

CHALMERS



Miljöpåverkan vid marksanering - emissioner vid sanering av fastigheten Trädgården 1:124 (Hexionområdet)

Examensarbete inom Civilingenjörsprogrammet

JOHANNA HECTOR

Institutionen för Energi- och miljö
Miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2009
Examensarbete 2009:15

Examensarbete 2009:15

Miljöpåverkan vid marksanering
- emissioner vid sanering av fastigheten Trädgården 1:124 (Hexionområdet)

Examensarbete inom Civilingenjörsprogrammet
Johanna Hector

Institutionen för Energi- och miljö
Miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2009

Miljöpåverkan vid marksanering

- emissioner vid sanering av fastigheten Trädgården 1:124 (Hexionområdet)

© Johanna Hector, 2009

Examensarbete 2009:15
Institutionen för Energi och miljö
Miljösystemanalys
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon 031-772 10 00

Omslag: Bilden är hämtad från www.ledningskollen.se/Svenska/Press/Foto.aspx, 2009-10-30
Foto: Ester Sorri

Reproservice, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, 2009

Förord

Med genomförandet av detta examensarbete avrundar och avslutar jag min civilingenjörsutbildning på Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Dessa år har varit en mycket spännande och utmanande period i mitt liv.

Först och främst vill jag tacka min familj och mina vänner för allt stöd jag har fått av er och att ni har haft tålamod med mig. Jag hade inte klarat mig genom Chalmers utan er. En speciell tanke vill jag rikta till min mamma som funnits där för mig under hela resan men som inte får uppleva när jag triumferande går i mål. Jag klarade det mamma!

Jag vill också rikta ett stort tack till mina tre härliga och engagerade handledare, Malin Norin och Katarina Heikkilä på NCC Teknik Göteborg samt Karin Andersson på avdelningen för miljösystemanalys, Institutionen för energi och miljö på Chalmers. All övrig personal på NCC som har hjälpt mig och svarat på alla mina frågor förtjänar också ett stort tack!

Göteborg, november 2009

Johanna Hector

Sammanfattning

Naturvårdsverket har enligt en genomförd kartläggning funnit drygt 80 000 potentiellt förorenade områden i Sverige. På de potentiellt förorenade områdena har exempelvis olika typer av industriell produktion ägt rum som kan medföra att området har förorenats. I Mölndals Kråka, 500 meter öster om Mölndals centrum i Göteborg ligger en stor industrifastighet där industriell produktion i form av tillverkning av olika kemiska produkter t.ex. i form av bindemedel till färgindustrin, har pågått sedan 1800-talet. Marken inom det s.k. Hexionområdet är idag inom vissa begränsade delområden starkt förorenad till följd av tillverkningen och hanteringen av kemikalier. Fastigheten ägs idag av NCC och är tänkt att användas för uppförandet av bostäder. Eftersom flera uppmätta halter av föroreningar på området överskrider Naturvårdsverkets generella riktlinjer för "känslig markanvändning" dvs. mark som får nyttjas till bostäder, daghem, odling etc., måste en sanering av området genomföras innan bostäder kan byggas. Saneringen av området kommer med all säkerhet medföra en förbättring av den lokala miljön, men den medför också miljöpåverkan i form av emissioner till luft med ursprung från t.ex. de arbetsmaskiner som kommer att användas för genomförandet av saneringen. Syftet med detta examensarbete har varit att uppskatta den miljöpåverkan, i form av emissioner till luft, som saneringen av fastigheten kommer att medföra. Fokus har även lagts på att identifiera de delsteg i saneringsarbetet som medför den mest betydande miljöbelastningen. I arbetet har metoden livscykelanalys tillämpats för miljöpåverkansbedömningen. De miljöpåverkanskategorier som valts för analys är växthuseffekt, försurning och övergödning.

Två stycken olika saneringsstrategier har utvärderats; *in situ* och *ex situ*. I viss utsträckning har även strategin, *ex situ* i kombination med on site analyserats men ingår inte i något av de två framtagna scenarierna. Eftersom det finns vissa begränsningar både för när *in situ*- och *ex situ* metoder kan tillämpas kan de olika saneringsstrategierna inte ses som helt ekvivalenta och direkt jämförbara. Inom de olika saneringsstrategierna har även fyra olika alternativ för transport och mottagare analyserats. Dessa fyra är: transport 2 km med lastbil till den närliggande deponin Kikåstippen, transport 100 km med lastbil till en deponi i Heljestorp, transport med lastbil och båt 291 km till Langeoya utanför Oslos kust samt transport 265 km med tåg till SAKAB:s anläggning i Kumla.

Ex situ metoderna konstaterades medföra en mycket större emissionsbelastning än *in situ* metoden, huvudsakligen pga. av att inga transporter av den förorenade jorden behövs vid användandet av *in situ* metoden. De externa transporterna identifierades som det delsteg i genomförandet av saneringen som med marginal utgjorde det ur emissionssynpunkt mest belastande momentet. Ett effektivt sätt för att minska emissionsmängderna från saneringen är att så mycket som möjligt minska mängderna av förorenad jord som måste gå till deponi. Detta kan göras genom att jorden förbehandlas på plats med t.ex. siktning eller jordtvätt. Föroreningarna kan då begränsas till de allra finaste fraktionerna och övriga fraktioner kan i största mån återanvändas på plats.

Av de olika studerade transportslagen var båttransport det alternativ som belastar de valda miljöpåverkanskategorierna mest. Anmärkningsvärt för båttransporten är den stora påverkan på försurningen som beror på de höga utsläppen av svaveldioxider, helt beroende av de höga halterna av svavel i båtbränslet. Internationella sjöfartsorganisationen IMO skärpte dock 2008 gränsvärdena för svavel i marint bränsle, vilket i framtiden med stor säkerhet kommer att innebära att utsläppen av svaveldioxider från sjöfarten minskar och sjöfarten ur emissionssynpunkt blir ett mer konkurrenskraftigt transportsätt.

Betraktas saneringen av Hexionområdet ur ett kostnads-nyttoperspektiv kan följande fråga ställas: hur mycket producerade emissioner är egentligen förbättringen av den lokala miljön på området egentligen värd? Ur ett mer bredare perspektiv än bara det lokala kan det nämligen konstateras att det som egentligen händer i och med genomförandet av saneringen är en förflyttning av miljöpåverkan från ett område till några andra. Den minskade miljöpåverkan som medför en förbättring inom de nationella miljömålen "Giftfri miljö" samt "God bebyggd miljö" överförs och blir en belastning inom området för miljömålen "begränsad klimatpåverkan", "bara naturlig försurning" samt "ingen övergödning" istället. Innebär saneringen ur emissionssynpunkt och i det stora hela egentligen en total miljömässig förbättring?

Abstract

The Swedish Environmental Protection Agency has under a completed survey found more than 80 000 potentially contaminated sites in Sweden. On the potentially contaminated areas various types of industrial production has taken place which may have caused that the area is contaminated. In Mölndals Kråka, 500 meters east of the center of Mölndal a property of land today own by NCC is located. The property is meant to be used for construction of housing. In the area industrial production in terms of production of various chemical products such as binders for the coatings industry, has been ongoing since the 1800s. The land within the so-called Hexionområdet is today in certain limited areas heavily polluted as a result of the manufacture and handling of chemicals. Since several measured concentrations of pollutants in the area exceeds the Environmental Protection Agency's general guidelines on "sensitive landuse" a remediation of the area needs to be carried out before the housing can be built. Remediation of the area will certainly lead to an improvement of the local environment, but will also contribute with environmental impact in terms of emissions to air, originating from i.e. the machines that will be used for the implementation of remediation. The purpose of this thesis was to assess the environmental impact, in terms of emissions to air that the remediation of the property will bring. Focus has also been on identifying the steps of the remediation work involving the most significant environmental impact. In the thesis life cycle assessment has been used for the performance of the environmental impact assessment. The environmental impact categories selected for analysis are the greenhouse effect, acidification and eutrophication.

Two different remediation strategies have been evaluated with life cycle assessment; in situ, ex situ. In some extent the strategy including ex situ combined with onsite has been analyzed, but are not included in any of the two developed scenarios. Because of the fact that there are some limitations in when the strategies can be applied, the strategies can not be seen as entirely equivalent and directly comparable. Within the remediation strategies have also four different options for transportation and choice of receiver been analyzed. These four are: transport 2 km by truck to the nearby landfill Kikåstippen, 100 km transportation by truck to a landfill in Heljestorp, transportation by truck and boat, 291 km to Langeoya an Island outside Oslo's coast and 265 km of transport by rail to a Ragnsell's facility in Kumla.

Ex situ methods were found to cause a much bigger environmental load than the in situ method. Mainly due to the fact that no transportation of the contaminated soil is needed when using an in situ method. The external transport was identified as the step in the remediation process that caused the biggest environmental impact. An effective way to reduce the emissions from the remediation is to reduce the volume of contaminated soil that needs to be transported to a landfill. This can be done by pre-treating the soil onsite with methods such as sifting or soil washing. Pollutants may then be restricted to the finest fractions of the soil and other larger fractions can hopefully be used in a large extent on site.

The mode that resulted in highest environmental impact was the alternative with the mainly transport made by boat. Remarkably for boat transportation is the major influence on acidification due to the high emissions of sulphur dioxides, totally dependent on high concentrations of sulphur in the marine fuel. International Maritime Organization, IMO, took in 2008 a decision on more strict demands concerning the sulphur content in marine fuels. This will in the future lead to that sulphur dioxide emissions from shipping will be lower than the today's emissions. The reduction of sulphur emissions from shipping will from environmental the point of view lead to the fact that shipping becomes a more competitive choice of mode.

Considering the remediation of Hexionområdet from a cost-benefit perspective, the following question must be asked: how much emissions are acceptable to produce for getting an improvement of the local environment in the area? From a broader perspective than just the local one, it can be stated that what is actually happening when performing the remediation is a movement of environmental impacts from one area to the other. The reduction in environmental impacts which lead to an improvement in the national environmental objectives "non-toxic environment" and "a good built environment" is transferred and becomes a load in the field of "limited impact on the climate," "only natural acidification" and "no eutrophication" instead. Does the remediation of the property really lead to a total overall environmental improvement?

Innehållsförteckning

Förord.....	4
Sammanfattning.....	5
Abstract.....	7
Ordlista.....	11
1 Bakgrund.....	12
1.1 Inledning.....	12
1.2 Syfte.....	13
1.3 Genomförande	13
1.4 Avgränsningar.....	13
2 Områdesbeskrivning Trädgården 1:124	15
2.1 Inledande beskrivning.....	15
2.2 Områdets egenskaper	16
3 Marksantering	18
3.1 Val av saneringsmetod.....	18
3.2 Förflyttning av jordmassor.....	18
3.3 Naturvårdsverkets generella riktvärden	19
3.4 Platsspecifika riktvärden och mätbara åtgärds mål.....	19
3.5 Avfallsklasser.....	20
3.6 Analyserade saneringstrategier	21
3.6.2 Ex situ.....	23
3.6.2 On site.....	23
Siktning	23
Jordtvätt	24
4 Miljöpåverkan från emissioner till luft	25
4.1 Emissioners uppkomst	25
4.2 Emissioners effekter på miljön	26
5 Metodik för livscykelanalys	28
5.1 Definition av mål och omfattning	29
5.2 Livscykelinventering	29
5.3 Miljöpåverkansbedömning – Klassificering, karakterisering och viktning	29
5.4 Tolkning och analys av resultat	31
6 Fallstudie Trädgården 1:124	32
6.1 Definition av mål och omfattning	32
6.1.1 Målbeskrivning.....	32
6.1.2 Funktionell enhet.....	32
6.1.3 Systemomfattning.....	32
6.1.4 Avgränsningar	36
6.1.5 Datakällor	37
6.2 Inventering	37
6.2.1 Transporter	37
6.2.2 Arbetsmaskiner	37
6.3 Miljöpåverkansbedömning	39

7 Resultat.....	40
7.1 Scenario ett	40
Växthuseffekt	40
Försurning.....	41
Övergödning	41
7.2 Scenario två.....	42
Växthuseffekt	42
Försurning.....	43
Övergödning	43
7.3 Siktning och jordtvätt.....	44
8 Analys	45
8.1 Scenario ett	45
8.2 Scenario två.....	45
8.3 Tillämpning av resultat	47
8.4 Fortsatt analys av transportslag.....	48
8.5 Arbetsfordon	49
8.6 Miljöpåverkan med hänsyn till de nationella miljömålen.....	50
8.7 Kostnads-nyttö analys.....	51
8.8 Jämförelse med Danmarks lagar och riktlinjer	52
9 Diskussion.....	53
10 Slutsatser	54
10 Förslag till fortsatt utredning	55
11 Källförteckning	56

Bilagor

1	Mätbara åtgärds mål
2	Sammanställning av åtgärdsalternativ
3	Scenario 1 – Indata
4	Scenario 1 – Emissionsberäkningar
5	Scenario 2.1 – Indata
6	Scenario 2.1 – Emissionsberäkningar
7	Scenario 2.2 – Indata
8	Scenario 2.2 – Emissionsberäkningar
9	Scenario 2.3 – Indata
10	Scenario 2.3 – Emissionsberäkningar
11	Scenario 2.4 – Indata
12	Scenario 2.4 – Emissionsberäkningar
13	Källor resursförbrukning
14	Källor LCI-data
15	Struktur och hantering av förorenade jordmassor

Ordlista

Alifater = Samlad benämning på de alifatiska kolvätena – metan, etan, propan och butan – som ingår i naturgas eller mineralolja.

Aromater = Organisk-kemiska föreningar med ovanligt hög grad av stabilitet. De förekommer i naturen som t.ex. alkaloider, färgämnen, aminosyror och nukleinsyror. Syntetiska aromatiska föreningar används i läkemedel, färgämnen, plaster m.m. Molekylerna har ringstruktur.

Deponi = Upplagsplats för avfall för tillfällig eller permanent lagring.

LCA = Livscykelanalys (på engelska Life Cycle Assessment), metod för att bestämma en produkts- eller process miljöpåverkan under dess livscykel, dvs. från vaggan till graven.

Jordmassor = En stor volym av jord.

PAH = Polycyclic Aromatic Hydrocarbons dvs. polyaromatiska kolväten, betecknar en grupp med hundratal ämnen. Gemensamt är att de har två eller flera bensenringar. Många av dem anses som carcinogena.

Schaktning = bortforsling av jord eller lösa bergmassor, vanligen med schaktmaskiner, t.ex. grävmaskiner och bandschaktare.

1 Bakgrund

1.1 Inledning

Sveriges utveckling som industriland har på många håll lämnat spår efter sig. Enligt en kartläggning som Naturvårdsverket slutfört under 2007 så har drygt 80 000 stycken områden runt om i Sverige som är potentiellt förorenande identifierats [1]. Ett potentiellt förorenat område innebär att det på området funnits en verksamhet med potential att förorena och att det därför kan medföra att området är förorenat. På en mängd av dessa områden kommer att det krävas att någon form av sanering/efterbehandling utförs för att säkerställa att det inte finns någon kvarvarande risk för miljön eller människors hälsa. Ett flertal olika typer av metoder för sanering av förorenad mark finns framtagna.

Miljöarbetet på nationell nivå i Sverige är organiserat utifrån 16 miljömål som för första gången antogs av riksdagen 1999. Arbetet med att identifiera och sanera de förorenade landområdena runtomkring i Sverige drivs med målsättningen att bidra till en förbättring främst gällande miljömålen "giftfri miljö" samt "god bebyggd miljö". Inom det övergripande miljömålet "en giftfri miljö" finns flera delmål stipulerade varav ett av dem rör efterbehandling av förorenade områden. Målsättningen är att samtliga förorenade områden som innebär akuta risker vid direktexponering skall vara utredda och vid behov åtgärdade senast 2010. Till 2050 är målsättningen att så stor andel åtgärder vara genomförda att miljöproblemet i sin helhet är löst.

Strategierna för en sanering brukar delas upp i tre grupper, *ex situ*, *on site* och *in situ*. Den i dagsläget mest använda är s.k. *ex situ* sanering vilket innebär att den förorenade jorden grävs upp och transporteras bort från saneringsområdet för behandling på annan plats. Vid *on site* sanering schaktas också jorden men behandlingen av jorden sker istället på plats inom saneringsområdet. *In situ* skiljer sig från de övriga metoderna genom att jordmassorna inte grävs upp innan förbehandling, utan istället sker förbehandlingen på dess ursprungliga ställe. Sanering med *in situ* strategin är generellt en mer resurseffektiv metod än *ex situ* och *on site*, eftersom de förorenade massorna i dessa fall varken behöver grävas upp, transporteras bort eller ersättas av rena jordmassor [2].

Sanering av ett område med förorenad mark innebär oftast att området får ett samhällsmässigt ökat värde efter avslutad sanering. Men själva arbetet med saneringen medför även i sig en ökad miljömässig påverkan. Ett exempel är de ökade transporter av den förorenade jorden under tiden för genomförandet av saneringen. Förbättringar av den lokala miljön kan och borde alltså ställas mot den belastning som genomförandet av förbättringen medför, en sk. riskvärdering. Riskvärdering i efterbehandlingsprojekt är en relativt ny företeelse. Naturvårdsverket har inom kunskapsprogrammet Hållbar Sanering under perioden 2003-2009 genomfört ett femtiotal projekt med syftet bl.a. för att förbättra eller utveckla metoder för riskvärdering. Även områdena Undersökningsmetoder, Riskbedömning, Riskkommunikation och Åtgärdslösningar har berörts och utretts [3].

I Mölndals Kråka, 500 m öster om Mölndals centrum ligger en stor industrifastighet där industriell produktion pågått ända sedan 1800 talet. Detta har resulterat att fastigheten inom vissa delar är kraftigt förorenad. Eftersom marken numera ägs av NCC och är tänkt att användas för att uppföra bostäder på, kommer ett omfattande saneringsarbete vara aktuellt innan bostäderna kan byggas. Försättningsvis i rapporten kommer området där saneringen ska

genomföras, att benämnas med dess fastighetsbeteckning "Trädgården 1:124" eller med "Hexionområdet" efter den senaste brukaren av området.

Inom företaget bedriver NCC ett omfattande miljöarbete för att verka för en hållbar utveckling både ekonomiskt, socialt och miljömässigt. Miljömål bl.a. gällande minskad klimatpåverkan och återvinning och hantering av avfall finns statuerade [4]. Ett arbete med att ta fram NCC koncernens klimatpåverkan har påbörjats. Detta görs genom att beräkna ett sk. Carbon Footprint för alla inkluderade verksamheter. Carbon Footprint är ett begrepp man ofta refererar till när det gäller att räkna fram och redovisa den totala mängden koldioxid och andra växthusgaser som en person eller ett företag producerar [5]. NCC deltar också aktivt i utvecklingsprojektet "Carbon Footprint från efterbehandlingsentreprenader" som är ett samarbetsprojekt mellan representanter från sanerings- och miljökonsultbranschen. Projektet syftar till att ta fram ett lätt användbart standardiserat beräkningsverktyg för att kvantifiera utsläppen av växthusgaser vid efterbehandling av förorenade områden [6].

1.2 Syfte

Huvudsyftet med examensarbetet har varit att uppskatta miljöpåverkan i form av emissioner till luft som saneringsarbetet av fastigheten Trädgården 1:124 resulterar i. Fokus läggs även på att identifiera de delsteg som utgör den mest betydande belastningen.

1.3 Genomförande

Examensarbetets första del har utförts i form av en litteraturstudie. Nästa steg i arbetet har varit att genomföra själva bedömningen av miljöpåverkan i form av emissioner som saneringsarbetet av fastigheten Trädgården 1:124 kommer att medföra. För att beräkna miljöpåverkan av de använda saneringsmetoderna används livscykelanalys. Enligt en rapport publicerad 2002 av IVL Svenska Miljöinstitutet är livscykelanalys en tillämpbar metod när det gäller att utvärdera saneringsteknikers miljöpåverkan [7].

Resultaten från examensarbetet är tänkt att användas som underlag till beslutsfattande gällande vilka saneringsmetoder som skall tillämpas och i vilken omfattning. En förhoppning är att resultaten även ska kunna användas i argumentation i kontakten med myndigheter gällande hur långt saneringen ska drivas. Arbetet kan även utgöra ett underlag för att jämföra riskreduceringen med saneringen, med riskerna som själva saneringsarbetet medför.

1.4 Avgränsningar

Inom arbetet har ett specifikt projekt studerats. Detta medför att de genomförda miljöpåverkansberäkningarna är baserade på de platsspecifika förhållanden som råder inom området. Resultaten bör inte tolkas som generellt tillämpbara, däremot lämpar sig den valda metodiken väl att tillämpa på andra projekt med syftet att uppskatta miljöpåverkan. Det studerade systemet har bara innefattat vissa delar och vissa aspekter av saneringsarbetet på den diskuterade fastigheten. Denna rapport ska därför inte ses som en totalutvärdering av saneringsarbetet.

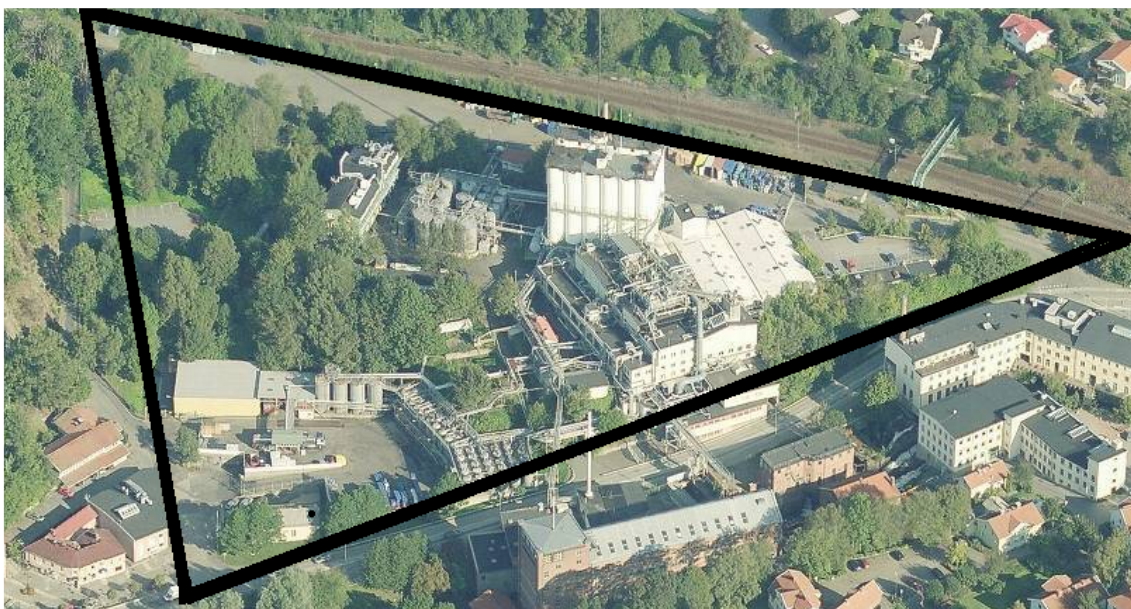
Arbetet har inte innefattat någon som helst kvalitetsmässig bedömning av prestanda eller effektivitet, hos de olika saneringsteknikerna. För varje tillämpad teknik har antagandet gjorts att användningen av tekniken leder till att de för detta projekt uppsatta mätbara åtgärds målen uppfylls.

2 Områdesbeskrivning Trädgården 1:124

I följande kapitel beskrivs huvuddragen av resultaten som genomförda utredningar relaterade till fastigheten Trädgården 1:124 har resulterat i.

2.1 Inledande beskrivning

Den studerade fastigheten är ett cirka 35 000 m² stort område beläget knappt en kilometer öster om Mölndals Centrum. Området har varit industrialiserat sen 1800-talet bl.a. pga. det faktum att de närliggande Mölndalsfallen har kunnat nyttjas som energikälla. Den första kända verksamhetsutövaren på området är Mendel Elias Delbanco som år 1827 byggde ett oljeslageri på området. Fram till 1940-talet tillverkades inom fastigheten framförallt linolja, senare övergick produktionen till olika kemiska produkter. I största utsträckning utgjordes produktionen av kemiska produkter av bindemedel till färgindustrin.



Figur 2.1 Flygfoto över Hexionområdet taget före rivning av de gamla fabrikslokalerna.

Den industriella produktionen som har ägt rum på området pågick t.o.m. april 2007. Under senaste perioden bedrevs produktionen i företaget Hexion Specialty Chemicals Sweden AB:s regi. I september 2007 köptes området av NCC Construction Sverige AB, med avsikten att tomten skall användas till uppförandet av flerbostadshus av "stadskaraktär". Planarbetet påbörjades i maj 2009 och byggstart av planerad bebyggelse kommer att ske tidigast 2011. Rivningen av befintliga byggnader på området påbörjades under hösten 2008 och har slutförts under hösten 2009. Tomten var tidigare till stora delar bebyggd med en större fabriksbyggnad, tankar, silos, lagerlokaler, rörledningar, laboratorier och andra byggnader [8].

För att bostäder överhuvudtaget ska få uppföras på marken måste sanering av området att genomföras. I nuläget överskrider flera halter av de olika inom området förekommande

föroreningarna de av Naturvårdsverket satta gränsvärdena för ”känslig markanvändning”, d.v.s. mark som får nyttjas till bostäder, daghem, odling etc.

2.2 Områdets egenskaper

Fastigheten är belägen inom den s.k. Göteborgsmoränen som är en komplex randmoränsavlagring. En randmorän är i huvudsak uppbyggd av morän. Morän är en jordart som kännetecknas av en osorterad blandning av olika partikelstorlekar från lerpartiklar till stenblock. Den andra huvudbeståndsdelen s.k. isälvsavlagringar har bildats efter att inlandsisen har smält undan och kan materialmässigt sammanfattas som grus, slam och stenar sorterade efter partikelstorlek, med det tyngsta materialet underst. Isälvsavlagringar kan även innehålla delar av lera [9].

Hexionområdet har en dramatisk topografi med stora höjdskillnader mellan olika belägna delar. I den östra delen av området är den högsta punkten (59 m.ö.h.) belägen och den lägsta (32 m.ö.h.) finns i den sydvästra delen.

Genomförda markundersökningar har visat att de naturliga jordlagren överlagras av stora mängder av fyllnadsmassor, som nyttjats för att utjämna höjdskillnaderna så att uppförandet av industribyggnader varit möjligt. Fyllnadsmassorna består till största del av grus och sand, men innehåller även lera, silt, sten och tegel. Fyllnadsmassornas mäktighet är på vissa ställen upp till fem meter. Inom stora delar av området ligger grundvattenytan relativt djupt. Så väl de naturliga jordlagren som fyllnadsmassorna är överlag mycket genomsläppliga. Detta medför att föroreningsspridningen inom vissa delar har skett till stora djup. Inom begränsade delar har höga föroreningshalter upphittats ner till åtta meter under markytan.

2.3 Föroreningssituation och efterbehandling

När anläggningen tidigare varit i drift har produktionen bestått av ett stort antal kemikalier, med fokus på tillverkning av bindemedel till färg och mjukgörare. Marken inom området är idag inom vissa begränsade delområden, s.k. källområden, starkt förorenad till följd av tillverkning och hantering av kemikalier. Men det finns även stora delar av undersökningsområdet som uppvisar generellt låga föroreningsnivåer av de ämnen som har undersökts. Detta bedöms bl. a bero på att det inte har bedrivits någon miljöstörande verksamhet inom dessa delar av området. Dessa ytor har inte heller nyttjats för utfyllnad/deponering av avfall och restprodukter från den tidigare verksamheten. Föroreningarna som har kunnat påvisas i höga halter är bl. a bly, ftalaten DEHP (mjukgörare) samt aromatiska, polyaromatiska (PAH) och alifatiska kolväten. De olika typerna av föroreningar är koncentrerade till olika källområden se figur 2.2.

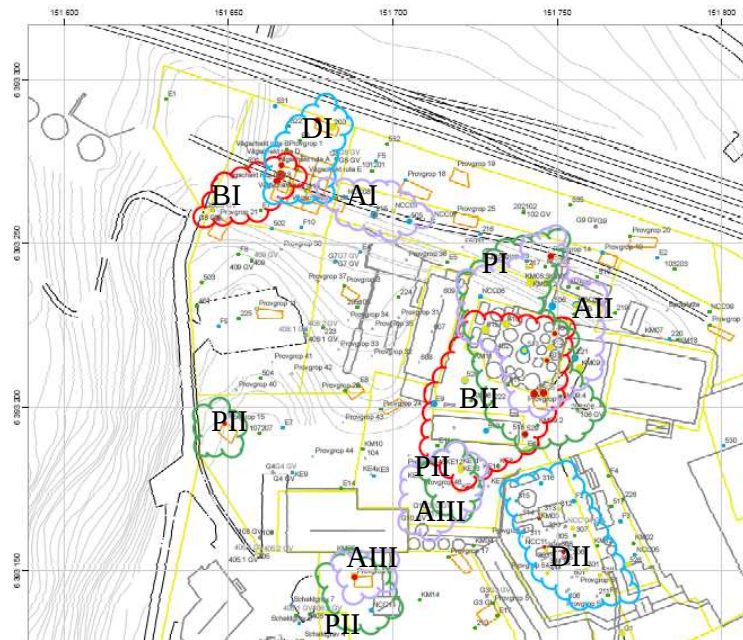
Källområdena har identifierats utifrån av NCC utförda miljötekniska markundersökningar. Under 2007 genomfördes en första översiktlig miljöteknisk markundersökning till följd av en fördjupad miljöteknisk markundersökning under 2008. De miljötekniska markundersökningarna har lett fram till att föroreningssituationen i fyllnadsmassorna i stor utsträckning har kunnat fastställas. Indikationer på förorenade områden har även framkommit under pågående rivningsarbeten, och ytterligare områden lär med säkerhet identifieras när rivningsarbetet har avslutats och undersökningar under exempelvis gjutna betonggrunder har kunnat genomföras.

Hexion sanering

Provtagningar och klassning

Teckenförklaring

- Väg
 - Järnväg
 - Bro
 - Byggnader
 - Höjkurvor (1 m)
 - Område
 - Provgrop
 - <KM
- Alla ämnen, NV klassning, djupint.
- FA, 0-1
 - FA, 1-2
 - FA, 2-4
 - FA, 4-6
 - FA, 6-8
 - MKM-FA, 0-1
 - MKM-FA, 1-2
 - MKM-FA, 2-4
 - MKM-FA, 4-6
 - MKM-FA, 6-8
 - MKM-FA, 8-
 - KM-MKM, 0-1
 - KM-MKM, 1-2
 - KM-MKM, 2-4
 - KM-MKM, 4-6
 - KM-MKM, 6-8
- Källområde bly
 - Källområde DEHP
 - Källområde PAH
 - Källområde alifater



Figur 2.2 Karta över fastigheten som visar de olika källområdena för; bly (BI & BII), DEHP (DI & DII), PAH (PI & PII) samt alifater och aromater (AI, AII & AIII).

Efterbehandlingsarbetet inom Kvarnbyområdet kommer att genomföras i två etapper. I en första etapp kommer saneringsåtgärder att sättas in mot kända förorenade markområden, de s.k. källområdena. I en andra etapp kommer markarbeten att utföras inom området i samband med nybyggnation. Dessa arbeten omfattar flera olika moment, schaktarbeten kommer att utföras för grundläggning av byggnader, för ledningsgravar o dyl. Under dessa arbeten kommer miljökontroll att ske enligt särskilt miljökontrollprogram, vilket högst sannolikt kommer att resultera i ytterligare efterbehandlingsåtgärder. Inom detta arbete kommer endast delar av miljöpåverkan för den första etappen av efterbehandling att uppskattas [10].

3 Marksanering

På i princip alla områden där en marksanering ska genomföras råder olika förhållanden, både föroreningssituationen och markförhållandena kan se väldigt olika ut. För att kunna genomföra en effektiv sanering och uppnå önskat resultat krävs en förundersökning av området för att kunna bedöma saneringsbehov och metodik. I föregående kapitel beskrevs de förutsättningar som råder just inom "Trädgården 124". I detta kapitel kommer de på området tillämpbara och inom arbetet studerade saneringsmetoderna att förklaras.

3.1 Val av saneringsmetod

Arbetet med att välja rätt teknik för sanering av ett specifikt område är något som innefattar en rad olika aspekter som måste integreras. Den första frågan som måste ställas är vilken typ av föroreningar som marken innehåller och i vilken halt dessa förekommer. Vidare bör även markförhållanden och förekommande jordarter studeras, vilket påverkar t.ex. risken för spridning av föroreningar [11]. En annan viktig aspekt är värdera och jämföra om de olika metoderna kan medföra att mätbara åtgärds målen uppnås. I detta projekt är även tidsaspekten viktig eftersom byggnationerna av de planerade bostäderna skall påbörjas inom en relativt snar framtid.

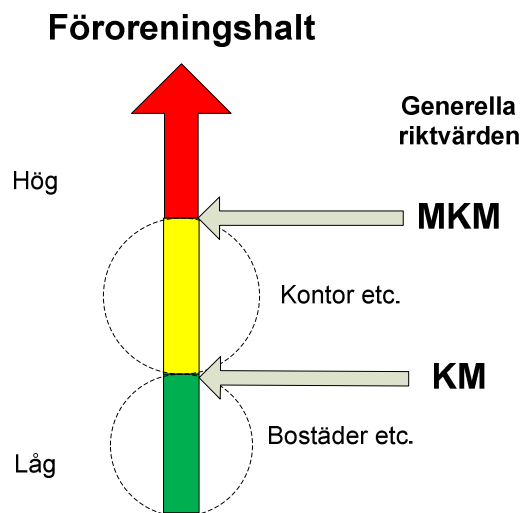
3.2 Förflyttning av jordmassor

Behovet av att på olika sätt förflytta jordmassor är mycket stort inom saneringsarbetet av Hexionområdet. Inom fastigheten kommer jordmassorna främst att flyttas med hjälp av en dumper. Ur miljösynpunkt skulle ett mer lättare och mindre bränslekrävande fordon kunna diskuteras men då tomtens topografi ser ut som den gör med stora höjdskillnader, måste fordonen klara att stå och köra i kraftigt lutande slänter. Även vissa kortare transporter av jorden utanför fastigheten kommer att genomföras. Dessa skulle givetvis kunna utföras med en lättare lastbil men då detta skulle kräva omlastning av jorden bedöms det resursmässigt bättre att istället köra transporten med dumpern. För externa transporter av jorden, längre sträckor utanför området kommer tung lastbil med släp, båt och tåg att användas. För kortare sträckor vid t.ex. omflyttning av tillfälligt placerade jordmassor kommer en hjullastare att användas. Hjullastaren kommer även att användas vid lastning av lastbilarna som ska gå iväg med en extern transport av den förorenade jorden.

3.3 Naturvårdsverkets generella riktvärden

Det vanligaste och enklaste sättet för att avgöra hur långt en marksaneringsåtgärd skall drivas är att tillämpa de av Naturvårdsverket generellt uppsatta riktvärdena. Det finns olika klasser av generella riktvärden som är baserade på vad marken efter saneringen ska användas till. Enligt Naturvårdsverkets generella bedömning delas markanvändningen in i två olika typer:

- **"KM** = Känslig markanvändning, där markkvaliteten inte begränsar val av markanvändning. Alla grupper av människor (barn, vuxna, äldre) kan vistas permanent inom området under en livstid. De flesta mark ekosystem samt grundvatten och ytvatten skyddas."
- **"MKM** = Mindre känslig markanvändning, där markkvaliteten begränsar val av markanvändning till exempelvis kontor, industrier eller vägar. De exponerade grupperna antas vara personer som vistas i området under sin yrkesverksamma tid samt barn och äldre som vistas i området tillfälligt. Markkvaliteten ger förutsättningar för markfunktioner som är av betydelse vid mindre känslig markanvändning, till exempel kan vegetation etableras och djur tillfälligt vistas i området. Grundvatten på ett avstånd av cirka 200 meter från området och ytvatten skyddas" [12].



Figur 3.1

Illustration över de generella gränsvärdena, föroreningshalt samt möjlig användning.

3.4 Platsspecifika riktvärden och mätbara åtgärds mål

Som tidigare nämnts har varje område där en sanering ska genomföras har på sitt sätt unika förutsättningar. Dessa olika förutsättningar leder till att riskbilden för genomförandet av saneringen på området också ser olika ut. För att göra en bedömning av de på det specifika området förekommande riskerna och förutsättningarna, görs vanligtvis en riskbedömning där även s.k. platsspecifika riktvärden beräknas. Underlaget för utredningen utgörs av historik

inventering och utförda miljötekniska markundersökningar och de uppgifter som finns om den framtida tänkta markanvändningen. För beräkningen av de platsspecifika riktvärdena tillämpas de indata och den beräkningsmodell som ligger till grund för Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark, som redogjordes för i föregående stycke. I den genomförda riskvärderingen och beräkningen av de platsspecifika riktvärdena för saneringen av ”Trädgården 1:124” har även jämförelse med Avfall Sveriges rekommenderade haltgränser för klassificering av förorenade jordmassor som farligt avfall gjorts [13].

Med underlag från de framtagna platsspecifika riktvärdena, den genomförda riskbedömningen och framtida tänkt markanvändning har vidare en åtgärdsutredning tagits fram [10]. I en åtgärdsutredning sätts både övergripande och mätbara åtgärds mål. Ett mätbart åtgärds mål innebär till vilken halt av de olika föroreningarna som saneringen ska drivas. De tre övergripande åtgärds målen för saneringen av Hexionområdet finns att läsa nedan:

- Efter genomförda efterbehandlingsåtgärder skall området kunna nyttjas i enlighet med blivande detaljplan för området. I detta fall avses flerbostadshus av ”stadskaraktär” uppföras. Dessutom kommer det att finnas skola/förskola, lokaler för handel/kontor, större trafikområden/parkeringsytor samt grönytor med lekområden inom planområdet.
- Ett åtgärds mål är att förutsättningarna för de ekologiska systemen i de ytliga marklagren efter genomförda åtgärder ska vara goda, d v s villkoren för vegetation och markfauna ska förbättras. För djupare liggande jordlager bedöms inte att markens ekosystem behöver ha ett skydd för såväl människors hälsa, som för negativ påverkan på recipienten, Mölndalsån.
- Målet är även att långsiktigt säkra vattenkvaliteten i Mölndalsån. Eventuella tillskott av föroreningar från Hexionområdet bör därför minimeras.

Åtgärdsutredningen innefattar även en utredning av åtgärdsalternativ som leder till att de uppsatta åtgärds målen uppfylls. Både de övergripande och mätbara åtgärds målen tillsammans med en sammanställning av åtgärdsalternativen för Trädgården 1:124 finns att ta del av i bilaga 1 och 2.

3.5 Avfallsklasser

Under rivnings- och saneringsarbetet av Hexionområdet kommer stora mängder avfall att hanteras. Med avfall menas alla föremål, ämnen eller substanser som innehavaren vill göra sig av med eller är skyldig att göra sig av med [14]. Avfall från Hexionområdet kan bestå av t.ex. i förorenad krossad betong från rivna industribyggnader och förorenade jordmassor som grävts upp under saneringsarbetet. För att kunna sortera avfallet och se till att det hamnar hos en mottagare som har möjlighet att på rätt sätt hantera avfallet görs en generell avfallsklassning för de förväntade typerna av avfall från området. För avfall från Hexionområdet har uppdelningen gjorts i fem avfallsklasser (tabell 3.1).

Tabell 3.1 Klassning av avfall tillämpat på Hexionområdet vid rivning av byggnader [15].

Avfallsklass	Typ av deponi
Inert avfall	Byggdeponi, deponi för inert avfall
Icke farligt avfall som dessutom underskrider MKM	Deponi för icke farligt avfall med specialbestämmelser
Icke farligt avfall	Deponi för icke farligt avfall
Farligt avfall	Deponi för behandling av farligt avfall
Hälsovådligt	Föroreningar som är farliga att komma i kontakt med. Gränser enligt "Generella riktvärden för förorenad mark".

Definitionen av inert avfall kan hämtas från förordningen om deponering av avfall.

"Inert avfall är avfall som inte genomgår några väsentliga fysikaliska, kemiska eller biologiska förändringar. Inert avfall löses inte upp, brinner inte och reagerar inte fysikaliskt eller kemiskt på något annat sätt, det bryts inte heller ner biologiskt eller inverkar på andra material som det kommer i kontakt med på ett sätt som kan orsaka skador på miljön eller människors hälsa. Den totala lakbarheten och det totala föroreningsinnehållet i avfallet samt ekotoxiciteten hos lakvattnet skall vara obetydliga och får inte äventyra kvaliteten på yt- eller grundvatten" [16].

Icke farligt avfall är avfall som inte uppfyller kriterierna för farligt avfall (se nedan).

Farligt avfall är avfall som är farligt därför att det är explosivt, brandfarligt, frätande, smittförande eller giftigt för människa och miljö. En tumregel är att uttjänta rester av kemikalier med farlighetsmärkning klassas som farligt avfall [17].

3.6 Analyserade saneringstrategier

För "Trädgården 1:124" har följande saneringsstrategier utvärderats och modellerats i två scenarion:

- **In situ** – vakuumenträktn i kombination med air sparging. (scenario 1)
- **Ex situ** – grävsanering och borttransport. (scenario 2)
- **Ex situ i kombination med on site** – grävsanering med delvis borttransport men valda delar av massorna behandlas på plats med siktning alternativt med både siktning och jordtvätt.

Ex situ i kombination med on site har inte utvärderats utförligt i något scenario, utan bara delvis analyserats.

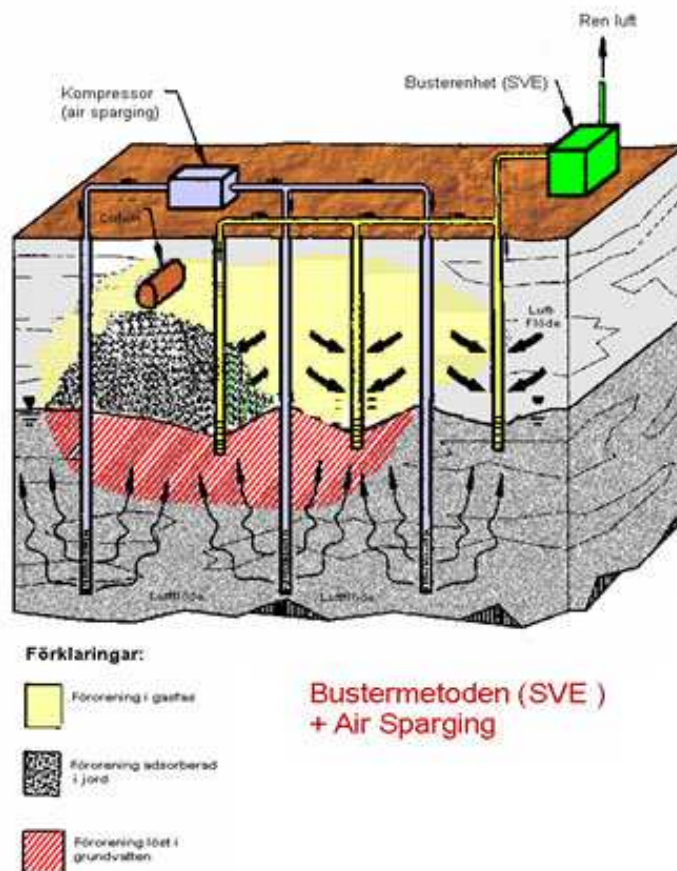
I detta avsnitt kommer de olika strategierna och de ingående teknikerna mer noggrant att förklaras.

3.6.1 In situ

I ett tidigt utredningsskede har två in situ metoder, vakuumextraktion och air sparging, ansetts vara aktuella att kunna nyttjas inom Hexionområdet. När utredningsarbetet har fortskridit ytterligare kan det även bli aktuellt med andra tekniker. Vakuumextraktion kan tillämpas för sanering då föroreningarnas fysiska placering ligger ovanpå grundvattennivån. Ligger föroreningarna djupare än så får metoden kombineras med andra tekniker så som t.ex. air sparging. Med air sparging kan effekt fås även på föroreningar som finns i grundvattnet. Vakuumextraktion, även kallat Bustermetoden eller SVE (soil vapour extraction) innebär att ett vakuum skapas med hjälp av vakuumpumpar. Vakuomet skapar ett undertryck i den omättade zonen (delen ovanför grundvattennivån). P.g.a. undertrycket så skapas ett massflöde av föroreningarna som existerar i zonen och de transporteras och tas upp av s.k. extraktionsbrunnar som är nedsänkta under markytan. Luften tas sen hand om i den s.k. Busterenheten där föroreningarna separeras från luften.

Air sparging är en metod som är ganska lik vakuumextraktion. Den går ut på att luft pumpas ner i den mättade zonen av marken (grundvattenzonen). Luften kommer i form av bubblor att transportera upp föroreningarna till den omättade zonen. I den omättade zonen tar ovan förklarade mekanism vid (vakuumextraktion) och transporterar föroreningarna genom samma extraktionsbrunnar.

Vakuumextraktion kombinerat med air sparging är en metod som lämpar sig för sanering av jord förorenad med organiska föroreningar såsom exempelvis bensinläckage.



Figur 3.2 Principskiss vakuumextraktion kombinerat med air sparging [18].

3.6.2 Ex situ

Genomförandet av en grävsanering innebär att schaktning genomförs på plats. Schaktning kan enligt Nationalencyklopedin förklaras som ”bortforsling av jord eller lösa bergmassor, vanligen med schaktmaskiner, t.ex. grävmaskiner och bandschaktare”[19].

Den förorenade jorden flyttas med andra ord från ursprungsplatsen för vidare behandling. Efter genomförd grävsanering kan olika metoder t.ex. siktning och jordtvätt användas för vidare behandling av jorden. Jorden kan efter schaktning även transporteras direkt till deponi. Grävsanering är tillämpligt på alla typer av förorenad jord. Grävsanering kan vara svårt att tillämpa om föroreningen finns under en byggnad som ej skall rivas eller om föroreningen finns på mycket stora djup.

3.6.2 On site

Siktning

Siktning är en teknik som vid grävsanering kan användas som sortering av jordmassorna innan de behandlas. Detta är något som oftast genomförs på plats. En sortering av jorden kan av effektivitetsskäl vara viktig eftersom föroreningarna i huvudsak finns i de mindre fraktionerna av jordmassorna. Detta beror främst på att det finkorniga materialet har en större total yta som föroreningarna kan binda till. De minsta jordpartiklarna s.k. kolloider är laddade och attraherar därigenom till sig föroreningarna. De föroreningarna som främst förekommer inom den studerade tomten är organiska ämnen vilka oftast är opolära och därmed även hydrofoba och absorberar därför gärna till partiklar [20]. Genom att sikta kan fraktionerna skiljas åt, vilket kan leda till att mängden av jord som måste ha fortsatt behandling kan reduceras. Grova fraktioner kan många gånger urskiljas och efter kontroll betraktas som rena.

Siktning är en metod som generellt fungerar bra när jorden innehåller liten finandel, framförallt i form av ler. På marknaden finns flera olika typer av siktar exempelvis fingersiktar och stjärnsiktar, som är lämpliga att nyttja beroende på ändamålet med siktningen och jordens sammansättning.



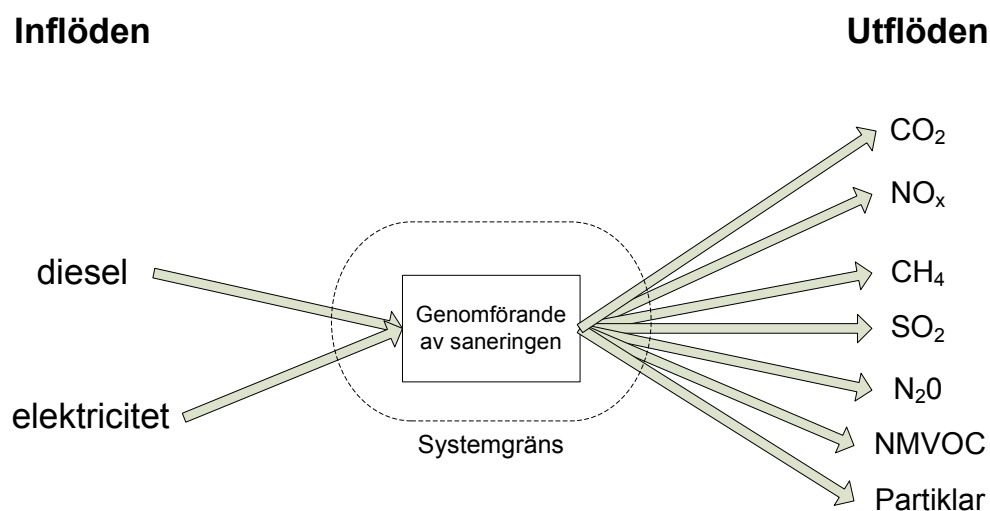
Figur 3.2 Exempel på sikt, fabrikat Finley 683 [21].

Jordtvätt

Metoden jordtvätt är ytterligare en metod som kan tillämpas vid grävsanering. Den innebär precis som kan uttolkas av namnet att jorden tvättas ren från föroreningar. Vanligtvis används vatten som tvättmedium, ibland med vissa tillsatser i form av kemikalier. Som det nämdes i föregående avsnitt om siktnings så finns föroreningarna i huvudsak i de mindre fraktionerna i jordmassorna. De mindre fraktionerna i jordmassorna är dock svåra att få tillräckligt rena och brukar därför slutligen behöva gå till deponi för säker hantering. Genom att tvätta de mer förorenade finare fraktionerna kan halten av föroreningar minskas och det leder till en lägre kostnad och lättare hantering vid deponering av de förorenade massorna. Genomförs en jordtvätt även av de grövre fraktionerna kan det leda till möjligheten att utan vidare behandling återanvända de grövre fraktionerna av de tvättade jordmassorna. Normalt är det möjligt att återanvända 75-80 % av jordmängderna [22]. Jordtvätt är en resurseffektiv metod med tanke på att stora delar av de behandlade massorna kan återanvändas efter behandling. Tekniken är också effektiv i avseendet att den fungerar att tillämpa för behandling av många typer av föroreningar, allt från oorganiska till komplext sammansatta organiska föroreningar och tungmetaller. Problemet med metoden är att den innefattar hantering av stora mängder av tvättvatten.

4 Miljöpåverkan från emissioner till luft

För att kunna utföra saneringsarbetet krävs energi i olika former. Inom detta arbete, utifrån de valda systemgränserna, har användandet av två typer av energibärande resurser identifierats. Dessa två är diesel och elektricitet. För diesel har diesel miljöklass 1 antagits och för elektricitet har data för svensk elmix från EU kommissionen använts samt data för Vattenfalls el för nordisk vattenkraft. Se bilaga 14. Resurser som går in och förbrukas i det system man utifrån ett miljöpåverkansperspektiv studerar brukar kallas *inflöden* och de som går ut ur systemet för *utflöden* (se figur 4.1). I detta fall utgörs våra inflöden av mängderna förbrukat diesel och elektricitet. De utflöden som valts för analys inom detta arbete och är de emissioner som uppstår till följd av att dieseln och elektriciteten förbrukas. De emissioner som inom detta arbete har valts för analys är koldioxid (CO_2), kvävedioxider (NO_x), metan (CH_4), svaveldioxid (SO_2), dikväveoxid vanligen kallat lustgas (N_2O), flyktiga organiska kolväten exklusive metan (NMVOC) och partiklar. Framställningen av den förbrukade dieseln har ej inkluderats.



Figur 4.1 Illustration av in- och utflöden ur det definierade systemet

4.1 Emissioners uppkomst

Emissioner uppstår bl.a. vid förbränning av olika fossila bränslen, dvs. bränslen som på något sätt innehåller kol [23]. I detta arbete är det förbränningen av dieseln vid användning och förbränningen av olika bränslen vid tillverkningen av elektricitet som är aktuella. När det gäller svensk elmix är dock andelen energi från förbränning av fossila bränslen endast en liten del och den mesta elen produceras av vatten- och kärnkraft. Vilka emissionerna blir från förbränningen beror i huvudsak på:

- vilket bränsle som har använts
- teknik vid förbränning
- förekomst av reningsteknik

Bildandet av vissa emissioner beror endast på bränslets sammansättning och har ingen koppling till hur förbränningen går till. Exempel på typer av utsläpper inom denna grupp är CO_2 och SO_2 . Att vissa andra emissioner bildas beror istället främst på förutsättningarna för själva

förbränningen av bränslet, t.ex. tillgången på syre eller förbränningstemperaturen. CO (kolmonoxid) och PAH (polyaromatiska kolväten) är exempel på två av dessa ämnen.

Den tredje gruppen av emissioner utgörs av ämnen som bildas både beroende av bränslets sammansättning och förbränningsbetingelserna. Dessa är t.ex. NO_x (NO och NO₂) och N₂O. Beroende på hur de olika parametrarna syretillgång, temperatur, bränslets kväveinnehåll samt omvandlingsgraden för det i bränslet bundna kvävet varierar, så varierar även de bildade mängderna av de olika emissionerna och förhållandet mellan dem [24]. Vanligtvis utgör dock den stora mängd kväve som finns i luften (78 %) den största källan till bildandet av NO_x vid förbränning.

4.2 Emissioners effekter på miljön

De olika emissionerna ger upphov till flera olika effekter på miljön. Exempel på miljöeffekter är växthuseffekt, försurning, övergödning, bildande av marknära ozon, spridning av metaller och organiska miljögifter. De miljöeffekter som valts som studerade miljöpåverkanskategorier inom detta arbete är växthuseffekt, försurning och övergödning.

Växthuseffekt

Växthuseffekten är den naturliga process där växthusgaser i atmosfären förhindrar delar av solens värmestrålning från att lämna jorden. Denna effekt är en förutsättning för liv på jorden eftersom den bidrar till en medeltemperatur betydligt högre än de cirka -19 ° som medeltemperaturen skulle vara utan en fungerande växthuseffekt [24]. Människan har sen den industriella revolutionens början genom t.ex. förbränning av bränslen för energiframställning rubbat denna naturliga balans av växthusgaser och drastiskt ökat halterna av gaser. Mellan åren 1970 och 2004 har halten av växthusgaser ökat med 70 % [25]. Detta har lett till att för mycket värmestrålning stannar kvar på jorden och en befärad ökning av medeltemperaturen med flera grader kan förväntas under det kommande seklet. Konsekvenserna kan leda till bl.a. en höjning av havsnivån runt om på jorden vilket kan medföra att stora områden där marken används för att odla eller bo kan komma att täckas av vatten [26].

Försurning

Försurning är den miljöeffekt som uppstår då svaveldioxid (SO₂) och kväveoxider(NO_x) släpps ut i luften. Kvävedioxiderna kommer främst från trafikavgaser men även från förbränning vid energiproduktion eller från industrier. Svavelutsläppen orsakas också i huvudsak av energiframställning och industriell verksamhet. Men även sjöfarten utgör i Sverige en betydande del av de totala svavelutsläppen [27]. I luften sker en oxidation och svavel- och kväveföreningarna omvandlas till syror som sen löser sig i vattendroppar. Vattendropparna når marken i form av nederbörd eller dimma och orsakar där en sänkning av pH värdet i mark, grundvatten och ytvatten. Försurning leder bl.a. till att skogsmark utarmas på näring, grundvattnet får en försämrad neutraliseringsförmåga och en ökad halt av metaller. Förändringen i mark- och grundvattensförhållande leder exempelvis till att den naturliga art sammansättningen i naturen störs och antalet förekommande arter riskerar att påverkas.

Övergödning

De i naturen två viktigaste näringsämnena för all växtlighet är kväve (N) och fosfor (P). Övergödning inträffar när ett område får alltför stor tillförsel av kväve eller fosfor vilket förorsakar att den naturliga balansen mellan produktion och nedbrytning rubbas och tillväxten blir för stor. Det första tecknet på övergödning är att halten av näringsämnen i vattendrag ökar, vilket bidrar till en ökad fotosyntes hos växtplankton och andra växter [26]. Vid en för stor

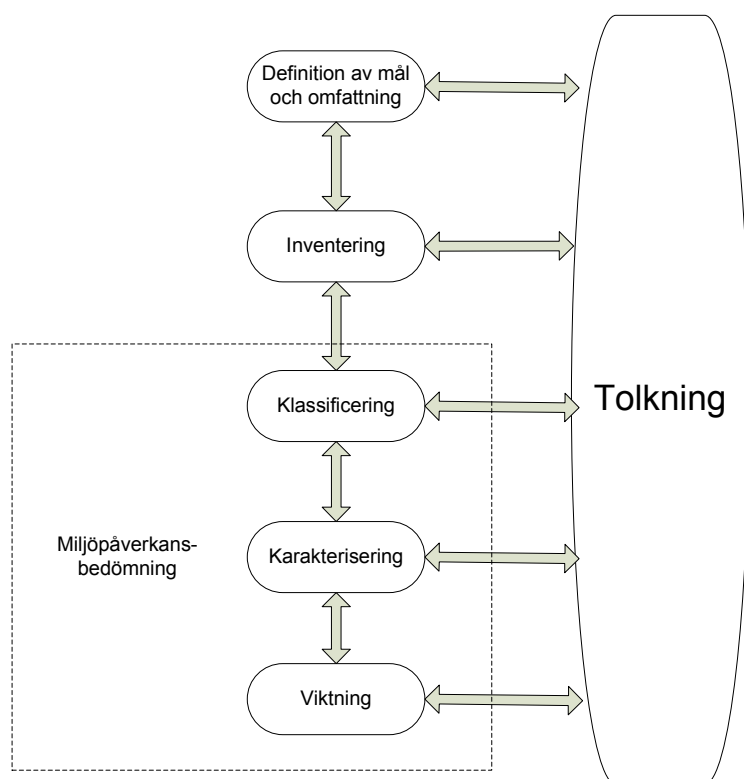
tillväxt i vattendrag kan det bli svårt med syretillförseln till botten där död växtlighet bryts ner av bakterier eller konsumeras av organismer. Är syrebristen stor kan det vid nedbrytning börja bildas svavelväte som väldigt giftigt för organismer. En annan påtaglig och synbar effekt av övergödning är sjöar som helt vuxit igen eller vassbälten som brett ut sig över stora områden [24]. Både kväve- och fosforutsläppen kommer i huvudsak från jordbruket, avloppsrening, massa- pappersindustrin och andra industrigrenar. Även transportsektorn står för en betydande del av kväveutsläppen.

5 Metodik för livscykelanalys

Den metod som använts för att uppskatta miljöpåverkan inom denna studie är livscykelanalys. Livscykelanalys (LCA) kan definieras som en process som tillämpas för att summera miljö- och resurs konsekvenser av samtliga aktiviteter, från vaggan till graven, som behövs för att en tjänst eller produkt ska fylla sin funktion. För analysen av miljöpåverkan inom detta arbete har en tillämpning av LCA gjorts, metodiken kan beskrivas som scenarioanalys med livscykelperspektiv.

Livscykeltänkandet började redan på 1960-talet att nyttjas av t.ex. The Coca Cola Company för att jämföra resursförbrukningen och miljöbelastningen för olika dryckesförpackningar. I Sverige inspirerades bl.a. Tetra Pak av projekten i USA. I början av 1970-talet gjorde Tetra Pak studier av hur deras förpackningar stod sig i förhållande till andra. 1973 publicerades en studie i form av en energianalys, med perspektivet från vaggan till grav. Studien innehöll även information om resursanvändning, avfall och emissioner för förpackningsprodukterna [28]. Det som dock har bidragit mest till spridningen och nyttjandet av metodiken var utvecklandet av en ISO-standard för utförandet av LCA. Den första versionen av ISO-standard för LCA (ISO 14040:1997) publicerades 1997 och själva benämningen ISO-standard kommer av att standarden är framtagen av just International Organization for Standardization [29].

Metodiken för genomförandet av en livscykelanalys följer ett antal delsteg, definition av mål och omfattning, inventering, klassificering, karakterisering, tolkning av resultat och viktning. De tre stegen klassificering, karakterisering och viktning benämns tillsammans som miljöpåverkansbedömning.



Figur 5.1 Bild över de olika delstegen i en livscykelanalys. Omarbetad figur från ISO Standard 14040:2006 [30].

5.1 Definition av mål och omfattning

Första steget innebär att studiens mål och omfattning definieras. Dessa innefattar varför studien genomförs och vad resultaten ska användas till. Beroende på mål och användningsområden för en LCA-studie kan den behöva utföras med olika omfattning. LCA-studier används i många fall för att kunna jämföra t.ex. olika produkters miljöpåverkan eller som i detta arbete där LCA används för att jämföra olika scenarion för sanering och deras miljöpåverkan. För att kunna göra en rättvisande jämförelse behöver en gemensam nämnare väljas, inom LCA kallas denna gemensamma nämnare för en funktionell enhet. Olika typer av funktionell enhet kan väljas beroende på vad det är som ska jämföras. Exempel på funktionell enhet kan vara tillverkning av en PET-flaska, utvinning av ett kg uran eller som i denna studie behandlingen av ett ton jord.

Inom denna fas bör vidare det studerade systemets gränser definieras, alltså vad som ska tas med i beräkningen av miljöpåverkan och vad som väljs att inte integreras. Detta är en viktig aspekt som bör genomföras noggrant för att inte få ett alltför komplext system att analysera. Det är även viktigt för att studien skall kunna användas som jämförelse i förhållande till t.ex. andra produkter. Till beslut om omfattning hör även till att bestämma sig för vilka kategorier av miljöpåverkan som ska innefattas i analysen. Exempel på miljöpåverkanskategorier är växthuseffekt, försurning, övergödning och ozonskiktstuning.

5.2 Livscykelinventering

Det andra steget, livscykelinventering innefattar datainsamling och genomföring av själva kvantifieringen för de olika flödena i systemet. Den första delen i denna process är en modell av systemet som uppfyller definitionen av den funktionella enhet tas fram där olika in- och utflöden identifieras. Systemet är av karaktären ”från vaggan till graven” och innefattar alla stegen i exempelvis en produkts livscykel, från t.ex. utvinningen av materialet för tillverkningen av produkten tills det att en skrotfärdig produkt slängs på soptippen.

Nästa steg blir att samla in data för alla de aktiviteter och flöden som omfattas av det valda systemet så som råmaterial, energibärare, produkter, avfall eller emissionsfaktorer till luft och vatten. När all nödvändig data finns tillgänglig beräknas resursförbrukning och emissioner för de olika flödena och aktiviteterna i systemet genom att resursförbrukningen multipliceras med emissionsfaktorerna för respektive typ av emission. De totala emissionerna räknas sen om för att ta hänsyn till den valda funktionella enheten, i detta fall behandlingen av ett ton förorenad jord.

5.3 Miljöpåverkansbedömning – Klassificering, karakterisering och viktning

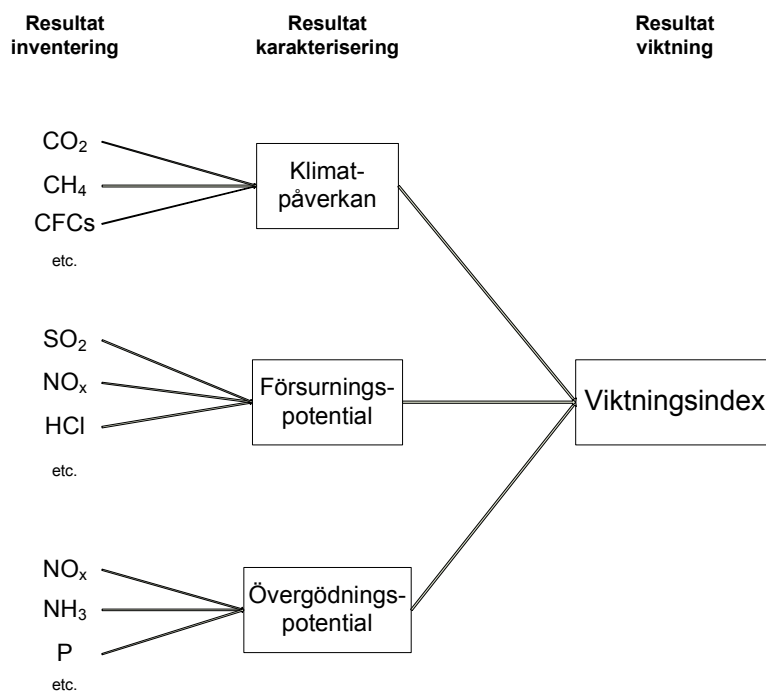
Nästa steg i en LCA innebär att de resultat som fås från inventeringsdelen, nu ska användas för att bedöma den miljöpåverkan som detta innebär. Först genomförs en klassificering där en bedömning och en sortering av datakategorier görs. Datakategorierna som i denna studie är emissioner till luft, delas in i de valda miljöpåverkanskategorierna utifrån naturvetenskapliga orsakssamband. En förorening kan bidra till flera miljöpåverkanskategorier. För de olika emissionerna som kopplats till en miljöpåverkanskategori så finns det s.k. karakteriseringsfaktorer framtagna. Karakteriseringsfaktorerna för olika emissioner är framtagna utifrån deras kemiska egenskaper samt egenskapernas påverkan inom just den miljöpåverkanskategorin. Genom att multiplicera dataunderlaget för den specifika emissionen med karakteriseringsfaktorn beräknas den potentiella miljöpåverkan. Tanken med att

genomföra karakteriseringssteget är att kunna relatera de olika emissionernas effekt till varandra.

Exempelvis för påverkan inom kategorin växthuseffekt så har ett kg metan 56 gånger större påverkan i förhållande till ett kilo koldioxid, sett utifrån ett perspektiv på 20 år [28]. Just för kategorin växthuseffekt beror detta på växthusgasernas olika relativa värmeabsorption och deras livslängd i atmosfären [31].

Inom kategorin försurning, som innebär en sänkning av pH värdet i det berörda mediet, t.ex. vatten, beror emissionernas olika relativa påverkan på deras förmåga att frigöra väteatomer. Halten vätejoner (H^+) utgör genom sambandet $-\log[H^+]=pH$ graden av försurningen.

Även steget viktning kan genomföras i en miljöpåverkansbedömning. Viktning kan definieras som en procedur där den relativa betydelsen och påverkan för olika typer av miljöpåverkan vägs mot varandra. Den relativa betydelsen regleras i de olika viktningsmetoderna med olika viktningsfaktorer som är baserade på olika värderingar så som politiska målsättningar och betalningsvilja. Eftersom viktningsfaktorerna är baserade på etiska och ideologiska värden kommer det alltid att finnas olika åsikter angående hur viktningen ska genomföras och hur resultaten ska tolkas. Det är därför viktigt att valet av en viktningsmetod och resultaten av viktningen presenteras på ett transparent sätt där antaganden är klart beskrivna och rapporterade så att läsaren tillsammans med resultaten kan värdera underlaget för viktningen [29]. Inom detta arbete har valet gjorts att inte utföra någon viktning av resultaten.



Figur 5.2 Illustration av sambandet mellan stegen inventering, karakterisering och viktning. Omarbetad figur ur Baumann, Tillman, (2004) [28].

5.4 Tolkning och analys av resultat

Tolkningen och analys av de framtagna resultaten är en av de viktigaste faserna i en LCA. Eftersom det vanligtvis i en LCA-studie förekommer ett flertal parametrar som ska analyseras blir ofta resultaten komplexa och svårtolkade, därför bör en noggrann analys göras innan slutsatser av resultaten dras. Det är även i denna fas som bedömningen av huruvida den genomförda studien uppfyller de från början satta målformuleringarna görs. Studiens begränsningar utvärderas och förklaras samt en formulering av slutsatser och rekommendationer genomförs. Rekommendationer kan exempelvis vara förslag till materialbyte i en produkt eller en förändring i driftförhållandena vid tillverkning.

6 Fallstudie Trädgården 1:124

6.1 Definition av mål och omfattning

6.1.1 Målbeskrivning

Målet med den utförda studien är att göra en uppskattning av hur stor miljöpåverkan i form av emissioner som saneringen av ”Trädgården 1:124” kommer att medföra. Inriktningen har i huvudsak varit att kartlägga de olika saneringsstrategierna för att kunna göra en övergripande bedömning av skillnaderna mellan de olika metoderna.

6.1.2 Funktionell enhet

Den funktionella enheten som har valts är behandling av ett ton förorenad jord. Förutsättningen för val av behandlingsmetod är att de mätbara åtgärds målen uppfylls.

6.1.3 Systemomfattning

Omfattningen av livscykelanalysen utgår ifrån två framtagna scenarion som anses tillämpbara vid sanering av tomten, scenario 1 vilket utgörs av *in situ* metoden vakuumextraktion kombinerat med *air sparging* [32]. Samt scenario två med delscenarion som innebär grävsanering med efterföljande lastning och transport till deponi utan förbehandling av jorden. De två olika scenarierna består av olika aktiviteter som kombinerats ihop i en följd. Se figur 6.1, 6.2 och 6.3.

Även siktning och jordtvätt som är två tekniker som kan användas inom metoden grävsanering har studerats. Inom dessa två tekniker har endast själva steget för behandlingen av jorden studerats. För att få en mer rättvisande bedömning av de båda teknikernas miljöpåverkan bör även hanteringen och logistiken kring behandlingen av jorden inkluderas mer detaljerat. Detta pga. att tillämpningen av både siktning och jordtvätt medför ett ökat behov av transporter och hantering av jorden som ska behandlas. Detta har dock bara genomförts översiktligt inom detta arbete.

Eftersom föroreningsituationen inom fastigheten är av varierande karaktär kommer olika tekniker och scenarier att vara tillämpbara på olika delområden på tomten. Vid val av saneringsstrategi och teknik kan det därför vara aktuellt med en kombination. I tabell 6.1 visas vilket framtaget scenario som är användbart på de olika förekommande föroreningarna inom Hexionområdet.

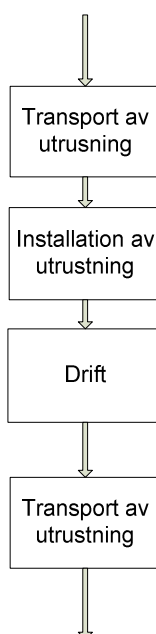
- *Scenario 1* utgörs av *in situ* metoden vakuumextraktion med *air sparging* och är endast tillämpbart på jordmassor förorenade av nedbrytbara organiska föroreningar, så som exempelvis aromater och alifater. I viss mån kan den också vara tillämpbar vid sanering av jord förorenad av ftalater.
- *Scenario 2* innefattar metoden grävsanering och kan tillämpas på alla typer av förorenade jordmassor. Olika typer av förorenade jordmassor kan dock behöva transporteras till olika deponier.

Tabell 6.1 Tabell över vilka på Hexionområdet förekommande föroreningar som de olika scenarierna är tillämpbara på.

	In situ – scenario 1 (vakuumextraktion + air sparging)	Ex situ – scenario 2 (grävsanering)
Bly		X
Ftalaten DEHP	(X)	X
Aromater och polyaromater	X	X
Alifater	X	X

Scenario ett

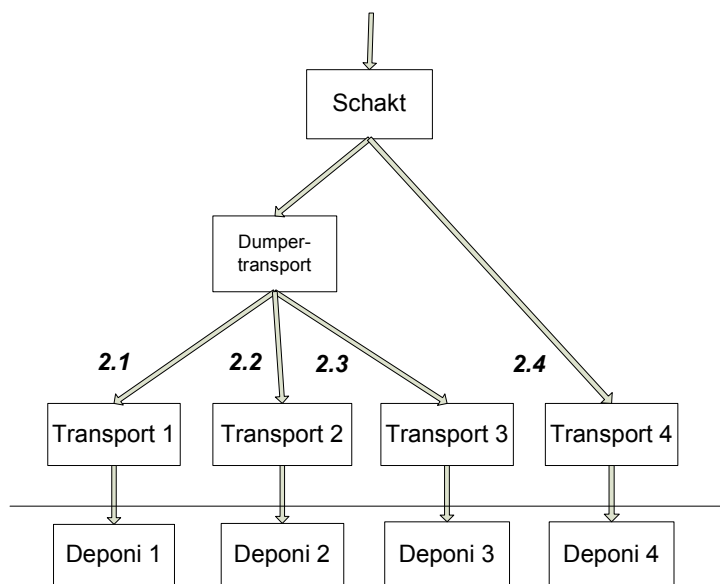
I scenario ett tillämpas *in situ* metoderna vakuumextraktion och air sparging. Inom detta scenario är ingen transport av jordmassor nödvändig, utan de transporter som sker är transporterna av utrustningen som krävs för genomförandet av saneringen till och från platsen. Mängden utrustning är beräknad till två stycken 20 fots containrar, vikt fem ton/container. Transporterna av utrustning kommer att innebära sträckan Hilledal till Mölndals kråka, uppskattat avstånd 12,5 km. Installationen av utrustningen på plats görs med en geoteknisk borrhvagn. Borrhvagnen har antagits vara av modellen Geotech 604-04 från 2004 och har en bränsleförbrukning på 7,75 l/h vid 2000 rpm. Utrustningen på plats beräknas behöva vara i drift i minst 6 månader och 2 s.k. Busterenheter använder 100 000 kWh/år vid kontinuerlig drift. Mängden jord som antas kunna renas mha *in situ* beräknas till 23 000 ton.



Figur 6.1 Flödesschema för saneringsscenario ett

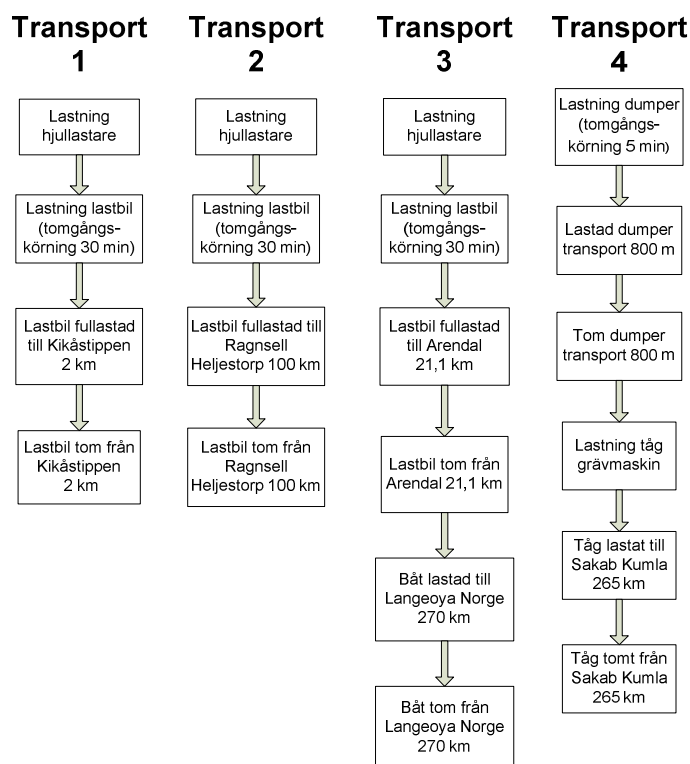
Scenario 2.1 – 2.4

Scenario två innebär att schaktning av de förorenade jordmassorna genomförs. Sen lastas jorden på lastbil för transport till slutlagring på deponi. Massorna måste med avseende på typ av förorening och föroreningsgrad transporteras till olika deponier. Fyra möjliga alternativ för deponi har valts för analys.



Figur 6.2 Flödesschema för saneringsscenario 2

I detta skede är inga mottagare valda utan de analyserade alternativen utgör bara hypotetiskt tänkbara alternativ. Alternativ ett innebär transport till och deponering på Kikåstippen i Mölndal, som ligger endast två km från tomten som skall saneras. I alternativ två transporteras jordmassorna på lastbil med släp till Ragnsells deponi i Heljestorp. Då är sträckan för transport 100 km. I alternativ tre använder man sig av transport via båt till Noah:s behandlingsanläggning på Langeoya, som är en ö utanför Norges kust. Beräknat avstånd för transport i alternativ tre är 21,1 km med lastbil och sedan med 270 km båt. Transporten i alternativ fyra utgörs till huvudsak av tåg. De förorenade jordmassorna transporteras för lastning från Hexionområdet till spårområdet med dumper, ca 800 m. Tåget transporterar massorna till SAKAB i Kumla, en sträcka på 265 km. De fyra olika typerna av transportalternativ (Transport 1-4) som har integrerats i scenarierna ser som ovan delvis beskrivits alla olika ut. Det som skiljer dem åt förutom olika transportslag och olika mottagare är även att den interna logistiken ser olika ut. För att förenkla den schematiska bilden över scenario 2.1-2.4 har figuren delats upp i två stycken figurer, figur (6.2) och figur (6.3).



Figur 6.3 Flödesschema över transport 1-4

En ytterligare skillnad och försvårande omständighet utgörs av att de fyra olika antagna deponierna har olika möjligheter när det gäller vilken föroreningsgrad och därmed vilken avfallsklass på jordmassor de kan ta emot, se tabell 6.1. Därför kan det inte förutsättas att scenario 2.1-2.4 är tillämpningsbart i alla fall när det gäller val av scenario för sanering av en viss mängd jord. Detta leder till att en jämförelse byggd enbart på resultaten av livscykelanalysen inte ger en rättvisande bild.

Tabell 6.1 Alternativ för transport och deponi av avfall från Hexionområdet.

Deponi	Tillåten avfallsklass	Aktuellt scenario	Transportsätt
Kikås	Ikke farligt avfall under MKM	2.1	Lastbil
Ragnsell Heljestorp	Alla avfallsklasser	2.2	Lastbil
Noah Norge	Alla avfallsklasser	2.3	Lastbil + båt
SAKAB Kumla	Alla avfallsklasser	2.4	Dumper + tåg

En uppdelning av aktiviteterna som ingår i de olika scenarierna har gjorts för att lättare kunna göra en jämförelse. Uppdelningen har skett i kategorierna:

- **Schaktning;** utgör det första momentet vilket består av själva grävmomentet som utförs av en grävmaskin.
- **Intern transport;** vilket innefattar all transport av jorden inom arbetsplatsen med dumper.
- **Lastning;** innebär de moment då jorden lastas inför den externa transporten.
- **Extern transport;** utförs av den faktiska transporten från området till de olika deponierna, samt den tomma returtransporten.

Siktning och jordtvätt är också två aktiviteter som har studerats. I siktningsmomentet sker lastning av jorden upp på själva sikten mha en hjullastare eller ev. en grävmaskin. Jorden skakas sen igenom de olika siktstegen i sikten. Vid siktning av jordmassorna på Hexionområdet har två olika siktsteg diskuterats, ett försteg med ett lager som kallas fingersikt för att rensa bort det grövsta materialet och ett eftersteg kallat stjärnsikt där ytterligare sortering av de olika fraktionsstorlekarna i jorden sker. Sikten som är tänkt att användas på Hexionområdet drivs både på diesel och i viss mån elektricitet.

Vid jordtvätt krävs också lastning av jorden upp på de matarband som transporterar jorden till själva vättsorteringsenheten, där den fina fraktionen sorteras ut genom att tvättas bort från den övriga jorden. Den tvättade mer grovkorniga jorden matas sen ut ur utrustningen och den förorenade fina fraktionen går ut med tvättvattnet som tas om hand om för uppsamling, rening och omhändertagande. Den huvudsakliga energiåtgången för jordtvätt ligger i den elektricitet som pumparna för transport av tvättvattnet står för.

6.1.4 Avgränsningar

Data

För tomgångskörning av lastbil under lastning har inte fullständigt dataunderlag kunnat hittas och därför har bara emissioner av koldioxid beräknats i detta fall.

Emissionsbidrag från tillverkningen av maskiner och apparatur som krävs för att genomföra saneringen, har ej inkluderats.

Emissioner för framställning av diesel eller marin diesel har ej inkluderats.

Lastningen av båt för sjötransport i scenario 2.3 samt i transport 3 har ej inkluderats.

Miljöpåverkanskategorier

Fokus har legat på att ta fram miljöpåverkan i form av emissioner till luft. För genomförandet av klassificeringsdelen inom livscykelanalysen har miljöpåverkanskategorierna växthuseffekt, förorening och övergödning valts. Miljöpåverkan inom fler miljöpåverkanskategorier än dessa kommer gällande sanering av Trädgården 1:124 att förekomma, men kommer inte att inkluderas inom denna rapport.

6.1.5 Datakällor

Ett flertal olika datakällor har använts. En sammanställning av LCI-data och information om källor till dessa finns i bilaga 14. Endast generella emissionsdata har använts för arbetsfordon och olika typer av lastbilar. Däremot har specifika data gällande beräknad bränsleförbrukning för de olika fordonen inhämtats från främst NTM (Nätverket för transporter och miljön) samt JTI (Institutet för jordbruks- och miljöteknik). I vissa fall har även tillverkare eller återförsäljare för fordonen kontaktats och information erhållits. En sammanställning av källorna för inhämtade uppgifter om resursförbrukning i de olika delstegen finns i bilaga 13.

När det gäller data för framställning av elektricitet har två källor använts, en för svensk elmix från Europeiska Kommissionen och en för 100 % vattenkraft som har hämtats från Vattenfalls miljövarudeklaration för 2008, se bilaga 14

6.2 Inventering

Ett antal antaganden gjordes för att ligga som grund för beräkningarna i inventeringsfasen.

- En schakthastighet på 300 ton jord/arbetsdag har antagits. En arbetsdag har beräknats vara 7 timmar exkl. raster.
- En uppställning på samtliga antaganden, data och uppgifter som gjorts och använts inom varje scenario finns att läsa i bilagorna 3-12.

6.2.1 Transporter

Som tidigare har beskrivits förekommer inom de studerande aktiviteterna två typer av transporter, interna och externa transporter. De interna utgörs av transport med dumper inom området, i scenario 4 och transport 4 transporteras dock jorden externt med dumper ca 800 m ner till järnvägen. De externa transporterna innebär transport med lastbil. I detta fall har lastbilarna antagits köra med släp och ha en lastförmåga på 30 ton jord.

I flera av scenarierna finns deponi med som ett delsteg. I denna studie har systemgränsen dragits vid ankomsten till deponin. Transporterna av förorenade jordmassor till deponierna samt den tomma returtransporten har dock tagits med.

6.2.2 Arbetsmaskiner

Valet av arbetsmaskiner är baserat på uppgifter om vilka maskiner som idag används för genomförandet av rivningsarbetet. Dessa är.

Grävmaskin: Volvo EC290C

Hjullastare: Volvo L70

Dumper: Volvo A25

Data på bensinförbrukning hos dessa specifika modeller har hittats, dock inte specifika data på emissionsfaktorer för alla tre. Därför har istället samma emissionsdata för samtliga arbetsfordon antagits utifrån uppgifter från Erik Fridell på IVL. (Svenska miljöinstitutet AB)

Emissionerna för arbetsmaskiner har beräknats utifrån perspektivet att de är i drift i 7 timmar/arbetsdag. För arbetsfordon är detta tillvägagångssätt enklare då det kan vara svårt att uppskatta sträckan en arbetsmaskin kör. För att få en rättvisande bild har antalet nyttjade arbetsfordon per scenario i något fall viktats. Detta har tillämpats eftersom bedömningen gjorts att det resursmässigt i alla fall inte är rättvisande att anta samma fördelning av resurser i form av arbetsmaskiner i alla scenarion. Hur viktningen som genomförts ser ut framgår av indata och emissionsberäkningarna för de olika scenarierna som finns bifogade i bilaga 3-12.

6.3 Miljöpåverkansbedömning

Som första steg i miljöpåverkansbedömningen görs en klassificering då en bedömning och en sortering av de olika emissionskategorierna görs. Bedömningen består av att bestämma vilken miljöpåverkanskategori de olika emissionerna utgör ett bidrag till. Denna bedömning baseras på naturvetenskapliga orsakssamband, alltså hur de olika emissionerna utifrån sina kemiska och övriga egenskaper påverkar miljön då de släpps ut i luften. En förorening kan bidra till flera miljöpåverkanskategorier.

I tabell 6.2 finns resultaten av den genomförda klassificeringen. Emissionskategorierna utgörs av de kategorier som valts för analys inom detta arbete.

Tabell 6.2 Resultat av den genomförda klassificeringen.

Emissionskategorier	Växthuseffekt	Försurning	Övergödning
CO ₂			
NO _x			
CH ₄			
SO ₂			
N ₂ O			

De studerade emissionskategorierna NMVOC och partiklar utgör inget bidrag till de valda miljöpåverkanskategorierna. Karakteriseringsfaktorer för genomförande av karakteriseringsteget har hämtats från "Life cycle assessments. An operational guide to the ISO standards, CML (2002)" [33]. Resultaten av den genomförda karakteriseringen presenteras i kap 7.

7 Resultat

I detta kapitel presenteras de av livscykelanalysens karakteriseringssteg framtagna resultaten. Fokus har legat på att titta på de tre valda miljöpåverkanskategorierna växthuseffekt, försurning och övergödning. De specifika resultaten i kg eller g emission/ton jord redovisas nedan för varje emissionskategori.

Tabell 7.1 Beräknade emissioner per ton jord

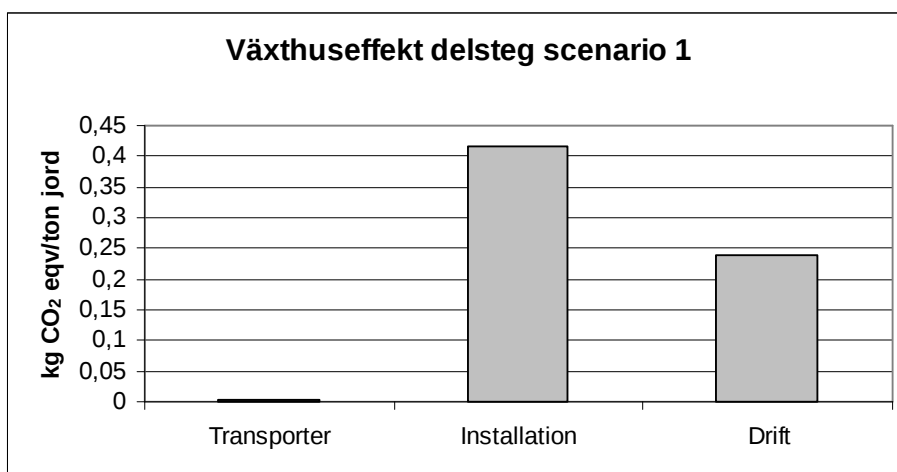
	CO ₂ [kg/ton jord]	NO _x [g/ton jord]	CH ₄ [g/ton jord]	NMVOC [g/ton jord]	SO ₂ [g/ton jord]	N ₂ O [g/ton jord]	Partiklar [g/ton jord]
Scenario 1	0,6	4,6	0,2	0,5	0,2	0,0	0,3
Scenario 2.1	3,0	29	0,1	3,1	0,0	0,1	1,9
Scenario 2.2	9,8	34	0,1	6,0	0,0	0,2	2,1
Scenario 2.3	38	708	0,3	14	86	1,8	11
Scenario 2.4	4,0	41	0,0	4,2	0,1	0,2	2,7

7.1 Scenario ett

Växthuseffekt

Scenario 1 medför utsläpp av totalt 0,7 kg CO₂eqv/ton jord. Den växthusgas som för scenario 1 står för största påverkan är koldioxid som utgör 99 %. Figur 7.1 visar miljöpåverkan av de olika aktiviteterna i detta scenario.

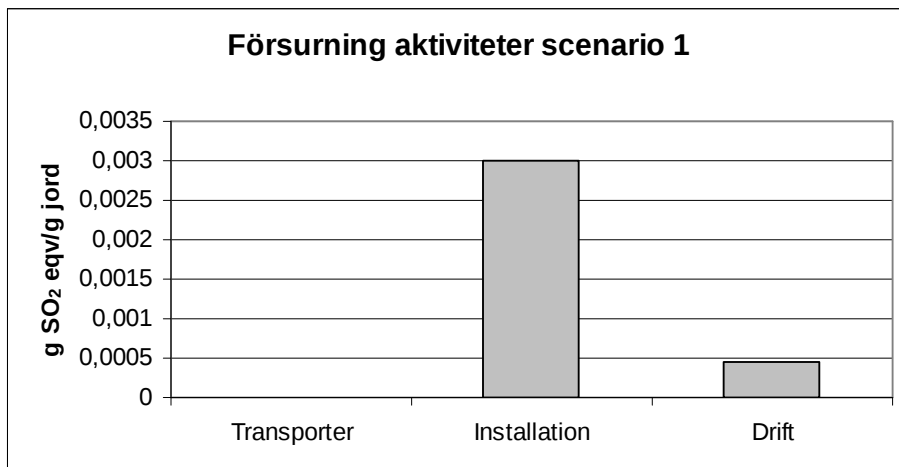
Delsteget installation är det steg som är mest belastande för miljön. Antagandet att installationen genomförs med en geoteknisk borrhavn av modellen Geotech 604-04 från 2004 har gjorts. Enligt tillverkaren Geotech har borrhvnen en dieselförbrukning på 7,7 l/h vid 2000 rpm. Dieselförbrukningen för den geotekniska borrhvnen kan jämföras med den för exempelvis en dumper av typen Volvo A25 som är 7,5 l/h.



Figur 7.1 Påverkan på växthuseffekten av olika aktiviteter i scenario ett

Försurning

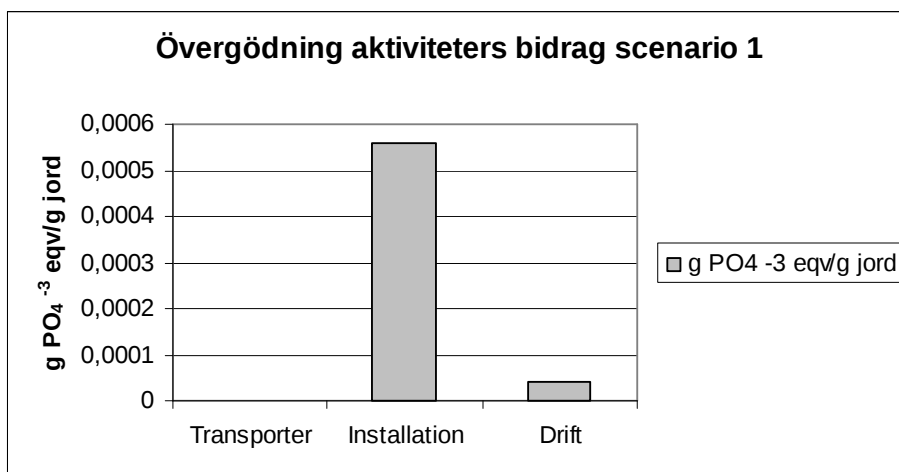
Till miljöpåverkanskategorin försurning bidrar scenario ett med totalt 0,003 g SO_{2eqv}/ton jord. Även när det gäller miljöpåverkanskategorin försurning så är installationen det steg som utgör den mesta belastningen. Det dominerande bidraget kommer från utsläpp av NO_x (kvävedioxid) som utgör 93 % av de totala emissionerna.



Figur 7.2 Påverkan på kategorin försurning av olika aktiviteter i scenario ett

Övergödning

Till kategorin övergödning bidrar scenario ett med 0,0006 g PO₄³⁻eqv/ton jord. Påverkan inom kategorin övergödning ser proportionellt sett ut på samma sätt som den för försurning och växthuseffekt. Figur 7.3 visar en klar dominans av miljöpåverkan till följd av installationsfasen. Inom miljöpåverkanskategorin övergödning är det av de valda emissionskategorierna endast emissionen NO_x som utgör ett bidrag.



Figur 7.3 Påverkan på kategorin övergödning av olika aktiviteter i scenario ett

7.2 Scenario två

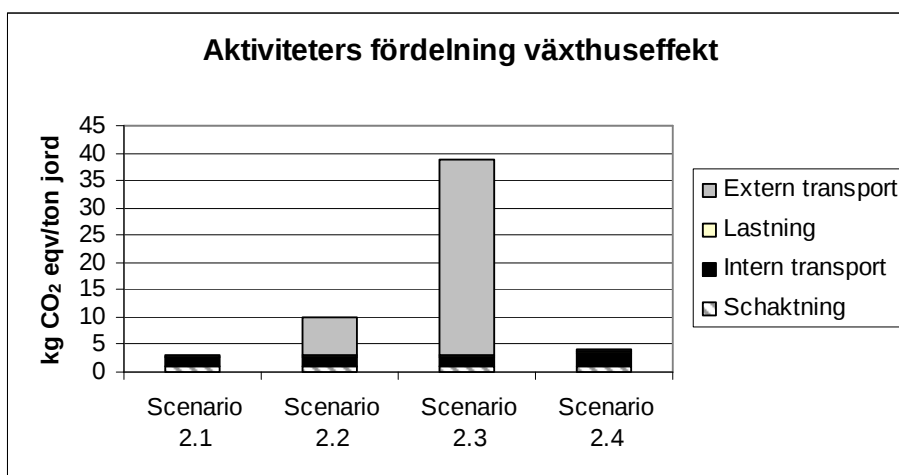
Växthuseffekt

För scenario två med del-scenarier ser den totala påverkan på växthuseffekten ut på följande sett (tabell 7.3), vilket även kan utläsas ur figur 7.5.

Tabell 7.3

Scenario	kg CO ₂ eqv./ton jord
2.2	9,9
2.3	39
2.4	4,1

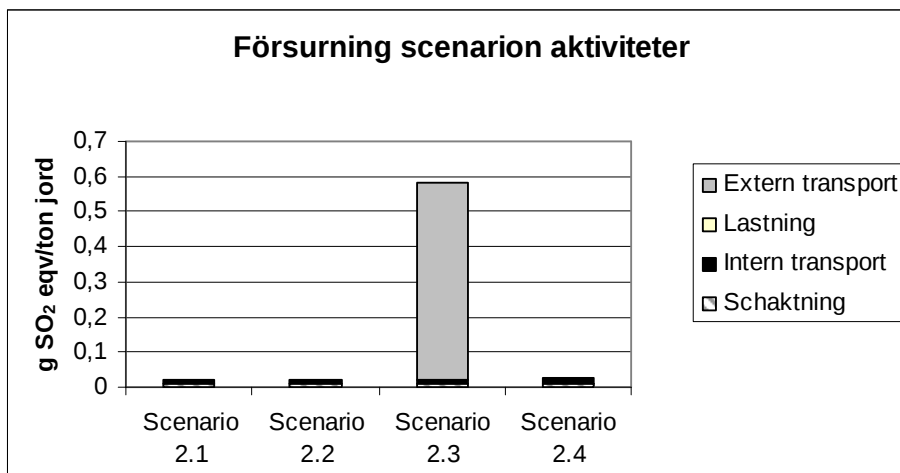
Scenariot med störst miljöpåverkan är scenario 2.3, där den externa transporten i form av delvis båttransport står för den dominerande delen. Scenario 2.4 innebär att den externa transporten genomförs med tåg som antas köras på el levererad av Vattenfall framställd enbart av förnyelsebara energikällor. Detta antagande är i linje med godstransportföretaget Creen Gargos riktlinjer [34]. I detta scenario har elen antagits komma ifrån 100 % vattenkraft pga. svårigheter att hitta emissionsdata på den miljömärkta elmix som Vattenfall vanligtvis levererar. Scenario 2.2 tillför en större påverkan på växthuseffekten än vad scenario 2.4 gör, trots att scenario 2.4:s transportsträcka är 165 km längre enkel resa. Transporten i scenario 2.2 utgörs av lastbiltransport. Koldioxidemissionerna är den kategori av emissioner som står för över 95 % av det totala bidraget till växthuseffekten.



Figur 7.5 Påverkan på kategorin växthuseffekt av olika aktiviteter i scenario två

Försurning

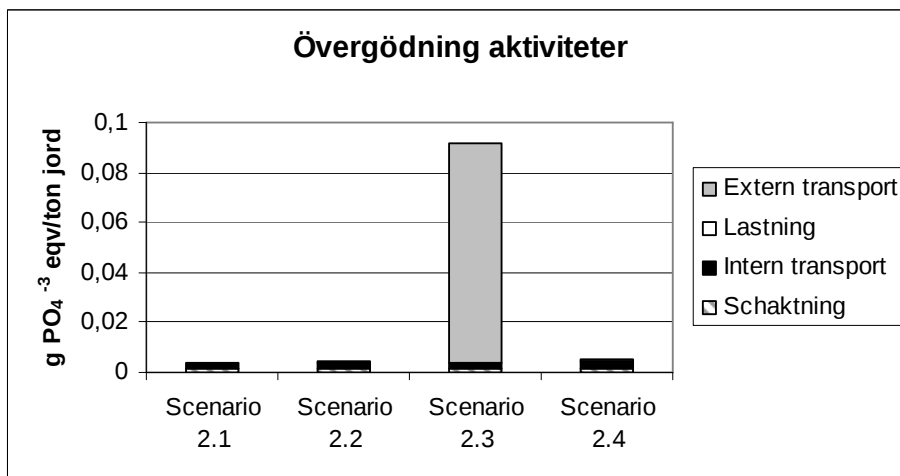
När det gäller påverkan inom kategorin försurning kan scenario 2.3 pekas ut som det scenario som med råge har den största påverkan. Att 2.3 utmärker sig i så stor utsträckning beror på att den externa transporten i 2.3 till stor del utgörs av transport med båt och därmed bidrar med en betydande mängd emissioner av svaveldioxid.



Figur 7.6 Påverkan på kategorin försurning av olika aktiviteter i scenario två

Övergödning

Gällande påverkan inom kategorin övergödning ser resultaten (figur 7.7) ut proportioner sett likvärdiga ut. Även här dominerar scenario 2.3. Påverkan inom kategorin övergödning utgörs av NO_x till 100 %.



Figur 7.7 Påverkan på kategorin växthuseffekt av olika aktiviteter i scenario två

7.3 Siktning och jordtvätt

Miljöpåverkan för saneringsteknikerna siktning och jordtvätt har också beräknats. För att genomföra momenten siktning och jordtvätt kommer ytterligare intern hantering av jorden att krävas, i form av transport inom området och lastning av jorden upp på sikt- och jordtvättsutrustningen. Denna tillkommande interna hantering har uppskattats till 50 % av den i scenario 2.2-2.4. I tabell 7.4 finns resultaten av bidraget till växthuseffekten för siktning och jordtvätt per ton jord, exkluderat den extra interna transporten.

Tabell 7.4 Beräknad påverkan på växthuseffekten för siktning och jordtvätt, exklusive extra intern hantering.

Miljöpåverkanskategori	Enhet	Siktning	Jordtvätt
Växthuseffekt	kg CO ₂ eqv/ton jord	0,8	0,04
Försurning	g SO ₂ eqv /ton jord	0,005	7,00E-05
Övergödning	g PO ₄ -3eqv / ton jord	0,001	6,00E-06

En övergripande beräkning för tillförda emissioner respektive slupna emissioner pga. siktning och jordtvätt har genomförts och resultaten visas i tabell 7.5 och 7.6. De tillförda emissionerna innefattar miljöpåverkan av siktnings-/jordtvättssteget plus miljöpåverkan för den extra interna hanteringen. De slupna emissionerna har beräknats genom att studera den genom siktning/jordtvätt minskade mängden jord som behöver transporteras med extern transport till deponi, samt vad minskningen innebär i reducerad påverkan på växthuseffekten.

Tabell 7.5 Resultat av tillförda respektive slupna emissioner vid siktning för scenario 2.1-2.4.

Siktning	Tillförda emissioner [kg CO ₂ eqv/ton jord]	Slupna emissioner [kg CO ₂ eqv/ton jord]	Resultat [kg CO ₂ eqv/ton jord]
2.1	1,6	0,03	-1,57
2.2	1,6	1,7	0,1
2.3	1,6	8,9	7,3
2.4	1,6	0,03	-1,6

Tabell 7.6 Resultat av tillförda respektive slupna emissioner vid jordtvätt för scenario 2.1-2.4.

Jordtvätt	Tillförda emissioner [kg CO ₂ eqv/ton jord]	Slupna emissioner [kg CO ₂ eqv/ton jord]	Resultat [kg CO ₂ eqv/ton jord]
2.1	0,086	0,1	0,013
2.2	0,086	4,8	4,7
2.3	0,086	25	25
2.4	0,086	0,09	0,0035

8 Analys

I den analys som genomförs i detta kapitel är det viktigt att beakta att jämförelser mellan scenario ett och delscenarierna i scenario två inte kan ses som ekvivalenta och direkt jämförbara. Som det förklarades i kapitel tre om marksanering så finns det begränsningar både för när in situ- och ex situ metoder kan tillämpas och dessa begränsningar måste tas i åtanke. Det blir inte rättvisande att bara titta på resultaten från scenario ett och jämföra det med t.ex. scenario 2.3, med tanke på att fallet kan vara det att föreningarna består av tungmetaller, vilket inte kan behandlas med föreslagen in situ metod. Även vid jämförelse mellan scenario 2.1 och de tre övriga i scenario två (2.2 – 2.4) bör aspekten beaktas att det i 2.1 bara rör sig om hantering av lågförorenad jord, till skillnad från de andra tre där alla typer av föroreningar och halter kan hanteras.

8.1 Scenario ett

För scenario ett kan konstateras att det per ton behandlad jord medför en mycket låg miljöpåverkan. Vid detta scenario utförs inga transporter av den förorenade jorden, vilket också är en avgörande faktor när det gäller de låga emissionsmängderna. För beräkning av steget drift har antagits att elen är av slaget svensk elmix, med CO₂ utsläpp på 108 g/kWh. Skulle miljömärkt el användas skulle utsläppen av CO₂ kunna minskas till endast 6 g/kWh, vilket motsvarar en total procentuell minskning av CO₂ utsläppen med 94 %.

Den stora nackdelen med att använda sig av scenario 1 och en s.k. in situ metod är att vissa faktorer av osäkerhet och risk tillförs. Om metoden fungerar eller inte är beroende av vilken typ av förorening som avses behandlas samt jordens sammansättning. Dessa faktorer finns naturligtvis även i scenarierna där grävsanering tillämpas men inte i lika stor utsträckning. Tillämpas grävsanering på ett förorenat område kan det i högre grad säkerställas att föroreningarna verkligen avlägsnas genom att de fysiskt sett grävs upp och transporteras bort från platsen. Med en in situ metod genomförs ingen schaktning av den förorenade jorden utan reningen av den förorenade jorden sker med jorden kvar på dess ursprungsplats. Detta leder till att det kan vara mycket svårare att övervaka reningsprocessen och att säkerställa att reningen av jorden går enligt planen. Risken finns att detta leder till en längre behandlingstid eller i allra värsta fall att en grävsanering till sist måste tillämpas för att säkerställa att de mätbara åtgärds målen uppfylls. Ytterligare en dimension som bör tillföras är att en stor del av jorden inom denna fastighet ändå behöver grävas upp beroende på kommande placering av uppförda hus.

8.2 Scenario två

Resultaten från scenarierna 2.1-2.4, som alla är ex situ metoder, visar tydligt att det är den externa transporten av de förorenade jordmassorna som står för den avgörande betydelsen för mängden producerade emissioner. En viktig aspekt gällande påverkan från de externa transporterna är att det redan i planeringsstadiet noga bör tänkas igenom vilka jordmassor som skickas till de olika deponierna, samt vilket transportslag som bör väljas. Just val av transportslag kan leda till en stor skillnad i påfordrad miljöbelastning särskilt om mängden jord som ska transporteras är stor. En granskning som tidningen Byggindustrin har gjort visar att transporter inom bygg- och anläggningsindustrin kan stå för hela 4-5 % av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. Man har även kommit fram till att det saknas mycket siffror för just byggsektorns del av dessa utsläpp. Transporter av gods etc. har nämligen traditionellt sett inte

ansetts vara en betydande miljöaspekt för bygg- och anläggningsföretagen [35]. En jämförelse kan göras mellan scenarierna 2.2, 2.3 och 2.4 där alla tre studerade valen av deponier klarar att ta emot avfall klassad t.o.m. en nivå av farligt avfall. Tabell 8.1 visar resultaten i form av påverkan på växthuseffekten per ton jord i de tre jämförda scenarierna.

Tabell 8.1

Scenario	Transportsätt	kg CO ₂ eqv/ton jord
2.2	lastbil	9,9
2.3	lastbil + båt	39
2.4	dumper + tåg	4,1

Gällande de externa transporterna kan även slutsatsen dras att det är av största vikt att mängden förorenad jord som transporteras till deponi minimeras. Detta kan genomföras genom att jorden i större utsträckning förbehandlas/sorteras på plats med on site metoder så som siktning och/eller jordtvätt. Enligt svensk författningssamling förordning (2001:512) § 14 är förbehandling något som måste genomföras för att avfallet överhuvudtaget ska få deponeras. Med förbehandling avses i förordningen fysikaliska, termiska, kemiska eller biologiska metoder, inklusive sortering, som ändrar avfallets egenskaper så att dess mängd eller farlighet minskas, hanteringen underlättas eller återvinning gynnas. I de analyserade scenarierna har förbehandlingsmetoder inte i detalj tagits med som ett delsteg pga. att systemen då bedömdes bli för komplexa för att analysen skulle rymmas inom detta arbete.

Emissionerna för själva förbehandlingsstegen siktning och jordtvätt har dock beräknats men för att de ska bli helt rättvisande krävs att även den interna logistiken som krävs för att förbehandla jordmassorna utvärderas mer noggrant. Utifrån de framräknade emissionerna för den interna logistiken i scenario 2.1- 2.4 kan antagandet göras att förbehandling av jorden kommer att innebära grovt räknat minst ett tillägg 50 % av emissionerna för delarna lastning och intern transport. Detta baseras på en uppskattning av det ökande antalet arbetsfordon som krävs. De urskiljda renare fraktionerna av jordmassorna, som erhålls efter förbehandling, antas kunna användas som utfyllnadsmaterial vid genomförandet av byggnationen av bostadshusen som planeras på fastigheten ”Trädgården 1:124”.

Deponering på mer lokala deponier med möjlighet att ta emot jordmassor med lägre föroreningsgrad kan också vara ett alternativ. I arbetet med Hexionområdet diskuteras den från arbetsplatsen två km belägna Kikåstippen för användning som deponi av jordmassor med avfallsklassen ”icke farligt avfall under MKM (mindre känslig markanvändning)”. Detta kräver dock att högförorenade massor har avskiljts alternativt lagrats så att organiska föroreningar i massorna har kunnat brytas ned. För att få till en naturlig nedbrytning av de organiska föroreningarna krävs att jorden läggs upp i högar för att luftas en längre tid, eventuellt krävs även ett tillskott av organiskt material och syre. En aspekt som kan lyftas i detta sammanhang är att denna process också kommer att bidra med emissioner i form av bl.a. koldioxid p.g.a. den nedbrytning som kommer att ske då syret i luften reagerar med de organiska molekyler. En grov uppskattning av hur stora koldioxidemissionerna teoretiskt sett kan bli har gjorts. En utgångshalt av 11 kolatomer tunga alifater på 1000 mg/kg har antagits, detta är en halt som ligger över medelhalten i de uppmätta värdena. En minskning med 900 mg/kg antas ske då alifaterna reagerar med syremolekyler. Antagandena att allt tillgängligt kol förbrukas i reaktionen samt att det finns ett överskott av syre har gjorts. Detta resulterar i emissioner på 3,8 kg koldioxid/ton jord.

Användandet av Kikåstippen och den luftning av jorden som då krävs skulle medföra att de totala emissionerna för alternativet utgjordes av 3,8 kg koldioxid/ton jord som fås från luftningen plus de 3,1 kg koldioxid/ton jord som transporten av massorna till Kikås (scenario 2.1) medför. Totalt blir det utsläpp på 6,9 kg koldioxid/ton jord. Jämförs detta alternativ med alternativet att köra de högförorenade massorna till Hiljestorp med lastbil (scenario 2.2) innebär luftningen och transporten till Kikåstippen en vinst på 3 kg koldioxid/ton jord. I jämförelse med om transporten istället skulle genomföras med tåg som innebär emissioner på 4,1 kg koldioxid/ton jord så innebär alternativet med luftning och transport till Kikåstippen dock inte längre det ur emissionssynpunkt det bästa alternativet.

8.3 Tillämpning av resultat

Inom Hexionprojektet har en översiktlig struktur för hur hanteringen av de förorenade jordmassorna ska ske tagits fram. Denna struktur togs fram inom projektet efter det att examensarbetet pågått ett tag och fanns därför inte med som information vid arbetets början. En figur över en struktur med förslag på den totala hanteringen av olika jordmängder i projektet finns i bilaga 15. Nedan presenteras ett räkneexempel för att belysa variationen av de totala utsläppen med avseende på val av transportslag för extern transport och om förbehandling i form av siktning genomförs eller ej. Som underlag till detta exempel har data för de framräknade emissionerna/ton jord (tabell 8.1) samt jordmängder utifrån den översiktliga strukturen antagits (bilaga 15). En specificering av möjlig behandling för olika fraktioner av den bedömda totala mängden förorenad jord på området har genomförts. I denna bedömning har 15 000 ton av totalt 49 000 ton förorenad jord bedömts som siktbara massor. 8 500 ton av de 15 000 ton siktbara massorna, samt 12 000 ton av de 34 000 osiktbara massorna bedöms utgöra massor som kräver extern transport till deponi. Resterande jordmassor kommer att omstruktureras och hanteras internt inom fastigheten. Resultaten av de jämförande beräkningarna visas i tabell 8.2. Största skillnaden i minskade emissioner vid siktning fås med scenario 2.3 och den minsta i scenario 2.4.

- **Utan siktning:** 15 000 + 12 000 = 27 000 ton jord
- **Med siktning:** 8 500 + 12 000 = 20 500 ton jord

Tabell 8.2

Resultat av jämförelse mellan genomförande av siktning/ej siktning transportslag.

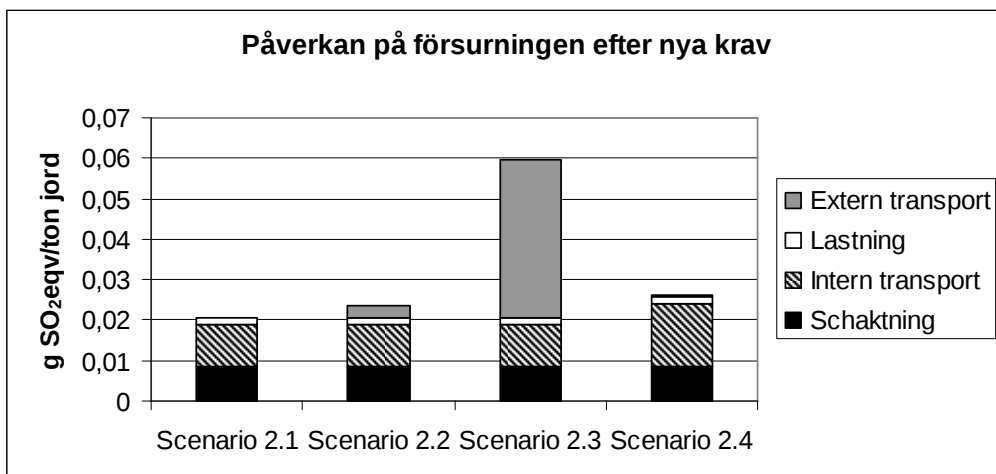
	Jordmängd [ton]	2.2 (lastbil) [ton CO ₂ eqv]	2.3 (båt) [ton CO ₂ eqv]	2.4 (tåg) [ton CO ₂ eqv]
Utan siktning	27000	267	1045	110
Med siktning	20500	203	793	83
Skillnad med siktning/ utan siktning	6500	64	252	26

Baserat på den genomförda fördelningen av jordmassorna (bilaga 10) kan konstateras att siktning medför en minskad jordmängd med ca 25 % som måste transporteras externt till deponi. 25 % är dock ganska lågt räknat och en större andel återanvändbara massor är ett troligt scenario.

8.4 Fortsatt analys av transportslag

Sjötransporten som är inkluderad i alternativ 2.3 kan konstateras som det överlägset mest miljöbelastande transportsättet. Detta gäller främst p.g.a. just utsläppen av svaveldioxider, vilket får en betydande inverkan på miljöpåverkan i kategorin förurning. Emissionerna av svavel är helt beroende på svavelhalten i bränslet och kan således påverkas genom krav på att lågsvavligt bränsle används. Kraven på sjöfarten gällande svavelutsläpp har länge varit låga men i oktober 2008 tog den internationella sjöfartsorganisationen IMO beslut om ordentligt skärpta gränsvärden för svavel i marint bränsle. De nya reglerna innebär att gränsvärdet för svavel i Östersjön, Nordsjön och Engelska kanalen (det så kallade SECA-området) sänks från 1,5 procent idag till 0,1 procent år 2015. Globalt sänks svavelhalten från dagens 4,5 procent till 3,5 procent år 2012 och till 0,5 procent senast år 2025 [36]. Även för utsläpp av kväveoxider kommer kraven successivt att skärpas. I dag används katalysator eller annan reningsteknik främst på färjor och vissa fraktfartyg. Krav på rening på nybyggda fartyg och/eller kundkrav på lågemissionsfartyg kommer successivt att ge minskade utsläpp även av NOx.

För den i detta arbete analyserade båttransporten (scenario 2.3) skulle de nya kraven inom SECA-området innebära en minskning av svaveldioxidutsläppen till 6 g SO₂ g/g jord till skillnad från dagens 86 g/g jord, vilket är en total minskning med 93 %. Görs jämförelsen mellan figur 8.1 nedan (nya krav) och figur 7.6 (nuvarande krav) kan konstateras att framtida sjötransporter kan komma att bli mer ett mer konkurrenskraftigt alternativ, sett till svavelutsläppen och påverkan på förurningen. De nya kraven reglerar inte emissioner av växthusgaser.



Figur 8.1 Påverkan på kategorin förurning av olika aktiviteter i scenario två, efter nya krav på tillåtna svavelutsläpp inom sjöfarten.

De emissionsdata som använts för beräkningen av emissioner från båttransporten är från år 2004 och tagna från projektet SMED. SMED är en förkortning för SvenskaMiljöEmissionsData och är ett samarbete mellan IVL Svenska Miljöinstitutet, SCB och SMHI. I och med att det just nu pågår mycket forskning och utvecklingsarbete när det gäller emissioner från sjöfarten så bör det has med i åtanke att den senast tillgängliga och inom detta arbete använda emissionsdatan för sjöfart faktiskt i dagsläget är 5 år gammal.

När det gäller utsläpp av växthusgaser från sjöfartsektorn har IMO i en utredning kommit fram till att fartyg som 2007 deltog i internationell handel stod för 2,7 % av världens utsläpp av koldioxid. På grund av att det idag globalt sett saknas policys för att kontrollera utsläppen av växthusgaser från internationell sjöfart befarar man att utsläppen av växthusgaser från den internationella sjöfarten år 2050 kan ha ökat med 150-250 %. Detta mycket beroende av att IMO räknar med en kontinuerlig ökning av transporter till sjöss. IMO tog i juli 2009 fram ett paket av förslag på tekniska och operativa åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser. Även en plan för att arbeta fram marknadsbaserade instrument och styrmedel, t.ex. skatter, antogs [37].

Den stora miljöpåverkan av scenario 2.3 beror naturligtvis även av att det är en mycket lång sträcka, då jordmassorna i 2.3 transporteras med båt ända till Norge och en ö belägen utanför Oslos kust. Transportsträckan i 2.3 är i storleksordning ungefär 2,9 gånger längre än den i 2.2.

Det transportslag och val av deponi för avfall upp t.o.m. farligt avfall som utgör det ur miljöperspektiv bästa alternativet är scenario 2.4, vilket innefattar tågtransport av den förorenade jorden till SAKAB:s anläggning i Kumla med en sträcka på 265 km enkel väg. Den relativt sett låga miljöbelastningen/ton jord kan till stor del förklaras med att drivmedlet för tågtransporten har antagits vara miljömärkt el, då detta val är en av riktlinjerna för Green Cargos verksamhet.

8.5 Arbetsfordon

Delen av den studerade livscykeln som inte utgörs av externa transporter, utgörs av schaktning och interna transporter av jorden. Dessa moment utförs med grävmaskin, dumper och hjullastare. Den interna transporten står i scenario 2.1 – 2.4 för mellan 1-56 % av de totala emissionerna, beroende på hur stora emissioner är för det valda alternativet för extern transport. Vid en så stor sanering som den som ska genomföras på Hexionområdet blir den interna logistiken en mycket viktig och omfattande del av genomförandet. Den interna logistiken är också ett område där det finns potential för att på ett inte alltför komplicerat sätt minska sin miljöpåverkan. En noga genomtänkt, planerad och samordnad intern logistik kan innebära minskat behov av förflyttning av jordmassor, vilket kan resultera i en minskad omfattning av användandet av arbetsfordon.

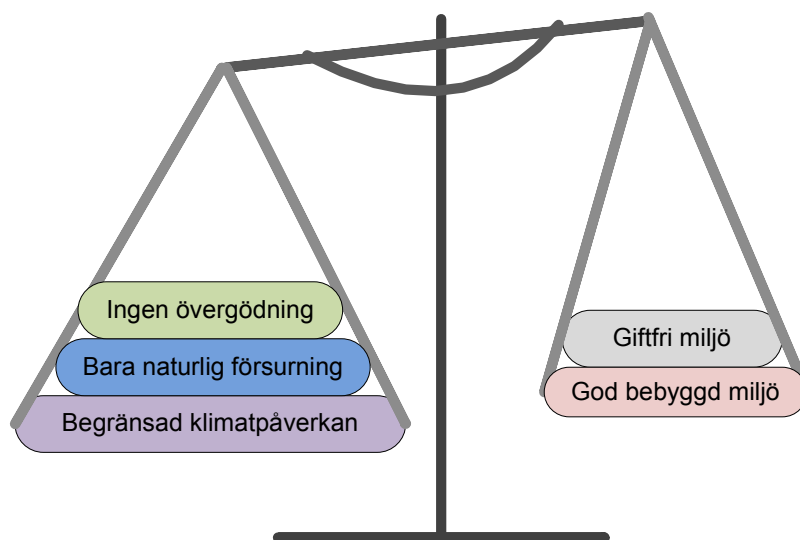
Idag står arbetsfordon för nästan en femtedel av utsläppen av kväveoxider i Sverige [38]. Som nämnts tidigare i rapporten har dessa kväveoxider påverkan på både förurning och övergödning. Avgaskrav har tillämpats i Sverige för tunga bilar från årsmodell 1993 och senare. En skärpning av kraven skedde hösten 1996 samt hösten 1998 (steg 2). 1997 infördes dessutom ett nytt EU-direktiv gällande utsläpp från arbetsmaskiner. Detta innefattar en stegvis skärpning av avgaskraven för nyproducerade fordon, vilket innebär att utsläppande av maskinen på marknaden inte får ske om inte kraven för respektive nivå är uppfyllda vid utsatt datum [39].

För att ta grävmaskinen av modellen Volvo EC290C som är tänkt att användas för schaktningsarbeten vid saneringen av Hexionområdet som exempel, med utgångsläge på 9,2 g NO_x/h som är det första kravet som sattes vid införandet av EU-direktivet 1997. I slutet av 2012 då den sista skärpningen av kraven på utsläpp görs, sätts kravet på nyproducerade motorer med samma motoreffekt till 0,4 g NO_x/h, vilket innebär en skärpning från 1997 års nivå med hela 96 %. Det återstående problemet är dock fortfarande de äldre arbetsfordon som lever kvar sen ett antal år tillbaka. Enligt en rapport framtagen av Svenska maskinprovning AB

tyder statistik på att antalet årliga drifttimmar för arbetsmaskinerna sjunker proportionellt mot maskinåldern samtidigt som det årligen säljs ungefär 7500 nya större arbetsmaskiner. Detta tyder på att den aktiva delen av existerande maskinpark i Sverige förnyas fort, vilket är bra ur emissionssynpunkt med tanke på de skärpta avgaskraven [40]. Miljövinster kan i viss utsträckning säkert även inom Hexionprojektet uppnås, genom att ta sig en titt på den för saneringen aktuella maskinparken och dess ålder.

8.6 Miljöpåverkan med hänsyn till de nationella miljömålen

En annan aspekt som övergripande är mycket intressant är att miljöbelastningen i vid genomförandet av saneringen flyttas från att röra de nationella miljömålen "giftfri miljö" och "god bebyggd miljö" till att istället utgöra en påverkan inom miljömålen "begränsad klimatpåverkan", "bara naturlig försurning" samt "ingen övergödning". I praktiken för Hexionprojektet innebär det att de skadliga föroreningarna i marken tas omhand och den lokala miljön förbättras. Men detta sker på bekostnad av stora mängder emissioner som kommer att försämra miljön ur ett mer regionalt/globalt perspektiv. Regeringens beslut att anta de sexton nationella miljömålen (se bilaga 16) som idag utgör grunden för hur miljöarbetet på statlig nivå drivs, gjorde man det med det övergripande målet att vi till nästa generation ska lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen är lösta [41]. Det innebär att påverkan på miljön inom en generation (20-25 år) ska ha minskat till nivåer som är långsiktigt hållbara. För att kunna uppfylla det s.k. "generationsmålet" krävs det att ett brett och övergripande tänkande gällande miljöpåverkan måste tillämpas. Lösningen att flytta miljöpåverkan mellan de olika miljömålen och olika typ av miljöpåverkan utan en total reducering kommer inte att leda till att helheten, alla "de stora miljöproblemen", kommer att kunna lösas. Det som vidare skulle vara intressant att utreda är om saneringen i det stora hela egentligen innebär en total förbättring av de studerade miljöproblemen.



Figur 8.2 Vilket eller vilka miljömål bör prioriteras? Vid en sanering förbättras bl.a. de nationella miljömålen "Giftfri miljö" och "God bebyggd miljö" medan det ger en negativ påverkan på målen "Ingen övergödning", "Bara naturlig försurning" och "Begränsad klimatpåverkan".

8.7 Kostnads-nyttö analys

Ytterligare ett perspektiv som är intressant att ta upp är att betrakta resultaten ur ett övergripande kostnads-nyttö perspektiv. Vid genomförandet av en kostnads-nyttöanalys (KNA) identifierar man de positiva och negativa konsekvenserna av ett projekt i samhället och jämför dem sedan för att se om den positiva sidan väger tyngre än den negativa. Analysen kan göras både *ex ante* eller *ex post*, dvs. före eller efter genomfört projekt. KNA kan exempelvis användas som ett hjälpmedel vid situationer när man står inför ett val mellan olika saneringsstrategier och metoder för ett förorenat område, som i detta fall saneringen av Hexionområdet [42]. Inom Hexionprojektet kan ett kostnads-nyttö perspektiv tillämpas så att en bedömning av de negativa konsekvenserna, som i detta fall utgörs av emissioner till luft under genomförandet av saneringen görs. Det jämförs sedan med den totalt bedömda nyttan av att saneringen genomförs, med andra ord förbättringen av miljön som saneringen av Hexionområdet medför. En övergripande bedömning av kostnaderna och nyttan i detta fall är inte helt enkel. Genomförandet av saneringen innebär givetvis en stor förbättring av den lokala miljön men frågan som kan ställas är, hur mycket av annan miljöpåverkan är denna förbättring egentligen värd? Saneringen kommer att medföra en stor förbättring av den lokala miljön på området men också förorsaka försämringar på den mer regionala och globala miljön genom t.ex. ökad trafik och köbildningar på de redan hårt trafikerade småvägarna genom centrala Mölndal eller bidraget till växthuseffekten.

Kostnads-nyttö perspektivet kan även tillämpas och användas vid bedömningen om huruvida det är miljömässigt lönsamt att förbehandla de förorenade jordmassorna genom siktning/jordtvätt. Från resultaten i 7.3 så kan det konstateras att det lönar sig om endast de framräknade emissionsmängderna studeras, att lägga till delsteget siktning i scenario 2.2 och 2.3. I 2.2 fås en marginell minskning av påverkan på växthuseffekten, medan det i scenario 2.3 innebär en minskning på hela 7,3 kg CO₂ eqv/ton jord. Vid genomförandet av jordtvätt fås ännu större miljövinster med avseende på emissionsmängderna med tanke på att miljöbelastningen för genomförandet av jordtvätten är mycket liten och att hela 70 % av den tvättade jorden bedöms kunna vara lämplig för återanvändning. Nackdelar med jordtvätt är dock de stora kostnaderna förknippade med rening av den stora mängden tvättvatten som genereras samt att det måste finnas användning inom projektet för de tvättade jordmassorna.

Att bara titta på mängden emissioner vid övervägande om att använda siktning/ jordtvätt eller inte, ger inte en rättvisande bild. En av fördelarna med siktning och jordtvätt är som tidigare har beskrivits att en stor del av jordmassorna går att återanvända genom att de allra finaste fraktionerna där mycket stor av föroreningarna finns sikts/tvättas bort. Detta gör att mängden nya jordmassor/krossmaterial som eventuellt behöver köpas in och transporteras från externt håll till området minskar. Studerar man den emissionspåverkan som nya tillförda externa jordmassor/krossmaterial producerar så kan det konstateras att endast momentet då krossning av bergmaterial till grus sker, medför en påverkan på 1,4 kg CO₂/ton producerat krossmaterial [43]. Då är transporten från krossanläggningen till fastigheten inte inkluderad och inte heller andra ev. tillkommande moment i framställningen av krossmaterialet.

Återvinning av så stor mängd massor som möjligt medför också att miljövinsten ur ett kretsloppsperspektiv blir större. D.v.s. det kommer inte krävas tillförsel av lika stor mängd nya naturresurser, i detta fall bergmaterial. I en rapport som publicerades 2008 av EEA (European Environmental Agency) konstaterades att en möjlig lösning till att få ner konsumtionen av nyttillverkade krossmaterial inom byggbranschen i framtiden, kan vara att en miljöskatt på

utvinningen av sand, grus och krossat bergmaterial införs [44]. Förhoppningsvis skulle en sådan skatt kunna vara ett incitament för att tänka om och våga satsa på förbehandlingsmetoder för att kunna återvända så stora mängder jord/krossmaterial som möjligt i framtida projekt. Naturligtvis är valet att använda förbehandlingsmetoder också styrt av ekonomiska faktorer. Sätts miljöskatten på en nivå som gör det mer ekonomiskt lönsamt att förbehandla jorden och återanvända den lär det säkert vara ytterligare ett säkert incitament.

8.8 Jämförelse med Danmarks lagar och riktlinjer

Alternativ till resonemangen inom området marksanering som vi har här i Sverige, gällande t.ex. åtgärder, metodval och miljöpåverkan kan hittas genom att titta på hur arbetet i vårt grannland Danmark bedrivs. En av de huvudsakliga skillnaderna är synen på uppskattning för djupet för riskfri landanvändning. I Sverige betraktas behovet av beskydd av de ekologiska systemen lika oavsett vilket djup under marknivå de befinner sig på. I Danmark anses sanering av jord ner till mindre djup okej för riskfri landanvändning, men med kriteriet att marken täcks med gräs, geo-textil etc. samt att grundvattnet skyddas från skadliga föroreningar. Danmarks synsätt leder till en totalt minskad mängd med förorenade jordmassor som behöver schaktas, behandlas, transporteras och deponeras och därmed också en minskning av emissionerna från projekt inom marksanering. Man har även ett system för klassificering och återanvändning av jordmassor med låga föroreningshalter. I Sverige finns inget liknande system utan återanvändning av jorden är bara möjlig inom samma projekt eller mellan partners. Den genomsnittliga mängden av schaktade jordmassor per projekt i Danmark är ca 80 ton jämfört med den i Sverige som är hela 8000 ton [45]. Skillnaden i den genomsnittliga mängden av schaktade jordmassor från de två länderna, 7920 ton, motsvarar med transport enligt scenario 2.2 samma mängd koldioxidutsläpp som en bilresa på ca 4 700 mil [46].

9 Diskussion

Genomförandet av detta examensarbete har varit mycket intressant och lärorikt, men det har även inneburit utmaningar och svårigheter. En av de största svårigheterna i genomförandet har varit tidsaspekten i förhållande till fortgången och statusen av det verkliga projektet. I och med att examensarbetet baserats till mycket stor del på verkliga förhållanden inom Hexionprojektet, har inhämtande av information om saneringens genomförande varit av stor betydelse. Detta eftersom avsikten har varit att göra en så verklighetstrogen bedömning av det verkliga projektet som möjligt. Problemet har uppstått i situationer då beslut om delar av genomförandet av saneringen ännu inte har tagits. I dessa fall har antaganden fått göras, vilket innebär en viss osäkerhet. I vissa fall har förändringar som tagna beslut medfört, tagits hänsyn till och en modifiering av beräkningarna genomförts. Att detta skulle ha gjorts i alla fall där det ursprungliga antagandet inte stämde överrens med information som kommit i efterhand, har av tidsmässiga skäl inte varit möjligt. Detta gäller exempelvis för de framtagna modellerna av de olika scenarierna samt bedömningen av mängden arbetsfordon som krävs för saneringen ska kunna genomföras. En bedömning av rimligheten i alla antaganden kommer naturligtvis inte vara möjlig förrän saneringen är gjord och det finns ett facit på hur den genomfördes. Att examensarbetet legat tidsmässigt före har nog dock inneburit att ansvariga för Hexionprojektet fått intressanta och nytänkande idéer att ha med sig i planeringen av det verkliga projektgenomförandet.

En annan svårighet har varit att hantera det faktum att scenario ett och delscenarierna i scenario två inte i alla fall kan ses som ekvivalenta och direkt jämförbara. Då det riskerade att bli väldigt komplicerat med att tillföra ytterligare en aspekt, kvalitetsaspekten av de genomförda teknikerna, valdes istället att bortse från denna aspekt. Antagandet att genomförda åtgärder och tekniker resulterar i att de mätbara åtgärdsmålen uppfylls gjordes. Detta kan givetvis vara en sanning med modifikation eftersom det inte kan säkerställas att detta uppfylls, förrän saneringen genomförs/är genomförd. Skulle det vid genomförandet visa sig att det uppstår problem med att uppnå önskad reningsgrad med någon teknik, kan det bli aktuellt att istället prova en annan metod och detta resulterar då naturligtvis i ytterligare tillförd påverkan på miljön. Men med tanke på att syftet med arbetet har varit att endast göra en uppskattning av miljöbelastningen kan dessa osäkerheter ses som acceptabla.

En hel del arbetsfordon har ingått i studien och den miljöbelastning de tillför i de olika scenarierna har studerats. Vid datainsamling av specifika emissionsdata och bränsleförbrukning upptäcktes att det var svårt att hitta data för de specifika modellerna av fordon. För att kunna genomföra inventeringen fick generella emissionsdata för arbetsfordon från Naturvårdsverket användas. Efter kontakt med leverantörer och letande i diverse rapporter kunde bränsleförbrukningen för de olika fordonen erhållas. Även omfattningen av den tidsmässiga användningen av fordonen får ses som en osäker variabel med tanke på att de har baserats på uppskattningar. Viss information om drifttiden för arbetsmaskinerna samt tidsåtgång för lastning av de lastbilar som kör den externa transporten har inhämtats från maskinoperatörer på Hexionområdet. För att få mera precisa uppgifter skulle tidsmätningar kunna utföras för de olika momenten arbetsfordonen utför. Detta har dock varit svårt i nuläget eftersom själva saneringen inte dragit igång ännu och genomförandet av ett flertal moment i dagsläget inte är helt fastslagna.

10 Slutsatser

- Användandet av scenario 1, in situ metoden, är det alternativ som med marginal utgör det ur emissionssynpunkt bästa alternativet. De begränsningar som måste tas med i bedömningen är att metoden bäst lämpar sig för föroreningar av organiskt slag, så som exempelvis lösningsmedel och bensen. Metoden innebär också en risk i och med att genomförandet av saneringen är svåröverbakad och i värsta fall kan medföra att grävsanering slutligen också måste genomföras.
- Den huvudsakliga orsaken till miljöpåverkan, i form av emissioner till luften, som orsakas av saneringen av Hexionområdet är den externa transporten av de förorenade jordmassorna till deponi. Det mest belastande externa transportalternativet för transport av jordmassor upp t.o.m. farligt avfall i detta fall är transport med båt (2.3) och det minst belastande är transport med tåg (2.4). Vid val av transport och mottagare för det förorenade avfallet är det lämpligt att jämföra de olika alternativens emissionsbelastning.
- För att minska mängden emissioner från de externa transporterna krävs en minskning av jordmängderna som ska transporteras till deponi. Detta kan genomföras med olika typer av förbehandling av jorden, exempelvis genom siktning och/eller jordtvätt. Vid miljöpåverkansbedömning av förbehandlingsmetoder bör även den interna hanteringen av jordmassorna inkluderas.
- Förbättrad logistik på arbetsplatsen i kombination med nyare arbetsmaskiner, anpassade till de hårdare miljökraven minskar den totala emissionsbelastningen vid ett saneringsprojekt.
- I och med genomförandet av saneringen flyttas miljöbelastningen från att röra de nationella miljömålen "giftfri miljö" samt "god bebyggd miljö" till att istället utgöra en påverkan inom miljömålen "begränsad klimatpåverkan", "bara naturlig förurning" samt "ingen övergödning". Frågan som kan ställas är, hur mycket av annan miljöpåverkan är denna förbättring inom "målet giftfri miljö" egentligen värd? Och innebär saneringen i det stora hela en egentlig förbättring av miljöproblemen?

10 Förslag till fortsatt utredning

- Mer noggrant titta på olika förbehandlingsmetoder utöver siktning och jordtvätt, och jämföra dem och den logistik de förutsätter ur ett miljöperspektiv. Detta för att kunna göra en mer detaljerad studie av den miljöbelastning genomförandet av dem utgör i relation till att de inte genomförs.
- Titta på specifika arbetsfordons emissioner och jämföra hur stor skillnaden i emissioner och bränsleförbrukning är mellan dagens maskinpark och den senaste tekniken inom motorer. Är det miljömässigt en bra investering att förnya maskinparken?
- För att verifiera och modifiera de antaganden och förhållanden som har gjorts inom detta arbete skulle en uppföljning då saneringen genomförts kunna göras, en så kallad *ex post* studie. Detta kräver dock att information och data noga samlas in under hela genomförandefasen för att få en rättvisande bild av verkligheten.
- En utförlig kostnads-nytto analys av de olika alternativen för saneringen av Hexionområdet skulle kunna genomföras. Detta för att bättre kunna göra en bedömning av de olika saneringsstrategierna ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.

11 Källförteckning

- [1] Läget i landet, efterbehandling: (<http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Efterbehandling-av-fororenade-omraden/Laget-i-landet---efterbehandling>) 090217
- [2] Karin Andersson m.fl. (2008) *Miljöprestanda och samhällsekonomi för saneringsmetoder*, Rapport 5793 Hållbar sanering, Naturvårdsverket
- [3] Hållbar sanering/Riskvärdering www.naturvardsverket.se 091104
- [4] NCC:s miljöpolicy www.ncc.se 091105
- [5] Ek Kristin, NCC Housing Sweden, 2009 *Carbon Footprint*,
- [6] Samtal med Susanne Svegerud, NCC Teknik Malmö
- [7] Ribbenhed M. et.al. (2002) *Livscykelanalys av marksaneringstekniker för förorenad jord och sediment*, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm.
- [8] NCC Teknik Göteborg (2007) *Översiktlig miljöteknisk markundersökning-Hexion, Mölndals kommun*.
- [9] Tarbuck E., Lutgens F., (2008) *Earth-an introduction to physical geology*, Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, ISBN 0-13-156684-9
- [10] *Fastigheten trädgården 1:124, Hexionområdet, Mölndal, Åtgärdsutredning inklusive förslag till övergripande och mätbara åtgärds mål.*(2009) SWECO
- [11] www.marksaneringsinfo.net/teknik.htm 090225
- [12] Förklaring av markanvändningstyper KM och MKM:
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Efterbehandling-av-fororenade-omraden/Riskbedomning/Nya-generella-riktvarden-for-fororenad-mark/Forklaring-av-markanvandningstyper-KM-och-MKM/> 090303
- [13] *Fastigheten trädgården 1:124, Kvarnbyparken, Mölndal, Fördjupad riskbedömning inklusive beräkning av platsspecifika riktvärden* (2009) SWECO
- [14] EG-direktiv 2006/12/EG om avfall <http://eur-lex.europa.eu> 091110
- [15] *Hexion-kartläggning inför rivning*, Inventeringsrapport, Ramböll 080421
- [16] Förordningen om deponering av avfall [SFS 2001:512 www.notisum.se](http://www.notisum.se) 091104
- [17] Klassning av farligt avfall: <http://www.naturvardsverket.se/sv/Produkter-och-avfall/Avfall/Lagar-och-regler-om-avfall/Klassning-av-farligt-avfall/>, 090914

- [18] www.mbenvirotech.se 090227
- [19] Nationalencyklopedin, "schaktning": <http://www.ne.se> 090226
- [20] Gustafsson J-P et al (2005), *Soil and water chemistry*, Compendium for engineering students in soil and water chemistry at KTH and SLU, KTH Mark- och vattenteknik
- [21] www.tesab.com/atervinning/produkter 090520
- [22] Jordtvätt, <http://www.marksaneringsinfo.net/jordtvatt.htm> 090226
- [23] Raven Peter & Berg L (2006), *Environment*, John Wiley & Sons Inc, USA, ISBN 0-471-70438-5
- [24] Stefan Uppenberg m.fl. (2001) *Miljöfaktabok för bränslen*, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm.
- [25] Climate Change 2007: Synthesis Report,(2007) *An assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*
- [26] Jackson R.W Andrew & Jackson M. Julie, (2000), *Environmental science – The natural Environment and Human Impact*, Pearson Education Limited, England, ISBN 0-582-14445
- [27] Ahlbom J & Duss. D, (2003) *Rent skepp kommer lastat – med möjligheter till en miljöanpassad sjöfart*, Göteborgs Länstryckeri AB
- [28] Baumann Henrikke, Tillman Anne-Marie, (2004) *The Hitch Hikers guide to LCA*, Studentlitteratur Lund 2004, ISBN 91-44-02364-2
- [29] Rydh Carl-Johan m.fl. (2002) *Livscykelanalys – en metod för miljöbedömning av produkter och tjänster*, Studentlitteratur Lund 2002, ISBN 91-44-02447-9
- [30] ISO 14040:2006, (2006) International Standard, *Environmental management – Life cycle assesment – Principles and framework*
- [31] Petersson G (2002), *Kemisk miljövetenskap*, Chalmers Reproservice Göteborg, ISBN 91-7197-753-8
- [32] *Saneringsplan in situ åtgärder område M+M2*, 2008, MBEnvirotech,
- [33] Guinée Jeroen,(2002) *Life cycle assesment. An operational guide to the ISO standards*, Centrum Miliekunde Leiden (CML), Leiden University, NL. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands
- [34] Riktlinjer Green cargos verksamhet: www.greencargo.com 090612
- [35] Köhler Niclas, *Byggtransporter bortglömd miljöfråga*, Tidningen Byggindustrin 07/2009
- [36] *Konsekvenser av IMO:s nya regler för svavelhalt i marint bränsle*,(2009) Sjöfartverket

- [37] Convents/ MARPOL: <http://www.imo.org/> 091125
- [38] Arbetsmaskiner www.naturvardverket.se 091109
- [39] Avgaskrav för arbetsmaskiner och traktorer www.transportstyrelsen.se 091109
- [40] Wetterberg Christian mfl 2006, *Utsläpp från större dieseldrivna arbetsmaskiner – inventering, kunskapsuppbyggnad och studier om åtgärder och styrmedel*, Svenska maskinprovning AB
- [41] *Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier*, Sammanfattning av regeringens proposition 2000 / 01:130
- [42] Rosén Lars mfl. (2008) *Kostnads-nyttoanalys som verktyg för prioritering av efterbehandlingsinsatser*, Rapport 5386 Hållbar sanering, Naturvårdsverket
- [43] Strippel Håkan, (2001), *Life Cycle Assessment of road - A pilot study for an inventory analysis*, Gothenburg, Sweden
- [44] EEA, (2008), *Effectiveness of environmental taxes and charges for managing sand, gravel and rock extraction in selected EU countries*.
- [45] Stina Rosén, (2009) *Comparison of the remediation process in Sweden and Denmark for remediation of contaminated sites*, Master Thesis Chalmers University of Technology, Gothenburg Sweden
- [46] NCC, *Klimatdeklaration - så påverkar boendet klimatet*, www.ncc.se 091111

MÄTBARA ÅTGÄRDSMÅL, KVARNBYPARKEN (mg/kg)

Djup	Ytjord 0-2 m		Djupjord > 2 m
Marktypområde	Bostäder/ grönytor	Kontor/ trafikytor	Alla marktyper
Metaller			
Bly	80	400	930
Organiska ämnen			
Alifater C8-C10	100	500	500
Alifater C10-C12	100	500	2 500 (Alifater C10-C16)
Alifater C12-C16	100	500	
Alifater C16-C35	100	1 000	2 500
Aromater C8-C10	10	50	250
Aromater C10-C16	3	15	250
DEHP	35	70	1 250
Etylbensen	10	50	250 (BTEX)
Xylen	10	50	
PAH L	3	15	250 (PAH övr)
PAH M	10	40	
PAH H	2,5	10	25 (PAH canc)

Princip för framtagande av mätbara åtgärds mål

Bostadsmark och grönytor:

För ytjord utgör de mätbara åtgärds målen det lägsta av följande värden: platsspecifikt riktvärde för människors hälsa/KM för markmiljö/platsspecifikt riktvärde för skydd av recipienten.

För djupjord utgör de mätbara åtgärds målen det lägsta av följande värden: platsspecifikt riktvärde för människors hälsa/ platsspecifikt riktvärde för skydd av recipienten. Om de framräknade värdena anses vara "höga", har av försiktighetsskäl istället ett lägre värde valts som ligger väsentligt under de platsspecifika riktvärdena. Värdet har satts utifrån en rimlighetsbedömning, baserat på bl a erfarenhet från andra exploateringsområden. Som exempel kan nämnas DEHP där det mätbara åtgärds målet 1 250 mg/kg är cirka 1/20 av det platsspecifika hälsobaserade riktvärdet för djupjord i ett bostadsområde. För bly motsvarar det mätbara åtgärds målet det platsspecifika hälsobaserade riktvärdet för djupjord.

Kontor/handel/p-ytor/trafikområden:

För ytjord utgör de mätbara åtgärds målen det lägsta av följande värden: platsspecifikt riktvärde för människors hälsa/MKM för markmiljö/platsspecifikt riktvärde för skydd av recipienten.

För djupjord utgör de mätbara åtgärds målen det lägsta av följande värden: platsspecifikt riktvärde för människors hälsa/ platsspecifikt riktvärde för skydd av recipienten. Framräknade "höga" platsspecifika riktvärden har hanterats enligt ovan.

Tillämpning

Vid jämförelse av undersökningsresultat med de mätbara åtgärds målen, kan för vissa exponeringstyper extremvärden vara viktiga att ta hänsyn till, medan det för andra exponeringstyper är den förorenade jordens "volymsegenskap" som är viktigt. Exempel på det förstnämnda är områden där barn kan vistas stadigvarande och därmed riskera att inta förorenad jord oralt. Ett exempel på det sistnämnda är massor belägna på ett större djup där riskerna främst utgörs av påverkan på omgivande markmiljö eller på ytvattenrecipienten.

För ytjord skall vid jämförelse med de mätbara åtgärds målen extremvärden hos uppmätta halter beaktas. Detta gäller enbart då jämförelse görs med ett ämne där det platsspecifika riktvärdet, eller då ett sådant saknas med Naturvårdsverkets generella riktvärden, har begränsats med hänsyn till exponeringsvägen "intag av jord".

För djupjord är det främst massornas volymsegenskaper som skall beaktas vid bedömning av påverkan på omgivningen. Därmed är det mest relevant att jämföra medelvärden (eventuellt medianvärden) med de mätbara åtgärds målen, beroende på statistisk fördelning.

Bilaga 2 Sammanställning av åtgärdsalternativ

Kvarnbyparken, Mölndal Sammanställning av åtgärdsalternativ

Övergripande åtgärds mål för Kvarnbyparken:

1. Möjliggöra avsedd markanvändning enligt gällande plan
2. Långsiktigt säkra vattenkvaliteten i Mölndalsån
1. Förbättra förutsättningarna för det ekologiska systemet i ytliga marklager

SWECO
Bilaga 5

2009-05-15

Alternativ	Teknisk beskrivning	Total sanerad mängd jordmassor (ton)	Total mängd bly och reducerad mängd efter åtgärd (ton)		Total mängd DEHP och reducerad mängd efter åtgärd (ton)		Uppfyller valt alternativ det övergripande åtgärds målet ?	Övriga konsekvenser	Bedömd storleksordning kostnad marksanering (Mkr)
			Djup 0 – 2 m	Djup 2 – 4 m	Djup 0 – 2 m	Djup 2 – 4 m			
1. Noll – alternativ	Inga åtgärder utförs, d v s ingen sanering inför byggnation	0	Total mängd: 18,9 Reducerad mängd: 0	Total mängd: 8,1 Reducerad mängd: 0	Total mängd: 9,4 Reducerad mängd: 0	Total mängd: 18,6 Reducerad mängd: 0	1. Nej, bostadsbyggande är inte möjligt 2. Osäkert om det sker någon påverkan idag 3. Nej	Administrativa åtgärder krävs, avspärring och skyltar, eventuellt även praktiska åtgärder, inklusive vattenbehandling. Delar av området kan fortsatt användas som industriområde. Miljöskuld ska redovisas i årsredovisning, balansräkning mm.	0
2. Sanering enligt alternativ 2 i åtgärdsutredningen.	Framtagna, platsspecifika, djupberoende och mätbara åtgärds mål för olika parametrar används. Kända, sammanhängande förorenade områden saneras i en första etapp, övriga delar hanteras vid markerbeten under exploateringsfasen.	45 000 Avser 0-4 m inkl. 4-8 m i flakförorenad jord i delomr A. (10 000) Avser övrig djupjord 4-8m	Reducerad mängd: 16,9 89 %	Reducerad mängd: 4,8 59 %	Reducerad mängd: 9,2 98 %	Reducerad mängd: 16,5 89 %	1. Ja 2. Ja 3. Ja	Omfattande mark- och transportarbeten motsvarande en emission av 220 ton CO ₂ och en olycksrisk av 8 %. Detta medför även risk för damning och buller.	28 – 33 Avser 0-4 m inkl. 4-8 m i flakförorenad jord i delomr A. (2 – 5) Avser övrig djupjord 4-8 m
3. Sanering enligt alternativ 3 i åtgärdsutredningen.	Framtagna, platsspecifika djupberoende och mätbara åtgärds mål för olika parametrar används. Kända, sammanhängande förorenade områden saneras i en första etapp, övriga delar hanteras vid markerbeten under exploateringsfasen.	50 000 Avser 0-4 m inkl. 4-8 m i flakförorenad jord i delomr A. (10 000) Avser övrig djupjord 4-8m	Reducerad mängd: 16,9 89 %	Reducerad mängd: 5,5 67 %	Reducerad mängd: 9,2 98 %	Reducerad mängd: 17,4 93 %	1. Ja 2. Ja 3. Ja	Omfattande mark- och transportarbeten motsvarande en emission av 260 ton CO ₂ och en olycksrisk av 9 %. Detta medför även risk för damning och buller.	30 – 35 Avser 0-4 m inkl. 4-8 m i flakförorenad jord i delomr A. (3 – 6) Avser övrig djupjord 4-8 m
4. Sanering enligt alternativ 4 i åtgärdsutredningen (KM gäller oavsett djup).	NV:s generella riktvärde för KM används som mätbara åtgärds mål inom hela området, oberoende av djup.	80 000 Avser 0-4 m inkl. 4-8 m av flakförorenad jord i delomr A. (20 000) Avser övrig djupjord 4-8m	Reducerad mängd: 17,7 94 %	Reducerad mängd: 7,2 89 %	Reducerad mängd: 9,2 98 %	Reducerad mängd: 18,4 99 %	1. Ja 2. Ja 3. Ja	Mycket omfattande mark- och transportarbeten motsvarande en emission av 410 ton CO ₂ och en olycksrisk av 14 %. Detta medför även risk för damning och buller.	40 – 45 Avser 0-4 m inkl. 4-8 m av flakförorenad jord i delomr A. (9 – 12) Avser övrig djupjord 4-8 m

Bilaga 3

Scenario 1 -Indata

<i>Aktivitet</i>	<i>Resurs</i>	<i>Sträcka / Tidsperiod</i>	<i>Resursåtgång [l/km] [l/h] [kwh]</i>	<i>Beräknad mängd resursåtgång (l)</i>	<i>Beräknad mängd resursåtgång (GJ)</i>	<i>Mängd behandlad jord [ton]</i>
Transport av utrustning (fullastad lastbil)	Diesel MK1	12,5 km	0,275 l/km	3,4375	0,121275	23000 ton
Transport av utrustning (tom lastbil)	Diesel MK1	12,5 km	0,225 l/km	2,8125	0,099225	23000 ton
Installation av utrustning	Diesel MK1	48 tim	7,75 l/h	372	13,12416	23000 ton
Drift	Elektricitet	6 mån	50000 kwh		180	23000 ton
Transport av utrustning (fullastad lastbil)	Diesel MK1	12,5 km	0,275 l/km	3,4375	0,121275	23000 ton
Transport av utrustning (tom lastbil)	Diesel MK1	12,5 km	0,225 l/km	2,8125	0,099225	23000 ton

Bilaga 4

Scenario 1 - Emissionsberäkningar

Aktivitet	Energibärare	Emissioner	Emissionsfaktorer	Resursåtgång	Beräknade emissioner [kg]	Beräknade emissioner [kg/ton jord]
Transport av utrustning (fullastad lastbil)	Diesel MK1	CO2	2,6 kg CO2/l diesel	3,4375 l	8,9375	0,000388587
		NOx	0,0016 kg Nox /l diesel	3,4375 l	0,0055	2,3913E-07
		CH4	0,0046 kg CH4/GJ diesel (per year)	0,121275 GJ	0,000557865	2,4255E-08
		NM VOC	0,032 kg NM VOC/GJ diesel (per year)	0,121275 GJ	0,0038808	1,6873E-07
		SO2	0 kg SO2/GJ diesel (per year)	0,121275 GJ	0	0
		N2O	0,032 kg N2O/GJ diesel (per year)	0,121275 GJ	0,0038808	1,6873E-07
		Partiklar	0,000083 kg PM/ l diesel	3,4375 l	0,000285313	1,24049E-08
Transport av utrustning (tom lastbil)	Diesel MK1	CO2	2,6 kg CO2/l diesel	2,8125 l	7,3125	0,000317935
		NOx	0,0016 kg Nox /l diesel	2,8125 l	0,0045	1,95652E-07
		CH4	0,0046 kg CH4/GJ diesel (per year)	0,099225 GJ	0,000456435	1,9845E-08
		NM VOC	0,032 kg NM VOC/GJ diesel (per year)	0,099225 GJ	0,0031752	1,38052E-07
		SO2	0 kg SO2/GJ diesel (per year)	0,099225 GJ	0	0
		N2O	0,032 kg N2O/GJ diesel (per year)	0,099225 GJ	0,0031752	1,38052E-07
		Partiklar	0,000083 kg PM/ l diesel	2,8125 l	0,000233438	1,01495E-08
Installation av utrustning	Diesel MK1	CO2	3,16 kg CO2/ kg diesel	3013,2 kg	9521,712	0,413987478
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	3013,2 kg	98,8088544	0,004296037
		CH4	0,000055 kg CH4/ kg diesel	3013,2 kg	0,165726	7,20548E-06
		NM VOC	0,003385 kg NM VOC/kg diesel	3013,2 kg	10,199682	0,000443464
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	3013,2 kg	0	0
		N2O	0,000135 kg N2O/ kg diesel	3013,2 kg	0,406782	1,76862E-05
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	3013,2 kg	6,2855352	0,000273284
Drift	Elektricitet	CO2	0,107748141 kg CO2 / kwh el svensk mix	50000 kwh	5387,407029	0,234235088
		NOx	0,00013746 kg Nox / kwh el svensk mix	50000 kwh	6,873000394	0,000298826
		CH4	8,32533E-05 kg CH4 / kwh el svensk mix	50000 kwh	4,162662881	0,000180985
		NM VOC	7,56411E-06 kg NM VOC / kwh el svensk mix	50000 kwh	0,378205526	1,64437E-05
		SO2	0,000107936 kg SO2 / kwh el svensk mix	50000 kwh	5,39682312	0,000234644
		N2O	1,6773E-06 kg N2O / kwh el svensk mix	50000 kwh	0,083865111	3,64631E-06
		Partiklar	1,64113E-05 kg "unspecified dust"/ kwh el svensk	50000 kwh	0,820564608	3,56767E-05
Transport av utrustning (fullastad lastbil)	Diesel MK1	CO2	2,6 kg CO2/l diesel	3,4375 l	8,9375	0,000388587
		NOx	0,0016 kg Nox /l diesel	3,4375 l	0,0055	2,3913E-07
		CH4	0,0046 kg CH4/GJ diesel (per year)	0,121275 GJ	0,000557865	2,4255E-08
		NM VOC	0,032 kg NM VOC/GJ diesel (per year)	0,121275 GJ	0,0038808	1,6873E-07
		SO2	0 kg SO2/GJ diesel (per year)	0,121275 GJ	0	0
		N2O	0,032 kg N2O/GJ diesel (per year)	0,121275 GJ	0,0038808	1,6873E-07
		Partiklar	0,000083 kg PM/ l diesel	3,4375 l	0,000285313	1,24049E-08
Transport av utrustning (fullastad lastbil)	Diesel MK1	CO2	2,6 kg CO2/l diesel	2,8125 l	7,3125	0,000317935
		NOx	0,0016 kg Nox /l diesel	2,8125 l	0,0045	1,95652E-07
		CH4	0,0046 kg CH4/GJ diesel (per year)	0,099225 GJ	0,000456435	1,9845E-08
		NM VOC	0,032 kg NM VOC/GJ diesel (per year)	0,099225 GJ	0,0031752	1,38052E-07
		SO2	0 kg SO2/GJ diesel (per year)	0,099225 GJ	0	0
		N2O	0,032 kg N2O/GJ diesel (per year)	0,099225 GJ	0,0031752	1,38052E-07
		Partiklar	0,000083 kg PM/ l diesel	2,8125 l	0,000233438	1,01495E-08

Bilaga 5

Scenario 2.1 - Indata

Aktivitet	Resurs	Sträcka / Tidsperiod	Resursåtgång [l/km] [l/h] [kwh]			Beräknad mängd resursåtgång (l)	Beräknad mängd resursåtgång (GJ)	Mängd behandlad jord
Schaktning 1 st grävmaskin	Diesel MK1		7 h	19,5 l/h		136,5	4,81572	300 ton/dag
Intern transport 1 st Dumper	Diesel MK1		7 h	19,4 kg/h		167,654321	5,914844444	300 ton/dag
Lastning 0,5 Hjullastare	Diesel MK1		7 h	6,1 kg/h		26,35802469	0,929911111	300 ton/dag
Tomgångskörning lastning (tomgångskörning lastbil)	Diesel MK1		5 h	1,4 l/h		7	0,24696	300 ton/dag
Extern transport 1 (tomlastbil)	Diesel MK1		2 km	0,49 l/km		0,98	0,0345744	300 ton/dag
Extern transport 1 (tom lastbil)	Diesel MK1		2 km	0,305 l/km		0,61	0,00434808	300 ton/dag

Bilaga 6

Scenario 2.1 - Emissionsberäkningar

Aktivitet	Energibärare	Emissioner	Emissionsfaktorer	Resursåtgång	Beräknade emissioner [kg]	Beräknade emissioner [kg/ton jord]
Schakt 1 st grävmaskin	Diesel MK 1	C02	3,16 kg CO2/ kg diesel	110,565 kg	349,3854	1,164618
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	110,565 kg	3,62564748	0,012085492
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	110,565 kg	0,006081075	2,02703E-05
		NMVOC	0,003385 kg NMVOC/kg diesel	110,565 kg	0,374262525	0,001247542
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	110,565 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	110,565 kg	0,014926275	4,97543E-05
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	110,565 kg	0,23063859	0,000768795
Dumpertransport 1 st Dumper	Diesel MK 1	C02	3,16 kg CO2/ kg diesel	135,8 kg	429,128	1,430426667
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	135,8 kg	4,4531536	0,014843845
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	135,8 kg	0,007469	2,48967E-05
		NMVOC	0,003385 kg NMVOC/kg diesel	135,8 kg	0,459683	0,001532277
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	135,8 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	135,8 kg	0,018333	0,00006111
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	135,8 kg	0,2832788	0,000944263
Lastning Hjullastare 0,5 st hjullastare	Diesel MK 1	C02	3,16 kg CO2/ kg diesel	21,35 kg	67,466	0,224886667
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	21,35 kg	0,7001092	0,002333697
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	21,35 kg	0,00117425	3,91417E-06
		NMVOC	0,003385 kg NMVOC/kg diesel	21,35 kg	0,07226975	0,000240899
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	21,35 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	21,35 kg	0,00288225	9,6075E-06
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	21,35 kg	0,0445361	0,000148454
Tomgångskörning	Diesel MK 1	C02	3,6 kg CO2/h	7 l	25,2	0,084
		NOx	kg Nox /h			
		CH4	kg CH4/h			
		NMVOC	kg NMVOC/h			
		SO2	kg SO2/ h			
		N2O	kg N2O/ h			
		Partiklar	kg PM/h	l		
Extern transport 1 (fullastad lastbil)	Diesel MK 1	C02	2,6 kg CO2/l diesel	0,98 l	2,548	0,084933333
		NOx	0,0016 kg Nox /l diesel	0,98 l	0,001568	5,22667E-05
		CH4	0,0007 kg CH4/GJ diesel	0,0345744 GJ	2,42021E-05	8,06736E-07
		NMVOC	0,032 kg NMVOC/GJ diesel	0,0345744 GJ	0,001106381	3,68794E-05
		SO2	0 kg SO2/GJ diesel	0,0345744 GJ	0	0
		N2O	0,001 kg N2O/GJ diesel	0,0345744 GJ	3,45744E-05	1,15248E-06
		Partiklar	8,30E-05 kg PM/ l diesel	0,98 l	0,00008134	2,71133E-06
Externa transport 1 (tom lastbil)	Diesel MK 1	C02	2,6 kg CO2/l diesel	0,61 l	1,586	0,052866667
		NOx	0,0016 kg Nox /l diesel	0,61 l	0,000976	3,25333E-05
		CH4	0,0007 kg CH4/GJ diesel	0,00434808 GJ	3,04366E-06	1,01455E-07
		NMVOC	0,032 kg NMVOC/GJ diesel	0,00434808 GJ	0,000139139	4,63795E-06
		SO2	0 kg SO2/GJ diesel	0,00434808 GJ	0	0
		N2O	0,001 kg N2O/GJ diesel	0,00434808 GJ	4,34808E-06	1,44936E-07
		Partiklar	8,30E-05 kg PM/ l diesel	0,61 l	0,00005063	1,68767E-06

Bilaga 7

Scenario 2.2 - Indata

<i>Aktivitet</i>	<i>Resurs</i>	<i>Sträcka / Tidsperiod</i>	<i>Resursåtgång [l/km] [l/h] [kwh]</i>	<i>Beräknad mängd resursåtgång (l)</i>	<i>Beräknad mängd resursåtgång (GJ)</i>	<i>Mängd behandlad jord</i>
Schaktning 1 st grävmaskin	Diesel MK1	7 h	19,5 l/h	136,5	4,81572	300 ton/dag
Intern transport 1 st dumper	Diesel	7 h	19,4 kg/h	167,654321	5,914844444	300 ton/dag
Lastning 0,5 st hjullastare	Diesel	7 h	6,1 kg/h	26,35802469	0,929911111	300 ton/dag
Tomgångskörning (tomgångskörning lastbil)	Diesel MK1	5 h	1,4 l/h	7	0,24696	300 ton/dag
Extern transport 2 (fullastad lastbil)	Diesel MK1	100 km	0,49 l/km	49	1,72872	300 ton/dag
Extern transport 2 (tom lastbil)	Diesel MK1	100 km	0,305 l/km	30,5	1,07604	300 ton/dag

Bilaga 8

Scenario 2.2 - Emissionsberäkningar

Aktivitet	Energibärare	Emissioner	Emissionsfaktorer	Resursåtgång	Beräknade	
					emissioner [kg]	emissioner [kg/ton jord]
Schakt 1 st grävmaskin	Diesel MK 1	CO2	3,16 kg CO2/ kg diesel	110,565 kg	349,3854	1,164618
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	110,565 kg	3,62564748	0,01208549
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	110,565 kg	0,00608108	2,027E-05
		NM VOC	0,003385 kg NM VOC/kg diesel	110,565 kg	0,37426253	0,00124754
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	110,565 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	110,565 kg	0,01492628	4,9754E-05
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	110,565 kg	0,23063859	0,0007688
Dumpertransport 1 st dumper	Diesel MK 1	CO2	3,16 kg CO2/ kg diesel	135,8 kg	429,128	1,43042667
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	135,8 kg	4,4531536	0,01484385
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	135,8 kg	0,007469	2,4897E-05
		NM VOC	0,003385 kg NM VOC/kg diesel	135,8 kg	0,459683	0,00153228
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	135,8 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	135,8 kg	0,018333	0,00006111
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	135,8 kg	0,2832788	0,00094426
Lastning 0,5 st hjullastare	Diesel MK 1	CO2	3,16 kg CO2/ kg diesel	21,35 kg	67,466	0,22488667
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	21,35 kg	0,7001092	0,0023337
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	21,35 kg	0,00117425	3,9142E-06
		NM VOC	0,003385 kg NM VOC/kg diesel	21,35 kg	0,07226975	0,0002409
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	21,35 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	21,35 kg	0,00288225	9,6075E-06
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	21,35 kg	0,0445361	0,00014845
Tomgångskörning	Diesel MK 1	CO2	3,6 kg CO2/h	7 l	25,2	0,084
		NOx	kg Nox /h		0	0
		CH4	kg CH4/h		0	0
		NM VOC	kg NM VOC/h		0	0
		SO2	kg SO2/ h		0	0
		N2O	kg N2O/ h		0	0
		Partiklar	kg PM/h	l	0	0
Extern transport 2 (fullastad lastbil)	Diesel MK 1	CO2	2,6 kg CO2/l diesel	49 l	127,4	4,24666667
		NOx	0,0016 kg Nox /l diesel	49 l	0,0784	0,00261333
		CH4	0,0007 kg CH4/GJ diesel	1,72872 GJ	0,0012101	4,0337E-05
		NM VOC	0,032 kg NM VOC/GJ diesel	1,72872 GJ	0,05531904	0,00184397
		SO2	0 kg SO2/GJ diesel	1,72872 GJ	0	0
		N2O	0,001 kg N2O/GJ diesel	1,72872 GJ	0,00172872	5,7624E-05
		Partiklar	8,30E-05 kg PM/ l diesel	49 l	0,004067	0,00013557
Extern transport 2 (tom lastbil)	Diesel MK 1	CO2	2,6 kg CO2/l diesel	30,5 l	79,3	2,64333333
		NOx	0,0016 kg Nox /l diesel	30,5 l	0,0488	0,00162667
		CH4	0,0007 kg CH4/GJ diesel	1,07604 GJ	0,00075323	2,5108E-05
		NM VOC	0,032 kg NM VOC/GJ diesel	1,07604 GJ	0,03443328	0,00114778
		SO2	0 kg SO2/GJ diesel	1,07604 GJ	0	0
		N2O	0,001 kg N2O/GJ diesel	1,07604 GJ	0,00107604	3,5868E-05
		Partiklar	8,30E-05 kg PM/ l diesel	30,5 l	0,0025315	8,4383E-05

Bilaga 9

Scenario 2.3 - Indata

Aktivitet	Resurs	Sträcka / Tidsperiod	Resursåtgång [l/km] [l/h] [kwh]	Beräknad mängd resursåtgång (l)	Beräknad mängd resursåtgång (GJ)	Mängd behandlad jord [ton]
Schaktning	Diesel MK1	7 h	19,5 l/h	136,5	4,81572	300 ton/dag
Intern transport Dumper Volvo A 25	Diesel MK1	7 h	19,4 kg/h	167,654321	5,914844444	300 ton/dag
Lastning 0,5 Hjullastare	Diesel MK1	7 h	6,1 kg/h	26,35802469	0,929911111	300 ton/dag
Tomgångskörning (Tomgångskörning lastbil)	Diesel MK1	5 h	1,4 l/h	7	0,24696	300 ton/dag
Extern transport 3 (fullastad lastbil)	Diesel MK1	21,1 km	0,49 l/km	10,339	0,36475992	300 ton/dag
Extern transport 3 (tom lastbil)	Diesel MK1	21,1 km	0,305 l/km	6,4355	0,22704444	300 ton/dag
Extern transport 3 (full båt)	Marin diesel	270 km	0,03968 ton/km	10,714 ton	466,422	2000 ton / båt
Extern transport 3 (tom båt)	Marin diesel	270 km	0,03968 ton/km	10,714 ton	466,422	2000 ton / båt

Bilaga 10

Scenario 2.3 - Emissionsberäkningar

Aktivitet	Energibärare	Emissioner	Emissionsfaktorer	Resursåtgång	Beräknade emissioner [kg]	Beräknade emissioner [kg/ton jord]
Schakt 1 st grävmaskin	Diesel MK1	C02	3,16 kg CO2/ kg diesel	110,565 kg	349,3854	1,164618
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	110,565 kg	3,62564748	0,012085492
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	110,565 kg	0,006081075	2,02703E-05
		NMVOC	0,003385 kg NMVOC/kg diesel	110,565 kg	0,374262525	0,001247542
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	110,565 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	110,565 kg	0,014926275	4,97543E-05
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	110,565 kg	0,23063859	0,000768795
		C02	3,16 kg CO2/ kg diesel	135,8 kg	429,128	1,430426667
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	135,8 kg	4,4531536	0,014843845
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	135,8 kg	0,007469	2,48967E-05
Dumpertransport 1 st dumper	Diesel MK1	NMVOC	0,003385 kg NMVOC/kg diesel	135,8 kg	0,459683	0,001532277
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	135,8 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	135,8 kg	0,018333	0,00006111
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	135,8 kg	0,2832788	0,000944263
		C02	3,16 kg CO2/ kg diesel	21,35 kg	67,466	0,224886667
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	21,35 kg	0,7001092	0,002333697
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	21,35 kg	0,00117425	3,91417E-06
		NMVOC	0,003385 kg NMVOC/kg diesel	21,35 kg	0,07226975	0,000240899
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	21,35 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	21,35 kg	0,00288225	9,6075E-06
Lastning 0,5 st hjullastare	Diesel MK1	Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	21,35 kg	0,0445361	0,000148454
		C02	3,6 kg CO2/h	7 l	25,2	0,084
		NOx	kg Nox /h			
		CH4	kg CH4/h			
		NMVOC	kg NMVOC/h			
		SO2	kg SO2/ h			
		N2O	kg N2O/ h			
		Partiklar	kg PM/h			
		C02	2,6 kg CO2/l bränsle	10,339 l	26,8814	0,896046667
		NOx	0,0016 kg Nox /l diesel	10,339 l	0,0165424	0,000551413
Tomgångskörning	Diesel MK1	CH4	0,0007 kg CH4/GJ (per year)	0,36475992 GJ	0,000255332	8,51106E-06
		NMVOC	0,032 kg NMVOC/GJ (per year)	0,36475992 GJ	0,011672317	0,000389077
		SO2	0 kg SO2/GJ (per year)	0,36475992 GJ	0	0
		N2O	0,001 kg N2O/GJ (per year)	0,36475992 GJ	0,00036476	1,21587E-05
		Partiklar	8,30E-05 kg PM/ l diesel	6,4355 l	0,000534147	1,78049E-05
		C02	2,6 kg CO2/l bränsle	6,4355 l	16,7323	0,557743333
		NOx	0,0016 kg Nox /l diesel	6,4355 l	0,0102968	0,000343227
		CH4	0,0007 kg CH4/GJ (per year)	0,22704444 GJ	0,000158931	5,2977E-06
		NMVOC	0,032 kg NMVOC/GJ (per year)	0,22704444 GJ	0,007265422	0,000242181
		SO2	0 kg SO2/GJ (per year)	0,22704444 GJ	0	0
Extern transport 3 (fullastad lastbil)	Diesel MK1	N2O	0,001 kg N2O/GJ (per year)	0,22704444 GJ	0,000227044	7,56815E-06
		Partiklar	8,30E-05 kg PM/ l diesel	6,4355	0,000534147	1,78049E-05
		C02	3179 kg CO2/ ton Marin diesel	10,714 ton	34059,806	17,029903
		NOx	63,221 kg Nox /ton Marin diesel	10,714 ton	677,349794	0,338674897
		CH4	0,0195 kg CH4/ ton Marin diesel	10,714 ton	0,208923	0,000104462
		NMVOC	0,97 kg NMVOC/ton Marin die	10,714 ton	10,39258	0,00519629
		SO2	8 kg SO2 /ton Marin diesel	10,714 ton	85,712	0,042856
		N2O	0,151 kg N2O/ ton Marin diesel	10,714 ton	1,617814	0,000808907
		Partiklar	0,976 kg PM/ ton Marin diesel	10,714 ton	10,456864	0,005228432
		C02	3179 kg CO2/ ton Marin diesel	10,714 ton	34059,806	17,029903
Extern transport 3 (tom lastbil)	Marin diesel	NOx	63,221 kg Nox /ton Marin diesel	10,714 ton	677,349794	0,338674897
		CH4	0,0195 kg CH4/ ton Marin diesel	10,714 ton	0,208923	0,000104462
		NMVOC	0,97 kg NMVOC/ton Marin die	10,714 ton	10,39258	0,00519629
		SO2	8 kg SO2 /ton Marin diesel	10,714 ton	85,712	0,042856
		N2O	0,151 kg N2O/ ton Marin diesel	10,714 ton	1,617814	0,000808907
		Partiklar	0,976 kg PM/ ton Marin diesel	10,714 ton	10,456864	0,005228432
		C02	3179 kg CO2/ ton Marin diesel	10,714 ton	34059,806	17,029903
		NOx	63,221 kg Nox /ton Marin diesel	10,714 ton	677,349794	0,338674897
		CH4	0,0195 kg CH4/ ton Marin diesel	10,714 ton	0,208923	0,000104462
		NMVOC	0,97 kg NMVOC/ton Marin die	10,714 ton	10,39258	0,00519629
Extern transport 3 (tom båt)	Marin diesel	SO2	8 kg SO2 /ton Marin diesel	10,714 ton	85,712	0,042856
		N2O	0,151 kg N2O/ ton Marin diesel	10,714 ton	1,617814	0,000808907
		Partiklar	0,976 kg PM/ ton Marin diesel	10,714 ton	10,456864	0,005228432
		C02	3179 kg CO2/ ton Marin diesel	10,714 ton	34059,806	17,029903
		NOx	63,221 kg Nox /ton Marin diesel	10,714 ton	677,349794	0,338674897
		CH4	0,0195 kg CH4/ ton Marin diesel	10,714 ton	0,208923	0,000104462
		NMVOC	0,97 kg NMVOC/ton Marin die	10,714 ton	10,39258	0,00519629
		SO2	8 kg SO2 /ton Marin diesel	10,714 ton	85,712	0,042856
		N2O	0,151 kg N2O/ ton Marin diesel	10,714 ton	1,617814	0,000808907
		Partiklar	0,976 kg PM/ ton Marin diesel	10,714 ton	10,456864	0,005228432

Bilaga 11

Scenario 2.4 - Indata

<i>Aktivitet</i>	<i>Resurs</i>	<i>Sträcka / Tidsperiod</i>	<i>Resursåtgång [l/km] [l/h] [kwh]</i>	<i>Beräknad mängd resursåtgång (l)</i>	<i>Beräknad mängd resursåtgång (GJ)</i>	<i>Mängd behandlad jord [ton]</i>
Schaktning	Diesel MK1	7 h	19,5 l/h	136,5	4,81572	300 ton/dag
Transport 1,25 Dumper Volvo A 25	Diesel	7 h	19,4 kg/h	209,5679012	7,393555556	300 ton/dag
lastning 0,5 Grävmaskin	Diesel MK1	7	19,5 l/h	68,25	2,40786	300 ton/dag
Tågtransport (lastat tåg)	El	265 km	0,042 kwh/tonkm	3339 kwh	117,79992	300 ton/dag
Tågtransport (tomt tåg)	El	265 km	0,042 kwh/tonkm	3339 kwh	117,79992	300 ton/dag

Bilaga 12

Scenario 2.4 - Emissionsberäkningar

Aktivitet	Energibärare	Emissioner	Emissionsfaktorer	Resursåtgång	Beräknade emissioner [kg]	Beräknade emissioner [kg/ton jord]
Schakt 1 maskin	Diesel	CO2	3,16 kg CO2/ kg diesel	110,565 kg	349,3854	1,164618
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	110,565 kg	3,62564748	0,012085492
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	110,565 kg	0,00608108	2,02703E-05
		NMVOC	0,003385 kg NMVOC/kg diesel	110,565 kg	0,37426253	0,001247542
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	110,565 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	110,565 kg	0,01492628	4,97543E-05
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	110,565 kg	0,23063859	0,000768795
Dumpertransport Dumper Volvo A 25 1,5 maskin	Diesel	CO2	3,16 kg CO2/ kg diesel	203,7 kg	643,692	2,14564
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	203,7 kg	6,6797304	0,022265768
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	203,7 kg	0,0112035	0,000037345
		NMVOC	0,003385 kg NMVOC/kg diesel	203,7 kg	0,6895245	0,002298415
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	203,7 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	203,7 kg	0,0274995	0,000091665
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	203,7 kg	0,4249182	0,001416394
Lastning Grävmaskin 0,5 maskin	Diesel	CO2	3,16 kg CO2/ kg diesel	55,2825 kg	174,6927	0,582309
		NOx	0,032792 kg Nox /kg diesel	55,2825 kg	1,81282374	0,006042746
		CH4	5,50E-05 kg CH4/ kg diesel	55,2825 kg	0,00304054	1,01351E-05
		NMVOC	0,003385 kg NMVOC/kg diesel	55,2825 kg	0,18713126	0,000623771
		SO2	0 kg SO2/kg diesel	55,2825 kg	0	0
		N2O	1,35E-04 kg N2O/ kg diesel	55,2825 kg	0,00746314	2,48771E-05
		Partiklar	0,002086 kg PM/kg diesel	55,2825 kg	0,1153193	0,000384398
Tåg sträcka 4 (lastat tåg)	El	CO2	0,0056 kg CO2 / kwh vattenkraft	3339 kwh	18,6984	0,062328
		NOx	0,000007 kg Nox / kwh vattenkraft	3339 kwh	0,023373	0,00007791
		CH4	3,90E-06 kg CH4 / kwh vattenkraft	3339 kwh	0,0130221	0,000043407
		NMVOC	5,30E-07 kg NMVOC / kwh vattenkraft	3339 kwh	0,00176967	5,8989E-06
		SO2	0,0000061 kg SO2 / kwh vattenkraft	3339 kwh	0,0203679	0,000067893
		N2O	9,00E-08 kg N2O / kwh vattenkraft	3339 kwh	0,00030051	1,0017E-06
		Partiklar	7,50E-06 kg "unspecified dust"/ kwh vattenkraft	3339 kwh	0,0250425	0,000083475
Tåg sträcka 4 (tillbakaresa)	El	CO2	0,0056 kg CO2 / kwh vattenkraft	3339 kwh	18,6984	0,062328
		NOx	0,000007 kg Nox / kwh vattenkraft	3339 kwh	0,023373	0,00007791
		CH4	3,90E-06 kg CH4 / kwh vattenkraft	3339 kwh	0,0130221	0,000043407
		NMVOC	5,30E-07 kg NMVOC / kwh vattenkraft	3339 kwh	0,00176967	5,8989E-06
		SO2	0,0000061 kg SO2 / kwh vattenkraft	3339 kwh	0,0203679	0,000067893
		N2O	9,00E-08 kg N2O / kwh vattenkraft	3339 kwh	0,00030051	1,0017E-06
		Partiklar	7,50E-06 kg "unspecified dust"/ kwh vattenkraft	3339 kwh	0,0250425	0,000083475

Bilaga 13 Källor resursförbrukning

Delsteg	Resurs förbrukad	Källa resursförbrukning
Schakt/lastning, grävmaskin Volvo EC290C	Diesel	Samtal Roger Hansson produktspecialist Swecon
Dumpertransport, Volvo A25	Diesel	M Lindgren el.al, Jordbruks- och anläggningsmaskiners motorbelastning och avgsemissioner, JTI 2002
Lastning hjullastare, Volvo L70	Diesel	M Lindgren el.al, Jordbruks- och anläggningsmaskiners motorbelastning och avgsemissioner, JTI 2002
Lastning, tomgångskörning lastbil	Diesel	Mail Lars Mårtensson Environmental director Volvo AB 090616
Lastbilstransport	Diesel	www.ntm.a.se Gods och logistik - Underlagsdata lastbil 090302
Siktning	Diesel	Uppgift från Daniel Carlberg, Försäljningsingenjör Tesab
Jordtvätt	Elektricitet	Uppgift från Anders Östman, Soil Tech
Transport tåg	Elektricitet	www.ntm.a.se Gods och logistik - tabell, tåg vagnslast 090605
Transport båt	Marin diesel	Method for calculating transport emissions and energy consumptions, Projektet MEET, project report SE/491/98, 1999
Geoteknisk borrhvagn	Diesel	Uppgift från Hans Junemo, Geotech

Bilaga 14 LCI data

Arbetsfordon (grävmaskin, dumber, hjullastare, sikt)

Erik Fridell IVL, Guidebook 2008, Off road machinery

	Mängd	Enhet
CO ₂	3,16	kg / kg diesel
NO _x	0,032792	kg / kg diesel
CH ₄	5,50E-05	kg / kg diesel
NM VOC	0,003385	kg / kg diesel
SO ₂	0	kg / kg diesel
N ₂ O	1,35E-04	kg / kg diesel
Partiklar	0,002086	kg / kg diesel

Tomgångskörning lastbil

Uppgifter från Lars Mårtensson Environmental director Volvo AB 090616

	Mängd	Enhet
CO ₂	3,6	kg CO ₂ /h
NO _x	iu	kg Nox /h
CH ₄	iu	kg CH ₄ /h
NM VOC	iu	kg NM VOC/h
SO ₂	iu	kg SO ₂ / h
N ₂ O	iu	kg N ₂ O/ h
Partiklar	iu	kg PM/h

Lastbilstransport

www.ntm.a.se, Gods och logistik - Underlagsdata lastbil 090302

Data partiklar: Erik Fridell IVL

	Mängd	Enhet
CO ₂	2,6	kg / l diesel
NO _x	0,0016	kg / l diesel
CH ₄	0,0007	kg / l diesel
NM VOC	0,032	kg / l diesel
SO ₂	0	kg / l diesel
N ₂ O	0,001	kg / l diesel
Partiklar	8,30E-05	kg / l diesel

El produktion, svensk elmix

Svensk elmix, 2002 The European Commission's Joint Research Centre

	Mängd	Enhet
CO ₂	0,107748	kg / kwh
NO _x	0,000137	kg / kwh
CH ₄	8,33E-05	kg / kwh
NM VOC	7,56E-06	kg / kwh
SO ₂	0,000108	kg / kwh
N ₂ O	1,68E-06	kg / kwh
Partiklar	1,64E-05	kg / kwh

El produktion, 100 % Vattenkraft

Certified Environmental Product Declaration EPD[®] of Electricity
from Vattenfall's Nordic Hydropower, 2008

	Mängd	Enhet
CO ₂	0,0056	kg / kwh
NO _x	0,000007	kg / kwh
CH ₄	3,90E-06	kg / kwh
NM VOC	5,30E-07	kg / kwh
SO ₂	6,1E-06	kg / kwh
N ₂ O	9,00E-08	kg / kwh
Partiklar	7,50E-06	kg / kwh

Båttransport

Methodology for calculating emissions from ships:

1. Update of emission factors, Swedish Methodology for Environmental Data, 2004

	Mängd	Enhet
CO ₂	3179	kg / ton marin diesel
NO _x	63,221	kg / ton marin diesel
CH ₄	0,0195	kg / ton marin diesel
NM VOC	0,97	kg / ton marin diesel
SO ₂	8	kg / ton marin diesel
N ₂ O	0,151	kg / ton marin diesel
Partiklar	0,976	kg / ton marin diesel

