

Metod för analys av processsystemet i en avfallsdeponi

Slutrapport

**Mark Elert
Kemakta Konsult AB**

November 1999

AFR-REPORT 270
AFN, Naturvårdsverket
Swedish Environmental Protection Agency
106 48 Stockholm, Sweden

ISSN 1102-6944
ISRN AFR-R--270—SE

Stockholm 1999

Tryck: Naturvårdsverket

Innehåll

Innehållsförteckning	i
Sammanfattning	ii
Abstract.....	iii
1 Inledning	1
2 Metod för beskrivning av processer i ett system.....	2
2.1 Metodik för att ta fram interaktionsmatriser.....	2
3 Riskbedömning av en avfallsdeponi	6
4 Processer i en avfallsdeponi	7
4.1 Omvandlingsprocesser i avfallet.....	7
4.2 Transportprocesser.....	8
4.3 Kvarhållande processer och omvandlingsprocesser	10
5 Exempel på en interaktionsmatris för en avfallsdeponi.....	13
6 Diskussion och slutsatser.....	18
Referenser.....	19
Bilaga: Tabell 1	20

Sammanfattning

Ett stort antal processer påverkar utsläppet av föroreningar från en deponi. Dessa processer påverkas av yttre faktorer, förändras med tiden och påverkar dessutom varandra. Kännedom om hur detta system av processer fungerar är viktig för att kunna bedöma framtida risker från avfallsdeponi. I många fall är vår kännedom om processerna och deras inverkan begränsad. Det är därför viktigt att kunna dokumentera var kunskapsluckor finns.

Eftersom processsystemet är komplicerat är det önskvärt med en systematisk metod för att beskriva det. Det är också viktigt att beskrivning och dokumentation görs på ett enhetligt och väldefinierat sätt.

Syftet med denna rapport är att skissa på en metod för att beskriva och dokumentera processsystemet i en deponi med inriktning på de processer som är av betydelse för utsläpp av föroreningar. Ett exempel presenteras med en metod som använts för liknande analyser av kärnbränslelagring. Metoden använder interaktionsmatriser där de processer som ingår i systemet presenteras grafiskt. Kopplat till denna matris finns databaser för dokumentation. Målet med rapporten är att visa på möjligheten att använda denna metod på avfallsdeponier.

Abstract

A large number of processes influence the release of contaminants from a waste deposit. These processes are influenced by external factors, they change with time and are also influencing each other. Knowledge of how the process system functions is essential when assessing future risks from a waste deposit. Our knowledge of these processes and their interactions are in many cases limited. Therefore, it is important to document areas where important knowledge is insufficient.

It is desirable to find a systematic method to describe this complex process system. Furthermore, it is important that the description and documentation is made in a consistent and well-defined manner.

The purpose of this report is to outline a method to describe and document the system of processes in a waste deposit that influence the release of contaminants. An example is presented using a method previously applied to repositories for nuclear waste repositories. The method uses interaction matrices where the process system is presented in a graphical form. A database is coupled to the matrices providing a means for documentation. The aim of the report is to show the possibility of using this method for waste deposits for conventional waste.

1 Inledning

Deponering medför att stora mängder material som innehåller miljö- och hälsofarliga ämnen ansamlas. Trots att halterna av dessa ämnen i många fall är låga innebär de stora avfallsmängderna att mängden potentiellt förorenande ämnen är stor. Den årliga tillförseln av tungmetaller till kommunala deponier för år 1994 har uppskattats till 7600 ton zink, 4300 ton koppar, 1800 ton bly, 120 ton arsenik, 30 ton kadmium och 8 ton kvicksilver (Naturvårdsverket, 1996). De uppskattade utsläppen av tungmetaller till vatten från samma period var väsentligt lägre, varierande från några hundradels till tiondels procent av den årligen tillförda mängden. Detta innebär att en stor framtida föroreningspotential byggs upp i våra deponier. Det deponerade avfallet innehåller också organiska föroreningar varav vissa är mycket svårnedbrytbara. Förutom tungmetaller och organiska föroreningar bidrar deponier till utsläpp av syreförbrukande ämnen, näringsämnen och växthusgaser.

Miljöproblemen med deponier är i första hand orsakade av utsläpp av föroreningar till vatten och till luft. En lång rad processer och faktorer påverkar utsläppet av föroreningar från en deponi. Processerna är beroende av avfallstyp, föroreningskemiska form, förändringar i avfallet, den kemiska miljön i deponin, men även deponins utformning, skyddsbarriärer och lokalisering. Genom att dessa processer också växelverkar med varandra bildar de ett komplext system. Den forskning som pågått har gett oss kunskap om många av dessa processer och i viss mån även hur de påverkar varandra. Dock saknas en mer sammanhållen bild av hur dessa processer samverkar i ett system.

Syftet med denna rapport är att skissa på en metod för att beskriva processsystemet i en deponi med inriktning på de processer som är av betydelse för utsläpp av föroreningar. Ett exempel presenteras med en metod som använts för liknande analyser av kärnbränslelagring (Hudson, 1992; Skagius et al., 1995). Metoden innebär att de olika processerna och deras samverkan presenteras grafiskt i en så kallad interaktionsmatris. Kopplat till denna matris finns databaser för dokumentation. Målet med rapporten är att visa på möjligheten att använda denna metod på avfallsdeponier. Arbetet med att ta fram en komplett beskrivning av processerna är omfattande och kräver medverkan av experter på olika områden, det som presenteras i denna rapport är därför bara en illustration av hur det skulle kunna fungera.

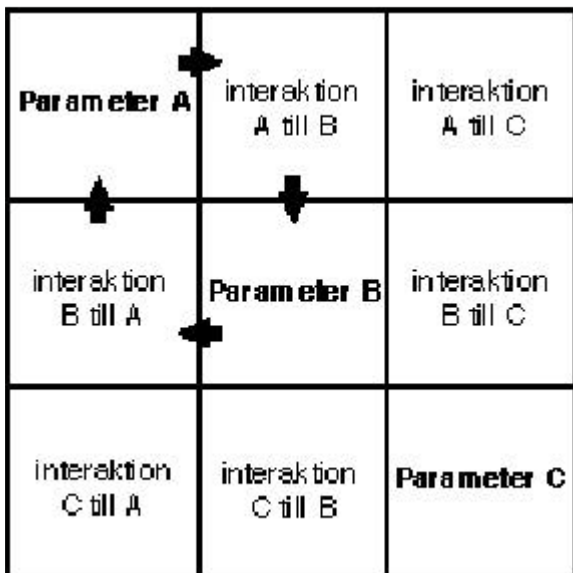
Varför behövs då en systematisk beskrivning av processerna och hur kan den hjälpa oss i den fortsatta deponiforskningen? En genomarbetad beskrivning ger möjlighet att på ett sammanhållande sätt redovisa de processer som är av betydelse för utsläppet från en deponi. Det ger också en möjlighet att systematiskt dokumentera områden där kunskapsluckor finns och områden där befintlig kunskap bedöms vara tillräcklig. En systembeskrivning ger också en möjlighet att på ett systematiskt sätt analysera effekten av förändringar i systemet, t ex yttre händelser, förändringar i avfallets sammansättning eller förändringar i deponins utformning. I en riskbedömning av en avfallsdeponi ingår att prediktera hur avfall och barriärer kommer att fungera under långa tider. För att kunna göra kvantitativa uppskattningar krävs omfattande förenklingar av systemet. Metoden med interaktionsmatriser innebär att de förenklingar som görs på systematiskt sätt kan dokumenteras.

I kapitel 2 av rapporten ges en kortfattad introduktion till metoden med interaktionsmatriser. Kapitel 3 behandlar ett antal viktiga aspekter vid riskbedömningar av deponier och i kapitel 4 beskrivs processer som är viktiga för utsläpp av föroreningar. I kapitel 5 ges ett exempel på en analys med en interaktionsmatris för en avfallsdeponi. Slutligen diskuteras i kapitel 6 användningen av metoden och de slutsatser som dragits redovisas.

2 Metod för beskrivning av processer i ett system

I arbetet med att ta fram en beskrivning av systemet ingår att identifiera, beskriva samt utvärdera relativ betydelse av de transport-, omvandlings- frigörelse- och ackumulationsprocesser som förekommer i en deponi. För att kunna göra prognoser för framtida förorenings-spridning krävs att samverkan mellan olika faktorer inom systemet behandlas liksom hur systemet påverkas av förändringar av yttre faktorer. Detta ställer stora krav på att en systematisk genomgång görs av viktiga processer och faktorer.

Vi föreslår att interaktionsmatrix-metodiken används för att ta fram beskrivningen och dokumentation av systemet samt av gjorda antaganden och förenklingar. Metodiken har bla använts för att identifiera och beskriva olika scenarier som skall analyseras vid slutförvaring av radioaktivt avfall. Den bygger på en kombination av grafiska diagram och underliggande dokumentation. Grundstenen i analysen är en interaktionsmatrix där alla huvudkomponenter i systemet ligger som diagonalelement. De övriga elementen i matrisen innehåller de interaktioner som finns mellan huvudkomponenterna, se figur 1.



Figur 1 Principupbyggnad av en interaktionsmatrix

Interaktionsmatriser kan definieras för olika delsystem. De matriser som beskriver delsystem kan sedan kopplas till varandra så att hela systemet beskrivs. Till varje element i matrisen kopplas dokument med en detaljerad beskrivning av de processer som ingår, referenser, relativ betydelse samt en beskrivning hur de skall hanteras i en riskbedömning.

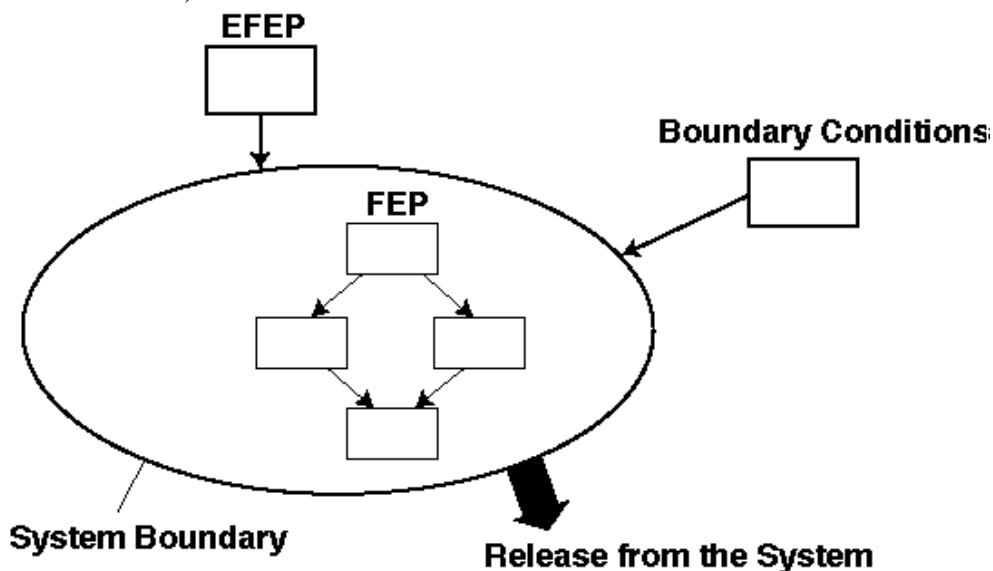
2.1 Metodik för att ta fram interaktionsmatriser

De steg som ingår i metoden är:

1. Definition av syftet med analysen.
2. Definition av det system som skall analyseras.
3. Identifiering och beskrivning av huvudkomponenterna i systemet i termer av parametrar som beskriver huvudkomponenternas tillstånd.
4. Identifiering och beskrivning av de interna processer, faktorer och händelser som bestämmer systemets funktion.

5. Kvalitativ bedömning av betydelsen av olika *interna processer*.
6. Identifiering och beskrivning av möjliga *externa faktorer* som påverkar systemets funktion.
7. Urval och beskrivning av scenarier.

I figur 2 redovisas en schematisk bild av systemet. De processer som ligger innanför systemgränsen (*System Boundary*) betecknas *FEP* en förkortning av det engelska uttrycket Feature, Events and Processes. Systemet påverkas också av randvillkor (*Boundary Conditions*) och externa faktorer betecknas *EFEP* (External Features, Events and Processes).



Figur 2 Schematisk beskrivning av systemet.

Nedan ges en kortfattad beskrivning av vad som ingår i de olika stegen.

1 Syfte med analysen

Syftet med analysen skall vara väl definierat och dokumenterat eftersom detta påverkar upplägget av matrisen samt bedömningen av processernas betydelse. Dessutom är vanligen flera experter och grupper inblandade i analysen. Det är då viktigt att dessa har en gemensam grund för sina bedömningar.

2 Definition av systemet

I definitionen av systemet ingår att beskriva systemgränser, de huvudsakliga komponenterna, initiala förhållanden och randvillkor. I komplexa eller stora system kan olika delar av systemet beskrivas i separata matriser. Det är då viktigt att gränssytan och kopplingen mellan de separata matriserna är väl definierad.

3 Huvudkomponenterna i systemet

Matrisen byggs upp genom att huvudkomponenterna i systemet definieras och dokumenteras. Dessa läggs sedan in som diagonalelement i interaktionsmatrisen. Valet av diagonalelement beror på analysens syfte, men är också en balansgång mellan detaljeringsgrad och överblickbarhet. Till exempel en jord består av mineralpartiklar, organiskt material, mikrober, vattenfyllda porer och luftfyllda porer. Dessa kan antingen föras samman i en systemkomponent "jord" eller delas upp i separata

systemkomponenter. Det är viktigt att definitionerna är entydiga och logiska annars uppstår problem när interaktioner mellan diagonalelementen skall identifieras. Ett exempel på hur diagonalelementen i en interaktionsmatris för en deponi skulle kunna se ut redovisas i figur 3.

Avfall									
	Bottenbarriär								
		Täckskikt							
			Lakvattensystem						
				Vattenkemi					
					Hydrologi i deponi				
						Gas			
							Temperatur		
								Biologi Mikrobiologi	
									Förreningar

Figur 3 Exempel på diagonalelement i en interaktionsmatris för en avfallsdeponi.

4 Identifiering och beskrivning av interna processer

De olika interna processer (FEPs) som bestämmer systemets funktion identifieras. Genom att identifiera de diagonalelement som de interna processerna påverkar ges deras plats i matrisen, se figur 1. Varje interaktion skall dokumenteras genom att definiera bakomliggande fenomen samt karakteristika i de två diagonalelementen som påverkar interaktionen, dvs orsaker och verkan. Det är viktigt att vara konsistent i definitionerna och vara vaksam på att den aktuella interaktionen verkligen är direkt mellan de två diagonalelementen och inte går via ett mellansteg i något annat diagonalelement.

Det är viktigt att beakta olika infallsvinklar vid identifieringen av processer och värdering av deras betydelse. Ett sätt att erhålla detta är att låta en expertpanel sätta samman en första lista av processer som sedan granskas av externa experter. Det är viktigt att undvika omedveten gallring eller förutfattade åsikter vid identifieringen av processer. Detta kan uppnås genom att se till att expertgruppen har en tillräckligt bred erfarenhet och kompetens samt genom att ställa krav på dokumentation av beslutsprocessen.

5 Kvalitativ bedömning av processernas betydelse

En bedömning görs av hur viktig en process är enligt en väldefinierad och dokumenterad skala. Motiv för bedömningen skall också anges för att underlätta granskning och senare analyser.

6 Identifiering och beskrivning av möjliga externa faktorer.

Systemet kommer också att påverkas av externa faktorer. I systemets normala tillstånd beskrivs dessa som randvillkor. För en avfallsdeponi är nederbörds mängd, koldioxidhalt i atmosfären exempel på randvillkor till systemet. En annan typ av extern påverkan definieras som EFEPs (External Features, Events and Processes). Dessa definierar inverkan faktorer som inte ingår i normaltillståndet. Typiska externa faktorer för en avfallsdeponi kan vara skador på täcksikt och bottenbarriärer, t ex grävningar eller större sättningar i underliggande mark, förändringar i nederbördens sammansättning, klimat, mm.

7 Urval och beskrivning av scenarier

En extern faktor påverkar en eller flera systemkomponenter. Genom de interna processer som definierats i interaktionsmatrisen kommer den externa faktorns påverkan spridas i systemet. Enligt den använda metodiken utgör det förändrade systemet som definierats av en modifierad matris ett scenario.

Med hjälp av scenarier kan en uppsättning av möjliga/förväntade utvecklingsförlopp beskrivas. De scenarier som beaktas i en riskbedömning bör ge en rimligt heltäckande bild av tänkbara utvecklingsförlopp.

Dokumentation

Alla steg i analysen skall dokumenteras. Detta görs lämpligen i en databas där varje systemkomponent och intern process är inlagda som poster. Dessa poster innehåller fält där beskrivningar, referenser, kopplingar och bedömningar registreras. Användning av en databas ger goda möjligheter att komplettera dokumentationen, sortera och korsreferera. Exempel på innehållet i en beskrivning av en intern process (FEP) i databasen kan vara:

- beskrivning av processen i text
- vad den påverkas av och vilka effekter den orsakar
- beslut och bedömningar angående dess kvalitativa betydelse med motiveringar
- referenser till experter som deltagit i bedömningen
- referenser till litteratur som använts för bedömningen
- rekommendationer för hur denna process skall beaktas i en riskbedömning

3 Riskbedömning av en avfallsdeponi

I en riskbedömning av ett förorenat område, t ex en deponi, identifieras och kvantifieras de risker området kan ge upphov till. I arbetet ingår att analysera:

- vilka föroreningar som förekommer och de hälso- och miljöeffekter dessa har.
- halter och mängder av förorening.
- risken för spridning till omgivningen via luft, grundvatten eller vattendrag.
- risken för hälso- och miljöeffekter i dagsläget och i framtiden.

Vid riskbedömningar av deponier är det vissa faktorer som bör ges speciell tonvikt:

Långsiktighet - stora mängder föroreningar finns ackumulerade inom ett begränsat område. Naturvårdsverkets strategi för åtgärder som måste vidtas vid en deponi omfattar hela deponins livslängd från första upplägget av avfall till dess skadliga utsläpp har upphört. Strategin bygger på att alla föroreningar som läggs i en deponi förr eller senare kommer att spridas trots att olika skyddsåtgärder vidtas. Det som avgör om utsläppen är acceptabla eller inte är hur utsläppen fördelas i tid och rum, vilket i sin tur beror på naturens förmåga att fastlägga, bryta ned och späda ut föroreningarna. Som en följd av denna strategi bör även hela deponins livslängd beaktas i en riskbedömning.

Avfallet - i de flesta deponier har avfallet en mycket heterogen sammansättning vad gäller kemisk-fysikaliska egenskaper och föroreningsinnehåll. Dessutom är sammansättningen ofta till stora delar okänd. Långsiktiga förändringar sker i avfallet som kan leda till ökad mobilitet av föroreningar.

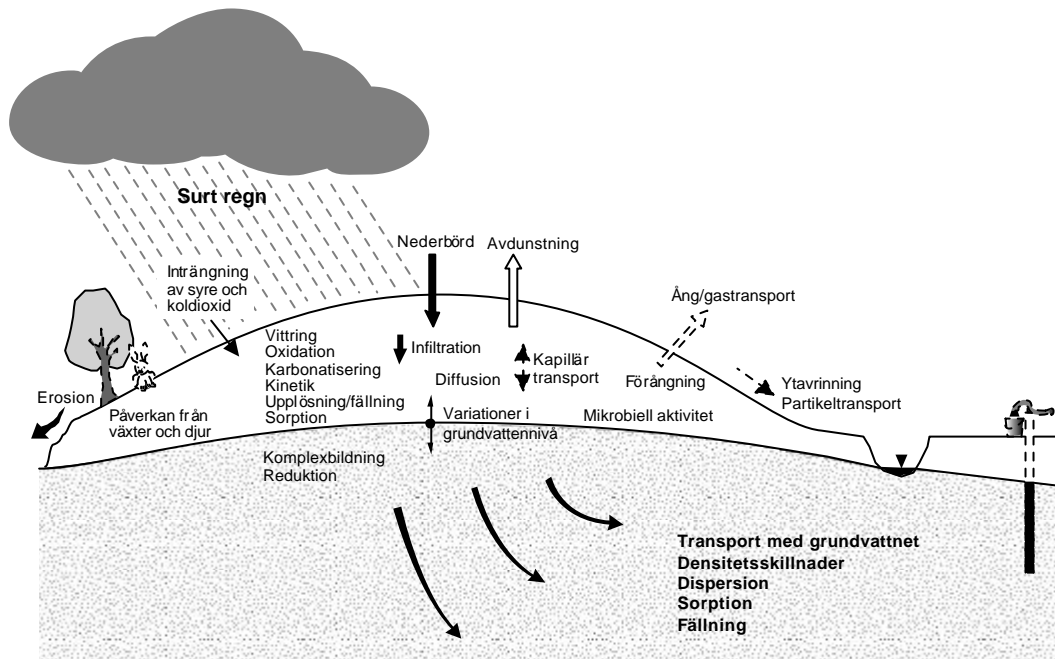
Barriärer - funktionen av avfallsdeponi bygger oftast på konstruerade barriärer, t ex kvalificerade tätskikt som ger låg nominell infiltration. I en riskbedömning måste långtidsegenskaperna hos dessa barriärer värderas (t ex motstånd mot erosion, frost, och inträngande växtrötter).

Spridning - nya deponier skall ha en lång nominell transporttid för lakvattnet innan det når en skyddsvärd recipient. I många fall är spridningsvägar bristfälligt kända, vilket ger osäkerheter i riskbedömningen. Eftersom de utsläpp som sker kommer att pågå under mycket lång tid måste möjligheten att föroreningar åter ackumuleras beaktas. Ackumulationspunkter kan vara torvmossar, våtmarker och sediment.

Hälso- och miljöeffekter - En deponi innehåller ett stort antal föroreningar som samtidigt kan påverka människa och miljö. För många av dessa är samverkans effekter dåligt kända.

4 Processer i en avfallsdeponi

I en deponi pågår av en rad processer som orsakar omvandling, transport eller kvarhållning av föroreningar. I figur 4 ges en översikt av processer i en deponi. Nedan följer en kortfattad beskrivning av de viktigaste processerna i en avfallsdeponi. Översikten grundar sig till stora delar på Elert et al. (1995).



Figur 4 Översikt av processer i en deponi.

4.1 Omvandlingsprocesser i avfallet

Deponier med organiskt avfall

Deponier innehållande stora mängder organiskt material har en komplex kemi och stora variationer förekommer. En väsentlig process för denna typ av avfall är mikrobiell nedbrytning (bakterier, svampar). Olika steg i nedbrytningen kan urskiljas.

Initialt kommer syre vara tillgängligt. Denna fas kallas den *aeroba fasen*, men är kort beroende på att syret mycket snabbt förbrukas. Därefter inträder den *anaeroba fasen* då det organiska materialet bryts ned med hjälp av andra oxidanter som finns tillgängliga (nitrat, sulfat, mangan och järn). Till en början bildas sura nedbrytningsprodukter, främst organiska syror. Det låga pH som skapas gynnar frigörelsen av metaller i avfallet. Detta stadium ger ett surt lakvatten med högt metallinnehåll och är ett vanligt förekommande problem vid konventionell tippning av bland annat hushållsavfall.

Vid fortsatt mikrobiell nedbrytning blir miljön alltmer syrefattig och bakterierna övergår så småningom till att reducera sulfat, nitrat etc. varvid bland annat bildas sulfid som restprodukt. Sulfiden kan bilda mycket svårösliga fällningar med många tungmetaller. Metallfrigörelsen är därför under en period mycket låg. Efter viss tid, kanske något hundratal år, har sulfat förbrukats och istället har humusämnen börjat bildas förutsatt att den innehåller stora mängder cellulosahaltigt material. Denna fas brukar benämnas *humusfasen*. Humus har en mycket stark förmåga att komplexbinda tungmetaller vilket kommer att påverka dessas rörlighet.

Deponier med oorganiskt avfall

I avfallsdeponier med oorganiskt material har vanligen stor kapacitet för buffring av pH och redox. Struktur och sammansättning av oorganiskt material i en deponi kommer att förändras pga lakning, vittring, oxidation, mm. Vittring orsakas vanligen av oxidation vid kontakt med luftens syre, eller av upplösningsreaktioner med luftens koldioxid vilken ger en sur reaktion. Vittringsreaktioner påverkar såväl de kemiska som de mekaniska egenskaperna hos både avfallsmaterialet och barriär/täckskiktsmaterial.

De konsekvenser som vittringsreaktioner ger upphov till beror även på den buffring som avfallet och barriärmaterialen ger. Då buffringkapaciteten är förbrukad sker ofta en kraftig förändring av den kemiska miljön med kraftigt förhöjda utsläpp som följd. Buffringkapaciteten kan därför sägas utgöra ett mått på deponins uthållighet.

4.2 Transportprocesser

Transport med strömmande vatten

Föroreningar som är lösta i vatten följer med när vattnet strömmar. Denna process som också kallas för *advektion* är i många fall den mest betydelsefulla för transporten i deponier. Storleken på transporten bestäms dels av koncentrationen av det lösta ämnet dels av vattenflödet.

I deponier som placerats ovanför grundvattenytan beror mängden vatten som infiltrerar genom en deponi av dess utformning (yta, lutning, val av tätskikt, dränering etc), avfallens hydrologiska egenskaper (hydraulisk konduktivitet, kapillaritet) samt av de meteorologiska förhållandena på platsen (nederbörd och avdunstning). I en väl utformad deponi kan vattenomsättningen hållas mycket låg. Vid lågt vattenupptag i deponin och med god dränering kan ett tillstånd med endast delvis vattenmättade porer upprätthållas. Låg vattenmättnad innebär att frigörelsen av lösta föroreningar blir starkt begränsad. Om deponin är torr kan dock syreinträngning vara betydelsefull för oxidationskänsliga avfall.

En förorening i löst form som når grundvattnet transporteras vidare med grundvattenströmmen. Grundvattnets hastighet beror av jordartens hydrauliska konduktivitet och porositet samt grundvattenytans lutning (gradienten). Hastigheten kan variera från något fåtal meter per år till i undantagsfall flera hundra meter per dygn.

Dispersion

Dispersion är ett samlingsbegrepp för olika processer som orsakar en omblandning av lösta ämnen i strömmande vatten. Dispersion kan uppkomma antingen genom att förorenat vatten finner olika vägar genom ett material där de olika vägarna har olika transporttid, eller genom hastighetsskillnader inom de enskilda transportvägarna. Vid låga vattenflöden ger diffusion ett märkbart tillskott till dispersionen.

Effekten av dispersionen är dels att föroreningen sprider sig över ett större område än som bara ges av det hydrologiska förloppet. Dessutom orsakar dispersionen att en förorenings genombrott kan komma tidigare än vad som beräknas med hjälp av vattnets genomsnittliga transporttid.

Diffusion

Den bakomliggande orsaken till diffusionen är molekylernas värmerörelser. Dessa slumpmässiga rörelser leder till en spridning av ett ämne från ett område med hög

koncentration till områden med lägre koncentration. Hur stor diffusionen av lösta ämnen är i ett poröst material beror huvudsakligen på skillnaden i koncentration över ett givet avstånd (koncentrationsgradienten) och det porösa materialets struktur. Inverkan av det porösa materialets struktur beskrivs vanligen av *diffusiviteten*. Skillnaden mellan olika kemiska ämnens diffusivitet är i de flesta fall förhållandevis liten.

Diffusionen kan vara av särskild betydelse om vattnets strömningshastighet är låg. Till exempel kan diffusionen signifikant bidra till transporten genom täta lerlager och kan vara dominerande process i mycket täta bottenbarriärer.

Diffusionen har stor betydelse vid utlakning av föroreningar ur ett avfallsmaterial. Diffusionen i avfallspartiklarna kan i väsentlig grad påverka föroreningshalten i lakvattnet. Om diffusionen är långsam är materialet svårlakat och halten av föroreningar i lakvattnet blir låg.

Densitetsstyrd transport

Vid höga koncentrationer kan det förorenade vattnet ha en densitet som väsentligt överskrider grundvattnets. Detta innebär att föroreningen kommer att sjunka ner genom den mättade zonen pga densitetsskillnaden. Detta kan pågå tills föroreningen träffar på mindre genomsläppliga material eller tills föroreningen späts ut så att skillnaden i densitet försvinner.

Förångning

Förångning innebär transport av ett ämne från vätskefas till ångfas. Detta kan vara en viktig process för ämnen med högt ångtryck eller låg löslighet, dvs flyktiga organiska ämnen men även kvicksilver.

Ång- och gastransport

Föroreningar i marken kan avgå till omgivningsluften i form av ånga eller gas. Transporten kan ske genom diffusion i luftfyllda porer eller genom luftflöden i täckskiktet. Luftflöden i täckskiktet kan orsakas av vind, tryckvariationer i atmosfären, värmeproduktion i avfall samt genom att gas utvecklas i avfallet. För täckta deponier är vanligen diffusion den mest betydande processen. För otäckta deponier samt deponier med kraftig gasbildning kan flöde av ånga eller gas bidra signifikant till uttransporten av föroreningar.

Transport som separat fas

Organiska vätskor som inte är blandbara med vatten kan föreligga som en separat fas i marken. Förekomsten av en separat organisk fas försvårar möjligheten att bedöma spridningen. Av stor betydelse är den organiska fasens densitet relativt vatten, jordmaterialets struktur och vattenhalt, samt förekomst av heterogeniteter i marken.

Organiska vätskor som är lättare än vatten kommer att ansamlas som en skiva på grundvattenytan. Den fortsatta spridningen bestäms huvudsakligen av grundvattenytans lutning. På grund av den horisontella utbredningen så kan stora ytor förorenas även vid relativt måttliga utsläpp.

Organiska ämnen som är tyngre än vatten sjunker genom grundvattenytan och vidare ner den mättade zonen. Den vertikala rörelsen pågår tills halten av den organiska

Kolloidtransport

Mycket små partiklar som svävar fritt i mark- eller grundvatten kallas *kolloider*. Dessa förekommer naturligt i jordar och består vanligen av lermineral eller organiskt material. Kolloider kan också bildas vid fällning av metalloxider eller hydroxider, t ex när ett reducerande lakvatten från en deponi blandas med ett mer syrerikt mark- eller grundvatten. Många föroreningar har en stor benägenhet att fastläggas på kolloider. Eftersom kolloider kan transporteras med det strömmande vattnet kan dessa utgöra en viktig transportväg för föroreningar. Detta gäller speciellt för föroreningar som har en låg löslighet i den rena vattenfasen.

Erosion

Erosionsprocesser kan inverka både direkt och indirekt på transport av föroreningar. Direkta effekter kan uppstå vid kraftig ytavrinning då förorenade partiklar kan transporteras bort och därmed spridas till omgivande mark och ytvatten. En indirekt effekt är erosion på grund av kraftig ytavrinning eller uttorkning som kan skada täckskikt deponier och därigenom öka vatteninträngen.

Vind kan sprida damm med föroreningar till kringliggande områden. Detta gäller framförallt för torra områden utan växtlighet, otäckta deponier eller i samband med grävnings- och schaktningsarbeten.

Biologiska transportprocesser

Både växter och djur kan bidra till att transportera föroreningar. Den övre delen av jorden är starkt påverkad av biologisk aktivitet. Denna aktivitet påverkar transporten direkt till exempel genom organismer som förflyttar förorenat material från djupare delar av jorden till ytan. Växternas rotsystem suger också vatten, och därmed föroreningar, från djupare delar av jorden. Transporten av föroreningar på detta sätt är vanligen långsam, men kan vara av betydelse i långa tidsperspektiv. Upptag av föroreningar i växter är viktig eftersom föroreningar på så sätt kommer in i det biologiska kretsloppet.

Täckskikt på deponier kan skadas av rotsystem från träd eller av djur som gräver hålor i marken. Den biologiska aktiviteten påverkar också transporten genom att förändra den kemiska miljön.

4.3 Kvarhållande processer och omvandlingsprocesser

Sorption

Sorption är benämningen på en hel grupp av processer som innebär att lösta ämnen attraheras till fasta ytor, t ex mineralytor, och fastnar där. Effekten av denna fastläggning är att halten i vattenfasen minskar. I många fall kan de fastlagda ämnena återgå till lösning, dvs sorptionen är i dessa fall *reversibel*. Sorption resulterar i att föroreningar transporteras långsammare än vattnet vilket leder till ett fördröjt utsläpp. Det är dock viktigt att notera att en mättnadseffekt uppkommer, varför på sikt transporten återigen kan ske med full styrka.

De olika processer som resulterar i sorption kan indelas i fysikalisk adsorption, kemisk adsorption och fällning. I ett sammansatt material såsom ett avfall eller en jord är det dock ofta svårt att särskilda mellan de olika processerna.

Sorptionen kan vara olika stark beroende på vilken process som inverkar, vilket sin tur beror av vilken förorening det rör sig om och vilka fasta material föroreningen kommer i kontakt med. Graden av sorption kan vara beroende av den halt av en förorening som finns i lösning. Oftast är sorptionen mest effektiv vid låga halter för att avta om halten av det lösta ämnet blir högre. Detta benämns icke-linjär sorption.

Löslighet

En given förorening kan, beroende på de kemiska förutsättningarna, ha mycket olika halt i lösning och därmed mycket varierande tillgänglighet. Viktiga faktorer är: totalhalten, marken eller avfallsmaterialet, sorptionseffekter, löslighetsjämvikter samt en rad yttre faktorer.

Tungmetallers löslighet påverkas i hög grad av den kemiska miljön, t ex pH, redoxpotential, närvaron av andra ämnen. Exempel på pH-känsliga tungmetaller är zink, nickel och kadmium, medan redoxkänsliga tungmetaller är t ex krom, nickel och arsenik.

Kinetik

Reaktionshastigheten (kinetiken) kan kraftigt påverka halten av en förorening i ett lakvatten. Om kinetiken för alla inblandade reaktioner är hög så kan lösligheten förväntas motsvara jämviktstillståndet. Om någon delreaktion har mycket långsam kinetik kan jämviktsinställningen "hänga upp sig". Ett vanligt exempel är vissa oxidations- och reduktionsprocesser som bromsar reaktionsförloppet, jmf vittring av jordmaterial som sker över långa tider. Reaktionshastigheten ökar vanligen med ökande temperatur.

Komplexbildning

Komplexbildning innebär att en metallisk katjon reagerar med en organisk eller oorganisk komplexbildare (ligand). De flesta vanliga anjoner kan bilda komplex med metalljoner. Vanliga organiska komplexbildare är oxalater, citrater, aminer, mm. Komplexbildning är av stor betydelse för många metaller eftersom den påverkar ett ämnes löslighet. Dessutom är många komplex oladdade eller har negativ laddning vilket ger minskad benägenhet till sorption och därmed en högre mobilitet.

Vid neutrala till höga pH *hydrolyseras* metalljoner och lösta metallhydroxidkomplex bildas. Denna hydrolysis resulterar i fällning av metallhydroxider. Vid mycket höga pH kan dock anjoniska hydroxidkomplex leda till ökad löslighet.

I deponier förekommer ofta olika typer av avfall och den kemiska miljön kan därför vara mycket komplicerad. En rad ämnen som kan bilda komplex med tungmetaller förekommer i lakvatten, t ex klorid, sulfater och organiska ämnen. Detta kan leda till minskad sorption och ökad rörlighet av tungmetaller.

Oxidation/reduktion

Redoxförhållandena i marken påverkar mobiliteten av metaller på flera olika sätt. För det första ändras valensen av flera metaller, vid växling från oxiderande till reducerande förhållanden till exempel övergår Fe^{3+} till Fe^{2+} . De reducerade jonerna kan vara mer mobila som för t ex järn, mangan och arsenik, men är i andra fall mindre mobila, t ex krom. För det andra påverkar redoxförhållandena också vilka fasta mineral som bildas. Vid tillräckligt reducerande förhållanden bildas, vid närvaro av svavel, metallsulfider

som har en mycket låg löslighet. En tredje, indirekt effekt, uppkommer när reducerande järn- och manganhaltigt grundvatten strömmar upp och oxideras. Då utfälls järn och mangan som hydroxid eller oxid som har stor förmåga att adsorbera även andra metaller.

Redoxpotentialen i marken påverkas av tillgängligheten av syre, nedbrytning av organiskt material samt biogeokemiska reaktioner.

Inverkan av organiskt material

Naturligt förekommande organiska makromolekyler, *humusämnen*, har stor betydelse för mobiliteten av tungmetaller i jordar. Om metalljonen binds starkt till komplexet kan dess mobilitet öka, men i vissa fall också minska eftersom humusämnena i sin tur kan bindas vid mineralytor i jorden. Genom sammanslagning av stora komplex i lösning kan så småningom partiklar bildas. Deras rörlighet kan nedsättas av filtreringseffekter i marken. Förurning ökar transporten av humus i marken. Metaller bundna till humus får då en ökad rörlighet.

Nedbrytning av organiska ämnen

Organiska föroreningar kan brytas ner och omvandlas vilket kan påverka såväl deras mobilitet som deras toxicitet. Nedbrytning kan ske både genom biologiska processer och genom abiotiska reaktioner, såsom hydrolys eller fotokemisk nedbrytning.

Vid *biologisk nedbrytning* sker en omvandling av organiskt kol till oorganiskt kol (CO_2) med hjälp av mikroorganismer. Under oxiderande förhållanden används syre som elektronacceptor medan under reducerande förhållanden används andra ämnen såsom sulfat eller nitrat. Fullständig nedbrytning av organiskt material till oorganiskt (koldioxid, vatten, sulfat, nitrat eller ammoniak) kallas mineralisering. Icke fullständig nedbrytning kan leda till att mer eller mindre toxiska nedbrytningsprodukter bildas.

Den biologiska nedbrytningstakten beror av en lång rad faktorer, antal och typ av mikroorganismer som finns i jorden, vatteninnehåll, temperatur, tillgång på elektronacceptorer och andra näringsämnen, redoxförhållande, pH, tillgängligheten av föroreningen, mm.

Hydrolys verkar framförallt på organiska ämnen som har esterbryggor eller halogenerade ämnen (Cl, Br, I). Reaktionen vid esterbryggor ger två mindre föreningar, medan halogenerna ersätts med hydroxylgrupper. Hydrolys är vanligen en pH-känslig reaktion, för vissa ämnen ökar den med sjunkande pH pga att reaktionen katalyseras av vätejoner. I andra fall sker katalys med hydroxyljoner och reaktionen är snabbare vid höga pH.

5 Exempel på en interaktionsmatris för en avfallsdeponi

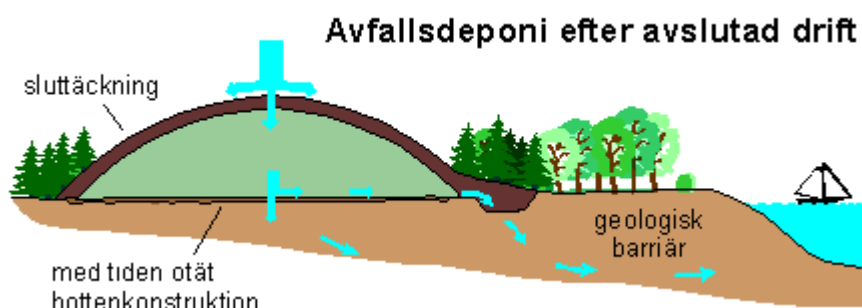
För att illustrera metoden har ett exempel med en analys av processerna i en deponi utarbetats. En interaktionsmatris har tagits fram med diagonalelement innehållande huvudkomponenterna i systemet. I övriga matriselement har ett antal processer lagts in och deras inverkan på huvudkomponenterna har definierats.

Syfte

Syftet med analysen är att illustrera metoden på en avfallsdeponi där deponeringen är avslutad och sluttäckning gjorts. Analysen begränsar sig i detta fall till utsläpp från deponin till en recipient eller till atmosfären. Analysen kan inte ses som komplett, viktiga processer kan saknas, och i vissa fall kan processer och deras inverkan behöva definieras bättre. För att kunna genomföra en komplett analys krävs inblandning av en grupp experter.

Definition av systemet

Det system som skall analyseras innefattar deponin och dess viktigaste komponenter, avfall, deponibariärer samt geologisk barriär, fram tills dess att utsläpp sker i en recipient, t ex brunn, sjö eller vattendrag. Dessutom ingår utsläpp till atmosfären från deponin. I figur 5 illustreras det tänkta fallet. Deponin är sluttäckt och det vatten som läcker in i deponin leds genom en geologisk barriär innan det når recipienten. Bottenbarriären är heller inte helt tät vilket leder till läckage till grundvattnet.



Figur 5 Studerat fall med avfallsdeponi efter avslutad drift (Källa: Naturvårdsverket).

De förutsättningar som bestäms av deponins lokalisering (klimat, topografi, närhet till recipient) har satts som randvillkor. Det utgående randvillkoret är utsläppet till recipienten. De processer som styr koncentrationer i recipienten och därmed risker för människa och miljö har inte behandlats i analysen. Dessa skulle på ett liknande sätt kunna behandlas i en kompletterande interaktionsmatris.

En deponi genomgår flera omvandlingsstadier (aerob fas, anaerob fas, humusfas) med kraftigt skiftande kemiska förhållanden. Olika processer är aktiva och har olika betydelse under dessa olika faser. Därför kan det vara fördelaktigt att betrakta de olika stadierna i separata matriser. I detta fall är de initiala förhållandena satta att representera förhållandena under den anaeroba fasen.

Huvudkomponenter i systemet

Som huvudkomponenter (diagonalelementen) har i detta exempel i första hand valts fysiska delar av systemet: avfall, täckskikt, lakvattensystem, bottenbarriär och geologisk barriär. I tabell 1 längst bak i rapporten redovisas de huvudkomponenter som ingår i systemet. I varje komponent ingår dess viktiga fysiska, kemiska, hydrologiska och mekaniska egenskaper. Dessutom definieras tillstånd/media viktiga för transport och omvandling av föroreningar i deponin som huvudkomponenter, dvs vatten (kemi, hydrologi), gas, temperatur och biologi/mikrobiologi. Dessa komponenter representerar tillståndet i samtliga fysiska delar av deponin. Till exempel så ingår avfallets kemiska sammansättning i "Avfall" medan den kemiska sammansättningen av det vatten som finns i avfallet ingår i "Vattenkemi + föroreningar i deponi". Syftet med detta är att "dra ut" processerna ur diagonalelementen, i annat fall skulle en stor del av de processer som förekommer endast verka inom en huvudkomponent, vilket skulle göra interaktionsmatrisen mycket svåråskådlig.

I det aktuella exemplet har de kemiska och hydrologiska förhållandena i den geologiska barriären (grundvattnet) lagts som separata huvudkomponenter. Detta görs eftersom förhållandena i den geologiska barriären skiljer sig markant från de förhållanden som råder i deponin.

En kortfattad dokumentation av huvudkomponenterna görs i databassystemet.

Interna processer

För att åstadkomma detta exempel har en översiktlig genomgång av systemet gjorts för att identifiera de processer som påverkar de olika huvudkomponenterna i systemet. För detta ändamål ges endast en kortfattad beskrivning av processerna samt de egenskaper i huvudkomponenterna som påverkas av interaktionen. I figur 6 redovisas interaktionsmatrisen med de identifierade processerna. Figur 7 visar hur en post i databasen för en intern process kan se ut.

Ett lämpligt tillvägagångssätt att identifiera processer är att följa en kolumn för en viss huvudkomponent och identifiera vilka egenskaper i de övriga huvudkomponenterna som kan påverka egenskaper i den valda huvudkomponenten. Till exempel väljs kolumnen för "Vattenkemi" och man går sedan igenom hur "Lokalisering", "Avfall", "Täckskikt" mm kan påverka vattenkemin. Genomgången kan också göras radvis, dvs man tittar på en huvudkomponent och går igenom hur den kan påverka de andra huvudkomponenterna.

För de fall där flera olika typer av påverkan förekommer mellan två diagonalelement dokumenteras dessa var och en för sig.

Lokalisering		Torrspick- bildning Tjälning Erosion			Erosion	Surt regn	Nederbörd Avdunstning	Tryckvaria- tioner Vind Atmosfärssamma nsättning	Omgivnings- temperatur		Geokemi Surt regn	Nederbörd Avdunstning Topografi	Avstånd till recipient
	Avfall	Sättningar	Igensättning	Kompaktering	Kompaktering	Nedbrytning Lakning Komplexbildn. Utfälln./ upplös. Sorption	Perkolat Kapillärflöde	Nedbrytning Korrosion Förångning	Värme- transport	Tillhandahållande av substrat			
	Kompaktering	Täckskikt				Växtrespiration Diffusion Sorption	Infiltration Kapillärflöde	Gasinträngning Gasutflöde Diffusion	Värme- transport				
			Lakvatten-system				Dränering						
				Bottenbarriär		Diffusion Sorption	Läckage Grundvatten inträngning		Värme- transport				
					Geologisk barriär						Diffusion Sorption Utfällning Upplösning	Grundvatten- flöde	
	Upplösning Utfällning	Utfällningar	Utfällningar	Barriär- degradering Utfällningar		Vattenkemi+ föroreningar i deponi	Densitetsstyr flöde Osmos	Förångning		Stimulering/ inhibering av mikrober	Diffusion Sorption	Masstransport	
	Upplösning/ utfällning Nedbrytning	Upplösning/ utfällning		Upplösning/ utfällning		Omblandning	Hydrologi i deponi	Förångning Tvåfas flöde	Avdunstning Värme- transport	Kolonisering av mikrober	Advektion Dispersion Diffusion	Grundvatten- bildning	
	Vittring Karbonati- sering Oxidation	Tryckupp- byggnad				Gasabsorption/ avgasning	Förångning Tvåfas flöde	Gas- föroreningar	Värme- transport				Förorenings- transport
	Antändning Kemiska jämvikter Kinetik	Kemiska jämvikter Kinetik	Frysning	Kemiska jämvikter Kinetik	Kemiska jämvikter Kinetik	Kemiska jämvikter Kinetik	Konvektion Förångning	Konvektion Förångning	Temperatur	Stimulering/ inhibering av mikrober	Kemiska jämvikter Kinetik		
	Nedbrytning	Rotinträngning Bohålor,mm	Mikrobiell tillväxt			Nedbrytning	Vattenbildning vid nedbrytning	Mikrobiell gasbildning	Nedbrytning	Biologi Mikrobiologi	Nedbrytning		
						Masstransport				Stimulering/ inhibering av mikrober	Grundvatten- kemi+ Föroreningar	Densitetsstyr flöde	Förorenings- transport
							Grundvatten- inträngning				Omblandning	Geohydrologi i omgivning	Advektion Dispersion Utspädning
													Utsläpp till recipient

Figur 6 Interaktionsmatris för avfallsdeponi

Element number: 02.08a	Revision date: 99-10-28
Interaction matrix: Deponi Test 3	Version: A
Identification in matrix: Perkolation	
Element type: Interaction	Number of interactions in element: 2
	Total number of interactions in matrix: 2
Recordnumber: 378	Total number of records: 2

Description:

Nederbörd som läcker in genom täckskiktet kommer att perkolera genom avfallet. Heterogeniteter i avfallet gör att perkolationen blir mycket ojämnt fördelad över olika delar av deponin.

FEP:**Influenced by:**

Avfall: Hydraulisk konduktivitet, heterogeniteter.

Affects:

Hydrologi i deponi: Vattenflöde genom avfallet, vatteninnehåll i avfallet.

Priority:	Priority date:
<input type="radio"/> 0=White <input type="radio"/> 1=Green <input type="radio"/> 2=Yellow <input type="radio"/> 3=Red	

Motivation:**Group identification:****Expertise:**

- Experts
- General Know how
- Limited

Figur 7 Post för interaktionsprocessen "Perkolation" i databasen.

Kvalitativ bedömning av betydelse

I detta exempel har ingen kvalitativ bedömning gjorts av processernas betydelse (Prioritet). Antal klasser i skalan kan väljas godtyckligt, men det är viktigt att varje klass är väldefinierad. Till varje klass finns en färgkod som kan användas för att i den färdiga interaktionsmatrisen vissa klassningen.

Identifiering av externa faktorer urval av scenarier

Någon systematisk identifiering av externa faktorer har inte gjorts för detta exempel. För att illustrera metodiken kan man välja exemplet att täckskiktet skadas pga yttre faktorer. Detta påverkar bland annat täckskiktets förmåga att släppa igenom gas och vatten. Genom att studera interaktionsmatrisen kan man sedan gå vidare i systemet. Förmågan att släppa igenom gas påverkar gassammansättningen i deponin som i sin tur påverkar det mikrobiella systemet, vittring och oxidation av avfallet, vattenkemi, osv. Förmågan att släppa igenom vatten påverkar hydrologin i deponin som i sin tur påverkar, vattenkemi, barriärernas egenskaper, mm.

Genom en kvalitativ bedömning av hur kraftig påverkan av den externa faktorn är på olika processer erhålls en bedömning av hur betydelsefull inverkan är på utsläppen från deponin. För externa faktorer som bedöms vara betydelsefulla kan en modifierad matris tas fram. Denna matris används för att definiera ett scenario. Detta scenario kan sedan närmare studeras i en riskbedömning.

6 Diskussion och slutsatser

Många processer påverkar utsläppet av föroreningar från en deponi. Dessa processer påverkas av yttre faktorer, förändras med tiden och påverkar dessutom varandra. För att med en acceptabel säkerhet kunna bedöma de framtida riskerna med en deponi krävs kännedom om hur detta system av processer fungerar. I många fall är vår kännedom om processerna och deras inverkan begränsad. Det är därför viktigt att kunna dokumentera var kunskapsluckor finns och om vi bedömer att ökad kunskap i dessa fall på ett markant sätt ökar säkerheten i våra riskbedömningar. Det är även viktigt att på ett entydigt och spårbart sätt dokumentera de bedömningar som gjorts för att i framtiden kunna avgöra om ny kunskap ger anledning till förändrade bedömningar och åtgärder.

Eftersom processsystemet är komplicerat är det önskvärt med en systematisk metod för att beskriva det. Bidrag från expertis inom flera områden behövs för att ge en heltäckande bild. Det är därför viktigt att beskrivning och dokumentation görs på ett enhetligt och väldefinierat sätt.

Identifiering av viktiga processer och hur de påverkar varandra är ett viktigt steg i en riskbedömning, men ger inte några kvantitativa bedömningar av risker. För att erhålla detta krävs någon typ av beräkningsmodell. För att kunna utföra beräkningar krävs omfattande förenklingar av processsystemet. Det är då viktigt att dessa förenklingar dokumenteras på ett systematiskt sätt.

Interaktionsmatriser är en metod som har använts för analyser av förvar för utbränt kärnbränsle. Här redovisas ett exempel på hur denna metod skulle kunna tillämpas på avfallsdeponier och angränsande geologisk barriär med syfte att studera inverkan på utsläppet av föroreningar. Systemet är upplagt för ett generellt avfall. Det är även möjligt att utföra analyser som inriktar sig på speciella kategorier av avfall och deponier. I exemplet har slutpunkten varit utsläpp till en recipient. För en riskbedömning av deponier kan även andra system vara aktuella, t ex hur föroreningar påverkar en recipient.

Slutsatsen från arbetet med att ta fram detta exempel är att interaktionsmatriser kan vara ett värdefullt hjälpmedel för att göra en systematisk analys av processsystemet i en avfallsdeponi. Metodiken kan hjälpa till att:

- på ett sammanhållande sätt redovisa och dokumentera de processer som är av betydelse för utsläppet från en deponi.
- systematiskt dokumentera områden där kunskapsluckor finns och områden där befintlig kunskap bedöms vara tillräcklig.
- ge en möjlighet att på ett systematiskt sätt analysera effekten av förändringar i systemet, t ex yttre händelser, förändringar i avfallets sammansättning eller förändringar i deponins utformning.
- dokumentera förenklingar som krävs för att kunna göra den kvantitativa beskrivning som utgör underlag för en riskbedömning av en avfallsdeponi.

Arbetet med att dokumentera ett processsystem är relativt omfattande, men bidrar samtidigt till att öka förståelsen för hur systemet fungerar.

Referenser

- Elert M, Karlsson L G och Petsonk A (1995): Föroreningar i deponier och mark. Ämnens spridning och omvandling, Rapport 4473, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Hudson J (1992): Rock Engineering Systems: Theory and Practice, Ellis Horwood, Chichester, UK.
- Naturvårdsverket (1996): Aktionsplan Avfall, Rapport 4601, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Skagius K, Ström A, Wiborgh M (1995): The use of interaction matrices for identification, structuring and ranking of FEPs in a repository system. Application to the far-field of a deep geological repository for spent fuel. SKB Technical Report 95-22, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., Stockholm, Sweden.

Tabell 1 Beskrivning av huvudkomponenter i systemet

Nr	Identifiering_i_matris:	Beskrivning:	Karakteristik :
1.01	Lokalisering Randvillkor	Klimat (meteorologi, atmosfärskemi) i omgivningen till deponin. Topografi Recipienter i omgivningen	Temperatur: (medel, säsong, Extremsituationer) Nederbördsmängd: (medel, säsong, Extremsituationer) Nederbördssammansättning: (pH, kemi) Solinstrålning, Vindförhållanden Atmosfärsgaser Topografiska förhållanden Geokemiska förhållanden Närhet till recipient
2.02	Avfall	Det deponerade avfallet. Kan vara: hushållsopor (MSW) förbränningsrester (MSWI) askor industriavfall Inkluderar eventuell mellantäckning	Dimensioner Värmeegenskaper Hydrologiska egenskaper Gasledande egenskaper Mekaniska egenskaper (kompakteringsgrad, stabilitet) Kemiska egenskaper (sammansättning)
3.03	Täckskikt	Sluttäckning av deponi bestående av vegetationsskikt, skyddsskikt, ev. dränerande lager, tätskikt Kan också innehålla gasavledning	Dimensioner Värmeegenskaper Hydrologiska egenskaper Gasledande egenskaper Mekaniska egenskaper (kompakteringsgrad, stabilitet) Kemiska egenskaper (sammansättning)
4.04	Lakvattensystem	System för uppsamling och omhändertagande av lakvatten efter avslutad drift: dräneringslager och utsläpp till geologisk barriär	Hydrologiska egenskaper (hydraulisk konduktivitet, kapillaritet) Mekaniska egenskaper (stabilitet)
5.05	Bottentätning	Bottenbarriär exklusive dräneringsystem för lakvattenuppsamling.	Dimensioner (längd, mäktighet) Hydrologiska egenskaper Mekaniska egenskaper (stabilitet) Kemiska egenskaper (sammansättning)
6.06	Geologisk barriär	Marklager som lakvatten passerar innan det når skyddsvärd recipient.	Dimensioner (längd, mäktighet) Hydrologiska egenskaper Mekaniska egenskaper (stabilitet) Kemiska egenskaper (sammansättning)
7.07	Vattenkemi och vattenburna föroreningar i deponin	Kemisk sammansättning av vattnet i deponi inkluderande makrokomponenter och föroreningar. Inkluderar: lösta komponenter partikelburna komponenter, kolloider	pH, Eh katjoner, K, Na, Ca, Fe anjoner: Cl, SO4--, NO3- löst organiskt material, tungmetaller, organiska föroreningar
8.08	Hydrologi i deponi	Vattenflöde, mättnadsgrad i deponins olika delar	Vattenflöde, heterogenitet Mättnadsgrad Hydrostatiskt tryck Tryckgradienter Portryck
9.09	Gas och gasformiga föroreningar	Gasflöde, mättnadsgrad, gassammansättning i deponins olika delar.	Gasflöde, Gastryck Mättnadsgrad gas Sammansättning (O2, CO2, CH4, mm) Flyktiga föroreningar
10.1	Temperatur	Temperatur i deponins olika delar	Temperatur Temperatur gradienter
11.11	Biologi Mikrobiologi	Mikrobiologiskt tillstånd i deponins olika delar samt i den geologiska barriären. Biologiskt liv som kan påverka deponin	Storlek, typer och aktivitet av mikrobiella populationer Växtarter i området Djurarter i området
12.12	Vattenkemi och vattenburna föroreningar i den geologiska barriären	Kemisk sammansättning av vattnet i geologiska barriären inkluderande makrokomponenter och föroreningar. Inkluderar: lösta komponenter partikelburna komponenter, kolloider	pH, Eh katjoner, K, Na, Ca, Fe anjoner: Cl, SO4--, NO3- löst organiskt material, tungmetaller, organiska föroreningar
13.13	Geohydrologi i omgivningen	Grundvattenflöde och vattenmättnad i den geologiska barriären	Vattenflöde, heterogenitet Mättnadsgrad Hydrostatiskt tryck Tryckgradienter
14.14	Utsläpp till recipient	Utsläpp av förorenande ämnen från den geologiska barriären till recipienten	Massflöden av förorenande ämnen Koncentrationer av förorenande ämnen i utsläppspunkten