



Beräkning av koldioxidemissioner från efterbehandling av förorenad mark

Kandidatarbete inom bygg- och miljöteknik våren 2013 BMTX01

EMMA BRYCKE
LISA DAHLSTRÖM
ANNAMARIA HAAG
LINA HAMMARBERG

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2013
Rapport nr 2013:45

Handledarnas förord

Naturvårdsverket har identifierat ungefär 80 000 potentiellt förorenade områden i Sverige. Kostnaden för att sanera de 1500 värst förorenade av dessa områden beräknas till cirka 60 miljarder svenska kronor. Idag är sanering av förorenade områden Miljödepartementets näst största årliga utgiftspost på cirka 500 miljoner svenska kronor årligen. Dessutom sanerar privata entreprenörer förorenade områden i samband med exploatering för cirka 2 miljarder svenska kronor årligen.

En riskbaserad hantering av förorenade områden borde innebära att en mängd olika principer för riskreducering tillämpas, anpassat efter platsspecifika förhållanden. I praktiken prioriteras dock i många fall bortgrävning och deponering, ”dig-and-dump”, av förorenade massor, dels på grund av att det är tidseffektivt och ger ett relativt riskfritt resultat, dels på grund av att miljökvalitetsmålet *Giftfri miljö* förordar borttagning av föroreningar framför andra typer av riskreducerande åtgärder.

Sanering av förorenade områden har traditionellt setts som en hållbar handling. På senare tid har detta dock ifrågasatts eftersom det i samband med en sanering ofta även orsakas andra negativa effekter, till exempel trafikutsläpp och olycksrisker, hälsorisker under saneringen samt förbrukning av energi och material. Därför finns det idag ett ökat intresse för hållbarhetsbedömningar av saneringar.

På Chalmers tekniska högskola pågår ett utvecklingsarbete för att ta fram ett praktiskt verktyg för att kunna göra hållbarhetsbedömningar av saneringsmetoder, som fångar upp aspekter i de tre hållbarhetsdimensionerna, den sociokulturella, den ekonomiska och den ekologiska. Verktöget blir ett stöd för att kunna fatta väl grundade beslut och för att lyfta fram de olika målkonflikter som kan finnas i den typen av avvägningar.

Som ett led i det arbetet utvärderas och testas olika verktyg för bedömning och kvantifiering av andra miljöeffekter av sanering, till exempel utsläpp av växthusgaser. Emma Brycke, Lisa Dahlström, Annamaria Haag och Lina Hammarberg har i sitt kandidatarbete använt SGF:s verktyg *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* för att beräkna koldioxidekvivalenter som ett mått på miljöpåverkan från efterbehandling i två fallstudier, samt att utifrån tillämpningen utvärdera verktöget med avseende på tillgänglighet av data, användarvänlighet samt möjligheten att jämföra olika åtgärdsalternativ.

Emma, Lisa, Annamaria och Lina har på ett självständigt och strukturerat sätt drivit arbetet framåt. De har satt sig in i ett för dem nytt arbetsområde med förorenad mark, arbetat med datainsamling, gjort egna skattningar av indata och omsatt sina nya kunskaper i arbetet med fallstudier och rapportskrivning.

Grattis till ett väl genomfört arbete och lycka till med fortsatta arbeten!

Jenny Norrman
Tekn. Dr., handledare

Lars Rosén
Professor, examinator

Förord

Denna rapport är resultatet av vårt kandidatarbete som genomförts på Väg- och vattenbyggandsprogrammet vid institutionen Bygg- och Miljöteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och utfördes vårterminen 2013.

Med detta förord vill vi tacka alla personer och företag som varit delaktiga vid genomförandet av denna rapport. Ett särskilt tack vill vi tillägna Karin Blechingberg på Ale kommun samt Martina Hedin och Malin Norin på NCC AB som bidragit med information kring de två saneringsobjekten.

Ett stort tack vill vi även rikta till vår handledare Jenny Norrman som väglett och hjälpt oss att ta fram denna rapport.

Emma Brycke

Lisa Dahlström

Annamaria Haag

Lina Hammarberg

Sammandrag

Mänsklig aktivitet har bidragit till att det idag finns 80 000 områden i Sverige som är potentiellt eller konstaterat förorenade. I april 1999 antog Sveriges riksdag miljömålet *giftfri miljö*, vilket innebär att utsläppta ämnen inte skall hota människans hälsa eller den biologiska mångfalden. Vid misstanke om att föroreningshalten i ett område är så stor att den utgör en risk för skada på miljö eller människans hälsa påbörjas processen att utreda och eventuellt efterbehandla området. En efterbehandling av förorenad mark är en åtgärd som har till syfte att varaktigt avlägsna eller minska risken för negativ påverkan från föroreningar i marken på hälsa och miljö.

I och med ett ökat intresse för utsläppsdeklarering och sekundära effekter av sanering har Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) tagit fram ett branschgemensamt verktyg för beräkning av koldioxidutsläpp vid efterbehandling av förorenad mark.

Arbetet som redovisas i föreliggande rapport har haft två syften: att tillämpa SGF:s verktyg *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* för att beräkna koldioxidekvivalenter som ett mått på miljöpåverkan från efterbehandling i två fallstudier, samt att utifrån tillämpningen utvärdera verktyget med avseende på tillgänglighet av data, användarvänlighet samt möjligheten att jämföra olika åtgärdsalternativ.

För att ge en förståelse för komplexiteten vid valet av efterbehandlingsåtgärd genomförs i denna rapport en litteraturgenomgång som kortfattat beskriver de moment som ingår i arbetet att välja en efterbehandlingsåtgärd. De två genomförda fallstudierna behandlar områdena Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1. Dessa objekt skiljer sig åt i flera avseenden och gör det därmed möjligt att besvara de problemställningar som formulerats. I Surte 2:38 beräknades ett utsläpp på 1 229 ton koldioxidekvivalenter och i Limhamns läge etapp 1 beräknades ett utsläpp på 292 ton koldioxidekvivalenter. Den stora skillnaden beror på mycket olika karaktär på områdena.

Slutsatser som kan dras från denna rapport är bland annat att resultaten från beräkningarna kan utgöra en del i ett beslutsunderlag för val av efterbehandlingsåtgärd. Beräkningsprogrammet är användarvänligt, kräver inga större förkunskaper och är ett potentiellt verktyg för beräkning av koldioxidutsläpp.

Rapporten visar vidare i fallet Limhamn att där en större andel återvinning av massor på plats till följd av siktning är möjlig, förefaller detta vara ett effektivt sätt att minska koldioxidutsläpp. Komplicerade geotekniska förhållanden, schaktning under grundvattenytan och förorenade massor som inte lämpar sig för sortering och återvinning, vilket var fallet i Surte, ger däremot högre koldioxidutsläpp eftersom detta resulterar i längre saneringstid och fler maskintimmar.

Abstract

In Sweden, there are 80.000 sites identified as either potentially or confirmed contaminated. In April 1999 the Swedish government granted a new environmental objective, “A Non-Toxic Environment”, stating that the occurrence of man-made or extracted substances in the environment must not represent a threat to human health or biological diversity. When suspicions arise that the degree of contamination at a site is so high that it presents an unacceptable risk to human health or the environment, the process of further assessing and managing the risks is initiated. If found necessary, a plan for soil remediation is developed. Remediation of contaminated sites is an intervention whose purpose is to permanently remove or reduce the risk of negative impact of contaminants affecting health and the surrounding environment.

Due to an increased interest in accounting for emissions and secondary effects, the Swedish Geotechnical Society (SGF) has developed a tool for calculation of carbon emissions caused by remediation of contaminated sites.

The analysis carried out in the following report has two main purposes; firstly to apply the tool *Carbon footprint of remediation and other ground-related works* to calculate the carbon equivalents as an indication of environmental impacts due to soil remediation in two case studies. Secondly to evaluate the tool with regard to availability of pre gathered data, user friendliness and the possibility of comparison between different alternatives of remediation.

To acquire an understanding for the complexity of the selection of a remediation alternative, a literature study summarising the phases of selecting an appropriate remediation alternative is presented. The two case studies concern two contaminated areas, Surte 2:38 and Limhamns läge phase 1. These objects differ in several contexts, thus making it possible to evaluate the tool with regard to the mentioned aspects. In Surte 2:38, the emissions were calculated to 1229 ton carbon equivalents and in Limhamns läge phase 1 the emissions were calculated to 292 ton.

Some conclusions among others are that the results of the calculations can be a part of the decision basis in the process of selecting a remediation alternative, the tool is user friendly, it does not require any previous knowledge and it is a potential tool for calculation of carbon emissions.

The report shows that sieving on-site combined with an increased reuse of soil results in less carbon emissions. On the other hand, complicated geotechnical conditions which may cause a longer remediation time and additional machine-hours, results in a larger amount of carbon emissions.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Syfte	2
1.2	Problemställningar	2
1.3	Avgränsningar	3
1.4	Metod och genomförande.....	4
2	Riktlinjer vid val av efterbehandlingsåtgärd	5
2.1	Aktörer i efterbehandlingsprocessen.....	5
2.2	Att välja efterbehandlingsåtgärd	6
3	Fallstudie Surte 2:38.....	10
3.1	Geografiskt läge	10
3.2	Föroreningssituation.....	11
3.3	Övergripande åtgärds mål Surte 2:38.....	13
3.4	Efterbehandling av Surte 2:38.....	13
4	Fallstudie Limhamns läge etapp 1	16
4.1	Tidigare och nuvarande markanvändning	17
4.2	Geologiska förhållanden och grundvattenförhållanden	17
4.3	Övergripande åtgärds mål Limhamns läge etapp 1	17
4.4	Föroreningssituation.....	17
4.5	Spridningsvägar.....	18
4.6	Exponeringsvägar.....	19
4.7	Åtgärdsalternativ	19
5	Introduktion till beräkningsprogrammet.....	23
5.1	Start	24
5.2	Projektering	24
5.3	Omhändertagande av massor	24
5.4	Behandling av massor	24
5.5	Återställande av området.....	25
5.6	Uppföljning	25
5.7	Sammanfattning	25
6	Resultat	26
6.1	Surte 2:38	26
6.2	Limhamns läge etapp 1	29

6.3	Utvärdering av verktyget <i>Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten</i>	39
7	Diskussion	42
7.1	Surte 2:38	42
7.2	Limhamns läge etapp 1	42
7.3	Jämförelse av koldioxidutsläpp för Surte och Limhamn	44
7.4	Verktyget <i>Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten</i> ..	46
8	Slutsatser.....	48
8.1	Surte 2:38	48
8.2	Limhamns läge etapp 1	48
8.3	Jämförelse av koldioxidutsläpp för Surte och Limhamn	48
8.4	<i>Carbon footprint från efterbehandling av förorenad mark</i>	48
8.5	Rekommendationer	49
	Litteraturförteckning.....	50
	Figurförteckning	52
	Bilagor.....	

1 Introduktion

Sveriges utveckling som industriland och människans brist på kunskap om miljöpåverkan har resulterat i att vi idag har 80 000 områden som är potentiellt eller konstaterat förorenade (Nordin, 2012). Exempel på aktiviteter som bidragit till utsläpp av farliga ämnen är kemisk industri, träimpregnering, massa- och pappersindustri, varv, glasbruk, gruvhantering och kemptvätt. I april 1999 antog Sveriges riksdag miljömålet *giftfri miljö*, vilket innebär att utsläppta ämnen inte skall hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden (Miljödepartementet, 2010). Det finns därför ett stort intresse av att sanera dessa områden.

Vid efterbehandling av förorenade områden har fokus hittills legat vid mängden föroreningar som saneras (SGF, 2012a). Något paradoxalt är dock att sanering av förorenade områden leder till sekundära effekter i form av utsläpp av koldioxid.

I och med en ökad kunskap och en ändrad inställning till negativa miljöeffekter läggs idag allt mer fokus på de utsläpp som uppstår till följd av saneringsarbeten (SGF, 2012a). Det blir allt vanligare för företag att sträva efter en i helhet mer miljövänlig verksamhet.

Med anledning av ett ökat intresse för utsläppsdeklarering har ett branschgemensamt verktyg för beräkning av koldioxidutsläpp vid efterbehandling av förorenad mark tagits fram (SGF, 2012a). Verktöget har tagits fram för att möjliggöra ett klimatsmart val av efterbehandlingsmetod. I denna rapport skall koldioxidemissioner från efterbehandling av förorenad mark undersökas med detta verktyg. I de pågående saneringsprojekten Surte 2:38 i Ale kommun och Limhamns läge etapp 1 i Malmö Stad, projekt med mycket olika förutsättningar för sanering, skall beräkningar genomföras och utifrån dessa skall verktöget utvärderas.

Resultaten från denna rapport är tänkt att ingå i ett forskningsprojekt som utförs inom FRIST kompetenscenter på Chalmers Bygg- och Miljöteknik. Syftet med forskningsprojektet är att ta fram ett verktyg för hållbarhetsbedömningar vid sanering av förorenade områden. Ett av de två fallstudieområdena, Limhamns läge etapp 1, används som fallstudieobjekt i forskningsprojektet.

1.1 Syfte

Arbetet som redovisas i föreliggande rapport har två syften:

- (1) Att tillämpa verktyget *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* för att beräkna koldioxidekvivalenter som ett mått på miljöpåverkan från efterbehandling.
- (2) Att utifrån tillämpningen utvärdera verktyget *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* med avseende på tillgänglighet av data, användarvänlighet samt möjligheten att jämföra åtgärdsalternativ.

Beräkningsprogrammet tillämpas på de två fallen Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1. I Surte 2:38 görs en tillämpning av beräkningsprogrammet genom en beräkning av det totala koldioxidutsläppet av en sanering som är i slutfasen och där data för den här typen av beräkning har samlats in. I Limhamns läge etapp 1 görs beräkningar genom en uppskattning av de totala koldioxidutsläppen för fyra möjliga åtgärdsalternativ. Likt Surte 2:38 utförs även en beräkning av totalt koldioxidutsläpp för den utförda saneringen.

1.2 Problemställningar

Rapportens syften har brutits ner i följande problemställningar:

- Hur stora utsläpp av koldioxidekvivalenter har efterbehandlingsarbetet i Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1 gett upphov till?
- Föreligger det någon skillnad mellan utsläppen av koldioxid för Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1? Vad kan denna eventuella skillnad bero på?
- Vilket av åtgärdsalternativen i Limhamns läge etapp 1 ger upphov till störst utsläpp av koldioxidekvivalenter och hur stort är utsläppet? Hur stora skillnader föreligger mellan alternativen?
- Hur väl kan beräkningsprogrammet tillämpas vid beräkning av koldioxidutsläpp för en realiserad efterbehandling där indata samlats in?
- Hur väl kan beräkningsprogrammet tillämpas vid beräkning av koldioxidutsläpp för ett åtgärdsalternativ som ännu inte utförts?
- Kan beräkningsprogrammet tillämpas vid jämförelse av olika åtgärdsalternativ? Skulle denna jämförelse kunna användas som ett underlag vid val av efterbehandlingsmetod?
- Vilka poster bidrar till störst koldioxidutsläpp vid en efterbehandlingsprocess?
- Är beräkningsprogrammet användarvänligt? Vilka rekommendationer kan ges för framtida utveckling av beräkningsprogrammet?

1.3 Avgränsningar

Rapporten behandlar två områden, Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1. Dessa objekt skiljer sig åt i flera avseenden och gör det därmed möjligt att besvara de frågeställningar som formulerats. Valet att studera två områden baseras på kandidatarbetets omfattning.

I Limhamns läge etapp 1 skall en jämförelse göras med avseende på olika åtgärdsalternativs koldioxidutsläpp. I NCC:s åtgärdsutredning har totalt nio stycken åtgärdsalternativ utvärderats. I denna rapport begränsas antalet åtgärdsalternativ som jämförs till fyra: 1, 5, 9a och 9b. Dessa alternativ utvärderas även i tidigare nämnda forskningsprojektet inom FRIST och kan anses vara tillräckliga för att utvärdera beräkningsverktygets förmåga att jämföra olika åtgärdsalternativ. Åtgärdsalternativ 1 och 5 är relevanta eftersom de innebär störst respektive minst föroreningsreduktion. Valet att behandla åtgärdsalternativen 9a och 9b motiveras genom att 9b är det alternativ som realiserats och att 9a motsvarar 9b men saknar siktnings. Genom att jämföra 9a och 9b kan siktningsens betydelse för en efterbehandlings totala koldioxidutsläpp undersökas.

Vid beräkningar av respektive områdes totala koldioxidutsläpp har vissa avgränsningar behövt göras då tillgängligheten av indata har varit begränsad. Dessa avgränsningar redovisas mer ingående i Bilaga 2 och 3.

I kapitel 2, *Riktlinjer vid val av efterbehandlingsmetod*, beskrivs kortfattat de moment som ingår i arbetet att välja en efterbehandlingsmetod. Fokus läggs på riskvärderingen eftersom detta moment innefattar koldioxidutsläppens betydelse för val av efterbehandlingsmetod. I riskvärderingen värderas olika åtgärdsalternativ utifrån urvalskriterier, där ett urvalskriterium kan vara koldioxidutsläpp.

1.4 Metod och genomförande

Rapporten inleds med en litteraturgenomgång rörande de riktlinjer som beaktas vid valet av efterbehandlingsmetod. Denna har till syfte att ge en förståelse för komplexiteten vid valet av efterbehandlingsmetod. Litteraturgenomgången genomförs med hjälp av rapporter från Naturvårdsverket.

För att erhålla underlag till koldioxidemissionsberäkningarna utförs två fallstudier, Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1. Dessa genomförs med hjälp av åtgärdsutredningar, riskbedömningar, miljökonsekvensbeskrivningar, huvudstudier och slutrapporter. För att få en förståelse för efterbehandlingsprocessens komplexitet beskrivs fallstudien Surte 2:38 mer utförligt.

Data från Surte 2:38 har samlats in av NCC och COWI. För att beräkna det totala koldioxidutsläppet används här beräkningsprogrammet *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten*.

För Limhamns läge etapp 1 görs, för fyra åtgärdsalternativ, en uppskattning av data med hjälp av underlagsmaterial från NCC. Därefter jämförs åtgärdsalternativens koldioxidutsläpp genom en tillämpning av beräkningsprogrammet. Likt Surte 2:38 utförs även en beräkning av totalt koldioxidutsläpp för den utförda saneringen. Resultaten redovisas som totalt koldioxidutsläpp men även som koldioxidekvivalenter per kubikmeter och koldioxidekvivalenter per kvadratmeter. Det senare sättet att redovisa resultatet möjliggör en jämförelse mellan de olika fallstudierna. Dessutom görs en jämförelse med ett annat saneringsarbete där liknande beräkningar utförts.

Genom att tillämpa *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* på objekten Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1 möjliggörs en utvärdering av beräkningsprogrammet. Med hjälp av beräkningarna i Surte 2:38 kan beräkningsprogrammets användarvänlighet och tillämpbarhet vid beräkningar av koldioxidutsläpp för en realiserad efterbehandling utvärderas. Beräkningarna för Limhamns läge etapp 1 möjliggör en utvärdering av möjligheten att jämföra olika åtgärdsalternativ med avseende på koldioxidutsläpp. Dessutom kan beräkningsprogrammets tillämpbarhet vid beräkning av koldioxidutsläpp för en ännu inte utförd efterbehandling utvärderas.

Utvärderingen av beräkningsprogrammets användarvänlighet bygger på de reflektioner som kontinuerligt noterats under programmets användande. Dessa ligger även till grund för konstaterandet av vilken indata som är tillgänglig och relevant att samla in. Utvärderingen kan ge underlag för en potentiell förbättring av programmet.

2 Riktlinjer vid val av efterbehandlingsåtgärd

I Sverige utgår arbetet med efterbehandling av förorenad mark från miljöbalken och miljö kvalitetsmålen och då främst målet *giftfri miljö* (Naturvårdsverket, 2009a).

Dessa har som gemensamt syfte att främja ekologisk hållbar utveckling. En efterbehandling av förorenad mark är en åtgärd som har till syfte att varaktigt avlägsna eller minska risken för negativ påverkan på hälsa och miljö från föroreningar i marken (Naturvårdsverket, 1997). Då det finns misstankar om att ett markområdes föroreningshalt är så stor att det idag eller i framtiden finns risk för skada på miljö eller människans hälsa påbörjas processen att utreda och eventuellt påbörja valet av efterbehandlingsåtgärd (Naturvårdsverket, 2013).

2.1 Aktörer i efterbehandlingsprocessen

Det är enligt 10. Kap § 2 i miljöbalken den som har bedrivit en verksamhet som förorenat ett område som bär ansvaret för att sanera (Miljödepartementet, 1997). Enligt § 4 är det den efterbehandlingsansvarige som skall finansiera eller utföra de åtgärder som krävs för att säkerställa att föroreningarna i marken inte utgör någon risk för människans hälsa och miljö. Ansvarets omfattning bestäms utifrån hur lång tid som gått sedan föroreningarna spreds.

Det är vanligt att den efterbehandlingsansvarige blir huvudman (Miljödepartementet, 1997). Huvudmannen kan jämföras med byggbranschens byggherre och kan vara en verksamhetsutövare, fastighetsägare eller en exploatör (Naturvårdsverket, 1997). Huvudmannen är ekonomiskt ansvarig för alla åtgärder. Det är den som beställer arbetet och ansvarar för anmälan till tillsynsmyndigheten. Huvudmannen beslutar om åtgärder, övergripande och mätbara mål samt åtgärdskrav (Naturvårdsverket, 2013). Om en sanering är nödvändig och ingen tar på sig ansvaret kan kommunen agera huvudman (Naturvårdsverket, 1997).

Huvudmannen delegerar arbetsuppgifter till en projektledare, som under huvudmannen står som ansvarig för projektet (Naturvårdsverket, 1997). Projektledarens ansvar består av bygglledning, projekteringsledning, juridik, miljökontroll, planering, ekonomi, information och administration.

Andra aktörer som vanligtvis deltar i efterbehandlingsprocessen är rådgivande myndigheter, forskare och konsulter (Naturvårdsverket, 2013). I vissa projekt, till exempel när åtgärderna kan påverka ett samhälle, deltar allmänheten i processen.

Om en efterbehandlingsåtgärd för ett förorenat markområde kan medföra risk för spridning eller exponering av föroreningar måste en anmälan till tillsynsmyndigheten göras (Miljödepartementet, 1998). Om tillsynsmyndigheten bedömer att en efterbehandlingsåtgärd medför risk för skada på miljön eller människans hälsa kan de ställa krav på hur efterbehandlingen skall utföras (Naturvårdsverket, 2013). Kraven kan handla om skyddsåtgärder eller begränsningar i efterbehandlingsåtgärden. När tillstånd om att vidta en efterbehandlingsåtgärd erhållits kan efterbehandlingsprocessen påbörjas.

2.2 Att välja efterbehandlingsåtgärd

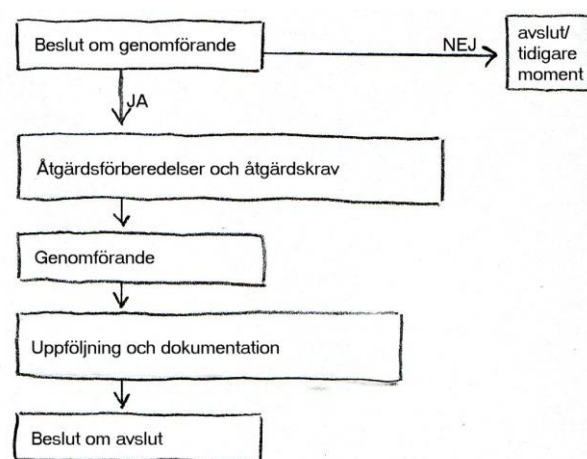
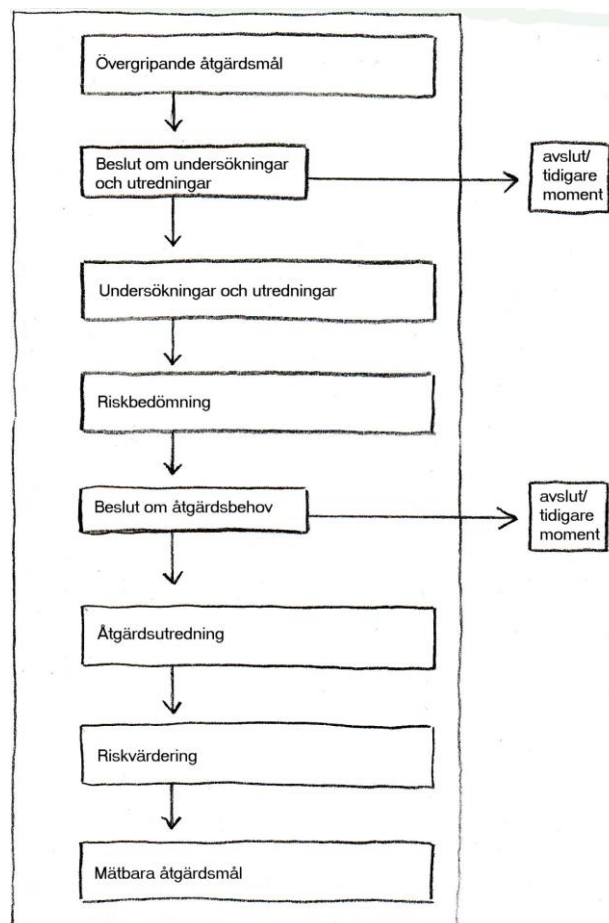
Valet av efterbehandlingsåtgärd består av flera moment vars omfattning ökar successivt genom processen (Naturvårdsverket, 2009a). Återkopplingar mellan de olika momenten sker kontinuerligt och det är vanligt att flera moment pågår parallellt. Det är viktigt att osäkerheter som förekommer vid respektive moment beaktas. De moment som ingår i processen för att välja efterbehandlingsåtgärd är, se Figur 2-1 för schematisk bild:

- Övergripande åtgärds mål
- Undersökningar och utredningar
- Riskbedömning
- Åtgärdsutredning
- Riskvärdering
- Åtgärdsförberedelser, mätbara åtgärds mål och genomförande
- Dokumentation och uppföljning

Hur omfattande processen i sin helhet bör vara avgörs av områdets storlek och komplexitet (Naturvårdsverket, 2009a). Den lämpligaste efterbehandlingsåtgärden är den som är mest miljömässigt, ekonomiskt och tekniskt motiverad.

2.2.1 Övergripande åtgärds mål

De övergripande åtgärds målen har till syfte att fastlägga vad som skall uppnås med en efterbehandlingsåtgärd (Naturvårdsverket, 2009a). Målen skall skildra vilken funktion eller användning ett område förväntas ha efter slutförd efterbehandling och vad för påverkan och störning som kan accepteras på området. De övergripande åtgärds målen kan exempelvis formuleras som riskreduktion, reduktion av förorening, reduktion av förorenings spridning, minskad exponering, skydd av naturresurser samt andra intressen (Naturvårdsverket, 2009a). För att det i slutskedet skall gå att avgöra om målen är uppfyllda är det viktigt att de övergripande åtgärds målen går att omvandla till mätbara åtgärds mål.



Figur 2-1 Schematisk bild över processen att välja och genomföra en efterbehandlingsåtgärd (Naturvårdsverket, 2009a).

2.2.2 Undersökningar och utredningar

För att få fram det underlag som krävs för att genomföra riskbedömningen, åtgärdsutredningen och riskvärderingen görs undersökningar och utredningar på det misstänkt förorenade området (Naturvårdsverket, 2009a). Underlaget bör bland annat omfatta uppgifter om föroreningssituation, markförhållanden, vattenförekomst och anläggningar på det aktuella området. Ju mer omfattande undersöknings- och utredningsfasen är desto säkrare blir bedömningar och värderingar i senare skeden.

2.2.3 Riskbedömning

Riskbedömningens syfte är att uppskatta det förorenade områdets belastning på omgivningen och därmed bedöma om området behöver åtgärdas eller ej (Naturvårdsverket, 2013).

I riskbedömningen uppskattas vilka miljö- och hälsorisker som ett förorenat område utgör idag och i framtiden (Naturvårdsverket, 2009b). Den behandlar hur mycket föroreningshalterna behöver reduceras för att nå acceptabla nivåer.

I riskbedömningen utvärderas resultat från utförda undersökningar och det konstateras huruvida området är förorenat eller inte. (Naturvårdsverket, 2013). Om uppmätta halter överskrider bakgrundshalterna eller ifall det finns andra faktorer som indikerar på förekomst av förorening bedöms området som förorenat. Om området behöver åtgärdas går utredningen vidare till nästa steg, åtgärdsutredningen.

2.2.4 Åtgärdsutredning

Med hjälp av resultaten från riskbedömningen formuleras ett flertal åtgärdsalternativ (Naturvårdsverket, 2013). I åtgärdsalternativen beskrivs vad som skall göras, på vilket sätt och med vilken utrustning. Varje alternativ beskriver förväntade effekter på miljö, hälsa, naturresurser och ekonomi, förväntade svårigheter och risker samt vilka säkerhetsåtgärder som bör vidtas.

I regel innehåller åtgärdsalternativen förutom olika teknikalternativ ett max- och ett nollalternativ (Naturvårdsverket, 2013). Maxalternativet innebär en maximal riskreduktion och nollalternativet innebär att ingenting görs. Dessa tas fram för att det lättare skall gå att jämföra de framtagna alternativen och sedan identifiera det lämpligaste. Ett åtgärdsalternativ kan bestå av en eller flera åtgärdsmetoder. Dessa metoder väljs utifrån vilka föroreningar som förekommer, vilka medier som är förorenade, föroreningarnas koncentration, egenskaper och tillgänglighet.

När alternativen har identifierats görs en jämförelse (Naturvårdsverket, 2013). De åtgärdsalternativ som inte uppfyller åtgärdsmålen, de som inte är genomförbara eller som inte ger ett acceptabelt resultat sällas bort. De kvarstående alternativen analyseras djupare utifrån kostnader, risker och störningar.

2.2.5 Riskvärdering

I riskvärderingen fortsätter arbetet med granskningen av åtgärdsalternativen för att urskilja det mest lämpliga (Naturvårdsverket, 2013). Vikt läggs bland annat på kostnadseffektivitet, berörda parter tillfredställelse och hållbar utveckling. Hänsyn kan även tas till osäkerheter, tidsperspektiv, estetiska och psykologiska faktorer.

För att kunna urskilja det lämpligaste åtgärdsalternativet värderas de utifrån urvalskriterier (Naturvårdsverket, 2013). Det är viktigt att urvalskriterierna är väldefinierade och att alla intressenter är överens om vilka kriterier som kommer att användas. När det lämpligaste alternativet tagits fram avslutas riskvärderingen och arbetet med att översätta åtgärdsalternativet till mätbara åtgärds mål tar vid. Om inget alternativ känns lämpligt kan det bli nödvändigt att omformulera något av de tidigare stegen och värderingsprocessen får då göras om.

Urvalskriterierna skall avspegla de olika åtgärdsalternativens för- och nackdelar och tillsammans utgöra en grund för värderingen av åtgärdsalternativen (Naturvårdsverket, 2013).

Då varje saneringsprojekt är unikt menar Naturvårdsverket att det är svårt att sätta upp fasta urvalskriterier som skall beaktas i alla åtgärdsutredningar (Naturvårdsverket, 2009a). Enligt naturvårdsverket skall dock urvalskriterierna oberoende av efterbehandlingsprojekt grundas på följande fem kategorier:

- Måluppfyllelse avseende riskreduktion för miljö- och hälsoriskerna
- Måluppfyllelse avseende skydd av naturresurser och övriga intressen
- Tekniska aspekter
- Ekonomiska aspekter
- Inverkan på allmänna och enskilda intressen, estetiska värden och psykologiska faktorer

I denna rapport blir främst kategorin *Måluppfyllelse avseende skydd av naturresurser* intressant då den berör sekundära effekter så som koldioxidutsläpp (Naturvårdsverket, 2013). Exempel på urvalskriterier i denna grupp är behov av transport, utsläpp av emissioner och uppfyllelse av miljömål. För att kunna avgöra vilket åtgärdsalternativ som är det bästa graderas alternativen utifrån varje urvalskriterium.

För att möjliggöra en jämförelse av åtgärdsalternativen sammanställs urvalskriterierna (Naturvårdsverket, 2013). En värdering av urvalskriteriernas vikt görs. Då det är individuellt vad varje intressent anser vara ett viktigt urvalskriterium är objektivitet svårt i värderingsarbetet. Utifrån sammanvägningen av urvalskriterierna tas ett beslut om vilket åtgärdsalternativ som är mest optimalt.

Att uppfylla ett miljömål kan bidra till att ett annat miljömål motarbetas (Naturvårdsverket, 2013). Detta är ofta fallet vid efterbehandling av förorenad mark. Att sanera ett område för att uppfylla målet *giftfri miljö* bidrar till koldioxidutsläpp som motverkar målet *frisk luft*. Vid val av åtgärdsalternativ görs avvägningar om vilka miljömål som är viktigast. Om riskminskningen blir betydande efter genomförd åtgärd går miljömålet *giftfri miljö* före de andra miljömålen

2.2.6 Åtgärdsförberedelser, mätbara åtgärds mål och genomförande

När efterbehandlingsåtgärden är vald krävs planering och projektering samt en eventuell tillståndsansökan om efterbehandling till tillsynsmyndigheten (Naturvårdsverket, 2013). Vid projekteringen bearbetas det underlag som tagits fram och åtgärdsalternativen omvandlas till mätbara åtgärds mål.

För att uppnå de mätbara åtgärds målen samt för att vägleda genomförandet av efterbehandlingsåtgärder formuleras åtgärds krav (Naturvårdsverket, 2013). Åtgärds kraven innehåller utförandekrav, funktionskrav, egenskapskrav samt hur oförutsedda händelser skall hanteras.

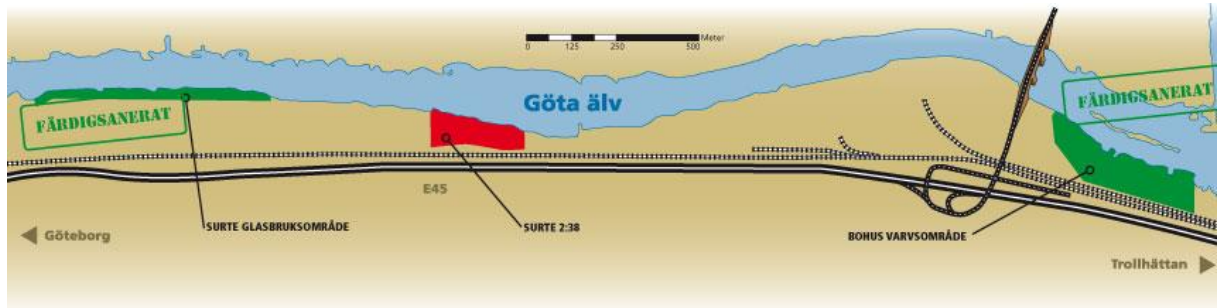
2.2.7 Dokumentation och uppföljning

För att informationen från saneringsprocessen skall finnas tillgänglig för andra utredningar eller intressenter är det viktigt att hela efterbehandlingsprocessen dokumenteras (Naturvårdsverket, 2013). En god dokumentation av saneringen gör att processen blir lätt att förstå även för personer som inte varit insatta i projektet.

Uppföljningen skall grundas i tekniska, naturvetenskapliga och ekonomiska aspekter (Naturvårdsverket, 2013). En uppföljning av de mätbara åtgärds målen samt en bedömning hur väl de övergripande åtgärds målen har uppfyllts görs.

3 Fallstudie Surte 2:38

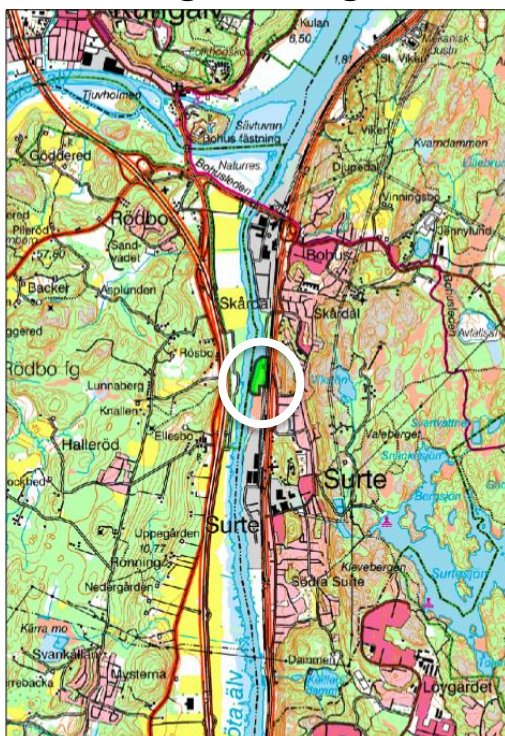
Utmed Göta älv pågår ett av Sveriges största saneringsprojekt (Ale kommun, 2011). Projektet omfattar områdena Surte glasbruk, Surte 2:38 och Bohus varv vilket visas i Figur 3-1. Surte 2:38 är det sista området som är kvar att sanera.



Figur 3-1. Översikt över de områden som ingår i Ale kommuns saneringsprojekt. Surte 2:38 är det markerade området i mitten (Ale kommun, 2011).

Saneringsarbetet i Surte 2:38 startade i mars 2011. I december 2012 avslutades schaktningen och projektet planeras att vara klart sommaren 2013¹. Saneringen är budgeterad till drygt 100 miljoner kronor där knappt 98 miljoner kronor erhöles från Naturvårdsverket och resterande bidrag erhöles från Ale kommun. Norconsult har genomfört projekteringen, NCC är entreprenör och COWI har ansvarat för miljökontroller (Ale kommun, 2012).

3.1 Geografiskt läge



Figur 3-2 Karta över Surte där markeringen anger saneringsområdet (Norconsult, 2009b).

Surte 2:38 ligger i Ale kommun, drygt en mil norr om Göteborg. Platsen utgörs av en 350 meter lång sträcka längs med Göta älvs östra strand, se Figur 3-2 (Norconsult, 2011). Mellan 1930- och 1960-talet användes platsen som utfyllnadsområde för restprodukter från varvsindustrin i Göteborg (SWECO VIAK, 2005). Metallsrot, oljerester och virke fraktades på pråmar mellan varvsindustrin och Surte. Även andra industrier utmed Göta älv har använt platsen som utfyllnadsområde (Norconsult, 2009a).

¹ E-postkontakt med Karin Blechingberg, Huvudman, Ale Kommun, 2013-02-14

Den södra delen av området är avsatt som naturmark och i den norra delen ligger en småbåtshamn (SWECO VIAK, 2005). Däremellan bedriver Surte motorbåtsklubb sin verksamhet (SWECO VIAK, 2007a). Efter avslutad sanering skall verksamheterna kunna fortgå som tidigare (SWECO VIAK, 2005).

3.2 Föroreningssituation

Utfyllnadsmassorna i Surte 2:38 innehöll höga halter av bly, koppar, kvicksilver, zink och kolväten (Norconsult, 2009a). Dessutom förekom dioxiner och polyklorerade bifenyler, PCB, i mindre halt. Föroreningshalten i fyllnadsmassorna var som högst längs med strandzonen och områdets centrala delar, från 0,5 till 2,5 meter under markytan. Volymen förorenade fyllnadsmassor bedömdes omfatta 63 000 kubikmeter och utgjordes främst av lera, sand och grus (SWECO VIAK, 2005). Vid genomförandet av entreprenaden visade det sig dock att massorna i en högre grad innefattade ett mycket heterogent industriavfall.

Spridningen av föroreningar skedde främst genom diffus spridning, skred och spridning av damm från ytligt belägna jordmassor (SWECO VIAK, 2007b). De risker som bedömdes vara störst och därmed varit dimensionerande för efterbehandlingen av området är påverkan vid ett eventuellt skred, samt den förmodade diffusa spridningen av metylkvicksilver (SWECO VIAK, 2005).

3.2.1 Diffus spridning

De processer som orsakar diffus spridning, det vill säga spontan materialtransport, är urlakning, spridning via grundvattnet och erosion (SWECO VIAK, 2007b).

Grundvattenprov och lakförsök utförda på jordprover från området visade att metallerna var hårt bundna till partiklar vilket medförde att urlakningen var låg till måttlig trots utfyllnadsmassornas höga metallhalter (SWECO VIAK, 2005). Denna låga spridning gällde under de förhållanden som rådde under utredningen. Ett undantag var dock kvicksilver som urlakades i högre grad och kan omvandlas till metylkvicksilver under anaeroba förhållanden.

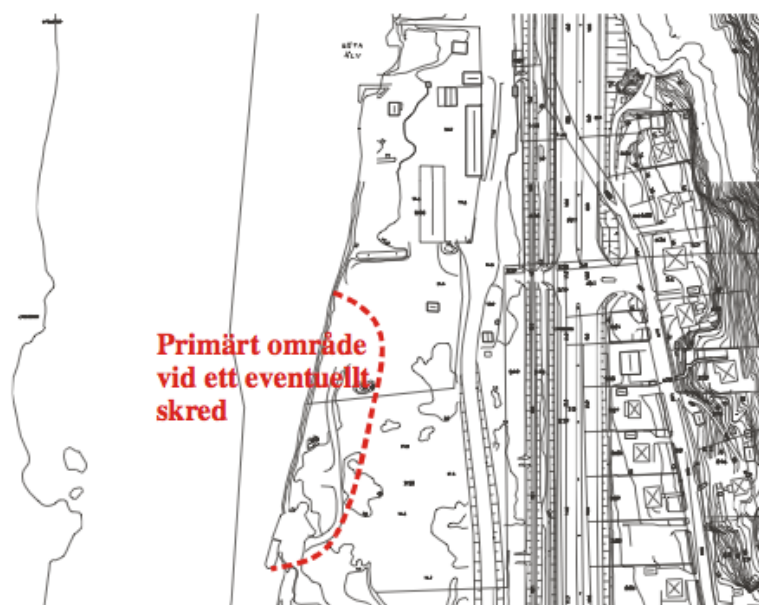
Då vattenståndet i Göta älv varierar förändras grundvattennivåerna i området närmast älven (SWECO VIAK, 2007b). Nivåförändringarna innebär att vatten strömmar in och ut ifrån det förorenade området. Denna strömning bidrar till urlakning av metaller samt partikelbunden transport ut i älven.

Erosion längs den 350 meter långa strandlinjen bidrar till spridning av metaller bundna till partiklar då en stor del av de förorenade massorna står i direkt kontakt med älven (SWECO VIAK, 2005). Erosion var i jämförelse med urlakning den dominerande orsaken till uttransport av metaller från området till Göta älv (SWECO VIAK, 2007b).

3.2.2 Skred

Den största spridningsrisken av förorenade massor ut i älven utgjordes av skred (Nosconsult, 2009b). Risken för skred utmed strandlinjen var stor då området till stor del innehöll lera (SWECO VIAK, 2007b). Ett skred på området skulle kunna ha sträckt sig 20-30 meter in i massorna längs 150 meter av strandlinjen. De förorenade massornas mäktighet i denna del av området var cirka två meter vilket innebär att cirka 9000 kubikmeter högförorenade utfyllnadsmassor skulle kunna ha berörts vid skred, se Figur 3-3.

Ett större skred skulle kunna ha påverkat ekosystemet invid området, ackumulationsbottnar i Göteborgs hamn och framförallt Göteborgs råvattenintag vid Alelyckan 10 kilometer nedströms (SWECO VIAK, 2007b). Göta älv försörjer som huvudvattentäkt 700 000 konsumenter med vatten vilket innebär att ett skred skulle kunna fått allvarliga konsekvenser.



Figur 3-3 Primärt område vid eventuellt skred i Surte 2:38 är markerat i figuren (SWECO VIAK, 2007b).

3.2.3 Spridning av olja

Fyllnadsmassorna i Surte 2:38 var även förorenade av oljerester innehållande alifatfraktioner (SWECO VIAK, 2007b). Oljans förekomst i fyllnadsmassorna var omfattande men då lösligheten hos de alifatiska kolvätena hade avtagit var spridningen begränsad (Norconsult, 2009a). Vid ett eventuellt skred var risken för spridning av olja stor (SWECO VIAK, 2007b). Om skredmassorna hade kommit i kontakt med vatten hade olja kunnat läcka ut och lägga sig som en hinna på vattenytan.

3.3 Övergripande åtgärds mål Surte 2:38

För att komma fram till ett åtgärdsalternativ formulerades fyra övergripande åtgärds mål vilka återfinns i Norconsults miljökontrollprogram:

1. Kvicksilver skall fasas ur biosfären och projektets målsättning är att kvicksilvermängderna inom saneringsområdet skall reduceras med minst 90 % (Norconsult , 2011).
2. Projektets målsättning är att även blymängden inom området skall reduceras med ca 90 %.
3. Det övergripande målet med saneringen är att marken skall kunna användas för de ändamål som gällande detaljplan anger, dvs. som industrimark i den norra delen och grönområde i söder.
4. Ett mycket viktigt, långsiktigt, åtgärds mål är att säkra skyddet av Göta älv och dricksvattenintaget nedströms området.

3.4 Efterbehandling av Surte 2:38

Den för platsen framtagna riskbedömningen utgjorde tillsammans med åtgärds målen 1, 2, 3 och 4 en grund för fem åtgärdsalternativ (SWECO VIAK, 2007b). Det åtgärdsalternativ som ansågs vara mest lämpligt var alternativ D, vilket innebar uppgrävning av område med kvicksilverförorening samt strandzon, stabilitets-/erosionsåtgärder, återfyllnad, se Figur 3-4 ².

Alternativ	Teknisk beskrivning	Riskreduktion, dimensionerande risker	Övriga konsekvenser	Måluppfyllelse (se sid 7)	Bedömd kostnad
A	Inga åtgärder	Ingen reduktion	Förorenade massor kvar, hänsyn krävs vid framtida markarbeten.	1) Nej! 2) Till stor del 3) Nej! 4) Till viss del	0 Mkr
B	Stabilitets-/erosionsåtgärder, restriktioner m a p markanvändning	Minskad skred- och erosionsrisk	Förorenade massor kvar, hänsyn krävs vid framtida markarbeten.	1) Delvis 2) Till stor del 3) Nej! 4) Till viss del	6 Mkr (5 – 7)
C	Uppgrävning av område med kvicksilverförorening, stabilitets-/erosionsåtgärder, återfyllnad med rena massor	Minskad skred- och erosionsrisk, minskad risk för diffust läckage	Hg-förorenade massor tas bort, även övriga metaller reduceras. Markmiljön skyddas. Länshälningsvatten.	1) Till stor del 2) Till stor del 3) Ja! 4) Till stor del	C1: 58 Mkr (50 – 65) C2: 80 Mkr (70 – 90)
D	Uppgrävning av område med kvicksilverförorening samt strandzon, stabilitets-/erosionsåtgärder, återfyllnad	Minskad skred- och erosionsrisk, minskad risk för diffust läckage	Hg-förorenade massor bort, även övriga metaller reduceras. Markmiljö och strandzon skyddas. Länshälningsvatten	1) Till mkt stor del 2) Till stor del 3) Ja! 4) Till stor del	D1: 68 Mkr (60 - 75) D2: 95 Mkr (85 – 105)
E	Uppgrävning av alla förorenade massor, återfyllnad, stabilitets-/erosionsåtgärder	I princip fullständig riskreduktion	Länshälningsvatten, omfattande transporter, damning och buller.	1) Ja! 2) Ja! 3) Ja! 4) Till stor del	E1: 100 Mkr (90 – 110) E2: 145 Mkr (130 – 160)

Figur 3-4 Åtgärdsalternativen för Surte 2:38. Kolumnen måluppfyllelse refererar till de övergripande åtgärds målen ovan (SWECO VIAK, 2005).

² E-postkontakt med Karin Blechingberg, Huvudman, Ale Kommun, 2013-02-14

I och med den rådande föroreningssituationen och närheten till Göta älv begränsades antalet åtgärdsalternativ (SWEKO VIAK, 2005). En kvalifikation för varje åtgärdsalternativ var att stabilisera området så att risken för skred till Göta älv skulle minimeras vid saneringsarbetet (Norconsult, 2009a). Det valda åtgärdsalternativet utformades enligt punkterna nedan:

- Tryckbank som stabilitetshöjande åtgärd
- Hydraulisk barriär för att förhindra vattenströmning
- Sänka grundvattenytan för att torrlägga området inför schaktning
- Schakta förorenad jord
- Frakta bort jorden för rening
- Återfylla området
- Återställa området

3.4.1 Tryckbank

Innan saneringen påbörjades var det nödvändigt att stabilisera området längs strandlinjen eftersom det under saneringen skulle bli påfrestat av maskiner och andra laster (Norconsult, 2009a). Stabiliseringen gjordes med hjälp av en tryckbank i form av stenkross.

3.4.2 Hydraulisk barriär och torrläggning av området

Då schaktning skulle ske i torr miljö behövde grundvattenytan sänkas (Norconsult, 2011). Att schaktningen utfördes i torrhet berodde på att majoriteten föroreningar i marken var partikelbundna. Genom att sänka grundvattenytan och rena vattnet i bassänger minskades risken för spridning av föroreningar. Dessutom blev schaktningsarbetet av stora vattenfyllda massor mindre. För att sänka grundvattenytan utan att påverka de omkringliggande områdena behövdes en hydraulisk barriär uppföras. Denna utgjordes av stålspons i älven och träspont övertäckt med gummiduk på land. (Norconsult, 2009a).

3.4.3 Schaktning och rening av fyllnadsmassor

Föroreningskoncentrationen i de ytnära jordlagren av fyllnadsmassorna understeg, på vissa ställen inom området, framtagna riktvärden gällande behov av rening (Norconsult, 2011). Då denna jord inte behövde renas schaktades den och lades på en upplagsplats för att sedan användas som återfyllnadsmaterial (Norconsult, 2009a). De massor som överskred riktvärdena för förorenad mark behandlades ex situ, det vill säga extern behandling, och fraktades med lastbilar till Ragn-Sells i Heljestorp utanför Vänersborg, där de renades (Norconsult, 2011). De behandlade massorna användes sedan i viss mån för återfyllnad på annat område eller deponerades (SWEKO VIAK, 2007b).

3.4.4 Hantering av förorenat länsvattnet

Då schaktning skulle ske i torrhet leddes länsvattnet, det vill säga det grundvatten som fanns på området samt det regnvatten som föll över området under saneringstiden, bort (SBUF, 2012). Anledningen till att länsvattnet behövde renas innan det leddes ut i Göta älv berodde på att det innehöll höga halter av föroreningar efter att ha genomströmmat området (Norconsult, 2009a).

3.4.5 Återställande av området

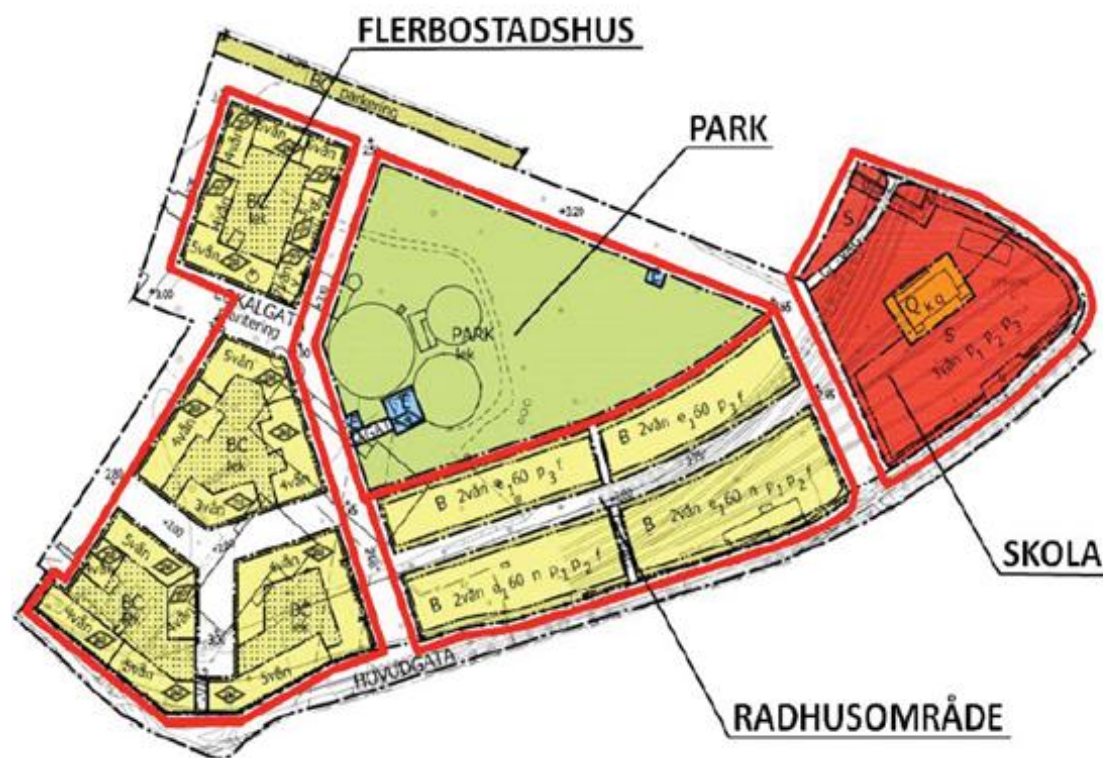
Återställande av området har i dagsläget genomförts. Initialt fanns en plan att återfylla området med bland annat de massor som mellanlagrats på området (Norconsult, 2009a). Dessa massor var inte tillräckliga vilket medförde att även externa massor skulle användas för återfyllning. Vid upphandlingen togs dock beslut om att alla förorenade massor skulle ersättas med godkända lermassor och lämpligt krossmaterial som översta bärlager.

4 Fallstudie Limhamns läge etapp 1

Limhamn är en stadsdel i Malmö Stad (SWECO Environment AB, 2011b). Det område som behandlas i denna fallstudie har benämningen Limhamns läge etapp 1 och avser en yta på 85 000 kvadratmeter. Inom området planerar NCC boende AB att uppföra radhus och flerbostadshus samt att anlägga ett parkområde och ett skolområde, se Figur 4-1.

Jordprover från området har visat på förekomst av föroreningar (SWECO Environment AB, 2011b). För att den planerade byggnationen skall kunna genomföras behövde området saneras. Saneringsarbetet genomfördes under perioden februari 2012 till juni 2012.

Framtagandet av en åtgärdsutredning har gjorts av SWECO Environment AB tillsammans med NCC Boende AB (SWECO Environment AB, 2011a). Riskbedömningen har utförts av SWECO Environment AB och miljökontoret i Malmö Stad agerar tillsynsmyndighet. Malmö stadskontor har stått för framtagandet av en detaljplan.



Figur 4-1 Planerad byggnation för Limhamns läge etapp 1 (SWECO Environment AB, 2011a).

4.1 Tidigare och nuvarande markanvändning

Limhamns läge etapp 1 bestod tidigare av ett industriområde med en cementdepå samt kontor (SWECO Environment AB, 2011a). Mellan 1890 och 1988 tillverkades cement på området. Delar av platsen har verkat som upplagsplats för utfyllnadsmassor bland annat innehållande massor från kalkbrytning och rivning. Andra aktiviteter såsom verkstad och laboratorieverksamhet, vilka bland annat bidragit till lagring och hantering av kisaska, elfilterdamm och petroleumprodukter, har också förekommit. Platsen har även använts som kolupplagsplats.

4.2 Geologiska förhållanden och grundvattenförhållanden

I områdets övre jordlager återfinns fyllnadsmassor bestående av restprodukter från Limhamns kalkbrott samt en mindre del rivningsmassor (SWECO Environment AB, 2011b). Utfyllnadsmassorna har en mäktighet på 2-4 meter och under fyllnadsmassorna följer en berggrund bestående av kalksten.

Områdets grundvattenyta ligger 2-2,5 meter under markytan (SWECO Environment AB, 2011b). På grund av Limhamns läge nära kusten påverkas grundvattennivån av havsnivån och varierar med hänsyn till denna.

4.3 Övergripande åtgärds mål Limhamns läge etapp 1

Syftet med den efterbehandlingsåtgärd som utförts i Limhamn beskrivs i de övergripande åtgärds målen (SWECO Environment AB, 2011b). Dessa har legat till grund för riskbedömningen, åtgärdsutredningen och riskvärderingen. Nedan följer de övergripande åtgärds målen för Limhamns läge etapp 1:

- Människor skall kunna vistas i och i närheten av området utan att utsättas för oacceptabla risker på grund av markföroreningar (SWECO Environment AB, 2011a). Speciellt skall området kunna rymma delområden för både bostäder, skola och parkområde.
- Markmiljön i området skall stödja nödvändiga markfunktioner.
- Föroreningssituationen inom området skall inte medföra några oacceptabla hälso- eller miljörisker utanför området.

4.4 Föroreningssituation

För att undersöka föroreningssituationen i Limhamns läge etapp 1 har jordprover analyserats och utvärderats (SWECO Environment AB, 2011a). Dessa visade att området var förorenat av tungmetaller så som arsenik, bly, koppar, zink, kobolt och antimon samt en låg halt av kolväten. De högsta halterna av tungmetaller och kolväten påträffades i de ytliga jordlagren och avtog med ökat djup. Dock återfanns de båda föroreningstyperna i alla jordlager.

I bedömningen av huruvida halten av förekommande ämnen var skadlig för människans hälsa och miljö togs hänsyn till Naturvårdsverkets generella riktvärden (SWECO Environment AB, 2011b). Riktvärdena utgår från tre typer av markanvändningar: KM - känslig markanvändning, MKM - mindre känslig markanvändning samt FA - farligt avfall. De ämnen som påträffades i halter högre eller nära känslig markanvändning återfinns i tabell Figur 4-2.

Ämnesgrupp	Analysparameter
Metaller och arsenik	Antimon Arsenik Barium Bly Kadmium Kobolt Koppar Krom Kviksilver Nickel Vanadin Zink
Alifatiska kolväten	Alifater >C5-C8 ¹ Alifater >C10-C12 ¹ Alifater >C12-C16 Summa alifater >C5-C16 Alifater >C16-C35
Aromatiska kolväten	Aromater >C10-C16 Aromater >C16-C35 Bensen
Polyaromatiska kolväten²	PAH-L PAH-M PAH-H

Figur 4-2 Ämnen som förkom i halter högre eller nära känslig markanvändning (SWEKO Environment AB, 2011b).

Platsspecifika riktvärden sattes upp för de ämnen som fanns i högre halter än de generella riktvärdena för känslig markanvändning (SWEKO Environment AB, 2011a). Värdena sattes upp utifrån den framtida markanvändningen och därmed utifrån den exponeringsrisk som förekom på respektive område. Eftersom radhus-, flerbostadshus- och parkområdet i Limhamn hade skilda exponeringsvägar sattes olika platsspecifika riktvärdena upp. Varje område djupindelades, så att de ytliga jordlagren, från 0 till 1,5 meter, fick ett riktvärde och djupare jordlager fick ett annat (SWEKO Environment AB, 2011a).

4.5 Spridningsvägar

Föroreningar i jorden kan förkomma i fyra faser ovanför grundvattenytan: gas i jordens porer, bundna till jordpartiklar, lösta i vatten och i koncentrerad form i jordens porer (SWEKO Environment AB, 2011b). Under grundvattenytan är jordens porer mättade vilket medför att föroreningar belägna där endast kan förekomma som de tre sistnämnda faserna (SWEKO Environment AB, 2011b). I vilken fas ett ämne befinner sig i ligger till grund för hur ämnet sprids och vilka exponeringsvägar som finns.

Föroreningarna kan spridas via grundvattnet och därmed föras vidare till närliggande ytvattenrecipient (SWECO Environment AB, 2011b). Dammarna vid Limhamns kalkbrott blir potentiella mottagare. Jordens föroreningar kan spridas in i byggnader genom förångning (SWECO Environment AB, 2011b). Omfattningen av denna spridning beror på ämnens egenskaper samt de geologiska egenskaperna.

4.6 Exponeringsvägar

Förekomsten av föroreningar medför en exponeringsrisk för människa, mark, vatten och natur (SWECO Environment AB, 2011b). Uppförandet av radhus, flerbostadshus, skola och parkområde innebär att människor dagligen kommer att vistas på området.

Människor i Limhamn kan exponeras för föroreningar genom intag av jord, damm och odlade växter samt inandning av ånga (SWECO Environment AB, 2011b). Hudkontakt med damm och jord utgör också en risk. Grundvattnet bedöms inte utgöra någon risk då detta är påverkat av saltvatteninträngning och därmed inte är aktuellt för dricksvattenuttag.

4.7 Åtgärdsalternativ

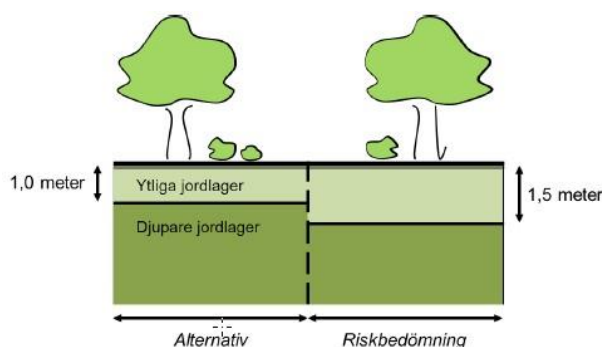
Inför saneringsarbetet i Limhamn togs nio åtgärdsalternativ fram (SWECO Environment AB, 2011a). Vid framtagandet förutsattes att förorenade massor skulle schaktas och därefter omhändertas både lokalt och externt. På grund av att förutsättningarna för in situ-behandling, det vill säga behandling på plats, var dåliga och tidskrävande bedömdes detta inte vara någon tillämpbar metod i Limhamn. I denna rapport kommer åtgärdsalternativ 1, 5 och 9 att redovisas där alternativ 9 delas upp i 9a och 9b. Det alternativ som realiserats i Limhamn är 9b³.

Åtgärdsalternativ 1 är ett referensalternativ som följer riskbedömningens förutsättningar (SWECO Environment AB, 2011a). I resterande alternativ har förutsättningarna förändrats med hänsyn till följande faktorer:

- **Ändrad djupindelning**

I riskbedömningen användes djupintervallet 0-1,5 meter för de ytliga jordlagren och djupare än 1,5 meter för de djupa jordlagren (SWECO Environment AB, 2011a). I vissa åtgärdsalternativ ändrades förutsättningarna för djupindelningen till 0-1,0 meter för de ytliga jordlagren och djupare än 1,0 meter för de djupa jordlagren, se Figur 4-3.

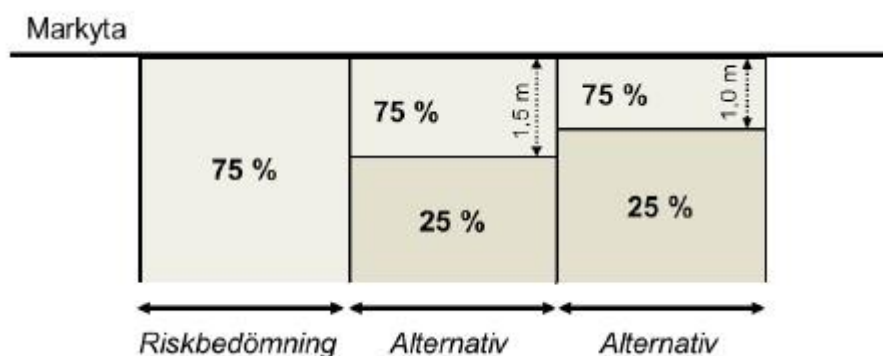
³ E-postkontakt med Malin Norin, Teknisk specialist, NCC teknik Göteborg, 2013-03-07



Figur 4-3 Valda djupnivåer vid djupindelningen (SWECO Environment AB, 2011a).

- **Reducerat markmiljöskydd för djupare jordlager**

Markmiljön skall skyddas så att ekosystemets funktioner kan upprätthållas (SWECO Environment AB, 2011a). I riskbedömningen förutsattes enligt Naturvårdsverkets generella riktvärden för känslig markanvändning, skyddsnivån 75 %. Denna skyddsnivå gällde både i de ytliga och de djupa jordlagren. Då markmiljöns skyddsbehov uppskattades vara lägre i de djupare jordlagren fick vissa alternativ en reducerad skyddsnivå i de djupare jordlagren. Skyddsnivån för de djupare jordlagren valdes då till 25 %, se Figur 4-4.



Figur 4-4 Skyddsnivåer vid olika djup och alternativ (SWECO Environment AB, 2011a).

- **Byggnader säkrade mot ånginträngning**

Inom stora delar av området förekom låga halter av ämnen i gasform (SWECO Environment AB, 2011a). Då det fanns en risk att dessa ämnen skulle tränga upp genom jordlagren och in i byggnader kunde olika byggnadstekniska skyddsåtgärder vidtas.

- **Återfyllnad utifrån framtida marknivåer**

I samband med byggnationen på området kommer marknivån att behöva höjas mellan 0,5-1,5 meter (SWECO Environment AB, 2011a). Detta med hänsyn till en framtida havsnivåhöjning. Riskvärderingen utgick från den nuvarande marknivån och vissa alternativ utgick från den framtida marknivån.

I Figur 4-5 beskrivs förutsättningarna för åtgärdsalternativen.

FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ÅTGÄRDSALTERNATIIV										
Åtgärdsalternativ		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Åtgärder	Jord	Schaktsanering och externt omhändertagande av massor som överskrider åtgärdsmålen								
	Gas ¹	Nej			Ja		Nej	Ja	Nej	Ja
Djupindelning ²		1,5 m	1,0 m				1,5 m			
Djupindelning och skyddsnivå för markmiljö		75 % oavsett djup		0-1,0 m: 75 % >1,0 m: 25 % ³			75 % oavsett djup		0-1,5 m: 75 % >1,5 m: 25 % ³	
Referensnivå för sanering		Nuvarande markyta				Framtida markyta				

¹ Avser tekniska skyddsåtgärder mot ånginträngning i byggnader

² Djupindelning avser följande djupnivåer: 0-1,0 m och >1,0 m respektive 0-1,5 m och >1,5 m

³ Lägsta medelskyddsnivå

Figur 4-5 De utredda åtgärdsalternativen och dess förutsättningar. De åtgärdsalternativ som behandlas i denna rapport är markerade med en cirkel (SWECO Environment AB, 2011a).

4.7.1 Alternativ 1

Åtgärdsalternativ 1 innefattar hantering av störst jordvolym samt störst föroreningsreduktion (SWECO Environment AB, 2011a). Volymen jordmassor som schaktas är 70 100 kubikmeter och den totala mängden föroreningar som schaktas är 13 540 kilogram.

Då åtgärdsalternativ 1 följer riskbedömningens förutsättningar har alternativet högt markmiljöskydd i hela jordprofilen och djupindelningen ligger vid 1,5 meter under markytan (SWECO Environment AB, 2011a). Referensnivån för saneringen utgår från den nuvarande markytan och byggnaderna har inte säkrats mot ånginträngning.

4.7.2 Alternativ 5

Åtgärdsalternativ 5 innefattar hantering av minst jordvolym och är därmed det alternativ som leder till lägst föroreningsreduktion (SWECO Environment AB, 2011a). Volymen jordmassor som schaktas är 29 100 kubikmeter och den totala mängden föroreningar som schaktas är 9 100 kilogram.

Det som skiljer alternativ 5 från referensalternativet är djupindelningen som ligger vid 1,0 meter, referensnivån för saneringen som utgår från den framtida markytan, en reducering av markmiljöskyddet till 25 % i de djupare jordlagren och att byggnaderna har säkrats mot ånginträngning (SWECO Environment AB, 2011a).

4.7.3 Alternativ 9

I åtgärdsalternativ 9 hanteras mindre jordvolym än i alternativ 1 och större volym än i alternativ 5 (SWECO Environment AB, 2011a). Reduktionen av föroreningar förhåller sig på samma sätt. Volymen jordmassor som schaktas är 42 100 kubikmeter och den totala mängden föroreningar som schaktas är 10 790 kilogram.

Alternativ 9 skiljer sig från referensalternativet genom att referensnivån för sanering utgår från den framtida markytan, markmiljöskyddet har reducerats till 25 % i de djupare jordlagren samt att byggnaderna har säkrats mot ånginträngning (SWECO Environment AB, 2011a).

Uppdelning av alternativ 9

Åtgärdsalternativ 9 delades efter åtgärdsutredningens avslut upp i alternativen 9a och 9b. Alternativ 9a motsvarar alternativ 9 i åtgärdsutredningen men i 9b lades metoden siktning till i utförandet. Alternativ 9b är det alternativ som realiserades.

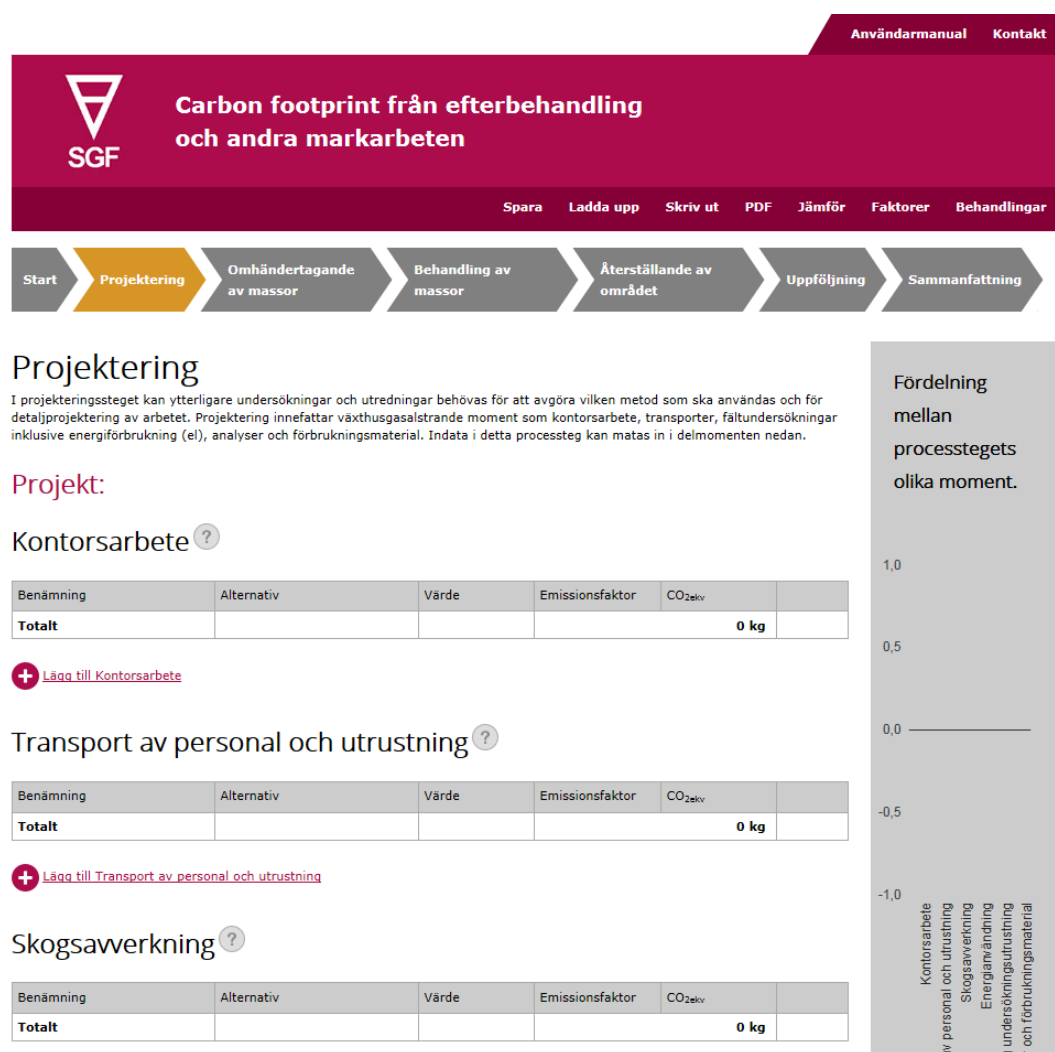
Siktning utfördes på de massor som klassats som icke farligt avfall, MKM-FA, och delades upp i finfraktioner, mellanfraktioner och grovfraktioner (NCC Boende AB, 2012a). Då koncentrationen föroreningar var som störst i finfraktionerna sorterades dessa bort (Broms, 2010). De grova fraktionerna bedömdes som rena och återanvändes. Därmed minskade den totala transporten av massor (SWECO VIAK, 2007b).

5 Introduktion till beräkningsprogrammet

I denna rapport beräknas koldioxidutsläpp med hjälp av beräkningsprogrammet, *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten*, framtaget av Svenska Geotekniska Föreningen (SGF, 2012a).

Beräkningsprogrammet har tagits fram som ett verktyg för att möjliggöra beräkning av koldioxidutsläpp från efterbehandling av förorenad mark samt jämföra kvantiteten av dessa utsläpp för olika efterbehandlingsalternativ (SGF, 2012a).

Beräkningsprogrammets syfte är att möjliggöra ett klimatsmart val av efterbehandlingsåtgärd. Vid framtagandet av verktyget har saneringsarbeten, där livscykelanalyser genomförts, studerats. Genom dessa studier har de processer som bidrar mest till klimatpåverkan identifierats (SBUF, 2012). Studierna har legat till grund för processteg som i sin tur är innefattar poster. Programmets processteg är: *start, projektering, omhändertagande av massor, behandling av massor, återställande av området, uppföljning och sammanfattning*, se Figur 5-1. Beskrivningen av processtegen baseras på Svenska Geotekniska Föreningens användarhanledning (SGF, 2012a).



Figur 5-1 Figuren visar hur programmet är utformat. Pilarna åskådliggör processtegen (SGF, 2012b).

5.1 Start

Information om området så som storlek, län, kommun, typ av jord och aktuella åtgärdsalternativ matas in i programmets startsida. Viss indata är länkad till övriga steg i programmet.

5.2 Projektering

Momenten som i projekteringsfasen resulterar i koldioxidutsläpp är kontorsarbete, transport av personal och utrustning, skogsavverkning, energianvändning, övrig undersökningsutrustning samt kemiska analyser och förbrukningsmaterial.

5.3 Omhändertagande av massor

De poster som kan ifyllas i detta processteg är kontorsarbete, transport av personal och utrustning, schakt och transport av massor, skogsavverkning, energianvändning, övrig undersökningsutrustning samt kemiska analyser och förbrukningsmaterial.

5.4 Behandling av massor

I programmet kan sju behandlingsmetoder väljas, se figur 5-3. Hur stora utsläpp behandlingen för ett ton massor resulterar i baseras på tidigare genomförda projekt. Det går även att göra ändringar i dessa schablonvärden.

Projekt:

Kontorsarbete ?

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO ₂ ekv
Totalt				

+ Lägg till Kontorsarbete

Behandling ?

Benämning	Värde
Totalt	

+ Lägg till Behandling

Behandling Stäng fönster ✕

Benämning *

Faktor

Barriärer (ton) ▼

Barriärer (ton)
Deponi (ton)
Egen behandling (ton)
In-situ Air-Sparging (ton)
In-situ Biologisk Aerob nedbrytning (ton)
In-situ Biologisk Anaerob nedbrytning (ton)
In-situ Kemisk oxidation (ton)
In-situ Vakuumextraktion (ton)
Jordtvätt (ton)
Off-site Biologisk nedbrytning (ton)
Off-site förbränning (ton)
On-site Biologisk nedbrytning (ton)
Övertäckning (ton)
Stabilisering (ton)
Termisk desorption (ton)

Figur 5-2- Behandlingsmetoder som kan väljas i processteget *behandling av massor* (SGF, 2012c).

5.5 Återställande av området

Återställande av området består av posterna kontorsarbete, transporter av personal och utrustning, schakt och transport av massor, återfyllning, fyllnadsmaterial, övrig entreprenadverksamhet, energianvändning samt kemiska analyser och förbrukningsmaterial.

5.6 Uppföljning

Uppföljningen består av posterna kontorsarbete, transporter av personal och utrustning, energianvändning, övrig undersöknings utrustning samt kemiska analyser och förbrukningsmaterial.

5.7 Sammanfattning

Resultatet sammanfattas för att ge en överblick över hur mycket koldioxidemissioner som släpps ut vid varje processteg. Koldioxidutsläppen redovisas som ett totalt utsläpp, utsläpp per jordmängd och utsläpp per area, se Figur 5-3. Varje genomförd beräkning behandlar ett åtgärdsalternativ men två åtgärdsalternativ kan jämföras i programmet.



Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten

SparaLadda uppSkriv utPDFJämförFaktorerBehandlingar

StartProjekteringOmhändertagande av massorBehandling av massorÅterställande av områdetUppföljningSammanfattning

Sammanfattning av beräkning av totala växthusgasutsläpp (CO₂ekv)

Projektnamn

Län

Kommun

Fastighetsbeteckning

Delområde

Beräkning utförd av (namn)

Företag/Organisation

Datum

Åtgärdsalternativ nr/benämning

Information om objektet

Area (m²)

Volym jord (m³)

Medeldensitet (g/cm³)

Massa (ton)

0	
0	
0	
0	

Totala utsläpp av CO₂ekv

Totalt

per jordmängd

per area

ton CO ₂ ekv
0 kg
CO ₂ ekv/m ³
0 kg
CO ₂ ekv/m ²

Fördelning mellan processtegen

Totalt

0 kg CO₂ekv

(För musen över de olika delarna för mer information)

Figur 5-3 I programmets sista processteg redovisas en sammanfattning av koldioxidutsläppen (SGF, 2012d).

6 Resultat

I detta kapitel redovisas resultaten från beräkningarna för Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1. En utvärdering av programmet görs med avseende på användarvänlighet, tillgänglighet av indata, möjligheten att jämföra olika beräkningar samt support. Följande problemställningar besvaras:

- Hur stora utsläpp av koldioxidekvivalenter har efterbehandlingsarbetet i Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1 gett upphov till?
- Vilket av åtgärdsalternativen i Limhamns läge etapp 1 ger upphov till störst utsläpp av koldioxidekvivalenter och hur stort är utsläppet?
- Vilka poster bidrar till störst koldioxidutsläpp vid en efterbehandlingsprocess?
- Är beräkningsprogrammet användarvänligt?

I Bilaga 1 återfinns sammanställningar av respektive programberäkning.

6.1 Surte 2:38

För att beräkna koldioxidutsläppen vid saneringsarbetet i Surte 2:38 används verktyget *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten*. Beräkningen i programmet har genomförts med data erhållen från NCC och COWI. Tabell 1 visar en sammanställning av indata för programberäkningen i Surte 2:38.

Tabell 1 Sammanställning av indata till programmet för Surte 2:38.

Post	Indata
Transport av personal	372 898 km
Transport av massor	401 380 km
Energianvändning	591 499 kWh
Grävmaskintimmar	7 384 h
Geotextilduk	10 000 m ²
Deponering	74 390 ton
Transportsträcka återfyllnad lera	87 588 km
Transportsträcka återfyllnad stenkross	6 660 km
Transportsträcka återfyllnad jord	1 280 km

6.1.1 Avgränsningar och antaganden

Datainsamlingen utförd av NCC och COWI möjliggjordes med hjälp av bidrag från Naturvårdsverket. Under projekteringen hade bidrag ännu inte erhållits. Därför har ingen information samlats in till detta steg. De processteg som behandlats med hjälp av erhållen indata är *omhändertagande av massor*, *behandling av massor* och *återställande av område*. De poster där data erhållits har fyllts i. Eftersom saneringsprojektet fortfarande pågår finns ännu inga data kring beräkningssteget *uppföljning*.

Stor del av indata från NCC och COWI har erhållits som ett totalt värde och är därför inte möjlig att redovisa uppdelad i de olika beräkningsstegen. Därför gjordes valet att redovisa störst del av indata i steget *omhändertagande av massor*. Undantag gjordes gällande indata kring steget *återställande av området* då dessa data erhöles separat.

För att poster skall kunna ifyllas har erhållen indata anpassats och vissa antaganden har gjorts. Antaganden som gjorts gäller bland annat de schaktade massornas och återfyllnadsmassornas tunghet, fordonstyp gällande transporter av personal, massor och utrustning samt dess kapacitet och vikt. Ett annat antagande som gjorts är att all jord som schaktats upp har deponerats direkt. För mer utförlig beskrivning av antaganden och beräkning av indata se Bilaga 2.

6.1.2 Koldioxidutsläpp i Surte 2:38

Utsläppen i samband med saneringen av Surte 2:38 blev enligt beräkningar:

- Totala utsläpp av koldioxidekvivalenter: 1 229 ton CO_{2ekv}
- Utsläpp av koldioxid per jordmängd: 28 kg CO_{2ekv}/m³
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per area: 64 kg CO_{2ekv}/m²

Fördelning av utsläppsmängden mellan stegen i processen blev enligt beräkningar:

- Projektering: 0 %
- Omhändertagande av massor: 79 %
- Behandling av massor: 12 %
- Återställande av området: 9 %
- Uppföljning: 0 %

I Figur 6-1 redovisas en sammanfattning av koldioxidutsläpp och i Figur 6-2 redovisas en fördelning mellan processteg och poster.

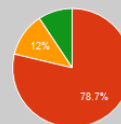
Sammanfattning av beräkning av totala växthusgasutsläpp (CO₂ekv)

Projektnamn	Surte 2:38
Län	Västra Götaland
Kommun	Ale kommun
Fastighetsbeteckning	
Delområde	
Beräkning utförd av (namn)	Brycke, Dahlström, Haag och Hammarberg
Företag/Organisation	Chalmers Tekniska Högskola
Datum	20130315
Åtgärdsalternativ nr/benämning	Alternativ D
Information om objektet	
Area (m ²)	19 000
Volym jord (m ³)	43 000
Medeldensitet (g/cm ³)	1,73
Massa (ton)	74 390

Totala utsläpp av CO₂ekv

Totalt	1 229,2 ton CO ₂ ekv
per jordmängd	28 kg CO ₂ ekv/m ³
per area	64 kg CO ₂ ekv/m ²

Fördelning mellan processtegen



(För musen över de olika delarna för mer information)

Totalt

1 229,25 ton CO₂ekv

Figur 6-1 Resultat över koldioxidutsläpp från programberäkningar i Surte 2:38 (SGF, 2012d).

1. Projektering	CO ₂ ekv
Totalt	0 kg

2. Omhändertagande av massor	CO ₂ ekv
Transport av personal och utrustning	46,61 ton
Schakt och transport av massor	481,66 ton
Energianvändning	5 914,99 kg
Övrig undersökningsutrustning	415,47 ton
Kemiska analyser och förbrukningsmaterial	18 ton
Totalt	967,65 ton

3. Behandling av massor	CO ₂ ekv
Behandling	146,96 ton
Totalt	146,96 ton

4. Återställande av området	CO ₂ ekv
Schakt och transport av massor	114,63 ton
Totalt	114,63 ton

5. Uppföljning	CO ₂ ekv
Totalt	0 kg

Figur 6-2 Fördelning av koldioxidutsläpp mellan processtegen och posterna i varje processteg (SGF, 2012d).

6.2 Limhamns läge etapp 1

Beräkningarna för åtgärdsalternativen 1, 5, 9a och 9b samt den utförda saneringen har genomförts med verktyget *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten*. Indata från Limhamn har erhållits genom den åtgärdsutredning och de två slutrapporter som NCC Boende AB gjort på området. Information från den utförda saneringen har tillhandahållits genom kontakt med Malin Norin på NCC. För indata som inte har erhållits har antaganden och beräkningar gjorts. Erhållen indata samt antaganden redovisas i Bilaga 3. Tabell 2 visar en sammanställning av indata för programberäkningarna i Limhamns läge etapp 1.

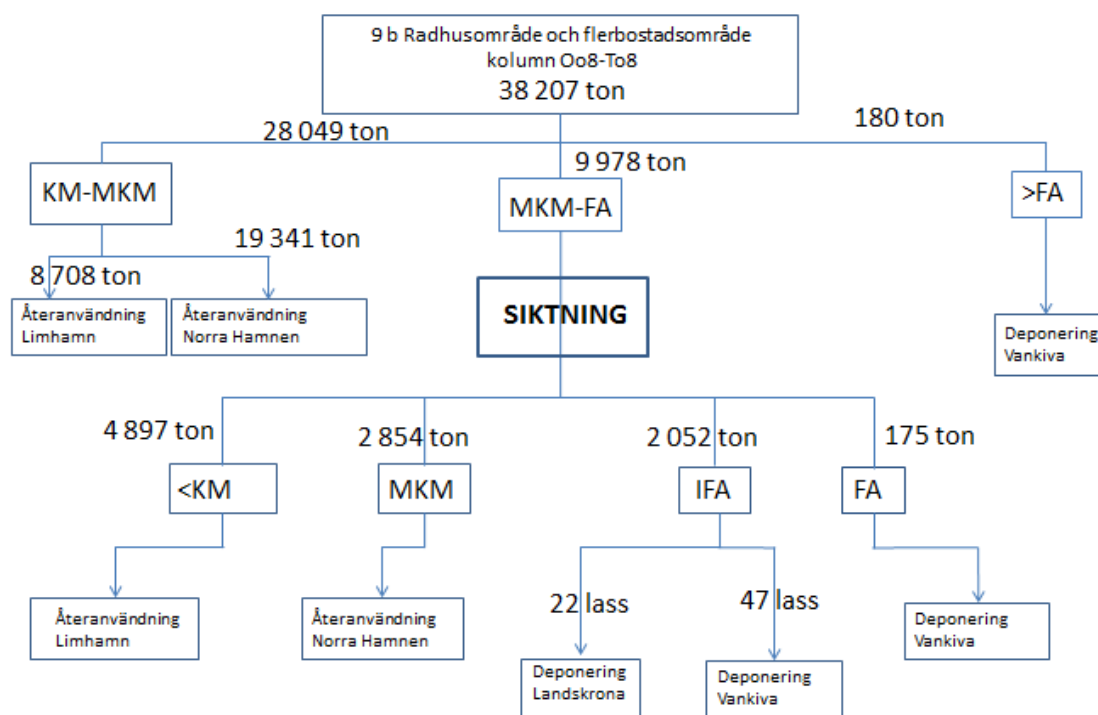
Tabell 2 Sammanställning av indata till programmet för Limhamns läge etapp 1.

	Transport- sträcka	Grävmaskin	Dumper	Hjul- lastare	Deponering	Återfyllnads- massor
Alternativ 1	115 548 km	1 060 * 2 h	0 h	350 h	41 580 ton	110 052 km
Alternativ 5	53 928 km	439 * 2 h	0 h	350 h	25 380 ton	11 652 km
Alternativ 9a	74 368 km	637 * 2 h	0 h	350 h	28 980 ton	42 852 km
Alternativ 9b	49 492 km	637 * 2 h	637 h	1 274 h	8 919 ton	0 km
Alternativ 9b realiserat	96 239 km	700 * 2 h	700 h	1 400 h	10 776 ton	0 km

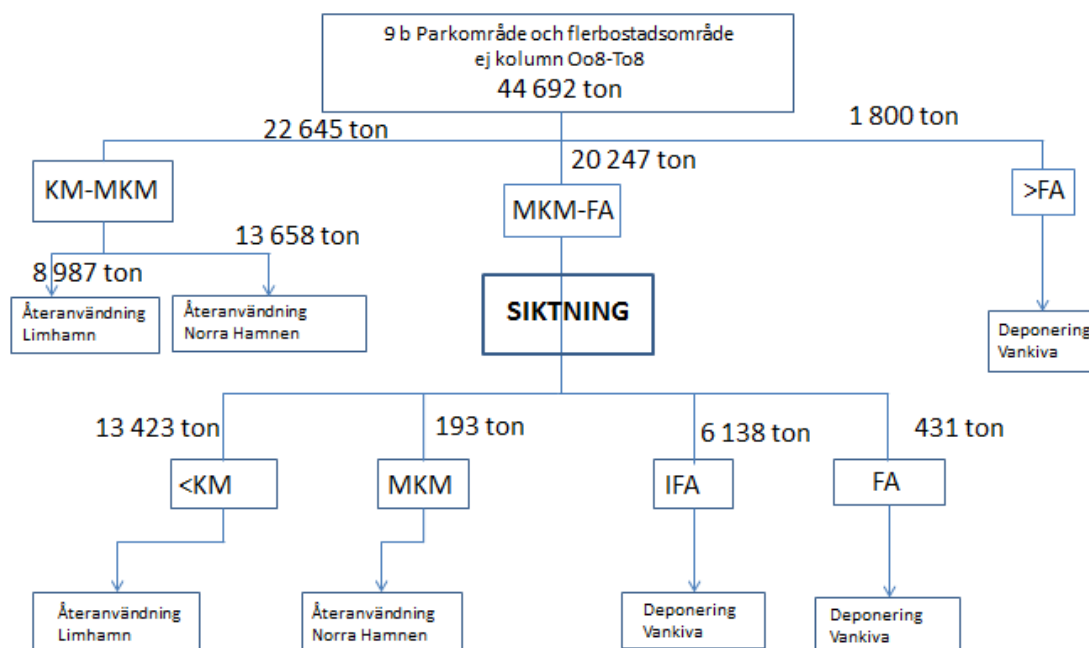
För att se fördelningen av de schaktade massorna, hur dessa klassats och vart de transporterats redovisas för vardera åtgärdsalternativ en schematisk bild, se Figur 6-3, 6-4, 6-7, 6-8, 6-9 och 6-11.

6.2.1 Beräkning av koldioxidutsläpp för utfört saneringsarbete

Indata för utfört saneringsarbete har erhållits i två slutrapporter. I slutrapporterna har Limhamns läge etapp 1 delats upp i de två delområdena *Radhusområdet och flerbostadsområdet*, kolumn Oo8-To8 och *Parkområdet och flerbostadsområdet*, ej kolumn Oo8-To8 (NCC Boende AB, 2012a). I och med uppdelningen av slutrapporterna redovisas de schaktade massorna i två figurer, Figur 6-3 och Figur 6-4.



Figur 6-3 Massfördelning och transportväg för utförd sanering delområde ett (NCC Boende AB, 2012a).



Figur 6-4 Massfördelning och transportväg för utförd sanering delområde två (NCC Boende AB, 2012b).

För beräkning av transportsträckor och övrig indata till programmet gällande maskintimmar, deponering och återfyllnadsmassor se Bilaga 3.

Koldioxidutsläppet i samband med utfört saneringsarbete i Limhamn blev enligt beräkningar:

- Totala utsläpp av koldioxidekvivalenter: 292 ton CO_{2ekv}
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per jordmängd: 6 kg CO_{2ekv}/m³
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per area: 3 kg CO_{2ekv}/m²

Fördelning av utsläppsmängden mellan stegen i processen blev enligt beräkningar:

- Projektering: 0 %
- Omhändertagande av massor: 61 %
- Behandling av massor: 7 %
- Återställande av området: 32 %
- Uppföljning: 0 %

I Figur 6-5 redovisas en sammanfattning av koldioxidutsläpp och i Figur 6-6 redovisas en fördelning mellan processteg och poster.

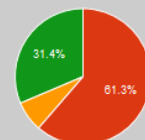
Sammanfattning av beräkning av totala växthusgasutsläpp (CO_{2ekv})

Projektnamn	Limhamn
Län	Skåne
Kommun	Malmö Stad
Fastighetsbeteckning	
Delområde	
Beräkning utförd av (namn)	Brycke, Dahlström, Haag och Hammarberg
Företag/Organisation	Chalmers Tekniska Högskola
Datum	20130503
Åtgärdsalternativ nr/benämning	Åtgärdsalternativ 9b realiserat
Information om objektet	
Area (m²)	85 000
Volym jord (m³)	46 055
Medeldensitet (g/cm³)	1,80
Massa (ton)	82 899

Totala utsläpp av CO_{2ekv}

Totalt	292,3 ton CO _{2ekv}
per jordmängd	6 kg CO _{2ekv} /m ³
per area	3 kg CO _{2ekv} /m ²

Fördelning mellan processtegen



(För musen över de olika delarna för mer information)

Totalt

292,39 ton CO_{2ekv}

Figur 6-5 Resultat över koldioxidutsläpp från programberäkningar i Limhamns läge etapp 1 (SGF, 2012d).

1. Projektering	CO₂ekv
Totalt	0 kg

2. Omhändertagande av massor	CO₂ekv
Schakt och transport av massor	115,49 ton
Övrig undersökningsutrustning	63,89 ton
Totalt	179,38 ton

3. Behandling av massor	CO₂ekv
Behandling	21,29 ton
Totalt	21,29 ton

4. Återställande av området	CO₂ekv
Återfyllning	91,73 ton
Totalt	91,73 ton

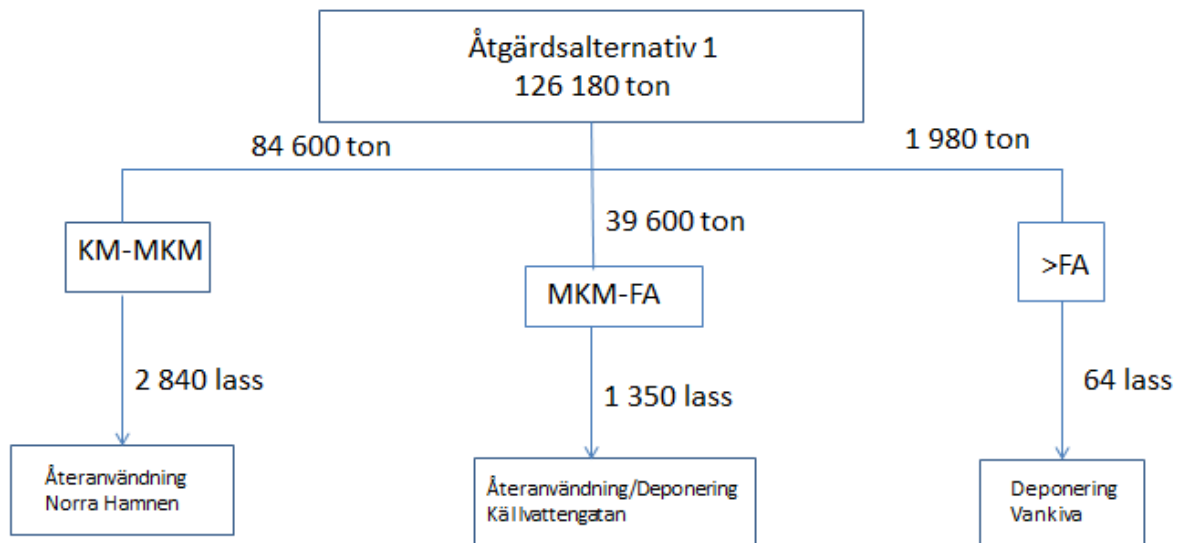
5. Uppföljning	CO₂ekv
Totalt	0 kg

Figur 6-6 Fördelning av koldioxidutsläpp mellan processtegen och posterna i varje processteg (SGF, 2012d).

6.2.2 Beräkning av koldioxidutsläpp för alternativ i åtgärdsutredning

För att undersöka huruvida koldioxidutsläpp kan ligga till grund för val av åtgärdsalternativ görs en jämförelse mellan åtgärdsalternativen. Beräkningar av transportsträckor för schaktade massor för åtgärdsalternativen 1, 5 och 9a har möjliggjorts med information från åtgärdsutredningen. Schematiska bilder utifrån data från åtgärdsutredningen redovisar respektive åtgärdsalternativs massfördelning och transportväg. Åtgärdsalternativ 9b har inte utretts i åtgärdsutredningen. Därför har antaganden gjorts om hur detta alternativ troligen skulle sett ut om det hade utretts i en åtgärdsutredning. Hur dessa antaganden gjorts beskrivs mer ingående i avsnitt Åtgärdsalternativ 9b.

Åtgärdsalternativ 1



Figur 6-7 Massfördelning och transportväg för åtgärdsalternativ 1 (SWECO Environment AB, 2011a).

För beräkning av transportsträckor och övrig indata till programmet gällande maskintimmar, deponering och återfyllnadsmassor återfinns i Bilaga 3.

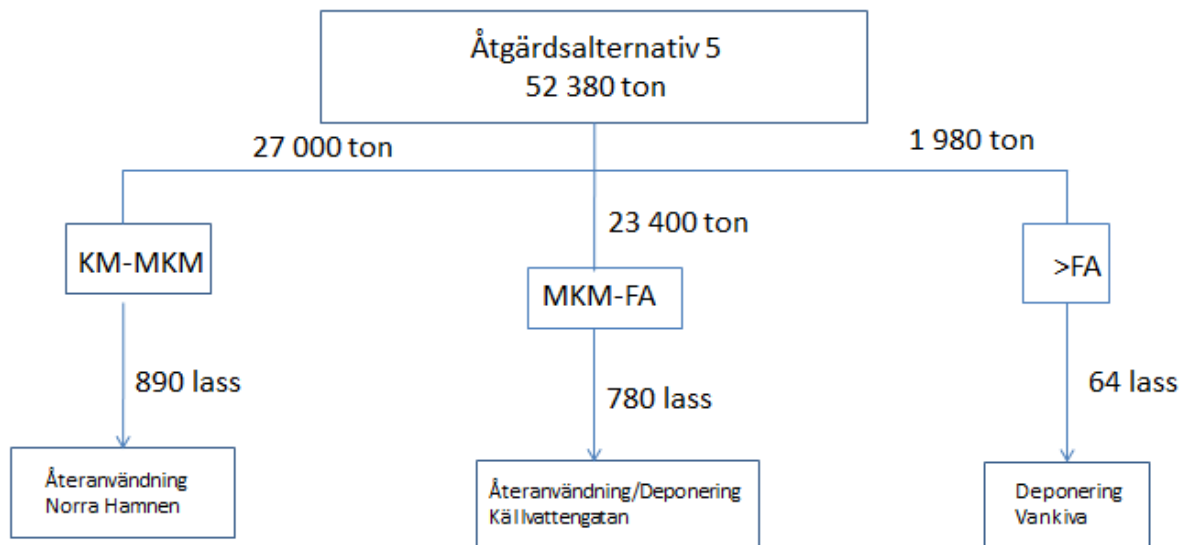
Koldioxidutsläppet i samband med åtgärdsalternativ 1 blev enligt beräkningar:

- Totala utsläpp av koldioxidekvivalenter: 466 ton CO_{2ekv}
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per jordmängd: 6 kg CO_{2ekv}/m³
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per area: 5 kg CO_{2ekv}/m²

Fördelning av utsläppsmängden mellan stegen i processen blev enligt beräkningar:

- Projektering: 0 %
- Omhändertagande av massor: 50 %
- Behandling av massor: 18 %
- Återställande av området: 32 %
- Uppföljning: 0 %

Åtgärdsalternativ 5



Figur 6-8 Massfördelning och transportväg för åtgärdsalternativ 5 (SWECO Environment AB, 2011a).

För beräkning av transportsträckor och övrig indata till programmet gällande maskintimmar, deponering och återfyllnadsmassor återfinns i Bilaga 3.

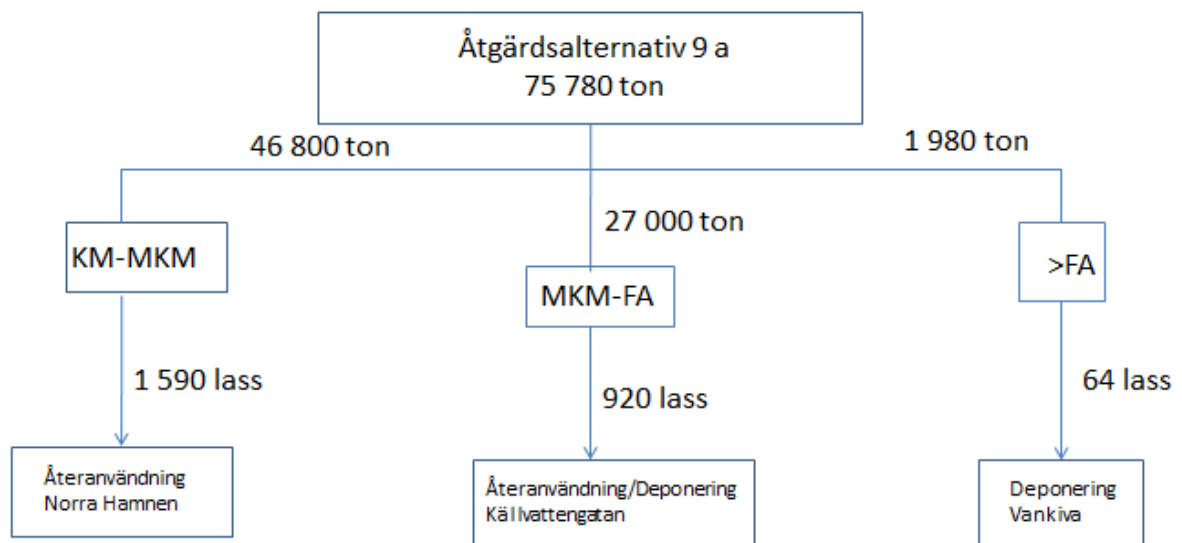
Koldioxidutsläppet i samband med åtgärdsalternativ 5 blev enligt beräkningar:

- Totala utsläpp av koldioxidekvivalenter: 186 ton CO_{2ekv}
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per jordmängd: 6 kg CO_{2ekv}/m³
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per area: 2 kg CO_{2ekv}/m²

Fördelning av utsläppsmängden mellan stegen i processen blev enligt beräkningar:

- Projektering: 0 %
- Omhändertagande av massor: 56 %
- Behandling av massor: 27 %
- Återställande av området: 17 %
- Uppföljning: 0 %

Åtgärdsalternativ 9a



Figur 6-9 Massfördelning och transportväg för åtgärdsalternativ 9a (SWECO Environment AB, 2011a).

För beräkning av transportsträckor och övrig indata till programmet gällande maskintimmar, deponering och återfyllnadsmassor återfinns i Bilaga 3.

Koldioxidutsläppet i samband åtgärdsalternativ 9a blev enligt beräkningar:

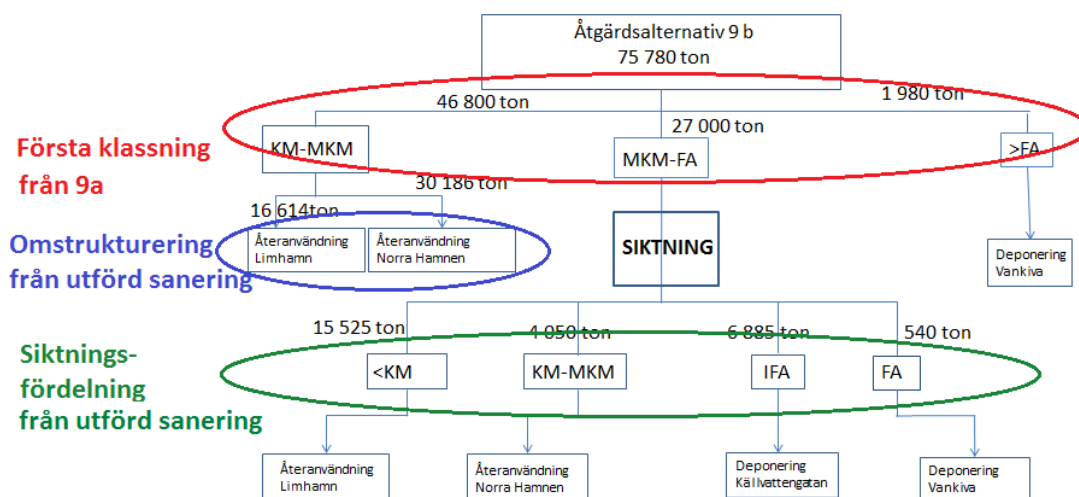
- Totala utsläpp av koldioxidekvivalenter: 273 ton CO_{2ekv}
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per jordmängd: 6 kg CO_{2ekv}/m³
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per area: 3 kg CO_{2ekv}/m²

Fördelning av utsläppsmängden mellan stegen i processen blev enligt beräkningar:

- Projektering: 0 %
- Omhändertagande av massor: 54 %
- Behandling av massor: 21 %
- Återställande av området: 25 %
- Uppföljning: 0 %

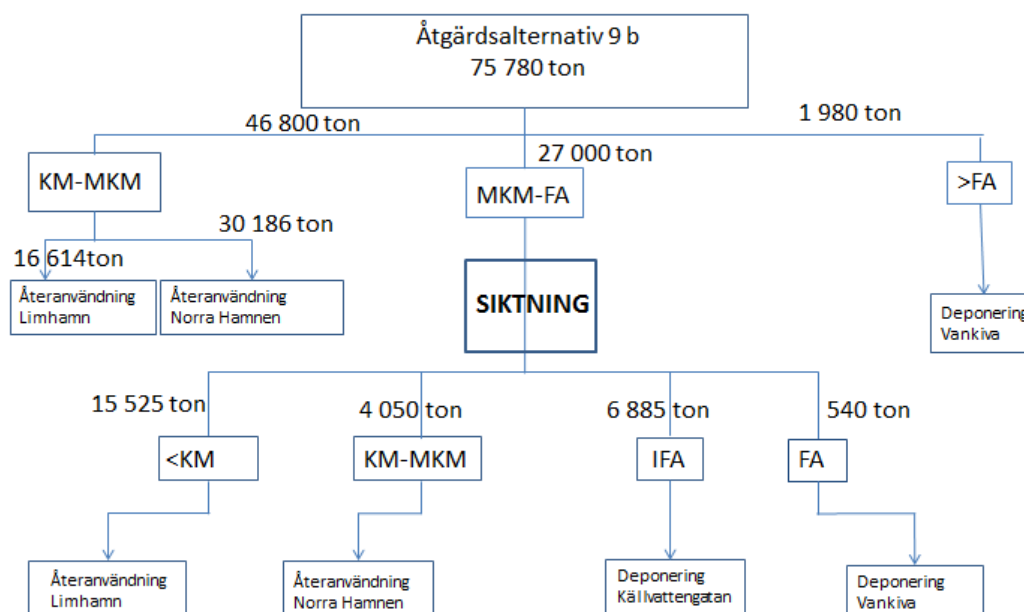
Åtgärdsalternativ 9b

Åtgärdsalternativ 9b har inte utvärderats i åtgärdsutredningen och därför finns det inga indata kring hur schaktade massor har klassats. Därmed antas vikten schaktade massor och dess första klassning vara samma som för åtgärdsalternativ 9a. Omstruktureringen av massorna som klassats till KM-MKM och siktningsfördelningen antas ha samma förhållande som i det utförda saneringsalternativet. För överskådlig figur över antagande om förhållandet se Figur 6-10. Beräkningar av fördelningar hittas i Bilaga 3.



Figur 6-10 Antagande över massfördelning för åtgärdsalternativ 9b (SWECO Environment AB, 2011a) (NCC Boende AB, 2012a) (NCC Boende AB, 2012b).

Dessa antaganden resulterar i massfördelningen för respektive mottagningsanläggning enligt följande schematiska bild, se Figur 6-11.



Figur 6-11 Massfördelning och transportväg för åtgärdsalternativ 9b (SWECO Environment AB, 2011a) (NCC Boende AB, 2012a) (NCC Boende AB, 2012b).

För beräkning av transportsträckor och övrig indata till programmet gällande maskintimmar, deponering och återfyllnadsmassor återfinns i Bilaga 3.

Koldioxidutsläppet i samband med åtgärdsalternativ 9b blev enligt beräkningar:

- Totala utsläpp av koldioxidekvivalenter: 220 ton CO_{2ekv}
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per jordmängd: 5 kg CO_{2ekv}/m³
- Utsläpp av koldioxidekvivalenter per area: 2 kg CO_{2ekv}/m²

Fördelning av utsläppsmängden mellan stegen i processen blev enligt beräkningar:

- Projektering: 0 %
- Omhändertagande av massor: 54 %
- Behandling av massor: 8 %
- Återställande av området: 38 %
- Uppföljning: 0 %

6.2.3 Sammanställning av koldioxidutsläpp för respektive beräkning

I programmet anges inte koldioxidutsläppen per jordmängd och per areaenhet med decimaler. Trots att alternativen är olika ser de ut att resultera i exakt lika stora utsläpp per jordmängd, bortsett från alternativ 9b. För att få noggrannare resultat över utsläppen per jordmängd och utsläpp per areaenhet gjordes handberäkningar för respektive alternativ. För sammanställning av koldioxidutsläpp se Tabell 3.

Tabell 3 Sammanställning av koldioxidutsläpp

	Totalt (CO ₂)	Per jordmängd, (CO ₂ /m ³)	Per jordmängd, enligt handberäkning	Per jordarea, (CO ₂ /m ²)	Per jordarea, enligt handberäkning
Alternativ 1	466 ton	6 kg	6,7 kg	5 kg	5,5 kg
Alternativ 5	186 ton	6 kg	6,4 kg	2 kg	2,2 kg
Alternativ 9a	273 ton	6 kg	6,5 kg	3 kg	3,2 kg
Alternativ 9b	220 ton	5 kg	5,2 kg	2 kg	2,6 kg
Alternativ 9b realiserat	292 ton	6 kg	6,4 kg	3 kg	3,4 kg

Tabell 3 visar att det totala koldioxidutsläppet, utsläpp per area och utsläpp per jordmängd blir störst för alternativ 1.

Hur koldioxidutsläppen fördelats mellan beräkningsstegen återfinns i Tabell 4. I samtliga åtgärdsalternativ sker störst koldioxidutsläpp i beräkningssteget *Omhändertagande av massor*.

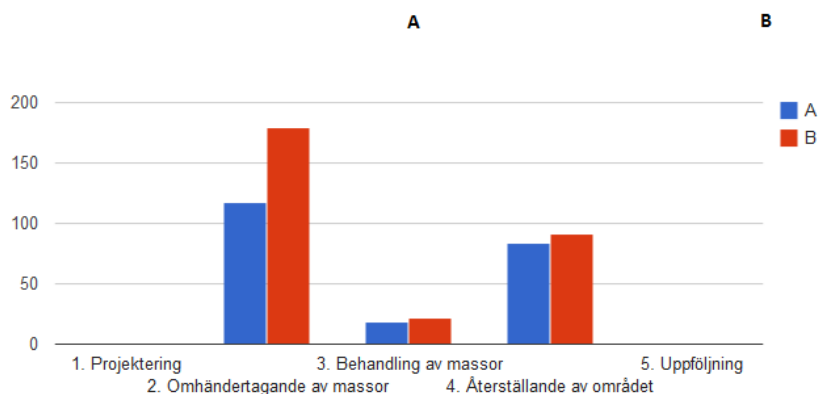
Då siktning sker under steget *Omhändertagande av massor* borde indata varit placerad under detta steg. I programmet behandlas emellertid inte maskintimmar för hjullastare och dumprar i processteget *Omhändertagande av massor*. För åtgärdsalternativ 9b har data angående maskintimmar för hjullastare och dumprar därför placerats under *Återställande av området*. Detta resulterar i missvisande värden för andelarna av koldioxidutsläpp mellan de olika beräkningsstegen i alternativ 9b.

Tabell 4 Koldioxidutsläpp mellan processtegen i Limhamns läge etapp 1

	Omhändertagande av massor	Behandling av massor	Återställande av området
Alternativ 1	50 %	18 %	32 %
Alternativ 5	56 %	27 %	17 %
Alternativ 9a	54 %	21 %	25 %
Alternativ 9b	54 %	8 %	38 %
Alternativ 9b realiserat	61 %	32 %	7 %

I programmet kan två beräkningar jämföras med varandra med avseende på koldioxidutsläpp. I Figur 6-12 jämförs åtgärdsalternativ 9b i åtgärdsutredningen med utförd sanering.

Projektnamn	Limhamn	Limhamn
Län	Skåne	Skåne
Kommun	Malmö Stad	Malmö Stad
Fastighetsbeteckning		
Delområde		
Beräkning utförd av (namn)	Brycke, Dahlström, Haag och Hammarberg	Brycke, Dahlström, Haag och Hammarberg
Företag/Organisation	Chalmers Tekniska Högskola	Chalmers Tekniska Högskola
Datum	20130503	20130503
Åtgärdsalternativ nr/benämning	Åtgärdsalternativ 9b	Åtgärdsalternativ 9b realiserat
Information om objektet		
Area (m ²)	85 000	85 000
Volym jord (m ³)	42 100	42 100
Massa (ton)	75 780	75 780
Totalt utsläpp (ton CO _{2ekv})	219,58	292,39
Totalt utsläpp per jordmängd (kg CO _{2ekv} /m ³)	5,22	6,35
Totalt utsläpp per area (kg CO _{2ekv} /m ²)	2,58	3,44



Figur 6-12 Åtgärdsalternativ 9b i åtgärdsutredningen jämförs med utförd sanering (SGF, 2012e).

6.3 Utvärdering av verktyget *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten*

Vid utvärdering av verktyget *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* har fyra faktorer beaktats: programmets användarvänlighet, tillgänglighet av indata, möjligheten att jämföra olika åtgärdsalternativ och support. Utvärderingen bygger på egna reflektioner som gjorts under användandet av programmet.

6.3.1 Programmets användarvänlighet

Intrycket av beräkningsprogrammet är att det är användarvänligt. Till programmet finns det en användarmanual som systematiskt behandlar programmets steg på ett enkelt och överskådligt sätt. Till respektive processtegs poster följer en beskrivning av hur dessa ska beaktas. Att utföra beräkningar kräver därmed inga större förkunskaper. Dock underlättas beräkningar om användaren har erfarenheter av saneringsprocessen, eftersom antaganden då blir lättare att göra. Programmet har en tydlig struktur som väl följer de olika stegen i en efterbehandlingsprocess.

Resultatet av en beräkning redovisas tydligt på en sammanfattningssida. Utsläppen fås både som totala utsläpp, utsläpp per jordmängd och utsläpp per area, vilket möjliggör en jämförelse mellan olika åtgärdsalternativ och efterbehandlingsprojekt. Respektive processtegs bidrag till slutresultatet redovisas både i tabellform och i ett cirkeldiagram. Detta ger en tydlig bild om var i processen koldioxidutsläppen är som störst.

Vid beräkning av en efterbehandlings totala koldioxidutsläpp är antalet poster som skall ifyllas stort. Exempelvis räcker det inte att fylla i hur många kontorstimmar projekteringen innefattar, det behövs även information om vilken typ av el som förbrukats under dessa arbetstimmar. Att fylla i alla poster blir emellertid inte lika angeläget om syftet med beräkningen är att jämföra olika åtgärdsalternativ. Vid en jämförelse räcker det att fylla i de poster som skiljer alternativen åt.

I programmet behandlas inte maskintimmar för hjullastare och dumprar i processteget *Omhändertagande av massor*. Vid saneringsarbeten där dessa maskiner används vid schaktning måste dessa timmar föras in under processteget *Återställande av området*. Detta resulterar i missvisande värden för andelarna av koldioxidutsläpp mellan de olika beräkningsstegen.

6.3.2 Tillgänglighet av indata

Vid beräkning av koldioxidemissioner från Surte blir det påtagligt att *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* inte är ett vedertaget verktyg bland de företag som varit inblandade i Surtes sanering, då erhållen data inte varit anpassad till programmet. I och med att indata krävs i specifika enheter blir anpassning av indata nödvändig.

I Surte 2:38 fick NCC och COWI bidrag från Naturvårdsverket för insamling av indata till koldioxidberäkningar. Dessa indata var emellertid anpassade till ett annat verktyg för beräkning av koldioxidutsläpp. Detta försvårade införandet av indata då viss information inte var uttryckt tillräckligt specifikt, inte var uppdelad i de olika beräkningsstegen eller inte hade angetts i rätt enhet.

I Limhamns läge etapp 1 var indata inte insamlad i förväg utan anpassades direkt till programmet utifrån slutrapporter och kontakt med Malin Norin på NCC. I dessa programberäkningar krävdes således fler antaganden och många poster i programmet fick lämnas tomma. Då en avsikt med beräkningarna i Limhamns läge etapp 1 var att jämföra fyra åtgärdsalternativ var det de indata som skiljde alternativen åt som var viktigast att beakta.

6.3.3 Möjligheten att jämföra olika åtgärdsalternativ

Beräkningsprogrammet anses vara praktiskt tillämpbart vid jämförelse av olika åtgärdsalternativ. En förutsättning för att åtgärdsalternativen skall kunna jämföras är att indata finns för samma poster för samtliga alternativ.

Att resultaten inte bara fås som totala utsläpp, utan också som utsläpp per jordmängd och utsläpp per area, möjliggör en jämförelse mellan olika alternativ och saneringsprojekt, även om dess areor är olika eller volymen jord som schaktas är olika. Jämförelsen av åtgärdsalternativ med avseende på koldioxidutsläpp per volymsenhet och per areaenhet anges inte med decimaler vilket i detta arbete upplevdes som ett grovt mått. Anledningen till att decimaler saknas är troligtvis att programmet inte skall ge sken av att kunna ta fram exakta siffror.

Beräkningsprogrammet har en funktion som jämför beräkningar. Vid jämförelse av två beräkningar erhålls diagram som på ett överskådligt sätt redovisar skillnader mellan beräkningarna.

6.3.4 Support

Som stöd vid beräkningarna finns det förutom en utförlig användarmanual möjlighet att få support via mailkontakt med SGF:s miljögeoteknikkommitté. Vid nyttjandet av denna support erhöles snabbt ett utförligt svar.

7 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultaten från beräkningarna för Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1 och *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* som verktyg vid koldioxidberäkningar.

7.1 Surte 2:38

Ett av rapportens syften är att tillämpa verktyget *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* för att beräkna det totala koldioxidutsläppet i Surte 2:38. Genom beräkning erhöles ett utsläpp på 1 229 ton koldioxidekvivalenter. Möjligheten att beräkna en efterbehandlings koldioxidutsläpp kan vara ett sätt att öka branschens medvetenhet om koldioxidutsläppens omfattning. Om programmet börjar användas i större utsträckning kan detta på sikt ligga till grund för en förbättring av saneringsprocessen med avseende på koldioxidutsläpp.

I och med att de indata som erhållits inte har varit tillräckligt omfattande har flera av programmets poster fått lämnas tomma. Då erhållen indata inte har varit anpassad till *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* har antaganden behövt göras. Att massor som återanvänts antogs deponerats blir en felkälla. Genom att anta deponi istället för återanvändning blir körsträckorna längre samt behovet av externa återfyllnadsmassor större. När poster lämnas tomma och antaganden behöver göras minskar resultatets tillförlitlighet. Resultatet motsvarar således inte det verkliga koldioxidutsläppet.

De poster i programmet som enligt resultatet ger störst utsläpp av koldioxidekvivalenter i Surte 2:38 är transport av massor och maskintimmar. Övriga poster i programmet, så som energianvändning, släpper inte ut koldioxid i samma omfattning. Det faktum att de flesta stora poster tagits med i beräkningarna gör att resultatet blir någorlunda tillförlitligt.

Eftersom erhållen indata inte alltid varit uppdelad i olika processteg går det inte i resultatet att påvisa hur stor andel av utsläppen som varje processteg bidragit till. Då störst del indata införts i steget *Omhändertagande av massor* blir detta stegs utsläppsandel stor i jämförelse med de andra stegen. För att få ett mer representativt resultat över utsläppens fördelning i saneringsprocessen krävs således att indata fås specificerad för respektive steg i processen och att den förs in på rätt post.

7.2 Limhamns läge etapp 1

Beräkningen av det utförda alternativet i Limhamns läge etapp 1 resulterade i det totala koldioxidutsläppet 292 ton. Eftersom de poster med störst utsläpp fyllts i kan resultatet anses vara tämligen representativt. Dock begränsas resultatets tillförlitlighet av de antaganden som gjorts och genom de poster som lämnats tomma.

Genom att beräkna koldioxidutsläppen för åtgärdsalternativen i åtgärdsutredningen har en jämförelse mellan alternativen möjliggjorts. Denna jämförelse görs för att fastställa vilket alternativ som är mest motiverat ur aspekten koldioxidutsläpp.

Åtgärdsalternativ 5 som bidrar med minst koldioxidutsläpp resulterar i 186 ton koldioxidekvivalenter. Detta är ungefär 60 procent mindre än alternativet med störst utsläpp, alternativ 1. Detta kan ge en bild av att åtgärdsalternativ 5 skulle vara det mest motiverade valet. Dessa siffror är dock något missvisande då skillnader mellan alternativen, så som hur mycket massor som schaktats och därmed föroreningsreduktion, inte går att avläsa i programmet. Alternativen blir emellertid jämförbara om koldioxidutsläppen anges i koldioxidekvivalenter per kubikmeter och koldioxidekvivalenter per kvadratmeter. Alternativ 1, 5 och 9a resulterar alla i koldioxidutsläppet sex kilogram koldioxidekvivalenter per kubikmeter. Emellertid är utsläppen per kubikmeter cirka 17 % lägre för åtgärdsalternativ 9b än för resterande alternativ. Detta visar att åtgärdsalternativ 9b är det mest motiverade alternativet.

Eftersom siktnings och omstruktureringen av massorna KM-MKM är det enda som skiljer åtgärdsalternativ 9b från 9a kan det konstateras att det minskade koldioxidutsläppet har med detta att göra. Då siktnings genomförs blir de körsträckor i och med schaktning som skulle behövts i åtgärdsalternativ 9a reducerade med drygt 33 %. Att skillnaden mellan koldioxidutsläppen inte är större än 17 % beror på att siktningsalternativet kräver fler maskintimmar. Att siktnings minskar koldioxidutsläppet per jordmängd har också påvisats i tidigare studier på koldioxidutsläpp från efterbehandling av förorenade områden. Utredning av åtgärdsalternativ som gjorts för området Hexion i Mölndal gav mellan 7 % och 14 % lägre koldioxidutsläpp för de alternativ som innefattade siktnings (Almqvist, et al., 2011). Denna skillnad talar för att siktnings som metod vid efterbehandling av förorenad mark bidrar till ett mindre koldioxidutsläpp.

Vid transporten av schaktade massor i Limhamn blev den verkliga totala körsträckan 96 239 kilometer. Det är 94 % längre än den sträcka som alternativet i åtgärdsutredningen beräknats ge. Denna påtagliga skillnad beror dels på att Källvattengatan utreddes som deponeringsplats i åtgärdsutredningen och att denna inte användes i utförd saneringsalternativ. Deponeringsplatsen som istället användes var Vankiva vars avstånd skiljer sig mot Källvattengatan med 166 kilometer tur och retur. Dessutom påträffades mer deponeringsklassade massor än förväntat vid schaktningen. Det verkliga koldioxidutsläppet blev 33 % större för det utförda saneringsarbetet än samma alternativ som utretts i åtgärdsutredningen. Om beräkningar görs för en sanering som ännu inte påbörjats kan inte ett beräknat koldioxidutsläpp som exakt speglar det verkliga utsläppet förväntas.

Eftersom den verkliga körsträckan blev 94 % längre än förväntat för alternativ 9b har nya förväntade körsträckor beräknats för de andra alternativen. Beräkningen motiveras genom att de omställningar som krävdes i 9b antagligen skulle krävas oavsett vilket åtgärdsalternativ som valts. Relationen mellan alternativen blir densamma oavsett om beräkningar görs utifrån åtgärdsutredningen eller utifrån de nya beräknade körsträckorna. Vid jämförelse av åtgärdsalternativ gör det följaktligen ingenting att beräkningar görs på en sanering som ännu inte påbörjas eftersom det intressanta blir relationen mellan alternativen. Därmed kan beräkningsprogrammet

anses vara tillämpligt vid jämförelse mellan olika åtgärdsalternativ. Om man däremot vill använda programmet för att förbättra ett åtgärdsalternativ med avseende på koldioxid är det viktigt med så korrekt skattad indata som möjligt.

7.3 Jämförelse av koldioxidutsläpp för Surte och Limhamn

Jämförelsen av koldioxidutsläpp mellan Surte 2:38 och Limhamns läge etapp 1 har visat att utsläppen av koldioxidekvivalenter i Surte är betydligt större än utsläppen i Limhamn. I detta avsnitt utreds möjliga anledningar till varför Surtes koldioxidutsläpp blivit större.

Det totala utsläppet av koldioxidekvivalenter i Surte är ungefär 1 230 ton och i Limhamn är utsläppet ungefär 292 ton. Detta innebär att utsläppen i Surte är cirka 4,2 gånger större än utsläppen i Limhamn. Jämförelsen av utsläpp per jordvolym ger en ännu större skillnad där utsläppen i Surte är ungefär 4,7 gånger större än Limhamn. Förhållandet mellan utsläppen per jordarea visar den största skillnaden där Surte har 21 gånger större utsläpp än Limhamn. För sammanställning av koldioxidutsläppen för de två saneringarna se Tabell 5.

Tabell 5 Koldioxidutsläpp i Surte respektive Limhamn.

	Surte 2:38	Limhamns läge etapp 1
Totalt utsläpp (CO_{2ekv})	1 229 ton	292 ton
Utsläpp per jordmängd (CO_{2ekv}/m³)	28 kg	6 kg
Utsläpp per jordarea (CO_{2ekv}/m²)	64 kg	3 kg

Det finns flera tänkbara anledningar till varför beräknade utsläpp i Surte blev betydligt större än beräknade utsläpp i Limhamn. Den största skillnaden mellan projekten är att det fanns möjlighet till sortering och återanvändning av massor i Limhamn. Denna möjlighet uteslöts tidigt i Surteprojektet på grund av de geologiska förutsättningarna med en komplex sammansättning hos fyllnadsmaterialet. En annan aspekt är att indata som erhöles för saneringen i Surte hade en större omfattning än indata för saneringen i Limhamn. Mer omfattande indata resulterar i att fler poster kan fyllas i vilket ger ett större utsläpp. Dock är detta inte den enda anledningen. I och med att de poster som ifyllts i Limhamn är de som bidrar till störst koldioxidutsläpp talar det för att det i dessa poster finnas en stor skillnad gentemot Surte och därför jämförs dessa poster i Tabell 6.

Tabell 6 Indata per post i Surte respektive Limhamn.

Indata	Surte 2:38	Limhamns läge etapp 1
Transport, schaktade massor	401 380 km	96 239 km
Grävmaskin	7 384 h grävmaskin > 35 ton	700 h grävmaskin: 22 ton 700 h grävmaskin > 35 ton
Dumper	0 h	700 h
Hjullastare	0 h	1 400 h
Deponering	74 390 ton	10 776 ton
Transport, återfyllnadsmassor	95 528 km	0 km

I Tabell 6 blir det tydligt att Surtes indata har högre värden än Limhamns på nästan alla poster. Koldioxidutsläppen för dessa indata visas i Tabell 7.

Tabell 7 Koldioxidutsläpp per post i Surte respektive Limhamn.

Koldioxidutsläpp	Surte 2:38	Limhamns läge etapp 1
Transport, schaktade massor	482 ton	115 ton
Grävmaskin	415 ton	63 ton
Dumper	0 ton	25 ton
Hjullastare	0 ton	67 ton
Deponering	147 ton	21 ton
Transport, återfyllnadsmassor	115 ton	0 ton

Då transportsträckorna för schaktade massor är ungefär fyra gånger längre i Surte än i Limhamn blir koldioxidutsläppen för denna post fyra gånger större. En anledning till denna skillnad i körsträcka är att det i Surte har transporterats drygt 65 procent mer massor eftersom återanvändning inte var möjlig. Dessutom beror skillnaden på att körsträckan till mottagningsanläggningarna skiljer sig åt mellan de två saneringarna. Samtliga lastbilar i Surte har kört 140 kilometer tur och retur. I Limhamn har övervägande del av lastbilarna kört 24 kilometer tur och retur.

Då det i Surte transporterats mer massor till deponering än i Limhamn har utsläppen för posten deponering blivit cirka 146 ton större. Ytterligare en anledning till att saneringen i Surte resulterat i större utsläpp är att det i Limhamn inte krävts några externa återfyllnadsmassor då betongkross och siktat material från området har återanvänts. I Surte behövdes dock externa återfyllnadsmassor, vilket resulterade i att posten transport av återfyllnadsmassor gav cirka 115 ton större koldioxidutsläpp än i Limhamn.

En annan post där utsläppen skiljer sig åt är grävmaskinstimmar. I Surte krävdes ungefär 5,3 gånger fler grävmaskinstimmar än för Limhamn. Beräkningen för Surtes saneringsarbete utgår från det arbete som gjorts under perioden mars 2011 till december 2012. Saneringsarbetet i Limhamn pågick under betydligt kortare tid, februari 2012 till juni 2012. Saneringen i Surte har pågått cirka fem gånger längre än i Limhamn vilket motiverar skillnaden i maskintimmar. Att saneringen i Surte pågått under längre tid trots att mängden schaktade massor inte varit nämnvärt större än i Limhamn beror på mer komplicerade geotekniska förhållanden i Surte. En möjlighet är också att indata har feltolkats.

De geotekniska förhållandena har komplicerat saneringsarbetet i Surte. För att saneringen skulle kunna genomföras krävdes en stabilisering av området då det ansågs vara ostabilt. I Limhamn har all schaktning utförts över grundvattenytan men i Surte har schaktning även skett under grundvattenytan, vilket ställer högre krav på utförandet då schaktningen skulle ske i torr miljö. För att omkringliggande områden inte skulle påverkas av den grundvattensänkning som krävdes för saneringen behövdes en hydraulisk barriär anläggas.

7.4 Verktöget *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten*

I och med ett ökat intresse för utsläppsdeklarering och strävan efter en miljövänlig verksamhet är verktöget *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* ett potentiellt verktyg vid framtida efterbehandlingar. Verktöget är användbart vid jämförelse av utsläpp från olika åtgärdsalternativ och kan därmed fungera som en del i ett beslutsunderlag för val av efterbehandlingsåtgärd. Verktöget kan också användas för att utvärdera ett redan genomfört saneringsarbete eller för att försöka förbättra genomförandet av ett valt åtgärdsalternativ med avseende på koldioxidutsläpp.

Som poängterats i avsnittet utvärdering av verktyget *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten* krävs inga större förkunskaper för att använda programmet. De svårigheter som uppstått vid framtagandet av tillförlitliga resultat beror snarare på hur väl anpassad och tillgänglig indata är än på okunskap hos brukaren. En förutsättning för att programmet skall anses vara användarvänligt är således att den som samlar in data känner till programmet innan data samlas in. Beräkningarna underlättas av att användaren har erfarenhet av saneringsarbeten då antaganden kan göras med större legitimitet.

För att utföra beräkningar på en genomförd sanering blir det nödvändigt att göra antaganden om indata inte är insamlad på rätt sätt. Ju fler antaganden som görs desto mindre tillförlitligt blir resultatet. I fallet Surte 2:38 erhöles en stor mängd indata men då denna inte var anpassad till programmet var vissa antaganden tvungna att göras.

Efter att ha arbetat med programmet framgår det att insamlingen av indata skulle kunna effektiviseras. Denna effektivisering skulle kunna ske genom en att utforma ett formulär som tydligt visar vilken indata programmet kräver. Formuläret skulle på ett överskådligt sätt kunna visa att indata skall samlas in till olika beräkningssteg, i vilka enheter data skall anges samt vilken tilläggsinformation som krävs för varje post. Detta hade kunnat resultera i en mindre tidskrävande beräkning och underlättat framtagandet av ett tillförlitligt resultat. Formuläret skulle kunna användas före en sanering med utgångspunkt från åtgärdsutredningar, under en sanering genom att löpande samla in indata samt efter en sanering med utgångspunkt från slutrapporter.

Programmet efterfrågar en omfattande datainsamling. Emellertid bidrar inte alla delar i efterbehandlingsprocessen lika mycket till det totala koldioxidutsläppet och därmed skulle datainsamlingen kunna minskas men ändå ge ett representativt resultat. Vid beräkningarna har det visat sig att transporter av massor och maskintimmar har utgjort störst del av utsläppen. Delar som kontorsarbete och energianvändning har endast utgjort en liten del. För att poängtera vilka indata som är viktigast att samla in i olika slags saneringsprojekt skulle de poster i saneringsprocessen som normalt sett släpper ut mest koldioxid kunna vara markerade i programmet, manualen eller i det eventuella formuläret. På detta sätt skulle datainsamling kunna bli mindre tidskrävande och programmet möjligtvis mer attraktivt. Att minska beräkningens omfattning hade varit praktiskt, särskilt i de fall då olika åtgärdsalternativ skall jämföras och endast skillnader mellan alternativen behöver beaktas. En mindre tidskrävande datainsamling och beräkning skulle dessutom kunna medföra mindre kostnader för företagen.

8 Slutsatser

Med beräkningarna och utvärderingarna av programmet som underlag dras följande slutsatser:

8.1 Surte 2:38

- De poster i programmet som enligt resultatet ger störst utsläpp av koldioxidekvivalenter i Surte är transport av massor och maskintimmar.
- Resultatet kan anses vara representativt eftersom de poster som bidrar till störst koldioxidutsläpp har tagits med i beräkningarna.

8.2 Limhamns läge etapp 1

- Vid jämförelse mellan olika åtgärdsalternativ är det framförallt de indata som skiljer åtgärdsalternativen åt som är viktigast att beakta.
- Om beräkningar görs för en sanering som ännu inte påbörjats bör vetskap finnas om att förändringar i förutsättningar under efterbehandlings utförande kan påverka koldioxidutsläppen i hög grad.
- Om siktning väljs som metod vid efterbehandling av förorenad mark med påföljande högre grad av återanvändning av massor, resulterar det i mindre koldioxidutsläpp.
- Större andel återvinning av massor på plats till följd av siktning förefaller vara ett effektivt sätt att minska koldioxidutsläpp.

8.3 Jämförelse av koldioxidutsläpp för Surte och Limhamn

- Förutsättningarna för de båda projekten var olika. I Limhamn fanns möjlighet till sortering och återanvändning men i Surte saknades denna möjlighet.
- I Surte var de geotekniska förhållandena mer komplicerade att hantera än i Limhamn, vilket resulterar i längre saneringstid, fler maskintimmar och därmed högre koldioxidutsläpp.
- Avstånd till deponi påverkar utsläppsmängden i hög grad.

8.4 *Carbon footprint från efterbehandling av förorenad mark*

- Beräkningsprogrammet är användarvänligt, kräver inga större förkunskaper och är ett potentiellt verktyg för beräkning av koldioxidutsläpp.
- Beräkningsprogrammet anses vara tillämpligt vid jämförelse mellan olika åtgärdsalternativ.
- Resultaten från beräkningarna kan utgöra en del i ett beslutsunderlag för val av efterbehandlingsåtgärd.
- Framtagandet av ett tillförlitligt resultat beror på hur tillgänglig och väl anpassad indata är.
- Insamlingen av indata skulle kunna effektiviseras.

8.5 Rekommendationer

På grundval av dessa slutsatser rekommenderas följande:

- Att i efterbehandlingsprojekt alltid utreda möjligheten till återvinning av förorenade massor på plats för att minska transportbehov och därmed koldioxidutsläppen av efterbehandlingen. Dessutom bör deponier på korta avstånd väljas i så hög grad som möjligt.
- Att utforma ett formulär som tydligt visar vilken indata programmet kräver för att effektivisera insamlingen av indata före, under eller efter ett saneringsprojekts genomförande.

Litteraturförteckning

Ale kommun, 2011. *Sanering av gamla synder, Broschyr*. [Online]

Available at:

http://www.ale.se/download/18.49d0f2c8134d3af5c1e8000111624/alebroschyr_110926_skarp.pdf

[Använd Februari 2013].

Ale kommun, 2012. *Surte 2:38 pågår*. [Online]

Available at: <http://www.ale.se/bygga-bo-och-miljo/miljo-och-klimat/fororenade-omraden/saneringen-utmed-gota-alv/surte-238.html>

[Använd 17 Maj 2013].

Almqvist, P., Johansson, J., König, L. & Lindvert, D., 2011. *Växthusgasemissioner från efterbehandling av förorenad mark*, Göteborg: Institutionen för Bygg- och Miljöteknik.

Broms, S., 2010. *Utförandebeskrivning, Mottagande och behandling av förorenade massor från Surte 2:38 i Ale kommun*. Heljestorp: Ragn Sells.

Miljödepartementet, 1997. *Miljöbalk*, Stockholm: Regeringen.

Miljödepartementet, 1998. *Sveriges Riksdag*. [Online]

Available at: http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Forordning-1998899-om-miljo_sfs-1998-899/

[Använd 07 03 2013].

Miljödepartementet, 2010. *Regeringens proposition 2009/10: 155 Svenska miljömål - för ett effektivare miljöarbete*, Stockholm: Miljödepartementet.

Naturvårdsverket, 1997. *Efterbehandling av förorenade områden - Vägledning för planering och genomförande av efterbehandlingsprojekt*, Stockholm: Naturvårdsverkets förlag.

Naturvårdsverket, 2009a. *Att välja efterbehandlingsåtgärd - En vägledning från övergripande till mätbara åtgärds mål*, Bromma: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket, 2009b. *Riskbedömning av förorenade områden - En vägledning från förenklad till fördjupad riskbedömning*, Stockholm: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket, 2013. *Att välja efterbehandlingsåtgärd*. [Online]

Available at: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning-amnesvis/Fororenade-omraden/Att-valja-efterbehandlingsatgard/>

[Använd Februari 2013].

NCC Boende AB, 2012a. *Fastställande slutrapport, Etapp 1 Parkområde och Flerbostadsområde (ej kolumn Oo8-To8)*, Malmö: NCC Boende AB.

NCC Boende AB, 2012b. *Fastställd slutrapport, Etapp 1, Parkområdet och Flerbostadsområdet (ej kolumn Oo8-To8)*, Malmö: NCC.

Norconsult , 2011. *Surte 2:38, 43:1, Avhjälpande åtgärder - Miljökontrollprogram* , Ale: Norconsult AB.

Norconsult, 2009a. *Surte 2:38 och en del av 43:1, Ale kommun - MKB för tillståndsansökan*, Ale: Norconsult AB.

Nordin, A., 2012. *Efterbehandlingsåret 2011 - lägesbeskrivning av arbetet med att avhjälpa sådana föroreningsskador som avses i 10 kapitlet miljöbalken*, Stockholm : Naturvårdsverket .

Nosconsult, 2009b. *Surte 2:38 och del av 43:1, Ale kommun - MKB för tillståndsansökan*, Göteborg: Norconsult AB.

SBUF, 2012. *Rening av länsvatten vad schaktning*, Stockholm: SBUF.

SGF, 2012a. *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten*. [Online] Available at: <http://sgfmark.se/sites/default/files/manual.pdf> [Använd Januari 2013].

SWECO Environment AB, 2011a. *Åtgärdsutredning Limhamns läge Etapp 1*, Malmö: SWECO.

SWECO Environment AB, 2011b. *Riskbedömning Limhamns läge etapp 1*, Malmö: SWECO.

SWECO VIAK, 2005. *Tidermans utfyllnadsområde, Huvudstudie - sammanfattning*, Göteborg: SWECO.

SWECO VIAK, 2007a. *Tidermans utfyllnadsområde, Huvudstudie - del 1 utförda undersökningar och föroreningssituation*, Göteborg: SWECO.

SWECO VIAK, 2007b. *Tidermans utfyllnadsområde, huvudstudie - Del 2, åtgärdsutredning*, Göteborg: SWECO.

Figurförteckning

Figur på framsida "*Framtiden i våra händer*" (Dahlström, Lisa, 2013)

Figur 2-1 Schematisk bild över processen att välja och genomföra en efterbehandlingsåtgärd (Naturvårdsverket, 2009a).....6

Figur 3-1. Översikt över de områden som ingår i Ale kommuns saneringsprojekt. Surte 2:38 (Ale kommun, 2011).10

Figur 3-2 Karta över Surte där markeringen anger saneringsområdet (Nosconsult, 2009b).10

Figur 3-3 Primärt område vid eventuellt skred i Surte 2:38 är markerat i figuren (SWECO VIAK, 2007b).....12

Figur 3-4 Åtgärdsalternativen för Surte 2:38. Kolumnen måluppfyllelse refererar till de övergripande åtgärds målen ovan (SWECO VIAK, 2005).13

Figur 4-1 Planerad byggnation för Limhamns läge etapp 1 (SWECO Environment AB, 2011a).16

Figur 4-2 Ämnen som förkom i halter högre eller nära känslig markanvändning (SWECO Environment AB, 2011b).18

Figur 4-3 Valda djupnivåer vid djupindelningen (SWECO Environment AB, 2011a).20

Figur 4-4 Skyddsnivåer vid olika djup och alternativ (SWECO Environment AB, 2011a).20

Figur 4-5 De utredda åtgärdsalternativen och dess förutsättningar. De åtgärdsalternativ som behandlas i denna rapport är markerade (SWECO Environment AB, 2011a).21

Figur 5-1 Figuren visar hur programmet är utformat. Pilarna åskådliggör processtegen (SGF, 2012b).....23

Figur 5-2- Behandlingsmetoder som kan väljas i processteget <i>behandling av massor</i> (SGF, 2012c).....	24
Figur 5-3 I programmets sista processteg redovisas en sammanfattning av koldioxidutsläppen (SGF, 2012d).....	25
Figur 6-1 Resultat över koldioxidutsläpp från programberäkningar i Surte 2:38 (SGF, 2012d).....	28
Figur 6-2 Fördelning av koldioxidutsläpp mellan processtegen och posterna i varje processteg (SGF, 2012d).....	28
Figur 6-3 Massfördelning och transportväg för utförd sanering delområde ett (NCC Boende AB, 2012a).....	30
Figur 6-4 Massfördelning och transportväg för utförd sanering delområde två (NCC Boende AB, 2012b)	30
Figur 6-5 Resultat över koldioxidutsläpp från programberäkningar i Limhamns läge etapp 1 (SGF, 2012d).....	31
Figur 6-6 Fördelning av koldioxidutsläpp mellan processtegen och posterna i varje processteg (SGF, 2012d).....	32
Figur 6-7 Massfördelning och transportväg för åtgärdsalternativ 1 (SWECO Environment AB, 2011a).....	33
Figur 6-8 Massfördelning och transportväg för åtgärdsalternativ 5 (SWECO Environment AB, 2011a).....	34
Figur 6-9 Massfördelning och transportväg för åtgärdsalternativ 9a (SWECO Environment AB, 2011a).....	35
Figur 6-10 Antagande över massfördelning för åtgärdsalternativ 9b (SWECO Environment AB, 2011a) (NCC Boende AB, 2012a) (NCC Boende AB, 2012b).....	36

Figur 6-11 Massfördelning och transportväg för åtgärdsalternativ 9b (SWECO Environment AB, 2011a) (NCC Boende AB, 2012a) (NCC Boende AB, 2012b)......36

Figur 6-12 Åtgärdsalternativ 9b i åtgärdsutredningen jämförs med utförd sanering (SGF, 2012e).....39

Bilaga 1 – Sammanställning av programberäkningar

Följande sammanställning visar på vilka poster som fyllts i samt tillhörande resultat av koldioxidutsläpp i varje beräkning som gjorts. I denna sammanställning ges resultaten i fler värdesiffror än i rapporten. Anledningen till att siffrorna avrundats i rapporten beror på resultatets osäkerhet då många antaganden gjorts kring indata i de två objekten.

Surte 2:38



Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten

Projektnamn	Surte 2:38
Län	Västra Götaland
Kommun	Ale kommun
Fastighetsbeteckning	
Delområde	
Beräkning utförd av (namn)	Brycke, Dahlström, Haag och Hammarberg
Företag/Organisation	Chalmers Tekniska Högskola
Datum	20130315
Åtgärdsalternativ nr/benämning	Alternativ D
Information om objektet	
Area (m²)	19 000
Volym jord (m³)	43 000
Medeldensitet (g/cm³)	1,73
Massa (ton)	74 390
1. Projektering CO₂ekv	
Totalt	0 kg
2. Omhändertagande av massor CO₂ekv	
Transport av personal och utrustning	46,61 ton
Schakt och transport av massor	481,66 ton
Energianvändning	5 914,99 kg
Övrig undersökningsutrustning	415,47 ton
Kemiska analyser och förbrukningsmaterial	18 ton
Totalt	967,65 ton
3. Behandling av massor CO₂ekv	
Behandling	146,96 ton
Totalt	146,96 ton
4. Återställande av området CO₂ekv	
Schakt och transport av massor	114,63 ton
Totalt	114,63 ton
5. Uppföljning CO₂ekv	
Totalt	0 kg

Totala utsläpp av CO₂ekv

Totalt	1 229,2 ton CO ₂ ekv
per jordmängd	28 kg CO ₂ ekv/m ³
per area	64 kg CO ₂ ekv/m ²

1. Projektering

2. Omhändertagande av massor

Transport av personal och utrustning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Transport av personal	Personbil - liten, bensin	372 898 km	125 g / km	46,61 ton
Totalt				46,61 ton

Schakt och transport av massor

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Transport av massor	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	401 380 km	1 200 g / km	481,66 ton
Totalt				481,66 ton

Energianvändning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Elförbrukning	Elanvändande fältutrustning - svensk elmix	591 499 kWh	10 g / kWh	5 914,99 kg
Totalt				5 914,99 kg

Övrig undersökningsutrustning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Grävmaskiner	Grävmaskin tung >35 ton (bandgående)	7 384 h	56 266 g / h	415,47 ton
Totalt				415,47 ton

Kemiska analyser och förbrukningsmaterial

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Geotextilduk	Geotextil (EPDM matta 1,2 mm)	10 000 m ²	1 800 g / m ²	18 ton
Totalt				18 ton

3. Behandling av massor

Behandling

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Deponering	Deponi	74 390 ton	1 975,54 g / ton	146,96 ton
Totalt				146,96 ton

4. Återställande av området

Schakt och transport av massor

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Lera	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	87 588 km	1 200 g / km	105,11 ton
Stenkross	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	6 660 km	1 200 g / km	7 992 kg
Jord	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	1 280 km	1 200 g / km	1 536 kg
Totalt				114,63 ton

5. Uppföljning

Egna behandlingar

Limhamns läge etapp 1 – utförd sanering



Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten

Projektnamn	Limhamn
Län	Skåne
Kommun	Malmö Stad
Fastighetsbeteckning	
Delområde	
Beräkning utförd av (namn)	Brycke, Dahlström, Haag och Hammarberg
Företag/Organisation	Chalmers Tekniska Högskola
Datum	20130503
Åtgärdsalternativ nr/benämning	Åtgärdsalternativ 9b realiserat
Information om objektet	
Area (m²)	85 000
Volym jord (m³)	46 055
Medeldensitet (g/cm³)	1,80
Massa (ton)	82 899
1. Projektering CO₂ekv	
Totalt	0 kg
2. Omhändertagande av massor CO₂ekv	
Schakt och transport av massor	115,49 ton
Övrig undersökningsutrustning	63,89 ton
Totalt	179,38 ton
3. Behandling av massor CO₂ekv	
Behandling	21,29 ton
Totalt	21,29 ton
4. Återställande av området CO₂ekv	
Återfyllning	91,73 ton
Totalt	91,73 ton
5. Uppföljning CO₂ekv	
Totalt	0 kg

Totala utsläpp av CO₂ekv

Totalt	292,3 ton CO ₂ ekv
per jordmängd	6 kg CO ₂ ekv/m ³
per area	3 kg CO ₂ ekv/m ²

1. Projektering

2. Omhändertagande av massor

Schakt och transport av massor

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor CO ₂ ekv	
Transport av massor	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	96 239 km	1 200 g / km	115,49 ton
Totalt				115,49 ton

Övrig undersökningsutrustning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Grävmaskiner	Grävmaskin medeltung 22 ton (typ bandgående alt hjulgående)	700 h	35 009 g / h	24,51 ton
Grävmaskiner	Grävmaskin tung >35 ton (bandgående)	700 h	56 266 g / h	39,39 ton
Totalt			63,89 ton	

3. Behandling av massor

Behandling

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Deponering	Deponi	10 776 ton	1 975,54 g / ton	21,29 ton
Totalt			21,29 ton	

4. Återställande av området

Återfyllning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Dumper	Dumper	700 h	35 238 g / h	24,67 ton
Hjullastare	Hjullastare	1 400 h	47 900 g / h	67,06 ton
Totalt			91,73 ton	

5. Uppföljning

Egna behandlingar

Limhamns läge etapp 1 – åtgärdsalternativ 1



Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten

Projektnamn	Limhamn
Län	Skåne
Kommun	Malmö Stad
Fastighetsbeteckning	
Delområde	
Beräkning utförd av (namn)	Brycke, Dahlström, Haag och Hammarberg
Företag/Organisation	Chalmers Tekniska Högskola
Datum	20130503
Åtgärdsalternativ nr/benämning	Åtgärdsalternativ 1
Information om objektet	
Area (m²)	85 000
Volym jord (m³)	70 100
Medeldensitet (g/cm³)	1,80
Massa (ton)	126 180
1. Projektering CO₂ekv	
Totalt	0 kg
2. Omhändertagande av massor CO₂ekv	
Schakt och transport av massor	138,66 ton
Övrig undersökningsutrustning	96,75 ton
Totalt	235,41 ton
3. Behandling av massor CO₂ekv	
Behandling	82,14 ton
Totalt	82,14 ton
4. Återställande av området CO₂ekv	
Schakt och transport av massor	132,06 ton
Återfyllning	16,77 ton
Totalt	148,83 ton
5. Uppföljning CO₂ekv	
Totalt	0 kg

Totala utsläpp av CO₂ekv

Totalt	466,3 ton CO ₂ ekv
per jordmängd	6 kg CO ₂ ekv/m ³
per area	5 kg CO ₂ ekv/m ²

1. Projektering

2. Omhändertagande av massor

Schakt och transport av massor

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor CO ₂ ekv
Transport av massor	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	115 548 km	1 200 g / km
			138,66 ton

Totalt	138,66 ton
--------	------------

Övrig undersökningsutrustning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Grävmaskiner	Grävmaskin medeltung 22 ton (typ bandgående alt hjulgående)	1 060 h	35 009 g / h	37,11 ton
Grävmaskiner	Grävmaskin tung >35 ton (bandgående)	1 060 h	56 266 g / h	59,64 ton
Totalt				96,75 ton

3. Behandling av massor

Behandling

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Deponering	Deponi	41 580 ton	1 975,54 g / ton	82,14 ton
Totalt				82,14 ton

4. Återställande av området

Schakt och transport av massor

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Transport av återfyllnadsmassor	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	110 052 km	1 200 g / km	132,06 ton
Totalt				132,06 ton

Återfyllning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Dumper	Dumper	0 h	35 238 g / h	0 kg
Hjullastare	Hjullastare	350 h	47 900 g / h	16,77 ton
Totalt				16,77 ton

5. Uppföljning

Egna behandlingar

Limhamns läge etapp 1 – åtgärdsalternativ 5



Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten

Projektnamn	Limhamn
Län	Skåne
Kommun	Malmö Stad
Fastighetsbeteckning	
Delområde	
Beräkning utförd av (namn)	Brycke, Dahlström, Haag och Hammarberg
Företag/Organisation	Chalmers Tekniska Högskola
Datum	20130503
Åtgärdsalternativ nr/benämning	Åtgärdsalternativ 5
Information om objektet	
Area (m²)	85 000
Volym jord (m³)	29 100
Medeldensitet (g/cm³)	1,80
Massa (ton)	52 380
1. Projektering CO₂ekv	
Totalt	0 kg
2. Omhändertagande av massor CO₂ekv	
Schakt och transport av massor	64,71 ton
Övrig undersökningsutrustning	40,07 ton
Totalt	104,78 ton
3. Behandling av massor CO₂ekv	
Behandling	50,14 ton
Totalt	50,14 ton
4. Återställande av området CO₂ekv	
Schakt och transport av massor	13,98 ton
Återfyllning	16,77 ton
Totalt	30,75 ton
5. Uppföljning CO₂ekv	
Totalt	0 kg

Totala utsläpp av CO₂ekv

Totalt	185,6 ton CO ₂ ekv
per jordmängd	6 kg CO ₂ ekv/m ³
per area	2 kg CO ₂ ekv/m ²

1. Projektering

2. Omhändertagande av massor

Schakt och transport av massor

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor CO ₂ ekv
Transport av massor	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	53 928 km	1 200 g / km
			64,71 ton

Totalt	64,71 ton
--------	-----------

Övrig undersökningsutrustning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Grävmaskiner	Grävmaskin medeltung 22 ton (typ bandgående alt hjulgående)	439 h	35 009 g / h	15,37 ton
Grävmaskiner	Grävmaskin tung >35 ton (bandgående)	439 h	56 266 g / h	24,70 ton
Totalt				40,07 ton

3. Behandling av massor

Behandling

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Deponering	Deponi	25 380 ton	1 975,54 g / ton	50,14 ton
Totalt				50,14 ton

4. Återställande av området

Schakt och transport av massor

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Transport av återfyllnadsmassor	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	11 652 km	1 200 g / km	13,98 ton
Totalt				13,98 ton

Återfyllning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Dumper	Dumper	0 h	35 238 g / h	0 kg
Hjullastare	Hjullastare	350 h	47 900 g / h	16,77 ton
Totalt				16,77 ton

5. Uppföljning

Egna behandlingar

Limhamns läge etapp 1 – åtgärdsalternativ 9a



Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten

Projektnamn	Limhamn
Län	Skåne
Kommun	Malmö Stad
Fastighetsbeteckning	
Delområde	
Beräkning utförd av (namn)	Brycke, Dahlström, Haag och Hammarberg
Företag/Organisation	Chalmers Tekniska Högskola
Datum	20130503
Åtgärdsalternativ nr/benämning	Åtgärdsalternativ 9a
Information om objektet	
Area (m²)	85 000
Volym jord (m³)	42 100
Medeldensitet (g/cm³)	1,80
Massa (ton)	75 780
1. Projektering CO₂ekv	
Totalt	0 kg
2. Omhändertagande av massor CO₂ekv	
Schakt och transport av massor	89,24 ton
Övrig undersökningsutrustning	58,14 ton
Totalt	147,38 ton
3. Behandling av massor CO₂ekv	
Behandling	57,25 ton
Totalt	57,25 ton
4. Återställande av området CO₂ekv	
Schakt och transport av massor	51,42 ton
Återfyllning	16,77 ton
Totalt	68,19 ton
5. Uppföljning CO₂ekv	
Totalt	0 kg

Totala utsläpp av CO₂ekv

Totalt	272,8 ton CO ₂ ekv
per jordmängd	6 kg CO ₂ ekv/m ³
per area	3 kg CO ₂ ekv/m ²

1. Projektering

2. Omhändertagande av massor

Schakt och transport av massor

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor CO ₂ ekv
Transport av massor	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	74 368 km	1 200 g / km
			89,24 ton

Totalt	89,24 ton
--------	-----------

Övrig undersökningsutrustning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Grävmaskiner	Grävmaskin medeltung 22 ton (typ bandgående alt hjulgående)	637 h	35 009 g / h	22,30 ton
Grävmaskiner	Grävmaskin tung >35 ton (bandgående)	637 h	56 266 g / h	35,84 ton
Totalt				58,14 ton

3. Behandling av massor

Behandling

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Deponering	Deponi	28 980 ton	1 975,54 g / ton	57,25 ton
Totalt				57,25 ton

4. Återställande av området

Schakt och transport av massor

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Transport av återfyllnadsmassor	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	42 852 km	1 200 g / km	51,42 ton
Totalt				51,42 ton

Återfyllning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Dumper	Dumper	0 h	35 238 g / h	0 kg
Hjullastare	Hjullastare	350 h	47 900 g / h	16,77 ton
Totalt				16,77 ton

5. Uppföljning

Egna behandlingar

Limhamns läge etapp 1 – åtgärdsalternativ 9b



Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten

Projektnamn	Limhamn
Län	Skåne
Kommun	Malmö Stad
Fastighetsbeteckning	
Delområde	
Beräkning utförd av (namn)	Brycke, Dahlström, Haag och Hammarberg
Företag/Organisation	Chalmers Tekniska Högskola
Datum	20130503
Åtgärdsalternativ nr/benämning	Åtgärdsalternativ 9b
Information om objektet	
Area (m²)	85 000
Volym jord (m³)	42 100
Medeldensitet (g/cm³)	1,80
Massa (ton)	75 780
1. Projektering CO₂ekv	
Totalt	0 kg
2. Omhändertagande av massor CO₂ekv	
Schakt och transport av massor	59,39 ton
Övrig undersökningsutrustning	58,14 ton
Totalt	117,53 ton
3. Behandling av massor CO₂ekv	
Behandling	18,58 ton
Totalt	18,58 ton
4. Återställande av området CO₂ekv	
Återfyllning	83,47 ton
Totalt	83,47 ton
5. Uppföljning CO₂ekv	
Totalt	0 kg

Totala utsläpp av CO₂ekv

Totalt	219,5 ton CO ₂ ekv
per jordmängd	5 kg CO ₂ ekv/m ³
per area	2 kg CO ₂ ekv/m ²

1. Projektering

2. Omhändertagande av massor

Schakt och transport av massor

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor CO ₂ ekv
Transport av massor	Lastbil - tung med släp kapacitet 30 ton per last	49 492 km	1 200 g / km
			59,39 ton
Totalt			59,39 ton

Övrig undersökningsutrustning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Grävmaskiner	Grävmaskin medeltung 22 ton (typ bandgående alt hjulgående)	637 h	35 009 g / h	22,30 ton
Grävmaskiner	Grävmaskin tung >35 ton (bandgående)	637 h	56 266 g / h	35,84 ton
Totalt			58,14 ton	

3. Behandling av massor

Behandling

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Deponering	Deponi	9 405 ton	1 975,54 g / ton	18,58 ton
Totalt			18,58 ton	

4. Återställande av området

Återfyllning

Benämning	Alternativ	Värde	Emissionsfaktor	CO _{2ekv}
Dumper	Dumper	637 h	35 238 g / h	22,45 ton
Hjullastare	Hjullastare	1 274 h	47 900 g / h	61,02 ton
Totalt			83,47 ton	

5. Uppföljning

Egna behandlingar

Bilaga 2 – Antaganden och beräkningar Surte

Bilaga 1 redovisar indata, antaganden och beräkningar för projektet Surte 2:38. Indata har erhållits genom mejl- och telefonkontakt med NCC och COWI. I Tabell 1 och Tabell 2 sammanställs erhållen indata.

Tabell 1 Indata erhållen från NCC

Indata erhållen från NCC	
Volym schaktad jord	43 000 m ³
Area	19 000 m ²
Resor med bil	268 489 km
Volym ersättningsjord	
Lera	36 500 m ³
Stenkross	5 000 m ³
Jord	600 m ³
Avstånd tur och retur till ersättningsjord	
Lera	36 km
Stenkross	20 km
Jord	32 km
Elförbrukning	478 207 kWh
Bränsleförbrukning (Grävmaskiner + dumprar)	121 m ³
Tid för övriga åtgärder (grävmaskin)	7 384 h
Geotextilduk 1,1 mm	10 000 m ²
Skyddsgeoduk SNW55	9 975 m ²
LLDPE gummiduk	6 860 m ²
EPDN gummiduk	3 996 m ²
Byggregel (45 x 70)	1 949 Lm
Spontant virke (45 x 145)	32 522 Lm

Tabell 2 Indata erhållen från COWI

Indata från COWI - miljökontroll	
Körsträcka egen bil	103 909 km
Elförbrukning	113 292 kWh
Bränsleförbrukning	40,984 m ³
Maskintimmar	2 472 h
Avstånd till deponi	70 km
Kapacitet per lastbil	15 m ³

Antagna värden på massornas tunghet och densitet

I Larssons rapport *Jords egenskaper* finns information om typiska värden på jords tunghet (Larsson, 2008). Tungheten varierar med jords fasthet och ökar om den innehåller block och sten. Då indata kring massornas sammansättning saknades antogs värden på tunghet utifrån Larssons rapport.

Massornas densitet tas fram enligt formeln: $densitet = \frac{tunghet}{g}$ där g antas till 9,81.

Schaktade massor

Schaktade massor antas vara homogena och ha tungheten 17 kN/m³. Detta val grundas i att schaktad massa innehöll stor del lera vars tunghet antagits från Larssons rapport. Tungheten 17 kN/m³ ger densiteten 1,73 ton/m³.

Återfyllnadsmassor

Återfyllnadsmassornas tunghet antas till:

- Jord: 14 kN/m³
- Lera: 17 kN/m³
- Stenkross: 18 kN/m³

Detta ger densiteten:

- Jord: 1,427 ton/m³
- Lera: 1,73 ton/m³
- Stenkross: 1,835 ton/m³

Behandlade processteg i programmet

Indata beskrivs, motiveras och beräknas i processtegen *omhändertagande av massor*, *behandling av massor* och *återställande av området*.

Omhändertagande av massor

Detta steg behandlar schaktning av området. Indata erhålls från NCC och COWI.

Transport av personal och utrustning

Indata om dagliga resor adderas och den totala körsträckan blir 372 898 kilometer. Samtliga resor antas ske med liten bil. De bränslen som kan väljas i programmet är diesel, bensin, etanol och gas. Information om vilket bränsle som bilarna drivs med finns inte tillgänglig. Bensin väljs då det är det vanligaste drivmedlet för bilar idag (Konsumentverket, 2013).

Schakt och transport av massor

I Miljökonsekvensbeskrivningen anges att grövre massor klassats som rena och därför använts som återfyllnadsmassor (Nosconsult, 2009). Eftersom det inte finns några uppgifter om hur stor mängd massor som använts som återfyllnad antas alla massor deponeras. Samtliga massor antas fraktas med lastbil till deponin. Avståndet till deponin är 70 km⁴. Samtliga lastbilar antas köra från Surte till reningsanläggningen i Heljestorp och sedan tillbaka till Surte.

⁴ E-postkontakt med COWI, 2013-02-19

Jordens packningsgrad antas vara den samma på lastbil och i mark. Lastbilarnas kapacitet är 15 kubikmeter per lass vilket antas gälla för samtliga transporter av jord. Programmet efterfrågar lastbilstyp angiven i kapaciteten ton per lass vilket innebär att en omvandling måste göras. Antagandet att densiteten på massorna som fraktas är 1,73 ton per kubikmeter används. På detta sätt fås en kapacitet fram i ton per lass. För omvandling av kapacitet och beräkning av total körsträcka, se beräkning nedan.

Kapacitet per lastbil [ton]

$$= \text{densitet schaktade massor} \times \text{kapacitet per lastbil [m}^3] = 1,73 \times 15 = 25,95 \text{ ton}$$

$$\text{Massa förorenad jord} = \text{densitet} \times \text{volym} = 1,73 \times 43\,000 = 74\,390 \text{ ton}$$

$$\text{Antal lass} = \frac{\text{massa förorenad jord}}{\text{kapacitet per lastbil [ton]}} = \frac{74\,390}{25,95} = 2\,867 \text{ lass}$$

$$\text{Total körsträcka} = \text{sträcka} \times \text{antal lass} = 140 \times 2\,867 = 401\,380 \text{ km}$$

Schaktad jord transporteras totalt 401 380 kilometer.

Valbara utsläppskategorier i programmet är 15 ton per lastbil eller 30 ton per lastbil. Beräknat värde, 25,95 ton per lastbil, ligger närmast 30 ton per lastbil och därmed väljs detta.

Energianvändning

Indata om energianvändning adderas och den totala elförbrukningen blir 591 499 kWh. Elen antas utgöras av svensk elmix och brukas i elanvändande fältutrustning.

Övrig undersökningsutrustning

Grävmaskiner, hjullastare och dumprar har varit aktiva på området⁵. Information om hur mycket bränsle grävmaskinerna och dumprarna tillsammans förbrukat samt hur länge grävmaskinerna varit aktiva har erhållits från NCC. Programmet efterfrågar endast tidsåtgång för maskinerna vilket innebär att information om maskinernas bränsleåtgång inte kan användas. Ingen information angående hjullastare har erhållits då deras utsläpp är försumbara enligt Martina Hedin från NCC⁶.

Programmet efterfrågar information om grävmaskinernas vikt <15, 22, 29 eller >35 ton. För att ta hänsyn till det värsta fallet antas grävmaskiner väga mer än 35 ton. Enligt indata från NCC har dessa varit aktiva i 7 384 timmar.

Kemiska analyser och förbrukningsmaterial

Det förbrukningsmaterial som blir aktuellt från erhållen indata är geotextilduk, då resterande materialuppgifter inte går att fylla i. I programmet kan 1,2 millimeter eller 1,5 millimeter geotextilduk väljas. Enligt NCC har geotextilduken tjockleken 1,1 millimeter och därför väljs 1,2 millimeter. Arean 10 000 kvadratmeter geotextilduk är given från NCC.

⁵ E-postkontakt med Martina Hedin från NCC, 2013-02-25

⁶ Telefonkontakt med Martina Hedin från NCC, 2013-03-11

8.5.1 Behandling av massor

Massan schaktad jord är 74 390 ton. All jord antas omhändertas av reningsanläggningen Ragn Sells. Hur mycket massor som renats i varje metod är okänt.

Behandling

Det finns inte någon information kring hur mycket massa som behandlats i de olika metoderna på Ragn Sells. Enligt Karin Blechingberg, ansvarig för saneringen på Ale kommun, har mycket av massorna deponerats⁷. Därför antas all massa, 74 390 ton, deponeras.

8.5.2 Återställande av området

Detta processteg innefattar schakt och transport av massor för återfyllnad. Lastbilarna antas ha en kapacitet på 30 ton per last. Enligt indata från COWI varierar kapaciteten mellan 15-20 kubikmeter per last, övervägande är dock kapaciteten 15 kubikmeter per last. För att se motivering och omvandling på kapacitetet per lastbil från kubikmeter till ton, se avsnitt *Schakt och transport av massor*.

Lera

Avståndet tur och retur per last är enligt indata från NCC 36 kilometer.

$$\text{Volym lera} = 36\,500\, \text{m}^3$$

$$\text{Antal last} = \frac{\text{volym lera}}{\text{kapacitet per last [m}^3\text{]}} = \frac{36500}{15} = 2\,433\, \text{last}$$

$$\text{Total körsträcka} = \text{sträcka} \times \text{antal last} = 36 \times 2433 = 87\,588\, \text{km}$$

Total transportsträcka är 87 588 kilometer.

Stenkross

Avståndet tur och retur per last är enligt indata från NCC 20 km.

$$\text{Volym stenkross} = 5\,000\, \text{m}^3$$

$$\text{Antal last} = \frac{\text{volym lera}}{\text{kapacitet per last [m}^3\text{]}} = \frac{5\,000}{15} = 333\, \text{last}$$

$$\text{Total körsträcka} = \text{sträcka} \times \text{antal last} = 20 \times 333 = 6\,660\, \text{km}$$

Total transportsträcka är 6 660 kilometer.

⁷ E-postkontakt med Karin Blechingberg, Huvudman, Ale Kommun, 2013-02-25

Jord

Avståndet tur och retur per lass är enligt NCC 32 km.

$$\text{Volym jord} = 600 \text{ m}^3$$

$$\text{Antal lass} = \frac{\text{volym lera}}{\text{kapacitet per lass [m}^3\text{]}} = \frac{600}{15} = 40 \text{ lass}$$

$$\text{Total körsträcka} = \text{sträcka} \times \text{antal lass} = 32 \times 40 = 1\,280 \text{ km}$$

Total transportsträcka är 1 280 kilometer.

Litteraturförteckning

Konsumentverket, 2013. *Drivmedel*. [Online]

Available at: <http://www.konsumentverket.se/vara-omraden/bilar-och-fordon/miljotips-for-bilagare/drivmedelochutslapp/drivmedel/>

[Använd 19 april 2013].

Larsson , R., 2008. *Jords egenskaper*, Linköping: Statens Geotekniska Institut.

Nosconsult, 2009. *Surte 2:38 och del av 43:1, Ale kommun - MKB för tillståndsansökan*, Göteborg: Norconsult AB.

Bilaga 3 – Antaganden och beräkningar Limhamn

Data har erhållits från NCC Boende AB:s två slutrapporter. Information har även erhållits genom kontakt med Malin Norin på NCC. I Tabell 1 sammanställs erhållen data från NCC.

Tabell ~~881~~ Indata erhållen från NCC.

Indata erhållen från NCC			
	Area	Volym	Medeldensitet
Åtgärdsalternativ 9b realiserat	85 000 m²	46 055 m³	1,8 ton/m³
Omhändertagande av massor	Transport av massor (kapacitet på lastbil 30 ton/lass)	Övrig undersökningsutrustning (grävmaskiner, 1 st >35 ton och 1 st 22 ton)	
Åtgärdsalternativ 9b realiserat	96 239 km	700 h per grävmaskin	
Behandling av massor	Behandling (Deponering)		
Åtgärdsalternativ 9b realiserat	10 776 ton		
Återställande av området	Transport av återfyllnadsmassor (kapacitet på lastbil 30 ton/lass)	Återfyllning maskintimmar (dumper)	Återfyllning maskintimmar (hjullastare)
Åtgärdsalternativ 9b realiserat	0	700 h	1 400 h

För indata som inte har erhållits från NCC har antaganden och beräkningar gjorts. Dessa redovisas i Tabell 2 och följs av motiveringar.

Tabell 2 Beräknad indata för åtgärdsalternativen.

Beräknad indata			
	Area	Volym (m³)	Medeldensitet
Åtgärdsalternativ 1	85 000 m²	70 100 m³	1,8 ton/m³
Åtgärdsalternativ 5	85 000 m²	29 100 m³	1,8 ton/m³
Åtgärdsalternativ 9a	85 000 m²	42 100 m³	1,8 ton/m³
Åtgärdsalternativ 9b	85 000 m²	42 100 m³	1,8 ton/m³
Åtgärdsalternativ 9b realiserat (erhållen)	85 000 m²	46 055 m³	1,8 ton/m³
Omhändertagande av massor	Transport av massor (kapacitet på lastbil 30 ton/lass)	Övrig undersökningsutrustning (grävmaskiner, 1 st >35 ton och 1 st 22 ton)	
Åtgärdsalternativ 1	115 548 km	1 060 h per grävmaskin	
Åtgärdsalternativ 5	53 928 km	439 h per grävmaskin	
Åtgärdsalternativ 9a	74 368 km	637 h per grävmaskin	
Åtgärdsalternativ 9b	49 492 km	637 h per grävmaskin	
Åtgärdsalternativ 9b realiserat (erhållen)	96 239 km	700 h per grävmaskin	
Behandling av massor	Behandling (Deponering)		
Åtgärdsalternativ 1	41 580 ton		
Åtgärdsalternativ 5	25 380 ton		
Åtgärdsalternativ 9a	28 980 ton		
Åtgärdsalternativ 9b	9 405 ton		
Åtgärdsalternativ 9b realiserat (erhållen)	10 776 ton		
Återställande av området	Transport av återfyllnadsmassor (kapacitet på lastbil 30 ton/lass)	Återfyllning (dumper)	Återfyllning (hjullastare)
Åtgärdsalternativ 1	5 771 km	0 h	350 h
Åtgärdsalternativ 5	0 km	0 h	350 h
Åtgärdsalternativ 9a	0 km	0 h	350 h
Åtgärdsalternativ 9b	0 km	637 h	1 274 h
Åtgärdsalternativ 9b realiserat (erhållen)	0 km	700 h	1 400 h

Beräkningar av transportsträckor och massfördelningar

I åtgärdsutredningens Bilaga 6 och slutrapporterna som gjorts för Limhamns läge etapp 1 anges två olika värden för avståndet mellan Limhamn och Norra Hamnen. I slutrapporterna anges avståndet 22 kilometer (NCC Boende AB, 2012a). I åtgärdsutredningens Bilaga 6 anges avståndet 12 kilometer (SWEKO, 2011). Då det enligt kartmätningar är cirka 11,4 kilometer mellan områdena görs antagandet att avståndet är 12 kilometer. Tabell 3 redovisar avstånden som använts vid transportberäkningarna.

Tabell 3 Avstånden till mottagningsanläggningarna.

Mottagningsanläggning	Avstånd (tur och retur)
Norra Hamnen, Malmö	24 km
Källvattengatan, Malmö	26 km
Vankiva 9330, Hässleholm	192 km
Stuverigatan 25, Landskrona	96 km

Beräkning av transportsträcka - Åtgärdsalternativ 1

Massor som fraktats till respektive mottagningsanläggning återfinns i Figur 6-7 i rapporten.

$$\text{Körsträcka Norra Hamnen} = \text{avstånd} \times \text{antal lass} = 24 \times 2\,840 = 68\,160 \text{ kilometer}$$

$$\begin{aligned}\text{Körsträcka Källvattengatan} &= \text{avstånd} \times \text{antal lass} = 26 \times 1\,350 \\ &= 35\,100 \text{ kilometer}\end{aligned}$$

$$\text{Körsträcka Vankiva} = \text{avstånd} \times \text{antal lass} = 192 \times 64 = 12\,288 \text{ kilometer}$$

Total körsträcka

$$\begin{aligned}&= \text{Körsträcka Norra Hamnen} + \text{Körsträcka Källvattengatan} + \text{Körsträcka Vankiva} \\ &= 115\,548 \text{ kilometer}\end{aligned}$$

Beräkning av att transportstäckas - Åtgärdsalternativ 5

Massor som fraktats till respektive mottagningsanläggning återfinns i Figur 6-8 i rapporten.

$$\text{Körsträcka Norra Hamnen} = \text{avstånd} \times \text{antal lass} = 24 \times 890 = 21\,360 \text{ kilometer}$$

$$\text{Körsträcka Källvattengatan} = \text{avstånd} \times \text{antal lass} = 26 \times 780 = 20\,280 \text{ kilometer}$$

$$\text{Körsträcka Vankiva} = \text{avstånd} \times \text{antal lass} = 192 \times 64 = 12\,288 \text{ kilometer}$$

Total körsträcka

$$\begin{aligned}&= \text{Körsträcka Norra Hamnen} + \text{Körsträcka Källvattengatan} + \text{Körsträcka Vankiva} \\ &= 53\,928 \text{ kilometer}\end{aligned}$$

Beräkning av transportsträcka - Åtgärdsalternativ 9a

Massor som fraktats till respektive mottagningsanläggning återfinns i Figur 6-9 i rapporten.

$$\text{Körsträcka Norra Hamnen} = \text{avstånd} \times \text{antal lass} = 24 \times 1\,590 = 38\,160 \text{ kilometer}$$

$$\text{Körsträcka Källvattengatan} = \text{avstånd} \times \text{antal lass} = 26 \times 920 = 23\,920 \text{ kilometer}$$

$$\text{Körsträcka Vankiva} = \text{avstånd} \times \text{antal lass} = 192 \times 64 = 12\,288 \text{ kilometer}$$

Total körsträcka

$$= \text{Körsträcka Norra Hamnen} + \text{Körsträcka Källvattengatan} + \text{Körsträcka Vankiva} \\ = 74\,368 \text{ kilometer}$$

Beräkning av transportsträcka - Åtgärdsalternativ 9b

Nedan visas hur omstrukturering av KM-MKM-massorna och siktningsfördelning sett i det utförda fallets två delområden. Omstruktureringen och siktningsfördelningen visar hur stor andel av den totala massan som placeras på respektive mottagningsanläggning och ligger till grund för beräkningar av transportsträckan för åtgärdsalternativ 9b i åtgärdsutredningen.

Delområde 1

Följande massfördelningar erhålls från det utförda saneringsarbetet enligt slutrapporten *Radhusområdet och flerbostadsområdet kolumn Oo8-To8* och återfinns i Figur 6-3 i rapporten (NCC Boende AB, 2012b).

Omstrukturering KM-MKM

$$\text{Återanvändning Limhamn} = \frac{\text{återanvändning Limhamn}}{\text{massor klassade till KM} - \text{MKM}} = \frac{8\,708}{28\,049} \approx 31\%$$

$$\text{Återanvändning Norra Hamnen} = \frac{\text{återanvändning Norra Hamnen}}{\text{massor klassade till KM} - \text{MKM}} = \frac{19\,341}{28\,049} \\ \approx 69\%$$

Siktningsfördelning MKM-FA

$$\text{Återanvändning Limhamn} = \frac{\text{återanvändning Limhamn}}{\text{massor klassade till MKM} - \text{FA}} = \frac{4\,897}{9\,978} \approx 49\%$$

$$\text{Återanvändning Norra Hamnen} = \frac{\text{återanvändning Norra Hamnen}}{\text{massor klassade till MKM} - \text{FA}} = \frac{2\,854}{9\,978} \approx 29\%$$

$$\text{Deponering Källvattengatan} = \frac{\text{deponering Källvattengatan}}{\text{massor klassade till MKM} - \text{FA}} = \frac{2\,052}{9\,978} \approx 20\%$$

$$\text{Deponering Vankiva} = \frac{\text{deponering Vankiva}}{\text{massor klassade till MKM} - \text{FA}} = \frac{175}{9\,978} \approx 2\%$$

Delområde 2

Följande massfördelningar fås från det utförda saneringsarbetet enligt slutrapporten *Parkområdet och flerbostadsområdet, ej kolumn Oo8-To8* och återfinns i Figur 6-4 i rapporten (NCC Boende AB, 2012a).

Omstrukturering KM-MKM

$$\text{Återanvändning Limhamn} = \frac{\text{återanvändning Limhamn}}{\text{massor klassade till KM - MKM}} = \frac{8\,987}{22\,645} \approx 40\%$$

$$\text{Återanvändning Norra Hamnen} = \frac{\text{återanvändning Norra Hamnen}}{\text{massor klassade till KM - MKM}} = \frac{13\,658}{22\,645} \approx 60\%$$

Siktningsfördelning MKM-FA

$$\text{Återanvändning Limhamn} = \frac{\text{återanvändning Limhamn}}{\text{massor klassade till MKM - FA}} = \frac{13\,423}{20\,247} \approx 66\%$$

$$\text{Återanvändning Norra Hamnen} = \frac{\text{återanvändning Norra Hamnen}}{\text{massor klassade till MKM - FA}} = \frac{193}{20\,247} \approx 1\%$$

$$\text{Deponering Källvattengatan} = \frac{\text{deponering Källvattengatan}}{\text{massor klassade till MKM - FA}} = \frac{6\,138}{20\,247} \approx 31\%$$

$$\text{Deponering Vankiva} = \frac{\text{deponering Vankiva}}{\text{massor klassade till MKM - FA}} = \frac{431}{20\,247} \approx 2\%$$

Medelvärde av delområde 1 och 2

Ett medelvärde av siktningsfördelningen och omstruktureringen av KM-MKM-massorna från delområde 1 och 2 beräknas.

Omstrukturering KM-MKM

Återanvändning Limhamn = medelvärde av delområde 1 & 2

$$= \frac{31 + 40}{2} = 36 \%$$

Återanvändning Norra Hamnen = medelvärde av delområde 1 & 2

$$= \frac{69 + 60}{2} = 64 \%$$

Siktningfördelning MKM-FA

Återanvändning Limhamn = medelvärde av delområde 1 & 2

$$= \frac{49 + 66}{2} = 57 \%$$

Återanvändning Norra Hamnen = medelvärde av delområde 1 & 2

$$= \frac{29 + 1}{2} = 15 \%$$

Deponering Källvattengatan = medelvärde av delområde 1 & 2

$$= \frac{20 + 31}{2} = 26 \%$$

Deponering Vankiva = medelvärde av delområde 1 & 2

$$= \frac{2 + 2}{2} = 2 \%$$

Transportstäcka

Kapaciteten på lastbilarna är 30 ton per lass (SWECO, 2011).

KM-MKM

$$\begin{aligned} \text{Massor till Limhamn} &= \text{andel} \times \text{total massa KM} - \text{MKM} = 0,355 \times 46\,800 \\ &= 16\,614 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massor till Norra Hamnen} &= \text{andel} \times \text{total massa KM} - \text{MKM} = 0,645 \times 46\,800 \\ &= 30\,186 \text{ ton} \end{aligned}$$

MKM-FA

$$\begin{aligned} \text{Massor till Limhamn} &= \text{andel} \times \text{total massa MKM} - \text{FA} = 0,575 \times 27\,000 \\ &= 15\,525 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massor till Norra Hamnen} &= \text{andel} \times \text{total massa MKM} - \text{FA} = 0,15 \times 27\,000 \\ &= 4\,050 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massor till Källvattengatan} &= \text{andel} \times \text{total massa MKM} - \text{FA} = 0,255 \times 27\,000 \\ &= 6\,885 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\text{Massor till Vankiva} = \text{andel} \times \text{total massa MKM} - \text{FA} = 0,02 \times 27\,000 = 540 \text{ ton}$$

Körsträcka

$$\text{Antal lass Norra Hamnen} = \sum \frac{\text{massor till Norra Hamnen}}{\text{kapacitet på lastbilarna}} = \frac{30\,186 + 4\,050}{30} \\ \approx 1\,141 \text{ lass}$$

$$\text{Antal lass Källvattengatan} = \sum \frac{\text{massor till Källvattengatan}}{\text{kapacitet på lastbilarna}} = \frac{6\,885}{30} \approx 230 \text{ lass}$$

$$\text{Antal lass Vankiva} = \sum \frac{\text{massor till Vankiva}}{\text{kapacitet på lastbilarna}} = \frac{1\,980 + 540}{30} \approx 84 \text{ lass}$$

$$\begin{aligned} \text{Total körsträcka} &= \sum \text{avstånd} \times \text{antal lass} \\ &= \text{avstånd Norra Hamnen} \times \text{antal lass} + \text{avstånd Källvattengatan} \times \text{antal lass} \\ &\quad + \text{avstånd Vankiva} \times \text{antal lass} = (24 \times 1\,141) + (26 \times 230) + (192 \times 84) \\ &= 49\,492 \text{ kilometer} \end{aligned}$$

Tabell 4 Sammanställning av körsträckor för åtgärdsalternativen i åtgärdsutredningen.

Åtgärdsalternativ	1	5	9a	9b
Norra Hamnen	68 160 km	21 360 km	38 160 km	27 384 km
Källvattengatan	35 100 km	20 280 km	23 920 km	5 980 km
Vankiva	12 288 km	12 288 km	12 288 km	16 128 km
Totalt	115 548 km	53 928 km	74 368 km	49 492 km

Beräkning av transportsträcka - utfört åtgärdsalternativ 9b

Massor som fraktats till respektive mottagningsanläggning återfinns i Figur 6-3 och 6-4 i rapporten. Kapaciteten på lastbilarna är 30 ton per lass (SWECO, 2011).

Radhusområdet och flerbostadsområdet, kolumn Oo8-To8

$$\text{Antal lass Norra Hamnen} = \sum \frac{\text{antal körda kilometer}}{\text{kapacitet på lastbilarna}} = \frac{19\,341 + 2\,853}{30} \approx 740 \text{ lass}$$

$$\begin{aligned} \text{Antal lass Vankiva} &= \sum \frac{\text{antal körda kilometer}}{\text{kapacitet på lastbilarna}} + \text{IFA} - \text{lass} = \frac{175 + 180}{30} + 47 \\ &\approx 59 \text{ lass} \end{aligned}$$

$$\text{Antal lass Landskrona} = \text{IFA} - \text{lass} = 22 \text{ lass}$$

$$\begin{aligned} \text{Total körsträcka delområde 1} &= \sum \text{avstånd} \times \text{antal lass} \\ &= \text{avstånd Norra Hamnen} \times \text{antal lass} + \text{avstånd Vankiva} \times \text{antal lass} \\ &\quad + \text{avstånd Landskrona} \times \text{antal lass} = (24 \times 740) + (192 \times 59) + (96 \times 22) \\ &= 31\,200 \text{ kilometer} \end{aligned}$$

Parkområdet och flerbostadsområdet, ej kolumn Oo8-To8

$$\text{Antal lass Norra Hamnen} = \sum \frac{\text{antal körda kilometer}}{\text{kapacitet på lastbilarna}} = \frac{13\,658 + 193}{30} \approx 462 \text{ lass}$$

$$\text{Antal lass Vankiva} = \sum \frac{\text{antal körda kilometer}}{\text{kapacitet på lastbilarna}} = \frac{6\,631 + 1\,800}{30} \approx 281 \text{ lass}$$

$$\begin{aligned} \text{Total körsträcka delområde 2} &= \sum \text{avstånd} \times \text{antal lass} \\ &= \text{avstånd Norra Hamnen} \times \text{antal lass} + \text{avstånd Vankiva} \times \text{antal lass} \\ &= (24 \times 462) + (192 \times 281) = 65\,039 \text{ kilometer} \end{aligned}$$

Total körsträcka 9b

$$\begin{aligned} \text{Total körsträcka} &= \text{Körsträcka delområde 1} + \text{Körsträcka delområde 2} \\ &= 31\,200 + 65\,039 = 96\,239 \text{ kilometer} \end{aligned}$$

Maskintimmar

Två grävmaskiner har varit aktiva under hela saneringsprocessen, en grävmaskin på 40 ton och en på 20 ton⁸. Grävmaskinerna har varit aktiva fem arbetsdagar per vecka där en arbetsdag antas vara åtta timmar. Grävmaskinerna har varit igång under hela saneringsarbetet vilket innebär att de varit aktiva från februari 2012 till juni 2012. Saneringen antas ha påbörjats 1 februari 2012 och avslutats 1 juni 2012, vilket resulterar i 87 arbetsdagar. Antalet timmar som grävmaskinerna har varit aktiva blir därmed 700 timmar för vardera grävmaskin.

För alternativ 9b, där arbete med siktning tillkommit, har en dumper och två hjullastare varit aktiva under hela saneringsprocessen⁹. Dumper och hjullastare antas ha varit aktiva fem dagar per vecka, hela arbetsdagar som antas till åtta timmar. Detta resulterar i att dumpern varit aktiv i 700 timmar och hjullastarna har tillsammans varit aktiva i 1 400 timmar.

Ett antagande har gjorts att grävmaskiner lastat schaktade jordmassor direkt på lastbilarna som sedan kört iväg till respektive mottagningsanläggning. Detta innebär att det vid schaktning inte krävs några dumprar eller hjullastare för att mellanlagra massorna, förutom för det alternativ som innefattar siktning. Dock antas det krävas en hjullastare för att fördela återfyllnadsmassorna på området. I samråd med Jenny Norrman antas dessa hjullastartimmar vara inräknade i det erhållna värdet för maskintimmar i det utförda åtgärdsalternativet 9b¹⁰. För alternativ 1, 5 och 9a har det antagits att en hjullastare behövs under återfyllnadsfasen, vilket motsvarar halva saneringstiden. Hjullastaren antas ha varit aktiv fem dagar i veckan, åtta timmar per dag vilket resulterar i 350 timmar.

⁸ E-postkontakt med Malin Norin, Teknisk specialist, NCC teknik Göteborg, 2013-04-30

⁹ E-postkontakt med Malin Norin, Teknisk specialist, NCC teknik Göteborg, 2013-04-30

¹⁰ Handledarmöte med Jenny Norrman, forskarassistent på geoavdelningen på Bygg- och Miljöteknik Chalmers, 2013-05-08

Grävmaskinstimmar för alternativ 1, 5, 9a och 9b i åtgärdsutredningen samt dumpertimmar och hjullastartimmar för alternativ 9b i åtgärdsutredningen har uppskattats. Denna uppskattning har gjorts genom en beräkning av hur många timmar det tar att schakta ett ton massor för det utförda alternativet, 9b. Denna kapacitet antas gälla för alla maskiner och för samtliga alternativ.

$$\text{Kapacitet} = \frac{\text{Antal timmar för respektive maskin}}{\text{Total schaktad massa}} = \frac{700}{82\,899} = 0,0084 \text{ h/ton}$$

För att beräkna antalet maskintimmar för de övriga alternativen multipliceras kapaciteten på grävmaskinerna med respektive alternativs schaktade massa, som visas i Tabell 5.

Tabell 5 De totala schaktade massorna för varje åtgärdsalternativ.

Åtgärdsalternativ	Schaktad massa (ton)
9b Utfört	38207+44692= 82 899
1	126 180
5	52 380
9a	75 780
9b	75 780

Beräkning av maskintimmar – åtgärdsalternativ 1

$$\text{Stor grävmaskin} = 0,0084 \times 126\,180 = 1060 \text{ h}$$

$$\text{Liten grävmaskin} = 0,0084 \times 126\,180 = 1060 \text{ h}$$

$$\text{Hjullastare} = 350 \text{ h}$$

Beräkning av maskintimmar – åtgärdsalternativ 5

$$\text{Stor grävmaskin} = 0,0084 \times 52\,380 = 439 \text{ h}$$

$$\text{Liten grävmaskin} = 0,0084 \times 52\,380 = 439 \text{ h}$$

$$\text{Hjullastare} = 350 \text{ h}$$

Beräkning av maskintimmar – åtgärdsalternativ 9a

$$\text{Stor grävmaskin} = 0,0084 \times 75\,780 = 637 \text{ h}$$

$$\text{Liten grävmaskin} = 0,0084 \times 75\,780 = 637 \text{ h}$$

$$\text{Hjullastare} = 350 \text{ h}$$

Beräkning av maskintimmar – åtgärdsalternativ 9b

$$\text{Stor grävmaskin} = 0,0084 \times 75\,780 = 637\,h$$

$$\text{Liten grävmaskin} = 0,0084 \times 75\,780 = 637\,h$$

$$\text{Dumper} = 0,0084 \times 75\,780 = 637\,h$$

$$\text{Hjullastare} = 2 * 0,0084 \times 75\,780 = 1274\,h$$

Deponering

Massorna som fraktades till Norra Hamnen kom att fungera som utfyllnadsmassor för ett industriområde och hamnområde¹¹. Detta resulterade i transporter på området i Norra Hamnen samt maskintimmar. Att massorna antas deponerats var enligt Torbjörn Håkansson, miljöinspektör i Malmö Stad, ett rimligt antagande då det vid deponering krävs grävmaskiner, hjullastare och lastbilar. Själva deponeringsplatsen skall med dagens standard i sig inte släppa ut någon koldioxid utan det som släpper ut koldioxid är just hanteringen av massorna till deponiplats. Därmed anses utläppen vid deponering bli likvärdiga med de utsläppen som skett från utfyllnaden av Norra Hamnen.

Deponerade massor har beräknats med hjälp av information från åtgärdsutredningen och de två slutrapporterna. Se Figur 6-3, 6-4, 6-7, 6-8, 6-9 och 6-11 i rapporten.

Beräkning av deponeringsmassa – åtgärdsalternativ 1

$$39\,600 + 1\,980 = 41\,580\,ton$$

Beräkning av deponeringsmassa – åtgärdsalternativ 5

$$23\,400 + 1\,980 = 25\,380\,ton$$

Beräkning av deponeringsmassa – åtgärdsalternativ 9a

$$27\,000 + 1\,980 = 28\,980\,ton$$

Beräkning av deponeringsmassa – åtgärdsalternativ 9b

$$1\,980 + 6\,885 + 54 = 8\,919\,ton$$

Beräkning av deponeringsmassa – utfört åtgärdsalternativ 9b

$$(108 + 2\,052 + 175) + (1\,800 + 6\,138 + 431) = 10\,776\,ton$$

¹¹ Telefonkontakt med Torbjörn Håkansson, Miljöinspektör för avdelningen för miljö- och hälsoskydd, Malmö Stad, 2013-05-17

Återfyllnadsmassor

Inga externa återfyllnadsmassor har behövt användas för det utförda saneringsalternativet¹². Med denna information görs antagandet att åtgärdsalternativ 9b i åtgärdsutredningen inte heller skulle behövt några externa återfyllnadsmassor. Anledningen till att externa återfyllnadsmassor inte behövts beror på att området har återfyllts med massor som omstruktureras inom området samt att resterande återfyllnadsmassor har kunnat hämtas från betongkross från byggnaderna på området¹³. För att beräkna hur mycket externa återfyllnadsmassor som behövs i de resterande åtgärdsalternativen, där återanvändning genom omstrukturering av massor inte gjorts, har informationen om hur mycket betongkross som kunnat användas i åtgärdsalternativ 9b använts. Ett antagande görs om att den mängd betongkross som i alternativ 9b kunnat återanvändas också skulle kunnat återanvändas i de andra alternativen. De externa återfyllnadsmassorna i åtgärdsalternativen 1, 5 och 9a blir således skillnaden mellan den totala schaktade massan i respektive alternativ och massan betongkross som kunnat återanvändas i alternativ 9b.

I beräkningarna har kapaciteten på lastbilarna antagits till 30 ton per lass (SWEKO, 2011). Enligt Malin Norin kan ett antagande göras om att de externa återfyllnadsmassor som skulle behövts för alternativ 1, 5 och 9a skulle hämtats från Malmö¹⁴. Avståndet mellan Malmö och Limhamn är 40 km tur och retur. För information om schaktade massor i respektive alternativ se Figur 6-3, 6-4, 6-7, 6-8, 6-9 och 6-11 i rapporten.

Återanvändande betongkross – åtgärdsalternativ 9b i åtgärdsutredningen

Total schaktad massa är 75 780 ton.

$$\text{Återanvändning Limhamn} = 16\,614 + 15\,525 = 32\,139 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}\text{Återanvändning betongkross} &= \text{total schaktad massa} - \text{återanvändning Limhamn} \\ &= 75\,780 - 32\,139 = 43\,641 \text{ ton}\end{aligned}$$

Körsträcka för externa återfyllnadsmassor – åtgärdsalternativ 1

Total schaktad massa är 126 180 ton.

Externa återfyllnadsmassor

$$\begin{aligned}&= \text{total schaktad massa} - \text{återanvändning betongkross} = 126\,180 - 43\,641 \\ &= 82\,539 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\text{Antal lass} = \frac{\text{externa återfyllnadsmassor}}{\text{kapacitet lastbil}} = \frac{82\,539}{30} = 2\,751,3 \text{ lass}$$

$$\begin{aligned}\text{Körsträcka externa återfyllnadsmassor} &= \text{antal lass} \times \text{avstånd} = 2\,751,3 \times 40 \\ &= 110\,052 \text{ km}\end{aligned}$$

¹² E-postkontakt med Malin Norin, Teknisk specialist, NCC teknik Göteborg, 2013-04-30

¹³ Handledarmöte med Jenny Norrman, forskarassistent på geoavdelningen på Bygg- och Miljöteknik Chalmers, 2013-05-08

¹⁴ E-postkontakt med Malin Norin, Teknisk specialist, NCC teknik Göteborg, 2013-04-30

Körsträcka för externa återfyllnadsmassor – åtgärdsalternativ 5

Total schaktad massa är 52 380 ton.

Externa återfyllnadsmassor

$$= \text{total schaktad massa} - \text{återanvändning betongkross} = 52\,380 - 43\,641 \\ = 8\,739 \text{ ton}$$

$$\text{Antal lass} = \frac{\text{externa återfyllnadsmassor}}{\text{kapacitet lastbil}} = \frac{8\,739}{30} = 291,3 \text{ lass}$$

$$\text{Körsträcka externa återfyllnadsmassor} = \text{antal lass} \times \text{avstånd} = 291,3 \times 40 \\ = 11\,652 \text{ km}$$

Körsträcka för externa återfyllnadsmassor – åtgärdsalternativ 9a

Total schaktad massa är 75 780 ton.

Externa återfyllnadsmassor

$$= \text{total schaktad massa} - \text{återanvändning betongkross} = 75\,780 - 43\,641 \\ = 32\,139 \text{ ton}$$

$$\text{Antal lass} = \frac{\text{externa återfyllnadsmassor}}{\text{kapacitet lastbil}} = \frac{32\,139}{30} = 1\,071,3 \text{ lass}$$

$$\text{Körsträcka externa återfyllnadsmassor} = \text{antal lass} \times \text{avstånd} = 1\,071,3 \times 40 \\ = 42\,852 \text{ km}$$

Tabell 6 Sammanställning av externa återfyllnadsmassor för de olika åtgärdsalternativen och den utförda saneringen.

	Körsträcka för externa återfyllnadsmassor
Åtgärdsalternativ 1	110 052 kilometer
Åtgärdsalternativ 5	11 652 kilometer
Åtgärdsalternativ 9a	42 852 kilometer
Åtgärdsalternativ 9b	0 kilometer
Åtgärdsalternativ 9b realiserat	0 kilometer

Litteraturförteckning

NCC Boende AB, 2012a. *Slutrapport - Etapp 1, Parkområde och Flerbostadsområdet (ej kolumn Oo8-To8)*, Malmö: NCC.

NCC Boende AB, 2012b. *Slutrapport - Etapp 1, Radhusområde och kolumn Oo8-To8 i Flerbostadsområdet*, Malmö: NCC.

SWECO, 2011. *Åtgärdsutredning - Bilaga 6, fordonseffekter*, Malmö: SWECO Environment AB.