

Riskvärdering med Analytical Hierarchy Process

Utveckling och utprovning av
ett nytt datorbaserat verktyg

RAPPORT 5890 • NOVEMBER 2008



Kunskapsprogrammet



Riskvärdering med Analytical Hierarchy Process -

Utveckling och utprovning av ett nytt datorbaserat verktyg

Tom Ritchey
Totalförsvarets Forskningsinstitut

NATURVÅRDSVERKET

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: natur@cm.se

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

Internet: www.naturvardsverket.se/bokhandeln

Naturvårdsverket

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

E-post: registrator@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 978-91-620-5890-6.pdf

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2008

Elektronisk publikation

Omslag

Stora bilden: Grävmaskin i Väckelsång

Lilla bilden: Observationsrör för provtagning

Foto: Ola Arvidslund

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 ”Riskvärdering med Analytical Hierarchy Process” som har genomförts inom Hållbar Sanering.

I rapporten beskrivs framtagande och test av ett beslutsstödsverktyg för riskvärdering av förorenade områden med hjälp av "Analytical Hierarchy Process".

Rapporten har skrivits av Tom Ritchey på FOI. Deltagare i *utvecklingsgruppen* var: Tommy Hammar, Länsstyrelsen i Kalmar län, Jenny Norrman, SGI, Andy Petsonk, WSP Environmental, Mats Tapper, Geosigma AB, Mia Östman, Miljökontoret, Södertälje kommun, Tomas Henrysson, Repr. Hållbar Sanering, Conviro AB, Maria Stenström, Facilator, Socratia AB samt Tom Ritchey, Projektledare, facilator, FOI.

Deltagare i *testgruppen* var: Jonas Weidenmark och Christer Carlsson, tekniska kontoret, Tingsryds kommun, Marie-Louise Hilmersson, vice ordförande i kommunstyrelsen, Tingsryds kommun, Leif Karlsson och Karin Simonsson från Länsstyrelsen, Fredric Engelke, SGI, Jenny Norrman, SGI, Tomas Henrysson, Conviro AB, Tom Ritchey, FOI samt Patrik Thorén, FOI.

Författaren vill rikta ett speciellt tack till Tomas Henrysson, som bistod alla faser av projektet samt samlade två kunniga och entusiastiska arbetsgrupper, och Jenny Norrman, som deltog i båda grupper. Mats Tysklind, Umeå Universitet var kontaktperson för Hållbar Sanering.

Naturvårdsverket har inte tagit ställning till innehållet i rapporten. Författaren svarar ensam för innehållet, slutsatser och eventuella rekommendationer.

Naturvårdsverket 2008

Innehåll

FÖRORD	3
INNEHÅLL	5
SAMMANFATTNING	6
SUMMARY	7
1 INLEDNING	8
2 METODEN	9
3 PROV I VÄCKELSÅNG	15
3.1 Bakgrund	15
3.2 Åtgärdsalternativ som har övervägts	16
3.3 Result	17
3.3.1 Värderingar	17
3.3.2 Resultat för respektive åtgärd och känslighetsanalys	17
4 SLUTSATSER	19
5 REFERENSER	20
6 BILAGA 1	21
6.1 Värdering av de tre saneringsalternativen	21
6.1.1 Ekologiska: riskreducering/påverkan	21
6.1.2 Ekonomiska: Kostnader/intäkter	21
6.1.3 Sociala/kulturella faktorer	22
6.2 Värderingen av den analytiska hierarkin	22
6.2.1 Ekologisk: Risker på långsikt	22
6.2.2 Ekologisk: Risker som uppkommer på under åtgärds tid	22
6.2.3 Ekologisk: Resurshushållning	22
6.2.4 Socialt/Kulturellt: Samhällsnytta	23
6.2.5 Socialt/Kulturellt: Uppfyllelse av politiska mål	23
6.2.6 Socialt/Kulturellt: Acceptans	23
6.2.7 Socialt/Kulturellt: Minimera riskmässiga ansvar	23
6.2.8 Ekologiska faktorer	23
6.2.9 Ekonomiska faktorer	23
6.2.10 Sociala/Kulturella faktorer	23

Sammanfattning

Riskvärdering av förorenade områden innebär att väga samman miljömässiga, tekniska, ekonomiska, sociala och andra faktorer för att bestämma en rimlig saneringsnivå. Riskvärdering i saneringsprojekt är en relativt ny företeelse. I syfte att utveckla metodiken i detta område har Hållbar Sanering gett bidrag dels till övergripande riskvärderingsprojekt, dels till projekt med fördjupningar i olika aspekter av riskvärdering.

I detta projekt, som drevs av FOI med bidrag från Hållbar Sanering, användes AHP (Analytic Hierarchy Process) för att utveckla ett datoriserat verktyg för att stödja riskvärdering av förorenade områden. AHP är en av flera s.k. multimålmeter. Dessa metoder används för att systematiskt jämföra och värdera olika alternativa lösningar eller åtgärder när det finns många olika målkriterier att ta hänsyn till. Kriterierna kan vara både kvantitativa och kvalitativa.

Resultatet av projektet är ett datorbaserat verktyg som kan användas för att lättare – och på ett mer strukturerat, konsekvent och spårbart sätt – göra riskvärderingar i framtiden.

Projektet bedrevs i två faser med två olika arbetsgrupper. Första fasen, som utfördes av ”utvecklingsgruppen”, handlade om utformningen av en allmän grundmodell för riskvärdering. Den andra fasen, som utfördes av ”testgruppen”, innefattade en prövning av modellen i ett specifikt, pågående saneringsprojekt. Saneringsprojektet som valdes avsåg ett sågverksområdet Väckelsång, i Tingsryds kommun.

Summary

Risk analysis concerning the management of contaminated areas involves comparing and evaluating the relationship between ecological, technical, economic and other factors, in order to determine a reasonable level of remediation. Risk analysis of this kind is a relatively new phenomenon. In order to develop methodology in this area, the Sustainable Remediation program contributes both to comprehensive risk analysis projects and to projects concentrating on specific aspects of remediation risk analysis.

In the project described in this report, the Swedish Defence Research Agency (FOI) was given a grant by the Sustainable Remediation program to apply the Analytic Hierarchy Process (AHP) in order to develop a computer-aided instrument to support remediation risk analysis. AHP is one of several so-called multi-criteria decision support methods. These methods are applied in order to systematically compare and evaluate different solutions or measures, when there are many different goal criteria involved. Such criteria can be both quantitative and qualitative.

The project has resulted in the development of a computer-aided instrument which can be employed to give a better structure, consistency and traceability to risk analyses for the remediation of contaminated areas.

Project was carried out in two phases with two different working groups. The first phase involved the development of a generic base-model for remediation risk analysis. This was performed by a “development group”. The second phase entailed the testing of the generic model in a specific, on-going remediation project. This was performed by a “test group”. The remediation project in question concerned the decontamination of a closed-down sawmill in Väckelsång, in the Swedish municipality of Tingsryd.

1 Inledning

Riskvärdering av förorenade områden innebär att väga samman miljömässiga, tekniska, ekonomiska och andra faktorer för att bestämma en rimlig saneringsnivå. Riskvärdering i saneringsprojekt är en relativt ny företeelse. Det är ett komplext studieområde och inrymmer en rad metodologiska problem. Många betydelsefulla faktorer är av sådan karaktär att de inte går att kvantifiera på ett meningsfullt sätt. Det gäller till exempel sociala/kulturella, organisatoriska och miljöpolitiska faktorer. Det finns således betydande osäkerheter när det gäller att bedöma hur olika aspekter av problemområdet hänger ihop, och hur avvägningar mellan dessa kan göras. Detta medför ett behov av att utveckla och tillämpa icke-kvantitativa metoder för studier och värderingen av risker när det gäller saneringsprojekt.

I detta projekt, som drevs av FOI med bidrag från Hållbar Sanering, användes AHP (Analytic Hierarchy Process) för att utveckla en modell för riskvärdering av förorenade områden. Resultatet av projektet är ett datorbaserat verktyg som kan användas för att lättare – och på ett mer strukturerat, konsekvent och spårbart sätt – göra riskvärderingar i framtiden. Förhoppningen är att man med detta verktyg ska kunna tydliggöra effekterna av värdering och viktning av olika aspekter vid riskvärderingen. AHP är en av flera s.k. multimålmeter. Dessa metoder används för att jämföra och värdera olika alternativa lösningar eller åtgärder när det finns många olika målkriterier att ta hänsyn till. Kriterierna kan vara både kvantitativa och kvalitativa.

Den första versionen av verktyget togs fram av en grupp sakkunniga inom marksanering, tillsammans med två facilitatorer. Denna ”utvecklingsgrupp” hade tillsammans en bred kompetens och lång erfarenhet av olika aspekter av marksanering.

Det är inte förrän verktyget används under verkliga förhållanden som användbarheten kan utvärderas. Med verkliga förhållanden menar vi att det används i ett pågående saneringsprojekt av de aktörer som normalt genomför riskvärderingen i projektet. Ett saneringsprojekt i Väckelsångs kommun valdes som testprojekt, och genomfördes under våren 2007. Deltagare i denna ”testgrupp” bestod av kommunpolitiker, kommundienstjänstemän, konsulter och representanter från länsstyrelsen samt två av deltagare från den ursprungliga ”utvecklingsgruppen”.

2 Metoden

AHP (Analytic Hierarchy Process) utvecklades av den amerikanske matematikprofessorn Thomas Saaty (Warton School of Economics) under 1960-70-talet (Saaty, 1980). Metoden bygger på att givna eller skapade alternativ jämförs parvis mot en hierarki av målkriterier (en s.k. analytisk hierarki). Detta är ett exempel på vad kallas för multimålmeter.

Det finns tre huvudsteg i den analytiska hierarkiprocessen:

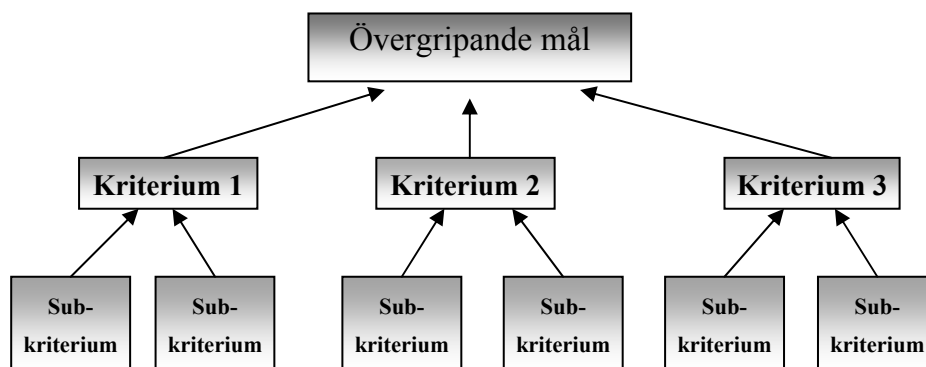
1. Att ta fram ett antal alternativa lösningar för problemet som är under behandling.
2. Att skapa en analytisk (mål-)hierarki.
3. Att jämföra de alternativa lösningarna med varandra (parvis) inom ramen för hierarkins mest underordnade (sub-)kriterier, samt att jämföra alla subkriterierna med varandra (parvis) inom ramen för sina respektive högre ordnade kriterier.

1. Ta fram ett antal alternativa lösningar för problemet som är under behandling

När det gäller saneringsprojekt, finns det redan metoder för att ta fram olika tänkbara lösningar (behandlingsmetoder) i samband med utvärderingen av själva saneringsobjektet. Det betyder att det bör finnas åtminstone förslag till alternativa lösningar innan man börjar riskvärderingen med AHP modellen.

2. Skapa en analytisk (mål-)hierarki

Den analytiska hierarkin består av ett övergripande mål och olika nivåer av underordnade kriterier för att uppnå detta mål (figur 1).



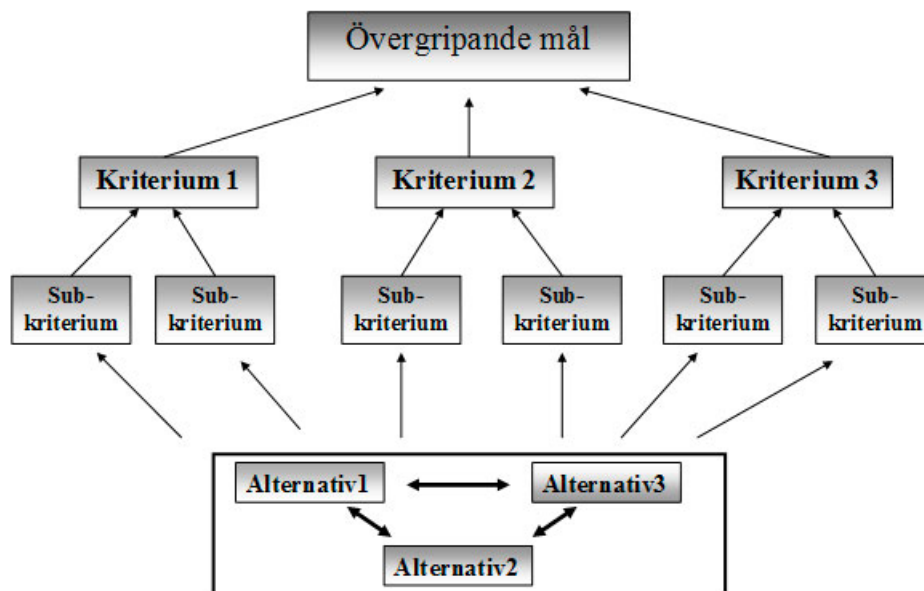
Figur 1. En analytisk hierarki bestående av övergripande mål och två nivåer av sub-kriterier

Man börjar med att klart uttrycka det övergripande mål. Direkt under målet (kriterium 1,2 och 3) listar man de huvudsakliga kriterier som måste beaktas för att målet skall kunna uppfyllas. Varje av dessa kriterier kan vidare brytas ner till underkriterier (sub-kriterier), och så vidare. Rent teoretisk finns det ingen gräns för hur många nivåer man kan definiera inom en hierarki, men i praktiken räcker det (vanligtvis) med 2-4 nivåer. Det viktiga är att hierarkin är tillräckligt stor för att fånga alla de viktigaste kriterier som är av betydelse för beslutsprocessen, men inte för stor så att problemet blir ohanterligt.

Detta är den mest ansträngande fasen i processen, eftersom det kräver ett brett kompetensspektrum och en intuitiv känsla för alla faktorer som påverkar målet samt beslutsprocessen att uppnå målet.

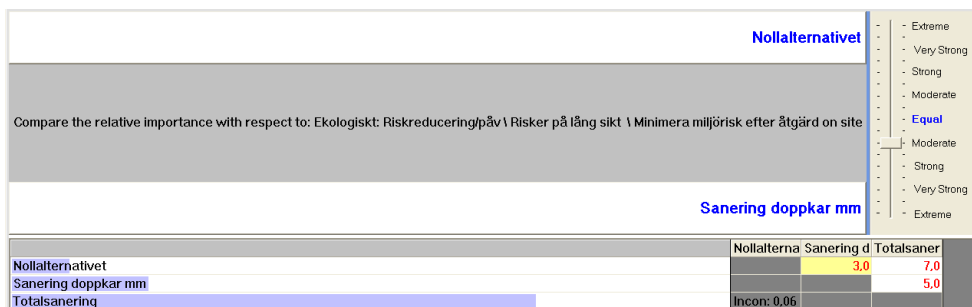
3. Att jämföra de alternativa lösningarna med varandra (parvis) inom ramen för hierarkins mest underordnade (sub-)kriterier, samt att jämföra alla sub-kriterierna med varandra (parvis) inom ramen för sina respektive högre ordnade kriterier.

AHP bygger på parvisa jämförelser för att värdera vikten av alternativa lösningar, sub-kriterier och kriterier. Värderingsprocessen börjar ”på botten” med att jämföra de olika alternativa lösningarna inom ramen för varje lägst sub-kriterium (figur 2). På samma sätt jämförs de olika sub-kriterier inom ramen för varje överordnad kriterium. Man arbetar uppåt i hierarkin till dess att man till slut jämför de översta kriterierna inom ramen för det övergripande målet.



Figur 2. En analytisk hierarki med tre alternativ som jämförs parvis

Vid en fullständig analys har samtliga kriterier på samtliga nivåer värderats mot alla andra kriterier, och samtliga alternativ har jämförts parvis med avseende på hur väl de uppfyller kriterierna på den lägsta nivån. Värderingarna ges numeriska värden, men själva jämförelserna kan göras med en skala uttrycket i vanligt språk (figur 3). Dessa parvisa värderingar skapar en viktning som sedan kan behandlas matematiskt.



Figur 3. Värderingsskala (till höger) i ett exempel från projektet (ur programvaran Expert Choice)

Generellt, har vi funnit att AHP – både som analytisk-syntetisk metod (Ritchey, 1991) och som arbetsprocess – bidrar till en **högre effektivitet** inom en studiegrupp genom att studiegruppen snabbt kan fokusera sitt arbete utan att förlora i bredd, och till en **högre kvalitet i process och produkt**, genom att resultaten är väldokumenterade och spårbara. Den ger utdelning i form av fördjupad kunskap, både om relationen mellan olika målkriterier och om alternativens egenskaper. Själva processen att utveckla och värdera en analytisk (mål-)hierarki är mycket viktig. Metodens krav på tydlighet gör att det nästan är omöjligt att negligera eller undgå att upptäcka ologiskt tänkande eller otillräcklig kunskap.

AHP kan göras "för hand" – d v s utan datorstöd – men det är mycket tidsödande och ger endast begränsad möjlighet till känslighetsanalys. Med datorstöd är metoden både flexibel och överskådlig. Resultaten av de parvisa värderingarna ger en prioritering mellan de olika alternativa lösningarna. Detta kan sedan åskådliggöras grafiskt på samtliga hierarkinivåer. Både kriteriernas inbördes värdering och bästa alternativ, både totalt och mot kriterium för kriterium, kan utläsas.

Vid den efterföljande analysen kan ett kriteriums viktning lätt ändras, varvid verktyget räknar fram en ny prioriteringsordning för alternativen. På så sätt kan man utforska hur en förändrad värdering av kriterierna påverkar utfallet. Man kan med andra ord göra en känslighetsanalys under hand.

3 Modellen

Arbetet med att ta fram verktyget bedrevs i workshopform med en grupp sakkunniga inom marksanering tillsammans med två facilitatorer från FOI. Arbetsgruppen träffades under två 2-dagars arbetsessioner i Naturvårdsverkets lokaler i Stockholm.

Arbetet började med att ta fram en fokus fråga som skulle representera riskanalysens mest övergripande mål – dvs. rubriken som står högst i den analytiska hierarkin. Denna övergripande mål blev: **Bästa åtgärder för sanering av** (namngivet saneringsobjekt).

Sedan laborerade arbetsgruppen med ett antal tänkbara generella huvudkriterier som måste beaktas för att målet ska kunna uppnås. Till slut enades gruppen om tre kriterier som motsvarar redan kända, vedertagna kategorier när det gäller saneringsprojekt. Dessa är: **ekologiska, ekonomiska och sociala/kulturella** kriterier. De här kriterierna bröts sedan ner i sub-kriterier och för de ekologiska och sociala/kulturella faktorerna i sub-sub-kriterier.

Det **ekologiska kriteriet** bröts ned i tre sub-kriterier:

1. **Risker på långsikt:** Tanken bakom denna faktor är att riskreduktionen ska vara beständig och kontrollerbar. Man måste kunna kartlägga osäkerheter i olika metoder: Hur beprövade och tillgängliga är de? Man måste också ta hänsyn till misslyckade åtgärder. Man vill minimera både miljörisker och humanrisk/hälsorisk (samt andra tänkbara risker) både on-site och off-site efter åtgärd.
2. **Risker som uppkommer under åtgärdstid:** Här gäller det risker som uppkommer beroende på hur man påverkar förhållandena med själva åtgärderna under åtgärdstiden. Exempel är buller, damning, avgas och uppgrumling av sediment. Det gäller inte risker med läckage från källan. Man vill minimera emissioner i luft, mark och vatten, påverkan på boende i området och även påverkan när det gäller extern händtagande i t.ex. andra länder.
3. **Resurshushållning regionalt/globalt:** Det här gäller nyttjande av material och energi i åtgärdsprocessen. Detta vill man minimera. Samtidigt vill man kunna återanvända t.ex. renade eller måttligt förorenade jordmassor, ersättningsmassor, etc.

Det **ekonomiska kriteriet** bröts ned i tre sub-kriterier:

1. **Investeringskostnader:** Det här gäller saneringsåtgärdens paketkostnad – en engångskostnad. Denna kostnad ska hållas så låg som möjligt.
2. **Underhållskostnader efter saneringsåtgärd:** Dessa kostnader skall också hållas så lågt som möjligt.
3. **Maximerade intäkter:** Det här gäller t.ex. att bibehålla infrastruktur och att skapa byggbar mark för exploatering i framtiden.

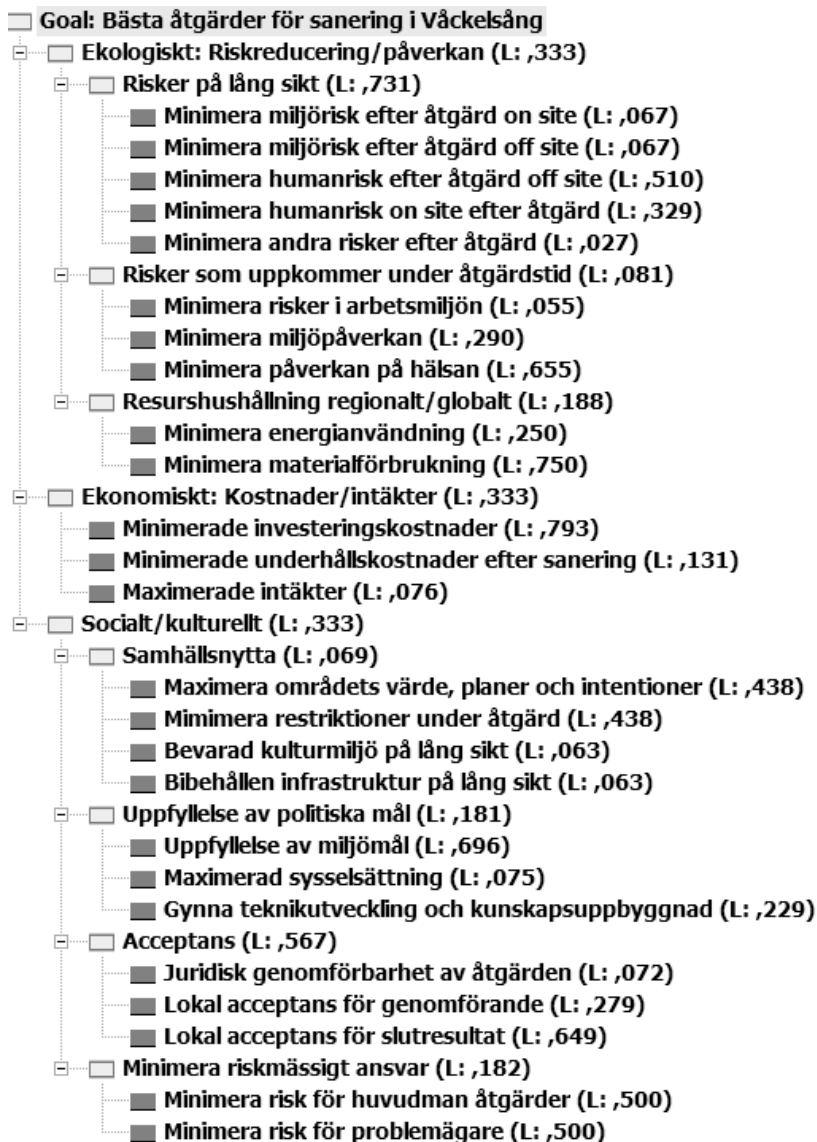
De **sociala/kulturella** kriterier bröts ned i fyra sub-kriterier:

1. **Samhällsnytta:** Här gäller det att maximera områdets värde från ett samhällsperspektiv, t.ex. att ta hänsyn till hur lång tid saneringen tar och eventuella avbrott/avstängning av andra verksamheter. Man vill också kunna bevara eller förbättra både naturmiljön (fiske, strövområde etc.), kulturmiljön och för framtiden viktig infrastruktur.
2. **Uppfyllelse av politiska mål:** Här gäller det diverse kriterier, t.ex. att uppfylla miljömål som har politiska och ekologiska grunder; att bidra till maximerad sysselsättning genom att projektet använder sig av lokala entreprenörer, konsulter och behandlingsanläggningar; och att bidra till kunskaps- och teknikutveckling. Projektet kan också gynna lokala tjänster, t.ex. hotell och restauranger.
3. **Acceptans:** Här gäller det å ena hand juridiska faktorer, t.ex. hur svårt det är att sätta igång projektet, tillståndprocessen och acceptans från miljömyndigheterna (baserat på Miljöbalken); och å andra hand den lokala befolkningens acceptans både för det slutliga resultat av saneringen, och dess genomförande som process.
4. **Minimera riskmässigt ansvar:** Här gäller det att minimera risken för både huvudman och problemägare. Dessa kan vara samma juridiska person, eller två separata. Det handlar bl. a. om huruvida någon vill ta på sig huvudmannaskap för åtgärder, osäkerheter när det gäller saneringsmetoden och konsekvenser i fall av misslyckade åtgärder. Det gäller också de ekonomiska riskerna på kort- och mellansikt.

I figur 4 visas hela hierarkin. Arbetsgruppen testade sedan hierarkin genom att värdera olika tänkbara åtgärder för saneringsobjektet BT Kemi. Denna övning gjordes endast för att kontrollera hierarkins bred och funktionalitet, och för att finjustera dess innehåll. Resultaten av övningen var dock inte vederhäftig, eftersom arbetsgruppen saknade tillräckliga kunskaper om fallet BT Kemi. Det beslöts därför att försöka hitta ett pågående saneringsprojekt för att testa modellen ”skarpt”.

Som värderingsinstrument är denna analytiska hierarki tänkt att vara generisk, dvs den skall kunna tillämpas på vilket saneringsprojekt som helst som är bi-dragsprojekt (se resonemanget om Huvudspåren under Slutsatser). Däremot är de alternativa åtgärderna och de parvisa jämförelserna specifika för varje enskilt saneringsprojekt.

Verktyget är framtaget i "Expert Choice" som är en kommersiell mjukvara för AHP, ursprungligen utvecklade av AHP:s skapare Thomas Saaty (se referenslistan: Expert Choice).



Figur 4. I projektet framtagen analytisk hierarki för bästa åtgärdslösning (skärmbild från Expert Choice)

4 Prov i Väckelsång

Delar av följande redovisning är tagen från ”Riskvärdering avseende sågverksområdet i Väckelsång”, Statens Geotekniska Institut, 2007-06-29.

4.1 Bakgrund

SGI erhöll 2006 uppdraget att genomföra en huvudstudie av det f d sågverket i Väckelsång, Tingsryds kommun. Huvudstudien redovisades i en rapport daterad 2007-01-31 (SGI, 2007).

Sågverket uppmärksammades ur miljösynpunkt redan 1998 då Länsstyrelsen i Kronoberg inventerade flera olika sågverk inom länet. Under 2002, 2003 och 2004 utfördes olika översiktliga markundersökningar som visade att bla. klorfenoler och dioxin fanns i både mark samt i det större barkupplag som ligger inom fastigheten.

Efter att resultaten från drygt hundra olika jord, bark och vattenprover utvärderats (varav ca 60 avseende dioxin), blev det tydligt att det främst är dioxinförekomsten i jord och bark som innebär en förhöjd hälsorisk för de boende intill sågverket. För att kunna beräkna hälsorisen, kvantifiera osäkerheterna i bedömningarna och för att kunna visa hur mycket hälsorisen reduceras vid olika tänkbara efterbehandlingsåtgärder, togs en sannolikhetsbaserad riskmodell fram för Väckelsång.

I riskmodellen beräknas hur mycket dioxin de boende i området dagligen riskerar att utsättas för. Beräkningarna baseras dels på den statistiska fördelningen av dioxinhalter i marken vid det f d sågverket, och dels på de möjliga exponeringsvägar och exponeringsfaktorer som är giltiga i Väckelsång. Beräknat intag av dioxin från sågverksområdet jämfördes sedan med de TDI-värden (Tolerabelt Dagligt Intag) som finns för dioxin och som Naturvårdsverket anser kan tas i anspråk av ett förorenat område. Osäkerheterna i dioxinhalter och exponeringsdata hanterades genom att ansätta fördelningar med ”mest troliga” värden, men även ”värsta rimliga” antaganden.

Fördelarna med att använda en kvantitativ riskmodell som ett komplement till subjektiva expertbedömningar är många. Några av de viktigaste fördelarna med en kvantitativ riskmodell är att:

- man kvantitativt kan visa hur olika antaganden påverkar slutresultatet
- den möjliggör granskning, samt
- att den ökar möjligheten till oberoende jämförelser

Resultaten visar att den mest troliga hälsorisen är betydligt lägre än vad Naturvårdsverket accepterar i ett bostadsområde, även om inga åtgärder utförs. Det finns dock betydande osäkerheter i denna, liksom i alla andra miljötekniska undersökningar. Med de antaganden SGI gjort i riskbedömningen så kan risken för en negativ hälsoeffekt **inte uteslutas med en större säkerhet än 76%**. Hur stor säkerhet som krävs finns idag inga råd eller riktlinjer för. I andra sammanhang

brukar en säkerhetsnivå på 90-95% rekommenderas. För att denna säkerhetsnivå skall kunna uppnås måste någon form av efterbehandlingsåtgärd vidtas.

SGI har i huvudstudien visat på möjliga åtgärder och även beräknat riskreduktion samt översiktliga kostnader för respektive åtgärd. Vilken åtgärd som slutligen kommer att utföras är dock lika mycket en funktion av t ex sociala/kulturella aspekter som åtgärdskostnader och riskreduktion. Val av åtgärd sker genom en riskvärdering, där olika alternativ värderas och ställs emot varandra.

4.2 Åtgärdsalternativ som har övervägts

SGI har i huvudstudien rekommenderat ett åtgärdsalternativ, baserat på maximal riskreduktion till lägsta möjliga kostnad. I denna riskvärdering värderas denna åtgärd tillsammans med två andra tänkbara åtgärder. Respektive åtgärdsalternativ redovisas översiktligt nedan. En mer utförlig beskrivning redovisas i huvudstudien (SGI, 2007). De tre åtgärdsalternativ som har värderats är:




- **Nollalternativet:** dvs inga efterbehandlingsåtgärder utförs. Med de antaganden avseende framtida markanvändning som har gjorts i huvudstudien är den mest troliga hälsorisen lägre än vad som kan accepteras (0,12 pg/kg, d enligt nollalternativet jämfört med 0,5 pg/kg, d som maximalt kan accepteras). Det finns osäkerheter i bedömningarna och risken för negativa effekter kan inte uteslutas med större säkerhet än 76%. Kostnaden för nollalternativet har bedömts vara i storleksordningen 200 000 kr (främst administrativa kostnader).
- **Sanering av doppkar samt täckning av barkupplag:** Denna åtgärd rekommenderades i huvudstudien och innebär att marken kring de båda doppkaren där förhöjda dioxinhalter påträffats grävs ur samt att barkupplaget täcks över med en enkel jordtäckning. Risken att negativa hälsoeffekter skall uppstå kan om åtgärden utförs uteslutas med en betydligt större säkerhet, drygt 97%, jämfört med nollalternativet och den mest troliga dioxinexponeringen är 0,05 pg/kg, d. Kostnaden för åtgärden är osäker, men har uppskattats till i storleksordningen 1 Mkr.
- **En total sanering av området:** Denna åtgärd innebär att alla jord- och barkmassor som misstänks ha halter som överskrider det platsspecifika riktvärdet 60 ng/kg TS grävs ur och transporteras till en deponi. Säkerheten ökar till nästan 100% och dioxinexponeringen beräknas till 0,04 pg/kg, d. Kostnaden för denna åtgärd är osäker men har uppskattats till mellan 5 och 25 Mkr.

4.3 Resultat

4.3.1 Värderingar

Först jämfördes/värderades de tre alternativen inför varje lägstanivåkriterium (de mörkgråa rektanglarna i figur 4). Sedan värderades de lägstanivåkriterier inför sina respektive ”överkriterier” (de ljusa rektanglarna), o.s.v. uppåt i hierarkin. De tre mest övergripande kriterier (Ekologiska, Ekonomiska och Sociala/kulturella), värderades lika, men kan varieras efteråt för en känslighetsanalys.

Alternativen värderas parvis, men resulterar i en jämförelseskala (figur 5). I exemplet nedan, jämförs de alternativa saneringsåtgärder inför huvudkriterium ”Ekologisk riskreducering, Risker på långsikt, Minimera miljörisk efter åtgärder on-site.” Resultaten visar att Nollalternativet är c:a 10% ”lika bra” som Totalsanering, och att Sanering doppkar och täckning är 25% ”lika bra” som Totalsanering, enligt gruppens värderingar.

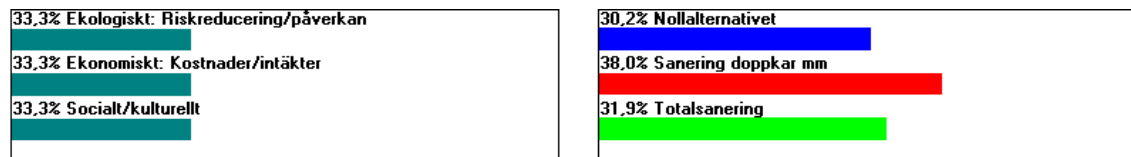
Ideal mode	PAIRWISE
Alternative	Ekologiskt: Riskreducering/påv Risker på lång sikt Minimera miljörisk efter åtgärd on site
<input checked="" type="checkbox"/> Nollalternativet	 ,111
<input checked="" type="checkbox"/> Sanering doppkar	 ,258
<input checked="" type="checkbox"/> Totalsanering	 1,000

Figur 5. Värdering av saneringsalternativ inför ett lägstanivåkriterium.

Samtliga värderingar av åtgärdsalternativen återges i bilaga 1.

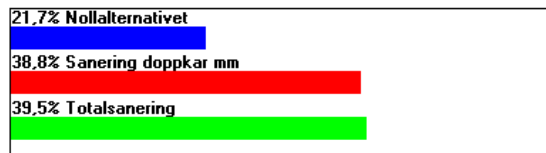
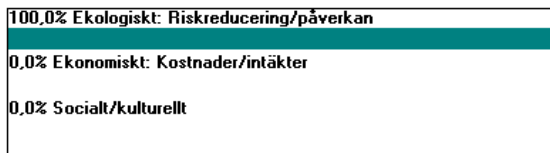
4.3.2 Resultat för respektive åtgärd och känslighetsanalys

När de tre övergripande kriterier ”Ekologiska”, ”Ekonomiska” och ”Sociala/kulturella”, värderades lika, är Sanering doppkar mm det bästa alternativet enligt projektgruppens bedömningar (figur 6). Men alla tre alternativ är rimliga.

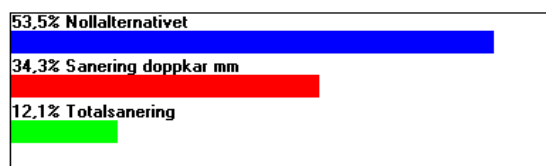
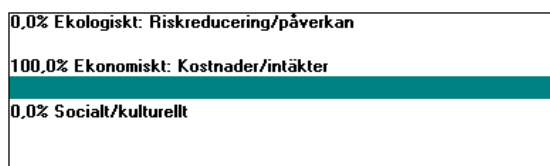


Figur 6: Huvudkriterier (vänster) värderade lika.

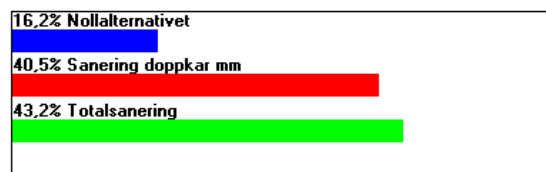
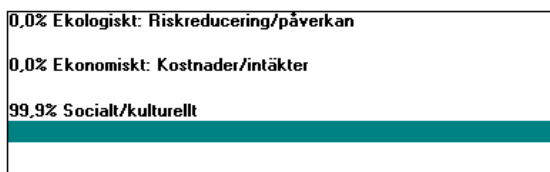
Figur 7, 8 och 9 visar de bästa alternativen för varje enskilda huvudkriterium (Ekologiska, Ekonomiska och Sociala/Kulturella).



Figur 7. För enbart ekologiska kriterier. Sanering doppkar och Totalsanering lika

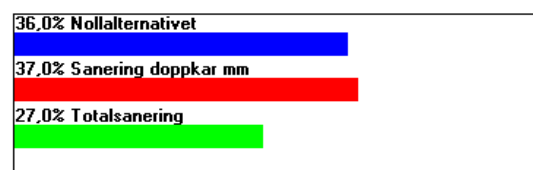
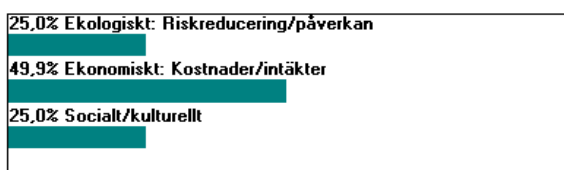


Figur 8. För enbart ekonomiska kriterier: Nollalternativet klart bäst



Figur 9. För enbart sociala/kulturella kriterier: Någon form av sanering bäst

Slutligen, blir Nollalternativet och Sanering doppkar mm. ungefär lika när det ekonomiska kriteriet blir c:a två gånger viktigare än de andra två kriterierna (figur 10).



Figur 10. När de ekonomiska kriterierna bedöms vara två gånger viktigare än de övriga: Nollalternativet och Sanering med doppkar mm. ungefär lika bra

5 Slutsatser

Analytic Hierarchy Process (AHP) är en vetenskapligt grundad och beprövad metod för att prioritera mellan olika alternativa lösningar eller åtgärder inför en hierarki av olika målkriterier. Det datorbaserade riskvärderingsverktyg som utvecklades med AHP (och med mjukvaran Expert Choice) fungerade väl i provet med saneringsprojektet i Tingsryds kommun. Av särskild vikt är metodens och verktygets möjlighet att inom en enda metodologisk ram ta hänsyn till de tre breda sammanhang som man måste ta hänsyn till när det gäller en riskanalys för saneringsobjekt: ekologiska, ekonomiska och sociala/kulturella faktorer.

Själva kontamineringsproblemet i Väckelsång, som projektet behandlade, har bedömts som hälsomässigt lågrisk, men det fanns ändå en relativt stark debatt och en polarisering kring problematiken. Detta speglas väl av studien och i värderingarna i och med att alla tre saneringsalternativ visade sig vara rimliga. Dock är ”mittenalternativet” – Sanering av doppkar samt täckning av barkupplag – det alternativ som oftast visade sig antingen vara bäst eller lika bra, oberoende av hur man vägar de ekologiska, ekonomiska och sociala/kulturella faktorerna. Detta alternativ täcker alltså det bredaste behovsspektrum när det gäller dessa kriterier. Riskvärderingsmodellen med AHP bör kunna användas med framgång även i andra saneringsprojekt, och det vore fördelaktigt att pröva modellen i ett antal olika fall för att jämföra både processen och resultat.

Saneringsprojekt kan klassificeras inom tre s.k. huvudspår:

- Bidragsspåret: saneringsprojekt som kommer till stånd på initiativ av t.ex. en kommun, och som genomförs med bidrag från Naturvårdsverket via en länsstyrelse.
- Tillsynsspåret: saneringsprojekt som kommer till stånd som resultat av tillsyn och oftast efter föreläggande från kommun eller länsstyrelse.
- Exploateringsspåret: saneringsprojekt som kommer till stånd vid exploatering av ett område på initiativ av kommunen, markägaren eller annan exploatör.

Det nuvarande verktyget var utvecklat och testat med tanke på ”bidragsspåret”. Det kan behövas vissa modifikationer i själva den analytiska (mål-)hierarkin för att anpassa modellen till de andra två huvudspåren, d v s tillsynsprojekt och exploateringsprojekt.

6 Referenser

Expert Choice, Mjukvara för AHP. Tillgänglig från: Expert Choice, 1501 Lee Highway, Suite 302, Arlington , VA 22209, U.S.A. Tel: 001-703-243-5595
Webbsida: <http://www.expertchoice.com/> Email: info@expertchoice.com

Ritchey, T. (1991) *Analysis and Synthesis - On Scientific Method based on a Study by Bernhard Riemann*. Syst Res **8**(4):21-41. (Revised 1996) [Online]. Available from the World Wide Web: www.swemorph.com/pdf/anaeng-r.pdf.

Saaty, T. (1980) *The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York. ISBN 0-07-054371-2

SGI (2007). Huvudstudie fd sågverk i Väckelsång: *miljöteknisk markundersökning*. (2007-01-31).

7 Bilaga 1

7.1 Värdering av de tre saneringsalternativen

7.1.1 Ekologiska: riskreducering/påverkan

Ideal mode	PAIRWISE	PAIRWISE	PAIRWISE	PAIRWISE	PAIRWISE	PAIRWISE
Alternative	Ekologiskt: Riskreducering/påv Risker på lång sikt Minimera miljörisk efter åtgärd on site	Ekologiskt: Riskreducering/påv Risker på lång sikt Minimera miljörisk efter åtgärd off site	Ekologiskt: Riskreducering/påv Risker på lång sikt Minimera humanrisk efter åtgärd off site	Ekologiskt: Riskreducering/påv Risker på lång sikt Minimera humanrisk on site efter åtgärd	Ekologiskt: Riskreducering/påv Risker på lång sikt Minimera andra risker efter åtgärd	Ekologiskt: Riskreducering/påv Risker som uppkommer under åtg Minimera risker i arbetsmiljön
✓ Nollalternativet	,111	1,000	,131	,121	1,000	1,000
✓ Sanering doppkar	,258	1,000	,956	,920	1,000	,354
✓ Totalsanering	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	,188

Alternative	Ekologiskt: Riskreducering/påv Risker som uppkommer under åtg Minimera miljöpåverkan	Ekologiskt: Riskreducering/påv Risker som uppkommer under åtg Minimera påverkan på hälsan	Ekologiskt: Riskreducering/påv Resurshushållning regionalt/gl Minimera energianvändning	Ekologiskt: Riskreducering/påv Resurshushållning regionalt/gl Minimera materialförbrukning
✓ Nollalternativet	1,000	1,000	1,000	1,000
✓ Sanering doppkar	,281	,405	,261	,382
✓ Totalsanering	,079	,164	,085	,146

Här ser vi att Nollalternativet alltid är bäst när det gäller att minimera risker som uppstår på grund av själva saneringsprocessen samt resursutnyttjande.

7.1.2 Ekonomiska: Kostnader/intäkter

Alternative	Ekonomiskt: Kostnader/intäkter Minimerade investeringskostnader (L: ,793)	Ekonomiskt: Kostnader/intäkter Minimerade underhållskostnader efter sanering (L: ,131)	Ekonomiskt: Kostnader/intäkter Maximerade intäkter (L: ,076)
✓ Nollalternativet	1,000	1,000	1,000
✓ Sanering doppkar	,630	,500	1,000
✓ Totalsanering	,088	1,000	,333

Nollalternativet är bäst när det gäller att minimera investeringskostnader, men Totalsanering är lika bra när det gäller att minimera underhållskostnader och Sanering doppkar är lika bra när det gäller att maximera intäkter.

7.1.3 Sociala/kulturella faktorer

Alternative	Socialt/kulturellt Samhällsnytta Maximera områdets värde, planer och intentioner (L: .438)	Socialt/kulturellt Samhällsnytta Minimera restriktioner under åtgärd (L: .438)	Socialt/kulturellt Samhällsnytta Bevarad kulturmiljö på lång sikt (L: .063)	Socialt/kulturellt Samhällsnytta Bibehållen infrastruktur på lång sikt (L: .063)	Socialt/kulturellt Uppfyllelse av politiska mål (Uppfyllelse av miljömål (L: .696)	Socialt/kulturellt Uppfyllelse av politiska mål (Maximerad sysselsättning (L: .075)
✓Nollalternativet	.218	1,000	1,000	1,000	.111	1,000
✓Sanering doppkar	.382	.500	1,000	1,000	.430	1,000
✓Totalsanering	1,000	.500	1,000	1,000	1,000	1,000

Alternative	Socialt/kulturellt Uppfyllelse av politiska mål (Gynna teknikutveckling och kunskapsutbyggnad (L: .229)	Socialt/kulturellt Acceptans Juridisk genomförbarhet av åtgärden (L: .072)	Socialt/kulturellt Acceptans Lokal acceptans för genomförande (L: .279)	Socialt/kulturellt Acceptans Lokal acceptans för slutresultat (L: .649)	Socialt/kulturellt Minimera riskmässigt ansvar (L Minimera risk för huvudman åtgärder (L: .500)	Socialt/kulturellt Minimera riskmässigt ansvar (L Minimera risk för problembärgare (L: .500)
✓Nollalternativet	.333	.333	.250	.200	1,000	.119
✓Sanering doppkar	1,000	1,000	1,000	1,000	.550	.299
✓Totalsanering	1,000	1,000	.500	1,000	.303	1,000

Med undantag av Minimera risk för huvudman, är Sanering doppkar och Totalsanering alltid bättre eller lika bra som Nollalternativet.

7.2 Värderingen av den analytiska hierarkin

7.2.1 Ekologisk: Risker på långsikt

Minimera miljörisk efter åtgärd on site
Minimera miljörisk efter åtgärd off site
Minimera humanrisk efter åtgärd off site
Minimera humanrisk on site efter åtgärd
Minimera andra risker efter åtgärd

Att minimera humanrisk bedömdes vara det viktigaste kriteriet när det gäller långsiktiga ekologiska risker.

7.2.2 Ekologisk: Risker som uppkommer på under åtgärdsstid

Minimera risker i arbetsmiljön
Minimera miljöpåverkan
Minimera påverkan på hälsan

Likaså bedömdes Minimera påverkan på hälsa vara det klart viktigaste kriteriet när det gäller risker under själva åtgärdsprocessen.

7.2.3 Ekologisk: Resurshushållning

Minimera energianvändning
Minimera materialförbrukning

Att minimera materialförbrukningen bedömdes viktigare än att minimera energiförbrukning när det gäller resurshushållning.

7.2.4 Socialt/Kulturellt: Samhällsnytta

Maximera området värde, planer och intentioner

Mimimera restriktioner under åtgärd

Bevarad kulturmiljö på lång sikt

Bibehållen infrastruktur på lång sikt

Områdets sociala/kulturella värde och att minimera restriktioner bedömdes viktigast.

7.2.5 Socialt/Kulturellt: Uppfyllelse av politiska mål

Uppfyllelse av miljömål

Maximerad sysselsättning

Gynna teknikutveckling och kunskapsuppbyggnad

Uppfyllelse av miljömål bedömdes klart viktigast.

7.2.6 Socialt/Kulturellt: Acceptans

Juridisk genomförbarhet av åtgärden

Lokal acceptans för genomförande

Lokal acceptans för slutresultat

Lokalacceptans för slutresultat ansågs vara viktigast.

7.2.7 Socialt/Kulturellt: Minimera riskmässiga ansvar

Minimera risk för huvudman åtgärder

Minimera risk för problemägare

Värderingsgruppen kunde inte skilja på huvudman och problemägare när det gäller detta specifika projekt.

7.2.8 Ekologiska faktorer

Risker på lång sikt

Risker som uppkommer under åtgärdsperiod

Resurshushållning regionalt/globalt

När det gäller Ekologiska faktorer bedömdes Risker på långsikt vara det klart viktigaste kriteriet att uppfylla.

7.2.9 Ekonomiska faktorer

Minimerade investeringskostnader

Minimerade underhållskostnader efter sanering

Maximerade intäkter

När det gäller Ekonomiska kriterier ansågs det klart viktigast att minimera investeringskostnaderna.

7.2.10 Sociala/Kulturella faktorer

Samhällsnytta

Uppfyllelse av politiska mål

Acceptans

Minimera riskmässigt ansvar

Av de Sociala/Kulturella kriterier bedömdes Acceptans vara viktigast.

Riskvärdering med Analytical Hierarchy Process

RAPPORT 5890

NATURVÅRDSVERKET
ISBN 978-91-620-5890-6
ISSN 0282-7298

Utveckling och utprovning av
ett nytt datorbaserat verktyg

Rapporten beskriver utveckling och test av ett beslutsstödsverktyg för riskvärdering av förorenade områden. Verktöget baseras på Analytical Hierarchy Process som är en typ av multikriterieanalys. Dessa metoder används för att systematiskt jämföra och värdera olika alternativa lösningar eller åtgärder när det finns många olika målkriterier att ta hänsyn till. Kriterierna kan vara både kvantitativa och kvalitativa. Resultatet av projektet är ett datorbaserat verktyg som kan användas för att lättare – och på ett mer strukturerat, konsekvent och spårbart sätt – göra riskvärderingar i framtiden.

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.

