



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 23030

Examensarbete 30 hp

September 2023



Miljöpåverkan från efterbehandling av förorenade områden

En livscykelanalys av schaktsanering ur ett klimat- och
resurshanteringsperspektiv

Astrid Oleskog

Referat

Miljöpåverkan från efterbehandling av förorenade områden

Astrid Oleskog

I Sverige finns det idag cirka 86 000 inventerade områden som är eller misstänks vara förorenade. Ett förorenat område kan ha en skadlig effekt på människor, djur och miljö vid exponering av föroreningarna. Områden som är förorenade kan därför behöva behandlas för att lokalt förbättra markkvalitén och för att minska risker.

Ett problem som börjat uppmärksammas i branschen är att saneringar av mark också kan leda till betydande negativa konsekvenser som till exempel utsläpp av växthusgaser och nyttjande av fossila resurser. Bland annat riskeras det svenska miljömålet ”*Begränsad klimatpåverkan*” att inte uppnås om ingenting förändras.

Den vanligaste metoden för att efterbehandla ett förorenat område i Sverige är genom schaktsanering. Studiens syfte var att undersöka klimatpåverkan och resurshanteringen från schaktsanering genom att göra en livscykelanalys på metoden. Metodens klimatpåverkan jämfördes också med andra saneringsmetoder. Resultaten visade att för schaktsanering bidrog transport och deponiarbetet till den största klimatpåverkan och resursanvändningen. Genom minskade transportavstånd, användning av fordon med lägre energiåtgång per transportarbete eller utbyte mot mer förnyelsebara drivmedel sågs miljöpåverkan minska. Deponering av massor sågs dessutom vara energikrävande, varpå incitament för att återvinna och återanvända massor i högre utsträckning än vad det görs idag efterfrågas. I jämförelse med andra saneringsmetoder sågs biokol vara den metod som gav upphov till en relativt liten klimatpåverkan. Dessutom medförde biokol en mer resurseffektiv avfallshantering i och med minskad deponering av jord, organiskt avfall och uttag av jungfruliga råvaror för återfyllnad.

Nyckelord: klimatpåverkan, växthusgasutsläpp, resursanvändning, efterbehandling, förorenade områden, schaktsanering, schaktmassor, livscykelanalys, avfallshantering, återvinning, cirkulär ekonomi

Abstract

Environmental impact from remediation of contaminated areas

Astrid Oleskog

In Sweden, there are currently approximately 86,000 inventoried sites that are identified as being contaminated. A contaminated site can have a harmful effect on humans, animals and the environment when exposed to the contaminants. Contaminated areas may therefore need to be remediated to locally improve soil quality and to reduce risks.

A problem that has been noticed in the industry is that remediation of land can also lead to significant negative environmental consequences, such as the release of greenhouse gases and the use of fossil resources. For example, the Swedish environmental quality objective "*Reduced climate impact*" might not be achieved unless there are improvements.

The most common method to remediate a contaminated site in Sweden is through "dig and dump". The purpose of this study was to investigate the climate impact and resource usage from "dig and dump" by performing a life cycle assessment of this most common remediation method. The climate impact of the method was also compared with other remediation methods. The results showed that for "dig and dump", transports and landfill of the soil contributed to the greatest climate impact and resource use. Through reduced transport distances, use of vehicles with lower energy consumption or exchange for more renewable fuels, the environmental impact was reduced. Landfilling of excavated soil was also energy demanding, and incentives to recycle and reuse soil to a greater extent than is done today are preferred. In comparison with other remediation methods, biochar was a method that caused a relatively small climate impact. In addition, biochar led to a more resource-efficient waste management through reduced disposal of soil, organic waste, and extraction of virgin raw materials for refilling.

Keywords: climate impact, greenhouse gas emissions, resource use, remediation, contaminated site, dig and dump, excavated soil, life cycle assessment, waste disposal, recycle, circular economy

Förord

Detta examensarbete om 30 hp avslutar mina studier på civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet har utförts åt Miljöfirman AB i Malmö där Jesper Karlström och Filip Jönsson varit handledare.

Handledare har också varit Cecilia Sundberg, lektor vid Institutionen för Energi och teknik vid Sveriges lantbruksuniversitet. Hanna Karlsson Potter, forskare vid Institutionen för Energi och teknik vid Sveriges lantbruksuniversitet, har varit ämnesgranskare. Sahar Dalahmeh, forskare vid Institutionen för geovetenskap vid Uppsala universitet, har varit examinator.

Jag vill rikta ett stort tack till alla som varit till hjälp under arbetets gång. Tack till Jesper och Filip på Miljöfirman för att jag fick förtroendet att utföra arbetet och för all värdefull input, expertråd och ert engagemang i ämnet. Tack till Cecilia för din expertis angående livscykelanalyser och för din stöttning under hela arbetet. Tack till Lisa och Elias på SLU för er hjälp när det strulade i LCA-programmet Acitivity Browser. Tack till Hanna Potter för din hjälp i slutfasen. Och tack till dig Helena på Sustainalink, utan er organisation hade det här examensarbetet troligtvis inte blivit av. Slutligen ett stort tack till hela min familj och till min sambo Marcus för er stöttning både i med- och motgångar under min studietid.

*Astrid Oleskog
Uppsala, juni 2023*

Populärvetenskaplig sammanfattning

Har du någon gång tänkt på att marken under dig kan vara förorenad? Ett tidigare sågverk där de impregnerat trä, ett glasbruk med tillverkning av glas, en kemtvätt där de rengjort textilier eller någon annan typ av industri kan en gång legat på platsen just där du befinner dig. Problemet med dessa äldre industrier är att de under sin verksamma tid kan ha släppt ut ämnen till mark och miljö som egentligen inte ska vara där. Ämnen som kan vara skadliga för människor, djur och växter. Idag har vi lagar och regler kring hur industrier ska skötas och vad de får släppa ut i miljön.

Det finns idag cirka 86 000 inventerade områden i Sverige som är eller misstänks vara förorenade. Därutöver finns det många förorenade områden som inte hinner bli inventerade innan de åtgärdas. Den vanligaste metoden att använda sig av för att sanera mark i Sverige är genom schaktsanering, vilket innebär att de förorenade massorna grävs upp med hjälp av en grävmaskin. Därefter transporteras massorna till en anläggning där de behandlas eller deponeras.

I den här studien undersöktes klimatpåverkan och resurshanteringen från schaktsanering genom att studera metoden ur ett livscykelperspektiv. Dessutom jämfördes schaktsanering med andra saneringsmetoder. Transport av förorenade massor stod för över 40 % av totala bidraget till klimatpåverkan medan deponering av massor stod för mellan 20–40 %. Samtidigt var både transport och deponering av massor resurskrävande vad gäller bränsle- och energiåtgång.

Om deponering av förorenade massor kan undvikas eller reduceras, minskar även transporten av dessa. Transport stod för en stor del av Sveriges totala växthusgasutsläpp. År 2021 var totala utsläppet av växthusgaser cirka 48 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Av dessa stod inrikestransporter för 31 % av utsläppet medan deponering av avfall stod för ungefär 1 %.

Vid jämförelse med litteraturen sågs stora skillnader i klimatpåverkan från olika schaktsaneringsprojekt. Skillnader skulle kunna förklaras av olika transportavstånd, transportmedel, drivmedel, deponihanteringar samt skillnader i behandlad volym.

En metod vars klimatpåverkan stack ut från mängden var biokol. Biokol är förkolnat organiskt avfall med högt kolinnehåll som tillsätts jorden för att binda föroreningar och förhindra spridning. Forskning har visat att biokol fungerar som en kolsänka då kolet är mycket stabilt och tar lång tid att brytas ner i marken. Till skillnad från andra saneringsmetoder gav därför biokol upphov till betydligt lägre klimatpåverkan med negativa CO₂-utsläpp. Dessutom medförde biokol en mer resurseffektiv avfallshantering i och med minskad deponering av jord, organiskt avfall och uttag av jungfruliga råvaror för återfyllnad. Än så länge är metoden en relativt ny teknik på marknaden, så mer forskning behövs för att undersöka långtidseffekter.

Avslutningsvis, den största effekten för att minska klimatpåverkan från schaktsanering fås genom att minska på transporter och i högre grad återvinna massor. Dessutom främjas en mer cirkulär ekonomi då massor kan återanvändas i stället för att deponeras. I framtiden kan det komma nya metoder, så som biokol, som ger nya möjligheter vad gäller minskad klimatpåverkan.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Frågeställningar	2
2. Teori	2
2.1 Förorenade områden	2
2.1.1 Alifater och aromater	2
2.1.2 BTEX	2
2.1.3 Metaller	3
2.1.4 PAH	3
2.1.5 PCB	3
2.1.6 Hantering av ett förorenat område	3
2.1.7 Marksanering	5
2.1.8 Vattensanering	6
2.2 Lagstiftning förorenade områden	7
2.2.1 Nationella miljömålen	7
2.2.2 Avfallshantering	8
2.2.3 Hantering av massor	9
2.3 Livscykelanalys	12
2.3.1 Mål och omfattning	12
2.3.2 Inventeringsanalys	13
2.3.3 Miljöpåverkansbedömning	14
2.3.4 Tolkning	15
2.3.5 Återvinning i LCA	15
2.4 Tidigare studier	16
3. Metod	18
3.1 Fallstudie	18
3.1.1 Objektbeskrivning	18
3.1.2 Studiens LCA-modell	18
3.1.3 Livscykelinventering (LCI)	24
3.1.4 Miljöpåverkansbedömning (LCIA)	32
3.1.5 Material- och energiflödesanalys	34
3.2 Litteraturstudie	34
4. Resultat	37
4.1 Fallstudie	37
4.1.1 LCA	37
4.1.2 MEFA	38

4.1.3 Känslighetsanalys	42
4.2 Litteraturstudie	44
5. Diskussion	45
6. Slutsats	49
Referenser	50
Appendix	I

Ordförklaring

- Ballastmaterial: Berg- och grusmaterial.
- Diffusionspåse: Påse som är särskilt avsedd för provtagning av till exempel jord vid analys av föroreningar.
- Entreprenadberg: Berg som uppkommer från tunnelbyggen.
- Fyllnadsmaterial: Material som till exempel sten, grus och sand som används för att fylla igen urschaktade områden.
- Jord- och schaktmassor: Naturligt förekommande (exempelvis morän) eller fyllnadsmaterial.
- Miljökontrollprogram: Upprättas för att kontrollera föroreningshalter i ett förorenat område i samband med att åtgärd påbörjas.
- MRR: Förkortning för ”mindre än ringa risk” vilket beskriver föroreningsrisken både i avfallet och ifrån eventuell utlakning från avfallet.
- Sankey diagram: Ett typ av flödesdiagram där bredd på pilar är proportionell mot storleken på referensflödet.
- Tillsynsmyndighet: Myndighet som övervakar en tillsynspliktig verksamhet. Exempel på tillsynsmyndigheter är Miljöförvaltningen och Länsstyrelsen.
- Verksamhetsutövare: Den som bedriver en verksamhet på ett område. En verksamhetsutövare kan vara en juridisk (exempelvis ett företag eller organisation) eller en fysisk person. Verksamhetsutövaren ansvarar för att verksamheten bedrivs på ett sätt som inte skadar människor och miljö.

1. Introduktion

Att behandla ett förorenat område leder vanligtvis till lokala förbättringar på markmiljön och en minskad hälsorisk för människor och djur som vistas på området (Naturvårdsverket 2009b). Å andra sidan kan också sanering av mark leda till negativa konsekvenser som till exempel utsläpp av växthusgaser och nyttjande av fossila resurser (Andersson et al. 2008; Hector et al. 2012).

Efterbehandlingsarbetet av förorenade områden i Sverige ska följa den miljölagstiftning som finns i Miljöbalken men också verka för att uppnå de nationella miljökvalitetsmålen som fastställts av riksdagen (Naturvårdsverket 2009c). Ett av målen är ”Giftfri miljö” som preciserats som följande “Förorenade områden är åtgärdade i så stor utsträckning att de inte utgör något hot mot människors hälsa eller miljön.” (Naturvårdsverket 2021b). ”Begränsad klimatpåverkan” är även det ett miljömål, men till skillnad från ”Giftfri miljö” så tycks målet inte vara lika prioriterat inom arbetet med förorenade område och särskilt vid val av efterbehandlingsmetod (Vestin et al. 2021). Enligt klimatmålet ska Sverige till 2045 uppnå ett nettonollutsläpp av växthusgaser till atmosfären, och efter 2045 ska utsläppen vara negativa (Naturvårdsverket u.å.e).

Behovet av hållbara efterbehandlingsåtgärder som tar hänsyn till klimatpåverkan både på saneringsplatsen och i ett samhällsperspektiv är stort inom branschen (Vestin et al. 2021). För att uppnå miljömålen måste förändringar ske. Statens Geotekniska Institut, SGI tog nyligen (2022) fram en vägledning för riskvärdering av förorenade områden med fokus på hållbar efterbehandling (SGI 2022c). Vägledningen är ett komplement till Naturvårdsverkets rapport från 2009 ”Att välja efterbehandlingsåtgärd” (Naturvårdsverket 2009a). En hållbar efterbehandling handlar om:

”...hur vi kan åtgärda samhällets miljöskuld, genom väl avvägda åtgärder som återställer ekosystemens funktioner och skapar en hälsosam och god livsmiljö för människor, allt utan orimliga kostnader eller skadliga effekter på miljö och samhälle.” (SGI 2022c:23)

Schaktsanering är idag den vanligaste saneringsmetoden i Sverige (SGI 2022a). Det finns indikationer på att schaktsanering kan ha negativa konsekvenser på miljömålet ”Begränsad klimatpåverkan” vad gäller utsläpp av växthusgaser och användning av fossila resurser (Andersson et al. 2008; Hector et al. 2012). Examensarbetet avser att studera detta närmare.

1.1 Syfte och mål

Syftet med det här examensarbetet är att undersöka vilken miljöpåverkan schaktsanering som saneringsmetod har ur ett livscykelperspektiv med särskilt fokus på klimatpåverkan och resursanvändning. Utöver det är syftet att också jämföra metoden med andra saneringsmetoder ur ett klimatperspektiv.

1.2 Frågeställningar

För att uppfylla syftet har arbetet utgått ifrån följande två frågeställningar.

1. Hur stor är klimatpåverkan och resursanvändningen från schaktsanering som saneringsmetod?
2. Hur förhåller sig klimatpåverkan från schaktsanering i förhållande till andra saneringsmetoder som finns beskrivna i publicerade livscykelanalyser?

2. Teori

I teoriavsnittet beskrivs bakgrund till förorenade områden, vad en livscykelanalys är och tidigare studier som gjorts på området.

2.1 Förorenade områden

Ett förorenat område är enligt Naturvårdsverkets definition ett område vars uppmätta halter av en eller flera föroreningar överskrider bakgrundshalterna. Där bakgrundshalterna representerar naturlig bakgrund plus diffust tillskott från mänsklig aktivitet (Naturvårdsverket u.å.d). Det innebär således att ett område med till exempel naturligt höga kopparhalter i berggrunden eller jordlagren inte kan anses vara ett förorenat område. Däremot kan ett område vara förorenat om schaktade massor med ett koppar-innehåll som kan skada människors hälsa och miljön dumpats på platsen (Naturvårdsverket 2022a). Föroreningar är antingen ämnen eller partiklar som är oönskade eller främmande i miljön de förekommer i (Nationalencyklopedin u.å.a). Gemensamt för föroreningar är att de kan ha en skadlig effekt på människor, djur och miljö. Nedan beskrivs några typiska föroreningar som denna rapport kommer återkomma till.

2.1.1 Alifater och aromater

Både alifater och aromater är oljekolväten som förekommer i bland annat petroleumprodukter. På industrier där petroleumprodukter hanterats som till exempel biltvättar, oljedepåer och bensinmackar är det vanligt att alifater och aromater påträffas i närliggande mark. Toxiciteten varierar beroende på typ av alifat/aromat, och vid långvarig exponering av dessa ämnen har negativa hälsoeffekter kunnat påvisas (Åtgärdsportalen 2023a; d). Vid inandning och via oralt intag kan aromater vara skadligt för levern, vara reproduktionsstörande samt leda till nervskador. En del aromater är cancerogena (Åtgärdsportalen 2023d).

2.1.2 BTEX

BTEX är en grupp lättflyktiga ämnen som består av en bensenring. BTEX är en vanlig förorening vid drivmedelsanläggningar då det förekommer i bensin. Ämnen som går under begreppet är till exempel bensen, etylbensen, toluen och xylen. BTEX har negativa hälsoeffekter och kan orsaka permanenta skador på nervsystemet vid inandning. Av de nämnda ämnena är bensen mest toxisk då den är cancerogen (Åtgärdsportalen 2023b).

2.1.3 Metaller

Många metaller förekommer naturligt i berggrunden och i jorden. Några vanliga metaller är arsenik, barium, bly, koppar, kvicksilver, nickel och zink. En del metaller är livsviktiga för människor, djur och växter men kan samtidigt vara toxiska i för höga koncentrationer.

Metaller har och används fortfarande framför allt inom industrin i olika tillverkningsprocesser (Åtgärdsportalen 2023c). På grund av att metaller inte kan brytas ner kan ett utsläpp till marken göra skada under en längre tid (Naturvårdsverket u.å.c).

2.1.4 PAH

Polycykliska aromatiska kolväten, PAH, är organiska ämnen som uppstår vid till exempel uppvärmning av byggnader, och vid tillverkning och användning av olika produkter där kol och råolja används. PAH-förorenad mark påträffas oftast på platser där fossila bränslen använts. Flertalet PAHer är cancerogena för människor och några stycken har även visat negativa effekter på mark och vattenlevande organismer (Åtgärdsportalen 2022).

2.1.5 PCB

Polyklorerade bifenyler, PCB, är organiska föreningar som har använts inom den storskaliga industrin bland annat i färger, plaster och i golv- och fogmassor. PCBer är fettlösliga vilket gör att de kan ackumuleras i fettvävnad och spridas i näringskedjan (Åtgärdsportalen 2023e).

2.1.6 Hantering av ett förorenat område

I detta avsnitt beskrivs tillvägagångssättet för att hantera ett förorenat område, från första till sista skedet.

Inventering

Om ett område misstänks vara förorenat görs till en början en inventering av området. Ofta görs inventeringen i enighet med den så kallade MIFO-metodiken, Metodik för Inventering av Förorenade Områden, framtagen av Naturvårdsverket (SGI 2022b). MIFO-metoden är uppdelad i två faser. Den första fasen innebär att området identifieras och beskrivs närmare. Vid platser som misstänkt vara förorenat har det ofta förekommit något typ av tidigare industriell verksamhet, vilket i så fall blir viktigt att beskriva. Intervjuer med tidigare anställda och platsbesök med eventuella samtal med de boende i närheten kan ge information om utsläpp, spill och olyckor har skett på platsen. Den andra fasen innefattar en översiktlig undersökning av platsen inklusive att ta fram en provtagningsplan (Naturvårdsverket 2022b). Provtagningen görs på strategiskt utvalda punkter ofta vid så kallade "hot-spots" där det misstänks funnits läckage eller spill. Den översiktliga undersökningen används för att se om området är förorenat och vilka föroreningar som finns på platsen. Beroende på resultatet av den översiktliga undersökningen kan det behövas en mer detaljerad undersökning för att bedöma föroreningarnas utbredning samt mängden av föroreningar. Underlaget från den detaljerade undersökningen används sedan i riskbedömningen. I Sverige är det Länsstyrelsen som samordnar inventeringsarbetet. Enligt dem finns det idag cirka 86 000 kända områden i Sverige som misstänks vara eller är förorenade till olika grad (Naturvårdsverket u.å.b). Områdena finns med i Länsstyrelsens databas över misstänkta eller konstaterade förorenade områden (Länsstyrelsen 2022). Att ett område är med i databasen behöver inte nödvändigtvis innebära att området är förorenat. Det visar enbart att det bedrivits en tidigare verksamhet på

platsen vilket kan ha gett upphov till att föroreningar förekommer eller har funnits där. Alla förorenade områden finns inte heller med i databasen¹.

Riskbedömning

För att bedöma riskerna för ett förorenat område har Naturvårdsverket tagit fram generella och platsspecifika riktvärden för förorenad mark. Indata för de generella riktvärdena är som namnet antyder, generella data, medan indata för de platsspecifika riktvärdena är baserat på det aktuella området som studeras. Riktvärdena tar hänsyn till fyra skyddsobjekt som vistas eller finns på området; 1. Människor, 2. Markmiljö, 3. Grundvatten och 4. Ytvatten. Värdena anger den föroreningshalt inom det förorenade området som anses acceptabel för att inte orsaka omfattande skada på skyddsobjekten (Naturvårdsverket 2009b; SGI 2020). Det finns två olika typer av riktvärden beroende på åtgärds mål för det aktuella området. Åtgärds målen är känslig markanvändning (KM) och mindre känslig markanvändning (MKM). Åtgärds målet KM innebär att markkvaliteten inte ska begränsa valet av markanvändningen. Således ska människor (vuxna, äldre och barn) kunna vistas konstant på området under hela sin livstid utan att ta skada. Dessutom ska markekosystem samt grund- och ytvatten skyddas. Framför allt används riktvärden för KM i områden där bostäder eller lekplatser finns eller på ett område där det senare ska byggas bostäder. Åtgärds målet MKM innebär att markkvaliteten begränsar valet av markanvändningen. Vuxna ska kunna befinna sig på området under sin yrkesverksamma tid, medan barn och äldre kan vistas på området tillfälligt utan att ta skada. Markekosystemet skyddas till viss del. Allt ytvatten och även grundvattnet nedströms området på ett avstånd av 200 meter ska skyddas. Riktvärden för MKM används särskilt i områden där det finns kontor, industrier eller vägar (Naturvårdsverket 2009b).

Åtgärdsutredning och riskvärdering

I åtgärdsutredningen identifieras och utreds olika möjliga åtgärder för efterbehandling av det förorenade området. Åtgärdsutredningen ska i slutändan leda fram till ett alternativ som är mest lämpligt för området. Utredningen grundar sig på den tidigare inventering och riskbedömning som gjorts. I ett första steg identifieras möjliga alternativ utifrån syftet med saneringen. Syftet kan till exempel vara att begränsa exponering, spridning och eller att minska halterna av föroreningen. Därefter, i andra steget, analyseras alternativen utifrån huruvida de uppfyller åtgärds målen, risker kopplat till genomförandet och påverkan på miljön. Därutöver analyseras även hur tekniskt genomförbara alternativen är samt vilka resultat som förväntas. I det tredje steget sammanställs de alternativen som är mest lämpliga för efterbehandling av det förorenade området (Naturvårdsverket 2009a; SGI 2021). För att avgöra vilka alternativ som är mest lämpade, och för att kunna fatta ett slutgiltigt beslut om vilken metod som ska väljas görs en riskvärdering. Det finns tre olika typer av riskvärderingar (SGI 2022c);

1. **Beskrivande (kvalitativ):** Värderingen görs med beskrivande texter. Metoden används främst för mindre komplexa projekt (SGI 2022c).
2. **Poängbaserad (semi-kvantitativ):** Värderingen görs genom att använda sig av ett poängsystem där olika kriterier viktas mot varandra. Totalpoängen för ett åtgärdsalternativ kan summeras och sedan jämföras med andra alternativ. Metoden används främst för medelstora komplexa projekt. Ett exempel på ett poängbaserat

¹ Jesper Miljöfirman, Miljöfirman Konsult Sverige AB (Mailkonversation 2022-09-28)

riskvärderingsverktyg är SAMLA som tagits fram av Naturvårdsverket för förorenade områden (SGI 2022c).

3. **Kvantitativ riskvärdering:** Värderingen görs genom att kvantifiera olika kriterium. Till exempel mängd återfyllnadsmassor (ton), utsläpp av koldioxid (ton) eller producerat avfall (ton). Metoden används främst för större komplexa projekt. Några exempel på kvantitativa riskvärderingar är koldioxidavtryck, LCA, kostnadseffektivitetsanalys samt kostnadsnyttoanalys (SGI 2022c).

Projektering och åtgärder

Efter att det beslutats om att området är förorenat och att det behöver åtgärdas tas en plan fram för efterbehandlingsarbetet. I komplicerade och kostsamma efterbehandlingar kan projekteringen vara en lång process då till exempel upphandling av projektet, detaljerade undersökningar och upprättning av ett miljökontrollprogram kan behöva göras (Naturvårdsverket 2021a). Inventeringen, riskvärderingen, åtgärdsutredningen och projekteringen leder fram till ett slutgiltigt åtgärdsalternativ. Syftet med genomförandet av en åtgärd är att nå det uppsatta åtgärds målet (Naturvårdsverket 2021a:63).

Ett åtgärdsalternativ kan innehålla flera olika åtgärds metoder. I en miljösanering delas åtgärds metoderna in i tre huvudgrupper beroende på vilket medium som är förorenat; marksanering, sedimentsanering respektive vattensanering (Åtgärdsportalen 2020). I avsnitt 2.1.7 samt 2.1.8 följer en beskrivning av marksanering och vattensanering vilka är de två typer av saneringar som behandlas i detta examensarbete.

Utvärdering och uppföljning

I Utvärderingen och uppföljningen som är det sista steget, efter att behandlingsåtgärden är utförd, följs åtgärds målen upp för att kontrollera att de är uppfyllda. I de fall då åtgärds målen inte är uppfyllda tas en ny handlingsplan fram (SGI 2022d). För att kontrollera effekten av en åtgärd kan ett miljökontrollprogram tas fram. Det finns två olika typer av miljökontrollprogram; 1. Utförandekontroll och 2. Omgivningskontroll. I den första kontrollen följs utförande av åtgärden upp och säkerställer att det går rätt till. Denna kontroll pågår så länge som åtgärden behöver utföras. I den andra kontrollen följs effekterna av åtgärden upp före, under och efter genomförande av åtgärden. Kontrollen fortsätter även efter en avslutad åtgärd för att säkerställa att åtgärds målen uppfylls. Provtagning görs då på och omkring området under en bestämd tid efter utförd åtgärd för att se så att åtgärds mål på området fortsätter att vara uppfyllda (Naturvårdsverket 2009a).

2.1.7 Marksanering

En marksanering behandlar de föroreningar som påträffats i marken. Förutom jord inkluderas även porgas och grundvatten i begreppet mark (Åtgärdsportalen 2019d). Marksanering kan delas upp i åtgärds metoder som utförs *ex situ*, respektive *in situ*. *Ex situ* innebär att det förorenade mediet fysiskt extraheras vanligtvis genom schaktning eller pumpning. Därefter behandlas det på platsen (on site) eller borttransporteras till en extern mottagningsanläggning för vidare behandling (off-site). *In situ* betyder att saneringen utförs utan att det förorenade mediet grävs eller pumpas upp (Naturvårdsverket 2009a). Tabell 1 visas de metoder, för att behandla föroreningar i marken *in situ* respektive *ex situ*, som detta examensarbete undersökte närmare. Flera av metoderna kan användas både *in-* och *ex situ*. Schaktning och efterföljande deponering beskrivs vidare i teoriavsnittet.

Tabell 1. Ett urval av *in situ* respektive *ex situ* metoder för att behandla föroreningar i marken. I Appendix A.10 finns en beskrivning av de metoder som inte beskrivs närmare i teoriavsnittet

In Situ	Ex Situ	
Air sparging	<i>On site</i>	<i>Off site</i>
Biokol	Jordtvätt	Biokol
Biologisk behandling		Biologisk behandling
Fytosanering		Jordtvätt
Porgasextraktion		Termisk behandling
Stabilisering/solidifiering		Schaktning +
Termisk behandling		deponering (dig and
Elektrokemisk oxidation (EKRT)		dump)

Schaktning och efterföljande deponering

I Sverige är schaktsanering med efterföljande deponering den vanligaste metoden för att behandla ett förorenat område (SGI 2018, 2022a). Metoden går ut på att den förorenade jorden samt eventuella restprodukter och avfall grävs upp, vanligtvis med någon form av konventionell schaktutrustning som till exempel en bandburen grävmaskin. Massorna läggs antingen på upplag i avvaktan på lastning och eller vidare transport, eller så läggs de direkt på transportfordonet. Vanligt är att de uppgrävda massorna transporteras till en extern mottagningsanläggning där de behandlas. Alternativt behandlas massorna on site. Därmed behöver schaktsanering alltid kombineras med en eller flera andra efterbehandlingsmetoder. Schaktsanering kan kombineras med metoder som till exempel deponering/inneslutning också kallat bortskaftning, mekanisk sortering (exempelvis siktning), biologisk behandling (exempelvis kompostering), jordtvätt och termisk behandling. Då schaktning sker under grundvattenytan bildas det så kallat länshållningsvatten i schaktgropen vilket kan behöva behandlas. Länshållningsvattnet består av grundvatten vid schaktning under grundvattennivån, och eller nederbörd (Stockholms stad 2022b). Pumpning av länshållningsvatten kan således användas som komplementmetod, se avsnitt 2.1.8 (Åtgärdsportalen 2019b).

2.1.8 Vattensanering

Vatten behandlas vanligtvis on site. Vattenreningsmetoder kan delas in i två huvudgrupper, dels de metoder som är en efterbehandlingsmetod i sig själv, dels de metoder som är en komplementmetod till en annan efterbehandlingsmetod (Åtgärdsportalen 2017a).

Länshållningsvatten kan uppstå vid ett flertal efterbehandlingsmetoder och kan behöva behandlas ifall det är förorenat. Till exempel vid en schaktsanering är det vanligt att det samlas länshållningsvatten i schaktgropen. Beroende på föroreningstyp och föroreningshalt behandlas vattnet olika. Länshållningsvatten som är förorenat med till exempel PAH:er och vissa metaller kan ofta renas med hjälp av partikelavskiljande sedimentation (Åtgärdsportalen 2017b). Det finns också olika typer av filteranläggningar för att kunna filtrera ut föroreningar som är fäst vid partiklar. Organiska föroreningar kan även behandlas med hjälp av aktiva kolfilter (Envytech u.å.). Figur 1 visar ett mobilt reningsverk för rening av länshållningsvatten on site. I det första steget, modulen till vänster, tas sediment från vattnet bort. Därefter behandlas vattnet med hjälp av aktivt kol, modulen till höger. Vanligtvis pumpas vattnet till det mobila reningsverket, med hjälp av elektriska pumpar. Beroende på typ av rening och kapacitet kan de mobila reningsystemen skilja sig åt. Vattenrening är ofta en lång och

kostsam process, då det klassas som en vattenverksamhet enligt Miljöbalken vilket gör att tillstånd måste ansökas om och beviljas (Länsstyrelsen Västra Götaland 2021). Om tillståndet beviljas för att installera ett mobilt reningsverk på platsen kan vattnet behövas köras genom systemet flertalet gånger innan det är tillräckligt rent. Genom att provta vattnet under tiden det renas fås svar på om det är godkänt för att släppas ut i miljön. Uppfyller vattnet kraven för att släppas ut är det vanligt, i alla fall i städer, att det släpps till det kommunala spillvattennätet för vidare rening i de kommunala reningsverken (Stockholms stad 2022a).



Figur 1. Mobilt reningsverk för rening av överskottsvatten. I det första steget (till vänster i bild) tas sediment bort, i det andra steget (till höger i bild) behandlas vattnet med kolfilter. Fotot är taget från relationshandling för kv Makrillen (Karlström 2021).

2.2 Lagstiftning förorenade områden

I detta delkapitel beskrivs den lagstiftning och masshantering som kopplas till förorenade områden.

2.2.1 Nationella miljömålen

Sveriges miljömål fastställdes år 1999 av riksdagen i Sverige. Sedan dess har det skett en del ändringar. Idag består målen av ett övergripande generationsmål, 16 miljö kvalitetsmål och ett antal etappmål (Naturvårdsverket 2019). Riksdagens definition av generationsmålet är följande:

”Det övergripande målet för miljöpolitiken är att till nästa generation lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen är lösta, utan att orsaka ökade miljö- och hälsoproblem utanför Sveriges gränser” (Sveriges miljömål u.å.)

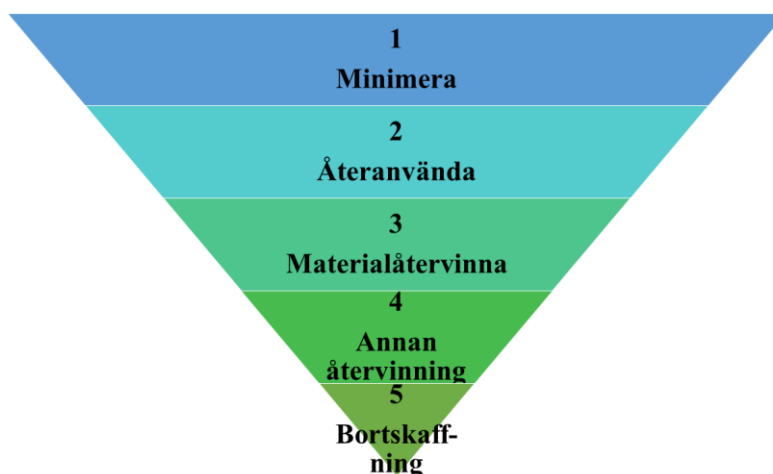
De svenska miljömålen bygger i sin tur på de globala hållbarhetsmålen i Agenda 2030. Alla länder i FN har förbundit sig att arbeta för Agenda 2030, vilket är som en handlingsplan för hur vi ska nå en miljömässig, social och ekonomisk hållbar värld till 2030 (Sveriges miljömål 2020). Ett av miljömålen som är direkt kopplat till förorenade områden är Giftfri miljö. Därutöver finns det mål som indirekt kan kopplas till förorenade områden som till exempel begränsad klimatpåverkan, bara naturlig försurning, ingen övergödning, grundvatten av god

kvalitet, god bebyggd miljö, frisk luft, levande sjöar och vattendrag och hav i balans samt levande kust och skärgård (Naturvårdsverket u.å.g).

2.2.2 Avfallshantering

De regler som finns kopplat till avfallshantering i Sverige hittas bland annat i kapitel 15 i Miljöbalkens samt i avfallsförordningen. Dessa regler grundar sig i sin tur på EU:s förordningar (259/93: övervakning och kontroll av avfallstransporter) och direktiv (2008/98/EG; avfall). Med hänvisning till 1§ i kapitel 15 i Miljöbalken är definitionen av ett avfall antingen ett föremål, ett ämne eller en substans som innehavaren gör sig av med eller är tvungen att göra sig av med (SFS 2022:1799).

Ett centralt begrepp inom avfallshantering är EU:s avfallshierarki som även finns beskriven i Miljöbalken, se Figur 2. Syftet med avfallshierarkin är att skydda människors hälsa och miljön. Enligt avfallshierarkin ska samhället i första hand arbeta för att förhindra uppkomst av avfall. Då det inte är möjligt ska avfallet hanteras på ett sådant sätt att den negativa påverkan på människors hälsa och miljön minimeras. Uppkomsten av avfall minimeras genom att till exempel återanvända eller materialåtervinna produkter vilket symboliseras av steg 2 och 3 i avfallshierarkin. När produkter återanvänds eller återvinns tas resurser tillvara vilket leder till en mer cirkulär ekonomi. Genom en mer hållbar produktion och konsumtion går det att minska både resursförbrukning och utsläpp. Det avfall som inte går att materialåtervinna ska återvinnas på andra sätt till exempel genom utvinning av energi, i konstruktionsmaterial eller för återfyllning, se steg 4. Avfall som inte kan återvinnas på annat sätt bortskaffas. Bortskaffning innebär att avfallet läggs på deponi eller förbränns utan energiåtervinning. Ofta innehåller dessa typer av avfall farliga ämnen som inte bör cirkulera i samhället (Naturvårdsverket u.å.a). Vid hantering och efterbehandling av ett förorenat område är avfallshierarkin av betydande roll för riskvärderingen och bedömningen av det åtgärdsalternativ som är mest hållbart. Detta då ett åtgärdsalternativ som inte genererar något avfall generellt sett ses som mer hållbart än ett åtgärdsalternativ som genererar avfall, där avfallet dessutom måste deponeras (SGI 2022c). I vissa fall kan det vara motiverat att göra avsteg från hierarkin ifall hanteringen av avfallet i sin helhet leder till en bättre hälso- och miljömässig hantering. Förutsatt att hanteringen inte bedöms som orimlig ur ett kostnads- och eller tekniskt perspektiv. Deponering kan till exempel vara det mest lämpliga alternativet då det finns risk för spridning av vissa föroreningar. Att flytta och blanda massor med olika föroreningsgrad genom att till exempel lägga de mest förorenade massorna på ett större djup är generellt sätt inte acceptabelt ur ett miljömässigt perspektiv. Innan massor med höga föroreningshalter kan användas behöver de behandlas på något sätt för att minska föroreningsgraden. I detta fall bör massorna också klassas som avfall (Naturvårdsverket 2023).



Figur 2. Återskapad bild över avfallshierarkin. Avfall ska hanteras enligt EU:s lagstiftning enligt ordning minimera, återanvända, materialåtervinna, utvinna energi och sist deponera (Naturvårdsverket u.å.a).

2.2.3 Hantering av massor

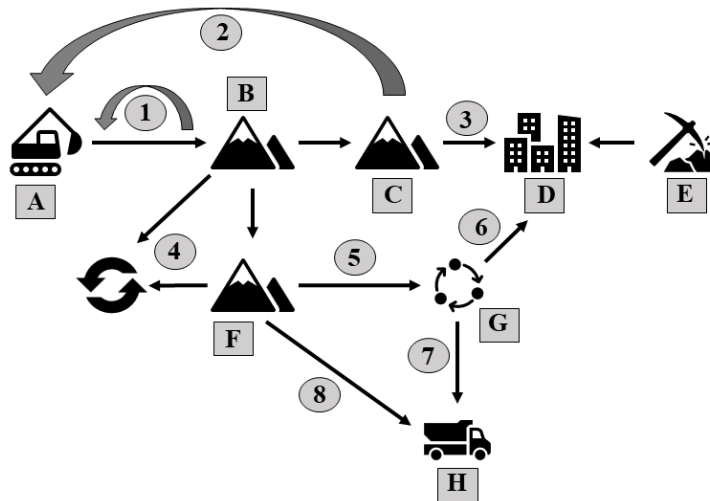
I Sverige beräknas det årligen uppstå mellan 60–200 miljoner ton massor till följd av schaktningsarbeten (Naturvårdsverket 2022a). Idag kan endast en liten del av massorna återanvändas direkt. Den största delen transporteras bort från schaktplatsen för vidare omhändertagning, behandling, användning eller bortskaffning.

Massor innefattar i detta examensarbete förutom jord- och schaktmassor (grus, sand, silt, lera, morän, asfalt, betong) även av entreprenadberg och ballastmaterial från bergtäkter. Massor kan delas upp i tre olika klasser beroende på föroreningsnivå; 1. Icke förorenade, 2. Lätt förorenade och 3. Förorenade (se Tabell 2).

Tabell 2. Vanlig indelning av massor utifrån föroreningsnivå och innehåll (Naturvårdsverket 2022a)

Föroreningsnivå	Innehåll
Icke förorenade massor	Halter under de naturliga bakgrundhalterna eller MRR. Försumbara halter av ämnen (ex kväve), främmande föremål (ex bitar av plast, tegel) och komponenter (ex invasiva arter) kan förekomma.
Lätt förorenade massor	Definieras som halter över MRR men under KM
Förorenade massor	Definieras som halter över MKM och över KM

Figur 3, visar principen för hantering av massor i samhället. Nedan följer en beskrivning till Figur 3.



Figur 3. Delflödena 1 – 8 visar masshanteringen av schaktmassor som uppstår i samhälle. A – Massor uppstår av schaktarbeten, B – Lagring inom entreprenadsområdet, C – Ej avfall lagras utanför entreprenadsområdet, D – Ej avfall används i anläggningsändamål, E – Täktverksamhet, F – Klassat avfall lagras utanför entreprenadsområdet, G – Klassat avfall genomgår behandling för förädling, H – Deponi (Naturvårdsverket 2022a).

A: Schaktmassor uppstår till följd av grävarbeten.

B: Massorna som uppstår inom entreprenadsområdet kan lagras på plats. Delflöde 1 visar användningen av interna massor dvs att massorna används inom den egna verksamheten. Till exempel kan massorna användas som utfyllnadsmaterial.

C: Massor som bedöms som icke avfall kan även lagras utanför entreprenadsområdet. Delflöde 2 visar användningen av externa massor dvs att massorna som uppstått utanför den egna verksamheten används.

D: Massor som inte är avfall kan användas i olika typer av anläggningsändamål. Ofta behöver massorna genomgå någon form av behandling som till exempel krossning och eller siktning innan försäljning, vilket visas av delflöde 3.

E: Massor som inte uppstår till följd av grävarbeten uppstår på en täktverksamhet som har tillstånd att bryta morän, berg eller grusmaterial.

F: Massor som bedöms som avfall lagras utanför entreprenadsområdet. Enligt delflöde 4 kan massorna direkt återvinnas i anläggningsändamål om föroreningsrisken bedöms som MRR. Massorna omfattas då inte av någon rättslig prövning. Bedöms föroreningsrisken vara ringa eller mer än ringa behövs en rättslig prövning göras innan massorna kan återvinnas enligt delflöde 5.

G: Massor som bedöms som avfall och som ska återvinnas tas emot på en avfallsbehandlingsanläggning, se delflöde 5. Behandlade massor som upphör att vara avfall till exempel efter behandling kan användas i anläggningsändamål, se delflöde 6. I vissa fall uppstår det rester från behandlingen som måste deponeras enligt delflöde 7.

H: Massor som inte kan användas bortskaffas och det sker vanligtvis genom deponering, se delflöde 8. En stor del av massorna som bortskaffas används även som sluttäckning av deponier. Det finns tre olika typer av deponiklasser för deponering av avfall; 1. Inert avfall, 2. Icke-farligt avfall (IFA) och 3. Farligt avfall (FA). Att deponera avfall är idag inte särskilt dyrt, och många aktörer ser det som det smidigaste och mest kostnadseffektiva alternativet då massor uppstår under schaktningsarbeten (Naturvårdsverket 2022a).

Återvinning av externa massor

Massor som uppstår under schaktningsarbeten provtas. Därefter utvärderas de ur ett miljömässigt perspektiv genom att jämföra halterna med Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenade mark (KM och MKM) samt med de vägledande halt- och utlakningsnivåerna för MRR. Misstänks ett område vara förorenat görs ofta analysen i förhand på platsen genom en så kallad förklassificering. Området delas då in i rutor, så kallad beslutsenheter, där varje beslutsenhet provtas och klassificeras i enlighet med åtgärdsmålen (SGI 2018). Massorna hanteras därefter. Schaktade massor som inte har förklassificerats kan även analyseras på en extern schaktmottagning för massor inför vidare hantering och eventuell återvinning (SGF 2013; SGI 2018). Figur 4 visar principen för masshanteringen på en mottagningsanläggning för schaktmassor.



Figur 4. *Princip för hantering av massor på mottagningsanläggning från vänster till höger².*

Alla massor som hanteras på anläggningen vägs. Om massorna inte är förklassificerade analyseras dessa med avseende på föroreningar³. Generellt sätt gäller att massor som är förorenade upptill IFA, MRR, MKM och KM kan återanvändas⁴. Jord som innehåller mycket organiskt material så som till exempel matjord, humus, mulljord, torv eller dy återanvänds sällan. Detta beror på de geotekniska egenskaperna, då jorden är mycket porös och deformeras lätt vid belastning på grund av nedbrytning av det organiska materialet (SGU u.å.). Massor som innehåller stenar eller organiskt material kan behöva siktas innan det läggs på upplag. Provtagning och analys av massorna görs innan leverans⁵. Den största delen av massorna som kommer till mottagningsanläggningar går att återanvända i anläggningsarbeten men trots detta återvinns schaktmassor idag i låg utsträckning (Naturvårdsverket 2022a). Att massor sällan kan återanvändas förklaras av flera olika faktorer. Ett problem inom branschen med masshantering är att tillgång och efterfrågan sällan samverkar. Det uppstår idag en större mängd schaktmassor än vad samhället kan nyttja, vilket i längden skapar en ineffektiv resurshantering. Orsaken kan förklaras i att det kan finnas brister i informationen om massornas innehåll samt i planering och samordning, vilket gör att massorna inte kan användas då riskerna anses vara för stora. I en del fall kan det leda till att bortskaffning och deponering ses som det enklaste och mest ekonomiskt fördelaktiga alternativet, varpå det i stället väljs. Det kan även finnas vissa svårigheter kopplad till den lagstiftning gällande avfallshantering för massorna och om massorna ska klassas som en produkt eller som ett avfall. Något som blir tidskrävande för verksamhetsutövare och de tillsyns- och tillståndsmyndigheter som arbetar med ärendet (Naturvårdsverket 2022a).

² Ågab Syd AB

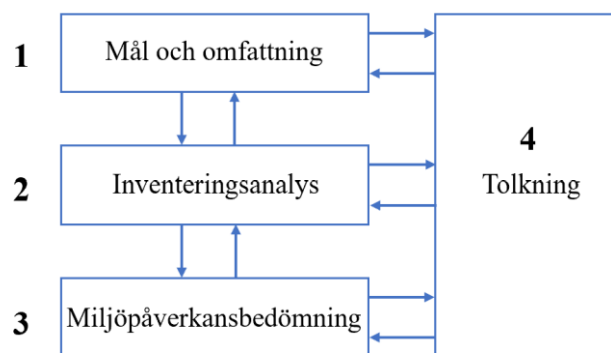
³ Ågab Syd AB

⁴ Jesper Karlström, Miljöfirman Konsult Sverige AB

⁵ Ågab Syd AB

2.3 Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) är en kvantitativ metod för att bedöma miljöpåverkan från en produkt, tjänst eller vara. Förutom att bedöma miljöpåverkan är även syftet att kartlägga resursflödena, för att på så sätt kunna peka ut eventuella ”hot spots” där miljöpåverkan är som störst. På så sätt blir LCA också ett användbart verktyg för att kunna minska miljöpåverkan (Morais & Delerue-Matos 2010; Boverket 2019). Strukturer och principer för LCA finns beskrivet i de internationella standarderna ISO 14040 och ISO 14044 (SIS 2006). Enligt standarderna kan LCA-processen delas upp i fyra faser; 1. Mål och omfattning, 2. Inventeringsanalys, 3. Miljöpåverkansbedömning och 4. Tolkning, se Figur 5 (Muralikrishna & Manickam 2017). Dessa faser behöver inte nödvändigtvis ses som en rak sträcka med start och mål. Under arbetets gång är det inte ovanligt att behöva gå tillbaka till mål och omfattning och ändra på grund av att det dyker upp problem som till exempel en för snäv avgränsning eller brist på data. Därför ses det snarare som en iterativ process (därav pilar åt båda hållen i Figur 5) (Sveriges Lantbruksuniversitet 2022). De fyra faserna beskrivs utförligare i avsnitten 2.3.1–2.3.4.



Figur 5. LCA-processens fyra faser; mål och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning och tolkning (Muralikrishna & Manickam 2017).

2.3.1 Mål och omfattning

I denna fas definieras syftet med LCA-studien, målgrupp och studiens avsedda tillämpning. Här beskrivs produktsystemet och dess enhetsprocesser. Generellt i en LCA brukar flödena följas från ”vaggan till graven”. Detta betyder att alla steg inkluderas dvs från utvinning av råvara ur naturen till dess att det lämnar det tekniska systemet där människan inte kontrollerar det längre. Ibland kan det vara svårt att veta vad som ingår i det tekniska systemet eller så kan det bli ett oändligt stort arbete om ”vaggan till graven”- principen ska följas. Därför är det inte ovanligt att så kallade ”cut-off” kriterier används för att avgränsa studien. Förutom denna typ av gränsdragningar är det även viktigt med andra avgränsningar. Till exempel specificeras vilket geografiskt område och under vilken tidsperiod som studien omfattar. Detta kallas studiens *systemgräns* (Sveriges Lantbruksuniversitet 2022).

Ett annat grundläggande begrepp i denna fas är att välja en *funktionell enhet*. Den funktionella enheten är ett mått som ska beskriva systemet som studeras, och är en referensenhet för att kunna jämföra likande system med varandra. Den funktionella enheten ska vara mätbar och väldefinierad (Klöpffer & Grahl 2014).

I detta steg väljs också vilken typ av LCA som ska göras. Det finns två huvudtyper av LCA, bokförings-LCA (på engelska attributional eller accounting, ALCA) och konsekvens-LCA (på

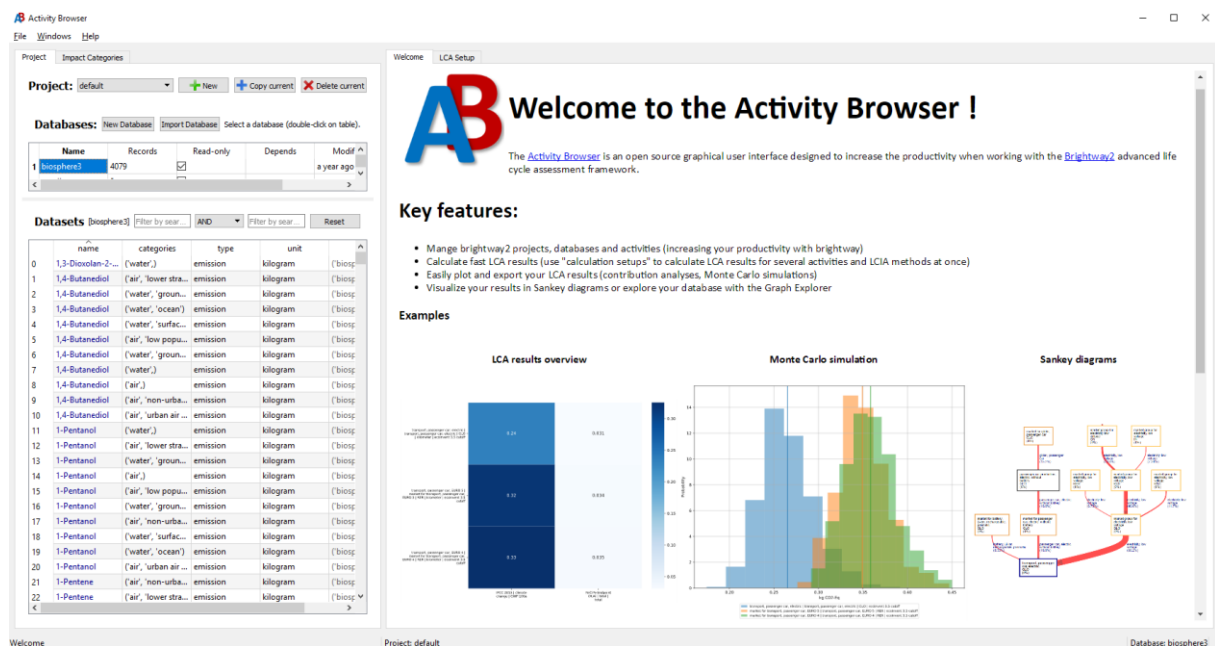
engelska consequential, CLCA). Beroende på vilken huvudtyp som väljs kommer analyserna se olika ut. En ALCA svarar på frågan ”Hur stor är miljöpåverkan för en produkt eller ett system?” och tittar således på de direkta effekterna från produkten/systemet. Medan en CLCA snarare tittar både på de direkta och de indirekta effekterna av en produkt eller ett system. Där frågeställningen är ”Vad får det för konsekvenser för miljön om en produkt eller ett system ersätter ett annat?” (Brander et al. 2009).

2.3.2 Inventeringsanalys

I denna fas sker insamlingen av data för de in- och utflöden som ingår i det systemet som definierats i Mål och omfattning. In- och utflöden kan till exempel vara råvaror, emissioner och avfall. Inom LCA kallas detta för en livscykelinventering (LCI). All data (in- och utflöden) som samlats in för det beskriva systemet relateras sedan till en enhetsprocess. För att fortsätta med exemplet ovan för in- och utflödena skulle enhetsprocesserna kunna vara materialutvinning, transport och avfallshantering. För att beräkna och analysera sina data finns olika verktyg som kan användas. En modell av systemet kan skapas i till exempel Matlab eller Excel. Data kan hämtas från olika databaser som till exempel Ecoinvent, i rapporter och vetenskapliga artiklar, från mätningar, experiment och från experter etc (Hammar 2020). Beräkningarna kan göras i LCA-programvaror som till exempel GaBi, SimaPro, Open LCA eller Activity browser (Sphera u.å.; SimaPro u.å.; openLCA u.å.; Steubing et al. 2020). I detta examensarbete användes en stor del av data från Ecoinvent och beräkningarna gjordes i Activity Browser (AB). Databasen och programmet beskrivs nedan.

Activity browser

AB är ett grafiskt användargränssnitt (se Figur 6) med öppen källkod som bygger på LCA-ramverket Brightway2. Brightway2 använder i sin tur Python som programmeringsspråk. Verket är bekämt på det sättet att det både går att skapa skript i Brightway där beräkningar utförs och där resultat fås fram eller så går det att få fram resultaten direkt i AB (Steubing et al. 2020).



Figur 6. Startside för Activity browser. Figur tagen från GitHub (GitHub 2023).

Programmet används för avancerade LCA-modelleringar där varje nytt projekt hanterar sina egna databaser. Användaren kan själv skapa en databas eller importera redan befintliga databaser. Varje databas består av ett arbiträrt antal aktiviteter. En aktivitet är en produkt av en viss enhet, till exempel 1 m³ utgrävning med en grävmaskin (eng: excavation, hydraulic digger) (Steubing et al. 2020). För att leverera produkten krävs insatsvaror från biosfären (= biosfäriska flöden) och teknosfären (= tekniska flöden). Biosfäriska flöden är organiska och oorganiska resurser som till exempel metaller, luftföroreningar och växthusgaser som släpps ut i miljön. Medan tekniska flöden är sådant som kommer från det ekonomiska systemet som till exempel bränsle, smörjmedel och maskiner (Ecoinvent 2020). De tekniska flödena är också aktiviteter som i sin tur innehåller eventuella tekniska och/eller biosfäriska flöden. I AB kan aktiviteter parametreras för att bättre representera dess verkliga natur. Aktiviteten kan kopieras och ändras manuellt, men det går också att skapa ekvationer med variabler för aktiviteten för att se hur resultatet ändras för olika scenarios, en så kallad scenario-LCA.

Befintliga databaser som kan importeras till AB är till exempel Ecoinvent. Ecoinvent har samlade data för över 18 000 aktiviteter (Ecoinvent u.å.a). Varje aktivitet i databasen är bestämd till en specifik geografisk plats. Aktiviteterna i databasen är således representativa för olika geografiska områden. Beroende på tillgänglighet och datakvalitet kan det finnas data för olika geografiska platser för en och samma aktivitet. För de flesta aktiviteter finns åtminstone en global datauppsättning. Dessa kallas GLO (eng. Global) eller RoW (eng. Rest of World) och representerar medelproduktionen på global skala. För vissa aktiviteter finns även data på en regional skala som till exempel Europa (RER) eller på en lokal skala som till exempel Sverige (SE) och Schweiz (CH) (Ecoinvent u.å.b). Ecoinvents aktiviteter bygger i sin tur på databasen Biosphere som består av över 4 000 olika typer av utsläpp och naturresurser som sker till luften, vatten och jorden.

2.3.3 Miljöpåverkansbedömning

Miljöpåverkansbedömning eller Life Cycle Impact Assessment (LCIA) som det heter på engelska beskriver den tredje fasen i LCA:n. I detta steg värderas data från LCIn för att bättre kunna förstå den potentiella miljöpåverkan från det studerade systemet (Sveriges Lantbruksuniversitet 2022). En LCIA delas in i två delar, en obligatorisk och en frivillig del (Matthews et al. 2014). Den frivilliga delen ingår inte i detta examensarbete och beskrivs därför inte närmare. En kort förklaring till den obligatoriska delen följer nedan.

I den obligatoriska delen väljs först miljöpåverkanskategorier. Miljöpåverkanskategorierna delas in utifrån tre skyddsobjekt; ekologiska effekter, resursanvändning och hälsoeffekter (Matthews et al. 2014). Exempel på miljöpåverkanskategorier kan ses i Tabell 3.

Tabell 3. Exempel på miljöpåverkanskategorier inom de tre skyddsobjekten (Hammar 2020)

Ekologiska effekter	Resursanvändning	Hälsoeffekter
Klimatpåverkan	Markanvändning	Ekotoxicitet
Övergödning	Vattenanvändning	Humantoxicitet
Försurning	Energianvändning	
Biodiversitet		

För att förstå hur utsläppen skiljer sig från det egna systemets processer eller jämfört med andra liknade system behöver de olika formerna av miljöpåverkan i Tabell 3 summeras samman. Vanligtvis används generella värden, så kallade karaktäriseringsfaktorer som inte tar

hänsyn till när och var utsläppen sker. Det finns olika karaktäriseringsfaktorer beroende på vilken tidshorisont som är av intresse. Till exempel för att beräkna klimatpåverkan används vanligtvis global uppvärmningspotential (GWP) (Sveriges Lantbruksuniversitet 2022). GWP beskriver hur stort bidrag till växthuseffekten som olika växthusgaser har (EPA 2023). På grund av att olika växthusgaser har olika egenskaper vad gäller uppehållstid i atmosfären, absorptionsspektrum och effektivitet av att absorbera infraröd strålning är det svårt att direkt kunna jämföra dem åt. Men genom att använda karaktäriseringsfaktorer, även kallat GWP-värden blir det möjligt att jämföra olika växthusgasutsläpp med utsläppet av ett kg koldioxid (CO₂). Utsläppen kan sedan härledas till en kategoriindikator med hjälp av karaktäriseringsfaktorn. Steget då kategoriindikator väljs kallas karaktärisering. Det är vanligt att använda sig utav kategoriindikatorn CO₂-ekvivalenter vid bestämning av klimatpåverkan (Sveriges Lantbruksuniversitet 2022).

2.3.4 Tolkning

Tolkningen är den fjärde och sista fasen där resultatet från LCIA analyseras. En diskussion kring avgränsningar, systemgränser, datakvalitet med mera är ett viktigt steg i denna fas. Det är även vanligt att göra en känslighetsanalys för att validera sina data. I en känslighetsanalys ändras en parameter i taget för att se hur resultatet påverkas. På så sätt fås en uppfattning om hur känsligt resultatet är för olika val (Sveriges Lantbruksuniversitet 2022).

2.3.5 Återvinning i LCA

Både återvinning och återanvändning är svåra att hantera i en LCA. Enligt definition används begreppet återvinning för produkter som genomgår en mer eller mindre omfattande behandling för att materialet ska kunna användas i en ny produkt för ett annat ändamål än det ursprungliga. Medan återanvändning innebär att produkten kan användas igen för samma ändamål som det ursprungligen var tillämpat för (Nationalencyklopedin u.å.b). Det innebär således att samma material används i två eller flera produkter. En LCA däremot kvantifierar miljöpåverkan från en enda produkt. Det gör att det uppstår ett allokeringssproblem, där det inte är helt självklart hur miljöpåverkan från produktion, återvinning och slutlig avfallshantering av den studerade produkten ska fördelas. Det finns många olika metoder att använda sig av för att hantera detta allokeringssproblem, och vilken som ska väljas beror på sammanhanget. För produkter med ett högt innehåll av återvunnet material kan valet av metod vara avgörande för miljöpåverkansbedömningen (Ekvall et al. 2020).

IVL, Svenska Miljöinstitutet, publicerade 2018 en rapport med tolv olika metoder för att modellera återvinning i LCA (Ekvall et al. 2020). Det enklaste metoden som beskrivs i IVL:s rapport kallas enkel cut-off (eng. simple cut-off). Metoden innebär att miljöbelastningen från de processer som ingår i produktens livscykel tas med. En svårighet med enkel cut-off är att sätta systemgränserna för en produkt, som i Figur 7 symboliseras av de svarta streckade linjerna. Gränsen kan nämligen dras på olika sätt. Antingen dras den innan, inom eller efter återvinningsprocessen (Ekvall et al. 2020). Enligt det internationella miljövarudeklaration (EPD)-systemet, som tillhandahåller information om tjänster och produkters miljöpåverkan, ska gränsen dras där materialet har sitt lägsta marknadsvärde. Vilket för produkter vanligtvis är innan återvinningsprocessen. Dessutom ska återvinningsprocessen inkluderas i den livscykel vars produkt använder sig av det återvunna materialet (Ekvall et al. 2020). För en LCA på produkt 1 skulle alltså råvaruutvinning, tillverkning och användning av produkt 1 inkluderas i systemgränsen. Återvinningsprocessen för produkt 1 inkluderas i produkt 2s systemgräns tillsammans med användningen av produkt 2. Följt av att återvinningsprocessen

för produkt 2 inkluderas i produkt 3s systemgräns tillsammans med användning och slutlig avfallshantering. Produktsystemet kan innehålla $n+2$ produkter givet att n antar ett arbiträrt naturligt tal (0, 1, 2, 3, o.s.v.).



Figur 7. Återvinning med enkel cut-off för produkt 1, 2 och 3 enligt EPD-systemet (Ekvall et al. 2020).

Enkel cut-off metoden passar in i en ALCA, då processer utanför livs cykeln inte beaktas i LCAn. Detta gör också metoden lätt att använda och illustrera då den inte kräver data utanför produktens livscykel (Ekvall et al. 2020). Metoden är förutom av EPD även validerad och rekommenderad av GHG-protokollet och The British Standard for carbon footprint (Greenhouse gas protocol u.å.; Sinden 2008). Tilldelningen av processerna för respektive produkt kan ses som orättvis då till exempel produkt 1 får ta hela bördan för råvaruutvinning samt tillverkning medan produkt 3 får ta all bördan för avfallshandlingen. Metoden skiljer på jungfruligt och återvunnet material, men tar inte hänsyn till materialens olika kvaliteter (Ekvall et al. 2020).

2.4 Tidigare studier

Under 2012 tog Svenska Geotekniska Föreningen, SGF fram ett webbaserat verktyg för att kunna beräkna klimatavtryck vid genomförande av efterbehandling av förorenade områden och andra typer av markarbeten. Verktuget heter ”Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten” och beräknar det totala växthusgasutsläppet (SGF 2022). Syftet med verktuget var att det skulle vara lättanvänt och kunna användas i branschen för att kunna beräkna utsläpp av CO₂-ekvivalenter. Verktuget kan bland annat användas för att se hur utsläppen skiljer sig mellan olika åtgärdsalternativ som till exempel deponering, jordtvätt (off site) och termisk desorption. Inmatning av data sker direkt i webben under de olika rubrikerna; projektering, omhändertagande av massor, behandling av massor, återställande av området samt uppföljning. Verktuget bygger på förenklingar och osäkerheten i data kvaliteten varierar från god till osäker kvalitet med låg respektive hög grad av osäkerhet. Verktuget är en förenklad LCA där endast fördefinierade inmatningsalternativ är möjliga att välja (SGF 2012). De totala utsläppen av CO₂-ekvivalenter redovisas per volym jordmängd eller per area (SGF 2022).

Verktuget har bland annat använts i ett examensarbete av Granbom från 2014 där växthusgasutsläppen beräknades för en fiktiv väg som schaktades där de förorenade massorna antingen användes för anläggande av en bullervall alternativt deponerades. För att ta hänsyn till miljömålen ”Giftfri miljö” och ”Begränsad klimatpåverkan” vid hantering av schaktmassorna skapades tre scenarion. I första scenariot deponerades samtliga schaktmassor vilket innebar att hänsyn endast tog till ”Giftfri miljö”. I andra scenariot togs hänsyn till båda

miljömålen vilket innebar begränsningar i transporter. I tredje scenariot tog endast hänsyn till "Begränsad klimatpåverkan" genom att de schaktade massorna användes på plats utan någon transport. Den största påverkan på växthusgasutsläppen visade sig vara lastkapaciteten för transportfordonen, val av fyllnadsmassor och den sammanlagda transportsträckan för att transportera massorna. Genom effektivare användning av maskiner, möjlighet till mellanlagring och återanvändning av massor, separering av förorenade och icke förorenade massor samt effektivare nyttjande av lastkapacitet vid transport av massor går det att ta hänsyn till båda miljömålen enligt Granbom (Granbom 2014).

3. Metod

I metodavsnittet beskrivs dels den fallstudie där klimatpåverkan och resurshanteringen ifrån tre saneringsprojekt studerades, dels den litteraturstudie som använts för att kunna jämföra resultaten från fallstudien.

3.1 Fallstudie

I fallstudien gjordes en LCA för att bestämma klimatpåverkan från schaktsanering som saneringsmetod. Därutöver användes den data som samlats för LCA:n för att visualisera resurshanteringen i en MEFA.

3.1.1 Objektbeskrivning

Fallstudien bygger på tre olika schaktsaneringsprojekt där Miljöfirman utfört en miljökontroll vid respektive projekt. Tabell 4 visar en sammanställning över de tre projekten, Makrillen (M), Gertrudsgården (G) och Saltmästaren (S) som studerades i detta examensarbete. Projektens plats och omfattning skiljer sig åt, men gemensamt för projekten är att de ligger i nära anslutning till bostadsområden. Notera att projekten redan är utförda, där en sanering av området G utfördes under 2018 medan sanering av områdena M & S utfördes under 2021. För projekt M och S schaktades, förutom förorenad jord, även en del asfalt- och betongrester bort från platsen. Dessa rester valdes att uteslutas ur denna studie för att projekten skulle bli mer jämförbara mellan varandra. I Appendix A.1 hittas en detaljerad tabell där klassning och mängd av de förorenade massorna framgår. För samtliga projekt var åtgärds målet KM och de analyserade föroreningarna var främst metaller och PAH, men för M tillkom även oljekolväten och PCB. För G analyserades endast två prover med avseende på oljekolväten. Data från Tabell 4 kommer från respektive projekts relationshandling som erhållits från Miljöfirman (Karlström 2018, 2021, 2022).

Tabell 4. Sammanställning av övergripande information som tillhandahållits av Miljöfirman för de tre projekten; M, G och S. En detaljerad tabell hittas i Appendix A.1

Projekt-namn	Benämning	Stad	Schaktade massor ^a [ton]	Sanerings-tid [mån]	Åtgärds-mål	Föro-reningar
Makrillen	M	Malmö	47 759	4	KM	Metaller, PAH, oljekolväten, PCB
Gertrudsgården	G	Trelleborg	7 602	7	KM	Metaller, PAH, oljekolväten ^b
Saltmästaren	S	Kävlinge	2 451	1	KM	Metaller, PAH

^a Exklusive betong och asfalt

^b Två prover analyserades på oljekolväten

3.1.2 Studiens LCA-modell

För de tre projekten delades saneringsförloppet upp i tre skeden; innan, under respektive efter sanering (se Tabell 5). Varje skede innehöll i sin tur flera olika processer, se kursiv text i Tabell 5. De processer som inkluderades i systemet är i tabellen understruken och gråmarkerade. För processerna ”återställning” och ”behandling av förorenade massor” inkluderades delar av processen. Avgränsningarna beskrivs nedan.

Tabell 5. *Processer som ingår i respektive skede; innan, under och efter en schaktsanering av ett förorenat område. De processer som är understruken och gråmarkerade inkluderades i fallstudien. ÅM = återvunna massor*

Innan sanering	Under sanering	Efter sanering
Provtagning	<i>Förberedelser</i>	Återställning
Produktion av material	Avverkning träd	Provtagning ÅM
Personaltransport	Anläggning väg	<u>Produktion av</u>
Transport prover	Transport material	<u>materialsکیلجande lager</u>
Analys prover	Staketuppbyggnad	<u>(geotextil)</u>
	Spontning	<u>Produktion ÅM</u>
		<u>Återanvändning ÅM</u>
		<u>Lastning ÅM</u>
		<u>Transport ÅM</u>
		<u>Tillverkning</u>
		<u>transportmedel och</u>
		<u>arbetsmaskiner</u>
		<u>Utspridning ÅM</u>
		<u>Packning ÅM</u>
	<u>Schaktning</u>	<i>Behandling av</i>
	Tillverkning	<i>förorenade massor</i>
	arbetsmaskiner	<u>Deponering</u>
	Urschaktning	<u>Återanvändning</u>
		Annan
		behandlingsmetod
	<i>Trädsanering</i>	
	Produktion av mekanisk	
	barriär (geonät)	
	<u>Transport av förorenade</u>	
	<u>massor</u>	
	Tillverkning	
	transportmedel	
	Transport förorenade	
	massor	
	<u>Provtagning</u>	
	Produktion av material	
	Personaltransport	
	Transport prover	
	Tillverkning	
	transportmedel	
	<u>Analys prover</u>	
	<u>Grundvattenhantering</u>	
	Pumpning länsvatten	
	Rening, mobilt	
	reningsverk m. kolfilter	
	Rening, kommunalt	
	reningsverk	

Avgränsning

Processen under *innan sanering* (se Tabell 5) valdes att uteslutas i denna studie på grund av att provtagning av området alltid görs oavsett hur det sedan kommer att hanteras. Så en provtagning som sker innan saneringen behöver inte nödvändigtvis leda till att området kommer att schaktsaneras utan det kan resultera i att området inte behöver saneras alls eller att någon annan åtgärd används.

Fallstudien inkluderade inte processen förberedelser under skedet *under sanering* där det ingår avverkning av träd och buskar, anläggning av temporära vägar, staketuppbyggnad och spontning för att säkra schaktgropen. Då Miljöfirmans projekt ofta är kopplade till förorenad mark som sedan ska exploateras finns det en rad krav gällande byggprocessen. Alla tre fallen som inkluderas i denna fallstudie är projekt som utförts i städer, nära eller i bostadsområden⁶. Det gör att förberedelser behövs även om det inte nödvändigtvis är specifikt för en schaktsanering. Genom att utesluta processen förberedelser undviks därmed att sådant som är relevant för byggprojekt tas med.

I projekt G gjordes en trädsanering på ett träd som bevarats, vilket innebar att förorenad jord kring trädets rötter sögs upp. Denna typ av sanering innebär ofta att en hel del föroreningar måste lämnas kvar. Därför är det vanligt att efter trädsaneringen täcka trädets rötter med geonät. Geonätet fungerar som en fysisk barriär så att människor och djur inte ska komma i kontakt med eventuella kvarlämnade föroreningar. Denna typ av trädsanering som gjordes för projekt G är dock relativt ovanliga. Dessutom är de inte specifika för schaktsaneringar och därför uteslöts processen.

De processer som inkluderades i fallstudiens LCA och MEFA *under sanering* var schaktning, transport av förorenade massor, provtagning och grundvattenhantering. För projekt M och S schaktades även en del betong- och asfaltsrester från saneringsplatsen. Dessa betong- och asfaltsrester inkluderades inte i systemgränsen enligt tidigare resonemang.

Under skedet *efter sanering* i återställningsarbetet inkluderades inte provtagning av återfyllnadsmassor. Egentligen görs det alltid en provtagning av återvunna massor innan de kan användas. Men på grund av bristfälliga data gällande provtagningsprocessen valdes detta steg att uteslutas. Även packning av återfyllnadsmassor inkluderades inte, vilket innebär att återfyllnadsmassorna packas med en vibrationsplatta ofta en så kallad vibrovält som kör över massorna för att jämna ut marken. Processen är unik för varje nytt saneringsprojekt vilket gör det svårt att generalisera. Dessutom packas marken ofta i samband med att den ska exploateras för att bygga exempelvis villor, lägenhetshus eller industrilokaler. Processen inkluderades därför inte då den egentligen hade passat bättre i en LCA för ett byggprojekt. Endast deponering av de förorenade massorna inkluderades som en typ av behandlingsprocess. Någon annan typ av behandlingsmetod som till exempel jordtvätt studerades inte, då fallstudien endast undersökte den vanligaste typen av schaktsanering vilket innefattar bortforsling av förorenade massor och efterföljande deponering.

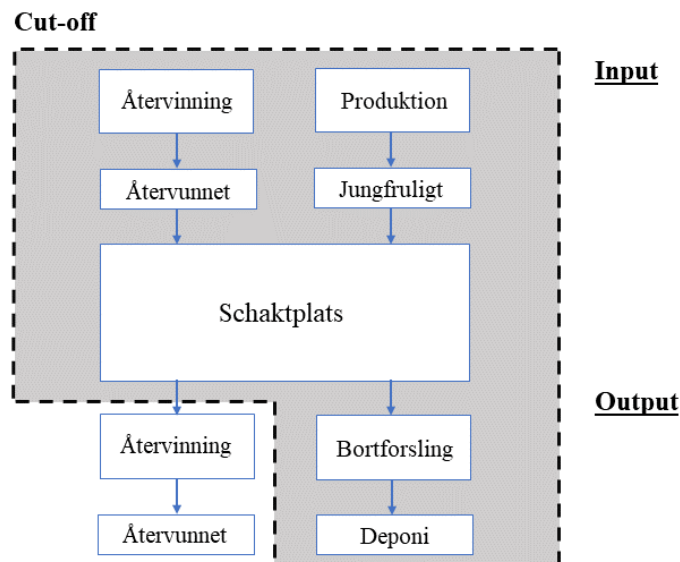
De processer som inkluderades i fallstudiens LCA och MEFA *efter sanering* var produktion av återfyllnadsmassor och materialskiljande lager (geotextil), återanvändning av återvunna massor, lastning av återfyllnadsmassor, transport av återfyllnadsmassor, tillverkning av

⁶ Jesper Karlström, Miljöfirman Konsult Sverige AB

transportmedel och arbetsmaskiner, utspridning av återfyllnadsmassor samt deponering av förorenade massor.

Återanvändning

Enligt teorin är hantering av massor ofta komplex. I detta examensarbete har de förorenade massornas klassning varit en bidragande faktor vid avgränsningen. En förenkling om att de schaktade massorna som klassats enligt MRR och KM återanvändes medan resterande schaktade massor (klassade enligt MKM, IFA och FA) deponerades. Utifrån Figur 8 skapades en förenklad och mer lätthanterligt system av masshanteringen. För LCAn användes enkel cut-off metoden för att ta hänsyn till återanvändning av massor. Miljöpåverkan för de tillförda återvunna massorna, se input i Figur 8 inkluderades således medan miljöpåverkan från de bortforslade återvunna massorna, se output i Figur 8 inkluderades inte. Enligt enkel cut-off metoden skulle miljöpåverkan från de bortforslade återvunna massorna i stället summeras i LCAn där det återvunna massorna används. Därutöver inkluderades produktion av jungfruliga massor som tillfördes schaktplatsen (se input), och bortforsling av de förorenade massorna som grävdes upp från schaktplatsen och transporterades till deponi (se output).



Figur 8. Cut-off tillämpning på fallstudien. Systemgränsen inkluderas av det gråmarkerade området.

Funktionell enhet

Den funktionella enheten sattes till 1 ton genomsnittligt behandlade massor. Vilket i denna fallstudie är samma sak som totala mängd massor exklusive betong/asfalt som schaktades för respektive projekt. Valet av funktionell enhet motiveras i att den beskriver systemets syfte dvs att det förorenade området behandlas. Dessutom är enheten mätbar och väl definierad för samtliga tre studerade projekt. 1 m³ genomsnittliga behandlade massor utvärderades också som tänkt funktionell enhet. Att beskriva behandling av massorna i m³ tycks dock vara mer vanligt förekommande bland de internationella LCA-studierna som gjorts på området. I Sverige är det däremot vanligare att använda ton för att beskriva massor, varför detta mått i slutändan valdes.

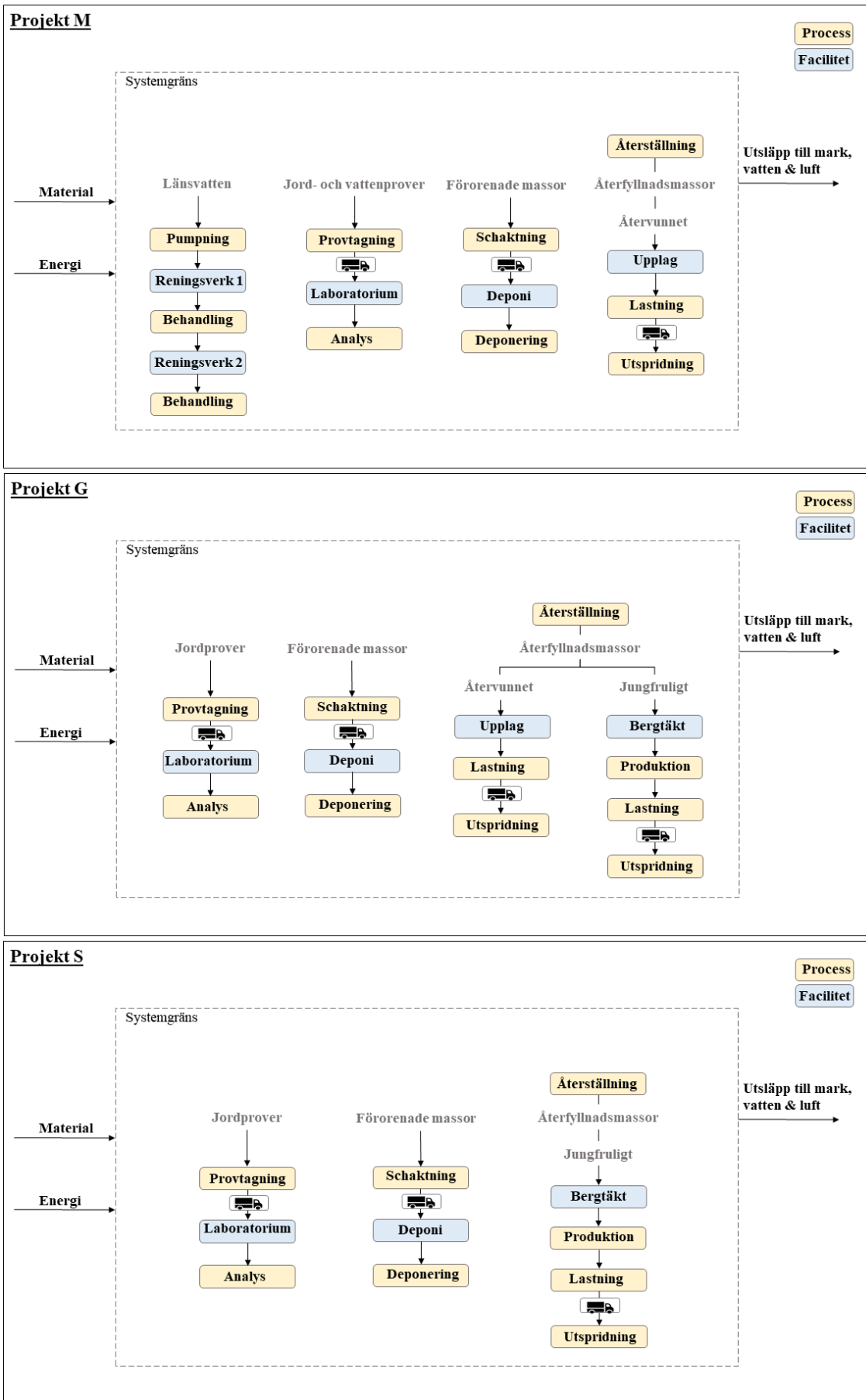
Systemgräns

Utifrån avgränsningarna i avsnitt 3.1.2 avgränsningar skapades systemgränser för respektive projekt vilka visas i Figur 9. Systemgränserna gäller för både LCAn och MEFAn. Notera att

systemgränsen för saneringsprojekten skiljer sig åt beroende på saneringens komplexitet. Schaktning av de förorenade massorna, inkluderades för alla tre projekten. De förorenade massorna antogs lastas direkt på lastbil och kördes därefter till olika mottagningsplatser beroende på klassning av massorna. Systemgränsen inkluderade endast transport och hantering av de förorenade massorna som hamnade på deponi. Återvinningsprocessen för de bortforslade massorna inkluderades inte enligt tidigare resonemang, se avsnitt 3.1.2 avgränsning.

I projekt M uppstod det länsvatten i schaktgropen, då schaktbotten låg under grundvattenytan. Länsvattnet behöves tas om hand innan schaktgropen återfylldes. Vattnet pumpades således till ett mobilt reningsverk (symboliseras av Reningsverk 1 i Figur 9). Prover togs på det inkommande och det utgående vattnet från det mobila reningsverket. Efter reningsprocessen i det mobila reningsverket släpptes vattnet till det lokala spillvattennätet varpå det renades på ett lokalt reningsverk (symboliseras av Reningsverk 2 i Figur 9), innan det släpptes ut i Öresund.

Återfyllnadsmassorna som användes för återställandet av områdena var antingen jungfruliga eller återanvända massor eller både ock. Återfyllnadsmassorna lastades på lastbilar och kördes till schaktplatsen där det tippades och spreds ut.



Figur 9. Systemgränser för projekt M, G och S.

3.1.3 Livscykelinventering (LCI)

LCAn för de tre projekten genomfördes i programvaran Brightway2 med hjälp av det grafiska användargränssnittet AB, se avsnitt 2.3.2 Activity Browser. I första hand användes fallspecifika data från relationshandlingarna och data från Ecoinvent version 3.6 (cut-off). I de fall där data inte fanns tillgänglig från databasen eller specificerat i respektive projekts relationshandling gjordes vissa antaganden och förenklade aktiviteter skapades utifrån Ecoinvents databas. De huvudprocesser vars aktiviteter i Ecoinvent användes syns i Tabell 6. För några aktiviteter fanns det inte tillgängliga data från Sverige, i stället användes europeiska data (RER) för att representera svenska förhållanden. För processerna ”behandling av de förorenade massor på deponi” samt ”produktion av jungfruliga massor” användes aktiviteter vars data kom ifrån Schweiz (CH). Dessa aktiviteter ansågs representera svenska förhållanden något bättre än europeiska, varför de valdes. De två aktiviteterna justerades till svensk elmix. Samtliga arbetsmaskiner och transportmedel antogs gå på diesel.

Tabell 6. Huvudprocesser som modellerats med hjälp av Ecoinvents databas. Gp = Geografisk plats. Data är från 2019

Process	Aktivitet	Gp	Enhet	Kommentar
Schaktning	”Excavation, hydraulic digger”	RER	m ³	
Transport av massor	”Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6”	RER	ton·km	
Behandling av förorenade massor på deponi	”Treatment of inert waste, sanitary landfill”	CH	kg	Justerat till svensk elmix och värme (SE),” electricity, low voltage” och ”heat and power co-generation, biogas, gas engine”. Output ”Waste graphical paper” och ”waste plastic, mixture” raderades. ^a
Personaltransport, provtagning	”Transport, passenger car, EURO 5, petrol, medium size”	RER	km	
Transport av prover	”Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6”	RER	ton·km	
Produktion av materialskiljande lager	”Polypropylene production, granulate”	RER	kg	
Produktion av jungfruliga massor	”Gravel, crushed”	CH	kg	Justerat till svensk elmix (SE), ”electricity, medium voltage”.
Lastning av återfyllnadsmassor	”Excavation, skid-steer loader”	RER	m ³	

Process	Aktivitet	Gp	Enhet	Kommentar
Utspridning av återfyllnadsmassor	”Excavation, hydraulic digger”	RER	m ³	
Grundvattenhantering, rening kommunalt reningsverk	”Treatment of wastewater, average, capacity 4.7E10l/year”	CH	m ³	

^a Det tekniska flödet ”process-specific burdens, sanitary landfill” under aktiviteten ändrades även till svensk elmix.

Aktiviteter för att beskriva processen ”analys av prover ” saknades i Ecoinvent och fanns inte heller specificerat i relationshandlingarna. Genom mailkontakt med laboratoriet, SGS Analytics Sweden, användes deras uppföljning av förbrukningsvaror och genomsnittlig elförbrukning på årsbasis för beräkningarna. En sammanställning över de förbrukningsvaror och avfall som användes ses i Tabell 7. För varje förbrukningsvara (se specifikation i Tabell 7) tillsattes en aktivitet i Ecoinvent som bäst beskrev underprocessen. Ingen skillnad gjordes mellan jord- och vattenprover. Data anpassades för att kunna matcha Ecoinvents processer. Originaldata hittas i Appendix A.3.

Tabell 7. Underprocesser och tilldelning av Ecoinvent process för analys av prover med hjälp av data från SGS Analytics Sweden. Gp = geografisk plats

Underprocess	Data från SGS [enhet/prov] ^a	Ecoinvent process		
		Aktivitet	Gp	Enhet
Materialförbrukning				
Pappersproduktion, A4	0,002	”Paper production, woodfree, uncoated, at integrated mill”	RER	kg
Plastproduktion	0,02	”Nylon 6 production”	RER	kg
Glasproduktion	0,04	”Packaging glass production, white”	CH	kg
Elförbrukning				
Elektricitet	1,2	”Market for electricity, high voltage”	SE	kWh
Kemikalier				
Lösningsmedel		”Acetone production, from isopropanol”	RER	kg
- Aceton	0,003			
- Cyklohexan	0,003	samt ”cyclohexane production”		
Övriga avfall				
Farligt avfall	0,006	”Hydrochloric acid production, from the reaction of hydrogen with chlorine”	RER	kg

Underprocess	Data från SGS [enhet/ prov] ^a	Ecoinvent process		
		Aktivitet	Gp	Enhet
Avfallshantering, farligt avfall	0,006	”Treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration”	CH	kg

^a Data har anpassats för att matcha Ecoinvents processer. Beräkningarna hittas i Appendix A.3.

Även för processen ”grundvattenhantering” för projekt M saknades det data i Ecoinvent. I stället hämtades den från Envytech som tillhandahåller mobila vattenreningsanläggningar. På samma sätt som för processen ”analys av prover” användes en Ecoinvent aktivitet som bäst representerade underprocessen, se Tabell 8. Data anpassades för att kunna matcha Ecoinvents processer. Beräkningarna för dataframtagningen hittas under projekt M i Appendix A.4 (hantering av grundvatten).

Tabell 8. Skapade underprocesser och tilldelning av Ecoinvent process för grundvattenhantering med hjälp av data från Envytech. Gp = geografisk plats

Underprocess	Data från Envytech [enhet/m ³]	Ecoinvent process		
		Aktivitet	Gp	Enhet
Pumpning länsvatten				
Produktion pump	0,0012 ^a	”Water pump, 22 kW”	GLO	unit
Elförbrukning pump	0,25 ^a	”Market for electricity, low voltage”	SE	kWh
Rening länsvatten, mobilt reningsverk				
Produktion mobilt reningsverk	0,0012 ^a	”Intermodal shipping container production, 20-foot”	GLO	unit
Elförbrukning mobilt reningsverk	2,5 ^a	”Market for electricity, low voltage”	SE	kWh
Elförbrukning fläkt	0,63 ^a	”Market for electricity, low voltage”	SE	kWh

^a Data har anpassats för att matcha Ecoinvents processer. Beräkningarna hittas i Appendix A.4 under projekt M.

De fallspecifika data och de antaganden som användes för respektive projekt samt de beräkningarna som gjordes beskrivs nedan.

Schaktning

Då Ecoinvents databas beskriver schaktning (med grävmaskin) i enheten m³ och de tre undersökta projekten i denna fallstudie redovisade uppgrävda massor i enheten ton användes en densitet, ρ , på 1,9 ton/m³. Detta anses vara en normal densitet för matjord⁷. Densiteten kan variera mellan 1,8–2,0 ton/m³ beroende på mängd innehåll av organiskt material i den

⁷ Jesper Karlström, Miljöfirman Konsult Sverige AB

uppgrävda jorden⁸. Volymen förorenade massor [m³] beräknades med hjälp av Ekvation 1. Tabell 9 visar mängd schaktade förorenade massor samt omräkning till volym schaktade förorenade massor för respektive projekt som användes som indata i AB.

$$V_{fm} = \frac{m_{fm}}{\rho} \quad (1)$$

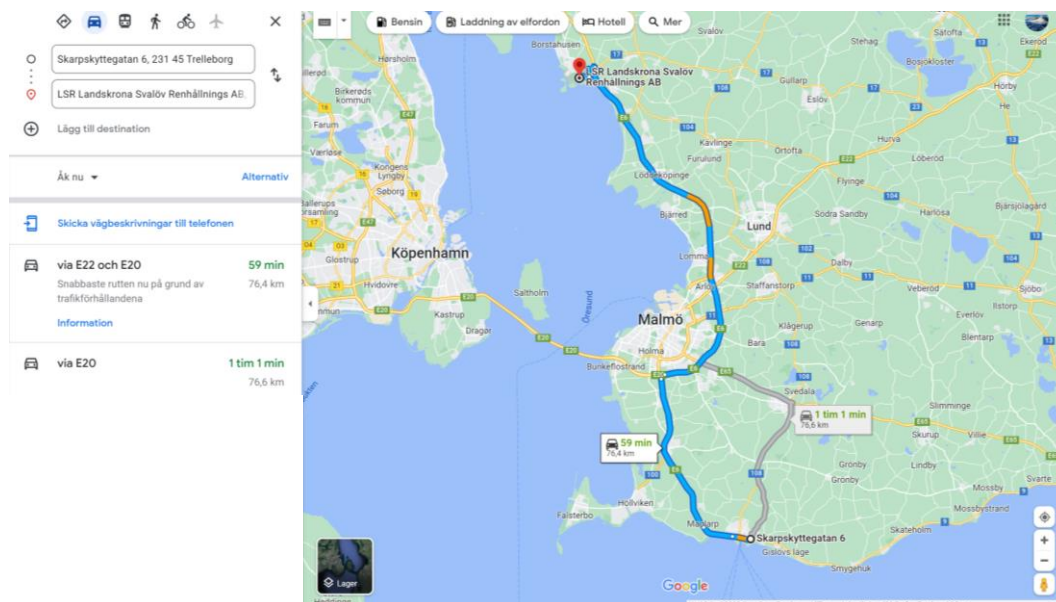
Där V_{fm} är volym förorenade massor som behandlas [m³], m_{fm} är mängd förorenade massor [ton] och ρ är densitet för jord dvs 1,9 ton/m³.

Tabell 9. Mängd och volym förorenade massor som schaktades för respektive projekt exklusive asfalt och betong

Projekt	m_{fm} [ton]	V_{fm} [m ³]
M	47 759	25 136
G	7 602	4 001
S	2 451	1 290

Transport av massor

Massorna som antogs transporteras med lastbil var förorenade, jungfruliga och återvunna massor. I relationshandlingarna för respektive projekt fanns det för de flesta fall specificerat hur stor mängd massor som transporterats och vart de transporterats. Transportavstånd från saneringsplatsen kunde således tas fram genom Google Maps. Den snabbaste sträckan med bil valdes. För att skilja sträckorna åt är de benämnda med bokstaven M, G eller S beroende på projekt samt med siffran 1, 2, 3 osv för respektive delsträcka. Till exempel Transport G1 som visas i Figur 10 där transportavståndet mellan saneringsplats G och deponianläggningen (LSR) bestämdes till 76,4 km. En sammanställning över transportsträckorna samt mängd material som transporterades för projekten hittas i Appendix A.2.



Figur 10. Exempelbild från Google Maps med avståndsberäkning av snabbaste rutten mellan saneringsplats i detta fall projekt G och deponianläggningen LSR.

⁸ Jesper Karlström, Miljöfirman Konsult Sverige AB

För Transport M1 fanns endast information om att de förorenade massorna transporterades till Ågab Syd AB. Då Ågab har fem anläggningar för mottagning av massor i Skåne, gjordes antagandet att transporten skett till den närmaste mottagningen. Även för transport M2 var det otydligt om alla massor transporterats till ett och samma ställe, men då det inte fanns någon annan information tillgänglig antogs massorna ha körts till den adressen som stod i relationshandlingen för projekt M. För transport av de jungfruliga massorna var det känt att Sydsten varit leverantör för makadam till projekt G. Då Sydsten har flera bergtäkter i Skåne valdes därför den närmsta i förhållande till projekt G dvs Stenberget (se Transport G3). För projekt S var det okänt varifrån de jungfruliga massorna kom ifrån. Därför valdes den anläggning som låg närmast baserat på 16 olika anläggningar (hittas i Appendix A.5) för leverans av makadam (se Transport S4). Osäkerheterna kring transporterna analyserades vidare i en känslighetsanalys, se avsnitt 3.1.2 känslighetsanalys.

Transportarbetet som användes för beräkningar av klimatpåverkan och resurshanteringen bestämdes genom Ekvation 2 och hittas för samtliga transportsträckor i Appendix A.4.

$$Ta_m = m \cdot x \quad (2)$$

Där Ta_m är transportarbete [tonkm], m är transportvikt [ton] och x är ruttavstånd [km].

För returtransport gjordes antagandet om tom returtransport. Förbrukningen antogs minska med 25 %⁹ för en tom bil, enligt Ekvation 3.

$$Ta_{retur} = Ta_m \cdot ETF \quad (3)$$

Där Ta_{retur} är transportarbete för returtransport [tonkm], ETF är bränsleförbrukningsfaktor för tom lastbil. ETF sattes till 0,75.

Behandling av förorenade massor på deponi

Som tidigare beskrivits under avgränsningar gjordes antagandet att de förorenade massorna som klassats enligt MRR och KM återanvändes direkt i andra projekt. Resterade massor (MKM, IFA och FA) deponerades. För projekt M innebar det att 97 % av massorna som schaktades deponerades. Medan för projekt G och S deponerades samtliga schaktade massor (100 %), se Tabell 10.

Tabell 10. Mängd massor [ton] som bortforslas och behandlas på deponi för respektive projekt

Projekt	Mängd massor som behandlas på deponi [ton]
M	46 217 (97 %)
G	7 602 (100 %)
S	2 451 (100 %)

I Ecoinvents aktivitet för modellering av en deponi inkluderades förutom bränsle till maskiner även utsläpp ifrån deponigasförbränning och hantering av lakvatten.

Provtagning efter schaktning

En beskrivning av indata för transport av personal och transport av prover beskrivs nedan. Ingen skillnad gjordes mellan jord- och vattenprover.

⁹ Sydsten mailkonversation 2022-11-24

För personaltransport bestämdes avståndet mellan saneringsplats och Miljöfirmans kontor i Google Maps. Den totala transportsträckan som användes för beräkningar av klimatpåverkan och resurshanteringen bestämdes genom Ekvation 4. En sammanställning ses i Tabell 11.

$$Tot_{ts} = Tav_{s-M} \cdot P_{till} \quad (4)$$

Där Tot_{ts} är total transportsträcka [km], Tav_{s-m} är avstånd mellan saneringsplats och Miljöfirman [km] och P_{till} är antal tillfällen för provtagning [st].

Tabell 11. Avstånd mellan saneringsplats och Miljöfirman (Tav_{s-M}) [km], tillfällen provtagning (P_{till}) [st] och totala transportsträckan (Tot_{ts}) [km] som användes för beräkningarna av personaltransport i AB

Projekt	Tav_{s-M} [km]	P_{till} [st]	Tot_{ts} [km]
M	6,2	27 ^a	335
G	35,7	15	1 071
S	27,2	5	272

^a Beräknat på 23 tillfällen för jord- och 4 för vattenprovtagning

För transport av prover var antal prover som tagits på respektive saneringsplats känt från respektive projekts relationshandling, se Tabell 12. Totalvikten på proverna bestämdes genom Ekvation 5.

$$Tot_p = P_{antal} \cdot P_{vikt} \quad (5)$$

Där Tot_{vp} är totalvikt för prover [kg], P_{antal} är antal prover [st] och P_{vikt} är vikt per prov [kg/st]¹⁰.

Proverna antogs fraktas med lastbil mellan saneringsplats och laboratoriet. Avstånden bestämdes i Google Maps, och sammanfattas i Tabell 12. Transportarbetet som användes för beräkningar av klimatpåverkan och resurshanteringen bestämdes genom Ekvation 6.

$$Ta_p = Tot_p \cdot Tav_{s-l} \quad (6)$$

Där Ta_p är transportarbete för prover [tonkm] och Tav_{s-l} är avstånd mellan saneringsplats och laboratoriet [km].

Tabell 12. Antal prover (P_{antal}) [st], totalvikt för prover (Tot_p) [kg], avstånd mellan saneringsplats och laboratoriet (Tav_{s-l}) [km] och transportarbete för prover (Ta_p) [tonkm] för respektive projekt

Projekt	P_{antal} [st]	Tot_p [kg]	Tav_{s-l} [km]	Ta_p [tonkm]
M	520 ^a	243	623	152
G	134 ^b	63	653	41
S	93 ^b	44	398	17

^a 511 jordprover och 9 vattenprover

^b Endast jordprover

Produktion av materialskiljande lager

Materialskiljande lager är vanligt förekommande vid olika typer av markarbeten, inte bara för saneringar. För samtliga projekt användes geotextil som materialskiljande lager, men då mängden geotextil som användes för respektive projekt var okänt, gjordes antagandet att det

¹⁰ Varje prov antogs väga 0,468 kr/st. Detta efter antagandet om att en diffusionspåse per prov använts för samtliga tre projekt där påsen fyllts upp till strecket, se Appendix A.11.

lagts ut lika mycket geotextil som storleken på saneringsområdet (m^2). Åtgången av geotextil beräknades genom Ekvation 7.

$$Tot_{geo} = Geo_{vikt} \cdot Area_s \quad (7)$$

Där Tot_{geo} är åtgång av geotextil [kg], geo_{vikt} är densitet för geotextil [kg/m^2]¹¹ och $Area_s$ är storlek på saneringsområde [m^2].

En sammanställning av åtgång geotextil ses i Tabell 13.

Tabell 13. Storlek på saneringsområde ($Area_s$) [m^2] och totala åtgången på geotextil (Tot_{geo}) [kg] för respektive projekt

Projekt	Area _s [m^2]	Tot _{geo} [kg]
M	9 771	1 075
G	3 438	378
S	2 924	322

Produktion av jungfruliga massor

För projekt G och S fanns det inte specificerat i respektive relationshandling mängden återfyllnadsmaterial. Därför gjordes antagandet att schaktgropen fylldes igen med samma mängd återfyllnadsmaterial som mängd schaktade förorenade massor (förhållande 1:1), enligt Ekvation 8. För beräkningarna användes en belastningsfaktor, LF som sattes till 1. LF varierades sedan i känslighetsanalysen, se avsnitt 3.1.2 känslighetsanalys. För projekt M var mängden återfyllnadsmassor specificerat till 33 180 ton där 100 % av mängden bestod av återvunna massor ($m_{\hat{a}m}$), se Tabell 14.

$$m_{\hat{a}f} = LF \cdot m_{fm} \quad (8)$$

Där $m_{\hat{a}f}$ är mängd återfyllnadsmaterial [ton], $LF = 1$ och m_{fm} är mängd förorenade massor [ton].

För projekt G, som låg i anslutning till en förskola, antogs hälften (50 %) av återfyllnadsmassorna bestå av återvunna massor och andra hälften (50 %) av jungfruliga massor (m_{jm}). Medan för projekt S, som senare skulle exploateras, antogs 100 % av återfyllnadsmassorna bestå av jungfruliga massor. De jungfruliga massorna antogs vara av makadam. I exploateringsprojekt gäller generellt att vid nybyggnation av hus används återvunna massor upp till 1 meter under husgrund och till 0,3 meter under markytan runt omkring nybyggnationen. Övrig återfyllnad görs vanligtvis med jungfruliga massor som till exempel makadam. Detta resonemang kan användas i nästan alla typer av exploateringsprojekt. Om det inte finns tillgång på återvunna massor under entreprenadarbetena, används jungfruliga massor. Ska marken inte exploateras finns det olika alternativ. Om det finns tillgängliga återvunna massor som uppfyller åtgärds målet för projektet kan dessa användas. Återvunna massor som består av makadam, sand, grus och sten

¹¹ Beräkningen gjordes genom att anta en omräkningsfaktor på 0,11 kg geotextil/ m^2 geotextil (Svenska Geotech u.å.).

(typiska fyllnadsmassor) är lättare att återanvända än lera, lermorän, matjord och silt¹². En sammanställning över återfyllnadsmaterialen för de tre projekten ses i Tabell 14.

Tabell 14. Total mängd återfyllnadsmassor (m_{af}) som använts för respektive projekt samt fördelningen av mängd jungfruliga massor (m_{jm}) och mängd återvunna massor (m_{am})

Projekt	m_{af} [ton]	m_{jm} [ton]	m_{am} [ton]
M	33 180 ^a	0 ^a	33 180 ^a
G	7 602 ^b	3 801 ^b	3 801 ^b
S	2 451 ^b	2 451 ^b	0 ^b

^a Specificerat i relationshandling

^b Antagande, beräknat genom Ekvation 8

Lastning av återfyllnadsmassor

Lastningen av återfyllnadsmassorna antogs ske med hjullastare. Samma densitet, 1,9 ton/m³ som för schaktning av de förorenade massorna användes vid beräkningarna, se Ekvation 9. Tabell 15 visar den totala volymen massor som lastades för respektive projekt efter omräkning.

$$V_{\text{last}} = \frac{m_{\text{af}}}{\rho} \quad (9)$$

Där V_{last} är totala volymen återfyllnadsmassor som lastades på hjullastare [m³], m_{af} är total mängd återfyllnadsmassor som lastades på hjullastare [ton] och $\rho = 1,9$ ton/m³.

Tabell 15. Totala mängd (m_{af}) [ton] och volym (V_{last}) [m³] återfyllnadsmassor som lastades på hjullastare

Projekt	m_{af} [ton]	V_{last} [m ³]
M	33 180	17 463
G	7 602	4 001
S	2 451	1 290

Utspridning av återfyllnadsmassor

Efter tippning av återfyllnadsmassorna på schaktplatsen för respektive projekt antogs massorna spridas ut med en grävmaskin av samma typ som för själva schaktningen av de förorenade massorna. Antagande om att hälften (50 %) av återfyllnadsmassorna hamnade på rätt plats direkt användes, medan andra hälften behövdes flyttas med grävmaskin. En distributionsfaktor, DF användes enligt Ekvation 10. På samma sätt som för schaktning av de förorenade massorna antogs en densitet på 1,9 ton/m³. En sammanställning ses i Tabell 16.

$$V_{\text{flytt}} = DF \cdot \frac{m_{\text{tipp}}}{\rho} \quad (10)$$

Där V_{flytt} är volymen återfyllnadsmassor som flyttas med grävmaskin [m³], DF är distributionsfaktor vilket sattes till 0,5, m_{tipp} är mängd återfyllnadsmassor som tippas i schaktgrop [ton] och $\rho = 1,9$ ton/m³.

¹² Jesper Karlström Miljöfirman Konsult Sverige AB

Tabell 16. Totala mängden (m_{tipp}) [ton] och volymen (V_{flytt}) [m^3] återfyllnadsmassor som antogs flyttas med grävmaskin efter att massorna tippats i schaktgrop

Projekt	m_{tipp} [ton]	V_{flytt} [m^3]
M	33 180	8 732
G	7 602	2 001
S	2 451	645

3.1.4 Miljöpåverkansbedömning (LCIA)

Det finns olika metoder för att bedöma miljöpåverkan i en LCA. I detta examensarbete har IPCC 2013 använts. IPCC beskriver klimatpåverkan genom global uppvärmningspotential (GWP) som karaktäriseringsfaktor. Tabell 17, visar GWP värden för några av de växthusgaserna som användes i enighet med IPCC 2013 för en tidshorisont på 100 år.

Tabell 17. GWP-värden för koldioxid, metan och lustgas enligt IPCC 2013 med en tidshorisont på 100 år (IPCC 2013). Dessa värden användes i fallstudien

Växthusgas	GWP-värden enligt IPCC 2013
Koldioxid (CO_2)	1
Metan (CH_4)	28
Lustgas (N_2O)	265

Förutom klimatpåverkan studerades även resursanvändningen med avseende på energi, bränsle och masshantering i en MEFA, se avsnitt 3.1.4.

Känslighetsanalys

För LCA:n gjordes även en känslighetsanalys. Känslighetsanalysen delades upp i två delar. I den första delen, variabelanalysen, varierades olika parametrar för att se hur dessa påverkade det totala resultatet. I den andra delen, systemanalysen, ändrades drivmedel för transport av massor till RapsMetylEster (RME) och Hydrerad Vegetabilisk Olja (HVO) i stället för diesel. Detta för att se hur drivmedelstypen påverkade resultatet. Anledning till att RME och HVO valdes var för att data fanns att tillgå. Tillvägagångssättet för de båda analyserna beskrivs nedan.

I variabelanalysen gjordes en känslighetsanalys på osäkra parametrar för de tre projekten. Parametrarna delades in i två kategorier; icke projektspecifika och projektspecifika parametrar. För icke projektspecifika varierades fyra parametrar; 1. Densitet för jord (ρ), 2. Distributionsfaktor (DT), 3. Belastningsfaktor (LT) och 4. Bränsleförbrukningsfaktor för tom lastbil (EFT). Varje parameter tilldelades två scenarion, scenario a och scenario b, se Tabell 18. ρ tillsattes 1,52 respektive 2,28 ton/m^3 vilket är en +/- 20 % ändring i förhållande till defaultvärdet 1,9 ton/m^3 . Enligt teorin varierar ρ beroende på till exempel vattenmängd, organiskt innehåll och fraktionsandel (mängd sand, grus, lera, silt). Tidigare studier på området har använt sig av en densitet för jord mellan 1,5–2,0 ton/m^3 (Andersson et al. 2008; Suer & Andersson-Sköld 2011; Cappuyns 2013; Voccianta et al. 2021). DF , som innefattade antagandet om utspridning av återfyllnadsmassorna ändrades till 0 respektive 100 %. LF , varierades mellan 0 % och 69,5 %. LF påverkade bara projekt G och S, då belastningsfaktorn för projekt M redan var känd från relationshandlingen. ETF varierades mellan 0 % och 100 %. Med ETF 100 % skulle alltså förbrukningen för en tom lastbil vara lika stor som förbrukningen för en full lastbil. Totalt skapades således sex fall för de ps parametrarna; Ma,

Mb, Ga, Gb, Sa och Sb. Därefter varierades en parameter i taget så att vardera scenario (a och b) erhöll fyra resultat, en för varje parameter.

Tabell 18. *Icke projektspecifika parametrarna som varierades i känslighetsanalysen enligt scenario 1 och 2. Densitet jord (ρ), distributionsfaktor (DF), belastningsfaktor (LT) och bränsleförbrukningsfaktor (ETF) för en tom lastbil*

Parameter	Enhet	Default	Scenario a	Scenario b
ρ	Ton/m ³	1,90	1,52	2,28
DF	-	0,50	0,25	1,00
LF	-	1,00	0,00	0,695 ^a
ETF	-	0,75	0,00	1,00

^aAntagande om lika stor andel (69,5 %) återfyllnadsmassor som använts för projekt M.

Ps parametrarna visas i Tabell 19. Samtliga parametrar är transportavstånd som varierades på grund av osäkra data. Två transportsträckor från projekt M (se M1, M2) varierades och därutöver varierades en transportsträcka för projekt G (se G3) och projekt S (se S4). Transportsträckorna varierades enligt ett medel- och ett maxavstånd baserat på beräkningar från 16 olika anläggningar i Skåne (se Appendix A.5).

Tabell 19. *Projektspecifika parametrar som varierades i känslighetsanalysen enligt ett medel- och ett maxavstånd som beräknades utifrån 16 olika anläggningar i Skåne (se Appendix A.5). Enhet i km*

Transportsträcka	Default	Medelavstånd	Maxavstånd
M1	7,9	27,1	60,8
M2	32,4	27,1	60,8
G3	43,1	52,0	72,0
S4	17,5	40,5	82,7

Resultaten från variabelanalysen redovisades enligt Ekvation 11 i tabellform.

$$\Delta KP = \frac{(KP_{d,x} - KP_{v,x})}{KP_{d,x}} \quad (11)$$

Där ΔKP är skillnaden i klimatpåverkan uttryckt i procent (%), KP_d är klimatpåverkan från defaultvärde för respektive enskild parameter x (ips eller ps), KP_v är klimatpåverkan från variabelanalysen när respektive parameter x ändrades.

I systemanalysen ändrades drivmedeltypen till RME respektive HVO för samtliga transporter med lastbil. Data för RME hämtades från Ecoinvents aktivitet "transport, freight, lorry 28 metric ton, vegetable oil methyl ester 100%". RME står för rapsmetylester och produceras genom att rapsolja och metanol får reagera under högt tryck och hög temperatur (Lantmännen u.å.). Vid reaktionen bildas RME och glycerol. RME består till 90 % av rapsolja och 10 % och ingår i samlingsnamnet FAME (Fatty Acid Methyl Ester) vilket med ett annat ord kallas för biodiesel. Bränslen som går under namnet FAME använder i huvudsak vegetabiliska oljor som råvara (Preem 2019; Lantmännen u.å.).

Data för HVO fanns inte i Ecoinvent och hämtades i stället från f3, ett nätverk som samlar information om biodrivmedel (Hallberg et al. 2013). De har tillsammans med IVL tagit fram en LCI-databas för olika typer av transportbränslen, dels för ett "well-to-tank" (WTT)-, dels för ett "tank-to-wheel" (TTW)-perspektiv. WTT innebär de utsläpp som sker till följd av produktion och distribution av bränslet, medan TTW innebär de utsläpp från förbränning av

bränslet i förbränningsmotor. Genom att titta på ett ”well-to-wheel” (WTW)-perspektiv erhålls den totala miljöpåverkan för bränslet (Hallberg et al. 2013). De datablad från f3 som användes i beräkningarna ses i Tabell 20. Ecoinvents aktivitet ”transport, freight, lorry 16–32 metric ton, EURO6” modifierades med f3s-data. Strukturen för HVO är i princip identisk med fossil diesel, men räknas som ett förnyelsebart bränsle då det produceras från vegetabiliska oljor eller animaliska fetter (Neste 2022). I Sverige används idag framför allt HVO tillverkad på tallolja och animaliska fetter (Energimyndigheten 2022), men då data för dessa råvaror inte hittades användes data för raps- och palmolja.

Tabell 20. Namn på de datablad enligt f3 som användes i beräkningarna för HVO

Perspektiv	Titel Excelark enligt f3
WTT	D6_Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) - Rape seed oil, cradle-to-gate, system expansion - f3 fuels.xlsx
	D7_Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) - Palm oil, cradle-to-gate, system expansion - f3 fuels.xlsx
TTW	D6&7_HVO combustion in heavy duty truck or bus, Euro VI, tank-to-wheel - f3 fuels.xlsx

3.1.5 Material- och energiflödesanalys

Ett sätt för att bedöma resurshanteringen av en produkt, system eller tjänst är att göra en material- och energiflödesanalys, MEFA. I detta examensarbete användes webbprogrammet SankeyMATIC för att skapa flödesdiagrammen (Steve Bogart 2023). Tre olika diagram skapades, ett med hanterade massor, ett för total åtgång av bränsle och det sista med total energi för respektive projekt i fallstudien. Underlag till flödesdiagrammen byggde på LCA-beräkningarna som gjorts med data från Ecoinvent. Data inputs till MEFAn hittas i Appendix A.6. Beräkningarna för bränsleåtgång hittas i Appendix A.7. Energiberäkningarna utfördes på samma sätt för samtliga projekt, där en exempelberäkning för projekt M visas i Appendix A.8. Samtliga resultat för energianvändningen finns i Appendix A.9.

3.2 Litteraturstudie

För att kunna besvara den andra frågeställningen och jämföra resultaten från fallstudien med tidigare studier gjordes en litteraturstudie. Uppsala Universitetsbibliotek (UUb) och Google Scholar (GS) användes som databaser vid sökning av vetenskapliga artiklar. Sökord som till exempel ”LCA”, ”remediation”, ”contaminated land” och ”climate impact” inkluderades och olika typer av synonymer till sökorden och kombinationer användes genom att använda de booleska sökoperatörerna AND och OR. Tabell 21 visar antal träffar för databaserna UUb respektive GS vid fyra olika kombinationer av sökord.

Tabell 21. Antal träffar för databaserna Uppsala Universitetsbibliotek (UUb) och Google Scholar (GS) vid fyra olika kombinationer av sökord

Sökning	Komponering av sökord	Antal Träffar UUb	Antal träffar GS
1	excavation OR remediation AND lca OR "life cycle analysis" OR "life cycle assessment" AND remediation OR "ex situ" OR "in situ" AND "climate impact" OR "carbon footprint" OR "carbon dioxide" AND "contaminated land" OR contaminated site" OR brownfield	1 380 690	4 540
2	"ex situ remediation" OR "in situ remediation" OR "excavation" AND lca OR "life cycle analysis" OR "life cycle assessment" AND "climate impact" OR "carbon footprint" OR "carbon dioxide" OR "carbon dioxide equivalents"	919 044	5 020
3	"life cycle assessment" OR "life cycle analysis" OR lca AND "sustainable remediation" OR sustainability AND "contaminated land" OR remediation	289 330	18 600
4	lca OR "life cycle analysis" OR "life cycle assessment" AND remediation OR "contaminated land" AND "ex situ remediation" OR "in situ remediation"	63 074	1 300

För ytterligare avgränsning av litteratursökningen i Tabell 21 användes inklusionskriterier för att lättare hitta relevanta artiklar som stämde överens med examensarbetets syfte. En begränsning som gjordes var att endast artiklar publicerade mellan åren 2008–2023 skulle visas i sökhistoriken då stor vikt lades vid relativt nypublicerade artiklar i och med att livscykelanalyser utvecklas och är ett förhållandevis nytt verktyg i branschen. Dessutom tilläts artiklar skrivna både på svenska och engelska. Internationella studier tilläts, då antalet svenska studier visade sig vara begränsat. Geografisk plats för studien var även ett viktigt urval då studier med liknande klimat och förutsättningar som Sverige användes. Artiklar från Nordamerika och Europa användes medan artiklar från platser i Asien där klimatet skiljer sig markant från Sverige valdes bort. Totalt lästes 60 + 45 abstracts ur vetenskapliga artiklar för UU respektive GS. I ett ytterligare urval valdes flera artiklar bort på grund av att de inte beskrivit hur stor mängd eller volym förorenade massor som sanerats eller att flera saneringsmetoder ingick i livscykelanalysen och där varje metod inte gick att urskilja. Dessutom var ett krav att artikeln gav en kvantitativ uppskattning av klimatpåverkan uttryckt i växthusgasutsläpp i enhet CO₂-ekvivalenter. Efter urvalet sammanställdes sju artiklar. De valda artiklarna som användes i litteraturstudien presenteras i Tabell 22. För att jämföra studierna åt normaliserades växthusgasutsläppen enligt Ekvation 12. Totalt jämfördes 49 olika saneringsprojekt med fallstudien. Majoriteten av saneringsprojekten innefattade resultat från flera miljöpåverkanskategorier samtidigt.

$$N_{GHG} = \frac{Tot_{CO_2}}{V_{fm}} \quad (12)$$

Där N_{GHG} är normaliserat växthusgasutsläpp [ton/m³], Tot_{CO_2} är totala CO₂-ekvivalent utsläppet för saneringsmetoden [ton] och V_{fm} är volymen förorenade massor som behandlas [m³].

Tabell 22. LCA-studier som inkluderades i litteraturstudien

Författare (år)	Saneringsmetod	Föroreningstyp	Land/region	Kommentar
Andersson et al. (2008) ^a	Biologisk behandling in situ och ex situ off-site ^b	Alifater, aromater, BTEX	Sverige/södra	Alternativen jämfördes med noll-scenario.
Busset et al. (2012) ^a	Biologisk behandling ^b , termisk behandling ex situ	PCB	Frankrike	Med mekanisk/elektrisk luftning för biologisk behandling
Ferdos och Rosén (2013) ^a	Jordtvätt, porgasextraktion, schaktsanering + deponering, solidifiering/stabilisering	Alifater, aromater, metaller, PAH	Sverige/Mölndal	
Lemming et al. (2010) ^a	Biologisk behandling och termisk behandling in situ	Klorerande alifater	Danmark/Köpenhamn	Alternativen jämfördes med "no action"
Papageorgiou (2021) ^a	Biokol ^b	Metaller, PAH	Sverige/Helsingborg	Jämförde off-samt on-site
Suer och Andersson-Sköld (2011) ^a	Schaktsanering + deponering	Alifater, aromater, BTEX	Sverige	Alternativ jämfördes med "no action"
Voccianti et al. (2021)	Elektrokemisk oxidation, fytosanering ^b , jordtvätt, schaktsanering + deponering ^b	Metaller	Italien/Toscana	

^aArtikel undersökte fler miljöpåverkanskategorier än bara klimatpåverkan (GWP100).

^bMedelvärde beräknades då studien utvärderat samma metod (med vissa ändringar) flera gånger där resultaten var snarlika.

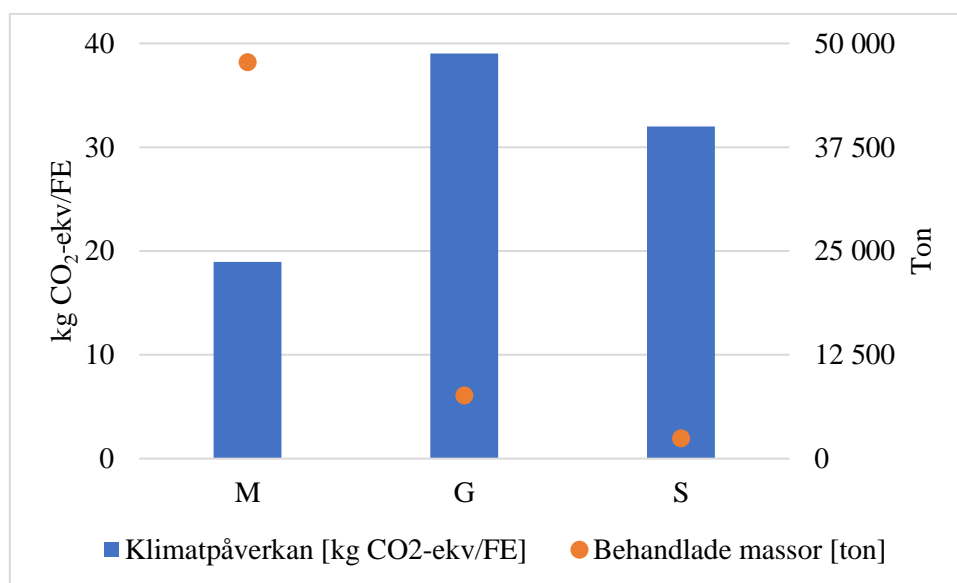
4. Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten från fallstudien där dels en LCA, dels en MEFA utfördes. Därutöver redovisas resultaten från den litteraturstudie som gjordes.

4.1 Fallstudie

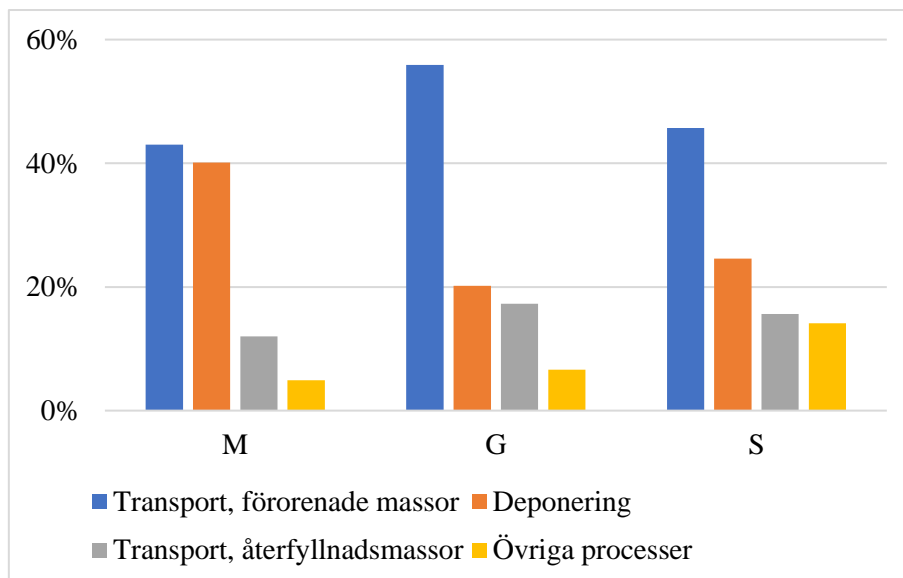
4.1.1 LCA

Figur 11 visar klimatpåverkan uttryckt i kg CO₂-ekv/ton behandlade massor för respektive projekt. Längst klimatpåverkan (19 kg CO₂-ekv/FE) har projekt M. För projekt S erhöles klimatpåverkan på 32 kg CO₂-ekv/FE medan projekt G genererade den högsta klimatpåverkan (39 kg CO₂-ekv/FE) av de tre projekten. Total mängd behandlade massor skiljer sig åt för de tre projekten där största mängden massor hanterades i projekt M.



Figur 11. Klimatpåverkan uttryckt i kg CO₂-ekv i förhållande till ton behandlade massor.

I Figur 12 visas fördelning av klimatpåverkan för de tre projekten. För samtliga projekt bidrar transport av förorenade massor till mer än 40 % (43–56 %) av den totala klimatpåverkan. Därutöver bidrar deponering till mellan 20–40 % och transport av återfyllnadsmassor till 12–17 % av totala klimatpåverkan. De tre största processerna bidrar tillsammans till mellan 86–95 % av totala klimatpåverkan beroende på projekt. För projekt S står övriga processer för 14 % av klimatpåverkan, där produktion av återfyllnadsmassor i form av jungfruliga råvaror dvs makadam står för 11 % av dessa.



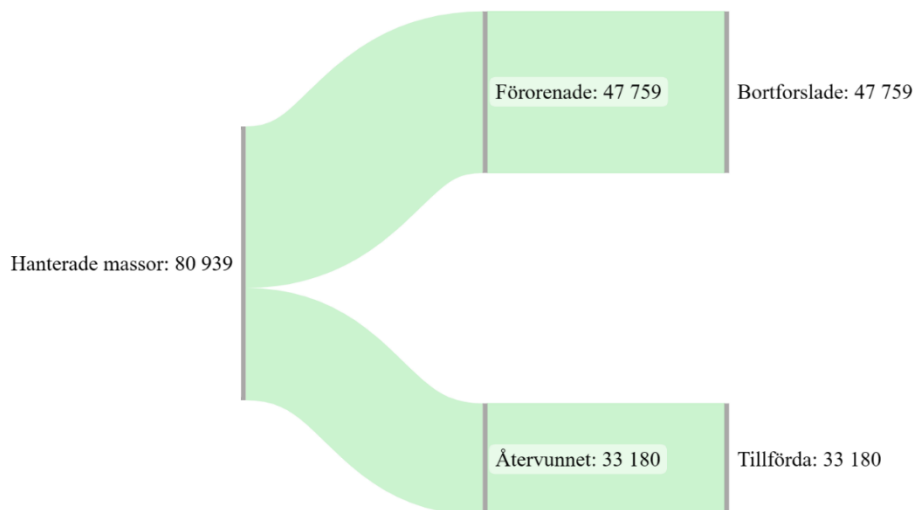
Figur 12. *Fördelning av klimatpåverkan på de tre största processerna "Transport av förorenade massor", "Deponering" samt "Transport återfyllnadsmassor" för respektive projekt M, G & S.*

4.1.2 MEFA

En sammanställning över resultaten från MEFA redovisas nedan för respektive projekt M, G och S.

Projekt M

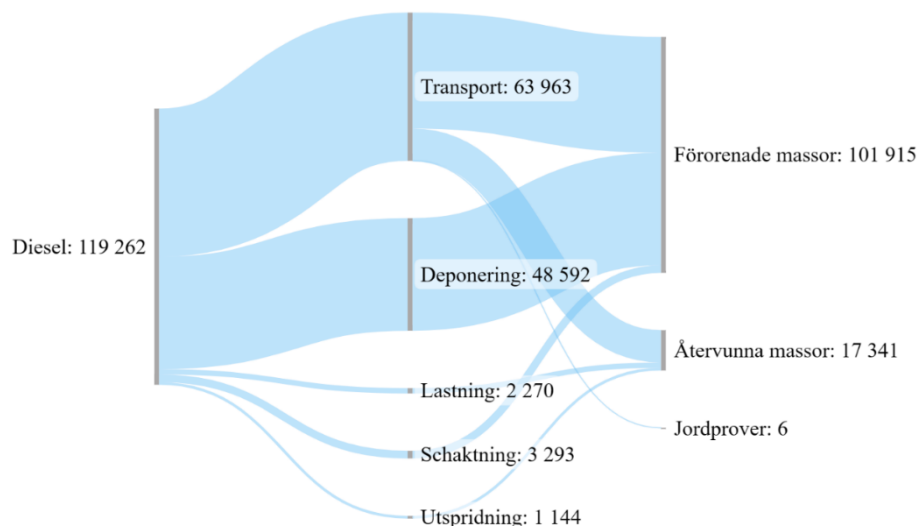
Figur 13 visar ett flödesdiagram för massorna som hanterades för projekt M. För projekt M hanterades totalt 80 939 ton massor, av dessa forslades 47 759 ton bort från saneringsplatsen och 33 180 ton tillfördes för att återfylla schaktgropen.



Figur 13. *Flödesdiagram för de hanterade massorna för projekt M. Enhet i ton.*

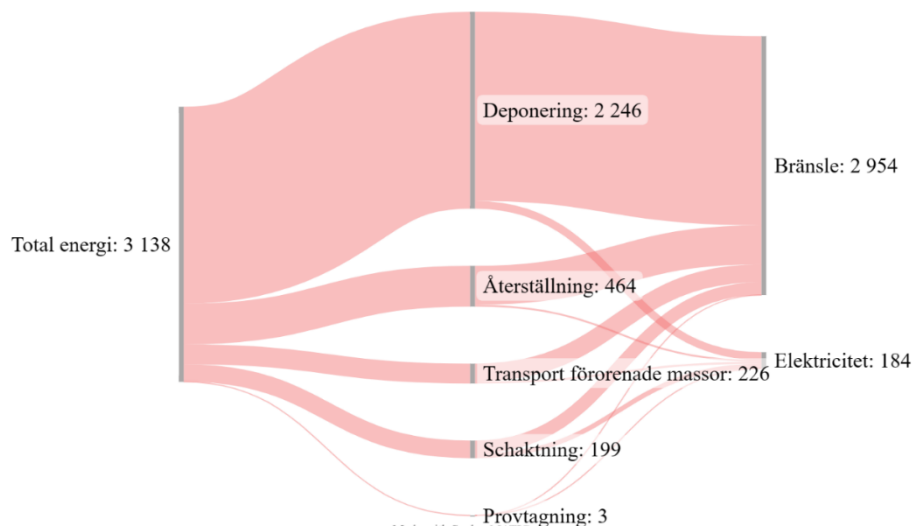
För hantering av massorna i Figur 13 krävdes ca 119 ton diesel, se Figur 14. Den största delen av diesel användes för att hantera de förorenade massorna som schaktats från projekt M. Totalt stod de för ca 85 % av den totala dieselåtgången. Processerna "transport" och "deponering" krävde störst resurser i form av diesel. Hantering av de återvunna massorna stod för 14,5 % av den totala dieselåtgången, där transporten av massorna stod för 80 % av dessa.

Processerna ”lastning”, ”schaktning” och ”utspridning” stod tillsammans för ca 6 % av den totala dieselåtgången. Transport av jordprover krävde minst resurser i form av diesel.



Figur 14. Flödesdiagram för total dieselåtgång för projekt M. Enhet i kg.

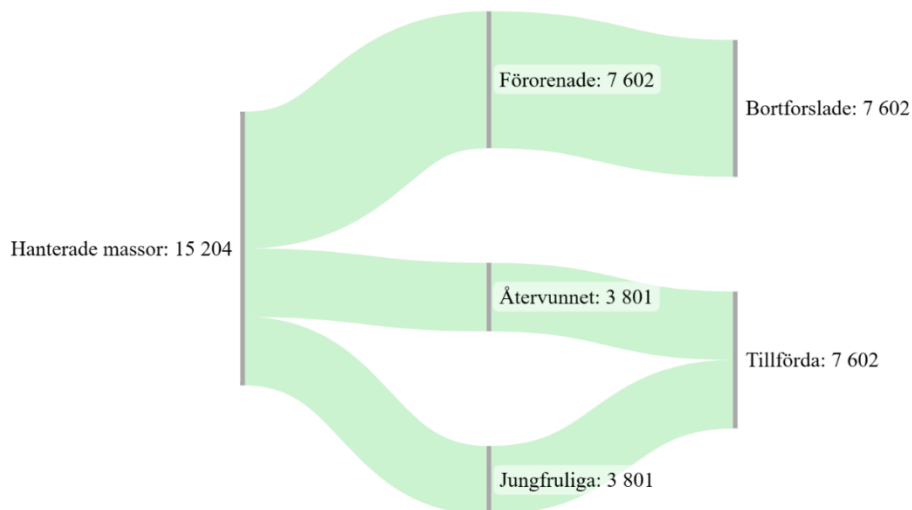
Den totala energin som användes för att genomföra projekt M ses i Figur 15. Den största energin fördelades ut till deponering av de förorenade massorna (71,6 %). Återställningsarbetet för projekt M och transporten av de förorenade massorna stod för 14,8 % respektive 7,2 % av den totala energin. Schaktning och provtagning av jord krävde minst resurser i form av energi, 199 (6,3 %) respektive 3 (0,1 %) GJ. Användning av bränsle (diesel och bensin) stod för den största delen av den totala energin dvs 94 %.



Figur 15. Flödesdiagram för total energi för projekt M. Enhet i GJ.

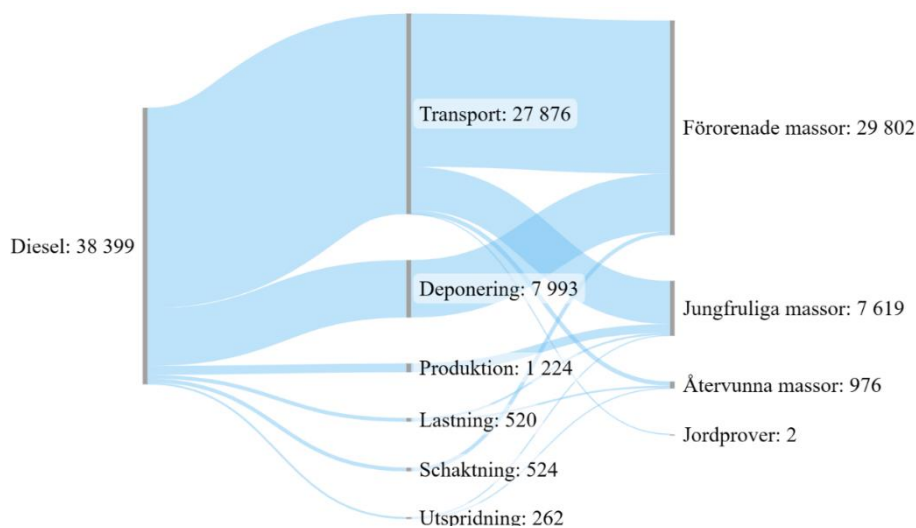
Projekt G

Figur 16 visar hur massorna för projekt G hanterades. Enligt antagande bortforslades lika stor mängd massor som det tillfördes, därav hanterades totalt 15 204 ton. Av de tillförda massorna stod de återvunna respektive jungfruliga massorna för en lika stor del, dvs 3 801 ton vardera.



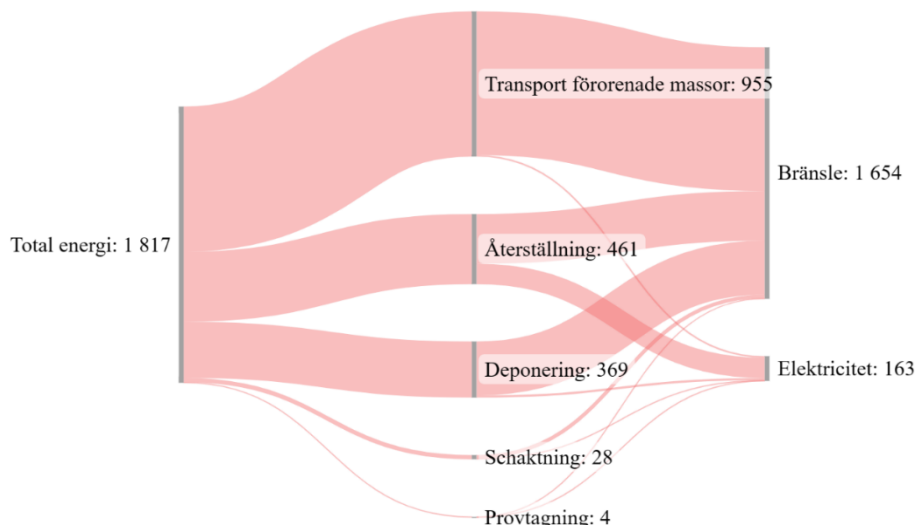
Figur 16. Flödesdiagram för de hanterade massorna för projekt G. Enhet i ton.

På samma sätt som för projekt M stod processerna ”Transport” och ”Deponering” för de största bidragen till dieselåtgång för projekt G, se Figur 17. Processerna ”Produktion”, ”Lastning”, ”Schaktning” och ”Utspridning” stod tillsammans för 6,6 % av totala dieselåtgången. De förorenade massorna som forslas bort från saneringsplatsen krävde mest resurser i form av diesel (77,6 %). De jungfruliga massorna stod för 19,8 % medan de återvunna massorna stod för 2,5 % av totala dieselåtgången. Hantering av jordproverna krävde minst resurser i form av diesel.



Figur 17. Flödesdiagram för total dieselåtgång för projekt G. Enhet i kg.

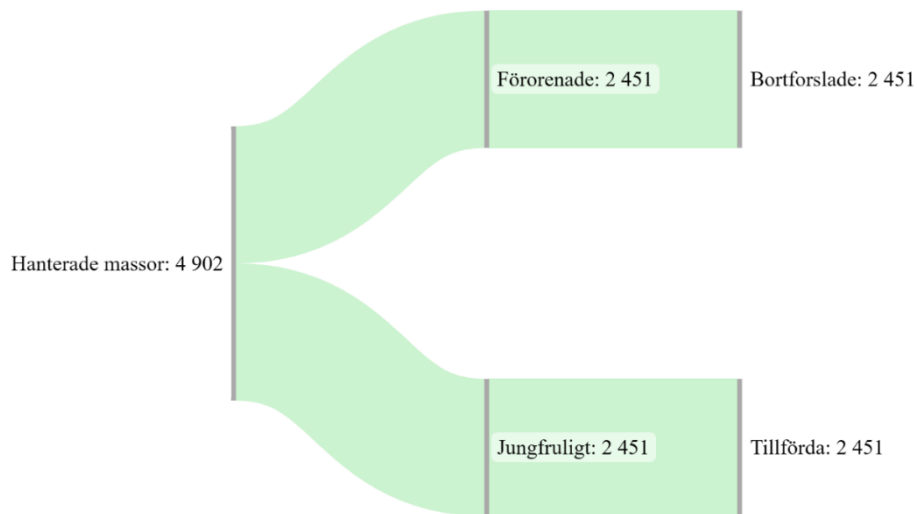
Flödesdiagram för totala energin för projekt G visas i Figur 18. Totala energin för projekt G som krävdes var 1 817 GJ. Dessa fördelades i sin tur ut på transport av förorenade massor, återställning, deponering, schaktning och provtagning. Transport av förorenade massor krävde mest resurser i form av energi dvs ca 53 %. Återställning och deponering krävde 25 % respektive 20 % av den totala energin. Schaktning och provtagning krävde minst resurser. Fördelningen av användning av bränsle och elektricitet var 1 654 respektive 163 GJ.



Figur 18. Flödesdiagram för total energi för projekt G. Enhet i GJ.

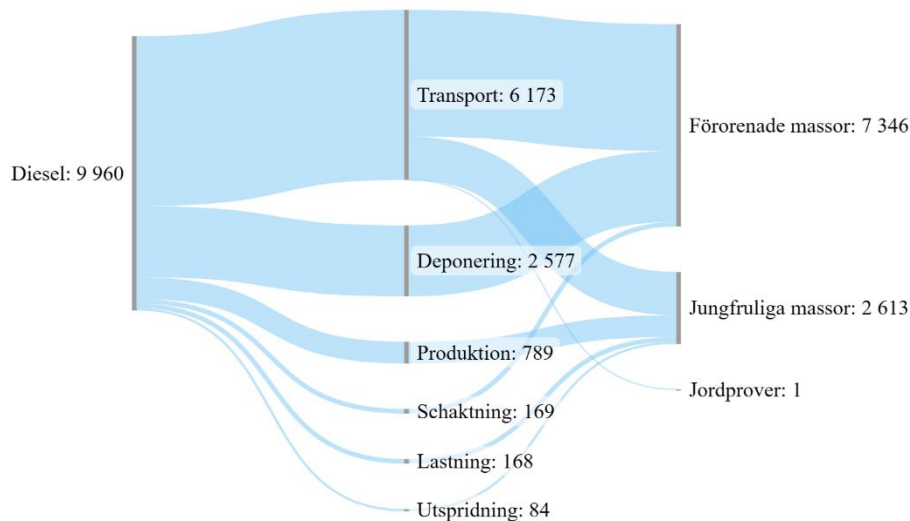
Projekt S

På samma sätt som för projekt G gjordes antagandet att det tillfördes lika stor mängd massor som det bortforslades från projekt S. Därav hanterades totalt 4 902 ton massor för projekt S. Av de tillförda massorna var 100 % jungfruliga massor (se Figur 19),



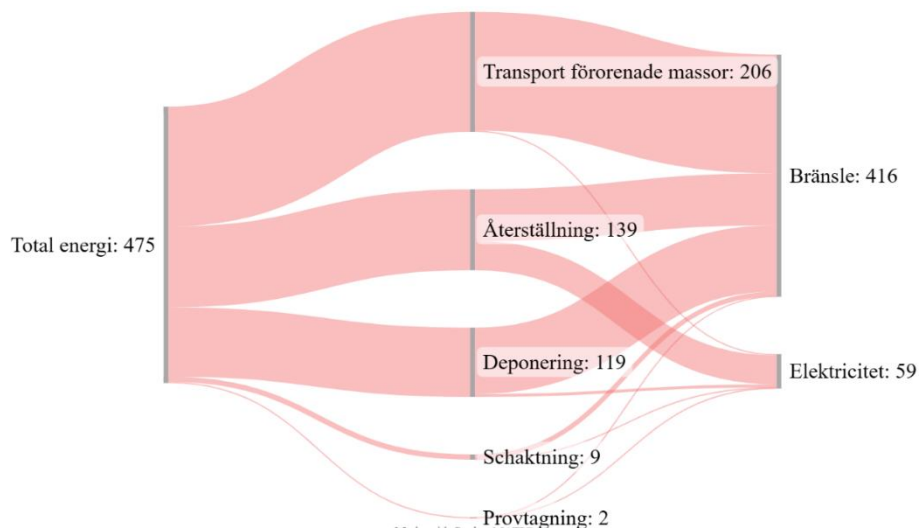
Figur 19. Flödesdiagram för de hanterade massorna för projekt S. Enhet i ton.

Fördelningen av dieselåtgången för projekt S redovisas i Figur 20. Totalt förbrukades 9 171 ton diesel. Dieselåtgången fördelades på processerna i ordning ”transport” (67,3 %), ”deponering” (28,1 %), ”schaktning” (1,84 %), ”lastning” (1,83 %) och ”utspridning” (0,92 %). Den största delen av dieselåtgången användes för att hantera de förorenade massorna som bortforslades från saneringsplatsen. För de jungfruliga massorna och hantering av jordproverna var transporten den största resursförbrukningen av diesel.



Figur 20. Flödesdiagram för total dieselåtgång för projekt S. Enhet i kg.

Den totala energin som krävdes för genomförande av projekt S var 475 GJ, se Figur 21. Transport av de förorenade massorna stod för 43 % av den totala energiåtgången. Återställningsarbetet och deponering stod för 29 respektive 25 %. Schaktning och provtagning stod för den minsta förbrukningen av energi. På samma sätt som för projekt M och G stod användningen av bränsle för den största energiförbrukningen. Elektriciteten stod för 12,4 % av den totala energianvändningen.



Figur 21. Flödesdiagram för total energi för projekt S. Enhet i GJ.

4.1.3 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen av de icke projektspecifika parametrarna redovisas i Tabell 23. Vid en förändring av densiteten av jord (ρ) till 1,52 ton/m³ för scenario a och till 2,28 ton/m³ för scenario b för respektive projekt M, G och S var skillnaden i total klimatpåverkan mellan 0,3–0,8 % gentemot klimatpåverkan med defaultvärdet 1,9 ton/m³. För scenario b minskade klimatpåverkan. Vid en ändring av distributionsfaktorn (DF) till 0,25 för scenario a och 1 för scenario b var skillnaden mellan 0,4–0,5 % beroende på projekt. För scenario a minskade klimatpåverkan gentemot när defaultvärdet 0,5 för DF användes. För belastningsfaktorn (LF) minskade klimatpåverkan för samtliga scenarion a och b för projekt G och S. För scenario a sattes $LF = 0$ vilket skulle innebära att saneringsplatsen inte återfylldes alls. För scenario b

sattes $LF = 0,695$, dvs återfyllnadsmängden var 69,5 % av totala mängden massor som bortforslades/schaktades från platsen. Vid en förändring av LF minskade klimatpåverkan med 7 ($LF = 0,695$) respektive 22,9 % ($LF = 0$) för projekt G samt med 8,5 respektive 27,9 % för projekt S. Defaultvärde för LF var 1. När bränsleförbrukningsfaktorn (ETF) för en tom lastbil ändrades varierade den totala klimatpåverkan. Med ett $ETF = 0$ minskade den totala klimatpåverkan med 23,6 %, 31,4 % och 26,3 % för projekt M, G och S jämfört med ett $ETF = 0,75$, se scenario a. Då förbrukning ansågs vara lika stor för en tom lastbil som förbrukningen för en full lastbil ($ETF = 1$) ökade klimatpåverkan med 7,9 %, 10,5 % samt 8,8 % för projekt M, G respektive S, se scenario b.

Tabell 23. Skillnad i total klimatpåverkan uttryckt i procent (%) mot defaultvärde vid förändring av enskild parameter för respektive scenario a och b för projekt M, G och S. Parametrar som varierades; densitet för jord (ρ), distributionsfaktor (DF), belastningsfaktor (LF) och bränsleförbrukningsfaktor (ETF) för en tom lastbil

Scenario	Parametrar			
	ρ	DF	LF	ETF
Ma	0,8	-0,5	-	-23,6
Mb	-0,5	0,5	-	7,9
Ga	0,4	-0,4	-22,9	- 31,4
Gb	-0,3	0,4	-7,0	10,5
Sa	0,5	-0,4	-27,9	-26,3
Sb	-0,4	0,4	-8,5	8,8

Känslighetsanalysen av de projektspecifika parametrarna redovisas i Tabell 24. Genom att ändra transportsträckorna M3, M4, G3 och S4 förändras den totala klimatpåverkan. Gentemot defaultvärdet blev skillnaden som minst 3,3 %, se sträcka M3, och som max 58,2 %, se sträcka S4. För sträcka M4 minskade klimatpåverkan för medelavståndet pga att denna sträcka var kortare än defaultvärdet. För resterande sträckor (M3, G3 och S4) var medelavståndet 1–3 ggr större än defaultvärdet vilket resulterade i att den totala klimatpåverkan ökade med 3,3 % för sträcka M3 och G3 samt 20,5 % för sträcka S4. När maxavstånden i stället användes i beräkningarna var den totala skillnaden större.

Tabell 24. Skillnad i total klimatpåverkan uttryckt i procent (%) mot defaultvärde för respektive transportsträcka

Transportsträcka	Medelavstånd	Maxavstånd
M1	3,3	9,0
M2	-6,8	36,5
G3	3,3	10,6
S4	20,5	58,2

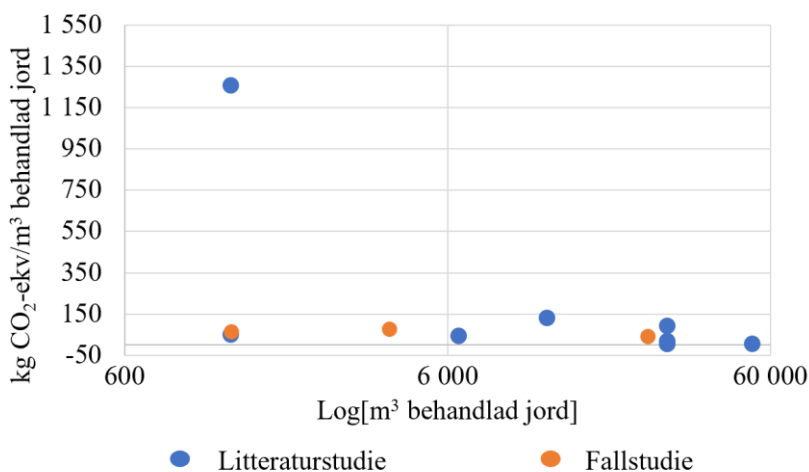
När bränsle för transportererna ändrades till HVO respektive RME visade resultaten på en generell minskning av den totala klimatpåverkan jämfört med om diesel användes för transportererna, se Tabell 25. För HVO berodde dock resultaten på om palm- eller rapsolja användes som råvara under produktionen. HVO tillverkad på palmolja resulterade nämligen i en något högre klimatpåverkan (<1 %) jämfört med diesel. Användningen av RME100 visade på den största minskningen av den totala klimatpåverkan, mellan 12,8–17,0 % för projekten. Med HVO tillverkad på rapsolja sågs en minskning på 6,4–8,5 % beroende på projekt.

Tabell 25. Skillnad i total klimatpåverkan uttryckt i procent (%) mot diesel som bränsle för respektive projekt

Projekt	HVO100 (palm)	HVO100 (raps)	RME100
M	0,7	-6,4	-12,8
G	0,9	-8,5	-17,0
S	0,7	-7,1	-14,2

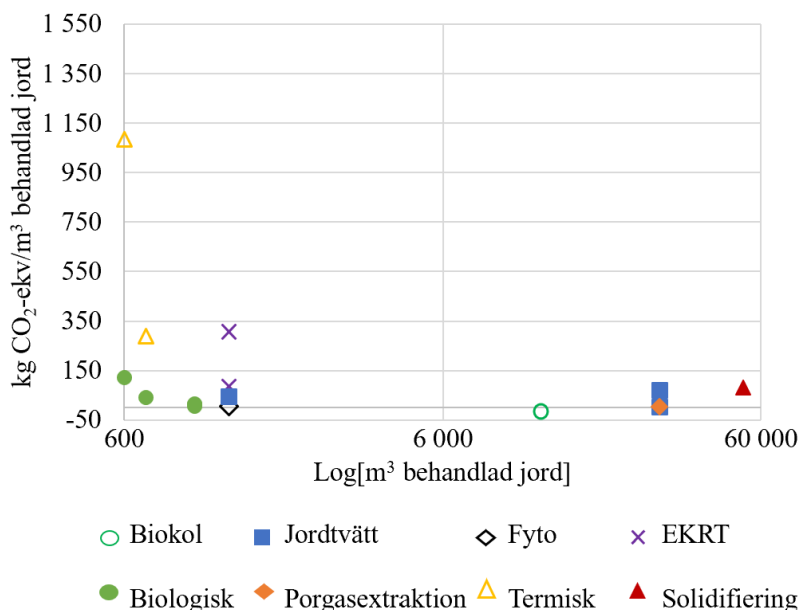
4.2 Litteraturstudie

En sammanställning över resultaten från litteraturstudien visas i Figur 25 och 26. Figur 25 visar normaliserat GWP över logartimerad volym behandlade massor för schaktsanering och bortforsling. De blåa punkterna (8 st) är resultat från litteraturstudien medan de orangea punkterna är resultatet från den fallstudie (3 st) som gjordes. Klimatpåverkan från fallstudien liknade resultaten från litteraturstudien, även om det fanns en variation mellan punkterna. Max och minpunkt var 1 255 respektive 3 kg CO₂-ekv/m³ behandlad jord. Jämfört med fallstudien som låg mellan 36–74 CO₂-ekv/m³ behandlad jord.



Figur 25. Normaliserat GWP över logaritmerad volym [m³] behandlade massor för schaktsanering och bortforsling för litteraturstudien (blå punkter) respektive fallstudien (orangea punkter).

Figur 26 visar normaliserat GWP över logartimerad volym [m³] behandlade massor för olika saneringstekniker som studerades i litteraturen. Klimatpåverkan från saneringsteknikerna varierade mellan -18 och 1 083 CO₂-ekv/m³ behandlad jord. Där den största klimatpåverkan per volym behandlad jord sågs för termisk behandling off site (1 083 CO₂-ekv/m³ behandlad jord). För termisk behandling in situ sågs en reducerad klimatpåverkan på 288 kg CO₂-ekv/m³ behandlad jord. EKRT ex situ visade också på en högre klimatpåverkan (305 kg CO₂-ekv/m³ behandlad jord) jämfört med andra metoder. Solidifiering visade på en klimatpåverkan på 79 kg CO₂-ekv/m³ behandlad jord. För jordtvätt och biologisk behandling varierade klimatpåverkan, där jordtvätt låg mellan 3–69 kg CO₂-ekv/m³ behandlad jord medan biologisk behandling låg mellan 6–123 kg CO₂-ekv/m³ behandlad jord. Fytosanering och solidifiering uppvisade en klimatpåverkan på 6 respektive 79 kg CO₂-ekv/m³ behandlad jord. Biokol som saneringsteknik visade på en netto negativ klimatpåverkan på -18 kg CO₂-ekv/m³ behandlad jord.



Figur 26. Normaliserat GWP över logartimerad volym [m^3] behandlade massor för olika saneringstekniker; EKRT (kryss), biokol (ej ifylld cirkel), biologisk behandling (ifylld cirkel), fytosanering (ej ifylld romb), jordtvätt (ifylld rektangel), porgasextraktion (ifylld romb), solidifiering (ifylld triangel) och termisk behandling (ej ifylld triangel).

5. Diskussion

Arbetets första frågeställning var, Hur stor är klimatpåverkan och resursanvändningen från schaktsanering som saneringsmetod? Svaret på den tycks bero på ett antal olika faktorer. Den totala klimatpåverkan från projekten i fallstudien skiljde sig åt, och var störst för det projekt som hanterade störst mängd massor dvs projekt M följt av projekt G och sist projekt S. De intressanta resultaten visade sig när klimatpåverkan i stället sattes i förhållande till mängd eller volym behandlade massor.

Resultaten i den här studien ligger inom resultatintervallet från andra studier. I den här studien låg utsläppsnivåerna i nivån 35–75 ton CO₂-ekv/m³ behandlade massor för schaktsanering. I litteraturstudien låg utsläppsnivåerna i spannet 3–1 300 ton CO₂-ekv/m³ behandlade massor. Det stora resultatspannet från andra studier kan förklaras av faktiska skillnader så som transportavstånd, val av transportmedel, olika rationella deponihantering, skillnader i behandlad volym och olika typer av drivmedel (inblandning av förnyelsebart bränsle i dieseln). Dessutom skulle det också kunna förklaras av olika beräkningsmetodik. När det gäller den senare punkten så visade det sig under arbetets gång att utgångspunkter som till exempel LCAns uppbyggnad (val av systemgräns, funktionell enhet samt mål och syfte med studien) antaganden kring drivmedelsåtgång, energiåtgång vid tillverkning av maskiner och utrustning, maskiners livslängd mm kan ha stor påverkan på resultaten. I jämförelse mellan olika studier kan man därför erhålla olika resultat inte enbart på grund av skillnader i faktiska utsläpp utan även på grund av olika beräkningsmetodik. En ökad standardisering för beräkningarna skulle minska spridningen och öka jämförbarheten i resultat.

Denna studie visar också att transportererna av jordmassor till och ifrån saneringsplatsen spelar en avgörande roll för klimatpåverkan. Rent generellt gäller då att långa avstånd till deponi och långa avstånd till platsen där nya fyllnadsmassor hämtas leder till stor klimatpåverkan. Utifrån

ett klimatperspektiv bör man fundera på andra alternativ än deponering av förorenade massor när transportavstånden är långa.

Fördelningen av klimatpåverkan över de olika processerna skiljde sig inte särskilt mycket åt mellan de tre projekten. Transport av massor (förorenade + återfyllnad) var det absolut största bidraget för klimatpåverkan för alla tre projekt och stod för över 50 % av det totala bidraget. Därefter stod deponering av de förorenade massorna för mellan 20–40 % av det totala bidraget för de tre projekten. I MEFAn för samtliga projekt framkom att för både transport och deponering krävdes stora resurser, särskilt i form av energiåtgång för tillverkning av maskiner och utrustning men framför allt i form av drivmedel vid transporter och för maskiner på deponiområdet. Känslighetsanalysen visade att förändringar i transportavstånd mellan saneringsområde och deponi har stor betydelse för utsläppen av CO₂. Tidigare studier visade även att lastkapaciteten för transportfordon och val av fyllnadsmassor påverkar klimatpåverkan i hög grad (Granbom 2014).

För att minska klimatpåverkan från schaktsaneringsprojekt bör fokus ligga på transporter och deponiarbete. I Sverige har utsläpp från deponier minskat sedan 90-talet och uppgick år 2021 till totalt 0,54 miljoner ton CO₂-ekv. Det kan jämföras med Sveriges totala utsläpp som uppgick till cirka 48 miljoner ton CO₂-ekv där inrikestransport (lastbil) stod för ungefär 4,6 miljoner ton CO₂-ekv (Naturvårdsverket u.å.f). Resultaten ifrån denna studie visade att potentialen till förbättring i schaktsaneringsprojekt är att försöka minska avståndet mellan saneringsplats och deponi, att använda fordon med lägre energiåtgång per transportkilometer och att byta ut fossila drivmedel mot förnyelsebara energikällor (biobränslen, eller bränsleceller/eldrift givet att primärproduktionen inte baseras på fossila energikällor).

Vid utbyte mot förnyelsebara energikällor bör det totala livscykelperspektivet studeras för att få ett helhetsperspektiv gällande miljöbelastningen. Det kan nämligen bli problematiskt om endast ett TTW perspektiv studeras ifall miljöpåverkan ifrån tillverkningsprocessen av bränslet är avsevärt större i jämförelse med till exempel förbränning av bränslet. Då resulterar det i att ge en skev bild på så sätt att bränslet framstår som mer miljövänligt än vad det faktiskt är. Från ett WTT-perspektiv bidrar en del biobränslen, som till exempel RME och HVO, till en större klimatpåverkan än vad den fossila dieseln gör (Hallberg et al. 2013). Slås däremot detta ut över det totala livscykelperspektivet fås ett annat resultat. Klimatpåverkan från tillverkningen av HVO är dessutom beroende av råvaran som används. Där HVO gjord på palmolja ger ungefär en lika hög miljöpåverkan som diesel. Det är därför viktigt att veta vad det är som jämförs och vilka villkor som gäller för att kunna analysera data och dra slutsatser av en LCA.

Vad gäller deponering av förorenade massor kan det vara ett bra alternativ för att hantera föroreningar när de redan har uppstått eller då massorna är så förorenade att de inte kan hanteras på annat sätt. Förbättringspotentialen ligger i att undvika att förorenad mark uppstår överhuvudtaget och att välja bästa saneringsmetod om de uppstår. Problemet med deponering av massor är att jungfruliga massor används för att täcka det underskott som uppstått till följd av deponeringen. Jungfruliga massor är ändliga resurser som efter hand får hämtas allt längre bort och en dag kommer att ta slut om vi fortsätter att bryta dem. Att ta fram jungfruliga massor är resurskrävande och blir förmodligen mer resurskrävande i framtiden. För att minska klimatutsläppen och resursanvändningen behöver vi ställa om och ändra i vårt nuvarande

linjära system till ett mer cirkulärt och hållbart samhälle. Inom branschen måste det skapas incitament för att återvinna och återanvända massor.

Frågan kring att återvinna och återanvända förorenade massor är komplicerad. Dagens lagstiftning med strikta krav och regler gör det svårt för bland annat kommuner att få godkänt av tillsynsmyndigheten i projekt där massor egentligen skulle kunna återanvändas. Några förutsättningar för att kunna återanvända förorenade massor både inom och utanför projekt i högre utsträckning skulle därför kunna vara att skapa ett forum där samlad information om vilka projekt som är eller kommer att vara i behov av massor och i vilka projekt det finns eller kommer att finnas ett överskott på massor. Forumet skulle underlätta för en mer flexibel hantering då det är möjligt att matcha ihop projekt och därmed även undgå att massor behöver mellanlagras i väntan på beslut. Något som annars kan vara svårt då det i många projekt saknas plats för att kunna lagra massor.

Arbetets andra frågeställning var: Hur förhåller sig klimatpåverkan från schaktsanering i förhållande till andra saneringsmetoder som finns beskrivna i publicerade livscykelanalyser? I jämförelse med andra saneringsmetoder än schaktsanering och deponering visade resultaten på att olika metoder uppvisar olika stor klimatpåverkan per volym behandlad jord. Generellt verkade metoder som utfördes off-site bidra till en större klimatpåverkan jämfört med om samma metod utfördes on-site. Biokol var den enda metoden som genererade en netto negativ klimatpåverkan runt $-18 \text{ kg CO}_2\text{-ekv/m}^3$ behandlad jord, något varierande beroende på om behandlingen utfördes on- eller off-site. Besparingarna beror på den höga kolbindningen i biokolet (Papageorgiou et al. 2021).

Biokol som saneringsmetod tycks fungera för vissa metaller och organiska föroreningar (Papageorgiou et al. 2021). Förutom den låga klimatpåverkan sågs även andra positiva effekter med metoden. Bland annat visade sig metoden ha en god effekt på markecosystemet. Vid inblandning av både biokol och torv i den förorenade jorden gynnades mikroorganismer och jordens förmåga att hålla näringsämnen och vatten ökade vilket resulterade i en gynnsam miljö för växter. Dessutom främjades en mer resurseffektiv avfallshantering i och med att både deponering av jord och organiskt avfall, men också på grund av att uttag av jungfruliga råvaror för återfyllnad, minskades när metoden användes. I jämförelse med schaktsanering och deponering presterade metoden sämre i miljöpåverkanskategorierna joniserad strålning, fossila resurser och markanvändning. Effekten inom dessa kategorier uppstod till följd av att det gick åt mycket elström vid pyrolys av träbiomassa eller annat organiskt material, och att den elströmmen till stor del kom från kärnkraft. Vidare att biokolet togs från träbiomassa som annars skulle eldats för kraftvärmeproduktion. Eftersom användningen av biokol för sanering är en relativt modern teknik saknas det kunskap om långtidseffekter. För att metoden ska accepteras i branschen behövs därför fler långsiktiga studier för att ta reda på om metoden är långsiktigt hållbar eller inte (Papageorgiou et al. 2021).

Under arbetet har ingående data och antaganden verifierats genom jämförelse med andra studier och olika datakällor. Vissa förenklingar har gjorts, till exempel val av data har varit beroende av den data som funnits tillgänglig i Ecoinvents databas. Bland annat deponihantering och produktion av fyllnadsmassor, där data från det studerade området inte funnits att tillgå. Därmed togs data från andra länder där förhållandena kanske ser annorlunda ut. Valet av lastbilstyp har också varit beroende av data som funnits i Ecoinvent. I verkligheten beror valet av lastbil på var området som ska saneras ligger och hur

lättillgängligt det är¹³. Olika lastbilar används för olika ändamål och bränsleförbrukningen varierar beroende på typ av lastbil. Dessutom har inblandningen av biodrivmedel i dieseln inte gått att justera och i databasen är det oklart om det ens är inräknat. Ett förtydligande gällande andel biodrivmedel i databasen efterfrågas också med tanke på att det i Europa ställs krav på inblandning av biobränsle i fossila drivmedel. Generellt saknas även LCA-data för eldrivna lastbilar som annars hade varit intressant att studera för att se hur klimatpåverkan och resursanvändningen förändrats om alla transporter i saneringsprojekten byttes ut till eldrivna fordon.

Även i definitionen av systemet gjordes en rad förenklingar för att lättare kunna hantera det i en LCA och för att det skulle passa inom tidsramen för ett examensarbete. Bland annat uteslöts vissa processer ur systemet och en enkel hantering av återanvändning av massor i fallstudien användes. Osäkerheter har hanterats med känslighetsanalys för att i någon mån kvantifiera vilken påverkan de kan ha på resultaten. I framtida studier finns det en potential att få högre precision i resultaten genom att lägga mer tid på att bedöma ingående data från deponier, transporter och återvinning.

Studien är begränsad till att studera en saneringsmetod, schaktning med efterföljande deponering, i ett geografiskt område med specifika förutsättningar vad gäller transportavstånd, deponihantering och bränsle. Resultaten, när det gäller beräknade utsläpp per behandlad jordvolym, är därför inte utan vidare generaliserbara till andra saneringsplatser eller andra saneringsmetoder. Däremot bör studien relativt väl fånga vilka aktiviteter i saneringsarbetet vid schaktning som genererar stora utsläpp av växthusgaser. Dessutom pekar studien på att det generellt sett är rimligt att fundera på alternativ till schaktning när saneringsvolymen är liten och avstånden till deponi och återfyllnadsmassor är långt. Men det finns många faktorer att väga in vid beslut om vilken saneringsmetod som skall användas i varje specifikt fall.

När det gäller LCA-verktyg finns det många att använda sig av. Däremot är det få verktyg som är specifikt anpassade för utvärdering av klimatpåverkan i saneringsprojekt. AB som användes i denna studie tycks främst vara framtaget för forskningsändamål. Programmet är mer anpassat för att studera en fysisk produkts livslängd, snarare än att utvärdera klimateffekten av en aktivitet av typen saneringsprojekt. Däremot finns SGF:s befintliga verktyg ”Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten” som redan är anpassat för saneringsprojekt. Om data i detta verktyg uppdateras kan det bli ett praktiskt användbart verktyg för alla i branschen. Men för att göra en heltäckande LCA där fler miljöpåverkanskategorier än bara klimatpåverkan studeras behöver andra verktyg användas.

Slutligen, finns det ett behov av mer forskningsmedel för att undersöka alternativa efterbehandlingsåtgärder till schaktsanering. Problemet med många saneringsmetoder är att de inte är anpassade till det svenska klimatet och därmed blir de också mindre effektiva. Med forskning kan både redan tillgängliga och nya metoder på marknaden modifieras och utvärderas. Om forskning kan leda till att fler saneringar kan göras direkt på saneringsplatsen i framtiden skulle det minska transporterna och därmed också klimatpåverkan. Forskning kan också bidra till en djupare förståelse kring när det skulle vara motiverat att sanera ett område och när det i längden inte är värt till följd av till exempel en betydande klimatpåverkan.

¹³ Richard Thor, Trellegräv AB 2022-09-13

6. Slutsats

Utifrån studiens syfte att undersöka klimatpåverkan och resursanvändningen från schaktsanering ur ett livscykelperspektiv var de viktigaste slutsatserna följande:

- Transport av massor till deponi och transport av fyllnadsmassor var det absolut största bidraget för klimatpåverkan. Dessutom krävde dessa processer stora resurser i form av drivmedel.
- För att minska klimatpåverkan borde därför fokus ligga på transporter och deponiarbete. Där konkreta lösningar som att minska transportavstånden, använda fordon med lägre energiåtgång per transportkilometer eller byta ut mot mer förnyelsebara drivmedel behövs.
- Särskilt visade känslighetsanalysen på att förändringar i transportavstånd har stor betydelse för utsläppen av CO₂. Tidigare studier har även visat att lastkapacitet för transportfordon påverkar klimatpåverkan i hög grad.
- Deponering av förorenade massor kan vara ett bra alternativ i vissa situationer. Däremot bör andra alternativ än deponering av massor övervägas när transportavstånden är långa.
- För att främja en mer cirkulär ekonomi i branschen behöver det skapas incitament för att återvinna och återanvända massor i högre utsträckning än vad det görs idag i saneringsprojekt. Förslagsvis skapas ett forum med samlad information om vilka projekt som är eller kommer att vara i behov av massor och i vilka projekt det finns eller kommer att finnas ett överskott på massor.
- Då saneringsvolymen är liten och avstånden till deponi och återfyllnadsmassor är långt bör alternativa åtgärdsmetoder till schaktsanering övervägas.
- Vid jämförelse med andra saneringsmetoder, sågs biokol vara den metod som uppvisade en förhållandevis liten klimatpåverkan.
- Det finns ett behov av forskningsmedel för att undersöka alternativa åtgärdsmetoder till schaktsanering och för att öka förståelsen kring när det är motiverat att sanera ett område och när det inte är det.
- En ökad standardisering inom branschen för beräkning av klimatpåverkan för olika saneringsmetoder skulle minska spridningen och öka jämförbarheten i resultat.

Referenser

- Andersson, K., Alm, J., Thomas, A. & Joakim, J. (2008). *Miljöprestanda och samhällsekonomi för saneringsmetoder*. Stockholm: Naturvårdsverket.
<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn%3Anbn%3Ase%3Anaturvardsverket%3Adiva-9805> [2023-09-10]
- Boverket (2019). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. Boverket.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [2022-09-20]
- Brander, M., Tipper, R., Hutchison, C. & Davis, G. (2009). Consequential and Attributional Approaches to LCA: a Guide to Policy Makers with Specific Reference to Greenhouse Gas LCA of Biofuels. *Ecometrica press*, (TP-090403-A), 14. <https://ecometrica.com/knowledge-bank/white-papers/consequential-and-attributional-approaches-to-lca-a-guide-to-policy-makers-with-specific-reference-to-greenhouse-gas-lca-of-biofuels/> [2023-04-23]
- Cappuyns, V. (2013). Environmental impacts of soil remediation activities: quantitative and qualitative tools applied on three case studies. *Journal of Cleaner Production*, 52, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.023>
- Ecoinvent (2020). *Terminology Terms*. <https://ecoinvent.org/glossary-terms/> [2023-04-17]
- Ecoinvent (u.å.a). *ecoinvent Database - ecoinvent*. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/> [2022-10-14]
- Ecoinvent (u.å.b). *Geographies*. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/geographies/> [2022-10-17]
- Ekvall, T., Björklund, A., Sandin, G. & Lage, J. (2020). *Modeling recycling in life cycle assessment*. (C551). Göteborg: IVL. [2023-02-02]
- Energimyndigheten (2022). *Drivmedel 2021*. (ER 2022:08).
<https://www.energimyndigheten.se/statistik/drivmedelsstatistik/> [2023-06-20]
- Envytech (u.å.). *Vattenrening*. <https://envytech.se> [2023-01-19]
- EPA (2023). *Understanding Global Warming Potentials*. [Overviews and Factsheets].
<https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> [2023-04-22]
- GitHub (2023). *Activity Browser*. <https://github.com/LCA-ActivityBrowser/activity-browser> [2023-04-23]
- Granbom, H. (2014). *Hantering av schaktmassor med hänsyn till miljömålen "giftfri miljö" och "begränsad klimatpåverkan"*. (Examensarbete). Uppsala Universitet. <https://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A722424&dswid=9451> [2023-04-23]
- Greenhouse gas protocol (u.å.). *Product Standard*. <https://ghgprotocol.org/product-standard> [2023-02-02]
- Hallberg, L., Rydberg, T., Bolin, L., Dahllöf, L., Iverfeldt, E., Mikaelsson, H. & Tivander, J. (2013). *Well-to-Wheel LCI data for fossil and renewable fuels on the Swedish market*. (f3 2013:29). f3 Centre. <https://f3centre.se/sv/forskningsprojekt/well-to-wheel-livscykel-databas-for-fossila-och-fornybara-transportbranslen-pa-den-svenska-marknaden/> [2023-04-15]
- Hammar, T. (2020). *Föreläsning 1 - Introduktion till LCA*. Uppsala. [2023-04-23]
- Hector, J., Norin, M., Andersson, K. & Heikkilä, K. (2012). Environmental emission impact from transport during soil remediation. *Urban Environment*, 439–448. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2540-9_40
- Karlström, J.M. (2018). *Relationshandling, Sanering av jord - kv Gertrudsgården 1 och närliggande park, Trelleborg*. (1382). Malmö: Miljöfirman Konsult Sverige AB. [2022-09-27]
- Karlström, J.M. (2021). *Relationshandling, Sanering av jord - kv Makrillen 3, Malmö*. (1714). Malmö: Miljöfirman Konsult Sverige AB. [2022-09-27]
- Karlström, J.M. (2022). *Relationshandling, Sanering av jord - kv Saltmästaren 2, Kävlinge*. (1790). Malmö: Miljöfirman Konsult Sverige AB. [2022-09-27]
- Klöpffer, W. & Grahl, B. (2014). *Life Cycle Assessment (LCA) - A Guide to Best Practice*. Wiley-VCH. https://app-knovel-com.ezproxy.its.uu.se/web/view/khtml/show.v/rcid:kpLCALCAA9/cid:kt011I5V23/viewerType:khtml/root_slug:life-cycle-assessment/url_slug:introduction?b-toc-cid=kpLCALCAA9&b-toc-root-slug=life-cycle-assessment&b-toc-

- title=Life%20Cycle%20Assessment%20%28LCA%29%20-%20A%20Guide%20to%20Best%20Practice&b-toc-url-slug=introduction&kpromoter=federation&view=collapsed&zoom=1&page=1 [2023-06-05]
- Lantmännen (u.å.). *RME - förnybart bränsle. Lantmännen Lantbruk & Maskin.* <https://www.lantmannenlantbrukmaskin.se/maskin/upptack-mer/rme-drivmedel/> [2023-04-16]
- Länsstyrelsen (2022). *LST Potentiellt förorenade områden externt (EBH).* <https://ext-geodatakatalog.lansstyrelsen.se/GeodataKatalogen/GetMetaDataById?id=e5f8c5ca-62a9-41d6-900c-43f2837a8757> [2023-02-26]
- Länsstyrelsen Västra Götaland (2021). *Länsvattenhantering vid markarbeten i förorenade områden - Handläggarsöd för tillsynsmyndigheter.* (2021:21). <https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/om-oss/vara-tjanster/publikationer/2021/lansvattenhantering-vid-markarbeten-i-foro-renade-omraden.html> [2023-04-16]
- Matthews, H.S., T. Hendrickson, C. & Matthews, D. (2014). *Life Cycle Assessment - Quantitative Approaches for Decisions That Matters.* <https://www.lcatextbook.com/> [2023-04-23]
- Morais, S.A. & Delerue-Matos, C. (2010). A perspective on LCA application in site remediation services: Critical review of challenges. *Journal of Hazardous Materials*, 175 (1–3), 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.041>
- Muralikrishna, I.V. & Manickam, V. (2017). Chapter Five - Life Cycle Assessment. I: Muralikrishna, I.V. & Manickam, V. (red.) *Environmental Management.* Butterworth-Heinemann. 57–75. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811989-1.00005-1>
- Nationalencyklopedin (u.å.a). *Förorening. NE.* <http://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/ordbok/svensk/foro-rening> [2022-11-01]
- Nationalencyklopedin (u.å.b). *Återanvändning.* <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/%C3%A5teranv%C3%A4ndning> [2023-05-18]
- Naturvårdsverket (2009a). *Att välja efterbehandlingsåtgärd- En vägledning från övergripande till mätbara åtgärds mål.* (5978). Stockholm. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/5900/att-valja-efterbehandlingsatgard> [2023-03-20]
- Naturvårdsverket (2009b). *Riktvärden för förorenad mark - Modellbeskrivning och vägledning.* (5976). Stockholm. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/5900/riktvarden-for-foro-renad-mark/> [2023-02-27]
- Naturvårdsverket (2009c). *Riskbedömning av förorenade områden.* (5977). Stockholm. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/5900/riskbedomning-av-foro-renade-omraden/> [2023-05-18]
- Naturvårdsverket (2019). *Fördjupad utvärdering av miljömålen 2019.* (6865). Stockholm. <https://www.naturvardsverket.se/978-91-620-6865-3> [2022-09-10]
- Naturvårdsverket (2021a). *Efterbehandling av förorenade områden - Kvalitetsmanual för användning och hantering av bidrag.* (Utgåva 14.1). Stockholm.
- Naturvårdsverket (2021b). *Miljömålen 2021.* (6968). <https://www.naturvardsverket.se/978-91-620-6968-1> [2023-05-18]
- Naturvårdsverket (2022a). *Hantering av schaktmassor och annat naturligt förekommande material som kan användas för anläggningsändamål.* (NV-01151-21). <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/regeringsuppdrag/slutredovisade-regeringsuppdrag/hantering-av-schaktmassor-och-annat-naturligt-forekommande-material/> [2022-11-01]
- Naturvårdsverket (2022b). *Metodik för inventering av förorenade områden.* (4918). Stockholm. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/4900/metodik-for-inventering-av-foro-renade-omraden/> [2023-02-26]
- Naturvårdsverket (2023). *Tolkning av centrala begrepp vid hantering av massor - Naturvårdsverkets vägledning om masshantering och användning av massor för anläggningsändamål.* (Version 1, 2023-04-25). Stockholm. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/atervinning-av-avfall-i-anlaggningsarbeten/> [2023-05-06]
- Naturvårdsverket (u.å.a). *Avfallshierarkin visar stegen vi behöver ta.* <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/pagaende-arbeten/avfallshierarkin-visar-stegen-vi-beho-ver-ta/> [2023-03-20]

- Naturvårdsverket (u.å.b). *Lägesbeskrivning – Utredning och efterbehandling av förorenade områden ger resultat*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/fororenade-omraden/utredning-och-efterbehandling-av-fororenade-omraden-ger-resultat/> [2023-02-26]
- Naturvårdsverket (u.å.c). *Metaller som miljögift*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/miljoforeoreningar/metaller/> [2023-01-10]
- Naturvårdsverket (u.å.d). *Riskbedömning av förorenade områden. Naturvårdsverket*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/foreorenade-omraden/riskbedomning-av-fororenade-omraden/> [2022-11-01]
- Naturvårdsverket (u.å.e). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/> [2023-05-18]
- Naturvårdsverket (u.å.f). *Sveriges utsläpp och upptag av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/> [2023-06-06]
- Naturvårdsverket (u.å.g). *Utgångspunkter för avhjälpande av förorenade områden*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/foreorenade-omraden/att-valja-efterbehandlingsatgard/utgangspunkter-for-avhjalpande-av-fororenade-omraden/> [2023-04-23]
- Neste (2022). *Vad är HVO100? Neste in Sweden*. <https://www.neste.se/neste-my-fornybar-diesel/hvo/vad-ar-HVO100> [2023-04-16]
- openLCA (u.å.). *openLCA – the Life Cycle and Sustainability Modeling Suite*. <https://www.openlca.org/> [2022-10-10]
- Papageorgiou, A., Azzi, E.S., Enell, A. & Sundberg, C. (2021). Biochar produced from wood waste for soil remediation in Sweden: Carbon sequestration and other environmental impacts. *Science of The Total Environment*, 776, 145953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145953>
- Preem (2019). *Attacken mot taldiesel. Preem.se*. <https://www.preem.se/om-preem/insikt-kunskap/2019/attacken-mot-taldiesel-ger-klumpar-av-alger-och-svamp-i-tanken/> [2023-04-16]
- Ribbenhed, M., Wolf-Watz, C., Almemark, M., Palm, A. & Sternbeck, J. (2002). Livscykelanalys av marksaneringstekniker för förorenad jord och sediment. Life cycle assessment of remediation technologies for contaminated soil and sediment. 109
- SFS 2022:1799 (1998). *Miljöbalk (1998:808)*. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808 [2023-04-23]
- SGF (2012). *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten - Användarhandledning*. <http://www.sgf.net/web/page.aspx?refid=2679> [2023-04-23]
- SGF (2013). *Fälthandbok - Undersökningar av förorenade områden*. (2:2013). Stockholm. <http://www.sgf.net/web/page.aspx?refid=3365> [2023-04-23]
- SGF (2022). *Carbon footprint från efterbehandling och andra markarbeten*. <http://www.sgf.net/web/page.aspx?refid=2679> [2023-04-23]
- SGI (2018). *Klassning av förorenade jordmassor in situ - Information och råd - SGI*. (SGI Publikation 40 Utgåva 2). Linköping: Statens geologiska institut. <https://swedgeo.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1427009&dswid=-479> [2023-04-16]
- SGI (2020). *Riskbedömning*. <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/foreorenade-omraden/fran-inventering-till-atgard/riskbedomning/> [2023-02-27]
- SGI (2021). *Åtgärdsutredning - SGI*. <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/foreorenade-omraden/fran-inventering-till-atgard/atgardsutredning/> [2023-03-20]
- SGI (2022a). *Förorenade områden och efterbehandling*. <https://www.sgi.se/sv/kunskapscentrum/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/foreorenade-omraden/> [2022-10-20]
- SGI (2022b). *Inventering och riskklassning*. <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/foreorenade-omraden/fran-inventering-till-atgard/inventering-och-riskklassning/> [2023-01-20]
- SGI (2022c). *Riskvärdering vid förorenade områden - Arbetsgång för hållbara åtgärder - SGI vägledning 7*. (10028). Linköping. [2023-01-20]
- SGI (2022d). *Utvärdering och uppföljning*. <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/foreorenade-omraden/fran-inventering-till-atgard/utvardering-och-uppfoljning/> [2023-01-27]
- SGU (u.å.). *Risker*. <https://www.sgu.se/samhallsplanering/risker/> [2023-05-18]

- SimaPro (u.å.). *LCA software for informed change-makers. SimaPro*. <https://simapro.com/> [2022-10-10]
- Sinden, G. (2008). *PAS 2050 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. (PAS 2050:2008). [2023-02-02]
- SIS (2006). *Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur (ISO 14040:2006)*. Svenska institutet för standarder, SIS. <https://www.sis.se/produkter/ledningssystem-e07b0fe8/ledningssystem-for-miljo/sseniso140402006/> [2022-10-07]
- Sphera (u.å.). *LCA for Experts (GaBi)*. Sphera. <https://sphera.com/life-cycle-assessment-lca-software/> [2022-10-10]
- Steubing, B., de Koning, D., Haas, A. & Mutel, C.L. (2020). The Activity Browser — An open source LCA software building on top of the brightway framework. *Software Impacts*, 3, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.simpa.2019.100012>
- Steve Bogart (2023). *SankeyMATIC*. <https://sankeymatic.com/> [2023-05-06]
- Stockholms stad (2022a). *Länshållningsvatten*. <https://tillstand.stockholm/tillstand-regler-och-tillsyn/mark--och-gatuarbeten/fororenad-mark/lanshallningsvatten/> [2023-04-16]
- Stockholms stad (2022b). *Länshållningsvatten - Stockholms stad*. <https://tillstand.stockholm/tillstand-regler-och-tillsyn/mark--och-gatuarbeten/fororenad-mark/lanshallningsvatten/> [2023-05-14]
- Suer, P. & Andersson-Sköld, Y. (2011). Biofuel or excavation? - Life cycle assessment (LCA) of soil remediation options. *Biomass and Bioenergy*, 35 (2), 969–981. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.11.022>
- Svenska Geotech (u.å.). *Geotextil*. <https://www.svenskageotech.se/geotextil.htm> [2023-05-18]
- Sveriges Lantbruksuniversitet (2022). *Vad är livscykelanalys?* <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/> [2022-10-08]
- Sveriges miljömål (2020). *Sveriges miljömål och de globala hållbarhetsmålen*. <https://www.sverigesmiljomal.se/sa-fungerar-arbetet-med-sveriges-miljomal/sveriges-miljomal-och-de-globala-hallbarhetsmalen/> [2022-09-10]
- Sveriges miljömål (u.å.). *Generationsmålet – miljöarbete för kommande generationer*. <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/generationsmalet/> [2022-09-10]
- Vestin, J., Ladekrans, T., Ohlsson, Y. & Stark, M. (2021). *Inventering av effektivitetshinder och kunskapsbehov 2021 : Förorenade områden – Alternativa åtgärder till schaktsanering*. (3.4-2011–0831). Statens geotekniska institut. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:swedgeo:diva-972> [2023-05-18]
- Vocciante, M., de Folly D’Auris, A., Franchi, E., Petruzzelli, G. & Ferro, S. (2021). CO2 footprint analysis of consolidated and innovative technologies in remediation activities. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126723. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126723>
- Åtgärdsportalen (2017a). *Vattenreningsmetoder*. <https://www.atgardsportalen.se/metoder/vattenreningsmetoder> [2022-09-30]
- Åtgärdsportalen (2017b). *Vattenreningsmetoder*. <https://www.atgardsportalen.se/metoder/vattenreningsmetoder> [2022-10-23]
- Åtgärdsportalen (2019a). *Mark*. <https://www.atgardsportalen.se/metoder/jord> [2023-01-10]
- Åtgärdsportalen (2019b). *Schaktsanering*. <https://www.atgardsportalen.se/metoder/jord/ex-situ/grav-och-schaktsanering> [2022-09-30]
- Åtgärdsportalen (2020). *Metoder*. <https://www.atgardsportalen.se/metoder> [2023-03-20]
- Åtgärdsportalen (2022). *Föroreningar*. <https://www.atgardsportalen.se/fororeningar> [2023-01-11]
- Åtgärdsportalen (2023a). *Alifater*. <https://www.atgardsportalen.se/fororeningar/alifater> [2023-05-06]
- Åtgärdsportalen (2023b). *BTEX*. <https://www.atgardsportalen.se/fororeningar/btex> [2023-05-06]
- Åtgärdsportalen (2023c). *Metaller. Metaller*. <https://www.atgardsportalen.se/fororeningar/metaller> [2023-01-29]
- Åtgärdsportalen (2023d). *Monoaromater*. <https://www.atgardsportalen.se/fororeningar/aromater> [2023-05-06]
- Åtgärdsportalen (2023e). *PCB*. <https://www.atgardsportalen.se/fororeningar/pcb> [2023-02-10]

Appendix

A.1 Sammanställning rådata

Rådata från relationshandlingarna för projekt M, G och S som erhållits från Miljöfirman redovisas i Tabell A1.

Tabell A1.1 Rådata från relationshandlingar av Miljöfirman för projekt M, G och S. ÅM = återvunna massor, JM = jungfruliga massor. *Antaganden har behövts göras då data saknas för dessa fält, se avsnitt 3.1.2 Livscykelinventering (LCI)

	M	G	S
Stad	Malmö	Trelleborg	Kävlinge
Start sanering	Juni 2021	Mars 2018	Maj 2021
Slut sanering	Oktober 2021	Oktober 2018	Juni 2021
Totalt schaktade massor [ton]	48 535,92	7 602,44	2 588,39
Klassning massor [ton]	KM: 1 328,5 MKM: 25 016,18 MRR: 213 IFA: 17 091,82 FA: 4 109,14 Asfalt kl.1: 72,02 Asfalt kl.4: 520,26 Betong KM: 185	MKM: 7 549,04 IFA: 53,4	MKM: 1 750,7 IFA: 700,65 Asfalt kl.1: 137,04
Schaktade massor exkl. asfalt/betong [ton]	47 758,64	7 602,44	2 451,05
Total sanerad yta [m²]	9 771	3 438	2 924
Provtagning schakt [Ja/Nej]	Ja	Ja	Ja
Antal prover [st]	511	134	93
Återfyllning [Ja/Nej]	Ja	Ja	Ja
Återfyllnadsmaterial, ÅM/JM [%]	100 (ÅM)	Data saknas*	Data saknas*
Specifikation återfyllnad	Lermorän	-	Silt, finsand
Stabilisering [Ja/Nej]	Ja	Nej	Nej
Stabiliseringsmaterial	Kalk	-	-
Total mängd återvunna massor [ton]	33 180	Data saknas*	Data saknas*
Fördelning material återvunnet [ton]	Fastighet 1: 4 000 Fastighet 2: 7 180 Fastighet 3: 18 500 Fastighet 4: 3 500	Data saknas*	Data saknas*
Total mängd jungfruliga massor [ton]	-	Data saknas*	Data saknas*
Fördelning material jungfruligt	-	Data saknas*	Data saknas*

Vattenrening [Ja/Nej]	Ja	Nej	Nej
	M	G	S
Mobilt reningsverk [Ja/Nej]	Ja	Nej	Nej
Typ av rening	Sedimentationsfilter följt av kolfilter	-	-
Start vattenrening	Augusti 2021	-	-
Slut vattenrening	September 2021	-	-
Volym renat vatten [m ³]	834	-	-
Vattenprovtagning [Ja/Nej]	Ja	Nej	Nej
Antal vattenprover [st]	9	-	-

A.2 Transportavstånd

Transportavstånd som användes för beräkningarna i projekt M, G och S redovisas i Tabell A2-A3.

Tabell A2.1 Transportavstånd enligt Google Maps för Projekt M för transport av förorenade och återvunna massor

Projekt: M	Benämning	Behandling	Mängd [ton]	Transportavstånd, enkel väg [km]
Förorenade massor	Transport 1M	Deponi	6 938	7,9
	Transport 2M	Deponi	40 820	32,4
	Transport 3M	Återvinning	1 542	7,9
Återvunna massor	Transport 6M	-	4 000	22
	Transport 7M	-	7 180	22,8
	Transport 8M	-	18 500	6,2
	Transport 9M	-	3 500	3,9

Tabell A2.2 Transportavstånd enligt Google Maps för Projekt G för transport av förorenade, återvunna och jungfruliga massor

Projekt: G	Benämning	Behandling	Mängd [ton]	Transportavstånd, enkel väg [km]
Förorenade massor	Transport 1G	Deponi	7 602	76,4
Återvunna massor	Transport 2G	-	3 801	4,2
Jungfruliga massor	Transport 3G	-	3 801	43,1

Tabell A2.3 Transportavstånd enligt Google Maps för Projekt S för transport av förorenade och jungfruliga massor

Projekt: S	Benämning	Behandling	Mängd [ton]	Transportavstånd, enkel väg [km]
Förorenade massor	Transport 1S	Deponi	113	31,8
	Transport 2S	Deponi	1 638	63,8
	Transport 3S	Deponi	701	24,9
Jungfruliga massor	Transport 4S	-	2 451	17,5

A.3 Data från SGS Analytics Sweden

Data över förbrukningsvaror, avfall och utsläpp från laboratorium redovisas i Tabell A2. Data är hämtad från SGS Analytics Sweden.

Tabell A3.1 Indata över förbrukningsvaror, avfall och utsläpp från SGS Analytics Sweden¹⁴

Materialförbrukning	
Pappersproduktion, A4	0,1 A4/analys
Plastproduktion	20 g plast/prov
Glasproduktion	40 g plast/prov
Elförbrukning	
Elektricitet	0,3 kWh/analys
Kemikalier	
Lösningsmedel	1,5 g/analys
Övriga avfall	
Farligt avfall	0,5 – 3,5 g/analys *

* Antagande att 1,5 g farligt avfall används per analys

¹⁴ SGS Analytics Sweden

A.4 Indata Activity Browser

Projekt: M											
Process	Benämning	Namn	Mängd	Enhet	Omvandling sfaktor	Enhet	Input till AB	Enhet	Källa	Ecoinvent	Kommentar
Schaktning		Schaktade massor utan asfalt/betong	47 758.64	ton	1.90	ton/m ³	25 136.13	m ³		excavation, hydraulic digger (RER)	
Transport av förorenade massor											
	Transport M1	Avstånd mellan saneringsplats och deponi (Ågab)	7.90	km							
		Transporterade massor	5 396.78	ton							
		Shipment transport					42 634.56	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
	Transport M2	Avstånd mellan saneringsplats och deponi (Trelleborgs hamn)	32.40	km							
		Transporterade massor	40 820.36	ton							MKM massor
		Shipment transport					1 322 579.66	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
	Transport M3	Avstånd mellan saneringsplats och återvinning (Ågab)	7.90	km							
		Transporterade massor	1 541.50	ton							
		Shipment transport					12 177.85	tonkm			Till återvinning (ej med i basfallet)
Behandlingsprocess på deponi											
		Mängd massor som behandlas på deponi	46 217.14	ton	1 000.00	kg/ton	46 217 140.00	kg		treatment of inert waste, sanitary landfill (CH)	Graphical paper & waste plastic har tagits bort. Ersatt aktiviteten med svensk elmix: Electricity, low voltage (CH) => Electricity, low voltage (SE) and heat, central or small scale, other than natural gas (CH) => heat, central or small scale, other than natural gas (SE). Process-specific burdens, sanitary landfill (CH) => Gjort egen databas för de maskiner som används på deponin (antas gå på diesel).
Återställning											
		Mängd återfyllnadsmaterial som dumpas på saneringsplats	33 180.00	ton						Relationshandling Miljöfirman	
Transport av återvunna massor											
	Transport M4	Avstånd mellan saneringsplats och mottagningsanläggning	22.00	km							
		Transporterade massor	4 000.00	ton							
		Shipment transport					88 000.00	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
	Transport M5	Avstånd mellan saneringsplats och mottagningsanläggning	22.80	km							
		Transporterade massor	7 180.00	ton							
		Shipment transport					163 704.00	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
	Transport M6	Avstånd mellan saneringsplats och mottagningsanläggning	6.20	km							
		Transporterade massor	18 500.00	ton							
		Shipment transport					114 700.00	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
	Transport M7	Avstånd mellan saneringsplats och mottagningsanläggning	3.90	km							
		Transporterade massor	3 500.00	ton							
		Shipment transport					13 650.00	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
Lastning av återfyllnadsmassor		Massor som lastas (ÅM)	33 180.00	ton	1.90	ton/m ³	17 463.16	m ³		Skid-steer loader, excavation (RER)	
Utspridning av återfyllnadsmassor		Mängd massor som sprids ut	16 590.00	ton	1.90	ton/m ³	8 731.58	m ³		Hydraulic digger (RER)	
Produktion av materialskiljande lager		Kvantitet geotextil, rulle	200.00	m ² /rulle						Svenska geotech: https://www.svenskageotech.se/geotextil.htm	
		Vikt, rulle	22.00	kg/rulle							
		Vikt per kvadratmeter geotextil	0.11	kg/m ²							
		Produktion av polypropylen (PP)	1.00	kg PP/kg geotextil	0.11	kg PP/m ² geotextil					Antagande om att det går åt 1 kg polypropylen för att tillverka 1 kg
		Storlek saneringsområde	9 771.00	m ²							
		Mängd geotextil som går åt för schaktvägar	1 074.81	kg geotextil	1.00	kg PP/kg geotextil	1 074.81	kg PP		polypropylene production, granulate	
Provtagning efter schaktning											
		Antal prover	520.00	st						Från relationshandling Miljöfirman	
Personaltransport											
		Antal provtagningstillfällen	32.00	st						Från relationshandling Miljöfirman	
		Avstånd mellan Miljöfirman och saneringsplats	6.20	km							
		Passenger transport, back and forth					396.80	km		Transport, passenger car, EURO 5, petrol, medium size, RER	
Transport av											
		Vikt per prov	0.47	kg/st							
		Totalvikt prover, jord + vatten	243.36	kg							Antagande att påse fylld med jord väger 468 g (upptill strecket på diffusionstät påse från ALS)
		Avstånd mellan saneringsplats och laboratorium	623.00	km							
		Shipment transport	151 613.28	kg*km	1 000.00	kg/ton	151.61	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	

Projekt: M											
Process	Benämning	Namn	Mängd	Enhet	Omvandling sfaktor	Enhet	Input till AB	Enhet	Källa	Ecoinvent	Kommentar
Analys av jordprov	Pappersproduktion A4	A4 per prov	5.00	g/A4	0.10	A4/analys	0.00	kg/prov	Nyteknik: https://www.nyteknik.se/popularteknik/vad-vages-papperet-6345175 och Linköping (SGS)		
		Total förbrukning papper					1.04	kg		paper production, woodfree, uncoated, at integrated mill (RER)	
	Plastproduktion	Diffusionstät påse etc	20.00	g/prov	1 000.00	g/kg	0.02	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Totalt förbrukning plast					10.40	kg		Nylon 6 production	
	Glasproduktion	Glasflaskor etc	40.00	g/prov	1 000.00	g/kg	0.04	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Total förbrukning glas					20.80	kg		packaging glass production, white (CH)	
	Energiförbrukning maskiner	Energiförbrukning per prov	0.30	kWh/analys	4.00	analys/prov	1.20	kWh/prov	Linköping (SGS)		
		Total energiförbrukning analys					624.00	kWh		Market for electricity, high voltage (SE)	
	Övrig förbrukningsvara	Aluminium			1 000.00	g/kg	0.00	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Total mängd aluminium					0.16	kg			Biosphere: aluminium (natural resource-in ground)
		Kemikalier	1.50	g/analys	1 000.00	g/kg	0.01	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Aceton					0.00	kg/prov			
		Cyclohexane					0.00	kg/prov			
		Total mängd kemikalier					3.12	kg			cyclohexane production (RER), acetone production, from isopropanol (RER)
		Färligt avfall	1.50	g/analys	1 000.00	g/kg	0.01	kg/prov	Linköping (SGS)		Mellan 0.5-3.5 g färligt avfall (ospecificerat) enligt SGS Linköping
Total mängd färligt avfall						3.12	kg		Ingen aktivitet i Ecoinvent finns. Skapade således en aktivitet som heter "Hazardous waste, production and waste disposal" och la in 1. hydrochloric acid production, from the reaction of hydrogen with chlorine (RER) samt 2. treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration (CH)		
Hantering av grundvatten	Generellt	Vatten som renas	834.00	m3				Relationhandling Miljöfirman			
		Drift dagar mobil reningsverk	22.00	dagar							
		Drift timmar mobil reningsverk	24.00	h/dag	528.00	h					
Pumpning av länsvatten	Produktion av pump	Antal pumpar som behövs för ren	1.00	st					Envytech		WEDAD04N, 1 fas, 0.4 kW
		Elförbrukning pump	0.40	kW					Envytech		
	Elförbrukning pump	Antal timmar pump är igång	528.00	h							Antar att pump är igång lika länge som det mobila reningsverket
		Elförbrukning, pump	211.20	kWh				0.25	kWh/m3		Market for electricity, low voltage (SE)
Rening av länsvatten i mobil reningsverk	Produktion av material	Antal sedimenteringscontainer som behövs för rening	1.00	st					Envytech		20 fots container
		Användning per volym renat vatten					0.0012	unit/m3		intermodal shipping container production, 20-foot (GLO)	
	Elförbrukning	Reningsverk, effekt	4.00	kW					Envytech		
		Antal timmar reningsverk är igång	528.00	h							
		Elförbrukning, mobil rening					2 112.00	kWh		Market for electricity, low voltage (SE)	
		Elförbrukning, mobil rening per kubikmeter vatten som renas					2.53	kWh/m3			
	Fläkt (avfuktning), effekt	Fläkt (avfuktning), effekt	1.00	kW					Envytech		Fläkt för att hålla torr och varmt klimat
		Elförbrukning, fläkt/avfuktning					528.00	kWh			
Elförbrukning, fläkt/avfuktning per kubikmeter vatten som renas	Elförbrukning, fläkt/avfuktning per kubikmeter vatten som renas					0.63	kWh/m3		Market for electricity, low voltage (SE)		
Rening på kommunalt reningsverk	Kapacitet reningverk (Malmö, VA syd Sjölanda)	40 000 000.00	m3/år	1 000.00	l/m3	40 000 000 000.00	l/år	VA-syd: va-syd-sjolunda.pdf (svensktvatten.se)		Reningsverket är dimensionerat för 550 000 personequivaler och anläggningen renar i dag omkring 40 miljoner m3 avloppsvatten årligen och är därmed ett av Sveriges största reningsverk.	
		40 000 000 000.00	l/år			4.00	E10 l/år		treatment of wastewater, average, capacity 4.7E10/year (CH)	Använd Ecoinvents aktivitet med en kapacitet på 4.7E10 l/år --> Närmast.	

Projekt: G											
Process	Benämning	Namn	Mängd	Enhet	Omvandling	Enhet	Input till AB	Enhet	Källa	Ecoinvent	Kommentar
Schaktning		Schaktade massor	7 602.44	ton	1.90	ton/m3	4 001.28	m3		excavation, hydraulic digger (RER)	
Transport av förorenade massor											
	Transport G1	Avstånd mellan saneringsplats och mottagningsanläggning	76.40	km							
		Transporterade massor	7 602.44	ton							
		Shipment transport					580 826.42	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
		Dieselskonsumtion									
Behandlingsprocess på deponi											
		Mängd massor som behandlas på LSR	7 602.44	ton	1 000.00	kg/ton	7 602 440.00	kg		treatment of inert waste, sanitary landfill (CH)	Graphical paper & waste plastic har tagits bort. Ersatt aktiviteten med svensk elmix: Electricity, low voltage (CH) => Electricity, low voltage (SE) and heat, central or small scale, other than natural gas (CH) => heat, central or small scale, other than natural gas (SE). Process-specific burdens, sanitary landfill (CH) => Gjort egen databas för de maskiner som används på deponin (antas gå på diesel).
Aterställning											
		Mängd återfyllnadsmaterial som dumpas på saneringsplats	7 602.44	ton							Antar att man fyller upp med samma mängd som man schaktade
Transport av återvunna massor	Transport G2	Avstånd mellan upplag och saneringsplats	4.20	km							
		Transporterade massor	3 801.22	ton							
		Shipment transport					15 965.12	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
Transport av jungfruliga massor	Transport G3	Avstånd mellan Stenberget och saneringsplats	43.10	km							
		Transporterade massor	3 801.22	ton							
		Shipment transport					163 832.58	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
Produktion av återfyllnadsmassor		Mängd jungfruliga massor som används för återfyllnad	3 801.22	ton	1 000.00	kg/ton	3 801 220.00	kg		Gravel, crushed (CH)	
Lastning av återfyllnadsmassor		Massor som lastas (både ÅM och JM)	7 602.44	ton	1.90	ton/m3	4 001.28	m3		Skid-steer loader, excavation (RER)	
Utspridning av återfyllnadsmassor		Mängd massor som sprids ut	3 801.22	ton	1.90	ton/m3	2 000.64	m3		Hydraulic digger (RER)	
Produktion av materialskiljande lager		Kvantitet geotextil, rulle	200.00	m2/rulle						Svenska geotech: https://www.svenskageotech.se/geotextil.htm	
		Vikt, rulle	22.00	kg/rulle							
		Vikt per kvadratmeter geotextil	0.11	kg/m2							
		Produktion av polypropylen (PP)	1.00	kg PP/kg geotextil	0.11	kg PP/m2 geotextil					Antagande om att det går åt 1 kg polypropylen för att tillverka 1 kg geotextil.
		Storlek saneringsområde	3 437.50	m2						Från relationshandling Miljöfirman	
		Mängd geotextil som går åt för schaktväggar	378.13	kg geotextil	1.00	kg PP/kg geotextil	378.13	kg PP		polypropylene production, granulate (RER)	

Projekt: G											
Process	Benämning	Namn	Mängd	Enhet	Omvandling	Enhet	Input till AB	Enhet	Källa	Ecoinvent	Kommentar
Provtagning efter schaktning		Antal prover	134.00	st					Från relationshand- ling Miljöfirman		
Personaltransport		Antal provtagningstillfällen	15.00	st					Från relationshand- ling Miljöfirman		
		Avstånd mellan Miljöfirman och saneringsplats	35.70	km							
		Passenger transport, back and forth					1 071.00	km		Transport, passenger car, EURO 5, petrol, medium size, RER	
Transport av prover		Vikt per prov	0.47	kg/st							Antagande att påse fylld med jord väger 468 g (upptill strecket) (4 g per påse)
		Totalvikt prover, jord	62.71	kg							
		Avstånd mellan saneringsplats och laboratorium	653.00	km							
		Shipment transport	#####	kg*km	1 000.00	kg/ton	40.95	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
Analys av prover	Pappersproduktion A4	A4 per prov	5.00	g/A4	0.10	A4/analys	0.00	kg/prov			
		Totalt mängd papper					0.27	kg		paper production, woodfree, uncoated, at integrated mill (RER)	
	Plastproduktion	Diffusionstät påse etc	20.00	g/prov	1 000.00	g/kg	0.02	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Total mängd plast					2.68	kg		Nylon 6 production (RER)	
	Glasproduktion	Glasflaskor etc	40.00	g/prov	1 000.00	g/kg	0.04	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Total förbrukning glas					5.36	kg		packaging glass production, white (CH)	
	Energiförbrukning maskiner	Energiförbrukning per prov	0.30	kWh/analys	4.00	analys/prov	1.20	kWh/prov	Linköping (SGS)		
		Total energiförbrukning analys					160.80	kWh		Market for electricity, high voltage (SE)	
	Övrig förbrukningsvara	Aluminium			1 000.00	g/kg	0.00	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Total mängd aluminium					0.04	kg			Biosphere: aluminium (natural resource- in ground)
		Kemikalier	1.50	g/analys	1 000.00	g/kg	0.01	kg/prov			
		Aceton					0.00	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Cyclohexane					0.00	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Total mängd kemikalier					0.80	kg		cyclohexane production (RER), acetone production, from isopropanol (RER)	Mellan 0,5-3,5 g farligt avfall (ospecificerat) enligt SGS Linköping
		Farligt avfall	1.50	g/analys	1 000.00	g/kg	0.01	kg/prov	Linköping (SGS)		
			Total mängd farligt avfall				0.80	kg		Ingen aktivitet i Ecoinvent fanns. Skapade således en aktivitet som heter "Hazardous waste, production and waste disposal" och la in 1. hydrochloric acid production, from the reaction of hydrogen with chlorine (RER) samt 2. treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration (CH)	

Projekt: S											
Process	Benämning	Namn	Mängd	Enhet	Omvandling	Enhet	Input till AB	Enhet	Källa	Ecoinvent	Kommentar
Schaktning		Schaktade massor utan betong/asfalt	2 451.05	ton	1.90	ton/m3	1 290.03	m3		excavation, hydraulic digger (RER)	
Transport av förorenade massor											
	Transport S1	Avstånd mellan saneringsplats och mottagningsanläggning	31.80	km							
		Transporterade massor Shipment transport	112.70	ton			3 583.86	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
	Transport S2	Avstånd mellan saneringsplats och mottagningsanläggning	63.80	km							
		Transporterade massor Shipment transport	1 637.70	ton			104 485.26	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
	Transport S3	Avstånd mellan saneringsplats och mottagningsanläggning	24.90	km							
		Transporterade massor Shipment transport	700.65	ton			17 446.19	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
Behandlingsprocess på deponi											
		Mängd massor som behandlas på deponi (Sysav/Norrvidinge)	2 451.05	ton	1 000.00	kg/ton	2 451 050.00	kg		treatment of inert waste, sanitary landfill (CH)	Graphical paper & waste plastic har tagits bort. Ersatt aktiviteten med svensk elmix: Electricity, low voltage (CH) => Electricity, low voltage (SE) and heat, central or small scale, other than natural gas (CH) => heat, central or small scale, other than natural gas (SE). Process-specific burdens, sanitary landfill (CH) => Gjort egen databas för de maskiner som används på deponin (antas gå på diesel).
Återställning											
		Mängd återfyllnadsmaterial som dumpas på saneringsplats	2 451.05	ton							
Transport av jungfruliga massor	Transport S4	Avstånd mellan saneringsplats och mottagningsanläggning	17.50	km							
		Transporterade massor Shipment transport	2 451.05	ton			42 893.38	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	
Produktion av återfyllnadsmassor		Mängd jungfruliga massor som används för återfyllnad	2 451.05	ton	1 000.00	kg/ton	2 451 050.00	kg		Gravel, crushed (CH)	
Lastning av återfyllnadsmassor		Massor som lastas (JM)	2 451.05	ton	1.90	ton/m3	1 290.03	m3		Skid-steer loader, excavation (RER)	
Utspridning av återfyllnadsmassor		Mängd massor som sprids ut	1 225.53	ton	1.90	ton/m3	645.01	m3		Hydraulic digger RER	
Produktion av materialskiljande lager		Kvantitet geotextil, rulle	200.00	m2/rulle					Svenska geotech: https://www.svenskageotec.se/geotextil.htm		
		Vikt, rulle	22.00	kg/rulle							
		Vikt per kvadratmeter geotextil	0.11	kg/m2							
		Produktion av polypropylen (PP)	1.00	kg PP/kg geotextil	0.11	kg PP/m2 geotextil					Antagande om att det går åt 1 kg polypropylen för att tillverka 1 kg geotextil.
		Storlek saneringsområde	2 923.50	m2					Från relationshandling Miljöfirman		
		Mängd geotextil som går åt för schaktväggar	321.59	kg geotextil	1.00	kg PP/kg geotextil	321.59	kg PP		polypropylene production, granulate (RER)	
Provtagning efter schaktning											
		Antal prover	93.00	st					Från relationshandling Miljöfirman		
Personaltransport		Antal provtagningsstillfällen	5.00	st					Från relationshandling Miljöfirman		
		Avstånd mellan Miljöfirman och saneringsplats	27.20	km							
		Passenger transport, back and forth					272.00	km		Transport, passenger car, EURO 5, petrol, medium size, RER	
Transport av prover											
		Vikt per prov	0.47	kg/st							Antagande att påse fylld med jord väger 468 g (upptill strecket)
		Totalvikt prover, jord	43.52	kg							
		Avstånd mellan saneringsplats och laboratorium	398.00	km							
		Shipment transport	17 322.55	kg*km	1 000.00	kg/ton	17.32	tonkm		transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)	

Projekt: S											
Process	Benämning	Namn	Mängd	Enhet	Omvandling	Enhet	Input till AB	Enhet	Källa	Ecoinvent	Kommentar
Analys av prover	Pappersproduktion A4	A4 per prov	5.00	g/A4	0.10	A4/analys	0.00	kg/prov		paper production, woodfree, uncoated, at integrated mill (RER)	
		Total mängd papper					0.19	kg			
	Plastproduktion	Diffusionstät påse etc	20.00	g/prov	1 000.00	g/kg	0.02	kg/prov	Linköping (SGS)	Nylon 6 production (RER)	
		Total mängd plast					1.86	kg			
	Glasproduktion	Glasflaskor etc	40.00	g/prov	1 000.00	g/kg	0.04	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Total mängd glas					3.72	kg		packaging glass production, white (CH)	
	Energiförbrukning maskiner	Energiförbrukning per prov	0.30	kWh/analys	4.00	analys/prov	1.20	kWh/prov			
		Total energiförbrukning analys					111.60	kWh		Market for electricity, high voltage (SE)	
	Övrig förbrukningsvara	Aluminium			1 000.00	g/kg	0.00	kg/prov	Linköping SGS		
		Total mängd aluminium					0.03	kg			Biosphere: aluminium (natural resource-in ground).
		Kemikalier	1.50	g/analys	1 000.00	g/kg	0.01	kg/prov			
		Aceton					0.00	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Cyclohexane					0.00	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Total mängd kemikalier					0.56	kg		cyclohexane production (RER), acetone production, from isopropanol (RER)	
		Farligt avfall	1.50	g/analys	1 000.00	g/kg	0.01	kg/prov	Linköping (SGS)		
		Total mängd farligt avfall					0.56	kg		Ingen aktivitet i Ecoinvent fanns. Skapade således en aktivitet som heter "Hazardous waste, production and waste disposal" och la in 1. hydrochloric acid production, from the reaction of hydrogen with chlorine (RER) samt 2. treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration (CH)	

A.5 Medelvärdesberäkning anläggningar Skåne

Beräkning återfyllnad

Projekt:	M	Beräkningar transportavstånd [km]				
Ågab AB	7.9	13.4	24	29.5	OBS! Endast mottagning av massor	
Sydsten AB	30.8	26.5	45	53.8	-	
NCC	29.6	-	-	-	-	
Skånegrus	66.6	51	-	-	-	
Swerock	37	50.1	8.1	61.7	8.9	

	Medel:	Min	Max
Alla	34.0	7.9	66.6

Projekt:	G	Beräkningar transportavstånd [km]				
Ågab AB	41.3	24.2	56.1	5.1	OBS! Endast mottagning av massor	
Sydsten AB	45.4	47.4	43.1	72	-	
NCC	46.1	-	-	-	-	
Skånegrus	98.6	59.1	-	-	-	
Swerock	51.5	48.5	25.7	60	41.8	

	Medel:	Min	Max
Alla	47.9	5.1	98.6
Sydsten	52.0	43.1	72

Projekt:	S	Beräkningar transportavstånd [km]				
Ågab AB	26.6	34.6	17.5	57.6	OBS! Endast mottagning av massor	
Sydsten AB	32.5	22.7	49.7	43.7	-	
NCC	24.3	-	-	-	-	
Skånegrus	45.5	52.6	-	-	-	
Swerock	38.5	59.4	33.7	82.7	26.8	

	Medel:	Min	Max
Alla	40.5	17.5	82.7

Beräkning förerenade massor

Projekt:	M	Beräkningar transportavstånd [km]				
Ågab AB	7.9	13.4	24	29.5	60.8	

Medel:	Min:	Max:
27.1	7.9	60.8

A.6 Data inputs MEFA

Nummer	Namn	Mängd	Enhet	Omvandlingsfaktor	Enhet	Input till scenario	Enhet	Kommentar	Källa
1	Bränsle som används för schaktning (grävmaskin) (diesel)	0.131	kg/m ³ schaktade massor	1 900	kg/m ³	0.000069	ton/ton schaktade massor		From Ecoinvent 3.6_cutoff "excavation, hydraulic digger-RER"
2	Värmevärde för diesel vid schaktning	36.2	MJ/l	0.815	kg/l	44.4	GJ/ton diesel		Produktblad från Preem (densitet och värmevärde): https://www.preem.se/contentassets/e29a3baa0c764ebfab4d6e3dc9f064d/acp-diesel-b5.pdf
3	Värmevärde för diesel vid transportation av massor	36.2	MJ/l	0.815	kg/l	44.4	GJ/ton diesel		Produktblad från Preem (densitet och värmevärde): https://www.preem.se/contentassets/e29a3baa0c764ebfab4d6e3dc9f064d/acp-diesel-b5.pdf
4	Diesel-konsumtion lastbil	0.037	kg/ton*km						From Ecoinvent 3.6_cutoff "transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6"
5	Bränsle som används för maskiner (deponi)	0.047	MJ/kg deponerat avfall	0.00105	kg diesel/kg deponerat avfall	0.00105	ton diesel/ton deponerat avfall		From Ecoinvent 3.6_cutoff "treatment of inert waste, sanitary landfill"
6	Värmevärde för diesel vid deponering	36.2	MJ/l	0.815	kg/l	44.42	MJ/kg diesel		Produktblad från Preem (densitet och värmevärde): https://www.preem.se/contentassets/e29a3baa0c764ebfab4d6e3dc9f064d/acp-diesel-b5.pdf
7	Bränsle som används för lastning av återfyllnadsmassa	0.13	kg/m ³ schaktade massor	1 900	kg/m ³	0.000068	ton/ton lastade massor		From Ecoinvent 3.6_cutoff "excavation, skid-steer loader RER"
8	Bränsle som används för utspridning av återfyllnadsmassa	0.131	kg/m ³ schaktade massor	1 900	kg/m ³	0.000069	ton/ton utspridda massor		From Ecoinvent 3.6_cutoff "excavation, hydraulic digger-RER"
9	Utspridningsfaktor	50	%	0.01		0.5		Antagande om att 50% av massorna som tippas på saneringsplats behöver spridas ut	
10	Värmevärde för diesel lastning/utspridning	36.2	MJ/l	0.815	kg/l	44.4	GJ/ton diesel	Antagande att grävmaskin används	Produktblad från Preem (densitet och värmevärde): https://www.preem.se/contentassets/e29a3baa0c764ebfab4d6e3dc9f064d/acp-diesel-b5.pdf

Nummer	Namn	Mängd	Enhet	Omvandlingsfaktor	Enhet	Input till scenario	Enhet	Kommentar	Källa
11	Värmevärde för diesel vid transport av prover	36.2	MJ/l	0.815	kg/l	44.4	GJ/ton diesel		Produktblad från Preem (densitet och värmevärde): https://www.preem.se/contentassets/e29a3baa0c764ebfabc4d6e3dc9f064d/acp-diesel-b5.pdf
12	Bensinkonsumption personbil	0.062	kg/km						From Ecoinvent 3.6_cutoff "transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5"
13	Värmevärde bensin	43.2	MJ/kg			43.2	MJ/kg bensin		Produktblad från preem, https://www.preem.se/contentassets/4829892b6c8c40c486a86894f9f5194b/preem-evolution-bensin.pdf
14	Bränsle som används för maskiner (bergtäkt), produktion återfyllnadsmassor	0.014	MJ/kg producerat makadam (återfyllnadsmassor)	0.00032	kg diesel/kg producerat makadam	0.00032	ton diesel/ton makadam		From Ecoinvent 3.6_cutoff "gravel production, crushed (CH)"
15	Värmevärde för diesel vid produktion av återfyllnadsmassor	36.2	MJ/l	0.815	kg/l	44.4	MJ/kg diesel		Produktblad från Preem (densitet och värmevärde): https://www.preem.se/contentassets/e29a3baa0c764ebfabc4d6e3dc9f064d/acp-diesel-b5.pdf
16	Omvandlingsfaktor MJ-kWh			3.6	MJ/kWh				

A.7 Beräkningar drivmedel

Projekt: G			
Transport G1	Saneringsplats-Deponi		transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km	
Avstånd	76.4	km	
Transporterade massor	7602	ton	
Total diesellåtgång (materialflöde)	21.3	ton diesel	
Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel	
Energiflöde	945	GJ	
Transport G2	Upplag-Saneringsplats		transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km	
Avstånd	4.2	km	
Transporterade massor	3 801	ton	
Total diesellåtgång (materialflöde)	0.59	ton diesel	
Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel	
Energiflöde	26.0	GJ	
Transport G3	Stenberget-Saneringsplats		transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km	
Avstånd	43	km	
Transporterade massor	3 801	ton	
Total diesellåtgång	6.00	ton diesel	
Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel	
Energiflöde	267	GJ	
Transport (prover)	Saneringsplats-Labb (danderyd)		transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km	
Avstånd	653	km	
Totalvikt prover	0.06	ton	
Total diesellåtgång (=Materialflöde)	0.002	ton diesel	
Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel	
Energiflöde	0.1	GJ	
Totalt			
Förerenade massor	Utan asfalt/betong		
	21.3	ton diesel	
	945	GJ	
Återfyllnadsmassor	6.6	ton diesel	
	293	GJ	
Prover	0.0015	ton diesel	
	0.1	GJ	

Förerenade massor					
Schaktning					
	Dieselskonsumtion	0.131	kg/m3	excavation, hydraulic digger (RER)	
	Schaktade massor (ej betong/asfalt)	7 602	ton		
	Densitet jord	1.9	ton/m3		
	Total diesellåtgång	0.5	ton diesel	23	GJ
Deponi					
	Dieselskonsumtion	0.00105	ton diesel/ton deponerat avfall	process-specific burdens, sanitary landfill (CH)	
	Hanterade massor	7 602	ton		
	Total dieselskonsumtion	8.0	ton diesel	355	GJ
Återställning (återfyllnadsmassor)					
Lastning					
	Dieselskonsumtion	0.13	kg/m3	skid-steer, excavation (RER)	
	Lastade massor	7 602	ton		
	Densitet jord	1.9	ton/m3		
	Total dieselskonsumtion	1	ton diesel	23.1	GJ
Utspridning/schaktning					
	Dieselskonsumtion	0.131	kg/m3	excavation, hydraulic digger (RER)	
	Utspridda massor	3 801	ton		
	Total dieselskonsumtion	0.3	ton diesel	11.6	GJ
Produktion av återfyllnadsmassor (maskiner som används vid bergtäkt)					
	Dieselskonsumtion	0.00032	ton diesel/ton makadam	gravel production crushed (CH)	
	Producerad makadam	3 801	ton makadam		
	Total dieselskonsumtion	1	ton diesel	54.4	GJ
	Makadam (jungfruligt)	8	ton diesel		
Analys prover (jordprover)					
Personaltransport					
	Bensinkonsumtion	0.0620669	kg bensin/km		
	Körda kilometer	1 071	km		
	Total bensinkonsumtion	66.5	kg bensin		
	Värmevärde	43.2	MJ/kg bensin	2.9	GJ

	Transport	Deponering	Produktion	Lastning	Schaktning	Utspridning	Enhet
Totalt	27 875	7 993	1 224	520	524	262	kg diesel
Förerenade massor	21 285	7 993	-	-	524	-	kg diesel
Jungfruliga massor	6 004	-	1 224	260	-	131	kg diesel
Återvunna massor	585	-	-	260	-	131	kg diesel
Jordprover	2	-	-	-	-	-	kg diesel

Projekt: M			
Transport M1	Saneringsplats- Ågab		transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km	
Avstånd	7.9	km	
Transporterade massor	5397	ton	
Total dieselslätgång	1.56	ton diesel	
Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel	
Energiflöde	69.4	GJ	
Transport M2	Saneringsplats- Trelleborgs hamn		transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km	
Avstånd	32.4	km	
Transporterade massor	40 820	ton	
Total dieselslätgång	48.5	ton diesel	
Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel	
Energiflöde	2153	GJ	
Transport M4	Fastighetsboken 1 - Saneringsplats		transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km	
Avstånd	22	km	
Transporterade massor	4 000	ton	
Total dieselslätgång	3.2	ton diesel	
Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel	
Energiflöde	143	GJ	
Transport M5	Björred - Saneringsplats		transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km	
Avstånd	22.8	km	
Transporterade massor	7 180	ton	
Total dieselslätgång	6	ton diesel	
Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel	
Energiflöde	266	GJ	
Transport M6	Skivaregatan:Malmö - Saneringsplats		transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km	
Avstånd	6.2	km	
Transporterade massor	18 500	ton	
Total dieselslätgång	4.2	ton diesel	
Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel	
Energiflöde	187	GJ	
Transport M7	Nobelvägen:Malmö - Saneringsplats		transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km	
Avstånd	3.9	km	

Företrade massor			
Schaktning			
Dieselskonsumtion	0.13	kg/m3	excavation, hydraulic digger (RER)
Schaktade massor (ej betong/asfalt)	47 759	ton	
Densitet jord	1.9	ton/m3	
Total dieselslätgång	3.29	ton diesel	146 GJ
Deponi			
Dieselskonsumtion	0.001051395	ton diesel/ton deponerat avfall	process-specific burdens, sanitary landfill (CH)
Handerade massor	46 217	ton	
Total dieselskonsumtion	48.6	ton diesel	2158 GJ
Återfyllnadsmassor			
Lastning			
Dieselskonsumtion	0.13	kg/m3	skid-steer, excavator (RER)
Lastade massor	33 180	ton	
Densitet jord	1.9	ton/m3	
Total dieselskonsumtion	2.3	ton diesel	100.8 GJ
Utspridning/schaktning			
Dieselskonsumtion	0.131	kg/m3	excavation, hydraulic digger (RER)
Utspridda massor	16 590	ton	
Total dieselskonsumtion	1.1	ton diesel	50.8 GJ
Produktion av återfyllnadsmassor (maskiner som används vid bergtäkt)			
Dieselskonsumtion	0.00032	ton diesel/ton makadam	gravel production crushed (CH)
Producerad makadam	0	ton makadam	
Total dieselskonsumtion	0.0	ton diesel	0.0 GJ
Jordprover			
Personaltransport			
Bensinkonsumtion	0.1	kg bensin/km	
Körda kilometer	397	km	
Total bensinkonsumtion	24.6	kg bensin	
Värmevärde bensin	43.2	MJ/kg bensin	1.1 GJ

	Transport	Deponering	Produktion	Lastning	Schaktning	Utspridning	Enhet
Totalt:	63 963	48 592	-	2 270	3 293	1 144	kg diesel
Företrade massor	50 030	48 592	-	-	3 293	-	kg diesel
Jungfruliga massor	-	-	-	-	-	-	kg diesel
Återvunna massor	13 927	-	-	2 270	-	1 144	kg diesel
Jordprover	6	-	-	-	-	-	kg diesel

Nobelvägen:Malmö -			
Transport M7	Saneringsplats		
	Transporterade massor	3 500	ton
	Total diesellätgång	0.50	ton diesel
	Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel
	Energiflöde	22.2	GJ
<hr/>			
Transport (prover)	Saneringsplats -		
	Danderyd		
	Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km
	Avstånd	623	km
	Transporterade massor	0.24	ton
	Total diesellätgång	0.01	ton diesel
	Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel
	Energiflöde	0.25	GJ
<hr/>			
<i>Totalt</i>			
	Förerenade massor	Utan asfalt/betong	
		50	ton diesel
		2 222	GJ
	Återfyllnadsmassor		
		13.9	ton diesel
		618.6	GJ
	Prover		
		0.01	ton diesel
		0.25	GJ

Projekt: S						
Transport S1	Saneringsplats - Lunnum					transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
	Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km			
	Avstånd	31.8	km			
	Transporterade massor	112.7	ton			
	Total dieslätgång	0.13	ton diesel			
	Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel			
	Energiflöde	5.8	GJ			
Transport S2	Saneringsplats - Tollarp					transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
	Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km			
	Avstånd	63.8	km			
	Transporterade massor	1 638	ton			
	Total dieslätgång	3.8	ton diesel			
	Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel			
	Energiflöde	170	GJ			
Transport S3	Saneringsplats - Sysav					transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
	Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km			
	Avstånd	24.9	km			
	Transporterade massor	700.7	ton			
	Total dieslätgång	0.64	ton diesel			
	Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel			
	Energiflöde	28.4	GJ			
Transport S4	Bergtäkt (valt den närmast) - Saneringsplats					transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
	Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km			
	Avstånd	17.5	km			
	Transporterade massor	2 451	ton			
	Total dieslätgång	1.6	ton diesel			
	Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel			
	Energiflöde	69.8	GJ			
Transport (prover)	Saneringsplats - Danderyd					transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6
	Dieselskonsumtion	0.04	kg/ton*km			
	Avstånd	398	km			
	Transporterade massor	0.04	ton			
	Total dieslätgång	0.0006	ton diesel			
	Värmevärde (diesel)	44.4	GJ/ton diesel			
	Energiflöde	0.03	GJ			
Totalt	Föreanade massor	asfalt/betong	4.6 ton diesel			
			204 GJ			
	Återfyllnadsmassor		1.6 ton diesel			
			70 GJ			
	Prover		0.001 ton diesel			
			0.03 GJ			

Föreanade massor						
Schaktning						
	Dieselskonsumtion	0.13	kg/m3			excavation, hydraulic digger (RER)
	Schaktade massor (ej betong/asfalt)	2 451	ton			
	Densitet jord	1.9	ton/m3			
	Total dieslätgång	0.17	ton diesel	8		GJ
Deponi	Dieselskonsumtion	0.001051395	ton diesel/ton deponerat avfall			process-specific burdens, sanitary landfill
	Hanterade massor	2 451	ton			
	Total dieselskonsumtion	2.6	ton diesel	114		GJ
Återfyllnadsmassor						
Lastning						
	Dieselskonsumtion	0.13	kg/m3			skid-steer, excavator (RER)
	Lastade massor	2 451	ton			
	Densitet jord	1.9	ton/m3			
	Total dieselskonsumtion	0.2	ton diesel	7.4		GJ
Utspridning/schaktning						
	Dieselskonsumtion	0.131	kg/m3			excavation, hydraulic digger (RER)
	Utspridda massor	1 226	ton			
	Total dieselskonsumtion	0.1	ton diesel	3.8		GJ
Produktion av återfyllnadsmassor (maskiner som används vid bergtäkt)						
	Dieselskonsumtion	0.00032	ton diesel/ton makadam			gravel production crushed (CH)
	Producerad makadam	2 451	ton makadam			
	Total dieselskonsumtion	0.8	ton diesel	35.1		GJ
Jordprover						
Personaltransport						
	Bensinkonsumtion	0.1	kg bensin/km			
	Körda kilometer	272	km			
	Total bensinkonsumtion	16.9	kg bensin			
	Värmevärde bensin	43.2	MJ/kg bensin	0.7		GJ

	Transport	Deponering	Produktion	Lastning	Schaktning	Utspridning	Enhet
Totalt:	6 172	2 577	-	168	169	84	kg diesel
Föreanade massor	4 600	2 577	-	-	169	-	kg diesel
Jungfruliga massor	1 572	-	-	168	-	84	kg diesel
Återvunna massor	-	-	-	-	-	-	kg diesel
Jordprover	1	-	-	-	-	-	kg diesel

A.8 Exempelberäkning energi

Projekt: M						
Utdata från Ecoinvent och andra källor						
Deponi	Electricitet, low voltage (kWh/kg deponerat avfall)	Värme, central/small scale (MJ/kg deponerat avfall)	Värme, central/small scale (MJ/ kg deponerat avfall)	Process-specific burdens		
				Electricitet, low voltage (kWh/deponerat avfall)	Värme, central/small scale [MJ/ kg deponerat	Data från Ecoinvent
<i>Förorenade massor</i>	0.00007	0.000044928	0.000032524	0.000015	0.0015134	
MJ/kg deponerat avfall	0.0003	0.00004	0.00003	0.0001	0.002	Omvandling till samma enhet, MJ
Återställning						
Bergtäkt, produktion jungfruliga massor	Electricitet, medium voltage [kWh/kg producerat material]	Värme, central/small-scale [MJ/kg producerat material]				
<i>Återfyllnadsmassor</i>	0.00398	0.00491	Data från Ecoinvent			
MJ/kg producerad makadam	0.01	0.005	Omvandling till samma enhet, MJ			
Geotextil produktion, Polypropylene						
	Electricitet, medium voltage [MJ/kg producerad propylene]	Värme, från steam [MJ/kg producerad propylene]				
MJ/kg geotextil	0.35154	0.56857		Data från Ecoinvent		
	0.4	0.6		Omvandling till samma enhet, MJ		
Analys prover						
<i>Jordprover</i>	Electricitet, medium voltage [kWh/analyserat prov]					
	1.2	Data från SGS				
MJ/prov	4.3	Omvandling till samma enhet, MJ				
Grundvattenhantering						
	Electricity, low voltage [kWh/m3 vatten]	Electricity, high voltage [kWh/m3 vatten]	Värme, other than natural gas (MJ/m3 vatten)	Värme, natural gas [MJ/m3 vatten]		
<i>Pumpning grundvatten</i>	0.25324					Data från Envytech
MJ/m3 vatten	0.9					Omvandling till samma enhet, MJ
<i>Mobilt reningsverk, fläkt</i>	0.63309					Data från Envytech
MJ/m3 vatten	2.3					Omvandling till samma enhet, MJ
<i>Mobilt reningsverk</i>	2.5324					Data från Envytech
MJ/m3 vatten	9.1					Omvandling till samma enhet, MJ
<i>Kommunalt reningsverk</i>	0.20571	0.021808	0.12722	0.0073984		Data från Ecoinvent
MJ/m3 vatten	0.74	0.08	0.1	0.007		Omvandling till samma enhet, MJ

Beräkningar energidiagram								
Schaktning	Mängd	Enhet	Källa	Beräkning	Enhet	Beräkning	Enhet	Källa
Tillverkning arbetsmaskiner	0.000006	grävmaskin/m3 schaktade massor	Ecoinvent, excavation, hydraulic digger (RER)	1.110232849	MJ/m3	53	GJ	Beräknad med hjälp av Excelark "LCA input projekt M"
Urschaktning	0.131	kg/m3	Ecoinvent, excavation, hydraulic digger (RER)		3.3 ton diesel	146	GJ	Från Excelark "diesel och energiåtgång"
Totalt:						199	GJ	
Tillverkningsprocess	Mängd	Enhet	Omvandling	Enhet	Ecoinvent produkt	Version	Geografisk plats	Källa
ROW	182	kWh/grävmaskin	655	MJ/grävmaskin	electricity, medium voltage	cut-off36	AU	Ecoinvent
	33	kWh/grävmaskin	119	MJ/grävmaskin	electricity, medium voltage	cut-off36	NZ	Ecoinvent
	561	kWh/grävmaskin	2 021	MJ/grävmaskin	electricity, medium voltage	cut-off36	RAF	Ecoinvent
	8 141	kWh/grävmaskin	29 307	MJ/grävmaskin	electricity, medium voltage	cut-off36	RAS	Ecoinvent
	1 165	kWh/grävmaskin	4 194	MJ/grävmaskin	electricity, medium voltage	cut-off36	RLA	Ecoinvent
	3 817	kWh/grävmaskin	13 743	MJ/grävmaskin	electricity, medium voltage	cut-off36	RNA	Ecoinvent
	2 346	MJ/grävmaskin	2 346	MJ/grävmaskin	heat, district or industrial, natural gas	cut-off36	CA-QC	Ecoinvent
	132 650	MJ/grävmaskin	132 650	MJ/grävmaskin	heat, district or industrial, natural gas	cut-off36	RoW	Ecoinvent
Totalt:	0.33059	grävmaskin/gräv maskin	185 036	MJ/grävmaskin	hydraulic digger production		RER	Ecoinvent
	61 171	MJ/grävmaskin						
RER	135 000	MJ/grävmaskin	135 000	MJ/grävmaskin	heat, district or industrial, natural gas	cut-off36	RER	Ecoinvent
	13 900	kWh/grävmaskin	50 040	MJ/grävmaskin	electricity, medium voltage	cut-off36	RER	Ecoinvent
Totalt:	0.66941	grävmaskin/gräv maskin	185 040	MJ/grävmaskin	hydraulic digger production		ROW	Ecoinvent
	123 868	MJ/grävmaskin						
Transport av förorenade massor	Mängd	Enhet	Källa	Beräkning	Enhet	Beräkning	Enhet	
Tillverkning transportmedel	0.00000032	lastbil/ton*km	Ecoinvent, lorry production 16 metric	0.016078336	MJ/ton*km	22	GJ	Beräknad med hjälp av Excelark "LCA input projekt M"
Transport förorenade massor (lastbil)	0.037	kg/ton*km	Ecoinvent, transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 (RER)		50 ton diesel	204	GJ	Från Excelark "diesel och energiåtgång"
Totalt						226	GJ	
Tillverkningsprocess	Mängd	Enhet	Omvandling	Enhet	Ecoinvent produkt	Version	Geografisk plats	Källa
RER	4 740	kWh/lastbil	17 064	MJ/lastbil	electricity, medium voltage	cut-off36	RER	Ecoinvent
	32 300	MJ/lastbil	32 300	MJ/lastbil	heat, district or industrial, natural gas	cut-off36	RER	Ecoinvent
	861	MJ/lastbil	861	MJ/lastbil	heat, district or industrial, other than natural gas	cut-off36	RER	Ecoinvent
	20	MJ/lastbil	20	MJ/lastbil	diesel, burned in building machine	cut-off36	GLO	Ecoinvent
Totalt:	0.33059	lastbil/lastbil	50 245	MJ/lastbil	lorry production, 16 metric ton		RER	Ecoinvent
ROW	16610.43	MJ/lastbil						
	62.05	kWh/lastbil	223	MJ/lastbil	electricity, medium voltage	cut-off36	AU	market for electricity, medium voltage
	11.29	kWh/lastbil	41	MJ/lastbil	electricity, medium voltage	cut-off36	NZ	market for electricity, medium voltage
	191.47	kWh/lastbil	689	MJ/lastbil	electricity, medium voltage	cut-off36	RAF	market group for electricity, medium voltage
	2776.11	kWh/lastbil	9 994	MJ/lastbil	electricity, medium voltage	cut-off36	RAS	market group for electricity, medium voltage

ROW	2776.11	kWh/lastbil	9 994	MJ/lastbil	electricity, medium voltage	cut-off36	RAS	market group for electricity, medium voltage
	397	kWh/lastbil	1 430	MJ/lastbil	electricity, medium voltage	cut-off36	RLA	market group for electricity, medium voltage
	1 302	kWh/lastbil	4 686	MJ/lastbil	electricity, medium voltage	cut-off36	RNA	market group for electricity, medium voltage
	20	MJ/lastbil	20	MJ/lastbil	diesel, burned in building machine	cut-off36	GLO	market for diesel, burned in building machine
	0	MJ/lastbil	0.4	MJ/lastbil	heat, district or industrial, other than natural gas	cut-off36	CA-QC	market for heat, district or industrial, other than natural gas
	860	MJ/lastbil	860	MJ/lastbil	heat, district or industrial, other than natural gas	cut-off36	RoW	market for heat, district or industrial, other than natural gas
	561	MJ/lastbil	561	MJ/lastbil	heat, district or industrial, natural	cut-off36	CA-QC	market for heat, district or industrial, natural gas
	31 739	MJ/lastbil	31 739	MJ/lastbil	heat, district or industrial, natural	cut-off36	RoW	market for heat, district or industrial, natural gas
Totalt:	0.66941	lastbil/lastbil	50 245	MJ/lastbil	lorry production, 16 metric		ROW	
	33 634	MJ/lastbil						
Provtagning efter schaktning	Mängd	Enhet	Källa	Beräkning	Enhet	Beräkning	Enhet	Källa
Transport personal	0.0620669	kg bensin/km	Ecoinvent, transport passenger car, medium Euro 5	24.6	kg bensin	1	GJ	Från Excelark "diesel och energiåtgång"
Tillverkning, lastbil	0.00000032	lastbil/ton*km	Ecoinvent, lorry production 16 metric	0.016078336	MJ/ton*km	0.0024	GJ	Beräknad med hjälp av Excelark "LCA input projekt M" --> För små
Tillverkning, personbil								
Transport av prover	0.037	kg/ton*km	Ecoinvent, transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 (RER)	0.01	ton diesel	0.2	GJ	
Analys prover	1.2	kWh/prov	SGS	4.32	MJ/prov	2	GJ	
Totalt:						4	GJ	
Elförbrukning maskiner	Mängd	Enhet	Omvandling	Enhet	Källa	Eco-invent produkt	Geografisk plats	Version
Elektricitet prov		1.2 kWh/prov		4.32 MJ/prov	SGS	electricity, medium voltage	SE	cut-off36
Återställning	Mängd	Enhet	Källa	Beräkning	Enhet	Beräkning	Enhet	
Produktion av materialskiljande lager	1.8	MJ/kg propylene	polypropylene production, granulate		1971 MJ	2	GJ	Beräknad med hjälp av Excelark "LCA input projekt M"
Produktion av makadam, elektricitet			Gravel, crushed (CH)			0	GJ	
Lastning av återfyllnadsmassor (hullastare)			Skid-steer loader, excavation (RER)			101	GJ	Från Excelark "diesel och energiåtgång"
Tillverkning arbetsmaskiner			skiid-steer och hydraulic digger (RER)			12	GJ	Se nedan, tillverkning arbetsmaskiner & transportmedel
Utspridning av återfyllnadsmassor (grävmaskin)						51	GJ	Från Excelark "diesel och energiåtgång"
Tillverkning lastbil	0.00000032	lastbil/ton*km	Ecoinvent, lorry production 16 metric	0.016078336	MJ/ton*km	6	GJ	Beräknad med hjälp av Excelark "LCA input projekt M"
Transport av återfyllnadsmassor (lastbil)			transport, lorry 16-32 metric, euro 6 (RER)			293	GJ	Från Excelark "diesel och energiåtgång"
Totalt:						464	GJ	
Produktion av materialskiljande lager	Mängd	Enhet	Omvandling	Enhet	Källa	Ecoinvent produkt		
Elektricitet	0.35	kWh/kg propylene	1.3	MJ/kg propylene	Ecoinvent	Electricity, medium voltage (RER)		
Värme	0.57	MJ/kg propylene	0.6	MJ/kg propylene	Ecoinvent	Heat, from steam, in chemical industry (RFR)		
Tillverkning arbetsmaskiner & transportmedel	Mängd	Enhet	Beräkning	Enhet	Beräkning	Enhet	Ecoinvent produkt	Källa
Hjullastare	9.09E-07	hullastare/m3	0.11	MJ/m3	2.0	GJ	skid-steer, excavation (RER)	Ecoinvent

<i>Lastbil</i>	0.0000032	lastbil/ton*km		0.02 MJ/ton*km	6.1	GJ	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 (RER)	Ecoinvent
<i>Grävmaskin</i>	0.000006	grävmaskin/m3 schaktade massor		1.11 MJ/m3	9.7	GJ	excavation, hydraulic digger (RER)	Ecoinvent
Tillverkningsprocess (hjullastare)	Mängd	Enhet	Omvandling	Enhet	Ecoinvent produkt	Version	Geografisk plats	Källa
ROW	120	kWh/hjullastare	432	MJ/hjullastare	electricity, medium voltage	cut-off36	AU	Ecoinvent
	22	kWh/hjullastare	79	MJ/hjullastare	electricity, medium voltage	cut-off36	NZ	Ecoinvent
	370	kWh/hjullastare	1 334	MJ/hjullastare	electricity, medium voltage	cut-off36	RAF	Ecoinvent
	5 371	kWh/hjullastare	19 334	MJ/hjullastare	electricity, medium voltage	cut-off36	RAS	Ecoinvent
	769	kWh/hjullastare	2 767	MJ/hjullastare	electricity, medium voltage	cut-off36	RLA	Ecoinvent
	2 518	kWh/hjullastare	9 066	MJ/hjullastare	electricity, medium voltage	cut-off36	RNA	Ecoinvent
	1 564	MJ/hjullastare	1 564	MJ/hjullastare	heat, district or industrial, natural	cut-off36	CA-QC	Ecoinvent
	88 436	MJ/hjullastare	88 436	MJ/hjullastare	heat, district or industrial, natural	cut-off36	RoW	Ecoinvent
Totalt:			123 012	MJ/hjullastare				
Andelen ROW	0.66941	hullastare/hullastare			market for building machine			Ecoinvent
	82 345	MJ/hjullastare						
RER	9 170	kWh/hjullastare	33 012	MJ/hjullastare	electricity, medium voltage	cut-off36	RER	Ecoinvent
	90 000	MJ/hjullastare	90 000	MJ/hjullastare	heat, district or industrial, natural	cut-off36	RER	Ecoinvent
Totalt:			123 012	MJ/hjullastare				
Andelen RER	0.33059	hullastare/hullastare						
	40 667	MJ/hjullastare						
Behandling av förorenade massor (denomi)	Mängd	Enhet	Källa	Beräkning	Enhet	Beräkning	Enhet	Källa
Behandling av förorenade massor, elektricitet	0.0003	MJ/kg deponerat avfall	treatment of inert waste, sanitary landfill (CH)	15 226	MJ	15	GJ	Beräknad med hjälp av Excelark "LCA input projekt M"
Diesel, burned in building machines						2 158	GJ	Från Excelark "diesel och energiåtgång"
Process-specific burdens, elektricitet	0.0016	MJ/kg deponerat avfall	process-specific burdens, sanitary landfill	72 441	MJ	72	GJ	Beräknad med hjälp av Excelark "LCA input projekt M"
Electricity, low voltage								
heat, central or small-scale, other than								
natural gas								
Totalt:						2 246	GJ	

A.9 Energidiagram

<u>Resultat för projekt M</u>							
Efter sanering				Under sanering			
	Återställning	Deponering	Enhet	Transport	Schaktning	Provtagning	Enhet
Totalt:	464	2 246	GJ	226	199	4	GJ
Bränsle	444	2 158	GJ	204	146	1	GJ
Elektricitet	20	88	GJ	22	53	2	GJ

<u>Resultat för projekt G</u>							
Efter sanering				Under sanering			
	Återställning	Deponering	Enhet	Transport	Schaktning	Provtagning	Enhet
Totalt:	461	369	GJ	947	28	4	GJ
Bränsle	327	355	GJ	945	23	3	GJ
Elektricitet	134	14	GJ	2	4	1	GJ

<u>Resultat för projekt S</u>							
Efter sanering				Under sanering			
	Återställning	Deponering	Enhet	Transport	Schaktning	Provtagning	Enhet
Totalt:	139	119	GJ	206	9	1	GJ
Bränsle	89	114	GJ	204	8	1	GJ
Elektricitet	50	5	GJ	2	1	1	GJ

A.10 Förklaring marksaneringsmetoder

Biokol

Biokol tillverkas genom att låta avfall förbrännas under hög temperatur (pyrolys). Biokol har ett högt kolinnehåll och vid tillsättning i marken kan det binda till sig föroreningar.

Biologisk behandling

Behandlingsmetod för jord, sediment och grundvatten. Metoden går ut på att genom att tillsätta en blandning av näringsämnen, kol och mikroorganismer till det förorenade mediet stimuleras en biologisk nedbrytning. Används framför allt på organiska föroreningar.

Fytosanering

Metoden använder sig av växter för att avlägsna föroreningen. Genom växternas rotsystem kan föroreningen antingen stabiliseras runt rötterna eller ackumuleras i växternas bladverk.

Jordtvätt

Föroreningarna avlägsnas genom olika avskiljningsprocesser som till exempel mekanisk sortering och våt- och torrsiktning för att separera större respektive mindre fraktioner av jordpartiklar.

Stabilisering/solidifiering

Barriärmaterial i form av till exempel betong används för att kapsla in föroreningen och minska dess rörlighet.

Termisk behandling

Föroreningen förångas och avgår i gasfas genom att jord eller grundvatten värms upp.

Elektrokemisk oxidation (EKRT)

Ett elektriskt fält skapas med hjälp av elektroder som placeras i jorden. Föroreningar mobiliseras och kan brytas ner.

Porgasextraktion

Ett antal extraktionsrör installeras i jord ovanför grundvattennivån. Porgas från jorden extraheras och pumpas ovan mark för att renas.

A.11 Bild på diffusionspåse



Figur A11.1: Diffusionspåse som används för analys av jord från laboratoriet ALS Scandinavia AB.