att den mikrobiella nedbrytningen ökar. I den mån en

mer toxisk substans är resultatet av den mikrobiella transformationen skulle även denna kunna öka. Med kopplade reaktioner kan kinetiken både förstärka och dämpa transformationerna.

När en förorening åtgärdats, eller bedömts kunna lämnas utan åtgärd, har föroreningskällans egenskaper vanligtvis ansetts vara av sådan art att den inte ger upphov till fara för människors hälsa eller miljön. Förutsättningarna baseras oftast på de nu rådande förhållandena, dvs. föroreningskällans status och framför allt markförhållandena och de hydrologiska förhållandena. Långsiktiga förändringar eller mer akuta katastrofsituationer som en följd av föroreningskällans förändringar beaktas sällan.

Ett relativt vanligt fall är ändrade vattenflöden i ett sanerat område. En sådan ändring kan få stor betydelse för ett område där åtgärderna baserats på att en föroreningsplym är begränsad i utbredning över tiden. Minskad vattentillgång på grund av upptorkning skulle t.ex. kunna innebära att en beräknad nedbrytning av ett klorerat lösningsmedel inte sker och att en migration av föreningen kan ske till områden som inte ingått i spridningsförutsägelse. Sannolikt blir denna transport långsammare men skulle på lång sikt kunna nå känsliga områden. Ett ytterligare scenario är att övergången till oxiska förhållanden medför att organiskt material i jorden, vartill klorerade lösningsmedel och deras nedbrytningsprodukter är adsorberade, bryts ned. Detta skulle ge en ökad styrka hos föroreningskällan. Primärt skulle antagligen lokala anaeroba nischer skapas vid nedbrytningen, där en tillfälligt ökad transformation skulle äga rum med en ansamling av produkter med lägre halogent innehåll.

Det som ovan generellt beskrivits och relaterats till den fysikalisk-kemiska miljön samt den mikrobiella nedbrytningen kännetecknas av processer som ändrar organiska ämnens transport- och nedbrytningsbenägenhet. Detta medför i sin tur en annan risk vid omgivningsförändringar. Transformationer av de organiska föroreningarna till intermediära eller långvariga tillstånd av större toxicitet än moderföreningen är här viktiga att beakta.

KONKLUSION

En föroreningskällas egenskaper med avseende på dess spridningsbenägenhet domineras av respektive förorenings löslighet i vatten och flyktighet i luft. Vilka faktorer som styr dessa egenskapers förändring är därför centrala att kartlägga. För den del av föroreningen som inte är löslig krävs för spridning en fysisk omfördelning av materialet, t.ex. via erosion. Spridningen äger då rum via suspenderat material i vatten eller via damm i luft, ett förhållande som oftast går att eliminera med relativt enkla skyddsåtgärder.

Vatten har en central roll i en föroreningskällas förändring. Förenklat kan man säga att ju torrare en föroreningskälla är desto sämre förutsättningar finns för förändringar. Ofta medför dessutom högre vattenomsättning i källan större förutsättning för förändringar genom att externt vatten kan föra in substanser som startar nya eller påskyndar befintliga förändringsprocesser.

Processer som dominerar förändringar i oorganiska föroreningars egenskaper, relaterade till exponerbarhet och spridning, är pH, redox och starkt komplexbildande organiska ämnen samt mikrobiella processer som förbrukar syre, sänker pH eller omvandlar föroreningsämnen.

Processer som dominerar förändringar i organiska föroreningars egenskaper, relaterade till exponerbarhet och spridning, är förbundna med föroreningarnas laddningsförhållanden och den mikrobiella nedbrytningen. Laddningsförhållandena är i sin tur beroende av föroreningens struktur och kommer till uttryck i föroreningens hydrofoba och hydrofila egenskaper. För den mikrobiella nedbrytningen är sannolikt redox, främst i form av syretillgången, och vattenlösligheten av störst betydelse. Vattenlösligheten, som också väl beskriver adsorptionsbenägenheten till partiklar, bestämmer också föroreningens koncentration i markvattnet, vilken är av betydelse eftersom tröskeleffekter finns. Andra betydande faktorer är temperatur, vattenhalt, pH och tillgång till näringsämnen.

De förändringsprocesser som över tiden är betingade enbart av förhållandena i själva källan, utan påverkan från omgivningen, bör i de flesta fall kunna förutses och kalkyleras avseende utfall och hastighet. Därutöver bör, om omgivningsförhållandena är kända, en prognos kunna upprättas även för yttre påverkan. Osäkerheten ökar emellertid i prognosen i ett långt tidsperspektiv, eftersom omgivningsförändringarna blir mer osäkra med tiden. Följaktligen är det osäkerheten i omgivningens förändring som dominerar osäkerheten i föroreningskällans ändrade egenskaper. En väsentlig aspekt på val av efterbehandlingsåtgärd är därför att skapa stabila betingelser för föroreningskällan och att helst eliminera ogynnsam framtida omgivningspåverkan eller i vart fall att reducera risken för sådan påverkan.

4 Tidsperspektivet

De tekniska och administrativa lösningar som tas fram i efterbehandlings-sammanhang är behäftade med osäkerheter gällande deras funktion på lång sikt, varvid osäkerheten ökar med tiden. På frågan ”Osäkerhet i vilket avseende?” diskuterar detta projekt osäkerheterna avseende riskerna för att exponering och spridning av kvarlämnade föroreningar ska öka med tiden. Osäkerheterna som tas upp är indelade enligt följande:

- föroreningskällans utveckling,
- omgivningens förändring och skyddsobjektens förändring över tiden samt
- skyddskonstruktionernas beständighet.

I en del sammanhang hörs uttalandet att åtgärden ska vara ”evig” och fungera utan övervakning och kontroll. Den ”eviga åtgärden” är i praktiken ouppnåelig, speciellt för konstruktören, som i sina beräkningar måste fastställa belastningsförutsättningarna och dimensionera åtgärden. Utgångspunkten om en ”evig åtgärd” har motiverats med att man inte med visshet kan säga att samhället i framtiden kommer att ha kontroll över information och styrmedel som reglerar mark och vatten. I detta projekt förutsätts att samhället kan vidmakthålla sådan information och sådana styrmedel.

Utgångspunkten att det framtida samhället kan upprätthålla information och styrmedel över mark och vatten leder till två sätt att lösa efterbehandlingsåtgärden. Det ena sättet är att åtgärden dimensioneras i ett tidsperspektiv som bestäms, dvs. åtgärden är uttalat tidsbegränsad, och där åtgärden efter denna tid förutsätts komma att ersättas eller kompletteras. Detta sätt kan vara tillämpligt vid t.ex. förekomst av organiska föroreningar som efterhand bryts ned eller där den acceptabla resthalten styrs av den rådande exponeringssituationen. Vidare ligger ibland föroreningen under byggnader som inte kan tas bort vid efterbehandlingstillfället utan först vid ett senare tillfälle. Det andra sättet är att åtgärden dimensioneras i ett långt tidsperspektiv med övervakning och kontroll samt program för korrigerande av åtgärden i det fall denna inte fungerar tillräckligt väl, eller om någon annan omständighet ändras så att korrigerande av åtgärden måste ske.

Som framgår av avsnitt 3 är utvecklingen av föroreningskällans egenskaper praktiskt taget helt beroende av omgivningens påverkan på respektive förorening. Svårigheten att förutse framtida förändringar i omgivningen i kombination med beständigheten hos åtgärder bedöms innebära att längre tid än hundra år, möjligen några hundra år, i de flesta fall är föga givande att försöka förutse. Osäkerheten i prognosen för spridning och exponering blir i ett längre tidsperspektiv för stor för att kunna ligga till grund för efterbehandlingsåtgärders dimensionering.

Svårigheten att förutsäga markföroreningarnas exponering och spridning på lång sikt hindrar dock inte att ”långtidslösningar” ska eftersträvas, såvida inte kompletterande framtida saneringar planeras i ett förorenat område. I samtliga fall

är det dock viktigt att beakta kontrollerbarhet, åtkomlighet och reparerbarhet, se avsnitt 8.

KONKLUSION

Det är i praktiken inte möjligt att dimensionera en efterbehandlingsåtgärd med en funktion över "evig tid". Tiden måste antingen begränsas och åtgärden ersättas alternativt en "långtidsåtgärd" skapas som övervakas och justeras eller ersätts vid behov. Dimensioneringen av en "långtidsåtgärd" kan sannolikt i många fall göras trovärdig i ett hundraårsperspektiv, möjligen i några hundra år. I ett längre tidsperspektiv blir osäkerheterna i omgivningens påverkan, på såväl föroreningskällan som på åtgärden, så stora att funktionen bör ifrågasättas.

5 Föroreningskällans fysikaliska egenskaper

De fysikaliska egenskaperna hos föroreningskällan är främst förknippade med den struktur och det material som föroreningen förekommer i. Egenskaper som är viktiga att kartlägga är:

- Materialsammansättningen (mineralpartiklar, organiskt material, inslag av avfallsprodukter m.m.)
- Struktur och textur (kornform, kornfördelning, densitet, vattenkvot, porositet etc.)
- Hydraulisk konduktivitet (permeabilitet)
- Kapillaritet
- Deformationsegenskaper (sättningsbenägenhet)
- Hållfasthet

I de fall föroreningen förekommer i jordmaterial finns väletablerade undersökningsmetoder i fält- och på laboratoriet för att karaktärisera de fysikaliska egenskaperna.

Om avfall eller restprodukter utgör väsentligt innehåll i källan behöver ”vanliga jordundersökningsmetoder” kompletteras med andra undersökningar som kan påverka de fysikaliska egenskaperna, t.ex. nedbrytning, materialförluster vid vattengenomströmning, cementerande eller självhårdande egenskaper etc.

Exponeringsvägar som beaktas vid riskbedömning av förorenade områden enligt Naturvårdsverkets är:

För hälsorisker

- Intag av jord
- Hudkontakt
- Inandning av damm
- Inandning av ångor
- Intag av grönsaker
- Intag av grundvatten
- Intag av fisk

För miljörisker

- Direktexponering (effekter på marklevande organismer inom området)
- Spridning till ytvatten (effekter på akvatiska organismer i recipienten)

Flertalet av exponeringsvägarna är på något sätt beroende av föroreningskällans fysikaliska egenskaper, direkt eller indirekt.

De två första exponeringsvägarna, intag av jord och hudkontakt, kräver i princip inte medverkan av några fysikaliska egenskaper utan är huvudsakligen beroende av skyddsobjektets (människors) beteende. Dock påverkas risken i viss

utsträckning av kornstorleksfördelning. Den tredje exponeringsvägen, inandning av damm, är beroende av vindspredning (damning) som varierar med jordens kornstorleksfördelning och vatteninnehåll (stora korn och våta jordar dammar mindre). Den fjärde exponeringsvägen, inandning av ångor är beroende av, förutom föroreningsångstryck, jordens porositet och vattenmättnadsgrad.

Såväl exponeringsvägarna intag av grundvatten och intag av fisk som effekter på akvatiska organismer är funktioner av hur föroreningarna transporteras via vatten och beror således på jordegenskaper som hydraulisk konduktivitet och porositet samt av omgivningsförhållanden som hydrauliska gradienter och utspädningsförhållanden.

Exponeringsvägarna intag av grönsaker och effekter på marklevande organismer kan indirekt påverkas av föroreningskällans permeabilitet och vattenhållande förmåga (kapillaritet) genom att rottrådar och markorganismer söker sig till föroreningskällans (förorenade) porvatten eller genom att förorenat grund- eller ytvatten används för bevattning av grödor.

När åtgärder vidtas som innebär att föroreningar kvarlämnas inom ett område skyddade av (fysikaliska) barriärer förlitar man sig på de fysikaliska egenskaperna hos dessa barriärer snarare än föroreningskällans fysikaliska egenskaper. De vanligaste barriärerna bygger på att föroreningens spridning begränsas genom införande av strömningsavskärande och täta barriärer. Dessa kan både vara vertikala (t.ex. slitmurar) som begränsar grundvattenströmningen genom ett förorenat område och horisontella (täckningar) som begränsar infiltrationen av nederbörd i det förorenade området. Det är också vanligt att direktexponering för föroreningen hindras genom täckning.

Förändringar i de fysikaliska egenskaperna som kan uppträda över tiden är konsekvenser av olika processer som:

- Vittring av oorganiskt material och nedbrytning av organiskt material som en konsekvens av fysikaliska och kemiska respektive biologiska processer
- Förflyttning av små partiklar genom inre erosion, t.ex. som en konsekvens av hög grundvattengradient
- Deformationer, t.ex. sättningar som en konsekvens av omlagringar eller konsolidering (vattenurpressning)
- Överskridande av hållfastheten inklusive hydrauliska brott, t.ex. ras, skred och bottenuppträckning.

Samtliga förändringar ovan kan medföra väsentligt ändrade förutsättningar för föroreningskällans exponering och spridning. I avsnitt 3 beskrivs syre och vattentillgång som betydelsefulla faktorer för föroreningarnas nedbrytning, omvandling och fastläggning. Fysikaliska egenskaper som i hög grad utgör betingelserna för dessa faktorer är permeabilitet och vattenförhållande förmåga som i sin tur beror på bland annat kornstruktur och kornstorlek. Förändras kornstorleken, t.ex. till följd av vittring i kornskelettet, minskar permeabiliteten och den vattenhållande förmågan ökar. Vittring av naturliga mineral är en långsam process och förändringar av de

fysikaliska egenskaperna kan i överblickbara tidsperspektiv därför inträffa främst genom yttre påverkan. Sådan påverkan kan vara såväl antropogen som orsakad av naturliga processer i omgivningen. Processer som kan leda till sådana förändringar redovisas i kapitel 7.

Vissa yttre betingelser förstärker de fysikaliska egenskapernas effekt på föroreningarna. Exempel är grundvattengradienter ("drivande kraften" för att omsätta grundvatten) som i höggenomsläppliga material ger större vattenomsättning än i låggenomsläppliga material. Ett annat exempel är uttorkning som kan medföra djupgående sprickor i finkorniga material och därmed öka transport av syre till föroreningen eller transport av gas från föroreningen till markytan (jämför t.ex. torrskorpan i en lera).

KONKLUSION

De fysikaliska egenskaper som betyder mest för exponeringen och spridningen är föroreningskällans permeabilitet (genomsläpplighet) för gas och vatten samt förmågan att hålla vatten. Dessa egenskaper är i sin tur beroende på kornstruktur och kornstorlek.

Den mest väsentliga förändringen av permeabiliteten i en föroreningskälla uppkommer sannolikt vid omlagringar skapade av någon brottmekanism, t.ex. skred eller hydrauliskt brott. Andra väsentliga förändringar kan framkallas genom deformationer (främst sättningar), vittring och nedbrytning av organiskt material.

6 Skyddsobjekten

Skyddsobjekten och deras känslighet för ett områdes föroreningar ligger till grund för dimensioneringen av skyddsåtgärderna. Skyddsobjekten omfattar människor och miljön som kan påverkas menligt inom och utom det förorenade området.

I projektansökan var ambitionen att diskutera förändringar i skyddsobjekten och deras känslighet över tiden. Detta har dock ifrågasatts under projektets gång i samband med diskussion om vad som juridiskt kan krävas av en verksamhetsutövare. Det ansågs inte rimligt, och sannolikt inte rättsligt möjligt, att kräva att efterbehandlingsåtgärder ska kompletteras i efterhand på grund av att annat skyddsobjekt eller annat skyddsvärde inträder. Skälet härtill är att riskbedömningen och åtgärdsutredning måste utgå från faktiska förhållanden när det gäller markanvändning (i annat fall skulle varje bedömning behöva utgå från den känsligaste användningen). Arbetsgruppen och referensgruppen kom därför fram till att skyddsobjekten och skyddsbehoven bör ses som givna vid efterbehandlings-tillfället, t.ex. genom en fastlagd markanvändning, samt att samhället ska förut-sättas kunna upprätthålla information och styrmedel över mark och vatten.

Arbetsgruppen och referensgruppen tog också upp frågan om skyddsåtgärder för skyddsobjekten, t.ex. inskränkning i fisket i en sjö. Sådana skyddsåtgärder kan hänföras till administrativa åtgärder, se avsnitt 9.

Det kan ändå finnas skäl att notera några svårigheter och osäkerheter i bestämning av efterbehandlingsåtgärdernas inriktning och omfattning med utgångspunkt i skyddsobjekten. Svårigheterna och osäkerheterna omfattar bland annat:

- Mätsvårigheter. Vad kan anses vara risk för skada eller olägenhet på människors hälsa eller miljön som motiverar skyddsåtgärder enligt miljöbalkens krav (jmf här 2 kap 3 § och 10 kap 4 §)?
- Pågående eller framtida förändringar från föroreningskällor utanför det förorenade området. Ska hänsyn tas till andra källors framtida belastningar på skyddsobjekten och vem ska i så fall finansiera sådana hänsyn?
- Ska omprövning ske av skyddsobjektens status i likhet med antropogena källor, t.ex. industriutsläpp? Vad får detta för konsekvenser när det gäller efterbehandlingsåtgärderna utformning?
- Finns allmänna skyddsintressen som ska vägas in och som inte kan hänföras till det förorenade områdets påverkan på människors hälsa eller miljön? Om så skulle vara fallet behöver sannolikt reglerna om ansvar för föroreningarna ändras för att möjliggöra sådana hänsyn.

KONKLUSION

Det har i projektet, främst beroende på svårigheter att kräva att efterbehandlingsåtgärder ska kompletteras i efterhand på grund av att annat skyddsobjekt eller annat skyddsvärde inträder, inte ansetts fruktbart att analysera förändringar i skyddsobjektets status över tiden. Arbetsgruppen och referensgruppen kom därför fram till att skyddsobjekten och skyddsbehoven bör ses som givna vid efterbehandlingstillfället, t.ex. genom en fastlagd markanvändning, samt att samhället ska förutsättas kunna upprätthålla information och styrmedel över mark och vatten.

7 Omgivningen

7.1 Allmänt

Av avsnittet om föroreningskällan framgår att omgivningsförändringar har en avgörande betydelse för föroreningskällans ökade exponering och spridning. Denna påverkan undviks eller mildras ofta genom byggande av skyddsbarriärer vid efterbehandlingstillfället. En annan metod är att upprätta kontroll- och åtgärdsprogram som eventuellt effektueras först när problem uppstår. Beträffande det senare hänvisas till avsnitt 10.

Nedan har en identifikation gjorts av händelser och skeenden i framtiden som direkt eller indirekt påverkar exponeringen och spridningen av föroreningarna i ett område.

- Oavsiktlig grävning i skyddsbarriärer eller förorenade massor
- Oavsiktlig borrning i skyddsbarriärer eller förorenade massor
- Grundvattennivåförändring
- Storm med vindfällning av träd i området
- Påverkan av frost (utan klimatförändring)
- Påverkan av växter (rotpenetration)
- Påverkan av (grävande) djur
- Förändrade stabilitetsförhållanden
- Brand i området eller dess närhet
- Översvämning
- Sabotage eller krigshandling
- Landhöjning/landsänkning
- Klimatförändringar
- Jordbävningar
- Nästa istid

Nedan diskuteras händelserna och skeendena. Vissa av dem har större relevans än andra och kommentarer ges om detta. Avsnitten är upplagda i följande struktur:

- Sannolikhet för en viss händelse eller omgivningsförändring
- Konsekvenser av händelsen/förändringen
- Möjlighet att reducera risken för påverkan genom
 - tekniska åtgärder
 - administrativa åtgärder

Med sannolikhet avses i texten ”risk för händelsen eller omständigheten” och inte det matematiska begreppet.

7.2 Oavsiktlig grävning i skyddsbarriär eller förorenade massor

Sannolikhet

Situationen att någon oavsiktligt skadar en barriär eller gräver i förorenade massor är att vederbörande inte känner till att marken är förorenad eller att det byggts skyddskonstruktioner med anledning av dessa. Oavsiktlig grävning beror i huvudsak på följande faktorer:

- Regelverk för verksamhet (bl. a. grävning) inom området
- Information om området
- Informationstillgänglighet
- Utmärkning av området
- Områdets form och utseende
- Tidsfaktorn

Om regelverket i framtiden kommer att vara strikt i den meningen att grävning i mark normalt endast kan ske efter ansökan om tillstånd eller på order av myndighet eller markägare, beror sannolikheten för ett ingrepp i en förorening eller en barriär på mänskliga misstag som t.ex. kontakt med fel person, felnavigering eller felavläsning av kartor. Informationens form och tillgänglighet är därför viktiga faktorer.

Många efterbehandlade marktytor har utformats med beaktande av estetiska värden och fått en yttre form som naturligt smälter in i omgivningen och dessutom förstärkts med en vegetering som är avpassad till omgivningen. Ett sådant förhållande ökar sannolikheten för omedvetna, mänskliga ingrepp i barriären.

Tidsfaktorn är otvivelaktigt en viktig faktor. Det är stor risk för att omedvetna ingrepp kommer att öka med tiden beroende av att kunskapen om områdets läge och funktion avtar med tiden. Är dessutom marken exploaterad så har förmodligen eventuella karaktäristiska kännetecken försvunnit.

Konsekvens

Effekterna av en grävning i ett efterbehandlat område kan vara måttliga, särskilt om den som utför grävningen blir medveten om förhållandet innan urgrävningen hunnit för långt. Det kan också vara så att personen ifråga korrigerar misstaget, dvs. lägger igen gropen och reparerar eventuella skador. Generellt gäller att skadans storlek i viss mån är proportionell mot grävningens omfattning. Skadas t.ex. ett tätskikt på en viss area så ökar i stort sett vattenomsättningen proportionellt mot den skadade ytans area. Vissa typer av mindre grävning kan dock medföra stora negativa effekter, t.ex. skador på vitala dräneringsstråk.

Tekniska motåtgärder

Tekniska motåtgärder som står till buds för att minska sannolikheten för oavsiktlig intrång i ett område eller en barriär genom grävning består i åtgärder som ökar varseblivningen men också i åtgärder för att hindra grävning. Den förra typen kan

bestå i att utforma området eller barriären så att man får ett omedelbart intryck av en konstgjord struktur. Stensättningar och diken som markerar läget i markytan kan vara ett annat sätt.

Åtgärder för att hindra att grävningen blir så omfattande att den medför skada bör ta fasta på att antingen skapa ett fysiskt skydd, ett s.k. grävskydd, eller att påkalla uppmärksamheten om att markstrukturen inte är naturlig. Det förra kan åstadkommas genom inlagda skikt med tillräckligt kraftiga stenar (block) eller t.o.m. gjuten betong. Eftersom sten och betong har dåliga frotskyddande egenskaper kan det vara lämpligt att kombinera ett sådant skikt med ett skikt av t.ex. torv (torv kan blandas in i stenlagret). Den senare åtgärden kan bestå i att man lägger ut strimlor eller skikt av någorlunda beständiga material ovan området eller barriären.

Administrativa motåtgärder

Trots ambitiösa tekniska skyddsåtgärder, kommer sannolikt de administrativa åtgärderna att bli de åtgärder som blir de mest effektiva för att förhindra oavsiktliga intrång. För att oavsiktlig grävning ska kunna motverkas med administrativa motåtgärder krävs att det finns anledning för en framtida exploatör att aktivt söka information om eventuella restriktioner för området ifråga.

I avsnitt 9 diskuteras administrativa åtgärder med bäring på bl.a. oavsiktliga ingrepp i ett förorenat område.

7.3 Oavsiktlig borrhning i skyddsbarriärer eller förorenade massor

Sannolikhet

Borrhningar utförs idag främst för fyra ändamål:

- Framtagning av vattentäkter i jord och berg
- Framtagning av energibrunnar i jord och berg
- Geotekniska och miljötekniska utredningar i jord och berg
- Prospektering efter mineral och fossila bränslen

De tre förstnämnda är knutna till befintliga bostäder och i viss mån byggnader för industri och allmänna ändamål samt anläggande av byggnader och infrastruktur etc. medan det fjärde ändamålet endast i mindre grad är kopplat till andra mänskliga verksamheter. Detta innebär att de förstnämnda borrhningsarbetena har en preferens till tätorter och expansionsområden. Förekomsten av förorenade områden bedöms också vara större i eller i nära anslutning till tätorter. Oavsett om borrhningen sker i jord eller berg så kommer den så gott som alltid att penetrera förorenade massor eller skyddsbarriärer om de utförs på en sådan plats.

Det produceras årligen uppskattningsvis 50 000 borrhål för geotekniska och miljötekniska undersökningar, varav uppskattningsvis hälften berör tätortsområden. Det totala antalet förorenade markområden i Sverige uppgår enligt Naturvårdsverket till ca 80 000, varav många finns i tätortsområdena. En stor del av borrhålen

utförs just i syfte att leta upp förorenad mark och det antal borrhål som penetrerar förorenad mark är förmodligen relativt stort.

Sannolikheten att borrhål, som utförs av prospekteringstekniska skäl, ska penetrera förorenad mark är inte så stor främst av skälet att prospektering sällan sker i tätorter eller i områden som varit exploaterade av industriell verksamhet (med undantag för tidigare gruvverksamheter), men det förekommer naturligtvis. Däremot är sannolikheten något större när det gäller gamla deponier.

Sannolikheten att borrningar som utförs för vattentäkter och för utvinning av energi (typ bergvärme) ska penetrera ett förorenat markområde bedöms vara ungefär lika stor som för geotekniska borrningar (undantaget riktade undersökningar av förorenade områden).

Konsekvenser

Påtaglig påverkan på förorenad mark av borrning föreligger främst i sådana fall där föroreningen skyddats med en horisontell barriär. Borrhålets skada är i många fall enbart proportionell mot hålets storlek men skadan beror även på var hålet träffar föroreningen eller barriären. Några få borrhålspenetrationer kommer i de flesta fall troligen endast att få en mindre skadlig verkan.

Ska ett borrhål, som penetrerar en markförorening, användas för dricksvattenförsörjning kan konsekvenserna bli stora. Ska borrhålet användas för energiändamål får det en obetydlig inverkan särskilt om grundvattnet inte pumpas (vanligast i dag) eller om det återförs i samma eller närliggande borrhål.

Tekniska motåtgärder

Skyddsåtgärderna är av liknande typ som för oavsiktlig grävning.

Administrativa motåtgärder

Skyddsåtgärderna är av liknande typ som för oavsiktlig grävning.

7.4 Grundvattennivåförändring

Sannolikhet

Grundvattensänkningar på grund av hårdgörningen av markytor i tätort är en känd foreteelse som medfört minskad infiltration av vatten till undergrunden och därmed orsakat grundvattensänkningar.

Varje form av omfattande bortledning av vatten i jord och berg medför en sänkning av grundvattenytan, vilken riskerar att påverka förorenad mark. I princip blir påverkansområdet större ju djupare en sådan bortledning sker. Ju mer genomsläpplig jorden/berget är desto större blir också påverkansområdet.

Dränering, som leder till en grundvattensänkning, kan ske genom konstgjorda dräneringar i form av diken och dräneringsledningar, men kan också ske genom att tätande, avskärmade naturliga strukturer i marken helt eller delvis grävs bort och ersätts med mer genomsläppligt material (t.ex. i ledningsgraven för dagvatten- och spillvattenledning). De kraftigaste formerna av avsänkningar är emellertid de

som uppkommer vid pumpning i bergtunnlar och bergbrunnar i områden där fin-korniga och tätande jordlager saknas mellan jord och berg.

Alla de ovan nämnda orsakerna till sänkning av grundvattennivån förekommer regelmässigt i främst markområden som är eller är på väg att bli exploaterade. De skadliga effekterna av sådana avsänkningar är väl kända och leder därför oftast till särskilda utredningar innan dessa åtgärder genomförs. I viss mån är också åtgärder som riskerar att leda till grundvattensänkning reglerade i lag.

Vid byggandet av hydrauliska barriärer, t.ex. vertikala slitsmurar, vilket inte är ovanligt om man vill begränsa vattenomsättningen i ett förorenat område, erhålls ofta en grundvattenhöjning och en stabilisering av grundvattennivåerna.

Konsekvenser

De skadliga effekterna av en grundvattensänkning, förutom den uppenbarliga bortledning av vatten som används för andra ändamål, t.ex. dricksvattenförsörjning, är sättningar i lerjord som leder till skador på vägar och byggnader. Det bör dock påpekas att dränering av grundvatten också kan ha positiva effekter, t.ex. verka stabiliserande på markområden som är skredbenägna.

För föroreningar i markområden kan avsänkningen av grundvattennivån leda till att föroreningarna sprids snabbare och i andra riktningar än vad som annars skulle vara fallet. Detta kan leda till att andra recipienter blir belastade av föroreningen och framförallt gäller detta om avsänkningen orsakas av pumpning i en brunn. Om detta vatten dessutom används som dricksvatten kan konsekvenserna bli särskilt allvarliga.

Som påpekats i avsnitt 3, har tillgången på vatten dessutom stor betydelse för hur föroreningens löslighet, nedbrytbarhet etc. ska utvecklas. Grundvattennivåförändringarna medför, inom de nivåer som påverkas, att föroreningen antingen torkar eller väts. Mättade eller icke mättade porer i jorden innebär också stora skillnader i föroreningens tillgång till syre, vilket kan vara avgörande för spridning av och exponering för föroreningen.

Tekniska motåtgärder

Grundvattensänkningars effekter på grund av pumpning i jord och berg utanför ett område beror på flera faktorer, bl.a. jordlagerföljd och jordens egenskaper samt av underliggande bergs vattenförande egenskaper (i allmänhet sprickzoner och deras egenskaper). De tekniska åtgärder som kan vidtas i sådana sammanhang är att arrangera tätningar, t.ex. i en vattenförande sprickzon i berget.

Motåtgärder mot grundvattennivåförändringar i övrigt kan ske med styrning via tätskärmar och dräneringar där nivån bestäms genom fastlagda dämningströsklar.

Administrativa motåtgärder

Grundvattennivåförändringar som påverkar enskilda eller allmänna intressen utgör normalt vattenverksamhet i den mening som avses i 11 kap 2 § miljöbalken ("åtgärder som syftar till att ändra vattnets djup eller läge"). Det krävs enligt huvudregeln alltid tillstånd enligt miljöbalken för vattenverksamhet (11 kap. 9 §). Regler om anmälningspliktig vattenverksamhet har dock nyligen beslutats, men

dessa berör inte grundvattenförhållanden. Formellt krävs således ansökan om tillstånd till förändring av ”vattnets djup och läge” och förändringens konsekvenser redovisas i ansökan. För att ett förorenat område ska kunna beaktas som ett intresse vid en prövning krävs dock att kunskapen om områdets förorenings-situation är allmänt tillgänglig.

Ansökan prövas av miljödomstolen (utom när det gäller markavvattning där länsstyrelsen är prövningsmyndighet). Om det är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen kan skadas genom vattenföretagets inverkan på vattenförhållandena krävs inte tillstånd. Med inverkan på vattenförhållandena avses inte enbart vattnets djup och läge utan också inverkan på vattenkvaliteten. Även av-sänkning av grundvattennivån genom vattenuttag innefattas. Det är verksamhets-utövaren som ska visa att undantagsregeln gäller. Beviskravet är därvid mycket starkt. Det ska vara uppenbart att ingen skada kan uppkomma.

Generellt finns flera svårigheter att förutse långsiktiga effekter i förorenade områden till följd av grundvattenförändringar. Detta gäller t.ex. bedömningar om vilka effekterna blir, vilket illustreras av de olika processerna i avsnitt 3. Vidare bidrar samhällets fortlöpande markbyggande med förändringar i de hydrogeo-logiska förhållandena som i kombination på längre sikt kan få effekter på förorenade områden. Administrativa åtgärder i sådana fall är kunskap om områdena och deras föroreningar samt kontrollaktiviteter inklusive korrigerande åtgärder.

7.5 Storm med vindfällning av träd

Sannolikhet

Över lång tid kommer troligtvis flera förorenade områden att bli be vuxna, även med träd. Stormar som efterlämnar vindfällningar uppträder relativt ofta. De senaste åren har flera sådana stormar förekommit i Sverige och frekvensen kan vara ökande som en följd av klimatförändringen. Alla vindfällningar drabbar inte trädens rötter utan trädstammen bryts av ovanför rotfästet. Det är endast vindfällningar med rotvälter som kan medföra betydande öppningar i marken eller skador på vidtagna skyddskonstruktioner i mark. Sådana skadehändelser är vanliga och man måste räkna med att det inträffar minst någon eller några gånger per hundra år över förorenad mark.

Konsekvenser

Rotvälterna öppnar hål i marken som, förutom att blottlägga ytnära föroreningar, kan medföra att både vatten- och syreomsättningen i ett förorenat område ökar. Konsekvenserna av en rotvälta i ett område som är beskogat är beroende av flera faktorer, bland annat föroreningsläge i djupled, typ av skyddskonstruktioner men även trädslaget. Gran ger relativt grunda rotvälter varför blottläggningen i markytan blir relativt liten. Tallen kan utveckla en ”pålrot” som kan gå djupare (se avsnitt 7.7), likaså kan rotvälterna från lövträd bli djupare. Dock innebär ett tilltagande rot djup också en mindre sannolikhet för att rotvälter ska uppkomma. En del av jorden från rotvältern stannar också i vältröjan eller i dess närhet varför dessa gropar efter några år sällan är djupare än en dryg halvmeter.

Tekniska motåtgärder

Rotvältornas effekter kan reduceras med ett skyddsskikt. Möjligheter finns även att begränsa trädrötternas djupgående genom särskilda spärrskikt av sten och betong etc.

Mot bakgrund av att rotvältors djup sällan är större än någon halvmeter så torde en täckningstjocklek på 1-1,5 meter ovan en förorening vara tillräcklig.

Administrativa motåtgärder

För att motverka sannolikheten för rotvältor kan restriktioner om växtetablering behöva införas. Detta gäller såväl avsiktlig plantering som naturens egen växtetablering. I grunden rör detta samhällets kontroll över markanvändningen.

7.6 Påverkan av frost

Sannolikhet

Konventionella metoder för beräkning av frostpåverkan utgår från statistiska uppgifter på tjäldjup som insamlats under den senaste hundraårsperioden. Beräkningar görs för två skilda fall; snöröjd och icke snöröjd mark. Anledningen är att snön skapar en värmeisolering som hindrar tjälen att penetrera på djupet i marken. Tjäldjupet för snöröjd mark, t.ex. vägar, är generellt betydligt större än för icke snöröjd mark. Förorenad mark kan vara aktuell för båda typerna av fall.

På lång sikt (mer än tiotals år) kommer risken för djup penetration av tjäle att bestämmas av sannolikheten för antalet dagar med temperatur under noll grader i kombination med litet snötäcke. Detta ger en särskild djupgående tjäle som kan påverka och skada frostkänsliga skyddskonstruktioner. Man bör räkna med att sådana perioder kommer att uppträda på lång sikt, trots växthuseffektens ökning av medeltemperaturen, och frågan är snarare vilka effekter tjälen får på skyddsinstallationerna.

Konsekvenser

Många tätskiktmaterial har god motståndskraft mot frost och även om t.ex. ett tätskikt av lera eller bentonitblandad jord fryser under några dagar eller veckor betyder detta inte att dess tätande förmåga omintetgörs eller ens nedsätts särskilt mycket. Lera har också ett stort frysmotstånd vilket medför att nedträngningen av tjäle försvåras i detta material. Är tätskiktet relativt mäktigt kommer troligen ändå en viss del av detta skikt att behålla full täthet.

Bentonitblandningar i vertikala slitsmurar eller i horisontella skyddsskikt är i allmänhet frostkänsliga. Likaså kan betongkonstruktioner, om de inte utförs på korrekt sätt, vara frostkänsliga.

Konsekvenserna av frost bedöms således mest beröra skyddskonstruktioner, men kan också genom partikelvandring förändra jordens egenskaper, t.ex. täthet, särskilt om fyllningar av jord med stor skillnad i partikelstorlek installeras utan materialseparerande filter.

Tekniska motåtgärder

Den viktigaste motåtgärden mot tjälning av frostkänsliga installationer i mark är att isolera dem och att undvika snöröjning. Konstgjorda isoleringsmaterial är effektiva men långtidsbeständigheten kan ifrågasättas eller är i vart fall dåligt undersökt. De är också kostsamma om stora ytor ska täckas. Torv, som läggs i ett skikt ovan tätskiktet (eller annan frostkänslig installation), kan vara ett alternativ. Även om torven blir vattenmättad så ger den en isolering genom att frysmotståndet ökar till följd av vatteninnehållet.

Administrativa motåtgärder

Administrativa motåtgärder kan inriktas mot att säkra att områden, som behöver skyddas mot frostnedträngning, t.ex. inte blir snöröjda och att skyddstäckning och isolering får vara intakta. Åtgärderna är därför en fråga om markanvändningen och markskötseln, vilket diskuteras i avsnitt 9.

7.7 Påverkan av växter (rotpenetration)

Sannolikhet

Växtrötternas funktion är att förse växten med vatten och näring och de har generellt mycket god förmåga att penetrera olika material för att tillfredsställa detta behov. De kan emellertid endast "suga ut" en del av det vatten som hålls i en jord. I finkorniga jordar kommer alltid en viss, om än liten, del av vattnet att behållas kapillärt i jorden när rötterna nått sin yttersta gräns i kampen att utvinna markvattnet. Med en sjunkande grundvattennivå kan emellertid rötterna penetrera på djupet och i vissa fall nå grundvatten på flera meters djup. Det är en vanlig missuppfattning att träd har mer djupgående rötter än lägre vegetation som t.ex. gräs. De flesta av trädens rötter går inte alls särskilt djupt. Huvuddelen av rotsystemet återfinns i markens övre del inom 40-80 cm, men vissa finrötter kan gå djupare. Om förhållandena är för torra i den övre delen av marken kan exempelvis tallen utveckla en s.k. pålrot på djupet, men denna förmåga har den enbart under sina första levnadsår.

Konsekvenser

De flesta växters rötter kräver tillgång till syre för sin respiration. Detta betyder att de inte kan leva någon längre tid under en permanent vattenyta. Vissa växter kan dock förse rotsystemet med syre separat och kan därför utveckla sina rötter under yt- och grundvattenytan. Detta gäller framförallt klibbal och vissa sälg- och pilarter.

Rotpenetration i installationer i mark reducerar effektiviteten hos framförallt tätande strukturer (tätskikt). Effekterna på filter och liknande barriärer bedöms också vara måttliga. Det är egentligen inte de penetrerande rötterna i sig som skapar problem i t.ex. tätskikt utan de mer eller mindre permanenta kanaler som bildas när rötterna dör och bryts ned och då skapar läckagevägar genom skikten. För att tätskikt ska förlora hela sin tätande förmåga krävs en omfattande

rotpenetration under en längre tid, men på sikt kan dessa barriärer tänkas förlora en stor del av sin funktion.

Tekniska motåtgärder

Att röja skog för att hindra rotpenetration är inte någon tillräcklig skyddsåtgärd eftersom den även kräver att buskar och annan växtlighet röjs regelbundet för att man helt ska eliminera risken för rotpenetration.

Det går att bygga in spärrskikt mot rotpenetration. I framförallt amerikansk litteratur förordas skikt med grova stenar ("cobbles") för att hindra djupare penetration. Det finns emellertid inte några säkra uppgifter om deras effektivitet. Inom agroteknisk forskning är det sedan länge känt att kompakta jordlager (välpackade med hög densitet) hindrar rotpenetration, särskilt om jordlagren är leriga. En viktig förutsättning är därvid att lagret är homogent utan sprickor och utan inneslutningar av annat porösare material. Eftersom lera (och bentonitblandad jord) måste bearbetas till kompakta och kontinuerliga skikt för att ge en god täthet bör således sannolikheten för rotpenetration vara ett relativt litet problem vid denna typ av tätskikt. Emellertid är det också tänkbart, om än svårt och ovanligt, att bygga tätskikt av lös lera som inte kan packas med normala entreprenadmaskiner men ändå kan få en hög täthet efter utläggning och konsolidering för lasten av en överlagrande skyddstäckning (jfr. naturligt lagrade lösa leror). Sådana skikt får en relativt låg skjuvhållfasthet och motståndet mot rotpenetration kan förutsättas bli sämre.

Administrativa motåtgärder

Möjligheterna att reducera eventuella skador genom administrativa åtgärder omfattar främst regler och kontrollfunktioner (t.ex. återkommande besiktning) som säkrar tekniska motåtgärder och skötselåtgärder.

7.8 Påverkan av (grävande) djur

Sannolikhet

I litteraturen framhålls ofta risken för att vissa djurarter gräver i jord och därvid skadar tätskiktet eller andra skyddande installationer. Sannolikheten för detta beror naturligtvis på täckningsmaterialet och skyddstäckningens mäktighet samt vilka djurarter som kan etableras i den miljö som det efterbehandlade området erbjuder. Även klimat, växtlighet, vattenförhållanden och andra miljöfaktorer bedöms vara av betydelse för denna risk.

Konsekvenser

Effekterna av att skyddskonstruktioner skadas eller att öppningar skapas genom grävande djur kan bli påtagliga på lång sikt, men är trots allt ändå lokala. I de fall täckningen ska fungera som syrebarriär ovan grovkornigt material kan många enstaka, men relativt små hål i barriären (täckningen), medföra konsekvenser eftersom lufttransporter av luft i det grova materialet kan syresätta föroreningen.

Tekniska motåtgärder

Valet av jordmaterial som skyddsskikt ovan en förorening bedöms vara mest väsentlig när det gäller att hindra djur från att gräva i skiktet. Etablering av steniga skikt som skydd torde vara de effektivaste hindren för djur att gräva medan andra material, t.ex. isolerskikt, i värst fall kan verka i motsatt riktning.

Administrativa motåtgärder

Administrativa åtgärder mot djurs grävning ligger främst i ett områdes markanvändning och skötsel, vilket diskuteras i avsnitt 9.

7.9 Förändrade stabilitetsförhållanden

Sannolikhet

Vid stabilitetsbedömningar i markområden brukar man skilja på ras och skred. Ras inträffar i friktionsjord som sand och grusmaterial när de enskilda kornen i en slänt rasar ut för att forma en flackare släntlutning. Skred inträffar oftast i finkornig jord av lerfraktion och brottet sker oftast utmed en glidyta (som kan ligga på relativt stora djup under markytan) varvid hela stycken av jorden förflyttas. Det finns också andra typer av brott i jord, bl.a. hydraulisk bottenuppträckning (i grävda schakter) och brott till följd av rörbildning i jord (inre erosion, partikelvandring, vid höga hydrauliska gradienter).

Skred orsakar de mest allvarliga konsekvenserna eftersom hela områden kan förflyttas. I Sverige är de skredbenägna områdena kända och de mest kritiska övervakas av staten genom ett myndighetsuppdrag hos Statens geotekniska institut, SGI.

Den säkerhetsfaktor som används i geotekniska sammanhang kan inte direkt översättas till en siffra på sannolikhet för skred, men bedömningen är att sannolikheten ligger något lägre än 1:10 000 i skredbenägna områden.

Även om skred är den typ av brottmekanism som bör uppmärksammas mest bör dock inte övriga slag av brottmekanismer negligeras. Detta gäller framför allt i samband med ingrepp i ett förorenat område, t.ex. grävning i slänter eller i djupa schakter.

Konsekvenser

Konsekvenserna av ett skred i ett förorenat område kan få mycket allvarliga följder. Inte sällan sker skred intill vattendrag, vilket innebär att föroreningen plötsligt efter ett skred kan befinna sig i vattendraget med allt vad det kan innebära för nedströms liggande skyddsobjekt.

Tekniska motåtgärder

Det finns en rad åtgärder mot skred, bl.a. genom omfördelning av jordmassor, införandet av stabiliserande stödbankar, kalkpelförstärkning m.m. Behov av sådana åtgärder brukar rutinmässigt undersökas för förorenade områden som vilar på finkornig jord (silt och lera) intill vattendrag, medan behovet av erosionskydd (skydd mot ras) undersöks för alla förorenade områden intill vattendrag.

Administrativa motåtgärder

I ett geotekniskt stabilt, men skredbenäget område, kan stabiliteten försämrats genom ändrade belastningsförhållanden, t.ex. omfördelning av jord genom schaktning, eller ökat vattentryck (portryck) i marken till följd av höjd grundvattenyta eller varaktiga regnperioder. Det finns många exploaterade områden som är utsatta för risker i samband med sådana förändringar. Övervakningen är därför utformad med hänsyn till detta och i de mest skredbenägna områdena inom landet sker idag övervakning av SGI.

7.10 Brand i området eller i dess omgivning

Sannolikhet

Bränder kan alltid förväntas uppkomma på lång sikt. Spontana gräs- och skogsbränder uppträder normalt i de flesta miljöer i det långa tidsperspektivet. Likaså finns alltid en risk för bränder i bebyggelse.

Konsekvenser

Värmen som genereras vid en brand kan bli hög, men blir ändå relativt kortvarig och drabbar inte jordlagren i någon hög utsträckning. Konsekvenserna av mindre bränder såsom gräsbränder bedöms generellt vara obetydliga redan några få decimeter ned i jorden.

Konsekvenserna av brand på markytan i ett förorenat område torde därför bli måttliga. Om marken innehåller flyktiga komponenter, t.ex. lätta petroleumkolväten, lösningsmedel eller kvicksilver, kan dock temperaturökningen vara tillräcklig för att öka avgången av dessa ämnen till luften och risker finns även att dessa ämnen förbränns vilket ökar risken för bildning av t.ex. dioxin. I vissa fall kan också kunna tänkas att explosionsrisk föreligger vid kraftigare bränder på grund av metan som ansamlats i eller under täckningen eller i övervakningsinstallationer.

Tekniska motåtgärder

En täckningstjocklek över markföroreningar med en dryg meter jord bedöms utgöra ett tillräckligt skydd mot brand. I samband med utformningen av skyddsåtgärder för organiska föroreningar bör utformningen också ta hänsyn till om explosiva gaser skulle kunna ansamlas och skyddet utformas utifrån detta (t.ex. genom naturliga dräneringsmöjligheter).

Administrativa motåtgärder

Administrativa åtgärder mot brand ligger främst i ett områdes markanvändning och skötsel, vilket diskuteras i avsnitt 8.

7.11 Översvämning

Sannolikhet

Sedan de omfattande översvämningarna i Sverige kring årsskiftet 2000-2001 har utredningar om översvämningens riskerna i landet genomförts. Av störst intresse är Klimat- och sårbarhetsutredningens delbetänkande från 2006 ”Översvämningshot – Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Väneren”, vilken behandlar hotet inte enbart för våra största sjöar utan också mer allmänt och i ett långt tidsperspektiv. Rapporten ”Miljöpåverkan från översvämningar” av Statens geotekniska institut och Räddningsverket har ett mera begränsat intresse i detta sammanhang eftersom den inriktas mot ett klassificeringssystem för miljöpåverkan. Den är trots allt viktig när det gäller inrättandet av administrativa system.

Konsekvenser

Översvämningar kan utgöra allvarliga händelser för ett förorenat område. Konsekvenserna blir olika från fall till fall beroende på ett antal faktorer. Minst tre omständigheter bör beaktas som en följd av översvämningar; ökad vattenomsättning i föroreningskällan, risk för erosion i föroreningskällan samt tillförsel av ämnen som påverkar föroreningskällans egenskaper negativt med bäring på exponering och spridning.

Spridningen av lösta föroreningsämnen är i stort sett proportionell mot vattenomsättningen. Ökad vattenomsättning i det förorenade områdets jordporsystem kan främst fås i jordstrukturer som är genomsläppliga, t.ex. sandiga och grusiga material och som saknar omslutande tätande skikt. Tätare jordar eller föroreningar eller jordar som är omslutna av tätande skikt hinner helt enkelt inte genomströmmas vid temporära vattenståndsökningar.

Erosion är en kritisk påverkan eftersom inte enbart lösta ämnen sprids utan även partikelbundna ämnen. Erosion kan fås i strandkanter mot sjöar, hav och vattendrag, men också i ledningar och ledningsgravar som står i förbindelse med föroreningen. I sammanhanget bör nämnas att åtgärder mot översvämningar kan försämra skyddet mot erosion. Läns-pumpning kan genom höga hydrauliska gradienter åstadkomma förflyttning av förorenade partiklar i jord, ledningar och schakter.

Tillförseln av ogynnsamma ämnen genom översvämningar kan bestå i att avloppsvatten eller lösningsmedel förs in i föroreningen. Förutsättningen är dock att vattnet kan nå föroreningen, dvs. att denna inte ligger i en för tät jordmatris eller att föroreningen är omgiven av tätande skikt som kan motstå föroreningen. Det bör noteras att barriärer också kan förstöras av främmande ämnen, varför detta också är en faktor att beakta.

Tekniska motåtgärder

De tekniska motåtgärder som står till buds mot översvämningar är främst tätande skikt som hindrar översvämmande vatten att ta sig in i föroreningen. Utöver detta bör ett förorenat område alltid säkras från erosion i alla former, t.ex. genom att

bygga erosionsskydd mot vattendrag samt genom materialavskiljande lager kring ledningar och ledningsgravar som kan motstå kraftiga hydrauliska gradienter.

Administrativa motåtgärder

Samhället har idag beredskap och handlingsplaner för översvämningar. Sannolikt har dock inte konsekvenserna för förorenade områden beaktats i särskild grad, varför detta bör vara en uppgift i framtiden. Se också avsnitt 10.

7.12 Sabotage eller krigshandling

Sannolikhet

Idag är riskerna för sabotage och krigshandlingar svårbedömda. Handlingarna är mer dolda (terroraktioner) och riktade mer mot civila mål än tidigare. Att sabotage och terrorverksamhet kan inträffa i det framtida Sverige måste ses som en uppenbar risk även om sannolikheten varierar kraftigt i tiden.

Huruvida efterbehandlade områden (eller ej efterbehandlade områden) är sannolika mål för sabotage eller krigshandlingar är tveksamt. Ett rimligt antagande är att endast sådana riskobjekt där en terror- eller sabotageaktion leder till omedelbara och svåra skador för en stor mängd människor ligger i riskzonen. För detta krävs i sin tur att föroreningen har en stor skadepotens och att riskobjektet ligger nära det potentiella skyddsobjektet, t.ex. en viktig publik vattentäkt. Sådana riskobjekt bör emellertid också utgöra objekt som ligger högt i prioritet för att snart bli sanerade. Man bör således kunna dra slutsatsen att efterbehandlingsobjekt inte har så hög prioritet för angripare av typ terrorister, sabotörer eller krigförande enheter. Det finns helt enkelt andra mål som är mer ändamålsenliga att attackera än förorenad mark.

Konsekvenser

Allvarliga konsekvenser av sabotage eller krigshandling är att föroreningen snabbt blir exponerbar eller spridd. Förorening av publika vattentäkter kan därvid få stora och svårreparerbara konsekvenser.

Tekniska motåtgärder

Tekniska motåtgärder för yttre påverkan är barriärer av olika slag. Det är väl dock knappast troligt att dimensionering av barriärer kommer att ske mot t.ex. bomber.

Administrativa motåtgärder

De administrativa åtgärderna kan ingå i beredskap och handlingsplaner vid sabotage- eller krigshandlingar.

7.13 Landhöjning/landsänkning

På lång sikt ska även ”geologiska skeenden” beaktas. Ett sådant påtagligt skeende är landhöjningen i Sverige. Den allmänna landhöjningens inverkan på t.ex.

barriärers funktion och beständighet i ett förorenat område bedöms dock vara liten i ett hundraårsperspektiv.

Inom Sverige är höjningens storlek för närvarande ca -0,1 till +3,5 mm/år (sänkning i sydligaste delen). Landhöjningen medför en generell sänkning av grundvattennivån i förhållande till markytan med knappt samma storlek som landhöjningen. Även vattennivån i sjöar, som inte regleras, sänks successivt relativt omgivande mark med kanske någon eller några millimeter per år. En sådan sänkning minskar i princip riskerna för översvämning, men kommer inte att få någon större betydelse förrän på mycket lång sikt.

7.14 Klimatförändringen

I ett hundraårigt tidsperspektiv kommer även effekterna av den pågående klimatförändringen att inverka. Enligt de bedömningar som idag finns kommer vi som följd av växthuseffekten att få en höjning av havsytan, av årsmedeltemperaturen och av nederbörden. På grund av temperaturhöjningen kommer även avdunstningen att öka, varför nettonederbörden inte ökar i samma takt. Hur klimatförändringen kommer att påverka förorenade områden är i stora delar oklart.

7.15 Jordbävningar

De jordskalv som inträffar i Sverige överstiger normalt inte de vibrationer som trafik- och byggverksamheten skapar. Sannolikheten för så stora jordbävningar att exponeringen och spridningen skulle öka är därför ytterst liten, inom de tidsperspektiv som det här är fråga om.

7.16 Nästa istid

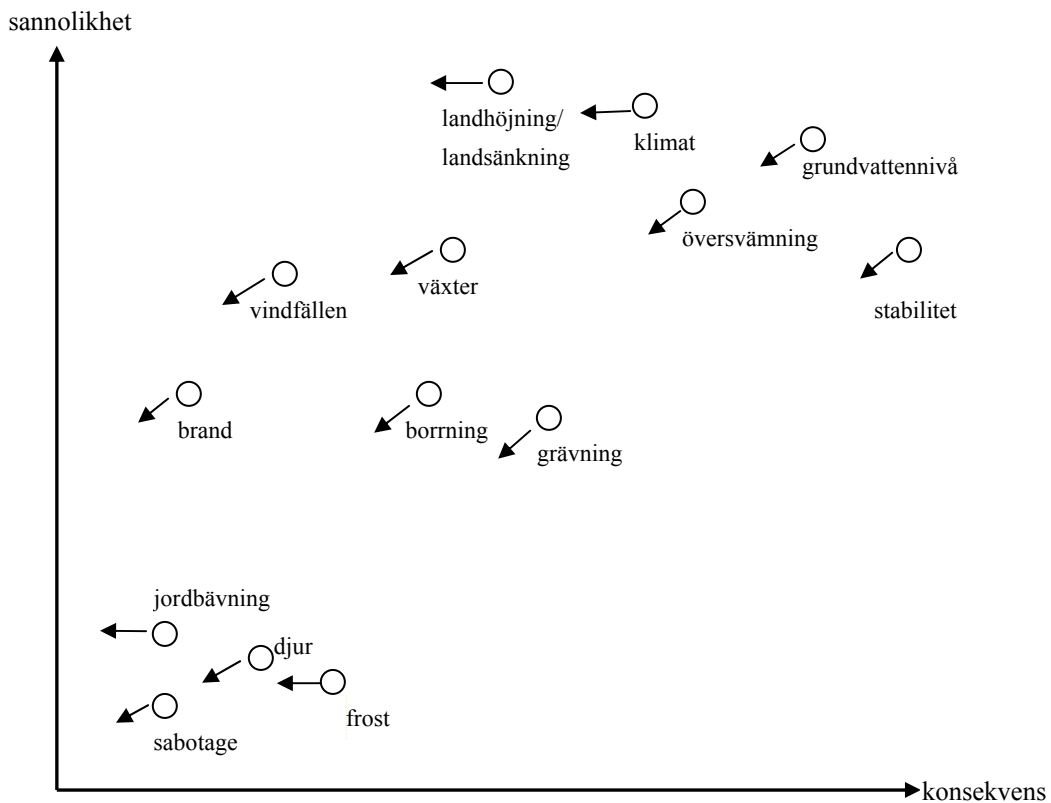
En ny istid kommer att radikalt omvandla landskapet och omfördela jordskorpans jord och ytliga bergformationer. Nästa istid ligger dock så långt borta i tiden och medför så stora konsekvenser för samhället i övrigt att saken inte bedöms som relevant att diskutera i detta sammanhang.

KONKLUSION

En översiktlig sammanfattning av avsnitt 7 ges nedan där ogynnsamma utfall av omgivningsförändringar på lång sikt har lagts in i ett diagram med stigande sannolikhet på vertikala axeln och ökad negativ konsekvens för exponering och spridning på horisontella axeln.

I diagrammet markerar pilar hur åtgärder kan minska sannolikheten och konsekvensen. Åtgärderna för att åstadkomma detta är en kombination av tekniska och administrativa åtgärder, där i allmänhet de administrativa åtgärderna verkar vertikalt i diagrammet och de tekniska horisontellt.

Exempelvis är det svårt att med administrativa hjälpmedel påverka sannolikheten för att landhöjningen får negativa konsekvenser i ett förorenat område medan konsekvensen som sådan kan påverkas med tekniska åtgärder. Negativ konsekvens av grävning kan påverkas med både administrativa (t.ex. förbud att gräva) och tekniska åtgärder (t.ex. täckningstjocklek).



8 Tekniska åtgärder

8.1 Allmänt

Krav som bör ställas på tekniska skyddsåtgärder i ett förorenat område beskrivs nedan i ett antal punkter. Respektive åtgärd bör:

- vara kontrollerbar, åtkomlig och reparerbar
- inte omöjliggöra eventuella framtida åtgärder
- kunna värderas avseende beständighet
- uppfylla ett eller flera åtgärds mål
- ha en eller flera funktioner och följas av motsvarande kravspecifikation, varvid funktion och kravspecifikation ska kunna verifieras.

8.2 Kontrollerbarhet, åtkomlighet, reparerbarhet och framtida åtgärder

Kontrollerbarhet, åtkomlighet och reparerbarhet kan sägas gälla för alla konstruktioner. Genom de tre punkterna säkerställer man att åtgärden är möjlig att utvärdera över tiden och att åtgärden är möjlig att reparera om något inträffar som äventyrar åtgärden.

En åtgärds funktion kan bestå även om konstruktionen förändras. Kontrollerbarheten bör därför koncentreras till åtgärdens funktion och de parametrar som är av vital betydelse för denna. Exempel är deformationer, täthet, sprickförekomst etc.

Åtkomligheten tar hänsyn till att åtgärden inte ”blockerar” en reparation, dvs. att man inte ”bygger bort” den möjligheten. Kravet på reparerbarhet kan vara förenat med mer eller stora insatser. En värdering av varje åtgärd bör därför göras utifrån frågan hur åtgärden kan repareras eller ersättas samt vilka risker som reparationen är förknippad med och de medel som krävs.

I ett förorenat område kan planer finnas om en annan användning av området i framtiden. Åtgärder som vidtas bör därför generellt utformas så att framtida åtgärder inte omöjliggörs. Ett exempel är möjligheten att i framtiden gräva bort föroreningen.

8.3 Beständighet (funktion på lång sikt)

Kravet på beständighet, eller snarare den tekniska åtgärdens funktion på lång sikt, kan ibland begränsas, t.ex. i sådana fall där föroreningen är organisk och där nedbrytning pågår naturligt eller stimuleras på konstgjord väg. I avsnitt 3 ges några exempel på halveringstider för BTEX- och PAH-substanser.

I de fall där oorganiska föroreningar eller persistenta organiska föroreningar föreligger, ska åtgärdens funktion vara beständig över lång tid, se också avsnitt 4.

Med beständighet avses således i detta sammanhang en konstruktions förmåga att bibehålla sin funktion över lång tid. Funktionen kan påverkas av följande förändringar, var för sig eller i kombination:

- formändring (deformationer, brott)
- påverkan av inre processer (kemisk eller biologisk omvandling)
- påverkan av yttre processer (frost, värme, vatten, gas etc.)

I samtliga fall bör de förändringar särskilt granskas som medför att en eller flera egenskaper i konstruktionen, som funktionen är beroende av, ändras så allvarligt att avsedd funktion inte kan upprätthållas.

Formändringar till följd av deformationer, t.ex. sättningar, eller brott (t.ex. sprickor) kan bero på både inre processer och yttre påverkan. Exempel är sprickor som en konsekvens av krympning (inre påverkan) och sprickor till följd av temperaturrörelser (yttre påverkan).

De inre processerna kan liknas vid de processer som beskrivits i avsnitt 3. För tekniska åtgärder ligger emellertid fokus på egenskapsförändringar som påverkar funktionen och inte på vad som exponeras eller sprids.

Ett aktuellt exempel kring en långsiktig funktion är utformningen av ”bufferten” i djupförvaret av kärnbränsle som Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) svarar för. Kring de 5 meter långa och 1 meter (diameter) breda kopparkapslarna ska bentonitlera packas in i berget på cirka 500 meters djup. Det finns exempel på bentonitlera som behållit sin svällande och plastiska förmåga i tusen år men det finns också processer som på kortare tid påverkar dessa egenskaper; t.ex. illitisering (bentoniten tappar delar av sin svällförmåga) och cementering (påverkar bentonitens svällförmåga och plastiska egenskaper).

I SKBs fall är tidsperspektivet mer eller mindre ”evigt” (mer än tiotusentals år). Det långa tidsperspektivet medför att ett stort antal tänkbara processer, såväl i ”bufferten” som i berget runt bufferten, måste beaktas. Vidare innebär tidsperspektivet att också stora klimat- och geologiska förändringar måste beaktas liksom grundläggande politiska samhällsförändringar som kan påverka förvaret.

Beständighetsfrågorna koncentreras ofta till enbart materialegenskaperna. Åtskilliga institutioner och laboratorier världen över arbetar med utvärdering av materials långtidsegenskaper. Man utför t.ex. försök med accelererad åldring genom att utsätta materialen för fysiska, kemiska och biologiska belastningar som ska simulera lång tid.

Flera material är tämligen väl kända när det gäller beständigheten och vilka betingelser som påverkar denna i ett hundraårsperspektiv, t.ex. betong och bentonit. Vidare finns utredningar kring beständigheten i material i olika tillämpningar, t.ex. beständighet hos djupstabiliserad jord.

När det gäller naturmaterial och deras beständighet, var för sig eller i kombinationer, kan jämförelsen med naturen vara fruktbara. Bland processer som är väl kända kan nämnas vittring. En annan jämförelse är långsiktig dränering som kan studeras i grusåsar där olika materialkombinationer fungerat i tusentals år utan att dräneringsfunktionen nedsatts.

Även människans konstruktioner kan vara värda att studera ifråga om beständighet. Inte minst gäller detta konstruktioner från andra kulturer, men även från nutida fungerande konstruktioner, t.ex. jorrdammskonstruktioner, vilka har anknytning till hydrauliska barriärer i jord.

8.4 Åtgärds mål, funktioner och kravspecifikationer

I kapitel 10 diskuteras validerings- och verifieringsbegreppen samt kravspecifikationer och deras tillämpning på efterbehandlingsprojekt.

KONKLUSION

Det finns begränsat med explicita beständighetsstudier på konstruktioner och konstruktionsmaterial i tidsperspektivet hundra år eller mer. Bristen kan i viss utsträckning kompenseras med studier av hur naturens egna formationer och de artificiella konstruktioner som människan skapat och som fungerat under mycket lång tid. Det är emellertid viktigt att klargöra under vilka förutsättningar materialen, formationerna och byggnadsverken fungerat och att jämföra dessa med de förutsättningar som råder i det aktuella efterbehandlingsfallet.

Inte bara materialen som sådana är av intresse utan också samverkan mellan materialen. Det är därför inte tillräckligt att visa på beständighet hos de enskilda materialen utan också hos den aktuella kombinationens beständighet måste kunna visas. Exempel är utformningen av dräneringsskikt där valet av fel korstorleksfördelning i och kring dräneringen kan leda till inre erosion och igensättning av dräneringen.

Ett naturligt (geologiskt) material som bör uppmärksammas särskilt i detta sammanhang är bentonit. Materialet används idag frekvent som tätande och fastläggande material i "miljökonstruktioner" och planeras bland annat att användas som buffert i djupförvaret för kärnavfall. Bentonit utgörs av sedimenterad vulkanisk aska. Bentonit säljs idag i förtillverkade element (mattor) och i lös form. Bentonit kan inte brytas ned och förstöras men dess egenskaper kan förändras i vissa miljöer.

Cement- och betongliknande material intar en särskild ställning i fråga om beständighet. Romarna använde för flera tusen år sedan sådana material i sina konstruktioner, av vilka flera fortfarande är intakta och kan studeras. Det finns också flerhundraåriga artificiella konstruktioner i naturmaterial som kan tjäna som vägledning i beständighets-hänseende. Exempel är jorddammar, kanalbyggnader och invallningar.

Kontrollerbarhet, åtkomlighet och reparerbarhet understryks särskilt i denna rapport när det gäller utformningen av tekniska åtgärder. Mot bakgrund av osäkerheten om framtida omgivningspåverkan i kombination med osäkerhet i tekniska funktioners beständighet, bör i samtliga efterbehandlingsfall dessa faktorer beaktas i utformningen.

9 Administrativa åtgärder

9.1 Allmänt

Förutom de idéer kring administrativa åtgärder som arbetsgruppen och referensgruppen diskuterat bygger avsnittet på personintervjuer, vars namn anges efter varje avsnitt.

I så gott som alla områden, där föreningar kvarlämnas, krävs någon form av administrativa skyddsåtgärder. Ett uppenbart exempel är att grävning normalt inte bör tillåtas i ett förorenat område och att området därför måste beläggas med en sådan restriktion. Ett annat exempel är föreskrifter och anvisningar om att ledningsdragningar (VA, el, tele m.m.) inom ett förorenat område endast får ske i ”rena korridorer i mark” som är ”friklassade” genom undersökningar eller som skapats med rena massor. En sådan restriktion medför att framtida reparationer och utbyten av ledningar inte konfronteras med föroreningarna, vilket annars skulle kunna leda till exponering och spridning av olika slag (damm, gas, förflyttning av jord etc).

Administrativa åtgärder i kombination med tekniska åtgärder kan vara mycket verkningsfulla och kostnadseffektiva för att nå önskat resultat i efterbehandlingen. Hur de administrativa åtgärderna bör utformas bör avgöras särskilt i varje enskilt fall. En svårare fråga är var de administrativa åtgärderna formellt ska inlemmas i ett regelverk med god tillgänglighet och beständighet. Här koncentreras diskussionen till den sistnämnda frågan.

9.2 Administrativa verktyg

Nedan beskrivs följande administrativa verktyg för dokumentation och restriktioner beträffande förorenade områden:

- Miljöriskområden
- Regionala och lokala databaser
- Fastighetsregistret
- Detaljplaner

Miljöriskområden

Enligt miljöbalken och förordningen om miljöriskområden (1998:930) ska länsstyrelsen förklara ett mark- eller vattenområde för miljöriskområde om det är så allvarligt förorenat att det med hänsyn till risk för människors hälsa och miljö är nödvändigt att föreskriva om begränsningar i markanvändningen eller andra försiktighetsmått.

Enligt miljöbalken ska länsstyrelsen besluta om inskränkningar i markanvändning eller om föreskrifter angående vissa åtgärder, t.ex. ändrad markanvändning, grävning och bebyggelseåtgärder, om sådana åtgärder skulle kunna innebära:

- att belastningen av föroreningar i och omkring området kan komma att öka,
- att den miljömässiga situationen annars försämras eller
- att framtida efterbehandlingsåtgärder försvåras.

Syftet med reglerna om miljöriskområden är att göra det möjligt att införa restriktioner i markanvändningen och därmed motverka framtida hälso- och miljörisker. Enligt miljöbalken ska länsstyrelsen ändra eller upphäva beslutet när efterbehandling skett eller föroreningarna av någon annan anledning har minskat så att restriktionerna inte längre är nödvändiga.

Möjligheten att förklara ett område för miljöriskområde har hittills inte tillämpats. Orsaker till detta uppges vara den relativt krävande process som enligt förordningen om miljöriskområden ska föregå länsstyrelsens beslut. Processen ska inkludera:

- utredning
- yttranden från fastighetsägare och rättighetsinnehavare
- kungörelse
- samråd med myndigheter samt
- vid behov
 - sammanträde med berörda
 - platsbesiktning

Andra skäl som framförs är att beslutet om miljöriskområden har bindande rättsverkan och därmed är så kraftfullt att miljöriskområden skulle betraktas som ”döda” områden, vilket kommuner och andra lokala och regionala intressenter inte önskar. Detta är emellertid ett svårförståeligt skäl, eftersom ett huvudproblem med andra alternativ (t.ex. upplysningar i detaljplan) är att dessa inte är bindande. Önskemål om en ”lightversion” av miljöriskområden har framförts men ett förenklat förfarande är svårt förena med grundläggande krav på rättssäkerhet.

Trots de svårigheter som idag tycks råda kring att förklara områden som miljöriskområden, borde miljöriskområden som administrativa verktyg kunna utvecklas i syfte att säkra efterbehandlingsåtgärders effekt på lång sikt.

Regionala och lokala databaser

Ett antal regionala och lokala databaser byggs i dagsläget upp i samband med den s.k. MIFO-inventeringen. Databaserna består av objekt från andra kommunala miljöinventeringar och markärenden vid miljökontoren. Som exempel kan nämnas Göteborgs Miljöförvaltnings interna GIS-baserade databas där offentliga uppgifter och internt arbetsmaterial rörande områden, som befaras eller konstaterats vara förorenade, läggs in. I databasen finns länkar med bland annat diarienummer för vidare information. Databasen fungerar enligt miljöförvaltningen (Jenny Mossdal) bra, även om databasen inte är integrerad med annan geografisk information i GIS-databaser.

Regionala och lokala databaser fyller en funktion som inte funnits tidigare. En nackdel med databaser inom mindre enheter, t.ex. i en del av en kommunal förvaltning, är att de inte är åtkomliga eller anpassade för en bredare användning. De kan därför inte användas för att upplysa allmänheten om restriktioner i ett visst område.

Ett offentligt och sökbart system som skulle kunna omfatta förorenade områden för en bred användning är exempelvis fastighetsregistret, se nedan.

Fastighetsregistret

I 26 kap 15 § miljöbalken stadgas att föreläggande eller förbud (och eventuella löpande viten), som meddelats mot någon i egenskap av fastighetsägare, får antecknas i fastighetsregistrets inskrivningsdel. Om den som senast sökt lagfart inte är föreläggandets adressat, ska denne informeras om anteckningen.

En anteckning i fastighetsregistret innebär att föreläggandet eller förbudet blir gällande även mot ny fastighetsägare. Om det aktuella föreläggandet eller förbudet har upphävts genom beslut eller om ändamålet med föreläggandet eller förbudet har förlorat sin betydelse, ska tillsynsmyndigheten anmäla detta till inskrivningsmyndigheten för borttagning av anteckningen.

Av varje föreläggande måste framgå adressaten och vad adressaten förväntas göra. Om föreläggandet gäller enbart del av en fastighet bör detta preciseras med t.ex. koordinater.

Föreläggande skulle kunna avse långsiktig egenkontroll för övervakning av förutsättningarna på platsen (klimat, sabotage, etc.), att skyddskonstruktioner (slitsmurar etc.) fortfarande är intakta och att administrativa åtgärder efterlevs. Det är dock tveksamt om förelägganden kan meddelas i förebyggande syfte. Ett krav från myndigheter måste korrespondera till ett juridiskt ansvar. Fastighetsägare har under vissa förutsättningar ansvaret för föroreningar inom en fastighet. Så kan vara fallet om denne har orsakat föroreningen, vidtar en åtgärd som riskerar att förvärra föroreningssituationen eller har ett subsidiärt ansvar enligt 10 kap 3 § i miljöbalken. Om ingen grund för ansvar föreligger, kan heller inget föreläggande meddelas.

Anteckning eller föreläggande i fastighetsregistret kan, som angivits ovan, endast adresseras till någon i egenskap av fastighetsägare. Det är alltså inte möjligt att adressera antecknat föreläggande till någon i egenskap av verksamhetsutövare, vilket således är en begränsning som administrativt verktyg för restriktioner i ett markområde.

Föreläggande kombinerat med anteckning i fastighetsregistret har tillämpats av Uppsala kommun i förorenade områden och angående användning av restprodukter som konstruktionsmaterial i mark i ett 40-tal ärenden. Ett av ärendena gäller ett förorenat område där varken fortsatta undersökningar eller efterbehandlingsåtgärder kan motiveras utifrån riskvärderingen men anteckning i fastighetsregistret är motiverad. Föreläggandet ställer krav på samråd med tillsynsmyndigheten innan schaktning får ske. Främsta syftet med föreläggandet, enligt miljökontoret (Bernt Forsberg), är att upplysa framtida fastighetsägare och nyttjare av fastigheten om den kvarlämnade markföroreningen.

Fastighetsregistret är således, med de begränsningar som angivits ovan, en formell möjlighet att föreskriva vissa typer av administrativa åtgärder. En viktig begränsning med föreläggande och anteckning i fastighetsregistret är dock att föreläggandet måste adresseras till fastighetsägaren, som då måste ha någon form av ansvar enligt miljöbalken för att föreläggandet ska anses vara lagligt.

Fastighetsregistret i Danmark

I Danmark används fastighetsregistret för registrering av förorenade områden. Det är kommunerna som sköter registreringen efter kommunikation med regionen (f.d. amt/län). Även misstankar grundade på historiska uppgifter om tidigare miljöfarlig verksamhet inom området medför att föroreningen ska registreras i fastighetsregistret.

Det finns i Danmark två nivåer för registrering, Vetskapsnivå 1 (V1) och Vetskapsnivå 2 (V2). Den förstnämnda nivån tillämpas om registreringen grundar sig på historik eller uppgifter om tidigare förorenande verksamheter på platsen, den sistnämnda nivån på undersökta och konstaterade markföroreningar genom markundersökningar. Registrering av förorenade områden styrs av den danska jordföroreningslagen.

Fördelen med registrering i fastighetsregistret uppges vara att det finns en offentlig databas med uppgifter om misstanke eller konstaterad markförorening, vilket är till gagn för spekulanter, kreditgivare, myndigheter, offentliga organisationer och övriga intressenter. Registrering i fastighetsregistret kan för enskilda markägare medföra ekonomiska konsekvenser som sänker värdet på fastigheten, vilket kan leda till skulder vid försäljning eller att kreditgivare ändrar kreditvillkor för en fastighet.

För att få bygglov på en fastighet som är registrerad i det danska fastighetsregistret krävs särskild ansökan och godkännande av kommunen, vilket minskar risken för okontrollerat byggande inom förorenade områden. Om fastigheten genom markundersökningar visats vara tillräckligt ren registreras detta i fastighetsregistret. Den historiska informationen om tidigare misstänkt eller konstaterad förorening kvarstår dock.

Personliga källor för information angående fastighetsregistret:

- Samtal med Bernt Forsberg, Miljökontoret, Uppsala kommun (2007-03-01).
- Samtal med jur. dr. Jan Darpö (2007-03-01)
- Samtal med advokat Bo Nilsson, Advokatfirman Åberg & Co. (2007-03-01).
- Samtal med Claus Kirkegaard, DGE A/S (under februari 2007).

Detaljplan

Det finns i dagsläget inte någon möjlighet att skriva in restriktioner i översikts- eller detaljplaner (däremot kan man skriva in upplysningar, se nedan) avseende markanvändningen i ett förorenat eller delvis sanerat område. PBL-kommittén har dock föreslagit ändringar i plan- och bygglagen (PBL) så att det kan bli möjligt att

föra in restriktioner i planer, exempelvis restriktioner om att bygglov ska villkoras av särskilda åtgärder inom exempelvis ett förorenat område (SOU 2005:77).

Enligt uppgift förekommer det att restriktioner redan i dagsläget skrivs in i detaljplaner för att möjliggöra utveckling av förorenade områden. Bestämmelserna i nuvarande PBL är dock begränsande för både kommuner och exploatörer i så motto att exploatörerna ofta är beroende av detaljplanen för att våga investera medan kommunerna ska planlägga marken för det ändamål den är lämplig. Det sistnämnda innebär att det kan vara svårförenligt med PBL att anta en detaljplan som tillåter bostäder i ett förorenat område.

En notering från Boverket och Naturvårdsverket (NV rapport 5608) är att det även kan vara möjligt att införa restriktioner och saneringsvillkor i civilrättsligt bindande avtal mellan kommunen och exploatörer eller markägare. Vidare påtalar Boverket och Naturvårdsverket att innehållet i sådana avtal skulle kunna anges i planens genomförandebeskrivning. Enligt Boverket skulle länsstyrelsen, med avtalet som garant för markens lämplighet, kunna godta kommunala detaljplaner för förorenade områden, trots att de är detaljplanerade för bostadsändamål.

Det bör noteras att markingrepp endast lämplighetsprövas gentemot gällande planer om ingreppet kräver ett lovpliktigt resultat, t.ex. grundläggning till stort djup. Någon lämplighetsprövning av exempelvis grävning kombinerat med återläggning sker inte mot gällande planer, dvs. vid sådana åtgärder finns inga formella krav att titta på detaljplanen och därmed kan information rörande förorenade områden i detaljplanen bli verkningslösa.

Enligt PBL kan man redan i dagsläget införa upplysningar (dock ej restriktioner eller bestämmelser) angående risker vid förorenade områden på plankartor och i plan- och genomförandebeskrivningar liksom i kommunens översiktsplaner. Boverket noterar att det är lämpligt att upplysningarna skrivs på själva ritningen invid plankartan. Upplysningar invid plankartan kan omfatta hänvisningar till planbeskrivningen eller en uppmaning om att skriftligt underrätta miljömyndigheten innan exempelvis grävning vidtas. Från planläggarens sida är det önskvärt med upplysningar rörande risker vid förorenade områden redan i översiktsplanen eftersom detta underlättar kommunens kommande detaljplanering.

Upplysningarna i detaljplanen är inte bindande och tillhör inte själva planen i den meningen att de har någon juridisk verkan. Företrädare för Boverket anser att upplysningar som hänvisningar, länkar m.m. angående risker vid förorenade markområden, bör nyttjas i större omfattning i detaljplaneringen.

Ändring i upplysningen kan utan föregående politiskt beslut göras av handläggande tjänsteman. Upplysningar i kommunernas planer är inte ”beständiga” utan kan ändras till följd av t.ex. politiska beslut.

Slutsatsen kring administrativa åtgärder i kommunala detaljplaner är att

- det inom gällande lagstiftning är möjligt att införa upplysningar om risker vid förorenade områden i detaljplaner och i planernas genomförandebeskrivningar
- det inte går att skriva in restriktioner i detaljplaner (lagförslag för ändring av detta har dock redovisats av PBL-kommittén)

- upplysning i detaljplanen kan inge ”falsk säkerhet” eftersom planerna bara behöver beaktas om den planerade aktiviteten innebär ett lovpliktigt resultat.

Personliga källor för information angående detaljplaner:

- Samtal med Per Gullbring (under februari 2007).
- Samtal med Claus Kirkegaard, DGE a/s, (under februari 2007).
- Samtal med Ingemar Palm, Boverket (2007-03-02).

KONKLUSION

I så gott som alla områden, där föroreningar kvarlämnas, krävs någon form av administrativa skyddsåtgärder. I kombination med tekniska åtgärder kan administrativa åtgärder vara mycket verkningsfulla och kostnadseffektiva för att nå önskat resultat i efterbehandlingen.

Exempel på administrativa åtgärder är restriktioner i grävning eller föreskrifter och anvisningar om placeringen av VA-ledningar i syfte att framtida läckor eller reparationer inte ska öka risken för exponering eller spridning av föroreningarna.

En central fråga är om och hur administrativa åtgärder kan göras tillämpliga och beständiga. I avsnittet diskuteras fyra administrativa verktyg; miljöriskområden, regionala och lokala databaser, fastighetsregistret och detaljplaner. Av dessa verktyg är det endast miljöriskområden som med dagens regelverk kan sägas uppfylla kraven på beständighet.

Inget område i Sverige är idag förklarat som miljöriskområde. Förklaringarna är många, man anser bland annat att processen är komplicerad och att den rättsbindande verkan som ett beslut för med sig har psykologiska effekter (”döda områden” eller liknande). Miljöriskområden som administrativa verktyg borde dock kunna utvecklas i syfte att säkra efterbehandlingsåtgärders effekt på lång sikt. En förklaring om miljöriskområde medför också möjligheter att under lång tid fastlägga markanvändningen, vilket kan vara till fördel i samhällets investeringar i t.ex. infrastruktur.

10 Övervakning, kontroll och korrigerering

10.1 Allmänt

Idag är vanligen tidsperspektivet på övervakning och kontroll inriktat på vad man uppnått omedelbart efter, eller i vart fall kort tid efter, efterbehandlingen.

Entreprenadgarantier, enligt de standardavtal som nu används (AB 92 eller AB 04 samt ABT 94 eller ABT 06), sträcker sig normalt över två år (5 år för ”arbetsprestation” i AB 04 och ABT 06). Inget hindrar dock att denna tid kan förlängas, men man kommer sannolikt inte att nå längre än till 10 år i det civilrättsliga avtalet i entreprenadsammanhang. En längre garantitid skulle i princip utgöra ett avtal med samhället och kräver att verksamhetsutövaren eller samhället övervakar, kontrollerar och eventuellt korrigerar åtgärden för att åtgärdens effekt ska upprätthållas.

Denna rapport pekar på faktorer och processer som bör beaktas för att säkra efterbehandlingsåtgärders effekt över lång tid, minst i hundraårsperspektivet. Kräver detta tidsperspektiv annat synsätt eller annan metodik kring övervakning, kontroll och korrigeringar jämfört med vad som används idag?

10.2 Validering, verifiering och korrigerande åtgärder

Med validering avses i kvalitetssäkringssammanhang att undersökningar och bevis läggs fram som visar att en produkt eller tjänst kan användas och fungerar på avsett sätt. Validering i samband med förorenade områden skulle då innebära att visa att avsedd användning av området och dess omgivning kan upprätthållas utan att det uppstår skada eller olägenhet (i den mening som avses i miljöbalken) till följd av föroreningen eller åtgärden. Valideringen förutsätter således att man bestämt sig för hur området och dess omgivning ska kunna användas i framtiden, vilket brukar uttryckas i åtgärds målen.

Med verifiering avses i kvalitetssäkringssammanhang att undersökningar och bevis läggs fram för att visa att specificerade krav uppfylls i en produkt eller i de komponenter som en produkt eller tjänst är sammansatt av. För ett förorenat område innebär detta att visa att konstruktioners funktion (t.ex. kapacitet i en pump) och egenskaper (t.ex. tätheten i en barriär) uppfylls. Verifieringen kräver således att kravspecifikationer upprättas på funktioner, ingående arbeten och material i de åtgärder som ska vidtas. Verifiering kan också omfatta att visa att allahanda tjänster har genomförts som är förknippade med åtgärden, t.ex. informationsaktiviteter.

Med korrigerande åtgärder avses åtgärder för att eliminera orsaker till avvikelser från vad som specificerats eller förväntats.

Normalt sker verifiering och validering av en produkt vid leverans och tidsaspekten täcks in av garantitiden. På liknande sätt ska ett åtgärdat förorenat område vid leverans uppfylla kriterier för att kunna visa att efterbehandlingen är validerad och verifierad. Godkännandekriterierna är för efterbehandlade områden oftast knutna till tillståndet (beskaffenheten) vid färdigställandet (ofta slutbesiktningen av entreprenaden) och innefattar utföranden och funktioner som går att verifiera tämligen omgående. Någon verifiering av de funktioner och egenskaper som kräver längre observationer (längre än garantitiden för entreprenaden) sker vanligen inte. Normalt upprättas dock miljökontrollprogram som kan verka över lång tid, åtminstone i de fall betydande förorening kvarlämnas och åtgärden innebär att man förlitar sig på funktionen hos fysiska eller geokemiska barriärer, dvs. deponiliknande åtgärder.

Miljökontrollprogrammen har som syfte att mäta effekter av efterbehandlingen (avsnitt 3 i Naturvårdsverkets kvalitetsmanual). Vanligtvis mäts effekterna i form av mindre emissioner eller mindre föroreningar ”nedströms” det åtgärdade området. Implicit ligger i resonemanget att effekterna är kopplade till användningen av området och omgivningen. Miljökontrollen är således indirekt en validering av efterbehandlingsåtgärden.

Miljöeffektmätningen är viktig, men på grund av svårigheterna, eller försummelsen, att verifiera enskilda åtgärders långsiktiga funktioner uppstår svårigheter att lokalisera avvikelser och därmed anvisningar om var korrigerande åtgärder ska sättas in om miljöeffekterna avviker från uppställda krav. Likaså är kontrollen av de utgångspunkter och förutsättningar som ligger till grund för åtgärderna sällan inkluderad i kontrollprogrammen.

10.3 Övervakning, kontroll och korrigerande åtgärder på lång sikt

Som framförts i tidigare avsnitt präglas långtidsperspektivet av en rad osäkerheter, i föroreningskällans förändring, i konstruktionerna och inte minst i de omgivningsförändringar som påverkar källan och konstruktionerna. I en process- eller systembeskrivning skulle detta kunna illustreras med processer (för ökad löslighet, ökad vattenomsättning, andra redoxförhållanden etc.) som är kopplade till varandra och som ytterst påverkar exponering och spridning av områdets föroreningar. Systemavgränsningen är dels geografisk (gränsdragning ”nedströms” för vad som ska skyddas och ”uppströms” för vad som kan påverka), dels funktionell. Med funktionell avses här förhållanden som på ett avgörande sätt bestämmer hur ökad exponering och spridning kan ske, t.ex. vissa grundvattenförändringar eller vissa klimatfaktorer.

Förändringarna i ovan nämnda processer och skeenden styr således om och hur ett områdes föroreningar ökar sin exponering och spridning. Vilka av dessa processer och skeenden som dominerar ökningen beror på platsspecifika faktorer, sannolikt i de flesta fall främst kopplade till människors handlingar (avsiktliga eller

oavsiktliga) men också till förhållanden som rör geologi (jordart, jordlagerföljd), hydrogeologi (grundvattenförhållanden) och hydrologi (ytvattenförhållanden).

För att säkra efterbehandlingsåtgärders effekt över lång tid, bör övervakning och kontroll inte enbart omfatta kontroll av fastställda parametervärden som anger ett sluttillstånd utan också omfatta ”nyckelparametrar” som vid förändring får stor betydelse för exponeringen och spridningen. Systemet kan liknas vid ett ”early warning system” där viss dignitet på förändringar aktiverar en handlingsplan. I denna plan ska korrigerande åtgärder finnas, dvs. en i förväg genomtänkt plan kring åtgärder för att kompensera eller mildra förändringens negativa effekt. Systemet kan liknas vid de program för övervakning av översvämningsrisken som Räddningstjänsten hanterar.

Utgångspunkten i övervakningen och kontrollen bör vara föroreningskällan och skyddsåtgärderna. Frågorna koncentreras därför till kritiska processer i dessa och till vad som utgör förutsättningen för att dessa processer sätts igång. Frågor som bör ställas är:

- vilken karaktäristik har föroreningskällan (förorenings och övrigt materials fysiska, kemiska och biologiska egenskaper)?
- vilka processer i källan är kritiska för att källan ska öka sin exponering och spridning i oacceptabelt hög grad?
- vilka omgivningsförhållanden och skeenden är kritiska för att dessa processer ska utlösas?
- vilka skyddsåtgärder har vidtagits och vilken funktion har respektive åtgärd?
- vilka processer och skeenden är kritiska för att respektive skyddsåtgärds funktion ska påverkas på ett oacceptabelt sätt?

Innehållet i miljökontrollprogrammen uppfyller behovet av effektmätningar och har därvid en viktig funktion. Åtgärder med utgångspunkt från miljökontrollprogrammen kommer dock att vara ”reaktiva”, dvs. skadan mildras och repareras i efterhand.

Ett ”proaktivt” synsätt, dvs. att åtgärder sätts in innan skadan inträffar, kräver både effektmätningar men också att kritiska processer och skeenden för oacceptabel exponering och spridning kartlagts.

I samtliga fall är möjligheterna till kontroll, åtkomlighet och reparerbarhet nödvändiga, varför dessa i sig ska säkras i området.

I ett hundraårsperspektiv är en ändamålsenlig drift av ett övervakningssystem, enligt vad som diskuterats ovan, sannolikt inte enkel, men nödvändig. Denna fråga är emellertid inte enbart relaterad till efterbehandlade områden. Den existerar också för t.ex. deponering, vilket är alternativet till att kvarlämna icke förstörbara föroreningar på det område där de uppstått. Inom andra samhällsområden finns etablerade system för övervakning av konstruktioner vars funktion ska upprätthållas på lång sikt, t.ex. Vägverkets och Banverkets broinspektioner och dammägares regelbundna inspektioner av dammvallar, utskov m.m.

KONKLUSION

Den kvalitetssäkring som görs idag är i de flesta fall inriktad på sluttillståndet av en åtgärd och ska visa att fastställd funktion uppnåtts omedelbart efter utförandet och inom viss garantitid. Miljökontrollprogram, ofta baserade på effektmätningar (t.ex. halt i vatten eller i fisk) utförs därefter, av verksamhetsutövaren eller av samhället, i syfte att kontrollera att åtgärden fungerar som avsett. Effekterna är dock sällan kopplade till enskilda funktioner hos åtgärden, varför svårigheter uppstår om korrigeringar i åtgärden behöver göras till följd av utebliven eller liten effekt.

För att säkra efterbehandlingsåtgärders effekt över lång tid bör övervakning och kontroll också omfatta "nyckelparametrar" i föroreningskällan, i omgivningsförändringar och i tekniska konstruktioner som vid förändring får stor betydelse för exponeringen och spridningen. Viss, i förväg, fastställd dignitet på förändringarna bör aktivera en handlingsplan. I planen ska ingå korrigerande åtgärder som går ut på att kompensera eller mildra förändringens negativa effekt.

Miljökontrollprogrammen fyller en viktig funktion men är till sin natur "reaktiva" och går ut på att reparera redan uppkomna olägenheter eller skador. Önskvärt är att införa ett "proaktivt" synsätt där kritiska processer och skeenden för oacceptabel exponering och spridning kartlagts redan från början och som kan aktiveras innan olägenheten eller skadan uppstått.

11 Deponering

11.1 Allmänt

Förevarande projekt behandlar förorenade områden där föroreningar lämnats kvar och diskuterar därför inte deponering. Icke desto mindre är det av intresse att se hur man i deponeringssammanhang betraktar säkringen av skyddsåtgärderna på lång sikt kring en deponi. Deponering är ju alternativet till att lämna kvar föroreningar och kan därför jämföras med ett kvarlämnande, även om deponeringen ofta föregås av någon form av behandling, t.ex. sortering av omhändertagna massor.

11.2 Tidsperspektivet i deponeringsförordningen

Hur deponering ska ske och vilka skyddsåtgärder som ska vidtas styrs av förordningen 2001:512 om deponering av avfall ("deponeringsförordningen"). Förordningen innehåller både funktionskrav och utförandekrav. Beträffande tidsperspektiv anges i 33§ att (med efterbehandlingsfas avses tiden efter det att deponin avslutats):

"Under deponins efterbehandlingsfas skall verksamhetsutövaren se till att det minst i 30 år eller den längre tid som tillsynsmyndigheten bestämmer vidtas de åtgärder för underhåll, övervakning och kontroll som behövs med hänsyn till skyddet för människors hälsa och miljön."

Det anges generellt inte i deponeringsförordningen vilken tidsrymd som ska beaktas vid dimensioneringen av skyddsåtgärder. I allmänt råd till förordningens anges dock t.ex. i 20§ angående en artificiell geologisk barriär (belägen under deponin) att:

"Barriären bör vara beständig över lång tid, vilket innebär att även materialen i skikten bör vara beständiga och ha egenskaper motsvarande de som naturlig jord har."

I vägledningen till samma konstruktion anges att:

"Med en lång tidsrymd kan för deponier för icke farligt avfall menas ett flertal hundra år och för deponier för farligt avfall innebära att de utgör en risk i ett tusenårsperspektiv."

Den mest påtagliga skyddsåtgärden för den långsiktiga funktionen hos en deponi är sluttäckningen. Det som anges angående beständighet för sluttäckningen (31§) finns i vägledningen som bland annat säger:

”Det ska framgå av underlaget som tas fram inför sluttäckningen hur länge materialen i skydds- och dräneringsskikten bedöms vara beständiga och om behov finns att i framtiden underhålla, byta ut eller laga något skikt.”

”Tätskiktets har en stor miljömässig betydelse för att förhindra föroreningsläckage på sikt. Idag finns inte underlag som visar att det går att säkerställa beständigheten av tätskiktet om det innehåller biologiskt nedbrytbart material. Utredningar pågår bland annat om lämpligheten av att använda aska och slam som tätskikt. I avvaktan på bättre underlag finns därför skäl att undvika sådant material i tätskiktet och på så vis undvika negativ miljöpåverkan genom användning av materialen.”

Det finns således angivelser om beaktande av ett långt tidsperspektiv i deponeringsförordningen, i allmänt råd till förordningen eller i vägledningen till förordningen. Dessa angivelser är emellertid svaga som styrmekanism för den som ska konstruera flertalet av skyddsåtgärderna för en deponi.

11.3 Deponikonstruktioner i praktiken

Ett antal deponier har konstruerats och utförts i Sverige sedan deponeringsförordningen kom. Inte minst sluttäckningen av åtskilliga deponier sker för närvarande. Här ska kort refereras till några omständigheter kring beaktandet av beständigheten i konstruktionerna för sluttäckning.

I allmänt råd till 31§ i deponeringsförordningen för sluttäckningen anges att

”Sluttäckningens tjocklek bör bestämmas med hänsyn till de påfrestningar som täckningen bedöms utsättas för (t.ex. tjäle). Tätskikten bör dock inte ligga närmare markytan än 1,5 meter på grund av risken för rotpenetration”.

Skrivningen har medfört att tillstånds- och tillsynsmyndigheter idag mer eller mindre kräver 1,5 meters täckning ovanför tätskiktet, dock sällan mäktigare skikt. Det är dock uppenbart att tjockleken 1,5 meter på täckningen inte räcker till för en fri markanvändning på den sluttäckta deponin. Om t.ex. ett belysningsfundament installeras är man, om man ska tillämpa frostfritt djup, direkt i kontakt med tätskiktet. På liknande sätt omöjliggörs flera typer av grundläggningar och ledningsinstallationer. Täckningen måste därför kompletteras med administrativa åtgärder (restriktioner) över markanvändningen. Såvitt känt, är sådana restriktioner dock inte uttalade. Det ligger nära till hands att föreslå att sluttäckta deponier borde förklaras som miljöriskområden.

Det är klart uttryckt i deponeringsförordningens vägledning att sluttäckningen av en deponi kan utföras med förutsättningen att materialet kan bytas ut i framtiden, se referat i förra avsnittet. I praktiken görs dock inte detta, främst beroende på de stora mängder material som åtgår vid en sluttäckning samt de höga kostnader som är förknippade med en sluttäckning. Följden blir att man försöker konstruera

med beständiga material och på ett sådant sätt att konstruktionens funktion ska upprätthållas under så lång tid som möjligt.

Det finns få, eller praktiskt taget inga, uttalade krav på uppföljning av täckningens funktion över tiden. Vanligt är att lakvattenmängden på ett eller annat sätt kan mätas, men om en sådan ökning (effekt) noteras i t.ex. ett miljökontrollprogram, är det i praktiken omöjligt att säga var läckan uppstått. Eftersom deponier inte sällan är flera tiotal hektar stora till ytan, blir en korrigerande åtgärd mer eller mindre omöjlig att genomföra utan ett system för indikation av läckor som byggs in i täckningen. Deponering som alternativ till kvarlämning av föroreningar i ett område är således i dagsläget inte noterbart mer säkrad när det gäller beständigheten över lång tid. Effekten och konsekvenserna av uppkommande brister i skyddsåtgärderna kan dock skilja sig åt på grund av att deponins lokalisering kan väljas till områden där mindre känsliga skyddsobjekt finns.

KONKLUSION

Deponeringsförordningen föreskriver ingen direkt tidshorisont som ska ligga till grund för dimensioneringen av skyddsåtgärderna kring en deponi. Däremot anges sådan på vissa ställen i allmänt råd och i vägledningen till förordningen. I fallet med sluttäckning sägs i vägledningstexten att det ska framgå av underlaget hur länge som valda material är beständiga och om behov finns att i framtiden underhålla, byta ut eller laga något skikt.

I praktiken konstrueras idag skyddsåtgärderna för deponier med syftet att material och konstruktioner ska vara beständiga över lång tid. Det finns dock uppenbara svagheter i konstruktionerna, bland annat gäller detta mäktigheten på sluttäckningen, som inte tillgodoser kravet på tjocklek för fri markanvändning. Avslutade deponier borde därför förses med administrativa restriktioner i detta avseende.

Slutsatsen kan dras att de skyddsåtgärder som idag vidtas kring en deponi inte är noterbart mer säkrade på lång sikt än de skyddsåtgärder som vidtas kring förorenade områden.

Säkring av efterbehandlingsåtgärders effekt över tiden

RAPPORT 5757

NATURVÅRDSVERKET
ISBN 978-91-620-5757-2
ISSN 0282-7298

I rapporten analyseras behovet av och möjligheterna till att säkra efterbehandlingsåtgärders effekt över tiden. Detta sker genom att definiera betydelsefulla processer, faktorer och skeenden rörande förutsättningar för, egenskaper hos samt kontroll och eventuella korrigeringar av tekniska och administrativa åtgärder. Tyngdpunkten ligger således på att analysera viktiga frågeställningar som på något sätt bör tas upp och behandlas i efterbehandlingsprojekt rörande efterbehandlingsfunktion över tiden.

Naturvårdsverket har inte tagit ställning till innehållet i rapporten. Författarna svarar ensamma för innehåll, slutsatser och eventuella rekommendationer.

Kunskapsprogrammet Hållbar Sanering samlar in, bygger upp och sprider kunskap om förorenade mark- och vattenområden. Genom Hållbar Sanering kan myndigheter, forskare och företag söka bidrag för utredningar, seminarier och utvecklingsprojekt som täcker kunskapsluckor på kort och lång sikt. Hållbar Sanering styrs av en programkommitté som består av representanter från Banverket, Göteborgs stad, KTH, Linköpings Universitet, Länsstyrelsen i Kalmar, Naturvårdsverket, Norges Teknisk- Naturvetenskaplige Universitet; SGI, SLU, Sydkraft SAKAB och Umeå Universitet.