



## **Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten**

### **Användarhandledning**

2012-05-25

# Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten

## Användarhandledning

<b>1. Bakgrund och syfte</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Arbetsprocessen</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Avgränsningar</b> .....	<b>5</b>
<b>4. Allmänna riktlinjer för användning av verktyget</b> .....	<b>6</b>
<b>5. Beskrivning av verktyget</b> .....	<b>7</b>
5.1. Inledning .....	7
5.2. Projektinformation .....	8
5.3. Projektering.....	9
5.4. Omhändertagande av massor.....	11
5.5. Behandling .....	13
5.6. Återställning .....	14
5.7. Uppföljning.....	17
5.8. Sammanfattningssidan .....	17
5.9. Faktorer .....	18
<b>6. Dokumentation och begränsningar</b> .....	<b>19</b>
<b>7. Förkortningar</b> .....	<b>20</b>
<b>8. Referenser</b> .....	<b>20</b>
<b>Bilaga 1 – Systemgränser – utgångspunkter för avgränsning av CO<sub>2</sub>-påverkan</b> _	<b>21</b>
<b>Bilaga 2 – Underliggande beräkningsrutiner</b> _____	<b>23</b>
<b>Bilaga 3 – Kvalitetsaspekter</b> _____	<b>30</b>

# 1. Bakgrund och syfte

Mänskliga aktiviteter och naturliga processer leder till utsläpp av växthusgaser (VHG) som påverkar jordens klimat och därmed livsbetingelser för människor, djur och växter. Under de senaste åren har alltmer fokus legat på att kvantifiera, minimera och kompensera för de utsläpp som orsakas av mänsklig påverkan. Idag deklarerar många företag sina utsläpp och väljer produktions- och transportmetoder för att minska utsläppen av växthusgaser. Konsumenter kan i en allt ökad utsträckning välja varor utifrån deras miljöpåverkan, bland annat med avseende på dess ”Carbon Footprint” (klimatavtryck).

Energiåtgången och utsläpp av växthusgaser som CO<sub>2</sub> och metan kan vara betydande vid genomförandet av efterbehandling av förorenade områden och vid andra markarbeten. Åtgärderna kan vara av olika art, till exempel schakt och deponering eller övervakad naturlig nedbrytning (figur 1). Energiåtgång och utsläpp av växthusgaser varierar bl.a. med val av teknik, volym förorenad jord, behov av transporter och återfyllning. Utsläppen kan fortgå under olika tidsperioder, till exempel relativt små utsläpp under flera år vid naturlig nedbrytning av organiska ämnen eller mer eller mindre momentant vid förbränning. Klimatpåverkan genom utsläpp av växthusgaser kan vara en viktig aspekt inför beslut om val av efterbehandlingsåtgärd av ett förorenat område. Det finns dock många andra parametrar som man också behöver ta hänsyn till.



Figur 1. Olika möjliga moment i en efterbehandling.

Detta SGF-projekt har genomförts i syfte att ta fram ett lättanvänt, branschgemensamt verktyg för beräkning av utsläpp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter vid efterbehandling av förorenad mark och andra markarbeten. Verktöget har benämnts Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten och beräknar emissioner för olika processteg (moment) som kan ingå i en efterbehandling samt de steg som ingår vid andra markarbeten. Verktöget är främst avsett för att beräkna hur emissionerna av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter skiljer mellan olika åtgärdsalternativ eller -metoder. Ledord i arbetet med framtagandet av verktöget har varit: lättanvänt, ”neutralt”, kombinera olika moment, förenklad livscykelanalys (LCA).

Den första versionen av verktöget (Excel) togs fram av en arbetsgrupp bestående av personer från WSP, NCC, Sakab och MB-Envirotek. Projektledare har varit Björn-Olof Gustafsson, WSP Environmental, och övriga deltagare i projektgruppen har varit John Sternbeck, Sofia Frankki, Linda Johnsson och Ola Larsson WSP Environmental, Susanne Svegerud NCC, Klas Arnerdal MB Envirotek (numera SGU), Thomas von Kronhelm, Sakab och Mia Jameson, Sakab (numera Wickberg Miljökonsult). Arbetet utfördes huvudsakligen under 2009 och 2010 finansierades av SBUF, Naturvårdsverket, SGF, WSP, NCC, SAKAB, MB Envirotek (idag RGS90) och NCC.

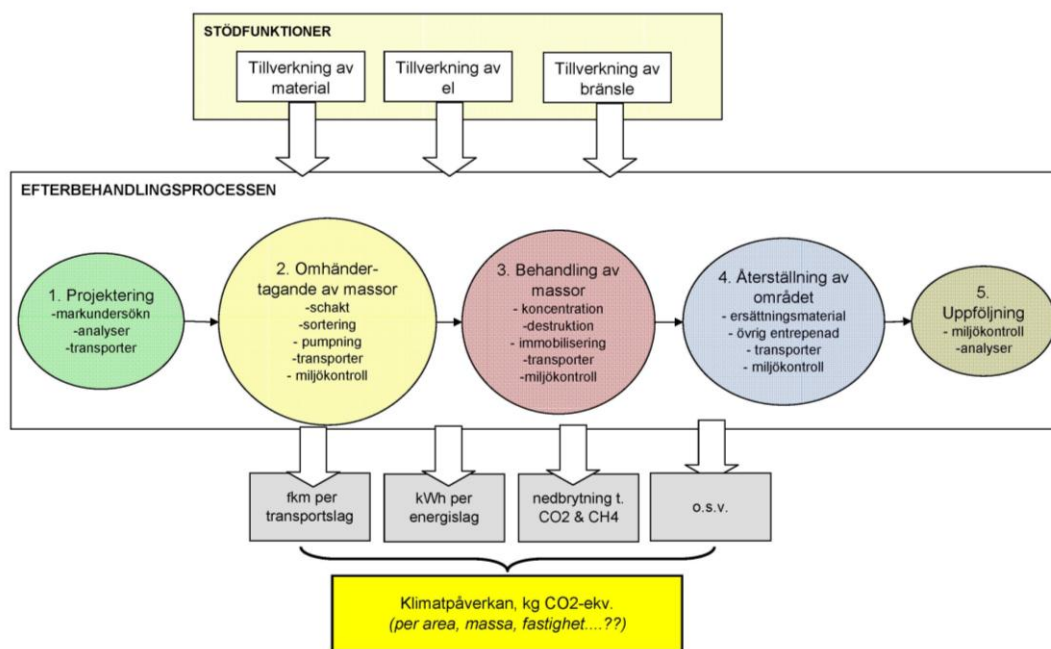
Under 2011 och 2012 har verktöget vidareutvecklats med kvalitetssäkring av data, breddning av användningsområdet och överföring till en webblösning ([www.sgfmark.se](http://www.sgfmark.se)). Utvecklingsarbetet har utförts av Jan-Erik Lindström, Miljö & Teknik AB, Helena Fürst (Helena Fürst miljökonsult AB), Jonas Bermin, WSP Environmental samt IT-konsulten Meimi. En större referensgrupp har varit knuten till projektet och arbetet har finansierats av Bjerking, Dynapac, Ekotec, Faveo, Geosigma, Golder, Helena Fürst miljökonsult, Hifab, JM AB, JM Entreprenad, Kemakta, MCN, Miljö & Teknik, Naturvårdsverket, NCC Construction Sverige AB, Niras, RGS 90, Sandström Miljö & Säkerhetskonsult, Sakab, SBUF, SGF, SGU, Sita, Structor Miljöbyrå Stockholm, Svevia, Sweco, Tyréns, Vectura, Volvo CE, WSP Environmental.

## 2. Arbetsprocessen

Indelning av arbetsprocessens processen och ingående åtgärdsmetoder utgår från Helldén m.fl. 2006 där efterbehandlingsprocessen delas upp i fem steg:

1. Projektering
2. Omhändertagande av massor
3. Behandling
4. Återställande av området
5. Uppföljning.

Varje steg representeras i verktöget av en webbsida. Till efterbehandlingen tillkommer även stödfunktioner som tillverkning av material, el och bränsle. Dessa stödfunktioner är inkluderade genom de faktorer som används för uträkning av det totala CO<sub>2</sub>ekv-utsläppet för arbetet. Se även figur 2.



**Figur 2.** Efterbehandlingsprocessen (Helldén m.fl. 2006).

Verktøget innehåller en lista med fjorton olika åtgärdstekniker. Efter en inledande inventering framkom att dataunderlaget i flera fall var otillräckligt för att kvantifiera klimatpåverkan. Exempel på uppgifter som saknades var energiåtgång, typ av material, reningseffektivitet, tid, m.m. Verktøget omfattar i denna version (ver. 1.0) schablondata för sju tekniker (se vidare avsnitt 5.5.2).

Beräkningsverktøget kan kompletteras med egna värden där data saknas eller av olika skäl avviker från använda schablonvärden. Målsättningen är att i takt med ökad erfarenhet och dokumentation successivt komplettera indata för flera åtgärdstekniker.

### 3. Avgränsningar

Markarbetsprocessen omfattar många olika aktiviteter, varför fullständig kartläggning och kvantifiering av all klimatpåverkan som genereras blir ett mycket omfattande arbete. Det skulle också resultera i en detaljeringsgrad som gör ett verktyg svåränvändbart. Vi har därför delvis utgått från tidigare arbeten där livscykelanalys använts (Suèr et al. 2004) och sökt identifiera de processer och aktiviteter som har störst betydelse för klimatpåverkan. Detta angreppssätt har tidigare rekommenderats av EURODEMO (2006).

Vid beskrivning av en verksamhet, till exempel efterbehandling, måste systemets gränser definieras noggrant. Annars föreligger en stor risk att en jämförelse av två alternativ inte blir rättvisande. Systemgränser redovisas i bilaga 1.

## 4. Allmänna riktlinjer för användning av verktyget

Verktyget är i första hand tänkt att användas för jämförelse av emission av växthusgaser mellan olika efterbehandlingsalternativ. I riskvärderingen av olika alternativ ingår normalt jämförelser avseende t.ex. måluppfyllelse avseende miljö- och hälsorisker, naturresurser och övriga intressen som t.ex. resurs- och energianvändning och klimatpåverkan. Även tekniska och ekonomiska aspekter värderas. Utsläpp av växthusgaser kan vara en väsentlig del av klimatpåverkan och kan med detta verktyg hanteras systematiskt och kvantitativt.

För att kunna relatera utsläppsmängderna från en sanering av förorenad jord kan mängderna relateras till olika utsläpp. I tabellen nedan redovisas några exempel från stort till smått (tabell 1.)

**Tabell 1.** Några jämförelsevärden på utsläpp av  $CO_{2ekv}$ .

Källa	$CO_{2ekv}$ utsläpp
Landet Sverige totalt 2010.	66 miljoner ton
Sveriges miljömål minskning av utsläpp till år 2050 (genomsnitt/person och år)	Från dagens 7 ton/person och år till 4,5 ton/person och år
Flygresa till Thailand	3,3 ton/person
Uppvärmning av en genomsnittlig villa per år (elvärme)	1,5 ton/år
Schaktning av 100 m <sup>3</sup> jord	120 kg
10 km med stor bensinbil	1,2 – 1,8 kg

## 5. Beskrivning av verktyget

### 5.1. Inledning

Programmet består av en webbplats med ungefär tio webbsidor. De första används för datainmatning och följs av en sammanfattningssida. Sist finns sidor som innehåller data för de ingående faktorerna samt sidor för feedback, jämförelser och för att hantera olika behandlingsalternativ.

The screenshot displays the 'Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten' web application. It features a navigation bar with 'Användarmanual' and 'Kontakt'. The main interface is divided into several sections:

- Project Overview:** A progress bar showing stages: Start, Projektering, Omhändertagande av massor, Behandling av massor, Återställande av området, Uppföljning, and Sammanfattning.
- Projektering:** A section for project details, including 'Projekt: Saneringsexempel' and 'Kontorsarbete'.
- Transport av personal och utrustning:** A table listing transport activities with columns for 'Benämning', 'Alternativ', 'Vårde', 'Emissionsfaktor', and 'CO<sub>2</sub>eq'. The total CO<sub>2</sub>eq is 3 176,81 kg.
- Fördelning mellan processens olika moment:** A bar chart showing the distribution of CO<sub>2</sub>eq across different process stages.
- Sammanfattning av beräkning av totala växthusgasutsläpp (CO<sub>2</sub>ekv):** A detailed table of emissions, categorized by process stage (1-5), with a total of 138,14 ton CO<sub>2</sub>eq.
- Projektdata:** A form for entering project information such as 'Projektbarn', 'Län', 'Kommun', 'Fasighetsbeteckning', 'Delsområde', 'Börskning utförd av (namn)', 'Förskola/Organisation', 'Datum', 'Äggskattalternativ nr/handledning', 'Informations om objektet', 'Area (m<sup>2</sup>)', 'Volymjord (m<sup>3</sup>)', 'Medelstetthet (g/cm<sup>3</sup>)', and 'Massa (ton)'.
- Totala utsläpp av CO<sub>2</sub>ekv:** A summary table showing 'Totalt' (138,14 ton CO<sub>2</sub>eq) and 'per förordning' (9 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> per area).
- Fördelning mellan processstegen:** A pie chart showing the distribution of emissions across the five process stages.

Figur 3. Inmatnings- och sammanfattningssidor.

Inmatningssidorna används genom att använda knappar för de olika poster som ingår i processerna (figur 4). Knapparna öppnar ett inmatningsfönster där man kan välja fördefinierade inmatningsalternativ (figur 5). Detta beskrivs mer i detalj i avsnitten nedan.




Som förberedelse inför inmatningen av data för ett specifikt åtgärdsalternativ är det viktigt att man strukturerat går igenom alla ingående moment i varje process. Varje åtgärdsalternativ sparas som en separat fil. Det är också viktigt att tänka på att programmet ska användas för jämförelse av efterbehandlingsåtgärder och inte för eventuellt annat arbete som utförs i samband med efterbehandlingen.

## Kontorsarbete <sup>?</sup>

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO <sub>2</sub> ekv	
<b>Totalt</b>				<b>0 kg</b>	

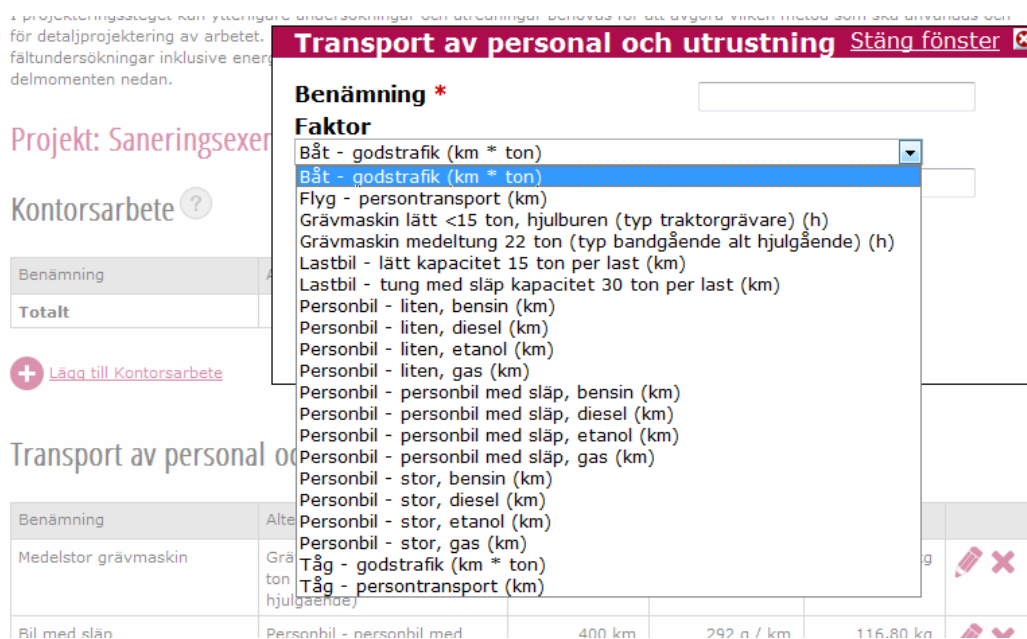
[+ Lägg till Kontorsarbete](#)

## Transport av personal och utrustning <sup>?</sup>

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO <sub>2</sub> ekv	
Medelstor grävmaskin	Grävmaskin medeltung 22 ton (typ bandgående alt hjulgående)	32 h	35 009 g / h	1 120,29 kg	 
Bil med släp	Personbil - personbil med släp, diesel	400 km	292 g / km	116,80 kg	 
Person transport - tåg	Tåg - persontransport	130 km	5,80 g / km	0,75 kg	 
Liten bil - persontransport	Personbil - liten, bensin	6 300 km	125 g / km	787,50 kg	 
<b>Totalt</b>				<b>2 025,34 kg</b>	

[+ Lägg till Transport av personal och utrustning](#)

Figur 4. Inmatningssidorna har knappar för att lägga in data.



Figur 5. Inmatningsfönster med fördefinierade inmatningsalternativ.

## 5.2 Projektinformation

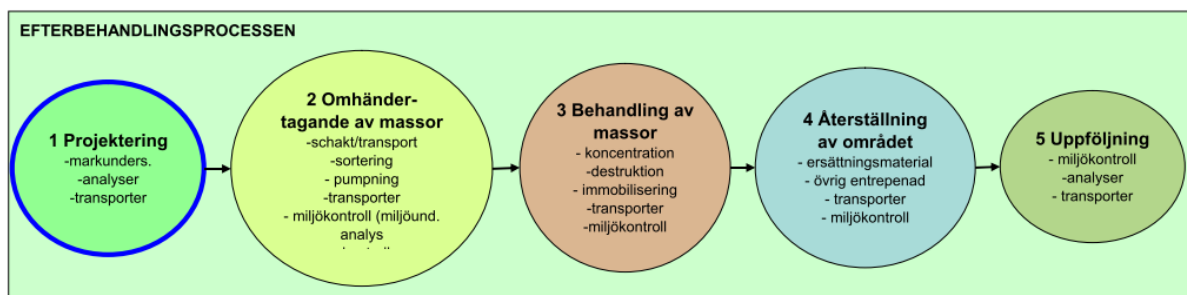
På den första webbsidan i verktyget, benämnd ”Start”, läggs övergripande administrativa och andra data om den aktuella platsen samt eventuellt åtgärdsalternativ in i de vita fälten (figur 6). Delar av denna information är länkad till övriga sidor i verktyget. I den vita rutan, ”Massa (ton)”, sker automatiskt beräkning baserat på värden för volym och densitet.



<b>Projektnamn *</b>	Exempel på sanering
<b>Län</b>	
<b>Kommun</b>	
<b>Fastighetsbeteckning</b>	
<b>Delområde</b>	
<b>Beräkning utförd av (namn)</b>	
<b>Företag/Organisation</b>	
<b>Datum</b>	2012-05-09
<b>Åtgärdsalternativ nr/benämning</b>	1
<b>Information om objektet</b>	
<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	20 000
<b>Volym jord (m<sup>3</sup>)</b>	16 200
<b>Typ av jord</b>	
<b>Medeldensitet (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,80
<b>Massa (ton)</b>	29 160

Figur 6. Indatatabell på "Start"-sidan.

## 5.3 Projektering



### 5.3.1 Översikt

Projekteringssteget är skedet efter det att markföroreningar har påträffats och ett åtgärdsbehov har konstaterats. Innan efterbehandlingen påbörjas kan ytterligare undersökningar och utredningar behövas för att avgöra lämpliga åtgärdsalternativ och som underlag till detaljprojekteringen. Projektering innefattar växthusgasalstrande moment som kontorsarbete, transporter, fältundersökningar inklusive energiförbrukning (el) och analyser. På denna webbsida kan data matas in för följande:

- 1:1 Kontorsarbete
- 1:2 Transporter av personal och utrustning
- 1:3 Skogsavverkning
- 1:4 Energianvändning
- 1:5 Övrig undersökningsutrustning
- 1:6 Kemiska analyser och förbrukningsmaterial

### 5.3.2 Indata

Nedan sammanfattas och förklaras indata i de olika momenten 1:1 till 1:5 (tabell 2).

**Tabell 2.** Indata för projekteringssteget i efterbehandlingsprocessen.

<b>1:1 Kontorsarbete</b>	
<u>Indata:</u>	Tid (timmar)
<u>Förklaring:</u>	Omfattar utsläpp kopplat till utredningsarbete (läs: kontorsarbete) i form av energiförbrukning. Svensk elmix = främst kärnkraft och vattenkraft Nordisk elmix = genomsnittsel från de nordiska länderna, innebär blandning av kärnkraft, förnyelsebart och fossilt. Långsiktig marginalmix = El producerad från kraftverk som vid tillfället producerar dyrast el. Om eltyp är okänd använd "Nordisk elmix". Observera att de olika "elschablonerna" varierar år från år.

<b>1:2 Transporter av personal och utrustning</b>	
<u>Indata:</u>	Körsträcka (km), Körtid (timmar), Körsträcka * vikt (km*ton)
<u>Förklaring:</u>	Transporter av personal och utrustning till och från objektet. Glöm inte att räkna med både tur och retur till avlämningsplats. För transport av grävmaskin finns två typer av hjulgående maskiner medtagna i post 1:2. För övriga bandgående maskiner förutsätts transport med hjälp av lastbil med släp. Notera att drift av maskiner (schakt osv.) läggs till under 1:4.

<b>1:3 Skogsavverkning</b>	
<u>Indata:</u>	Körtid (timmar)
<u>Förklaring:</u>	Körtid för skotare och skördare för skogsavverkning. Transport av timmer läggs in under 1:2.

<b>1:4 Energianvändning</b>	
<u>Indata:</u>	Energianvändning (kWh), Tid (timmar)
<u>Förklaring:</u>	Pumpar, generator, belysning och annan fältutrustning som drivs av el. Användare måste själv ange typ av utrustning och effektbehov för denna samt eltyp (se 1:1 för förklaring).

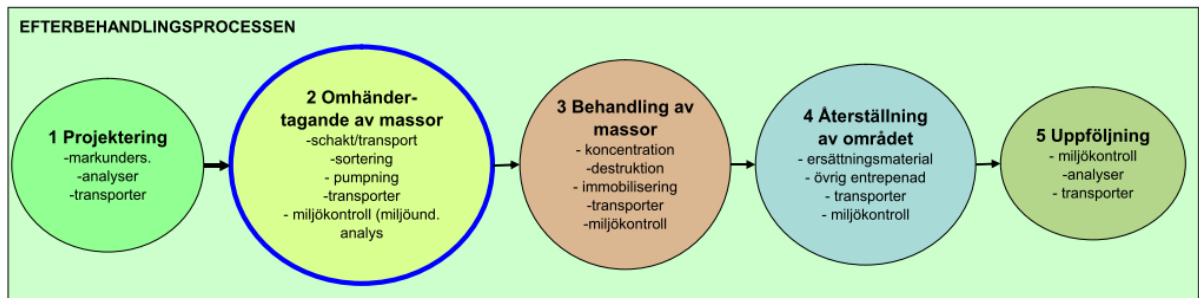
  

<b>1:5 Övrig undersökningsutrustning</b>	
<u>Indata:</u>	Tid (timmar)
<u>Förklaring:</u>	Utrustning för provtagning av jord och installation av grundvattenrör; borrhandsvagnar, grävmaskiner samt generatorer som drivs av bränsle.

<b>1:6 Kemiska analyser och förbrukningsmaterial</b>	
<u>Indata:</u>	Antal prov (st), längd (m), area (m <sup>2</sup> ), volym (m <sup>3</sup> )
<u>Förklaring:</u>	Kemiska analyser avser analyser på laboratorium. Förbrukningsmaterial innefattar grundvattenrör i HDPE plast samt en bailer-provtagare. Möjlighet till val av olika typer av tätskikt (geomembran) för övertäckningar och avskärmningar på objektet och betongkonstruktioner samt vatten.

## 5.4 Omhändertagande av massor



### 5.4.1 Översikt

Skedet "Omhändertagande av massor" omfattar momenten efter utförda markundersökningar och innefattar urschaktning och sortering av förorenade massor inom arbetsområdet till upplagsplatser. I samband med schakt kan även behov av hantering av länsvatten (bortpumpning) samt eventuell återinfiltration av grundvatten uppkomma. Reningsutrustning kan krävas för omhändertagande av länsvattnet. Här inkluderas även kontroll av resthalter i schaktväggar och schaktbotten samt klassificering av urschaktade massor. På denna webbsida kan följande data matas in:

- 2:1 Kontorsarbete
- 2:2 Transporter av personal och utrustning
- 2:3 Schakt och transport av massor
- 2:4 Skogsavverkning
- 2:5 Energianvändning
- 2:6 Övrig undersökningsutrustning
- 2:7 Kemiska analyser och förbrukningsmaterial

## 5.4.2 Indata

Nedan sammanfattas indata i de olika momenten 2:1 till 2:5 och en förklaring till vad indata innebär (tabell 3).

**Tabell 3.** Indata för omhändertagandesteget i efterbehandlingsprocessen.

<b>2:1 Kontorsarbete</b>	
<u>Indata:</u>	Tid (timmar)
<u>Förklaring:</u>	Omfattar utsläpp kopplat till utredningsarbete (läs: kontorsarbete) i form av energiförbrukning (se tabell 1, 1:1 för förklaring).

<b>2:2 Transporter av personal och utrustning</b>	
<u>Indata:</u>	Körsträcka (km)/Körtid (timmar)/Körsträcka * vikt (km*ton)
<u>Förklaring:</u>	Transporter av personal och utrustning till och från objektet (se tabell 2, 1:2 för förklaring). Notera att drift av maskiner (schakt osv.) läggs till under 2:3.

<b>2:3 Schakt och transport av massor</b>	
<u>Indata:</u>	Mängd (ton), sträcka (km), sträcka * mängd (km * ton)
<u>Förklaring:</u>	Schaktningsarbete och transport av massor som är relaterade till sanering av förorenade jordmassor. Transporter skall räknas till "grinden" för en avlämningsplats/godkänd behandlingsanläggning. Vid transport glöm ej att räkna med både tur och retur till avlämningsplats.

<b>2:4 Skogsavverkning</b>	
<u>Indata:</u>	Körtid (timmar)
<u>Förklaring:</u>	Se tabell 1, 1:3.

<b>2:5 Energianvändning</b>	
<u>Indata:</u>	Energianvändning (kWh), Tid (timmar)
<u>Förklaring:</u>	Pumpar, generator, belysning och annan fältutrustning som drivs av el. Användare måste själv ange typ av utrustning och effektbehov för denna samt eltyp (se 1:1 för förklaring). Observera att tiden för arbetsbod avser hela den tid som en bod finns på platsen under projektets gång. Tiden anges i timmar. Räkna hela dygn.

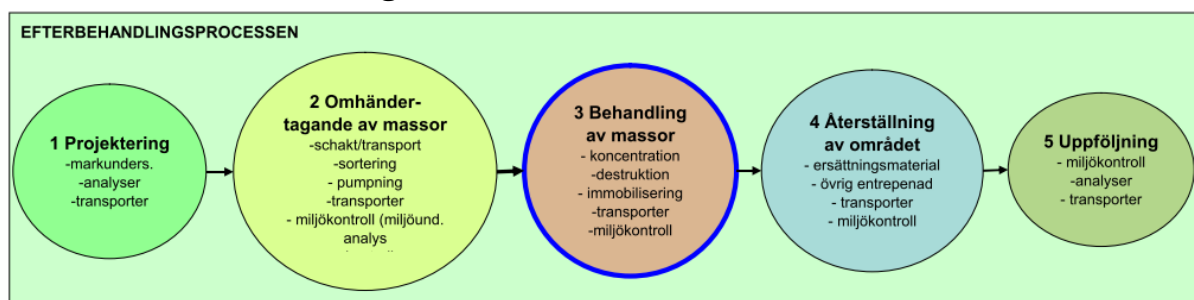
  

<b>2:6 Övrig undersökningsutrustning</b>	
<u>Indata:</u>	Tid (timmar)
<u>Förklaring:</u>	Utrustning för provtagning av jord och installation av grundvattenrör, borrhandsvagnar, grävmaskiner och generatorer som drivs av bränsle.

<b>2:7 Kemiska analyser och förbrukningsmaterial</b>	
<u>Indata:</u>	Antal prov (st), längd (m), area (m <sup>2</sup> ), volym (m <sup>3</sup> )
<u>Förklaring:</u>	Se tabell 2, 1:6.

## 5.5 Behandling



### 5.5.1 Översikt

Processteg 3 omfattar behandling av förorenad jord. Behandlingen kan bestå av åtgärder inom området (on-site) eller på annan plats (off-site). Behandlingen av jord inom området kan ske direkt i marken (in situ) eller efter urschaktning (ex situ). I detta processteg ingår moment för själva behandlingen, till exempel material och energi som förbrukas och de persontransporter som krävs för att underhålla utrustningen.

För behandling off site ingår endast själva behandlingen i schablonberäkningen. För dessa behandlingstekniker (se nedan) krävs att användaren för in data avseende urgrävning och transporter av jord till den externa anläggningen under steg 2 (omhändertagande) och återfyllning under steg 4 (återställande). Notera att behandling som endast innebär övertäckning på plats därmed hanteras under steg 4.

### 5.5.2 Indata

För följande sju behandlingsmetoder har det tillgängliga dataunderlaget bedömts vara tillräckligt för att ta fram schablonberäkningar:

- In situ Biologisk Aerob nedbrytning
- On-site biologisk nedbrytning
- Off-site biologisk nedbrytning
- Jordtvätt (off-site)
- Termisk desorption (off-site)
- Deponering
- Övertäckning on-site

Schablonberäkningarna för de olika behandlingsmetoderna baseras på erfarenhetsmässig kunskap från genomförda projekt. De antaganden som gjorts redovisas för respektive behandling i bilaga 3, med undantag för "Övertäckning on-site". För denna metod kan man själv göra beräkningen på sidan 4 (Återställande av området) i beräkningsverktyget. Ändringar av schablonberäkningarna kan göras på sidan "Behandlingar".

I verktygets sida "Behandling av massor" anges mängd förorenad jord för en viss behandling. Notera att omhändertagande och återfyllning hanteras i processteg 2 respektive 4 för de behandlingar som sker off-site.

### 5.5.3 Schablonberäkning

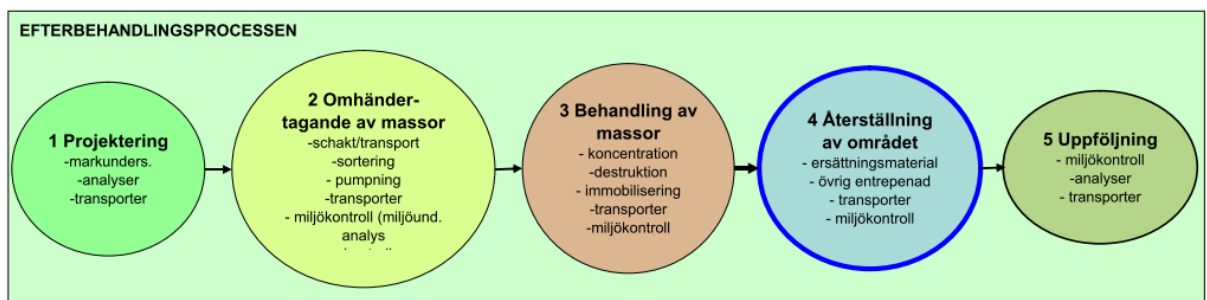
För respektive behandlingsmetod har antaganden gjorts för att beräkna CO<sub>2ekv</sub> för arbetsmaskiner, transporter av personal och utrustning, åtgång av material och energi, nedbrytning av organiska ämnen samt producerad deponirest. Schablonberäkningen och de bakomliggande antagandena i verktyget utgår från att man endast anger den mängd förorenad jord som behandlas med en specifik metod.

The screenshot shows the 'Behandlingar' (Treatments) section of the SGF Carbon footprint tool. A table lists various treatments with their CO<sub>2ekv</sub> values and status. The 'In-situ Biologisk Aerob nedbrytning' row is highlighted with a red box. To the right, a detailed form for this treatment is shown, with a red box around the input fields. The form includes sections for 'Fall specifika värden' (Fall specific values) and 'CO<sub>2ekv</sub>' (CO<sub>2</sub> equivalent). The 'Fall specifika värden' section includes fields for 'Arbetsmaskiner' (Work machines) with sub-items like 'Grävmaskin lätt' (0 h/ton), 'Grävmaskin tung' (0,015625 h/ton), 'Lätt borrhandsvagn' (0,014375 h/ton), and 'Hjullastare' (0 h/ton). The 'CO<sub>2ekv</sub>' column shows values like 0 g/ton, 547 g/ton, 86 g/ton, and 0 g/ton. Other sections include 'Transport' (Lastbil lätt, Lastbil tung), 'Personbil stor, bensin' (1,8 km/ton), 'Material' (Grus, Plast, CV-rör, Asfalt), and 'Personbil stor, bensin' (1,8 km/ton).

**Figur 7.** Behandlingssidan där man kan lägga till egna värden för behandlingar.

Schablonberäkningarna i verktyget kan ändras genom att ange egna värden under sidan ”Behandling”. I behandlingssidan kan man sedan mata in eget värde för en vald behandling. I bilaga 3 (Behandling) redovisas de antaganden som gjorts för de ingående momenten för varje enskild behandlingsteknik, till exempel hur många maskintimmar, mängd material och energi som går åt vid behandlingen.

### 5.6 Återställning



#### 5.6.1 Översikt

Processteg 4 omfattar återställning av arbetsområdet efter utförda saneringsinsatser eller andra markarbeten. De ingående momenten består oftast av återfyllnad med olika typer av fyllnadsmaterial eller till exempel avjämning av marken. I detta steg

ingår även eventuella övertäckningar och tätningsåtgärder. På denna webbsida kan följande data matas in:

- 4:1 Kontorsarbete
- 4:2 Transporter av personal och utrustning
- 4:3 Schakt och transport av massor
- 4:4 Återfyllning
- 4:5 Fyllnadsmaterial
- 4:6 Övrig entreprenadverksamhet
- 4:7 Energianvändning
- 4:8 Kemiska analyser och förbrukningsmaterial

### **5.6.2 Indata**

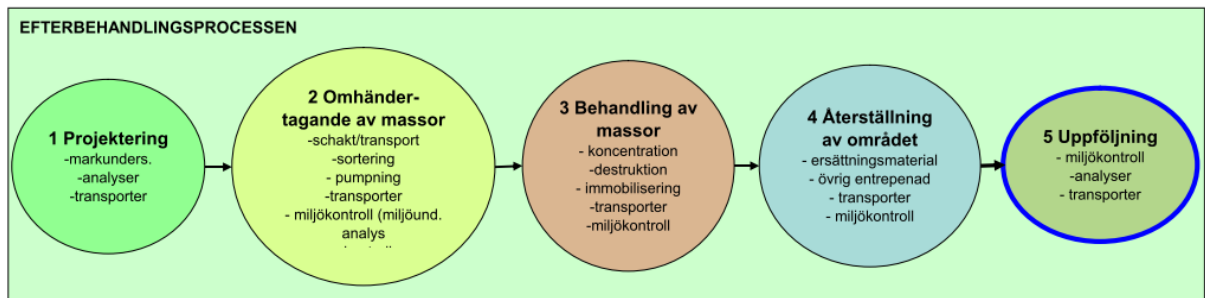
Nedan sammanfattas indata i de olika momenten 4:1 till 4:8 och en förklaring till vad indata innebär (tabell 4).

**Tabell 4. Indata för återställandesteget i efterbehandlingsprocessen.**

<b>4:1 Kontorsarbete</b>	
<u>Indata:</u>	Tid (timmar)
<u>Förklaring:</u>	Omfattar utsläpp kopplat till utredningsarbete (läs: kontorsarbete) i form av energiförbrukning (se tabell 1, 1:1 för förklaring).
<b>4:2 Transporter av personal och utrustning</b>	
<u>Indata:</u>	Körsträcka (km)/Körtid (timmar)/Körsträcka * vikt (km*ton)
<u>Förklaring:</u>	Transporter av personal och utrustning till och från objektet (se tabell 2, 1:2 för förklaring). Notera att drift av maskiner (schakt osv.) läggs till under 4:3 eller 4:4.
<b>4:3 Schakt och transport av massor</b>	
<u>Indata:</u>	Mängd (ton), sträcka (km), sträcka * mängd (km * ton)
<u>Förklaring:</u>	Schaktningsarbete och transport av massor som är relaterade till sanering av förorenade jordmassor. Transporter ska räknas till "grinden" för en avlämningsplats/godkänd behandlingsanläggning. Vid transport glöm inte att räkna med både tur och retur till avlämningsplatsen.
<b>4:4 Återfyllning</b>	
<u>Indata:</u>	Tid (timmar), Mängd (ton)
<u>Förklaring:</u>	Återfyllningsarbete som är relaterade till saneringsarbetet eller de andra markarbetena.
<b>4:3 Fyllnadsmaterial</b>	
<u>Indata:</u>	Mängd (ton)
<u>Förklaring:</u>	Utsläpp kopplat till produktion av massor som används för återfyllning eller andra åtgärder kopplade till saneringen av förorenade massor. För utsläpp från transporter av fyllnadsmaterial använd 4:2 och för återfyllning och packning använd 4:4. Tänk på att bara de massor som är kopplad till sanering av förorenad jord ska medräknas och inte de som ändå skulle ha tillförts.
<b>4:4 Övrig entreprenadverksamhet</b>	
<u>Indata:</u>	Volym (m <sup>3</sup> )
<u>Förklaring:</u>	Övrig entreprenadverksamhet som asfaltering och betongkonstruktioner i samband med färdigställande av marken. Beräkningen nedan avser utsläpp från produktion av betong och asfaltering. För normal asfaltyta åtgår 0,055 m <sup>3</sup> asfalt per m <sup>2</sup> .
<b>4:5 Energianvändning</b>	
<u>Indata:</u>	Energianvändning (kWh), Tid (timmar)
<u>Förklaring:</u>	Pumpar, generator, belysning och annan fältutrustning som drivs av el. Användare måste själv ange typ av utrustning och effektbehov för denna samt eltyp (se 1:1 för förklaring). Observera att tiden för arbetsbod avser hela den tid som en bod finns på platsen under projektets gång. Tiden anges i timmar. Räkna hela dygn.
<b>4:6 Kemiska analyser och förbrukningsmaterial</b>	
<u>Indata:</u>	Antal prov (st), längd (m), area (m <sup>2</sup> ), volym (m <sup>3</sup> )
<u>Förklaring:</u>	Se tabell 2, 1:6.



## 5.7 Uppföljning



### 5.7.1 Översikt

Processteg 5 omfattar uppföljande kontroll efter efterbehandling, alternativt fortlöpande kontroll av åtgärd som naturlig nedbrytning eller barriärer. Detta kan ske genom provtagning och mätning, vanligen av grund- eller ytvatten. Vid t.ex. insitutekniker eller kontrollerad naturlig nedbrytning kan lång miljökontroll krävas. På denna webbsida kan data matas in för följande moment:

- 5:1 Kontorsarbete
- 5:2 Transporter av personal och utrustning
- 5:3 Energianvändning
- 5:4 Övrig undersökningsutrustning
- 5:5 Kemiska analyser och förbrukningsmaterial

### 5.7.2 Indata

Dessa moment motsvarar de som ingår i processteg 1 (projektering). För beskrivning av indata hänvisas till kapitel 5.3.

## 5.8 Sammanfattningssidan

På sammanfattningssidan summeras beräkningen av åtgärdsalternativets totala utsläpp av CO<sub>2ekv</sub> och utsläppen från varje delmoment (processteg). Resultaten presenteras i siffror (figur 8) och som stapeldiagram på varje processtegssida.



**Figur 8.** Exempel på sammanställning av resultat.

## 5.9 Faktorer

I programmet finns många olika typer av faktorer och indata för att räkna ut CO<sub>2</sub>ekv utsläppen. Alla faktorer är tillgängliga för användaren och presenteras på en separat sida som heter just "Faktorer". Alla faktorer som ingår i programmet har placerats i en av tre kvalitetsklasser (se tabell 5 och bilaga 3 för mer detaljer).

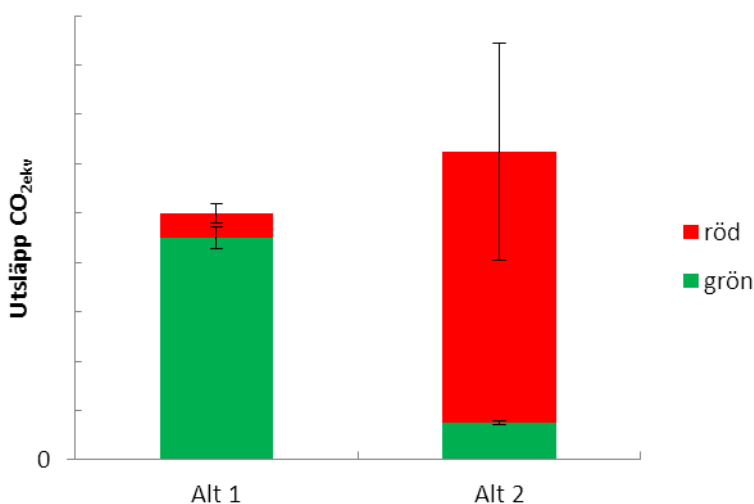
**Tabell 5.** *Kvalitetsklassning av faktorer.*

Grön	God kvalitet. Låg osäkerhet.
Gul	Mindre god kvalitet. Viss grad av osäkerhet.
Röd	Osäker kvalitet. Hög grad av osäkerhet.

## 6. Dokumentation och begränsningar

Det är viktigt att dokumentera underlag till indata för de olika processtegen både genom att beskriva indata i den text som matas in på inmatningssidorna, men det rekommenderas även att föra en separat underlagsdokumentation för att kunna kontrollera att alla väsentliga indata finns med. Praktisk erfarenhet av de olika processtegen har givetvis stort värde för att förstå och definiera vilka aktiviteter och insatser som krävs för att genomföra en efterbehandling.

Som redan nämnts bygger verktyget på förenklingar och små skillnader ska därför inte övertolkas. Vid utvärdering av resultat bör användaren även kontrollera och ta hänsyn till kvalitetsklassningen på de faktorer (underlagsdata) som har använts i beräkningen. Problematiken exemplifieras i figur 9 där emission av växthusgaser för två åtgärdsalternativ redovisas. De beräknade utsläppen i alternativ 1 är lägre än alternativ 2. ”Säkerheten” i underlagsdata är större i alternativ 1 än i alternativ 2 (större andel ”grön” indata med bedömt bättre kvalitet). Osäkerheten i alternativ 2 är så stor att detta alternativ kan innebära både högre och lägre utsläpp än alternativ 1. Om säkerheten i datakvaliteten inte kan höjas för alternativ 2 är en korrekt jämförelse inte möjlig i detta fall.



**Figur 9.** *Exempel för att visa vikten av att kontrollera kvalitetsklassningen av faktorerna i uträkningen. Alt 1 består till största delen av faktorer med grön klassning, vilka har ett lågt procentuellt fel, faktorerna med röd klassning har ett högt procentuellt fel. Felprocentsatserna är inte givna i programmet, figuren är endast ett exempel för att visualisera skillnader mellan kvalitetsklassningar.*

I den här versionen av verktyget finns ett antal efterbehandlingsmetoder definierade som ännu inte går att använda, eftersom tillräckligt med data inte har samlats in:

- In situ vakuumenträktion
- In situ air sparging
- In situ biologisk anaerob nedbrytning
- In situ kemisk oxidation
- Off site förbränning
- Barriärer
- Stabilisering

Verktyget är anpassat för att i eventuella senare versioner enkelt kunna uppdateras med indata för dessa och andra relevanta åtgärdsstekniker.

## 7. Förkortningar

I manualer och informationstexter i beräkningsverktyget har olika förkortningar använts. Nedan redovisas en tabell över använda förkortningar och dess betydelse samt eventuella kommentarer.

Förkortning	Betydelse	Kommentar
VHG	Växthusgas	
EBH	Efterbehandling	
GHG	Green House Gas	
FM	Förorenad mark	
LCA	Livscykelanalys	
HDPE	High-density polyethylene	

## 8. Referenser

EURODEMO Deliverable reference number D 5-4, 2006. Title: Model protocols and Guidance for Analytical Sustainability Assessment Tools.

Helldén, J., Juvonen, B., Liljedahl, T., Broms, S. och Wiklund, U. (2006). Åtgärdslösningar - erfarenheter och tillgängliga metoder. Naturvårdsverkets rapport 5696 (Hållbar sanering).

Suèr, P., Nilsson-Påledal, S., and Norrman, J., 2004. LCA for Site Remediation: A Literature Review. *Soil and Sediment Contamination*, **13**:415 – 425.

# **Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten**

## **Systemgränser – utgångspunkter för avgränsning av CO<sub>2</sub>-påverkan**

### **Principiella utgångspunkter**

All klimatpåverkan som kan härledas till efterbehandlingsprocessen eller andra markarbeten och dess stödsystem (material, deponier etc.) bör inventeras. Endast det aktuella projektet inventeras, eventuella följdkonsekvenser i angränsande projekt tas inte med.

Om något moment i efterbehandlingsprocessen eller i de andra markarbetena genererar energi eller material, för vilka det finns ett direkt behov, ska denna klimatpåverkan ej belasta projektet. Processer kan dock aldrig generera en negativ klimatpåverkan för det aktuella projektet (om t.ex. överskottsmassor kan återanvändas i andra projekt och därmed minska klimatpåverkan på grund av nyframställning av fyllnadsmassor tas detta inte med i det aktuella projektet). I praktiken tas endast poster av större betydelse med. Det är svårt att sätta en kvantitativ gräns eftersom en post som är stor i ett åtgärdsalternativ kan vara marginell i ett annat alternativ. Vid jämförelse av olika moment kan det dock av pedagogisk natur vara viktigt att ha med samtliga poster som återfinns i de jämförda åtgärdsalternativen, även om dess betydelse kan vara marginell för vissa åtgärdsalternativ och betydande för andra. T.ex. kan persontransporter stå för en betydande del av klimatpåverkan vid naturlig nedbrytning medan det i ett projekt med transport av stora mängder jord har mycket liten betydelse.

Man utgår alltid från den teknik som idag är tillgänglig, även om man räknar på t.ex. transport under 30 år.

Ett nollalternativ ska alltid ingå. Därför ska man generellt inte göra marginalbedömningar utan skatta total klimatpåverkan från respektive moment. Som exempel kan tas ett exploateringsprojekt där schakt genomförs oavsett sanering eller ej. I detta fall ska både schaktarbetet och den klimatpåverkan som beror på saneringen beaktas för de aktuella åtgärdsalternativen. I nollalternativet beaktas schaktarbetet så som det skulle skett utan föroreningar.

### **Tid**

Efterbehandlingsskedet inklusive behandlingsskeden på externa anläggningar till dess att åtgärds målen uppnåtts.

För deponi och kontrollprogram, föreslås ”en generation” (30 år) enligt svenska krav på efterkontroll av deponi samt Eurodemos riktlinjer.

### **Rumslig avgränsning**

Efterbehandlingsområde, transporter till behandlingsanläggningar, behandling på extern anläggning samt deponi.

## Energi

Klimatpåverkan från energi som återvinns som t.ex. el eller fjärrvärme ska ej belasta projektet. Däremot kan emissionsfaktorn (CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per MJ) jämföras mot den resurs som byts ut och marginaleffekter kan inkluderas om det är en i sammanhanget stor post. Om klimatpåverkan är större än för den resurs som byts ut belastas projektet.

*Transporter till/från efterbehandlingsplatsen*

- Transporter av material från inköpsplats till efterbehandlingsplatsen.
- Transporter av jordmassor från efterbehandlingsplats till behandlingsanläggning/ deponi. (inklusive ev. retur med tomma bilar)
- Transporter till efterbehandlingsplatsen för personal

*Arbeten på efterbehandlingsplatsen*

Arbetsmaskiner, utrustning, uppvärmning etc.

## Material och avfallshantering

*Ingår*

Engångsmaterial, transporter från inköp samt avfallshantering.

All metall som används förutsätts återvinnas, vilket innebär att klimatpåverkan från tillverkning av metall som används i EBH inte ingår.

Om brännbart avfall förbränns och kommer fjärrvärmenät eller elnät tillgodo räknas det inte som ett tillskott. Möjligen som marginaleffekt relativt Nordisk medel.

Om energin inte används, belastas projektet med VHG-tillskott från förbränning.

För återfyllnadsmaterial som används i EBH-projektet gäller att det jordmaterial som tillförs extra på grund av en efterbehandling medräknas i VHG-utsläpp. I tillskottet från återfyllnadsmaterial ingår förutom transporter också belastning från framställning.

Exempel: Om massor kan återanvändas på platsen t.ex. genom harpning och vidare sortering behövs mindre mängd återfyllnadsmaterial, och de återanvända massorna kommer således projektet tillgodo avseende VHG indirekt (genom att posten för VHG p.g.a. nya massor minskas).

*Bränsle*

VHG-produktion från bränsle tas med enligt Grenhouse Gas Protocol (GHG), inom vilket fordonstyper och bränsletyper finns specificerat där hänsyn tas till VHG-produktion under produktionsfasen.

*Ingår inte*

Maskinpark, installationer mm som återanvänds flera gånger i andra sammanhang.

*Deponi*

Då massor deponeras beräknas VHG för anläggande av ny deponi viktat mot volym/area för aktuell typ av deponi för den aktuella mängden deponerade jordmassor.

## Bilaga 2 - Underliggande beräkningsrutiner

### ***Behandlingsmetoder***

För behandlingssteget i efterbehandlingsprocessen har ett 6 schablonberäkningar tagits fram. De olika behandlingsmetoderna som har tagits fram till den här versionen av Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten är:

- In situ biologisk aerob nedbrytning
- On site biologisk nedbrytning
- Off site biologisk nedbrytning
- Jordtvätt
- Termisk desorption
- Deponi

### ***Indata***

Till skillnad från processteg 3 behandling så är processtegen 1, 2, 4 och 5 uppbyggda så att indata kan läggas in helt platsspecifikt för de enskilda moment som bedömts innebära relevanta tillskott till växthusgasemissioner. För att tillse att alla relevanta indata läggs in vid VHG-beräkningen rekommenderas att alla ingående arbetsmoment i ett efterbehandlingsalternativ struktureras i en arbetsgång med ett "flödesschema" för att inget väsentligt moment missas. *Exempelvis att man vid en transport av massor inte glömmar att ta med både tur och retur resan!!!*

### ***Ingående faktorer för schablonberäkningar***

De ingående faktorerna för schablonberäkningarna för behandlings processen finns beskrivna på följande sidor.

**In-situ Biologisk aerob nedbrytning**

Biologisk nedbrytning erhålls genom att markgasen omsätts via installerade brunnar. Brunnarna installeras med erforderlig influensradie. Under driftperioden tillförs syre och andra näringsämnen till marken via den forcerade ventilationen som sker, detta medför ökad biologisk nedbrytning. Den biologiska aktiviteten kan beräknas genom att mäta CO<sub>2</sub> i extraherad luft.

Antagandena i verktyget baseras på genomsnittlig åtgång av tid, material och energi från ca 50 projekt. Ett genomsnittligt projekt behandlar ca 2000 ton.

Moment	VHG-källa	Enhet	Antaganden	Kvalitetsklass	Beräkning	
<b>A. Installation brunnar</b>						
A1 Installation brunnar	Borrbandvagn, lätt	h / ton jord	Genomsläpplig jord (sandig) med förorening ner till ca 2 m djup. 1,5 h arbetstid /brunn (2 m djup). Ca 7 meter mellan brunnarna, 1 brunn /ca 50 m <sup>2</sup> . Jordvolym per brunn, ca 50 m <sup>2</sup> * 2 m djup = 100 m <sup>3</sup> (ca 160 ton).		1,5/160 =	0,0094
A2 Installation ledningar	Grävmaskin tung	h / ton jord	Ca 25 m ledning /100m <sup>3</sup> jord (160 ton) Arbetsmaskiner 0,1 h / meter ledning		0,1*25/160 =	0,016
A3 Material	Material till brunnar, plast	kg plast / ton jord	Antal brunnar:1brunn å2m /160 ton jord kg plast /m brunn: 0,650 kg/m		4*0,65/160 =	0,016
A4 Material	Ledningar, plast	kg plast / ton jord	0,16 kg plast / ton jord		0,16	0,16
A5 Persontransport	Personbil, stor bensindriven	km / ton jord	Avstånd: 150 km etablering enkel väg, Antal resor t.o.r.: 3 (vid behandling av 2000 ton) Bil: stor bensindriven personbil		150*2*3/2000=	0,45
<b>B. Drift Bioventilation</b>						
B1 Maskiner	Elförbrukning pumpar, kWh	kWh / ton jord	Behandlingstid: 40 veckor Energiåtgång: Ca 1500 kWh/vecka (per 2000ton)		1500*40/2000=	30
B2 Persontransport	Personbil, stor bensindriven	km / ton jord	Avstånd: 150 km etablering enkel väg, Antal resor t.o.r.: 6 (vid behandling av 2000 ton) Bil: stor bensindriven personbil		150*2*6/2000=	0,9
B3 Nedbrytning av förorening	CO <sub>2</sub> från nedbrytning av organisk förorening	kg CO <sub>2</sub> / ton förorenad jord	Antag minskning 500 g kolväten per ton jord (C-H) Mw C-H 13, Mw CO <sub>2</sub> 44 => ca 4 kg CO <sub>2</sub> per kg nedbruten förorening .		0,5*4=	2
<b>C. Avetablering</b>						
C1 Borttagning installationer	Grävmaskin	h / ton jord	Antag att installationer lämnas kvar i marken.			
C2 Avfall	Sopor	kg / ton jord	Antag att installationer lämnas kvar i marken			
<b>D. Kontroll</b>						
D1 Provtagning	Borrbandvagn, lätt	h / ton jord	Provtagningstid: 1 punkt / h 2 prov per punkt från 2 m djupintervall =>ca 200 ton/punkt		1/200=	0,005
D2 Persontransport	Personbil, stor bensindriven	km / ton jord	Avstånd: 150 km etablering enkel väg, Antal resor t.o.r.: 3 (vid behandling av 2000 ton) Bil: stor bensindriven personbil		150*2*3/2000=	0,45
D3. Laboratorieanalys		antal / ton jord	1 analys /100 ton jord		1/100=	0,01
<b>E . Deponirest</b>						
	Ingen deponirest genereras	ton / ton förorenad jord	Antag att tillräcklig minskning av förorening erhålls efter behandling, ingen deponirest erhålls.			

Summering till VHG-FM verktygets faktorlista:			
	Enhet	Moment	Summa till faktorlistan
<b>Arbetsmaskiner</b>			
Grävmaskin lätt	h/ton		
Grävmaskin tung	h/ton	A2	0,016
Borrbandvagn	h/ton	A1, D1	0,014
Hjullastare	h/ton		
<b>Transport</b>			
Lätt lastbil	km/ton		
Tung lastbil	km/ton		
Personbil - stor, bensin	km/ton	A5, B2, D2	1,8
<b>Material</b>			
Grus	ton/ton		
Plast	kg/ton	A3, A4	0,18
GV-rör	m/ton		
Asfalt	m <sup>3</sup> /ton		
Betong	kg/ton		
Näringslösning	kg/ton		
Oxidationsmedel	kg/ton		
<b>Energi</b>			
Drift - el	kWh/ton	B1	30
Vatten	l/ton		
<b>Nedbruten förorening</b>			
	g CO <sub>2</sub> /ton	B3	2
<b>Deponi</b>			
	ton/ton		
<b>Laboratorieanalys</b>			
	st	D3	0,01



<b>On-site Biologisk nedbrytning</b>						
De förorenade massorna grävs upp och behandlas på platsen. Biologisk nedbrytning innebär att markgasen omsätts via installerade brunnar. Brunnarna installeras med erforderlig influensradie. Under driftperioden tillförs syre och andra näringsämnen till marken via den forcerade ventilationen som sker, detta medför ökad biologisk nedbrytning. Den biologiska aktiviteten kan beräknas genom att mäta CO <sub>2</sub> i extraerad luft. Antagandena i verktyget baseras på erfarenheter från ca 10 projekt där behandlingsvolymen förorenad jord är ca 4000 ton.						
Moment	VHG-källa	Enhet	Antganden	Kvalitetsklass	Beräkning	
<b>A. Konstruktion av ytor för behandling</b>						
A1 Maskiner	Hjullastare	h / ton behandlad jord	Ca 0,01 h maskintid per ton jord i genomsnitt			0,01
A2 Material	Byggfolie	kg plast / ton behandlad jord	Ca 0,05 kg plast / ton behandlad jord			0,05
A3 Material	Grus	ton grus / ton behandlad jord	Ca 0,04 ton grus / ton behandlad jord			0,04
<b>B. Installation, uppstart av behandling</b>						
B1 Maskiner	Hjullastare	h / ton behandlad jord	Ca 0,05 h maskintid per ton jord i genomsnitt			0,05
B2 Material	Plast (Slangar, filterrör, annan plast)	kg plast / ton behandlad jord	Ca 0,16 kg plast / ton jord			0,16
B3 Material	Näringslösning	kg / ton behandlad jord	Ca 0,75 kg / ton behandlad jord			0,75
B4 Persontransport	Personbil, stor bensindriven	km / ton behandlad jord	Avstånd: 150 km etablering enkelväg, Antal resor t.o.r: 2 (vid behandling av 4000 ton)		150*2/4000=	0,044
<b>C. Drift behandling</b>						
C1 Maskiner	Elförbrukning Pumpar, Reningssteg	kWh / ton behandlad jord	Ca 3,75 kWh / ton behandlad jord			3,5
C2 Persontransport	Personbil, stor bensindriven	km / ton jord	Avstånd: 150 km etablering enkelväg, Antal resor t.o.r: 5 (vid behandling av 4000 ton) Bil: stor bensindriven personbil		150*2*4/4000 =	0,375
C3 Nedbrytning av förorening	CO <sub>2</sub> från nedbrytning av organisk förorening	kg CO <sub>2</sub> / ton förorenad jord	Antag minskning 500 g kolväten per ton jord (C-H) Mw C-H 13, Mw CO <sub>2</sub> 44 =>ca 4 kg CO <sub>2</sub> per kg nedbruten förorening		0,5*4=	2
<b>D. Avetablering och utlastning av behandlad jord</b>						
D1 Maskiner	Hjullastare	h / ton behandlad jord	Ca 0,01 h maskintid per ton jord i genomsnitt			0,01
D2 Avfall	Sopor, plast mm					
D3 Persontransporter	Personbil, stor bensindriven	km / ton jord	Avstånd: 150 km etablering enkelväg, Antal resor t.o.r: 6 (vid behandling av 4000 ton) Bil: stor bensindriven personbil			0,22
D4 Provtagning	Grävmaskin	h / ton behandlad jord	Arbetstid 0,1 h / prov 1 prov / 100 ton			0,1/100=
D5 Laboratorieanalys	CO <sub>2</sub> från nedbrytning av organisk förorening	antal / ton behandlad jord	1 prov / 100 ton behandlad jord			1/100=
D5 Laboratorieanalys						0,01
<b>E. Deponirest</b>						
	Ingen deponirest genereras	ton / ton förorenad jord	Antag att tillräcklig minskning av förorening erhålls efter behandling, ingen deponirest erhålls.			

Summering till VHG-FM verktygets faktorlista:			
	Enhet	Moment	Summa till faktorlistan
<b>Arbetsmaskiner</b>			
Grävmaskin lätt	h/ton		
Grävmaskin tung	h/ton		
Borrbandvagn	h/ton		
Hjullastare	h/ton	A1, B1, C1, D1	0,071
<b>Transport</b>			
Lätt lastbil	km/ton		
Tung lastbil	km/ton		
Personbil - stor, bensin	km/ton	B4, C2, D3	0,64
<b>Material</b>			
Grus	ton/ton	A3	0,04
Plast	kg/ton	A2, B2	0,21
GV-rör	m/ton		
Asfalt	m <sup>3</sup> /ton		
Betong	kg/ton		
Näringslösning	kg/ton	B3	0,75
Oxidationsmedel	kg/ton		
<b>Energi</b>			
Drift - el	kWh/ton	C1	3,5
Vatten	l/ton		
<b>Nedbruten förorening</b>			
	g CO <sub>2</sub> /ton	C3	2
<b>Deponi</b>			
	ton/ton		
<b>Laboratorieanalys</b>			
	st	D5	0,01

**Off-site Biologisk nedbrytning**

De förorenade massorna grävs ur och körs till en extern behandlingsanläggning. Urgrävning och transport hanteras ej i detta steg (förs in under steg 2). Biologisk nedbrytning innebär att markgasen omsätts via installerade brunnar. Brunnarna installeras med erforderlig influensradie. Under driftperioden tillförs syre och andra näringsämnen till marken via den forcerade ventilationen som sker, detta medför ökad biologisk nedbrytning. Den biologiska aktiviteten kan beräknas genom att mäta CO<sub>2</sub> i extraherad luft.

Moment	VHG-källa	Enhet	Antaganden	Kvalitetsklass	Beräkning	
<b>A. Konstruktion av ytor för behandling</b>						
A1 Maskiner	Grävmaskin, hjullastare, lastbil för iordningsställande av behandlingsyta	h / ton behandlad jord	Ca 0,01 h maskintid per ton jord i genomsnitt			0,01
A2 Material	Asfalt (0,07m mäktighet)	m <sup>3</sup> / ton behandlad jord	Asfalt (0,07m mäktighet) 40 ton jord/ m <sup>2</sup> asfalt		0,07*140=	0,00175
A3 Material	Betong	ton betong / ton behandlad jord	Antag 0,3 m mäktighet och 40 ton/m <sup>2</sup>		0,3*40=	0,0075
A4 Material	Vattenledningar	kg plast / ton behandlad jord	Mängden plast antas vara försumbar i jämförelse med mängden plast i moment B2			
<b>B. Installation behandling inkl mottagning av jord</b>						
B1 Maskiner	Hjullastare, grävmaskin, tid för mottagning av jord för behandling	h / ton behandlad jord	Ca 0,05 h maskintid per ton jord i genomsnitt			0,05
B2 Material	Slangar, plast, fillerrör	kg plast / ton behandlad jord	Ca 0,16 kg plast / ton jord			0,16
B3 Material	Näringslösning	kg / ton behandlad jord	Ca 0,75 kg / ton behandlad jord			0,75
B4 Persontransport	Personbil		Ingår ej, personalen är på fast arbetsplats.			
<b>C. Drift behandling</b>						
C1 Maskiner	Elförbrukning Pumpar, Reningssteg	kWh / ton behandlad jord	3,5kWh / ton jord			3,5
C2 Persontransport	Personbil		Ingår ej, personalen är på fast arbetsplats.			
C3 Nedbrytning av förorening	CO <sub>2</sub> från nedbrytning av organisk förorening	kg CO <sub>2</sub> / ton förorenad jord	Antag minskning 500 g kolväten per ton jord (C-H) Mw C-H 13, Mw CO <sub>2</sub> 44 => ca 4 kg CO <sub>2</sub> per kg nedbruten förorening		0,5*4=	2
<b>D. Avetablering utrustning behandlad jord</b>						
D1 Maskiner	Hjullastare	h / ton behandlad jord	Ca 0,013 h maskintid per ton jord i genomsnitt			0,013
D2 Avfallstransport	Jord till deponi (kort avstånd)	km / ton behandlad jord	Avstånd: Ca 5 km avstånd t.o.r 12 ton/bil		5/12=	0,417
D3 Persontransporter	Personbil		Ingår ej, personalen är på fast arbetsplats.			
D4 Provtagning	Grävare + laboratorieanalys		Arbetstid 0,1 h / prov 1 prov / 100 ton			0,001
D5 Laboratorieanalys	CO <sub>2</sub> från nedbrytning av organisk förorening	antal / ton behandlad jord	1 prov / 100 ton behandlad jord		1/100=	0,01
<b>E. Deponirest</b>						
		ton / ton behandlad jord	Antag att behandlad jord används som konstruktionsmaterial och därmed ej belastar det aktuella projektet för konstruktion av ny deponi (transport till deponi finns under D2)			

**Summering till VHG-FM verktygets faktorlista:**

	Enhet	Moment	Summa till faktorlistan
<b>Arbetsmaskiner</b>			
Grävmaskin lätt	h/ton		
Grävmaskin tung	h/ton		
Borrbandvagn	h/ton		
Hjullastare	h/ton	A1, B1, D1, D4	0,074
<b>Transport</b>			
Lätt lastbil	km/ton	D2	0,417
Tung lastbil	km/ton		
Personbil - stor, bensin	km/ton		
<b>Material</b>			
Grus	ton/ton		
Plast	kg/ton	B2	0,16
GV-rör	m/ton		
Asfalt	m <sup>3</sup> /ton	A2	0,0018
Betong	kg/ton		
Näringslösning	kg/ton	B3	0,75
Oxidationsmedel	kg/ton		
<b>Energi</b>			
Drift - el	kWh/ton	C1	3,5
Vatten	l/ton		
<b>Nedbruten förorening</b>			
	g CO <sub>2</sub> /ton	C3	2
<b>Deponi</b>			
	ton/ton		
<b>Laboratorieanalys</b>			
	st	D5	0,01

<b>Off-site Jordtvätt</b>					
De förorenade massorna grävs ur och körs till en extern behandlingsanläggning. Urgrävning och transport hanteras ej i detta steg (förs in under steg 2). Jordtvätt innebär att jorden tvättas med vattenlösning för att erhålla olika storleksfraktioner vilka i sin tur ofta har olika föroreningsgrad. Tvättning görs i flera steg med olika separationsmetoder, tex siktning, gravimetrisk, cykloner, filterpress. De grövre fraktionerna är ofta att betrakta som "rena". Vattnet som används i separationen återanvänds och kan vid behov renas kontinuerligt.					
Moment	VHG-källa	Enhet	Antaganden	Kvalitetsklass	Beräkning
<b>A. Konstruktion av ytor för behandling</b>					
A1 Maskiner	Grävmaskin, hjullastare, lastbil	h / ton jord	Ca 0,01 h maskintid per ton jord i genomsnitt		0,01
A2 Material	Asfalt,	m <sup>3</sup> / ton behandlad jord	Asfalt (0,07m mäktighet) Asfalt 0,03 m <sup>2</sup> / ton jord		0,07*0,03= 0,0021
A3 Material	vattenledningar	kg plast / ton behandlad jord	Försumbar		
<b>B. Mottagning</b>					
B1 Maskiner	Hjullastare, grävmaskin		Arbetsmaskiner 0,006 h / ton		0,006
<b>C. Behandling med jordtvätt</b>					
C1 Maskiner	Hjullastare, grävmaskin		Arbetsmaskiner 0,05 h / ton		0,05
C2 Drift jordtvätt	Energiförbrukning		EI 3,2 kWh / ton		3,2
C3 Drift jordtvätt	Vattenförbrukning		Antag cirkulerande vatten - försumbart		
C4 Persontransport	Personbil		Ingår ej, personalen är på fast arbetsplats.		
<b>D. Avetablering utlastning behandlad jord</b>					
D1 Maskiner	Hjullastare		Arbetsmaskiner 0,013 h / ton		0,013
D2 Avfallstransport	Jord till deponi alt avsättningsplats		Avstånd: Ca 5 km avstånd t.o.r 12 ton / bil		5/12= 0,41666667
D3 Persontransporter	Personbil		Ingår ej, personalen är på fast arbetsplats.		
D4 Laboratorieanalys			1 prov / 100 ton behandlad jord		1/100= 0,01
<b>E. Deponirest</b>					
			Antag att ca 10 % går till deponering		0,1
Summering till VHG-FM verktygets faktorlista:					

	Enhet	Moment	Summa till faktorlistan
<b>Arbetsmaskiner</b>			
Grävmaskin lätt	h/ton		
Grävmaskin tung	h/ton		
Borbåndvagn	h/ton		
Hjullastare	h/ton	A1, B1, C1, D1	0,08
<b>Transport</b>			
Lätt lastbil	km/ton	D2	0,42
Tung lastbil	km/ton		
Personbil - stor, bensin	km/ton		
<b>Material</b>			
Grus	ton/ton		
Plast	kg/ton		
GV-rör	m/ton		
Asfalt	m <sup>3</sup> /ton		0,0021
Betong	kg/ton		
Näringslösning	kg/ton		
Oxidationsmedel	kg/ton		
<b>Energi</b>			
Drift - el	kWh/ton	C2	3,2
Vatten	l/ton		
<b>Nedbruten förorening</b>			
	g CO2/ton		
<b>Deponi</b>			
	ton/ton	E	0,1
<b>Laboratorieanalys</b>			
	st	D4	0,01

<b>Termisk desorption</b>						
De förorenade massorna grävs ur och körs till en extern behandlingsanläggning. Urgrävning och transport hanteras ej i detta steg (förs in under steg 2). Termisk desorption innebär att jorden upphettas för att driva av föroreningar. De avdrivna föroreningarna omhändertas i filter. Behandlingen antas ske on-site och omfattar ca 20 000 ton jord.						
Moment	VHG-källa	Enhet	Antaganden	Kvalitetsklass	Beräkning	
<b>A. Konstruktion av ytor för behandling</b>						
A1 Maskiner	Grävmaskin, hjullastare, lastbil	h / ton behandlad jord	Maskintid (grävmaskin, dumper och lastmaskin) (0,01 h / ton jord)			0,01
A2 Material	Asfalt	m <sup>3</sup> / ton behandlad jord	Asfalt 0,03 m <sup>2</sup> / ton jord * 0,055 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup>		0,03*0,055=	0,0017
A3 Material	Vattenledningar		Befintliga vattenledningar nyttjas, tillfälliga ledningar är av försumbar betydelse.			0
A4 Etablering	Tung lastbil, transporter vid on-site behandling	km / ton behandlad jord	Transport av utrustning till off-site projekt. 5 tunga lastbilar 25 mil transport		5*250/20000=	0,063
A5 Etablering	Mobilkran för montering av utrustning	h / ton behandlad jord	Antag bränsleförbrukning som tung grävmaskin, arbetstid 16h		16/20000=	0,0008
<b>B. Mottagning av förorenad jord</b>						
B1 Maskiner	Hjullastare, grävmaskin	h / ton behandlad jord	Arbetsmaskiner 0,006 h / ton behandlad jord			0,006
<b>C. Behandling med termisk desorption</b>						
C1 Maskiner	Hjullastare, grävmaskin	h / ton behandlad jord	Arbetsmaskiner 0,05 h / ton behandlad jord			0,05
C2 Drift Termisk destruktion	Energiförbrukning och Reningssteg	kWh/ ton behandlad jord	Energi-åtgång ca 2-4 MW / ton jord (antag 3MW). Generellt behov av energi tillskott ca 10-15 MJ / ton. Avdrivningstemp 450 °C. Efterbrännkammare för avdrivna föroreningar 900 °C.			3000
C3 Drift termisk destruktion	Vattenförbrukning	l / ton behandlad jord	Ca 1500 m <sup>3</sup> för att kyla och befukta 20 000 ton		1500*1000/20000=	75
C4 Persontransport	Personbil		1 resa t.o.r. per vecka, Behandlingstid 3 veckor			
<b>D. Avetablering utrustning behandlad jord</b>						
D1 Maskiner	Hjullastare	h / ton behandlad jord	Arbetsmaskiner 0,013 h / ton behandlad jord			0,013
D2 Avfall	Jord till deponi alt avsättningsplats		Ca 5 min per 20 ton		5/60/20=	0,0042
D3 Persontransporter	Personbil					
D4 Provtagning	Görs för hand					0
D5 Avetablering	Transporter vid on-site behandling		Transport av utrustning till off-site projekt. 5 tunga lastbilar 25 mil transport		5*250/20000=	0,063
D6 Avetablering	Mobilkran för nedmontering av utrustning	h / ton behandlad jord	Antag bränsleförbrukning som tung grävmaskin, arbetstid 16h		16/20000=	0,0008
<b>E. Deponirest</b>						
E1		ton / ton behandlad jord	Antag att behandlad jord används som konstruktionsmaterial och därmed ej belastar det aktuella projektet för konstruktion av ny deponi			

Summering till VHG-FM verktygets faktorlista:			
	Enhet	Moment	Summa till faktorlistan
<b>Arbetsmaskiner</b>			
Grävmaskin lätt	h/ton		
Grävmaskin tung	h/ton	A5, D6	0,0016
Borrbandvagn	h/ton		
Hjullastare	h/ton	A1, B1, C1, D1	0,079
<b>Transport</b>			
Lätt lastbil	km/ton	D2	0,0042
Tung lastbil	km/ton	A4, D6	0,125
Personbil - stor, bensin	km/ton		
<b>Material</b>			
Grus	ton/ton		
Plast	kg/ton		
GV-rör	m/ton		
Asfalt	m <sup>3</sup> /ton	A2	0,00165
Betong	kg/ton		
Näringslösning	kg/ton		
Oxidationsmedel	kg/ton		
<b>Energi</b>			
Drift - el	kWh/ton	C2	3000
Vatten	l/ton	C3	75
<b>Nedbruten förorening</b>			
	g CO <sub>2</sub> /ton		
<b>Deponi</b>			
	ton/ton		
<b>Laboratorieanalys</b>			
	st		

**Deponi**

Deponier konstrueras för att användas till material som inte kan återanvändas/återvinnas. I deponier läggs ibland förorenad jord som är svår att behandla. Deponier konstrueras med botten tätning och dränering för att förhindra spridning av förorening från deponin, skulle det ändå ske samlas lakvattnet upp och renas innan det släpps ut till närliggande recipient. När deponin är fylld sker även en sluttäckning innan den kan anses vara avslutad. Data nedan baseras på hela deponivolymer.

Moment	VHG-källa	Enhet	Antaganden	Kvalitetsklass	Beräkning	
<b>A. Konstruktion deponi, inkl installation tätskikt för</b>						
A1 Grävning konstruktion, avbaning, utläggningsarbete	grävmaskin	h / ton jord	Arbetsmaskiner 0,014 h/ton jord			0,014
A2 Tätskikt	Bentonit	m <sup>2</sup> / ton jord	2 st Bentonitmatta 10 cm tjock alternativt bentonitblandad sand tjocklek ca 0,5 m 35000 m <sup>2</sup> per 200000 ton jord		35000 m <sup>2</sup> / 200000 ton	0,175
A3 Tätskikt	Plast, geotextil	m <sup>2</sup> / ton jord				
A4 Konstruktionsmaterial	Jord (B4 + B5)	ton / ton jord	0,2 ton / ton deponi		4000/200000=	0,2
A5 Dräneringsmaterial	material	ton / ton jord	Dräneringsskikt bestående av grus från täkt alternativt grusfraktion ifrån jordtvätt. Två lager, ett över och ett under tätskikt, total mäktighet ca 0,6 m. (material ingår i A4)			
A6 Topptätning	material	ton / ton jord	2m mäktighet (material ingår i A4)			
A7 Transport	tung lastbil	km / ton jord	3 mil transport och 40000 ton jord (moment A4, A5, A6)/200000ton /deponi		4000/200000=	0,2
<b>C. Inläggning av material i deponin</b>						
C1 Utläggningsarbete	Grävmaskin alt hjullastare	h / ton jord	Arbetsmaskiner 0,026 tim/ton Deponi			0,026

Behandling	Enhet	Moment	Summa till faktorlistan
<b>Arbetsmaskiner</b>			
Grävmaskin lätt	h/ton		
Grävmaskin tung	h/ton	A1	0,014
Borrbandvagn	h/ton		
Hjullastare	h/ton	C1	0,026
<b>Transport</b>			
Lätt lastbil	km/ton		
Tung lastbil	km/ton	A7	0,2
Personbil - stor, bensin	km/ton		
<b>Material</b>			
Grus	ton/ton	A4	0,2
Plast	kg/ton		
GV-rör	m/ton		
Asfalt	m <sup>3</sup> /ton		
Betong	kg/ton		
Näringslösning	kg/ton		
Oxidationsmedel	kg/ton		
Bentonitmatta	m <sup>2</sup> /ton	A2	0,175
<b>Energi</b>			
Drift - el	kWh/ton		
Vatten	l/ton		
<b>Nedbruten förorening</b>			
	g CO2/ton		
<b>Deponi</b>			
	ton/ton		
<b>Laboratorieanalys</b>			
	st		

## Bilaga 3. Kvalitetsaspekter

Det finns flera aspekter som påverkar kvalitén på de beräkningar man kan göra med verktyget. Till viss del beror det på hur programmet är konstruerat:

- Programmets avgränsningar och begränsningar
- De emissionsfaktorer som programmet använder
- Osäkerheter i indata och schablonvärden

Kvalitén påverkas också markant av hur programmet används:

- Vilka moment som tas med i de olika efterbehandlingsprocesserna
- Hur indata preciseras

För att bidra till kvalitetssäkring av "vilka moment som tas med" är det viktigt att varje metod dokumenteras avseende vilka moment som ingår eller ej, och att valen motiveras. Vissa vanliga efterbehandlingsmetoder ges i programmet som färdiga processer där varje moment kan kvantifieras efter fallspecifika förutsättningar, t.ex. avstånd, typ av förorening, typ av el, mm.

Kvalitetsklassningen är uppbyggd på en tregradig skala där den högsta nivån nås om data för den faktorn ifråga bestäms av officiella källor som är relevanta för tillämpningen eller om det finns flera oberoende publicerade rapporter med viss samstämmighet. Sedan sjunker kvalitetsklassningen ner till lägsta nivån som nås om data uppskattas genom muntlig expertbedömning. Mer detaljer om definitionerna finns i tabell 1.

**Tabell 1. Kvalitetsklassning av faktorer.**

<b>Grön</b>	<b>God kvalitet, Låg osäkerhet</b>	Data är relevant för vår tillämpning och Officiella källor, t.ex. NV, eller Data är relevant för vår tillämpning och Flera oberoende publicerade rapporter, med viss samstämmighet
<b>Gul</b>	<b>Mindre god kvalitet, Viss grad av osäkerhet</b>	Som God kvalitet, men platsspecifika antaganden är invägda eller Data är relevant för vår tillämpning och enstaka publicerade rapporter eller Data är relevant för vår tillämpning och Flera oberoende men ej skriftligen dokumenterade resultat, med viss samstämmighet
<b>Röd</b>	<b>Osäker kvalitet, Hög grad av osäkerhet</b>	Publicerade resultat men relevansen inte perfekt eller Expertbedömning med endast en muntlig källa