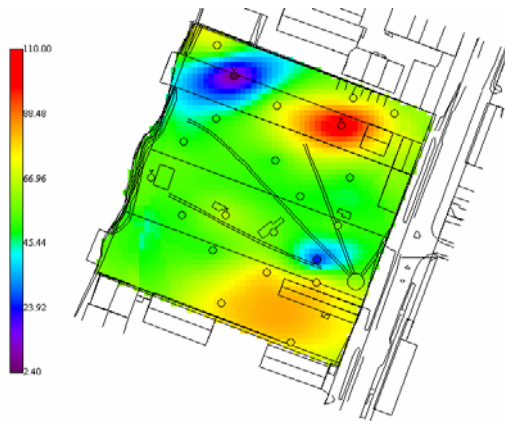


# Cost-Benefit Analysis for Comparing Remedial Actions at Contaminated Sites



Lars Rosén

FRIST, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden  
SWECO Environment, Göteborg, Sweden

# The problem in Sweden

- 80 000 potentially contaminated sites (2008).
- The 1500 most contaminated sites is expected to cost 60 billion SEK (€7 billion) to remediate.
- **Can we afford it?**  
Prioritisation between actions and sites needed.
- **How much should we remediate?** Ensure acceptable risk levels for humans and the environment and a sound use of available resources



# Projects in the Sustainable Remediation Programme (Swedish EPA)

## • Participants:

- FRIST, Chalmers: Lars Rosén, Pär-Erik Back
- Enveco Miljöekonomi: Tore Söderqvist, Åsa Soutukorva
- SWECO VIAK: Lars Grahn, Patrik Brodd

## • Three projects:

- 2004-2005: Valuation of risks in selection of remedial strategies
- 2005-2007: Cost-benefit analysis (CBA) as a tool for prioritising remedial actions
- 2007-2008: Multi-criteria analysis (CBA) for sustainable remediation (*In prep*).

Riskvärdering vid val av åtgärdsstrategi



NV Report 5537

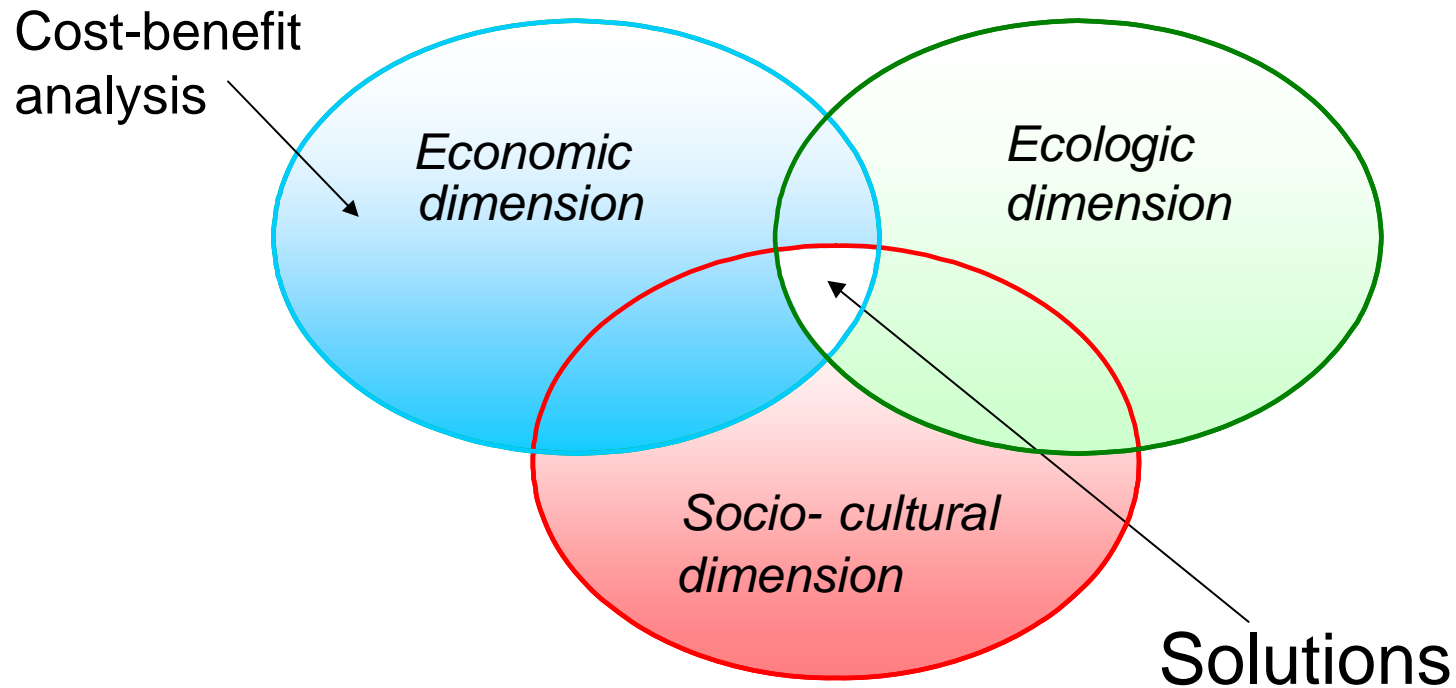
Kostnads-nyttoanalys som verktyg för prioritering av efterbehandlingsinsatser

Metodutveckling och exempel på tillämpning



NV Report 5836

# Sustainable development



*” Development that ensures that the use of resources and the environment today does not restrict their use by future generations.”*

*After Söderqvist et al (2004) and Brundtland Commission (1987)*

# Economic valuation of environmental and health issues is described and/or recommended by e.g.:

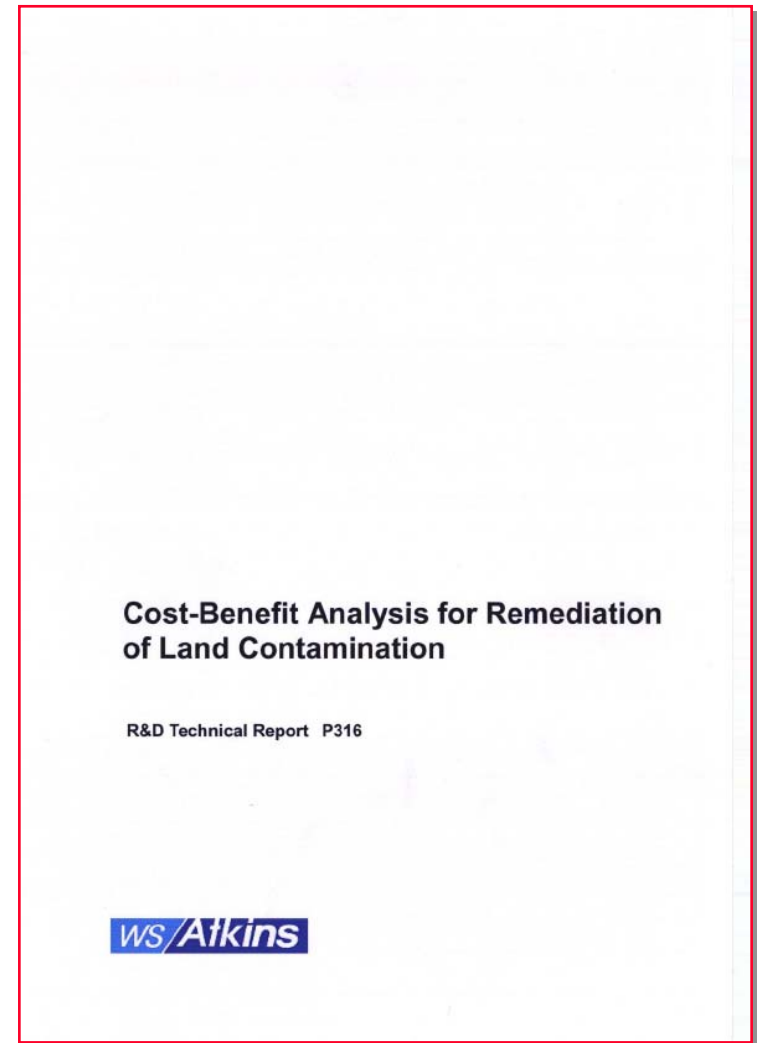
- **US EPA**: Guidelines for preparing economic analysis
- **NRC (USA)**: Valuing of groundwater
- **EU Maastricht Treaty**, Article 174 ("the potential benefits and costs of action or lack of action")
- **UK Treasury** 'Green Book' (recommends explicit valuation of costs and benefits)
- **UK Environment Agency**: Cost-benefit analysis for remediation of contaminated land (see Postle et al, 1999).
- **Swedish EPA** (1997; 2002)

# CBA model – part of a Multi-criteria analysis (MCA) for identifying sustainable remediation

- Step 1: Define remediation alternatives
  - Step 2: Evaluate the ecological and socio-cultural dimensions:
    - Assign scores to performance criteria
    - Set up performance matrix
  - **Step 3: Perform Cost-Benefit Analysis (CBA)**
  - Step 4: Identify sustainable remediation alternatives
  - Step 5: Calculate sustainability index
  - Step 6: Rank alternatives → Best  
2nd best  
3rd best  
...
- Modify alternatives
-

Partly based on Postle  
et al (1999).

UK Environment  
Agency R&D Technical  
Report P316.



# What is cost-benefit analysis?

- Performed on the societal level.
- **Purpose:** to estimate changes in public welfare.
- **Basic criterion:** Is the sum of all benefits for all companies and individuals larger than the sum of all costs for all companies and individuals?
- Analysis of distributional effects necessary.



# Mathematical description

Target function: 
$$\Phi_i = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} \{B_{it} - C_{it}\}$$

$B_i$  = benefits of alternative  $i$

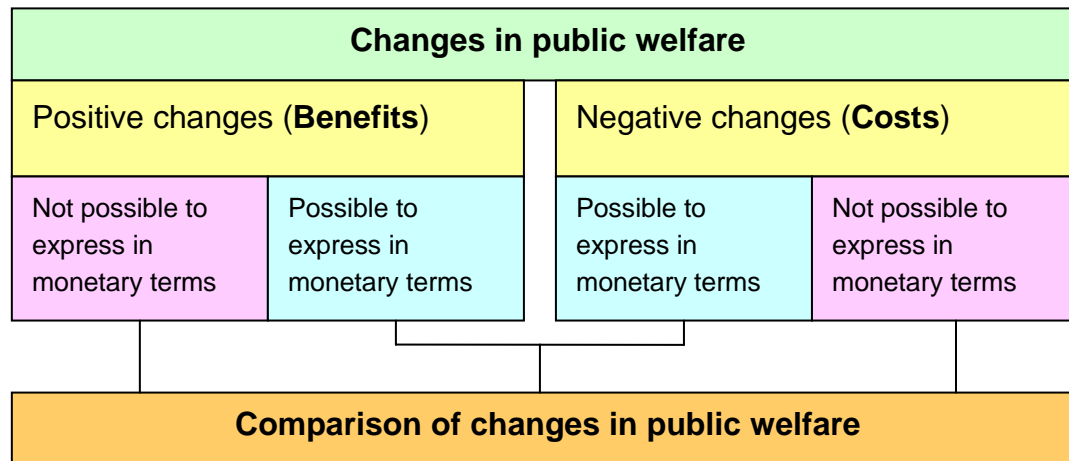
$C_i$  = costs of alternative  $i$

$T$  = time horizon

$r$  = discount rate



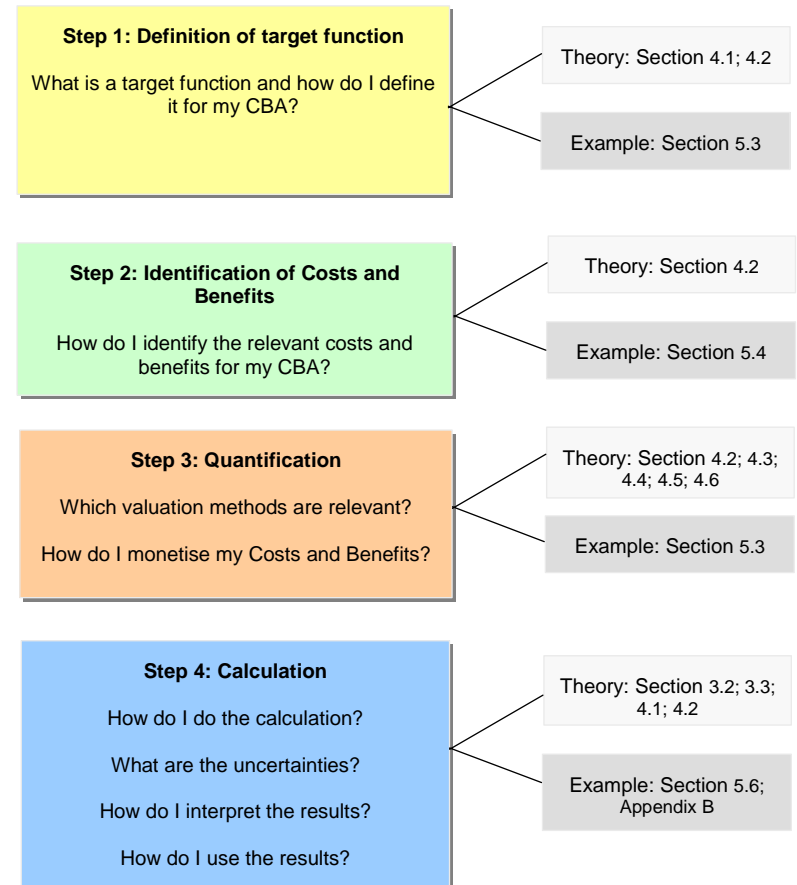
# How to express changes in public welfare?



- The positive and negative changes are expressed as far as possible in quantitative monetary terms.
- Some changes, especially those related to the environmental impacts on society, may be difficult to monetise.
- It is important that all changes are expressed at least in qualitative terms and included in the CBA.

# A four-step procedure

- **Step 1:** Definition of the basic CBA model and its target function.
- **Step 2:** Identification of the specific costs and benefits, evaluation of the importance of each factor, and valuation in qualitative terms (+/-).
- **Step 3:** Quantification of each cost and benefit, starting with the factors assessed to be the most important in the precedent step. If monetary values are inaccessible within reasonable effort, the qualitative valuation from *Step 2* is maintained.
- **Step 4:** Summation of all costs and benefits over specified time horizon and interpretation of whether the total effect on public welfare is positive or negative.
  - Uncertainty analysis
  - Distributional analysis.



# Costs of a remediation project

*Costs included in the proposed model are:*

C1. Contract costs.

C2. The negative effects on human health from remedial actions.

C3. The negative effects on ecosystem products and services

*Examples on changes in risks:*

Economic project risks (e.g. delays).

Increased health risks on and off site.

Increased environmental risks on and off site.

# Benefits of a remediation project

**Warning – risks of double accounting!!**

*Benefits included in the proposed model are :*

- B1. Increased land value.
- B2. Net effects on market goods and services associated with the site.
- B3. Net effects on health and ecosystem goods and services.

*Examples on changes in risks:*

- Decreased health risks on and off site.
- Decreased environmental risks on and off site.

# The generic CBA model

Benefits

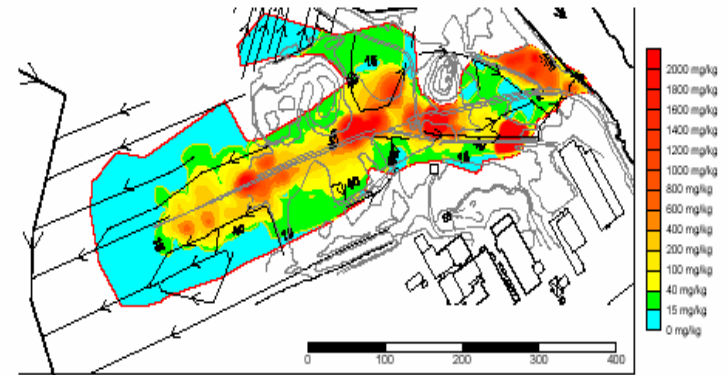
Costs

Step 1: Definition av målfunktion: Utgå från nedanstående matris för att identifiera de kostnader och nyttor som generellt kan ingå i en KNA för efterbehandlingsprojekt.

Nyttor <sup>a</sup>	Kostnader <sup>b</sup>
<p><b>B1. Ökat markvärde</b></p> <p>B1a. Ökat markvärde på fastigheten på vilken efterbehandling sker.</p> <p>B1b. Ökat markvärde på fastigheter i omgivningen till följd av minskade externa effekter.</p> <p><b>B2. Nettoeffekten på marknadsprissatta varor och tjänster</b></p> <p>B2a. Efterbehandlingen ger möjlighet till verksamhet vars varu- eller tjänsteproduktion ger högre vinster än tidigare, t.ex. på grund av:</p> <p>B2aa. Varan eller tjänsten kan produceras till en lägre kostnad/med högre kvalitet/med högre avkastning än förut.</p> <p>B2ab. Färre restriktioner för verksamheten har undvikits.</p> <p>B2ac. Ökat förtroende för verksamheten.</p> <p>B2ad. Minskat juridiskt ansvar.</p> <p>B2ae. Bättre arbetsmiljö för anställda inom området.</p> <p><b>B3. Nettoeffekten på icke marknads-prissatta varor och tjänster</b></p> <p>B3a. Minskade hälsorisker.</p> <p>B3aa. Minskade akuta hälsorisker.</p> <p>B3ab. Minskade icke-akuta hälsorisker.</p> <p>B3b. Ökad tillgång på ekosystemvaror och -tjänster.</p> <p>B3ba. Ökade rekreationsmöjligheter inom det efterbehandlade området.</p> <p>B3bb. Ökade rekreationsmöjligheter i omgivningen.</p> <p>B3bc. Ökad tillgång på övriga ekosystemvaror och -tjänster.</p>	<p><b>C1. Åtgärdskostnader</b></p> <p>C1a. Kostnader för undersökning och utformning av åtgärder.</p> <p>C1b. Kostnader för upphandling av entreprenader.</p> <p>C1c. Kapitalkostnader i form av utebliven avkastning på kapital som låses till åtgärden.</p> <p>C1d. Kostnader för att genomföra åtgärder, inklusive eventuell transport och deponering av förorenade massor (minus ev. intäkter från försäljning av metaller och massor).</p> <p>C1e. Kostnader för upprättande och genomförande av kontrollprogram med exempelvis provtagningar, analyser och databearbetning.</p> <p>C1f. Projektrisker, exempelvis fördröjning av efterbehandlingen och arbetsskador till följd av efterbehandlingen.</p> <p><b>C2. Åtgärdernas negativa effekter på hälsa</b></p> <p>C2a. Ökade hälsorisker till följd av själva åtgärderna på det efterbehandlade området.</p> <p>C2b. Ökade hälsorisker till följd av de transporter till och från området som själva åtgärderna leder till (t.ex. transporter av förorenade massor).</p> <p>C3c. Ökade hälsorisker vid platsen för eventuell deponering av förorenade massor.</p> <p><b>C3. Åtgärdernas negativa effekter på ekosystemvaror och -tjänster</b></p> <p>C3a. Minskad tillgång på ekosystemvaror och -tjänster till följd av själva åtgärdernas påverkan på miljön i det efterbehandlade området.</p> <p>C3b. Minskad tillgång på ekosystemvaror och -tjänster till följd av själva åtgärdernas påverkan på miljön utanför det efterbehandlade området, t.ex. miljöeffekter av transporter av förorenade massor från området.</p> <p>C3c. Minskad tillgång på ekosystemvaror och -tjänster till följd av miljöeffekter vid platsen för eventuell deponering av förorenade massor.</p>
<p><sup>a</sup> Observera att dubbelräkningar måste undvikas vid en summering av de olika nyttoposterna.</p>	<p><sup>b</sup> Observera att dubbelräkningar måste undvikas vid en summering av de olika kostnadsposterna.</p>

# Two examples

- **Case 1: Wood preservation facility, north Sweden**
  - Located near the central section a small town in northern Sweden
  - Severe arsenic contamination in soil
  - Also lead, copper and chromium contamination
  - Expected to be a locally important recreational area
- **Case 2: Former industrial area, Stockholm:**
  - Adjacent to a lake and residential areas
  - PAH, aliphates, BTEX, phenols, copper, free-phase creosote
  - Contamination in soil, groundwater (also in fractured rock and lake sediments)
  - Potential future residential, business and recreational area



# Results Case 1 (wood preservation site)

Monetised benefits (B), MSEK		Monetised costs (C), MSEK	
B1a	1,8	C1	55,1
B3aa	0,03	C2a	0,10
B3ab	0,01	C3b	0,15
<i>Total</i>	<i>1,84</i>	<i>Total</i>	<i>55,35</i>
<b>Net benefit (B-C): 1,84-55,35 = -54 M SEK</b>			
Not monetised benefits (B)		Not monetised costs (C)	
B3ba	>0	C2b	>0
B3bb	>0		

## Interpretation:

- Monetised costs 31 times higher than the monetised benefits.
- Most benefits due to increased land value.
- Very limited benefits due to decreased risks for humans.
- Benefits from increased ecosystem goods and services (e.g. recreation) not expected to compensate for the large discrepancy between monetised benefits and costs.

# Results Case 2 (industrial site, Stockholm)

Monetised benefits (B), MSEK		Monetised costs (C), MSEK	
B1a	120	C1	126
B3ab	0,002	C3a	7,8
		C3b	0,07
<i>Total</i>	<i>120,002</i>	<i>Total</i>	<i>133,87</i>
<b>Net benefit (B-C): 120,002-133,87 ≈ -14 M SEK</b>			
Not monetised benefits (B)		Not monetised costs (C)	
B3ba	>0	C2b	>0
B3bb	>0		
B3bc	>0		

## Interpretation:

- Monetised costs 12 % higher than the monetised benefits, given future residential land use.
- Most benefits due to increased land value.
- Very limited benefits due to decreased risks for human health.
- Benefits from increased ecosystem goods and services (e.g. recreation) may make the total outcome positive.

# Conclusions case studies

- The value of the health risk reductions were remarkably small (in both case studies), and insignificant in a public welfare perspective.
- The potential property value was the most important factor in a public welfare perspective.
- Analysis of distributional effects showed that the property owners were the main beneficiaries, while the tax payers paid the costs.
- Sensitivity analysis showed, in both cases, that changes in time horizons and interest rates had insignificant effects on the total outcome of the analysis.



# Key performance criteria in MCA

Table 1. Suggested key performance criteria for the ecological and the socio-cultural dimensions of sustainability.

<b>Ecological dimension</b>	<b>Socio-cultural dimension</b>
Land environment	Equity and acceptance
Groundwater	Health, concerning contamination at the site
Surface water	Health, concerning remedial actions
Air	Cultural environment
Sediment	Recreation
Consumption of natural resources	Landuse in the surroundings
	Landuse at the site



# Example of MCA methods

- Multi-attribute utility methods
- Linear additive methods
- Analytical hierarchy process, AHP
- Outranking
- Non-compensatory methods

# Assigning scores to performance criteria

- Probable negative effect = -2
- Possible negative effect = -1
- Negligible or nonexistent effect = 0
- Possible positive effect = 1
- Probable positive effect = 2

Supporting information provided for each performance criterion regarding what to consider when scores are assigned.

Nyckelkriterium E1: MARK (LAND OCH MARKMILJÖ)

Trolig negativ effekt -2	Möjlig negativ effekt: -1	Ingen effekt: 0	Möjlig positiv effekt: +1	Trolig positiv effekt: +2
<p>Troligen försämras funktion och förutsättningar för livskraftiga ekosystem i området</p> <p><u>Exempel</u> Markens kemiska och fysiska egenskaper försämras med negativ effekt för den ekologiska funktionen</p> <p><u>eller</u> Biotop/habitat förändras så att djur och växter inte längre kan leva där</p> <p><u>eller</u> Landskapets ekologiska funktion försämras (t ex pga att barriärer hindrar djurs rörelsefrihet eller att sammanhängande stråk av en viss biotop avbryts)</p> <p><u>eller</u> Biologisk mångfald minskar</p>	<p>Möjligen försämras funktion och förutsättningar för livskraftiga ekosystem i området</p> <p><u>Exempel</u> Markens kemiska och fysiska egenskaper riskerar att försämras</p> <p><u>eller</u> Biotop/habitat kan förändras så att djur och växter får sämre möjlighet att leva där</p> <p><u>eller</u> Landskapets ekologiska funktion riskerar att bli sämre</p> <p><u>eller</u> Biologisk mångfald riskerar att minska</p>	<p>Försumbar påverkan sker på land och mark som påverkar ekosystem, livsbingelger, flora eller fauna, markens kemiska eller fysiska egenskaper, landskapets form och funktion eller övrigt</p>	<p>Möjligen förbättras funktion och förutsättningar för livskraftiga ekosystem i området</p> <p><u>Exempel</u> Markens kemiska och fysiska egenskaper kan bli bättre</p> <p><u>eller</u> Biotop/habitat kan förändras så att djur och växter får bättre möjlighet att leva där</p> <p><u>eller</u> Landskapets ekologiska funktion kan bli bättre</p> <p><u>eller</u> Biologisk mångfald kan öka</p> <p><u>Observera</u> Ingen negativ effekt får uppstå samtidigt</p>	<p>Troligen förbättras funktion och förutsättningar för livskraftiga ekosystem i området</p> <p><u>Exempel</u> Markens kemiska och fysiska egenskaper förbättras med positiva följder för den ekologiska funktionen</p> <p><u>eller</u> Biotop/habitat förändras så att djur och växter får bättre möjlighet att leva där</p> <p><u>eller</u> Landskapets ekologiska funktion förbättras (t ex pga att hindrande barriärer försvinner eller att biotopstråk länkas samman)</p> <p><u>eller</u> Biologisk mångfald ökar</p> <p><u>Observera</u> Ingen negativ effekt får uppstå samtidigt</p>
<p><b>Nyckelfrågor :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hur påverkas ekosystemen i området av efterbehandlingen?</li> <li>- Har området ett identifierat naturvärde?</li> <li>- Vilka djur och växter finns och kan påverkas? Har en biologisk inventering gjorts? Har känsliga (t ex rödlistade) arter identifierats på platsen. Är biotopen känslig för påverkan? Ovanlig?</li> </ul>			<p><b>Huvudsakliga miljömål som påverkas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Giftfri miljö</li> <li>- Ett rikt växt- och djurliv</li> </ul>	
<p><b>Informationskällor:</b></p> <p>Länsstyrelsens, Skogsstyrelsens och kommunens naturvärdesinventeringar och databaser Kommunala planer (t ex naturvårdsområden i översiktsplan) Eventuell miljökonsekvensbeskrivning eller annan utredning tillhörande efterbehandlingen/det förorenade området Riskbedömning och Åtgärdsutredning.</p>				

# Strong and weak sustainability

- **Strong sustainability**

- No form of capital (environmental capital, human capital, man-made capital) is reduced over time.
- A reduction in one form of capital cannot be compensated by an increase in a different form of capital.

- **Weak sustainability**

- The sum of all forms of capital does not decrease over time.
- Compensation between different forms of capital can take place.

# Sustainability in the Ecological dimension

**Strong sustainability:**

All scores  $\geq 0$

**Performance criteria for the Ecological dimension**

Land environment

Groundwater

Surface water

Air

Sediment

Consumption of natural resources

**Weak sustainability:**

Negative scores compensated by positive scores

# Sustainability index

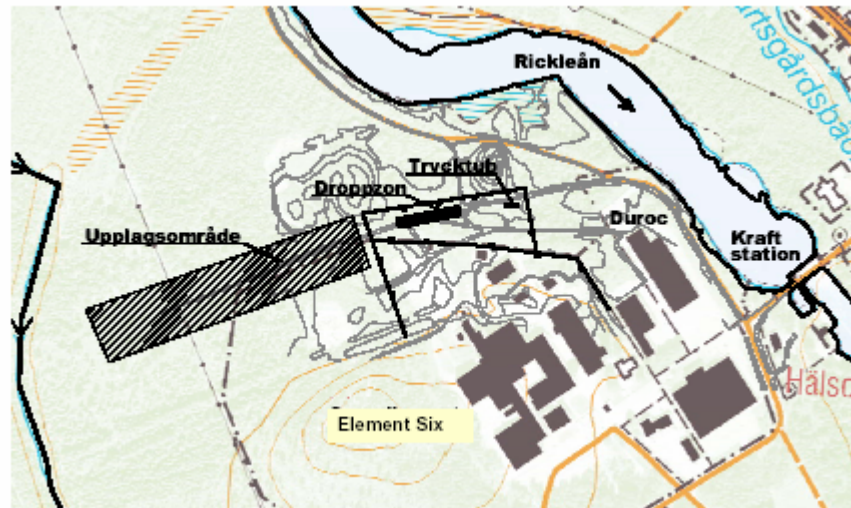
- Ecological dimension:  $H_{E,i} = \sum_{e=1}^E (K_{e,i})$
- Socio-cultural dimension:  $H_{S,i} = \sum_{s=1}^S (K_{s,i})$
- Economic dimension:  $H_{\Phi,i} = \Phi_i$  (net benefit)

## Sustainability index for alternative $i$ :

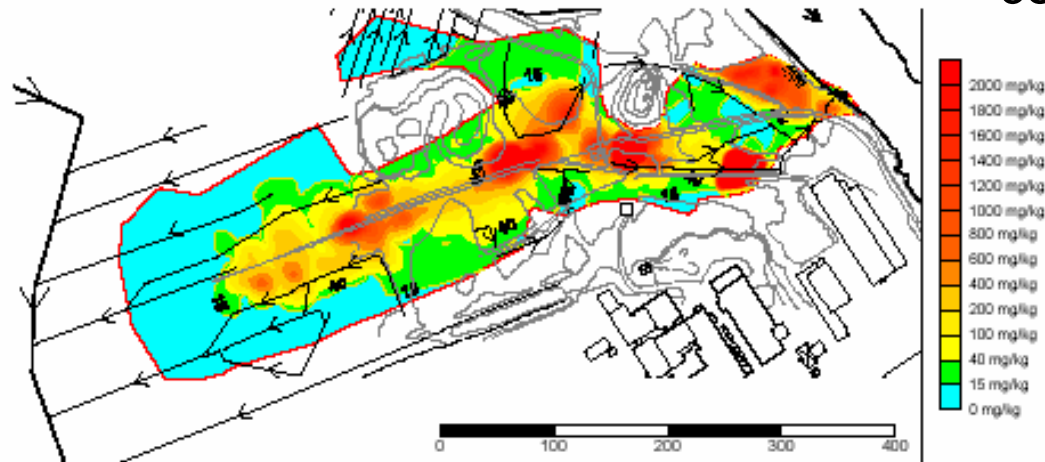
$$H_i = \frac{H_{E,i} - \text{Min}(H_{E,1..N})}{\text{Max}(H_{E,1..N}) - \text{Min}(H_{E,1..N})} + \frac{H_{S,i} - \text{Min}(H_{S,1..N})}{\text{Max}(H_{S,1..N}) - \text{Min}(H_{S,1..N})} + \frac{\Phi_i - \text{Min}(\Phi_{1..N})}{\text{Max}(\Phi_{1..N}) - \text{Min}(\Phi_{1..N})}$$

$$0 \leq H_i \leq 3$$

# Example: Old wood treatment plant



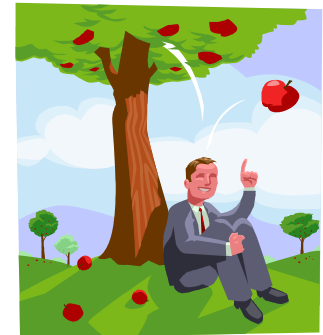
Arsenic  
contaminated soil



	Alt. 0	Alt. 1	Alt 2.	Alt. 3
Ecological dimension, $H_E$	-5	2	5	3
Socio-cultural dim, $H_S$	-7	9	6	2
Economic dimension, $H_\phi$	0	-54	-1	-1
Sustainability index	1.00	1.70	<b>2.79</b>	2.34
Strong sustainability	No	No	No	No

# Conclusions CBA method

- CBA is an important part of a sustainability evaluation of remediation projects.
- CBA provides:
  - Structure
  - Transparency
  - Helps to identify and put focus on factors that may otherwise be ignored.
- The data demand for a complete CBA is extensive - a complete CBA is only reasonable in large projects.
- However, the structure and at least qualitative estimations should be a part of all remediation projects



This work was funded by the Swedish  
EPA through the knowledge program  
Hållbar Sanering (Sustainable  
Remediation)

