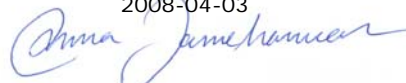


Deponering eller återvinning i anläggningsarbeten

- en LCA-studie av Boliden
järnsand

Håkan Stripple
B1790/U2239
April 2008

Rapporten godkänd
2008-04-03



Anna Jarnehammar
Avdelningschef

Organisation IVL Svenska Miljöinstitutet AB	Rapportsammanfattning
Adress Box 21060 100 31 Stockholm	Projekttitel Analys av två omhändertagandeanternativ för Boliden järnsand.
Telefonnr 08-598 563 00	Anslagsgivare för projektet Boliden AB
Rapportförfattare Håkan Stripple	
Rapporttitel och undertitel Deponering eller återvinning i anläggningsarbeten - en LCA-studie av Boliden järnsand	
Sammanfattning <p>Vid utvinning av koppar på Boliden, Rönnskårsverken i Skellefteå uppkommer en glasartat slagg som går under benämningen järnsand. I järnsanden finns bl.a. olika metaller i relativt låga halter. Tekniska undersökningar av materialet har visat att detta mycket väl kan användas som ersättningsmaterial för krossade stenmaterial i olika anläggningsapplikationer bl.a. i vägkonstruktioner. Naturvårdsverket har nu emellertid tagit fram förslag på nya kriterier för återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Kriterierna är relativt strikta vilket kan medföra att den praktiska användningen av järnsanden kan omöjliggöras och att järnsanden därmed kommer att läggas på deponi i stället vilket inte sker idag.</p> <p>IVL Svenska Miljöinstitutet har på uppdrag Boliden AB genomfört föreliggande studie rörande en utvärdering av det föreliggande förslaget från Naturvårdsverket. Den föreliggande rapporten belyser avfallshandlingen av järnsand ur ett systemperspektiv med livscykelanalysmetodik (LCA) för två olika alternativa omhändertagandemetoder för järnsand. Det ena alternativet visar användningen av järnsand i en vägapplikation och det andra alternativet visar konsekvenserna av att lägga järnsanden på en deponi.</p>	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren Järnsand, koppar, metaller, återvinning, deponering, väg, anläggningsarbeten, LCA, Boliden	
Bibliografiska uppgifter IVL Rapport B1790/U2239	
Rapporten beställs via Hemsida: www.ivl.se , e-post: publicationservice@ivl.se , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

Förord

IVL Svenska Miljöinstitutet har på uppdrag av Boliden AB genomfört föreliggande studie rörande en utvärdering av ett förslag till nya kriterier för återvinning av avfall i anläggningsarbeten från Naturvårdsverket. Uppdraget har tillkommit med anledning av de nya kriterier för avfallshantering i anläggningsarbeten som tagits fram av Naturvårdsverket [1]. De föreslagna skärpta kraven på avfallshanteringen kan befaras få negativa miljökonsekvenser för återvinning av vissa avfall eller biprodukter inom industrin. Föreliggande studie har därför initieras i syfte att utreda de konsekvenser som de nya förslaget kan förväntas medföra. Föreliggande rapport är fristående men skall ses som en del av flera utredningar som behandlar detta område. Nedan finns en förteckning av de rapporter som ingår i detta övergripande arbete. En samlad syntesrapport från hela projektgruppen med delrapporter som bilagor återfinns i referens [2].

1. **Material- och substansflödesanalys.** En nationell sammanställning av material- och substansflöden för As, Cd, Pb och Hg i ett antal alternativa ballastmaterial. Flöden jämförs med konventionella ballastmaterial, naturlig bakgrundsbelastning samt flöden av ämnena i samhället. Rapporten har författats av Peter Flyhammar, Flyhammar Resurs & Miljö. [3]
2. **Materialförbättringsanalys.** Översiktlig analys av de tekniska förutsättningarna att minska halterna av Cd, Pb och Hg i askor så att Naturvårdsverkets kriterier uppnås. Rapporten har författats av Henrik Bjurström, ÅF Process. [4]
3. **Livscykelanalys av askor.** Med livscykelanalys kvantifiera regionala och globala miljöeffekter för olika alternativa hanteringar. Rapporten har författats av Susanna Olsson vid Ecoloop AB. [5]
4. **Livscykelanalys av järnsand.** Med livscykelanalys kvantifiera regionala och globala miljöeffekter för olika alternativa hanteringar. Rapporten har författats av Håkan Stripple vid IVL. [Föreliggande rapport]
5. **Risakanalys.** En semi-kvantitativ riskanalys med händelsetråd för att kunna jämföra lokala miljörisker mellan olika alternativ hanteringar – anläggningsarbeten och deponering. Rapporten har författats av Ola Wik, Yvonne Andersson-Sköld, Jenny Norrman, Thomas Rihm vid SGI med bidrag från ÅF Process. [6]

Hela projektgruppen inkluderande samtliga projekt har bestått av följande personer:

Ola Wik Uppdragsledare, Riskanalys, Syntes (SGI)

Yvonne Andersson-Sköld, Riskanalys, Syntes (SGI)

Thomas Rihm, Expert Deponering (SGI)

Jenny Norrman, Granskare (SGI)

Henrik Bjurström, Riskanalys, Syntes (ÅF-process)

Peter Flyhammar, Material- och substansflöden, Syntes (Flyhammar Resurs & Miljö)

Susanna Olsson, LCA-utredning (Ecoloop AB/KTH)

Håkan Stripple, LCA-utredning (IVL)

Anna Jarnehammar, LCA-utredning (IVL)

Järnsand är en biprodukt vid utvinning av koppar. I Sverige är det främst Boliden AB som utvinner koppar och därmed får järnsand som biprodukt. Industrin besitter en stor expertkunskap inom sina respektive tillverkningsområden. Det har därför varit mycket betydelsefullt med en medverkan från industrin i detta projekt. Boliden AB, Rönnskärsverken genom dess miljöchef Michael Borell har här varit behjälplig med teknisk information och data för projektet. En referensgrupp från industrin/uppdragsgivarna har också varit knuten till projektet. Vi vill också på detta sätt tacka referensgruppen för dess medverkan och engagemang i projektet.

Göteborg, februari 2008

Håkan Stripple

Sammanfattning

Vid utvinning av koppar på Boliden, Rönnskärsverken i Skellefteå uppkommer en glasartat slagg som går under benämningen järnsand. I järnsanden finns bl.a. olika metaller i relativt låga halter. Tekniska undersökningar av materialet har visat att detta mycket väl kan användas som ersättningsmaterial för krossade stenmaterial i olika anläggningsapplikationer bl.a. i vägkonstruktioner. Naturvårdsverket har nu emellertid tagit fram förslag på nya kriterier för återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Kriterierna är relativt strikta vilket kan medföra att den praktiska användningen av järnsanden kan omöjliggöras och att järnsanden därmed kommer att läggas på deponi i stället vilket inte sker idag.

IVL Svenska Miljöinstitutet har på uppdrag Boliden AB genomfört föreliggande studie rörande en utvärdering av det föreliggande förslaget från Naturvårdsverket. Den föreliggande rapporten belyser avfallshanteringen av järnsand ur ett systemperspektiv med livscykelanalysmetodik (LCA) för två olika alternativa omhändertagandemetoder för järnsand. Det ena alternativet visar användningen av järnsand i en vägapplikation och det andra alternativet visar konsekvenserna av att lägga järnsanden på en deponi.

I studien har en samlad bild av de olika miljöaspekterna kring omhändertagande av järnsand gjorts. Energianvändning, resursanvändning och emissioner har belysts. Som framgått av resultaten visar studien i samtliga undersökta fall på en något lägre miljöpåverkan då järnsanden används i en vägapplikation jämfört med om järnsanden läggs på deponi. Detta kan förklaras av att en mindre arbetsinsats krävs för vägalternativet jämfört med deponialternativet. Beräkningar har även gjorts för metallerna As, Cd, Hg och Pb vars kriteriabadömning var upprinnelsen till denna studie. En jämförelse har gjorts av totalhalterna i materialen för de båda alternativen. Denna jämförelse kan indikera emissionerna under ett oändligt tidsperspektiv då samtliga metaller utlakas. Vid denna jämförelse blir de totala emissionerna högre för deponialternativet då metallerna från stenmaterialet ytterligare bidrar till förhöjda emissioner. De överslagsberäkningar av emissionerna som gjorts för perioden 0-100 år visar också de på högre emissioner för deponialternativet. För metallemissionerna återstår då att göra en bedömning av tidsperioden 100 år till oändlig tid. En kärnfråga är här vad som händer med materialet på lång sikt. Kommer materialet även i fortsättningen att förvaras separat eller kommer materialet att uppblandas med andra material? Vilken miljöpåverkan kan i sådana fall en fri inblandning i övriga material få? Hur mycket av det totala metallinnehållet kommer i verkligheten att lakas ut? Hur påverkas omgivningen av detta? Vilken förhöjning av metallhalter i omgivande mark som kan uppstå beror också på mängden material som lagras på en viss plats. Några säkra svar på dessa frågor finns givetvis inte. Denna del har heller inte kunnat tas med i LCA-modellerna i brist på säker information. Resultatet beror också på framtida omhändertagandestrategier för materialen.

Slutligen bör påpekas att denna studie i första hand är en jämförande studie mellan olika omhändertagandemetoder och därför inte ger en fullständig bild av de absoluta nivåerna av samtliga emissioner. Endast 4 metaller har medtagits så här finns också begränsningar i bedömningsgrunderna.

Innehållsförteckning

Förord	1
Sammanfattning.....	3
Förkortningar	5
1 Inledning och bakgrund	6
2 Livscykelanalys (LCA) - en översikt.....	7
3 Teknisk bakgrundsbeskrivning av järnsand	8
3.1 Processer och uppkomst.....	8
3.2 Sammansättning och materialbeskrivning.....	9
3.3 Användningsområde.....	10
4 Livscykelanalysen	11
4.1 Mål och omfattning	11
4.2 Inventeringen.....	14
4.2.1 Transporter.....	14
4.2.2 Deponikonstruktionen	15
4.2.3 Vägkonstruktionen.....	15
4.3 Miljöpåverkansanalys	16
4.3.1 Energiresursanvändning	16
4.3.2 Emissioner.....	19
4.3.2.1 Emissioner av NO _x och SO ₂	19
4.3.2.2 Emissioner av klimatgaser (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	21
4.3.2.3 Emissioner av kolväten och partiklar.....	22
4.3.2.4 Totalmängder av metallerna As, Cd, Hg och Pb i systemet.....	23
4.3.2.5 Emissioner av metallerna As, Cd, Hg och Pb under 100 år.....	24
4.3.3 Användning av naturresurser.....	26
4.3.4 Jämförande analys.....	27
5 Diskussion och slutsatser.....	29
6 Referenser.....	30

Bilaga 1. Användaranvisning för Bolidens Järnsand

Bilaga 2. Inventeringsdata använda i LCA-modellerna

Bilaga 3. Kompletta resultattabeller från LCA-modellerna

Förkortningar

Förkortning	Betydelse
NO _x	Summan av kväveoxiderna NO och NO ₂
N ₂ O	Lustgas
LCA	Livscykelanalys
L/S	Kvoten mellan mängden lakvätska (L) i liter och mängden fast material (S) i kg vid ett lakförsök.
EPD	Environmental Product Declaration

1 Inledning och bakgrund

Många industriella processer genererar avfall eller biprodukter som måste omhändertas på något sätt. Detta måste ske på ett godtagbart sätt med avseende på människors hälsa och den omgivande miljön. Omhändertagandet måste också vara kostnads- och resurseffektivt. Prioriteringen i avfallshanteringen brukar ofta beskrivas i termer av en avfallshierarki. Vid en utformning av en avfallsstrategi skall man första hand försöka att undvika att ett avfall uppkommer eller försöka att minimera avfallsmängderna. Om ett avfall ändå uppkommer bör man försöka att nyttiggöra avfallet som en produkt eller försöka att utvinna användbara ämnen ur avfallet. Här ingår givetvis också att recirkulera materialet internt i processen. Först när dessa möjligheter är uttömda återstår att deponera avfallet i en avfallsdeponi. Alla dessa olika åtgärder måste givetvis ske på ett godtagbart sätt för den omgivande miljön. Vilket alternativ som är bäst ur miljösynpunkt är inte självklart. Olika återvinningsprocesser ger upphov till olika miljöpåverkan och deponering av ett avfall innebär också en betydande miljörisk. En miljöbedömning måste här göras från fall till fall. Det är i detta sammanhang viktigt att ha ett systemperspektiv i analysen d.v.s. hela avfallskedjan måste tas med i analysen för de olika alternativa åtgärderna för att omhänderta avfallet. Den vanligaste metoden för systemanalyser är idag den s.k. livscykelanalysen (LCA).

Vid utvinning av koppar på Boliden, Rönnskärsverken i Skellefteå uppkommer en glasartat slagg som går under benämningen järnsand då slaggens huvudsakliga uppgift har varit att avlägsna järnet ur kopparslügen. Tekniska undersökningar av materialet har visat att detta mycket väl kan användas som ersättningsmaterial för krossade stenmaterial i olika anläggningsapplikationer bl.a. i vägkonstruktioner. Järnsanden har använts internt vid Rönnskärsverken för anläggningsändamål sedan lång tid och materialet har också använts för olika anläggningsarbeten i Skellefteåområdet sedan 1970-talet med ett gott tekniskt resultat. Naturvårdsverket har nu emellertid tagit fram förslag på nya kriterier för återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Kriterierna är relativt strikta vilket kan medföra att den praktiska användningen av järnsanden kan omöjliggöras och att järnsanden därmed kommer att läggas på deponi i stället vilket inte sker idag.

Med anledning av dessa nya kriterier har det befunnits nödvändigt att göra en specifik analys av hanteringen av järnsand och de olika möjligheter som idag finns. Den föreliggande rapporten belyser avfallshanteringen av järnsand ur ett systemperspektiv med livscykelanalysmetodik för två olika alternativ. Det ena alternativet visar användningen av järnsand i en vägapplikation och det andra alternativet visar konsekvenserna av att lägga järnsanden i en deponi.

2 Livscykelanalys (LCA) - en översikt

LCA är en metod med vars hjälp man kan beskriva och kvantifiera produkters miljöbelastning under alla steg i livscykeln, från utvinning av råvaror, tillverkning och användning till återvinning och avfallshantering. En livscykelanalys är således en kartläggning av resursanvändning och emissioner till luft, vatten och mark från ”vaggan till graven” för en produkt.

Inom ISO (International Organization for Standardisation) har man utvecklat standarder för livscykelanalyser, den s.k. ISO 14040-serien. I enlighet med standarderna består en livscykelanalys av följande delar:

- *Definition av mål och omfattning:* Syftet med analysen anges i detta steg. Vidare sätts målen för studien upp, systemgränser väljs, funktionell enhet, dvs vad som studeras och som alla resultat hänförs till, definieras m.m.
- *Inventeringsanalys:* I detta steg beräknas material- och energiflöden till och från det undersökta systemet och data för alla delaktiviteter samlas in och sammanställs.
- *Miljöpåverkansbedömning:* I miljöpåverkansbedömningen aggregeras resultaten från inventeringsanalysen och en utvärdering av potentiella miljöeffekter görs. Exempel på miljöeffekter är växthuseffekt, försurning, eutrofiering samt marknära ozon. Miljöpåverkansbedömningen är indelad i tre delar:
 - *Klassificering:* Emissioner och resursflöden grupperas efter olika miljöpåverkanskategorier. Alla typer av emissioner som kan bidra till exempelvis växthuseffekten grupperas under rubriken ”växthuseffekten” och alla typer av emissioner som bidrar till försurningen grupperas under rubriken ”försurning” etc. Vissa ämnen eller emissioner kan bidra till flera olika miljöpåverkanskategorier samtidigt.
 - *Karakterisering:* Karakteriseringen innebär att de olika bidragen till respektive miljöpåverkanskategori aggregeras så att ett enda tal för respektive miljöpåverkanskategori erhålls. Exempelvis aggregeras utsläpp av koldioxid och metan, som listas under kategorin klimatpåverkan, till koldioxidekvivalenter. Därefter summeras ekvivalenterna. På så sätt erhålls ett kvantitativt mått på de miljöpåverkanskategorier som studeras.
 - *Viktning:* I viktningsteget (värdering) viktas de olika kategoribidragen från karakteriseringen samman till ett eller några få tal. Detta sker genom att använda värderingsmetoder, som utformats för att på något sätt fånga upp och beskriva hur samhället förväntas värdera de olika bidragen. Många LCA-studier stannar ofta vid den ”miljöpåverkansprofil” som ges av karakteriseringen. Syftet är då att låta användaren av studien matcha miljöpåverkansprofilen mot sina egna preferenser och värderingar.
- *Tolkning:* I tolkningsteget tolkas resultaten och förslag till förbättringar/åtgärder ges.

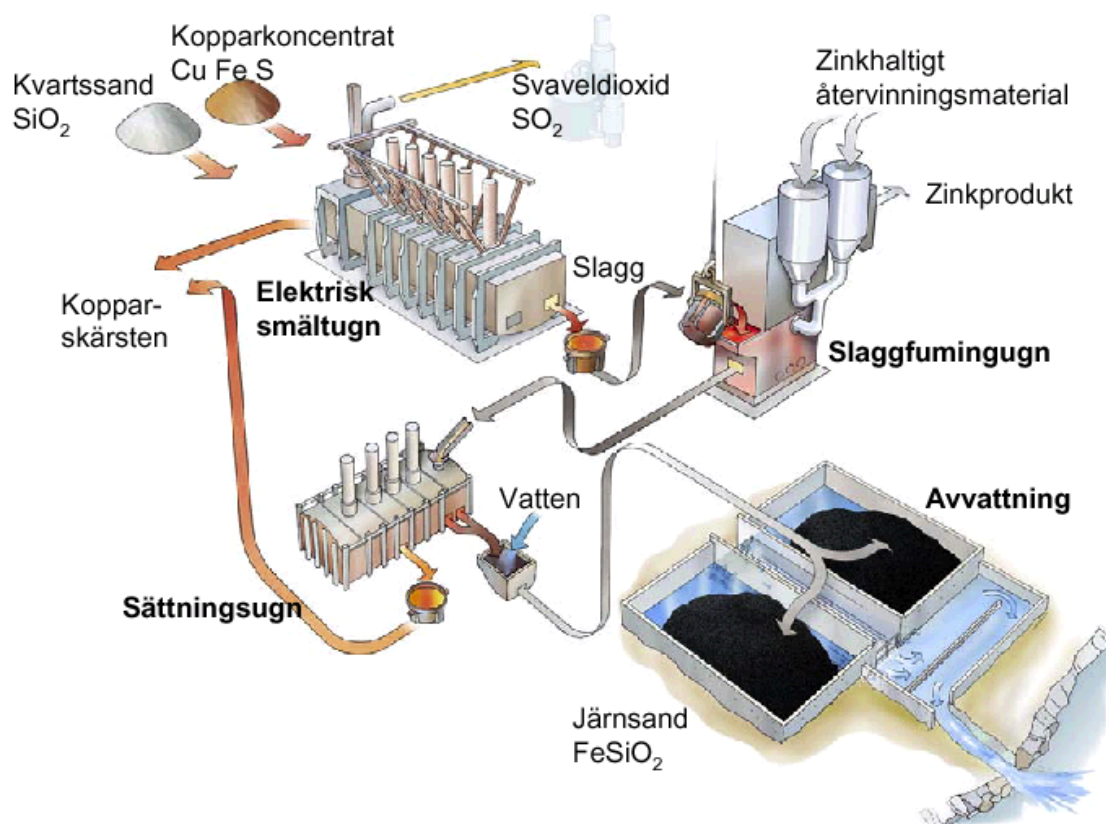
LCA används ofta som ett verktyg för att identifiera i vilket/vilka led en produkt, tjänst eller process har sin största miljöpåverkan. LCA används idag som underlag för både kortsiktiga och långsiktiga beslut och kan användas av såväl företag som offentliga myndigheter. LCA kan exempelvis användas:

- för att lära känna sin produkt eller sitt systems miljöegenskaper
- som jämförelse mellan olika alternativa produkter, processer etc.
- som underlag för produktutveckling
- som stöd i miljöledningsarbetet
- som underlag till miljövarudeklarationer (EPD) eller miljönyckeltal
- som underlag för miljökommunikation och marknadsföring
- som underlag för upphandling

3 Teknisk bakgrundsbeskrivning av järnsand

3.1 Processer och uppkomst

Järnsand är en restprodukt som uppkommer vid renframställning av koppar. I Sverige är det främst Boliden AB, Rönnskärsverken som har produktion som genererar järnsand. Vid Rönnskärsverken framställer man koppar främst ur anrikad kopparmalm s.k. kopparslig. Kopparsligen innehåller flera olika metaller och andra ämnen. Huvudbeståndsdelarna är koppar, järn och svavel. För att avskilja järnet ur kopparsligen tillsätts kvartssand (SiO_2) i smältprocessen. Kiseloxiden utgör här en slaggbildare som förenar sig med järnet i kopparsligen. Denna slagg utgör grunden till järnsanden. Efter smältningen i den elektriska smältugnen renas slaggen i en slagg-fumingugn. Här drivs det relativt lättflyktiga zink- och blyinnehållet av som ånga vilken oxideras till respektive oxid och avskiljs i en gasreningsanläggning. Slaggen förs vidare till en elektrisk sättningsugn där resterande koppar avskiljs. Efter sättningsugnen vattenkyls slaggen och granuleras till den färdiga järnsandprodukten. En översiktlig bild av tillverkningsprocessen visas i figur 1.



Figur 1 Schematisk bild visande tillverkningsprocessen där järnsand uppkommer som en biprodukt. Figuren visad med tillstånd från Boliden, [8].

3.2 Sammansättning och materialbeskrivning

Järnsanden består huvudsakligen av olika silikater och oxider varav FeO och SiO₂ utgör huvudbeståndsdelarna. I järnsanden finns också olika metaller i relativt låga halter. Analyser av järnsanden sker dagligen vid tillverkningen på Rönnskärsverken. Analysvärdena sammanställs i kvartalsvärden. I tabell 1 visas en typisk sammansättning av järnsanden baserad på analysvärden. Materialet är ett amorft glasartat material där metallerna är hårt bundna i silikatstrukturen. Enligt toxicitetstester utförda enligt ISO 6341 uppvisar materialet ingen giftighet [7]. Materialet kan beskrivas som svartglänsande sand där 90 % av partikelfraktionen ligger i intervallet 0,25-3 mm. Materialdensiteten är 3,38 g/cm³, skrymdensiteten är 1,6 g/cm³ och densiteten för det packade materialet i vägkroppen ca 1,8 g/cm³. Materialet är hårt med en god värmeisolerade förmåga vilket utnyttjas vid användningen av materialet. Värmeledningsförmågan för materialet har uppmätts till 0,26 W/m,K.

Tabell 1 Typisk sammansättning av järnsand från Bolidens produktion, [8].

Ämne	Halt i järnsand (%)	Ämne	Halt i järnsand (%)
Fe	36,6	Mo	0,2
SiO	36,0	Ti	0,15
Al ₂ O ₃	4,0	Cr	0,13
CaO	2,2	Co	0,017
Na ₂ O	1,2	Pb	0,014
MgO	1,1	Ni	0,014
K ₂ O	0,5	Sb	0,065
Zn	1,2	V	0,0055
S	0,7	As	0,0027
Cu	0,5	Bi	<0,0005
Ba	0,3	Cd	<0,0001
Mn	0,3	Hg	<0,0001

Som en jämförelse ges här också metallsammansättningen för ett typiskt krossat stenmaterial i en vägkropp. Data för As, Cd, Hg och Pb har använts i LCA-modellen.

Tabell 2 Totalhalter av metaller i ett typiskt svenskt ballastmaterial (krossat stenmaterial). Data är hämtade från en studie där prov uttogs och analyserades. Data från tabell 8 i ref. [9].

Ämne	Halt i ballastmaterial (%)	Ämne	Halt i ballastmaterial (%)
As	0,000987	Mo	0,000205
Ba	0,0415	Ni	0,00198
Cd	0,0000359	Pb	0,00213
Co	0,00443	Sb	0,000066
Cr	0,0043	Se	<0,00005
Cu	0,00267	Sn	0,000427
Hg	0,00000044	W	0,0204
Mn	0,103	Zn	0,007

3.3 Användningsområde

Årligen produceras ca 250 000 ton järnsand vid Boliden AB, Rönnskärsverken. Den bildade järnsanden måste under alla förhållanden omhändertas på ett säkert och för miljön godtagbart sätt. Valet står här mellan att kunna nyttiggöra materialet i samhället eller att se materialet som ett oanvändbart skadligt avfall. Att kunna nyttiggöra materialet i samhället är givetvis ett mycket attraktivt alternativ ur flera synvinklar. Ett avfallsproblem kan i detta fall lösas samtidigt som man kan erhålla en teknisk förbättring i en applikation och minskade resursuttag i t.ex. bergtäkter eller av naturgrus. Användningen måste givetvis kunna ske på ett säkert sätt. I det sistnämnda fallet däremot måste materialet slutförvaras för all framtid i en deponi. Båda dessa alternativ medför konsekvenser för samhället och för miljön. Frågeställningen är vilket alternativ som är att föredra och vilka alternativ som ger en acceptabel miljökonsekvens. En sådan bedömning bör göras utifrån ett systemperspektiv där hänsyn tas till många olika aspekter kring denna avfallsproblematik.

Idag används järnsanden för vissa specifika tekniska applikationer. Det är främst materialets isolerande egenskaper som utnyttjas men även dess stabilitet och hårdhet nyttjas. Applikationsområdet är främst som grundmaterial i vägar och husgrunder. Materialet är stabilt med

god bärighet och en tjälisolerande förmåga. Materialet har använts för sådana ändamål i Skellefteå kommun sedan början av 1970-talet. Materialet används också som blästersand inom industrin genom en utsiktad grovfraktion.

4 Livscykelanalysen

I denna studie har vi valt att arbeta med en livscykelmetodik. Livscykelanalysen är en väl utprovad metodik för att analysera olika avfallsscenarior. Med LCA-tekniken analyserar man hela avfallskedjan från avfalllets uppkomst till dess slutgiltiga kvittblivning.

4.1 Mål och omfattning

Det övergripande målet med denna studie är att undersöka vilka skillnader i miljöprestanda som finns vid olika sätt att omhänderta järnsanden från Rönnskärsverken i Skellefteå. Av speciellt intresse är att se vilka skillnader det finns mellan att lägga järnsanden på deponi respektive att använda järnsanden i någon teknisk applikation i samhället.

Som tidigare har framgått finns flera olika användningsområden för järnsand. Ett stort användningsområde utgör användning som fyllnadsmassor vid olika typer av anläggningsarbeten. Ett stort och vanligaste användningsområdet är här användningen av järnsand som förstärkningslager i vägar. Eftersom studien är relativt begränsad till sin omfattning har vi valt att genomföra studien i form av ett representativt exempel. Exemplet utgörs av två typiska alternativa lösningar på omhändertagande av järnsanden.

- Användning av järnsand som förstärkningslager i en vägapplikation.
- Deponering av järnsanden från produktionen i en närliggande deponi.

Alternativen innehåller alltså två olika delar, en deponidel och en vägdel. Systemet som skall analyseras har alltså två funktioner dels skall järnsanden omhändertas och dels skall ett förstärkningslager i en väg byggas. Detta faktum är också utgångspunkten för den *funktionella enheten*. Om järnsanden används som förstärkningslager behövs ingen deponi utan vägen fungerar som lager för järnsanden. Om däremot järnsanden läggs på deponi måste en deponi upprättas och underhållas och därtill måste järnsanden ersättas med ett krossat stenmaterial vid vägbyggnationer. Systemens två delar kan alltså beskrivas som nedan:

Fall 1: Ett förstärkningslager i en vägapplikation byggs med järnsand.

Fall 2: Järnsanden från produktionen läggs på en deponi och en motsvarande vägapplikation byggs med traditionellt stenmaterial i stället för järnsand.

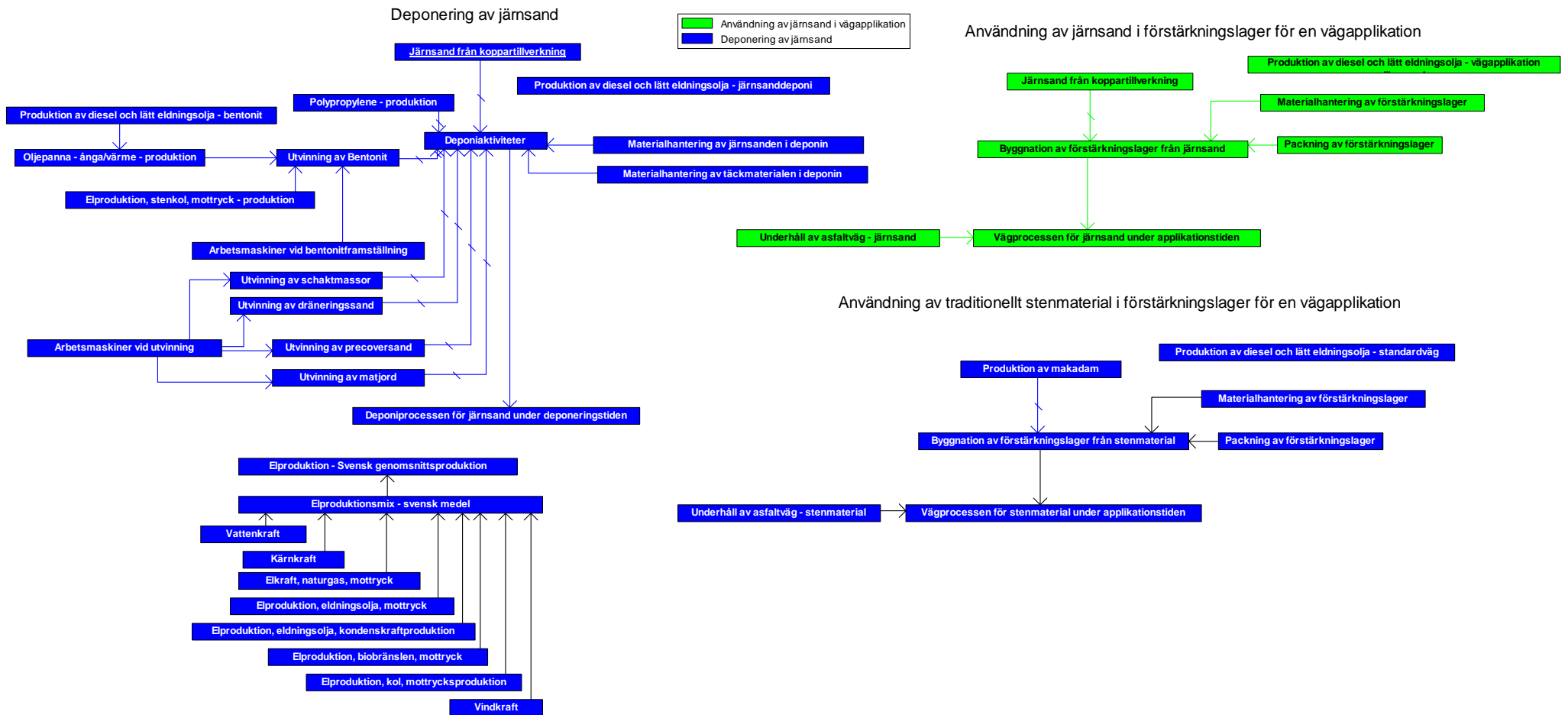
En LCA-modell över dessa båda systemen har byggts upp med en LCA-programvara. Systemets omfattning visas i figur 2. Modellen består av tre delar. En del som beskriver deponering av järnsand, en del som beskriver användningen av järnsanden i en vägapplikation och en del som beskriver byggnation av en väg med traditionellt stenmaterial i stället för järnsand. I figuren har fall 1 markerats med grön färg och fall 2 markerats med blå färg.

LCA-modellen är en jämförande LCA varför en del av systemen har kunnat utlämnas och endast de centrala delarna medtagits. Samtliga modeller tar sin utgångspunkt i en viss mängd järnsand från

kopparproduktionen som skall omhändertas. Kopparproduktionen har ej medtagits då denna är att hänföra till den producerade mängden koppar och således ej allokerad till avfallet. För vägapplikationerna har endast byggnationen av själva förstärkningslagret tagits med. Resterande delar av väggroppen är lika för de båda vägalternativen och kan således utlämnas. Studien avser också normal användning av järnsanden på föreskrivet sätt och i den typ av applikationer som utprovats. Järnsanden är då stabil och förändras inte nämnvärt vare sig kemiskt eller mekaniskt. Tekniska undersökningar och kontakter med användare i Skellefteåområdet har visat på att järnsanden ger ett lägre underhåll på vägen under dess livstid bl.a. på grund av järnsandens isolerande förmåga vilket minskar tjälskadorna på vägen. En försiktig uppskattning har gjorts att vägunderhållet minskar med 20 % vid användning av järnsand som förstärkningslager. Erfarenheter från Skellefteå kommun vid användning av järnsand i lågtrafikerade vägar (t.ex. i villaområden) visar på att underhållet kan minska ytterligare kanske ner till 50 %. Vägar byggda med järnsand i villaområden har efter 15-20 år inte behövt något underhåll och dessa vägar är fortfarande i mycket gott skick. En modul som simulerar typiska underhållsåtgärder under beräkningsperioden har därför också medtagits i modellen. Samma underhållsdata har använts för de två vägmodellerna. För järnsandapplikationen har den dock minskats med 20 %. Detta speglar väl skillnaden mellan de båda systemen.

Vägdelen har separerats i två delar. En del beskriver byggnationen och därmed de omedelbara emissionerna. En annan del beskriver vad som händer med vägen under resterande del av beräkningsperioden. Här rör det sig främst om vilka ämnen och mängder som lakas ur under beräkningsperioden. Deponeringsdelen för järnsanden har också delats upp i en byggnationsfas och en del som beskriver emissionerna från deponin under beräkningsperioden. För deponeringsdelen har konstruktionen och uppbyggnaden av deponin med dess olika delar tagits med i modellen då detta påverkar skillnaden mellan de båda avfallsalternativen. I övrigt har merparten av alla material medtagits samt tillverkningen av materialen. Energianvändningen har också inkluderats. Denna utgörs främst av el- och dieselförbrukning. Produktionen av både el och diesel har också medtagits i analysen. Elproduktionen utgörs av svensk medelelproduktion. Denna består till största delen av vattenkraft och kärnkraft. Även transportererna har inkluderats. Transporterna av järnsand utgår av naturliga skäl alltid från Rönnskärsverken. En deponi i anslutning till Rönnskärsverken har antagits för deponifallet. För vägalternativen har en lokal användning i Skellefteå antagits. Detta speglar i stor utsträckning dagens situation. Någon intern användning på industriområdet har däremot inte tagits med i analysen.

En viktig aspekt i denna analys utgör lakningen och emissionerna av metaller från järnsanden respektive stenmaterialet i väggroppen respektive i deponin under beräkningstiden. I detta projekt har Statens Geotekniska Institut (SGI) ansvarat för beräkningarna av metaller från de olika behandlingsalternativen för järnsand. SGI har här valt att studera emissionerna över en överblickbar tidsperiod. Tidsperioden har valts till 100 år. Metallemissionerna har sålunda beräknats för denna tidsperiod för vilken det är möjligt att förutse lakbetingelserna för de olika materialen. En begränsning har också gjorts beträffande metallemissionerna. Då uppdraget har varit att belysa konsekvenserna av de föreslagna kriterierna för avfall i anläggningsarbeten har endast de metallemissioner tagits med som berörs i detta förslag från Naturvårdsverket d.v.s. arsenik (As), kadmium (Cd), kvicksilver (Hg) och bly (Pb). Detta var en förutsättning givet i uppdraget. I övrigt har samtliga kända parametrar medtagits i LCA-modellen på traditionellt sätt d.v.s. förbrukning av råvaruresurser, energiresurser, emissioner till luft, vatten, mark samt avfall. Tillverkning av utrustning såsom fabriker, lastmaskiner, lastbilar m.m. ingår ej i studien.



Figur 2 Flödesschema över LCA-modellen. Figuren visar de tre delarna i systemet – deponering av järnsand, byggnation av förstärkningslager i väg med järnsand respektive traditionellt stenmaterial. De två systemfallen är markerade med grön respektive blå färg. Flödespil med ett tvärstreck innehåller transporter.

4.2 Inventeringen

Inventeringen består av alla de data som har använts för att bygga upp LCA-modellen över systemet. En komplett redogörelse för dessa data återfinns i bilaga 2. I detta kapitel ges endast en översiktlig bild av systemet och en del primära data och förutsättningar. Den *funktionella enheten* är omhändertagande av 1000 kg järnsand från koppjarproduktionen vid Rönnskärsverken i Skellefteå. I den jämförande analysen ingår också byggnationen av en väg för omhändertagande av järnsand eller en korresponderande väg byggd med traditionella stenmaterial.

4.2.1 Transporter

Transporter har som tidigare beskrivits medtagits i analysen. Transportavstånden har valts så att det speglar dagens situation och användning av järnsand. Transporterna har antagits ske med tung lastbil. Eventuellt kan andra transportslag förekomma men lastbilstransporterna ger ändå en god bild av hur transportsituationen ser ut. Om transporterna kan ske med järnväg och med svensk elproduktion kan emissionerna reduceras. Antagna transportavstånd framgår av tabell 3. I tabell 4 visas data för dieselförbrukningen och emissionerna från driften av fordonet. Produktionen av diesel återfinns i appendix. Tillverkningen av fordonen har ej medtagits i analysen.

Tabell 3 Transportavstånd för direkta transporter införda i modellen. Transporterna har antagits ske med långtradare. Därtill kommer transporter i olika tillverkningsmoduler som t.ex. tillverkning av polyeten samt lokala transporter med lastmaskiner på byggarbetsplatsen. De senare finns med i separata moduler.

Transport med lastbil	Deponialternativet (km)	Väg med järnsand (km)	Väg med stenmaterial (km)
Från Rönnskärsverken till deponi	5		
Från Rönnskärsverken till väg		20	20
Polypropen till deponi	1500		
Bentonit till deponi	3000		
Schaktmassor, sand och matjord till deponi	30		

Tabell 4 Dieselförbrukning och emissioner för lastbilstransporter (32 tons lastkapacitet)¹.

Energibärare			Emissioner till luft		
Diesel	0.516	MJ/ton*km	CO (air)	0.00012	kg/ton*km
			CO ₂ , fossil (air)	0.0387	kg/ton*km
			HC (air)	3.78E-005	kg/ton*km
			N ₂ O (air)	1.08E-006	kg/ton*km
			NO _x (air)	0.000289	kg/ton*km
			Particles (air)	5.73E-006	kg/ton*km
			SO ₂ (air)	1.24E-005	kg/ton*km

¹ Data bygger på EU:s utsläppdirektiv för lastbilar, European Parliament and Council Directive, 14396/98, (6 January 1999). (Emission limits for diesel vehicles).

4.2.2 Deponikonstruktionen

En gemensam deponikonstruktion har använts för de olika materialen (askor och järnsand) i de olika studier som gjorts i det övergripande projektet. Mera detaljerad information kan finnas i de övriga rapporterna i projektet. Deponin är en traditionell täckt deponi. Data för deponin inkluderar materialhantering i deponin samt sluttäckning av deponin. Energiförbrukningen för de arbetsmoment som innefattar bearbetning av materialet i deponin d.v.s. utplaning och formning till önskad geometri har uppskattats till 0,2 l diesel/m³ material i deponin eller 7,02 MJ/m³. Utformningen av deponin samt materialåtgång visas i tabell 5.

Tabell 5 Utformningen av deponin.

Strukturen på deponin	Tjocklek för lagret (m)	Volym täckmaterial per volym deponerat material
1) Vegetationsskikt	1,35	0,09
2) Ytskikt, (schaktmassor)	0,5	0,033
3) Dräneringslager, sand	0,2	0,013
4) Tätskikt, geosyntetiskt lerlager (bentonite+geotextil)	0,06	0,004
5) Förtäckning (precoversand), sand	0,2	0,013
6) Tjocklek på materialet i deponin (järnsanden)	15	

Geotextil: polypropenmatta 110 g/m², Bentonitmatta: 4600 g/m²

4.2.3 Vägkonstruktionen

För vägkonstruktionen har endast den centrala delen, nämligen konstruktionen av förstärkningslagret, medtagits i modellen. Två olika konstruktionsmaterial har använts, järnsand eller ett krossat stenmaterial (ballast). Tjockleken på förstärkningslagret för de olika materialen varierar något för en viss konstruktion. Ett 0,7 m tjockt förstärkningslager har antagits för järnsanden medan motsvarande tjocklek för förstärkningslagret av krossat stenmaterial är 0,8 m. Energiförbrukningen för de arbetsmoment som innefattar bearbetning av materialet i vägbanken d.v.s. utplaning och formning till önskad geometri har uppskattats till 0,2 l diesel/m³ material i förstärkningslagret eller 7,02 MJ/m³. För packningen av materialet har en vält antagits. Energiförbrukningen varierar med storlek och typ av vält. Beräkningar har gjorts av energiförbrukningen per packad yta för några av Dynapacs jordpackningsmaskiner. Arbetsvikten anges också. Observera att packningsresultatet varierar mellan de olika maskinerna. 6 st överfarer har antagits. Maximal materialtjocklek vid packning är 0,5 m. Eftersom förstärkningslagret är tjockare än 0,5 m krävs två operationer med vältning. Nedan ses energianvändningen för vältarna. Vält Dynapack CA 251D har använts i modellerna.

CA 151D (6.2 ton): 0.5322 MJ/m²

CA 251D (9.8 ton): 0.5932 MJ/m²

CA 301D (12 ton): 0.6281 MJ/m²

Densiteten för krossad och packad sten har antagits till 1600 kg/m³. Densiteten för packad järnsand har antagits till 1800 kg/m³.

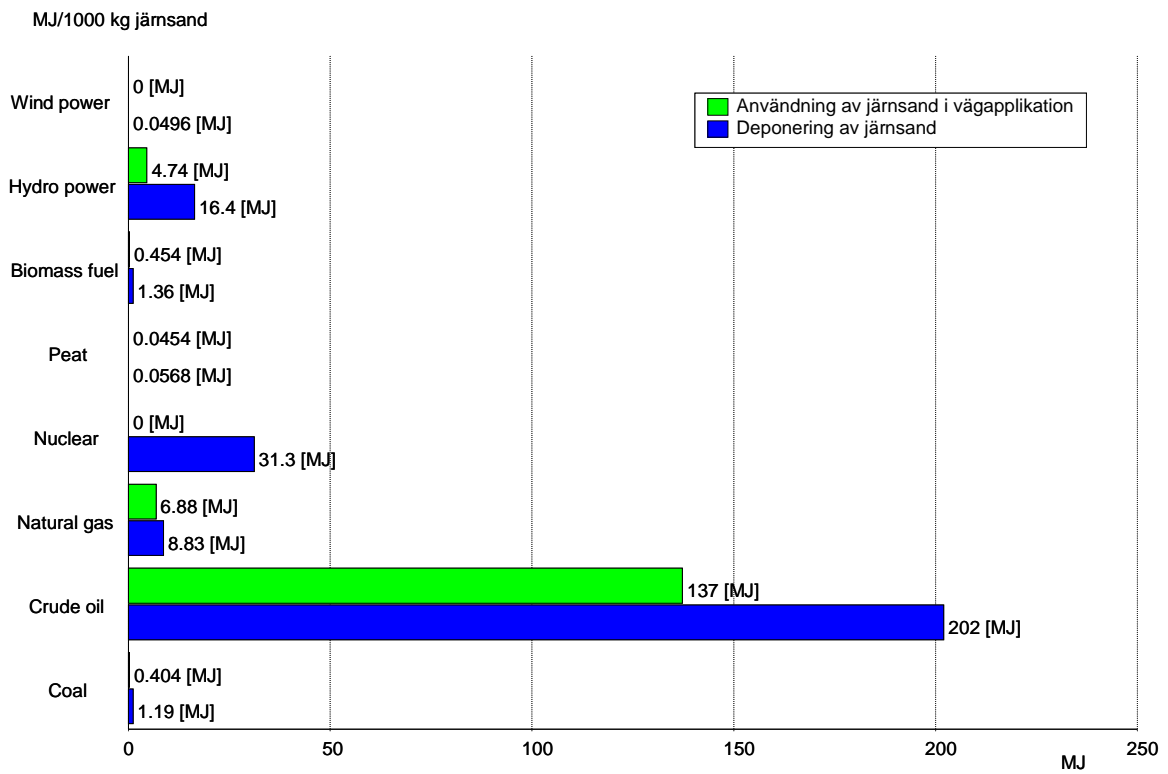
4.3 Miljöpåverkansanalys

LCA-modellen som utvecklats i projektet har här använts för att beräkna de miljöeffekter som uppkommer för de olika alternativa metoderna att omhänderta järnsanden från koppartillverkningen. I detta kapitel presenteras resultaten från LCA-modellen och resultaten analyseras och diskuteras.

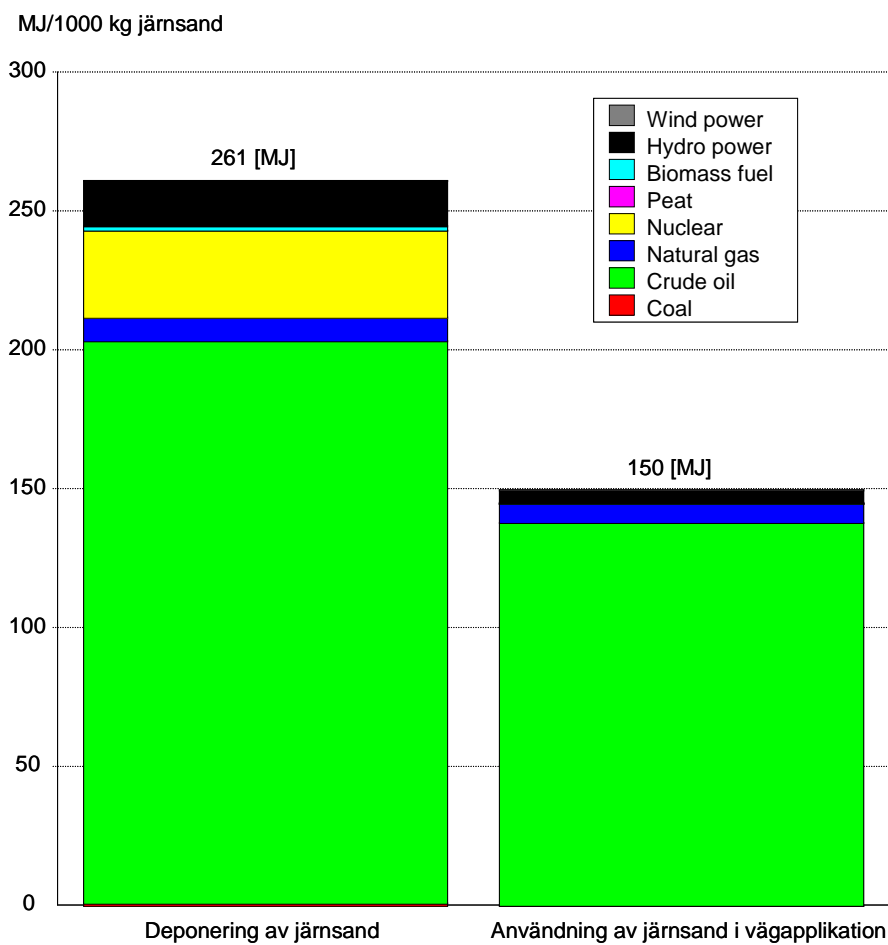
4.3.1 Energiresursanvändning

En analys av resultaten kan lämpligen starta med att presentera och analysera energiresursanvändningen för de båda alternativen. I figur 3 visas den totala energiresursanvändningen för de båda alternativen uppdelat på olika energiresursslag. Resultaten är givna som MJ energiresurs per 1000 kg omhändertagen järnsand. Som framgår dominerar användningen av råolja. Detta sammanhänger med att många aktiviteter i samband med både vägarbete och arbete med deponier sker med olika typer av arbetsmaskiner som förbrukar dieselolja. En viss mindre del åtgår också för transporter av järnsanden till vägapplikationen och till deponin. I denna modell har antagits ett transportavstånd från Rönnskärsverken till vägapplikationen för järnsanden om 20 km. Materialet tål inga längre transporter ur energiresursperspektivet. Om detta avstånd ökas till 80 km kommer förbrukningen av råolja att vara ungefär lika för de båda alternativen. I övrigt sammanhänger energiresursanvändningen i stor utsträckning med elanvändningen.

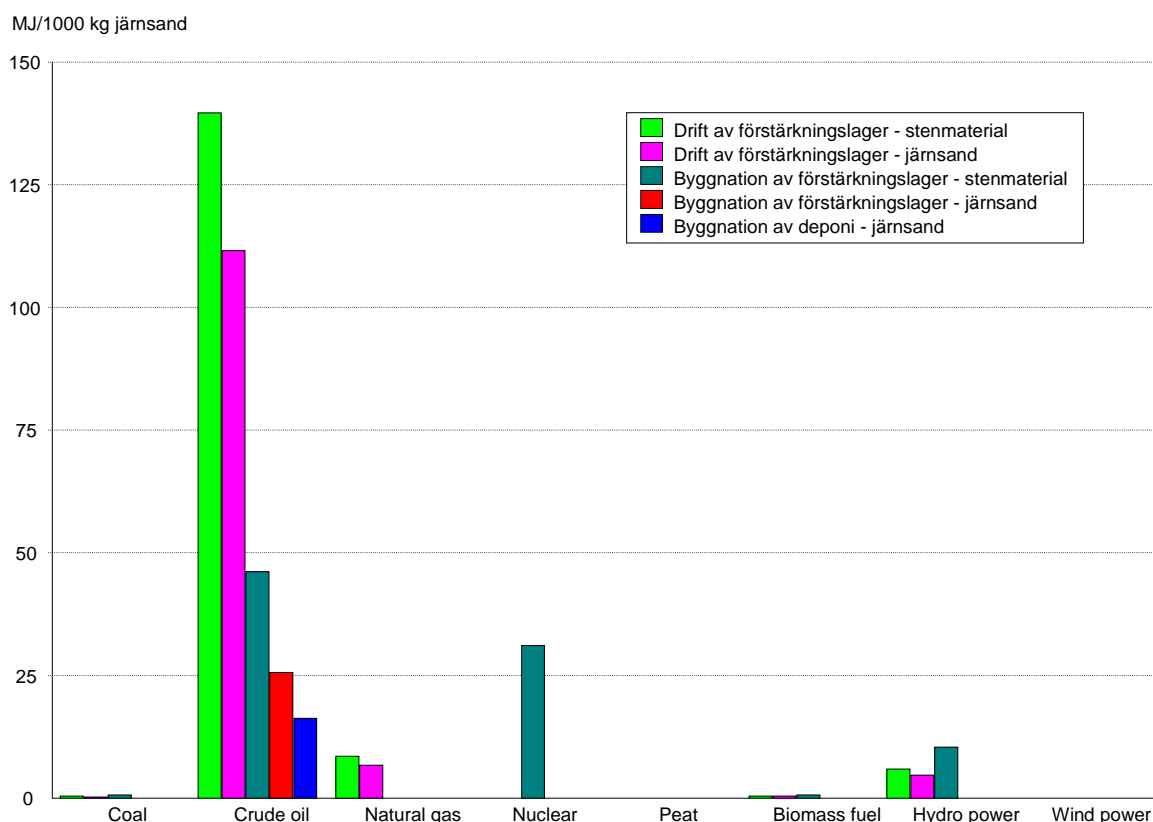
Det bör i detta sammanhang påpekas att de absoluta värdena för energianvändningen är av underordnad betydelse här. Det är skillnaden mellan de båda alternativen som skall analyseras. LCA-modellen är utvecklad som en differentiell LCA och inte avsedd att analysera de absoluta värdena. En enklare bild av den totala energianvändningen ges i figur 4 där den summerade totala energianvändningen för de två fallen visas. Skillnaden i total energiresursanvändning är 111 MJ/ton järnsand till fördel för användning av järnsand i vägapplikation. En vidare analys av modellens olika delar, figur 5, visar att det framför allt är skillnaden i underhåll på vägen med järnsand och på vägen med stenmaterial som ger de stora skillnaderna i energiresursanvändning. Antagandet här var ju att vägen med järnsand fick ett minskat underhåll med 20 %. Som framgår av figuren är energiresursanvändningen lägre för användningen av järnsand i en vägapplikation jämfört med deponialternativet även om ingen hänsyn tas till skillnaderna i underhåll.



Figur 3 Energiressansvändningen för de båda alternativen (fall 1 och fall 2). Data är räknat i MJ per omhändertaget ton järnsand.



Figur 4 Summerad energiresursanvändning för de två alternativen.



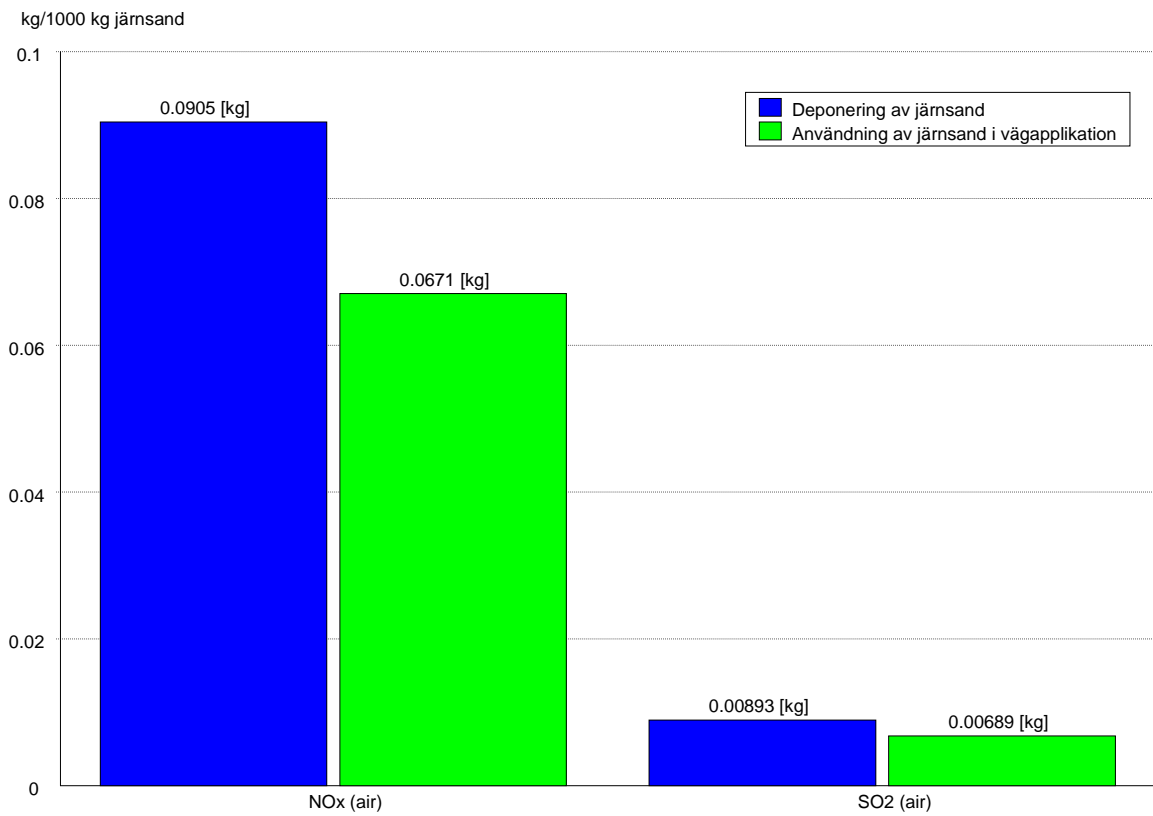
Figur 5 Energiressursanvändningen uppdelad på de olika delområdena i modellen.

4.3.2 Emissioner

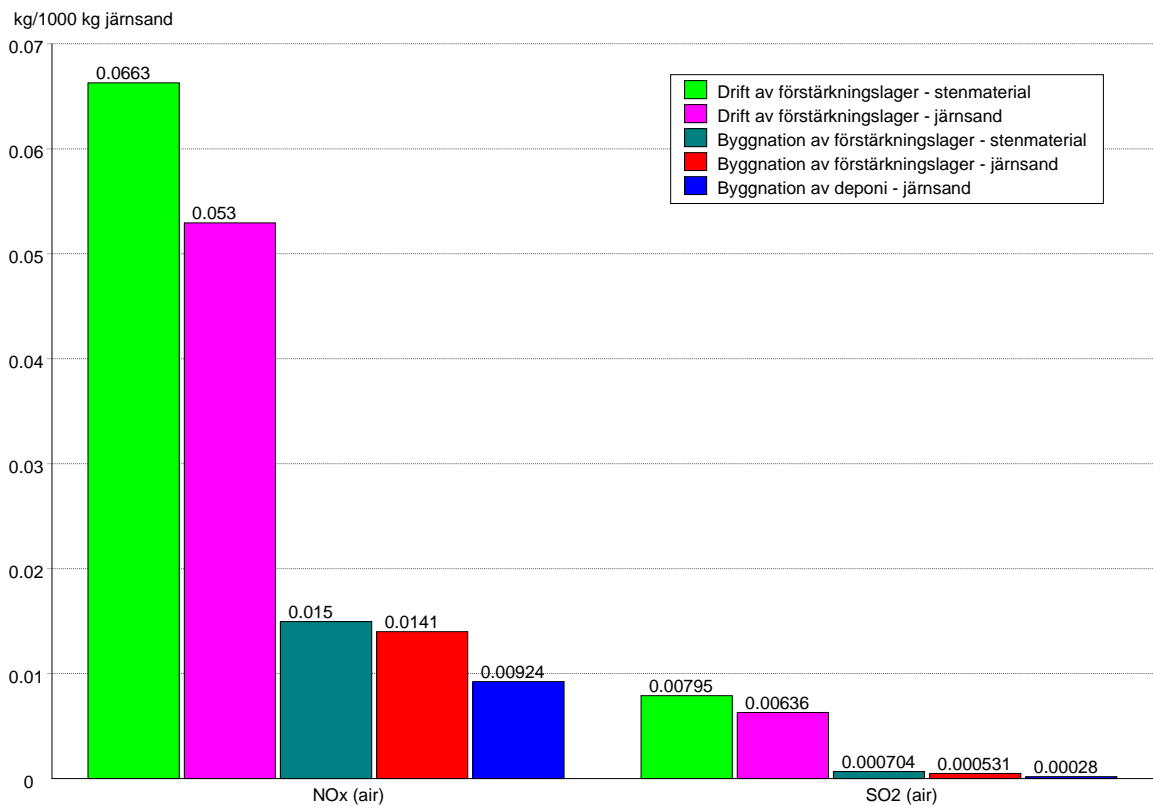
I detta kapitel visas olika emissioner från systemet.

4.3.2.1 Emissioner av NO_x och SO_2

Emissionerna av de vanligaste föreningarna såsom NO_x , SO_2 , CO_2 , CH_4 , N_2O , partiklar, kolväten m.fl. hör vanligen samman med energiproduktion (förbränning) av något slag. Det är därför naturligt att dessa följer samma mönster som energianvändningen. I detta fall sammanhänger emissionen av dessa föreningar med användningen av dieselmotorer i lastbilar och arbetsmaskiner. I figur 6 visas NO_x - och SO_2 -emissionen för de båda undersökta alternativen för järnsand. Som framgår är emissionen av SO_2 låg vilket har att göra med att dieselbränslet avsvavlas och har mycket låga svavelhalter. Dieselmotorer ger däremot, p.g.a. höga förbränningstemperaturer (termisk NO_x -bildning), betydande NO_x -emissioner varför dessa är betydligt högre än SO_2 -emissionerna. Deponeringsalternativet ger även här högre emissioner än användning av järnsanden i en vägapplikation. Bryts emissionerna ner i modellens olika delar, figur 7, framgår samma mönster som för energianvändningen. I figuren framgår tydligt att orsaken till de minskade emissionerna vid användning av järnsand i vägar beror dels på de minskade underhållet och dels på minskade emissioner vid byggnationen. Det faktum att man måste använda stenmaterial vid vägbyggnationen om järnsanden läggs på deponi och att man slipper deponeringsarbetet om järnsand används i vägar bidrar starkt till det positiva resultatet för användningen av järnsand i vägapplikationer.



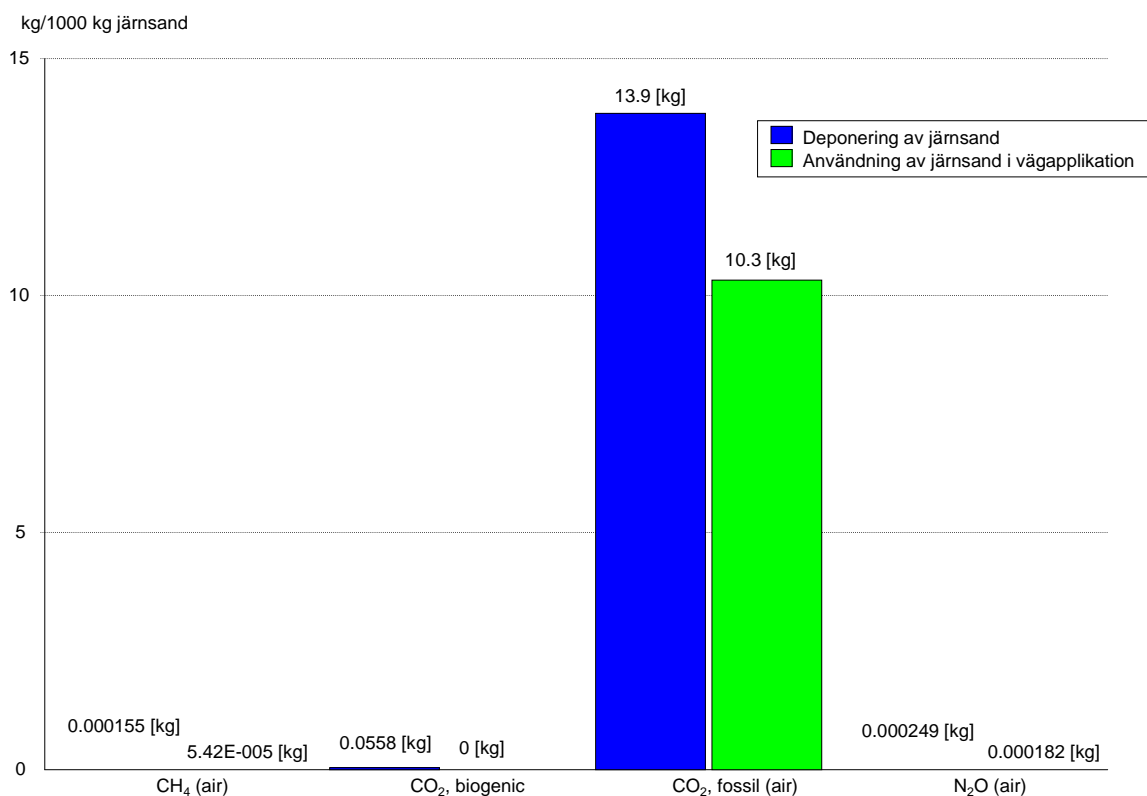
Figur 6 Emissioner av NO_x och SO₂ för de båda alternativen.



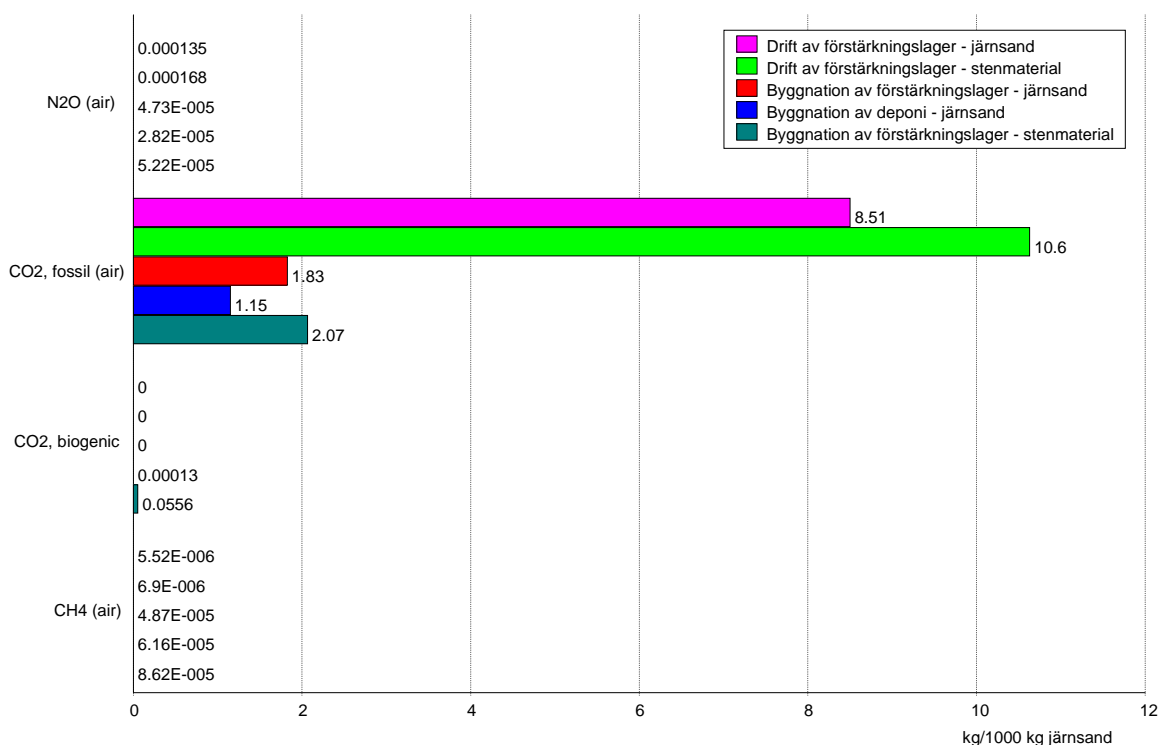
Figur 7 Emissioner av NO_x och SO₂ uppdelat på LCA-modellens olika delar.

4.3.2.2 Emissioner av klimatgaser (CO₂, CH₄, N₂O)

Klimatgaserna blir en allt viktigare del av miljöområdet. I figur 8 visas de rena emissionerna av fossilbaserad och biogen koldioxid (CO₂), metan (CH₄) och lustgas (N₂O) utan hänsyn taget till koldioxidekvivalenter. Emissionen av koldioxid är den helt dominerande komponenten till växthuseffekten för detta system. Även om CH₄ (CO₂-faktor 25) och N₂O (CO₂-faktor 298) skulle räknas om till CO₂-ekvivalenter skulle CO₂-emissionen vara helt dominerande. Som framgått av tidigare resonemang ger, som väntat, deponeringsalternativet den största emissionen av växthusgaser. En uppdelning i LCA-modellens olika delar visar på ett likartat mönster som energianvändningen, figur 9.



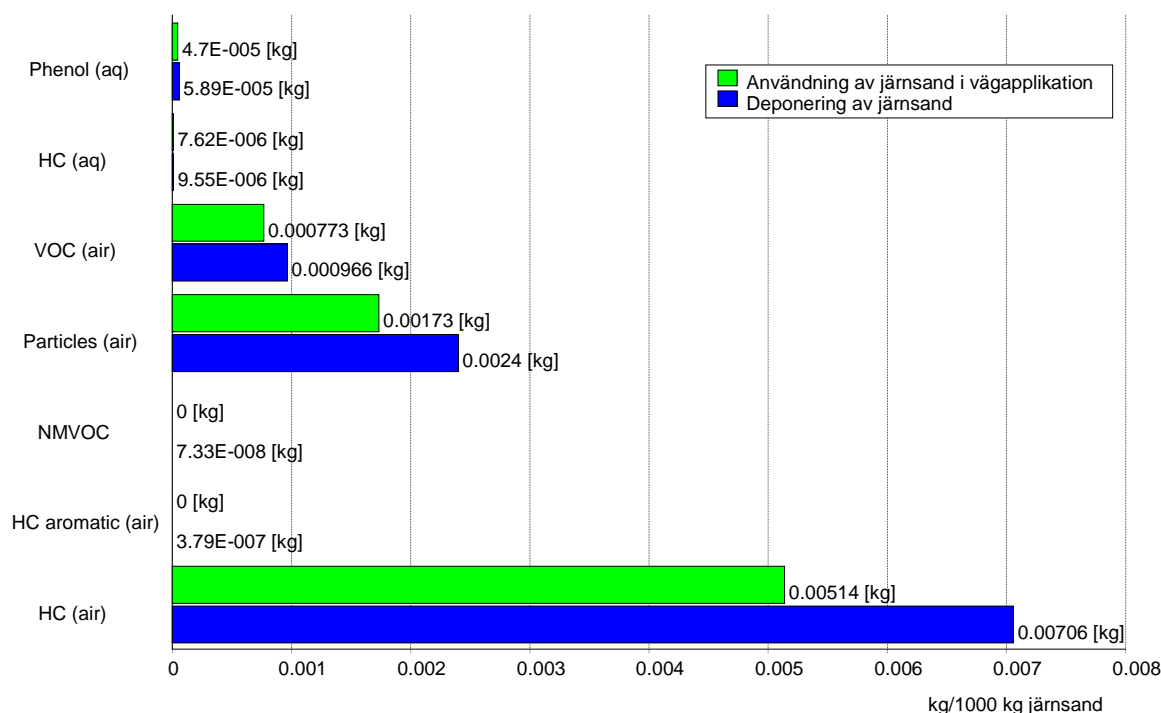
Figur 8 Emissioner av klimatgaserna CO₂, CH₄ och N₂O för de båda alternativa metoderna.



Figur 9 Emissioner av klimatgaser uppdelade på LCA-modellens olika delar.

4.3.2.3 Emissioner av kolväten och partiklar

Emissioner av kolväten och partiklar uppvisar ofta ett mera komplicerat mönster och vissa processer kan ibland ge stora bidrag. Emissionerna är också starkt beroende av driftsförhållanden i anläggningarna. Detta innebär att variationerna mellan olika anläggningar kan vara stora. Osäkerheterna beträffande emissionsfaktorerna är också större här. Emissionsdata är ofta ofullständiga och rapporteringen inte helt stringent. Figur 10 visar resultatet med de emissionsdata som använts i modellen. För motordata är emissionsfaktorerna någorlunda tillförlitliga. Då dessa spelar en stor roll torde resultatet bli förhållandevis tillfredsställande i denna analys. Detta innebär också att även dessa emissioner följer samma trend som energianvändningen.



Figur 10 Emissioner av kolväten och partiklar från de båda alternativen.

4.3.2.4 Totalmängder av metallerna As, Cd, Hg och Pb i systemet

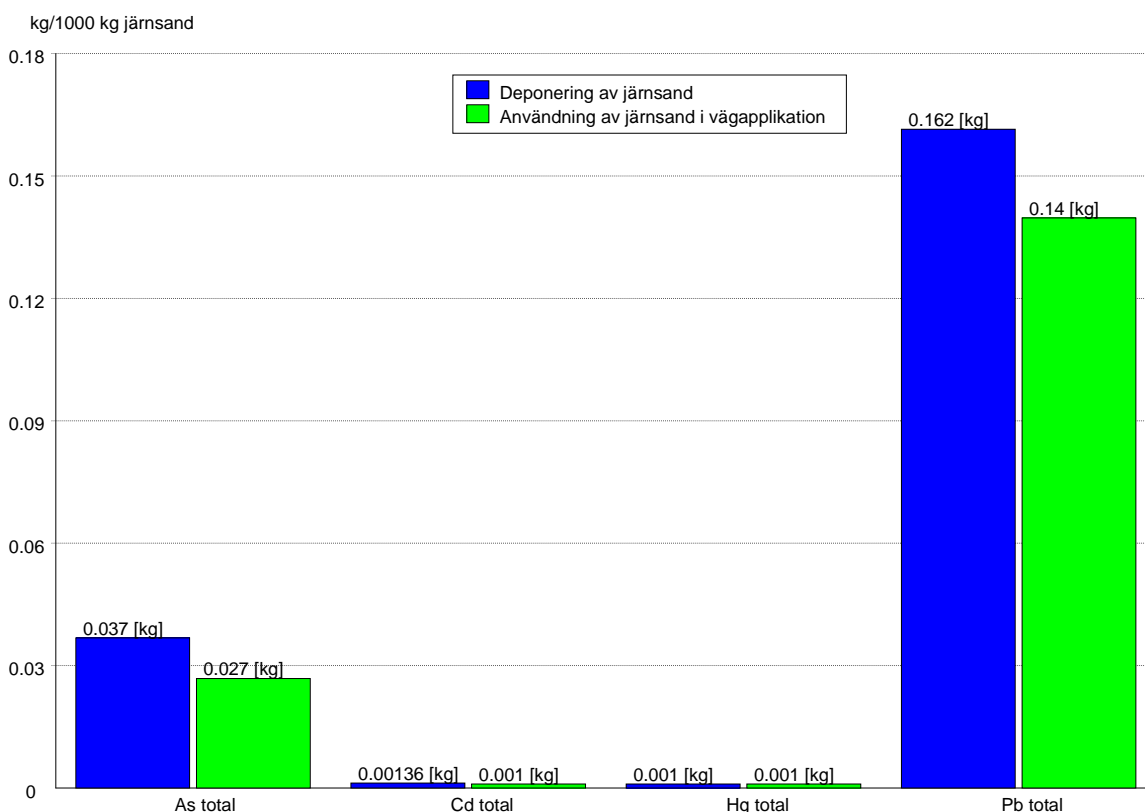
Emissionerna av olika metaller är en mycket viktig och central del i denna analys. En av orsakerna till de nya kriterierna för användning av avfall i anläggningsarbeten är just problemet med en okontrollerad spridning av metaller. I denna studie analyseras endast de metaller som är föremål för de nya kriterierna d.v.s. As, Cd, Hg och Pb. Till skillnad från många andra miljöstörande ämnen, bildas inte metaller i någon process utan flödet av metaller kan följas genom en process. Metallerna kan dock förena sig med andra ämnen som t.ex. i metylkvicksilver och då få andra egenskaper och metallerna kan vara olika hårt bundna till andra ämnen i en matris vilket gör dem mindre rörliga och därmed kan spridningen av metallerna avsevärt minska. Mängden av metaller i ett material samt hur metallerna är bundna till detta material är således av stor betydelse.

En god början kan därför vara att studera mängden metaller i systemet. I detta system finns i huvudsak två material av betydelse - järnsand och det stenmaterial som ersätter järnsanden då denna läggs på deponi i deponialternativet. Vid deponialternativet finns järnsand i en deponi och ett stenmaterial i en väggkropp. Om däremot järnsanden används i en väg finns endast järnsanden. Varken deponin eller stenmaterialet behövs då.

Av figur 11 framgår att de totala mängderna av de nämnda metallerna är något större vid deponialternativet. Detta innebär givetvis inte att dessa mängder med automatik kommer att frigöras till omgivningen och skapa problem. Metallerna är relativt hårt bundna i järnsanden respektive i stenmaterialet. Tidsaspekten är dock viktig. Om en oändligt lång tid betraktas så kan man anta att hela den tillgängliga metallmängden kommer att frigöras. Det är emellertid mycket svårt att göra någon miljöbedömning över en så lång tidsperiod. Osäkerheterna blir mycket stora beträffande tänkbara miljökonsekvenser. Olika metaller har också olika egenskaper ute i miljön. Strategin för vissa metaller är att alltid hålla sig under en viss maximal halt i recipienten. Om dessa

haltnivåer inte överskrids anses metallen ofarlig för miljön. Andra metaller såsom Hg antas ha miljöpåverkan i alla haltnivåer.

Som framgår av figuren löser inte deponialternativet problemet på lång sikt utan det är andra mycket långsiktiga aspekter som spelar roll. Den viktigaste frågan är här – Vad händer med en deponi respektive en väg på mycket lång sikt? En mycket personlig reflexion kan vara att många deponier har en tendens att glömmas bort med tiden medan många vägar faktiskt finns kvar under mycket lång tid.



Figur 11 Totalmängder av metallerna As, Cd, Hg och Pb i järnsanden och stenmaterialen för de båda alternativen. Observera att detta inte är någon emission utan endast visar på de grundförutsättningar som föreligger.

4.3.2.5 Emissioner av metallerna As, Cd, Hg och Pb under 100 år

Emissioner av metaller från järnsanden och från stenmaterialet uppstår när vatten perkolerar kring materialet. Det är företrädesvis regnvatten som materialet kommer att utsättas för. Om sprickbildningar finns i täckskikten eller om täckskikten är genomsläppliga till sin natur kommer materialet att exponeras för vatten som på sikt kan laka ur metallerna som då förs vidare ut i recipienten. Hur stora mängder metaller som kommer ut beror på laktningens benägenhet för metallerna i materialen och på hur mycket vatten som kan antas perkolera i materialet under 100 år. Laktningsegenskaperna för materialen tas fram i s.k. lakttester där en bestämd mängd vätska (i detta fall vatten) blandas med materialet under kontrollerade former. Mängden vatten som perkolerar genom materialet under 100 år får uppskattas utgående från de tekniska förhållandena.

Resultat från laktester för järnsand och för bergkross visas i tabell 6. L/S står för förhållandet mellan mängden vatten i liter och mängden material i kg som använts vid försöken. Data i tabellen anger mängd metall som utlakas per kg material i försöken. Försöken utförs ofta under en relativt kort tidsperiod ca 1 dygn. Det kan därför vara svårt att översätta dessa data till ett verkligt fall men data ger ändå en indikation på hur emissionerna kan se ut. Det kan dock påpekas att lakvärdena i tabellen ligger under de värden som Naturvårdsverket anger för material som anses inerta och därmed anses sakna miljöpåverkan eller endast ha obetydlig miljöpåverkan.

Lakbarhetsvärdena i tabellen har använts i LCA-modellen för att beräkna emissionerna för de olika alternativen. Mängden vatten som perkolerar kring materialet under 100 år har uppskattats för de olika alternativen. För deponialternativet har L/S bedömts ligga under 2 för en 100-årsperiod och för vägapplikationen har L/S bedömts ligga mellan 2 och 10. Förutsättningarna är här en bra deponi och en väl underhållen asfaltväg under en 100-årsperiod. För att på bästa sätt spegla lakningen har lakdata med ungefär lika L/S använts. För vägapplikationerna har L/S=10 data använts ur tabellen och för deponiapplikationen har L/S=2 data använts. Ett antagande om att lika mängder vatten lakar ut ungefär lika mängder metaller oavsett tidsperioden har alltså gjorts. Hur väl detta stämmer med verkligheten är svårt att säga. För <-värden har det högsta värdet använts. Detta är ju då en överskattning i någon mån. Hur stor denna överskattning är kan vara svårt att säga men för t.ex. Hg är detektionsgränsen relativt hög varför värdena mycket väl kan vara flera tiopotenser för höga.

Laktestdata har alltså lagts in i LCA-modellen och de totala emissionerna från systemet av As, Cd, Hg och Pb har beräknats. Resultatet av beräkningarna framgår av figur 12. Parametrar betecknade med 100 år avser emissionerna från lakningen för deponi- eller vägapplikationerna. Övriga parametrar härrör från övriga processer. Som framgår av figuren ger deponialternativet även här en högre emission än användning i vägapplikation. Det bör dock påpekas att resultaten gäller för de här angivna förutsättningarna. Det är mycket svårt att med säkerhet säga vad som händer med materialet under en 100-årsperiod.

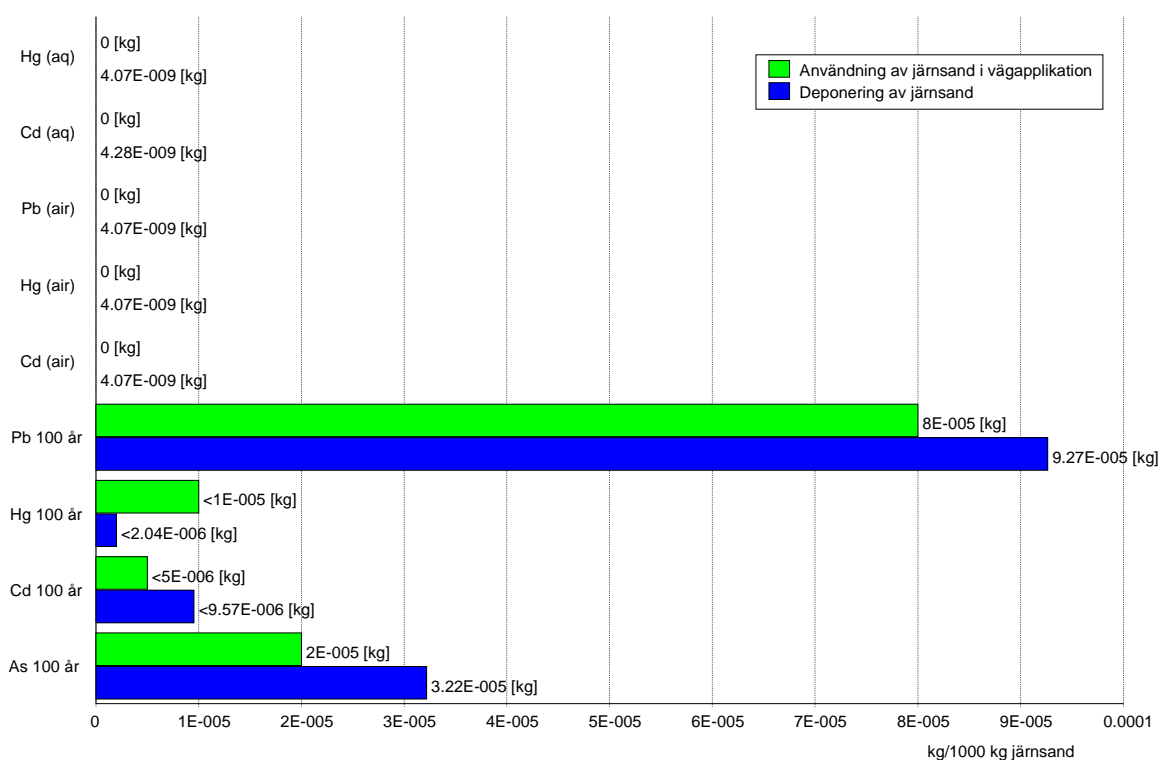
Tabell 6 Lakbarhetsvärden för järnsand och bergkross.

Ämne	Bergkross L/S=10 (mg/kg TS bergkross) ¹⁾	Järnsand L/S=10 (mg/kg TS järnsand) ³⁾	Järnsand L/S=2 (mg/kg TS järnsand) ³⁾
As	0,012	0,02	0,02
Cd	0,0045	< 0,005	< 0,005
Hg	< 0,00004 ²⁾	<0,01	< 0,002
Pb	0,0125	0,08	0,08

1) Data från tabell 9 i ref. [9].

2) Lind B. et al., Energiaska som vägbyggnadsmaterial – utlakning och miljöbelastning från en provväg. Statens geotekniska institut. SGI-rapport Varia 557 (2005).

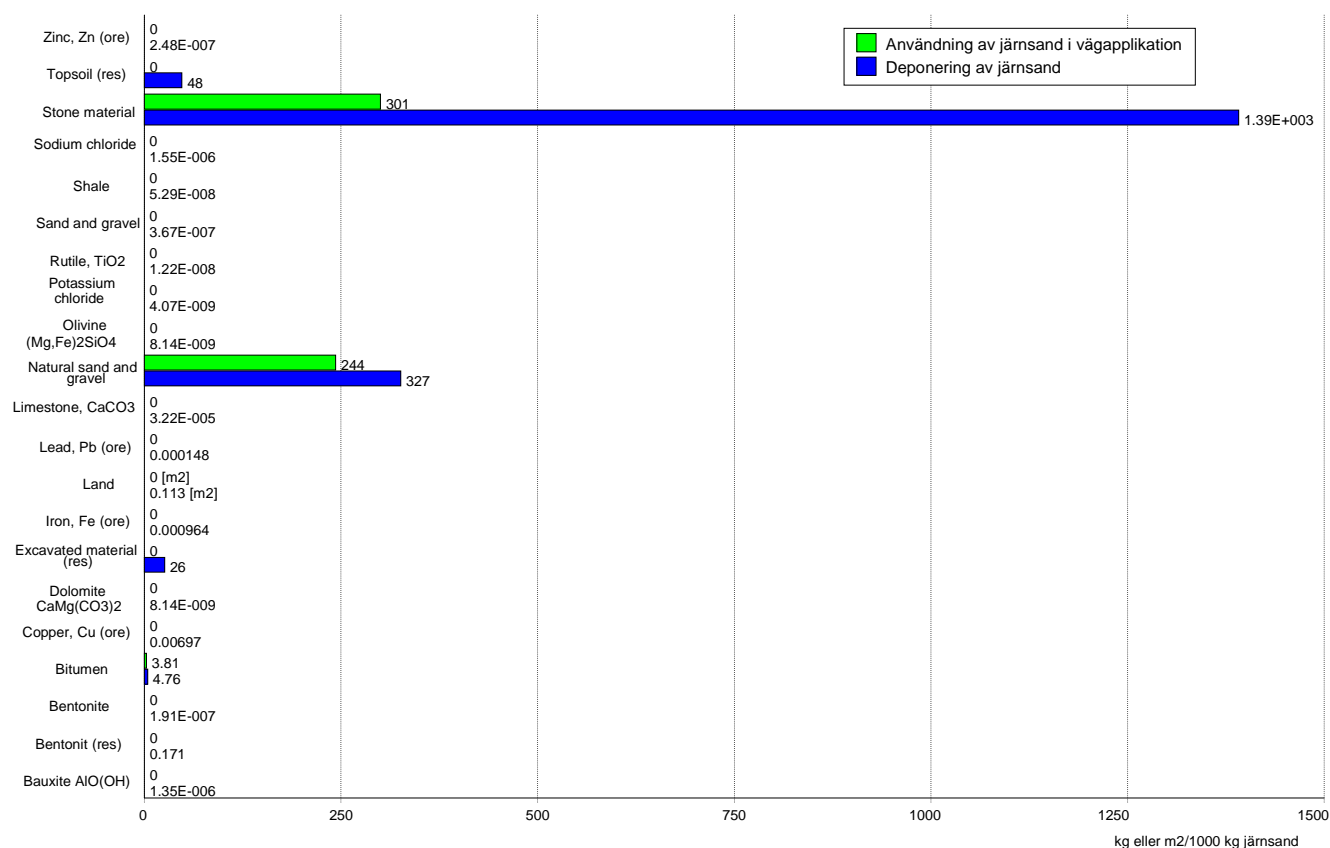
3) Data från ref. [8].



Figur 12 Överslagsberäkning av metallemissionerna (As, Cd, Hg, Pb) från de båda alternativa omhändertagandemetoderna. Direkta data från laktester har använts i beräkningarna.

4.3.3 Användning av naturresurser

Användningen av naturresurser (t.ex. olika mineral eller metaller) i olika processer är en viktig aspekt för att bedöma systemet ur en miljöteknisk hållbarhetssynpunkt. Användning av t.ex. metaller eller mineraler som finns i mycket begränsande mängder på jorden och som ej kan återvinnas leder till brister mot en hållbar utveckling. Användning av förnybara material som t.ex. trä eller återvunna material leder däremot till en ökad hållbar utveckling. Användningen av naturresurser, förutom energiresurserna, för de båda alternativen innehåller inget speciellt anmärkningsvärt ur hållbarhetssynpunkt. Som väntat domineras användningen av stenmaterial och grus för vägapplikationerna. Även mindre mängder schaktmassor, sand och matjord för deponin finns med, figur 13. Åtgången av stenmaterial är givetvis betydligt högre för deponialternativet då stenkross måste användas i vägens förstärkningslager.



Figur 13 Användning av naturresurser för de båda alternativa omhändertagandemetoderna för järnsand.

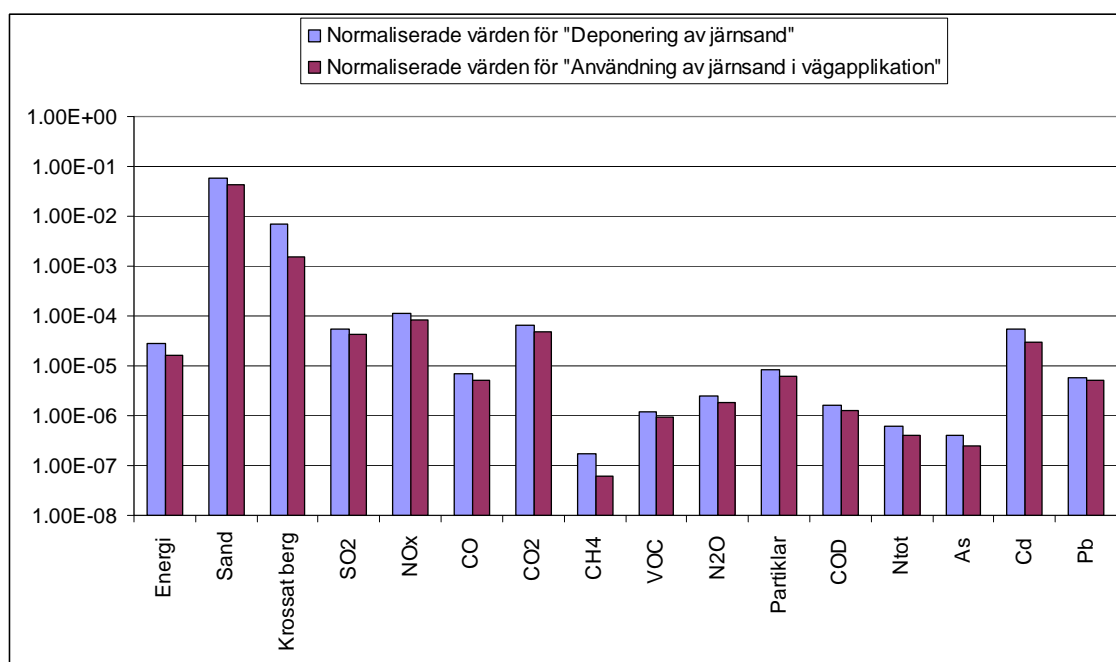
4.3.4 Jämförande analys

Det kan många gånger vara av intresse att bedöma storleksordningar på uppnådda resultat. I detta avsnitt görs ett försök att jämföra resultaten från modellkörningarna med nationella data. Emissionerna från systemet under ett år kan t.ex. jämföras med Sveriges totala emissioner under ett år. Detta ger en viss uppfattning om problemets omfattning. Utgör emissionerna en stor del av de totala emissionerna eller är det endast en mindre del? I tabell 7 nedan visas de totala emissionerna från systemet för en årsproduktion av järnsand vid Rönnskärsverken (ca 250 000 ton). Motsvarande nationella värden framgår av kolumn ”Nationella årsvärden”. Kvoten mellan de modellerade resultaten och de nationella värdena har därefter beräknats och framgår av kolumnerna betecknade med ”Normaliserade värden”. Som framgår av tabellen så utgör aktiviteterna med järnsand endast en mycket liten del av de nationella värdena. Endast för resursanvändningen av sand och krossat berg utgör hanteringen av järnsand någon betydande andel (0,15-6 %). En översiktsfigur av tabellens normaliserade värden visas också, figur 14.

Tabell 7 Tabellen visar en jämförelse mellan resursanvändning/emissioner vid olika applikationer av järnsand och nationella värden. Tabellen baseras på årsvärden d.v.s. omhändertagande av ett års produktion av järnsand jämförs med nationella data.

Emissioner under 1 år	Enhet	Deponering av järnsand (250 000 ton/år)	Användning av järnsand i vägapplikation (250 000 ton/år)	Nationella årsvärden 1)	Normaliserade värden för "Deponering av järnsand"	Normaliserade värden för "Användning av järnsand i vägapplikation"
Resursförbrukning						
<u>Värden för 1 års drift</u>						
Energi	MJ	6.53E+07	3.75E+07	2.30E+12	2.84E-05	1.63E-05
Sand	ton	8.17E+04	6.11E+04	1.40E+06	5.83E-02	4.36E-02
Krossat berg	ton	3.48E+05	7.52E+04	5.00E+07	6.96E-03	1.50E-03
Emissioner till luft						
SO ₂	g	2.23E+06	1.72E+06	4.00E+10	5.59E-05	4.31E-05
NO _x	g	2.26E+07	1.68E+07	2.00E+11	1.13E-04	8.39E-05
CO	g	4.19E+06	3.03E+06	6.00E+11	6.98E-06	5.04E-06
CO ₂	g	3.47E+09	2.59E+09	5.30E+13	6.54E-05	4.88E-05
CH ₄	g CO ₂ - ekv	9.67E+05	3.39E+05	5.60E+12	1.73E-07	6.05E-08
VOC	g	2.42E+05	1.93E+05	2.00E+11	1.21E-06	9.65E-07
HC	g	1.76E+06	1.29E+06	Saknas	-	-
N ₂ O	g CO ₂ - ekv	1.85E+07	1.36E+07	7.60E+12	2.44E-06	1.78E-06
Partiklar	g	6.01E+05	4.33E+05	7.20E+10	8.34E-06	6.01E-06
Emissioner till vatten						
COD	g	4.41E+05	3.52E+05	2.80E+11	1.58E-06	1.26E-06
N-tot	g	1.27E+04	8.67E+03	2.10E+10	6.05E-07	4.13E-07
Oil	g	1.59E+04	1.06E+04	Saknas	-	-
Fenol	g	1.47E+04	1.18E+04	Saknas	-	-
As	g	8.05E+01	5.00E+01	2.00E+08	4.02E-07	2.50E-07
Cd	g	2.39E+01	1.25E+01	4.30E+05	5.57E-05	2.91E-05
Pb	g	2.32E+02	2.00E+02	4.00E+07	5.79E-06	5.00E-06

1) Nationella värden för sand och dolomit (Carlsson et al., 2006), krossat berg (SGU, 2006), Zn (SGU, 2007), SO₂, NO_x, CO, VOC och partiklar (Naturvårdsverket, 2007), CO₂, CH₄, N₂O (Naturvårdsverket, 2006), COD och N-tot (SCB, 2004), metaller från substansflödesanalys. Nationella årsvärden är hämtade från [5].



Figur 14 Normaliserade värden för olika flöden i modellen. Figuren visar de två omhändertagandalternativen för järnsand i relation till totala mängder i Sverige. Observera att skalan är logaritmisk och att skillnaderna mellan olika värden därför kan förefalla små i grafen.

5 Diskussion och slutsatser

I denna studie har en samlad bild av de olika miljöaspekterna kring omhändertagande av järnsand gjorts. Energianvändning, resursanvändning och emissioner har belysts. Som framgått av resultaten visar studien i samtliga undersökta fall på en något lägre miljöpåverkan då järnsanden används i en vägapplikation jämfört med om järnsanden läggs på deponi. Detta kan förklaras av att en mindre arbetsinsats krävs för vägalternativet jämfört med deponialternativet. Beräkningar har även gjorts för metallerna As, Cd, Hg och Pb vars kriteriabedömning var upprinnelsen till denna studie. En jämförelse har gjorts av totalhalterna i materialen för de båda alternativen. Denna jämförelse kan indikera emissionerna under ett oändligt tidsperspektiv då samtliga metaller utlakas. Vid denna jämförelse blir de totala emissionerna högre för deponialternativet då metallerna från stenmaterialet ytterligare bidrar till förhöjda emissioner. De överslagsberäkningar av emissionerna som gjorts för perioden 0-100 år visar också de på högre emissioner för deponialternativet. För metallemissionerna återstår då att göra en bedömning av tidsperioden 100 år till oändlig tid. En kärnfråga är här vad som händer med materialet på lång sikt. Kommer materialet även i fortsättningen att förvaras separat eller kommer materialet att uppblandas med andra material? Vilken miljöpåverkan kan i sådana fall en fri inblandning i övriga material få? Hur mycket av det totala metallinnehållet kommer i verkligheten att lakas ut? Hur påverkas omgivningen av detta? Vilken förhöjning av metallhalterna i omgivande mark som kan uppstå beror också på mängden material som lagras på en viss plats. Några säkra svar på dessa frågor finns givetvis inte. Denna del har heller inte kunnat tas med i LCA-modellerna i brist på säker information. Resultatet beror också på framtida omhändertagandestrategier för materialen.

Slutligen bör påpekas att denna studie i första hand är en jämförande studie mellan olika omhändertagandemetoder och därför inte ger en fullständig bild av de absoluta nivåerna av samtliga emissioner. Endast 4 metaller har medtagits så här finns också begränsningar i bedömningsgrunderna.

6 Referenser

1. Kriterier för återvinning av avfall i anläggningsarbeten, Handbok 2007:xx med Naturvårdsverkets rekommendationer för återvinning av avfall i anläggningsarbeten., Naturvårdsverket (2007).
2. Miljökonsekvensanalys av Naturvårdsverkets förslag till kriterier för återvinning av avfall i anläggningsarbeten., Avfall Sverige Rapport F2008:04 (2008).
3. Flyhammar P., 2008. Material- och substansflödesanalys för alternativa ballastmaterial - arsenik, bly, kadmium och kvicksilver. Flyhammar Resurs och Miljö. Bilaga 1 till Avfall Sverige 2008, Miljökonsekvensanalys av Naturvårdsverkets förslag till kriterier för återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Avfall Sverige Rapport F2008:04.
4. Bjurström H., 2008. Materialförbättring av askor - möjligheter att påverka innehållet av arsenik, bly, kadmium och kvicksilver. ÅF process. Bilaga 2 till Avfall Sverige 2008, Miljökonsekvensanalys av Naturvårdsverkets förslag till kriterier för återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Avfall Sverige Rapport F2008:04.
5. Olsson, S. 2008. Livscykelperspektiv på återvinning av askor. Rapport nr 7381-009, Fjärrsyns rapportserie, Svensk Fjärrvärme, Stockholm. Bilaga 3 till Avfall Sverige 2008, Miljökonsekvensanalys av Naturvårdsverkets förslag till kriterier för återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Avfall Sverige Rapport F2008:04.
6. Wik O., Andersson-Sköld Y., Rihm T., Norrman J. Stein P., 2008. Alternativa ballastmaterial - riskanalys för användning av olika avfall som anläggningsmaterial, SGI. Bilaga 5 till Avfall Sverige 2008, Miljökonsekvensanalys av Naturvårdsverkets förslag till kriterier för återvinning av avfall i anläggningsarbeten. Avfall Sverige Rapport F2008:04.
7. Peders, K., Blästermedlet Fajalit rening eller deponering, Examensarbete Göteborgs Universitet, Avd. för miljövetenskaplig programutbildning, 2000.
8. Borell M., Slag - a resource in the sustainable society. Securing the future 2005 (Conference paper), Boliden (2005).
9. Ekvall A., von Bahr B., Andersson T., Lax K., Åkesson U., Lakegenskaper för naturballast, Bergmaterial och moräner, Miljöriktig användning av askor 961, Rapport från Värmeforsk, ISSN 1653-1248, februari 2006.

Bilaga 1. Användaranvisning för Bolidens Järnsand

Allmänt

Boliden Järnsand är en kemiskt stabil glasartad sand bestående av huvudkomponenterna järn och kisel. Järnsanden innehåller även spårämnen som zink och koppar. Utlakningen av spårämnen är liten och kan ytterligare minskas om järnsanden används på ett sätt som minskar utlakning. Generellt kan sägas att utlakning ökar vid fri tillgång på syre och vatten med lågt (surt) pH.

Det bör påpekas att även naturliga material som t.ex. bergkross lakar ur.

Grundvatten

Av försiktighetsskäl ska järnsand ej användas i områden för vattentäkter. Järnsand bör användas ovan grundvattenytan. Järnsand bör ej användas nära brunnar.

Täckning

Järnsanden ska inte spridas på markytan. Järnsanden kan användas som t.ex. förstärkningslager i vägar och terminaler. Järnsanden ska täckas över med material som minskar lakvattenbildningen och syretillgången. Vid vägbyggnad görs detta med bärlager och asfalt.

Blandning

Järnsanden ska användas i ren form. Det är olämpligt att blanda järnsand med jord, sand eller annat material. Järnsandens unika egenskaper kan förloras vid blandning. Om järnsanden uppblandas riskeras att blandningen kan spridas och användas på ett okontrollerat sätt.

Ansvar vid användande av järnsand

Användandet av järnsanden ska ske enligt leverantörens råd och anvisningar. Föreligger osäkerhet skall leverantören rådfrågas. Användaren ansvarar för att nyttiggörandet sker enligt gällande föreskrifter och/eller myndighets råd och anvisningar.

Upplysningar

Ytterligare upplysningar kan fås från Rönnskärsverken på tel. 0910-77 38 52 eller tel. 0910-77 31 56.
Boliden Mineral AB

Bilaga 2. Inventeringsdata använda i LCA-modellerna

Byggnation av förstärkningslager från järnsand

(Module definition)

Process:

Energiförbrukningen för de arbetsmoment som innefattar bearbetning av materialet i vägbanken d.v.s. utplaning och formning till önskad geometri har uppskattats till 0.2 l diesel/m³ material i förstärkningslagret eller 7.02 MJ/m³

Energiförbrukningen varierar med storlek och typ av vält. Beräkningar har gjorts av energiförbrukningen per packad yta för några av Dynapacs jordpackningsmaskiner. Arbetsvikten anges också. Observera att packningsresultatet varierar mellan de olika maskinerna. 6 st överfarter har antagits.

CA 151D (6.2 ton): 0.5322 MJ/m²CA 251D (9.8 ton): 0.5932 MJ/m²CA 301D (12 ton): 0.6281 MJ/m²

Densiteten för krossad sten och järnsand är ungefär lika 1600 kg/m³. Den krossade stenen har då en större storleksfraktion. Packad järnsand har dock en något högre densitet så en densitet på 1800 kg/m³ har antagits för järnsanden.

Tjockleken på förstärkningslagret har antagits till 70 cm för järnsanden och 80 cm för stenkrossen för samma typ av väg.

Inputs:**Materials/Products**

Järnsand [kg]

MiscellaneousArea förstärkningslager [m²]

Energi för materialhante [MJ]

Energi för packning [MJ]

Packningsarea [m²]Volym förstärkningslage [m³]

Xjärnsand [kg]

Outputs:**Materials/Products**

Järnsand [kg]

MiscellaneousArea förstärkningslager [m²]XArea förstärkningslage [m²]**Additional Equations:****Materials/Products** $Järnsand[i] = Järnsand[o]$ $Järnsand[i] = Densitet\ järnsand\ kg/m^3 * Volym\ förstärkningslager$ $Järnsand[i] = Xjärnsand$ **Miscellaneous** $Area\ förstärkningslager[i] = Area\ förstärkningslager[o]$ $Energi\ för\ materialhantering = 7.02 * Volym\ förstärkningslager$ $Energi\ för\ packning = 0.593 * Packningsarea$ $Packningsarea = Antal\ packningslager * Area\ förstärkningslager[i]$ $Volym\ förstärkningslager = Tjocklek\ järnsand\ m * Area\ förstärkningslager[i]$ $XArea\ förstärkningslager = Area\ förstärkningslager[i]$ **Järnsand från koppertillverkning**

(Module definition)

Inputs:**Outputs:****Materials/Products**

Järnsand kg

Materialhantering av förstärkningslager

(Module definition)

PROCESS: Drift av dieselmotor för en arbetsmaskin. Låg NOx teknik enl ref. Justerade data för SO2 jämfört med ref data.

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1E+003 MJ Diesel**Inputs:****Energy carriers**

Diesel	1E+003	MJ
--------	--------	----

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	5E-005	kg
CO (air)	0.085	kg
CO2, fossil (air)	75	kg
HC (air)	0.043	kg
N2O (air)	0.0016	kg
NOx (air)	0.71	kg
Particles (air)	0.028	kg
SO2 (air)	7E-005	kg

Energy carriers

Energi (använd diesel)	1E+003	MJ
------------------------	--------	----

Packning av förstärkningslager

(Module definition)

PROCESS: Drift av dieselmotor för en arbetsmaskin. Låg NOx teknik enl ref. Justerade data för SO2 jämfört med ref data.

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1E+003 MJ Diesel**Inputs:****Energy carriers**

Diesel	1E+003	MJ
--------	--------	----

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	5E-005	kg
CO (air)	0.085	kg
CO2, fossil (air)	75	kg
HC (air)	0.043	kg
N2O (air)	0.0016	kg
NOx (air)	0.71	kg
Particles (air)	0.028	kg
SO2 (air)	7E-005	kg

Energy carriers

Energi (använd diesel)	1E+003	MJ
------------------------	--------	----

Produktion av diesel och lätt eldningsolja - vägapplikation järnsand

(Module definition)

PROCESS: The production data for diesel fuel covers the extraction, refining and transport of the diesel oil to the consumer. This part of the fuel chain is often described by so called precombustion factors.

SOURCE: Basic data for extraction and transports are derived from the study "Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas", (1994), [1] supplemented with data for steel production from [2] (25 % primary and 75 % recycled steel). The drill platform uses no external electricity. The consumption of crude oil is recalculated to MJ using a lower heating value of 42.7 MJ/kg. Refinery data are from a Norwegian refinery. Average data for European production are expected to be higher. Precombustion data can vary significantly between different LCA studies and thus have to be considered as relatively uncertain.

[1] K.Keiserås Bakkane (1994), "Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas", Novatech a.s., Tapir Publisher).

[2] Sunér M., Life Cycle Assessment of Aluminium, Copper and Steel., M.Sc. thesis, Chalmers University of Technology (1996).

Values per 1 MJ Fuel oil**Inputs:****Energy resources**

Crude oil	1.1	MJ
-----------	-----	----

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	2.07E-006	kg
CO (air)	1.7E-006	kg
CO2, fossil (air)	0.00322	kg
HC (air)	3.48E-008	kg
N2O (air)	3.03E-008	kg
NOx (air)	1E-005	kg
Particles (air)	8.86E-009	kg
SO2 (air)	3.6E-006	kg

Emissions to water

COD	4.62E-009	kg
N, total (aq)	8.75E-010	kg
Oil, unspec. (aq)	4E-007	kg
Phenol (aq)	4.72E-009	kg

Energy fuels

Fuel oil	1	MJ
----------	---	----

Underhåll av asfaltväg - järnsand

(Module definition)

Underhåll av asfaltväg är beräknad utifrån underhåll i LCA-väg för asfaltväg varm metod men omräknad per m2 väg. Underhållet för en väg med järnsand har beräknats med antagandet att järnsandvägen har 20 % mindre underhåll.

Values per 1 m2 Underhåll av asfaltväg**Inputs:****Energy resources**

Coal	0.636	MJ
Crude oil	176	MJ
Natural gas	10.8	MJ
Peat	0.0715	MJ

Energy resources-renewable

Biomass fuel	0.715	MJ
Hydro power	7.47	MJ

Resources

Bitumen	6	kg
Natural sand and gravel	385	kg
Stone material	474	kg

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	8.7E-006	kg
CO (air)	0.0116	kg
CO2, fossil (air)	13.4	kg
HC (air)	0.00563	kg
N2O (air)	0.000212	kg
NOx (air)	0.0835	kg
Particles (air)	0.00219	kg
SO2 (air)	0.01	kg
VOC (air)	0.00122	kg

Emissions to water

BOD	0.000114	kg
COD	0.00222	kg
HC (aq)	1.2E-005	kg
N, total (aq)	5.46E-005	kg
Oil, unspec. (aq)	5.19E-005	kg
P, total (aq)	1.2E-005	kg
Phenol (aq)	7.39E-005	kg

Materials/Products

Underhåll av asfaltväg	1	m2
------------------------	---	----

Wastes, solid

Radioactive load	1.59E-009	manSv
Waste to landfill	0.00111	kg
Waste, demolition	0.238	cm3
Waste, hazardous	0.00158	kg
Waste, high radioactive	0.0223	cm3
Waste, medium radioact	0.238	cm3
Waste, total	0.00269	kg

Vägprocessen för järnsand under applikationstiden

(Module definition)

PROCESS: Emissioner från användningen av järnsand under en viss tidsperiod i en vägapplikation. En 20 % reducering av underhållet p.g.a. järnsandens tekniska egenskaper har antagits. ref. Lars Pettersson tekniska kontoret Skellefteå, 0910-737830.

Lakbarhetsvärden för L/S=10 har använts. En belagd asfaltväg under 100 år har antagits. De direkta lakvärdena från laktesterna har använts som en approximation för emissionen från vägen under 100 år. Under 30 år har antagits att emissionen är 30 % av den för 100 år. Totalhalterna för Cd och Hg är < värden.

Inputs:**Materials/Products**

Järnsand	[kg]
----------	------

Miscellaneous

Area förstärkningslager	[m2]
-------------------------	------

Vägunderhåll	[m2]
--------------	------

Outputs:**Chemicals**

As total	[kg]
----------	------

Cd total	[kg]
----------	------

Cr total	[kg]
----------	------

Cu total	[kg]
----------	------

Fe total	[kg]
----------	------

Hg total	[kg]
----------	------

Mo total	[kg]
----------	------

Ni total	[kg]
----------	------

Pb total	[kg]
----------	------

Zn total	[kg]
----------	------

Emissions

As 100 år	[kg]
-----------	------

As 30 år	[kg]
----------	------

Cd 100 år	[kg]
-----------	------

Cd 30 år	[kg]
----------	------

Cu 100 år	[kg]
-----------	------

Cu 30 år	[kg]
----------	------

Hg 100 år	[kg]
-----------	------

Hg 30 år	[kg]
----------	------

Pb 100 år	[kg]
-----------	------

Pb 30 år	[kg]
----------	------

Additional Equations:**Chemicals**

$$\text{As total} = 2.7E-005 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Cd total} = 1E-006 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Cr total} = 0.0013 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Cu total} = 0.005 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Fe total} = 0.366 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Hg total} = 1E-006 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Mo total} = 0.002 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Ni total} = 0.00014 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Pb total} = 0.00014 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Zn total} = 0.012 * \text{Järnsand}$$
Emissions

$$\text{As 100 år} = 2E-008 * \text{Järnsand}$$

$$\text{As 30 år} = 0.3 * \text{As 100 år}$$

$$\text{Cd 100 år} = 5E-009 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Cd 30 år} = 0.3 * \text{Cd 100 år}$$

$$\text{Cu 100 år} = 0 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Cu 30 år} = 0.3 * \text{Cu 100 år}$$

$$\text{Hg 100 år} = 1E-008 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Hg 30 år} = 0.3 * \text{Hg 100 år}$$

$$\text{Pb 100 år} = 8E-008 * \text{Järnsand}$$

$$\text{Pb 30 år} = 0.3 * \text{Pb 100 år}$$
Miscellaneous

$$\text{Vägunderhåll} = 0.8 * \text{Area förstärkningslager}$$

Arbetsmaskiner vid bentonitframställning

(Module definition)

PROCESS: Drift av dieselmotor för en arbetsmaskin. Låg NOx teknik enl ref. Justerade data för SO2 jämfört med ref data.

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1E+003 MJ Diesel**Inputs:****Energy carriers**

Diesel	1E+003	MJ
--------	--------	----

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	5E-005	kg
CO (air)	0.085	kg
CO2, fossil (air)	75	kg
HC (air)	0.043	kg
N2O (air)	0.0016	kg
NOx (air)	0.71	kg
Particles (air)	0.028	kg
SO2 (air)	7E-005	kg

Energy carriers

Energi (använd diesel)	1E+003	MJ
------------------------	--------	----

Arbetsmaskiner vid utvinning

(Module definition)

PROCESS: Drift av dieselmotor för en arbetsmaskin. Låg NOx teknik enl ref. Justerade data för SO2 jämfört med ref data.

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1E+003 MJ Diesel**Inputs:****Energy carriers**

Diesel	1E+003	MJ
--------	--------	----

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	5E-005	kg
CO (air)	0.085	kg
CO2, fossil (air)	75	kg
HC (air)	0.043	kg
N2O (air)	0.0016	kg
NOx (air)	0.71	kg
Particles (air)	0.028	kg
SO2 (air)	7E-005	kg

Energy carriers

Energi (använd diesel)	1E+003	MJ
------------------------	--------	----

Back pressure biomass power production

(Module definition)

Electricity from combustion of logging waste in a combined power and heating plant, equipped with a CFB furnace with flue gas condensation. Emissions and consumptions are allocated between electricity and heat according to energy.

Data from Vattenfall (1996), "EI_Miljö. Livscykelanalys för Vattenfalls elproduktion - Sammanfattande rapport", supplemented with unpublished data from Vattenfall. They include the entire life cycle, extraction of fuel, construction, demolition and operation of the plant, and residual products.

The total efficiency of the plant is 85 %. The logging waste is assumed to contain 50 % water. The effective heating value of wood with 50 % moisture is 2.33 kWh/kg (AB Svensk Energiförsörjning (1994), "Energifakta").

The amount of nuclear power is calculated from a stated consumption of 1.25E-9 kg natural uranium (U3O8) / kWh el and an energy content of 140 000 kWh/kg uranium (AB Svensk Energiförsörjning (1994), "Energifakta").

Values per 1 MJ Biomass fuel**Inputs:****Chemicals**

Ammonia	3.37E-007	kg
Cyklohexylamine	8.9E-008	kg
Hydrazine, N2H4	4.45E-007	kg

Energy resources

Coal	0.00113	MJ
Crude oil	0.0303	MJ
Natural gas	0.000127	MJ
Nuclear	0.000148	MJ

Energy resources-renewable

Biomass fuel	1	MJ
Hydro power	5.78E-005	MJ

Materials/Products

Rock wool	3.05E-005	kg
Wood	2.85E-005	kg

Resources

Copper, Cu (ore)	6.64E-005	kg
Iron, Fe (ore)	7.52E-005	kg
Land	0.156	m2
Limestone, CaCO3	4.4E-005	kg
Sodium chloride, NaCl	1.48E-006	kg

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	5.03E-005	kg
CO2, biogenic	0.078	kg
CO2, fossil (air)	0.0024	kg
HC (air)	3.34E-006	kg
N2O (air)	3.86E-006	kg
NOx (air)	7.89E-005	kg
Particles (air)	6.92E-006	kg
SO2 (air)	1.01E-005	kg

Emissions to water

Cd (aq)	2.97E-010	kg
COD	2.34E-006	kg
N, total (aq)	3.86E-006	kg
Oil, unspec. (aq)	6.31E-009	kg
P, total (aq)	7.3E-009	kg
SO3 ions (aq)	5.96E-007	kg
SO4 ions (aq)	1.79E-005	kg
Sulphide (aq)	5.88E-008	kg

Energy carriers

Electric power	0.847	MJ
----------------	-------	----

Wastes, solid

Slag and Ash	0.00129	kg
Waste, construction	0.000259	kg
Waste, industrial	2.36E-005	kg

Byggnation av förstärkningslager från stenmaterial

(Module definition)

Process:

Energiförbrukningen för de arbetsmoment som innefattar bearbetning av materialet i vägbanken d.v.s. utplanning och formning till önskad geometri har uppskattats till 0.2 l diesel/m3 material i förstärkningslagret eller 7.02 MJ/m3

Energiförbrukningen varierar med storlek och typ av vält. Beräkningar har gjorts av energiförbrukningen per packad yta för några av Dynapacs jordpackningsmaskiner. Arbetsvikten anges också. Observera att packningsresultatet varierar mellan de olika maskinerna. 6 st överfarter har antagits.

CA 151D (6.2 ton): 0.5322 MJ/m2

CA 251D (9.8 ton): 0.5932 MJ/m2

CA 301D (12 ton): 0.6281 MJ/m2

Densiteten för krossad sten och järnsand är ungefär lika 1600 kg/m3. Den krossade stenen har då en större storleksfraktion.

Tjockleken på förstärkningslagret har antagits till 70 cm för järnsanden och 80 cm för stenkrossen för samma typ av väg.

Inputs:**Miscellaneous**

Area förstärkningslager	[m2]
Energi för materialhante	[MJ]
Energi för packning	[MJ]
Packningsarea	[m2]
Volym förstärkningslage	[m3]

Resources

Stone material	[kg]
----------------	------

Outputs:**Miscellaneous**

Area förstärkningslager	[m2]
Resources	
Stone material	[kg]

Additional Equations:**Miscellaneous**

Area förstärkningslager[i]=Area förstärkningslager[o]
 Energi för materialhantering=7.02*Volym förstärkningslager
 Energi för packning=0.593*Packningsarea
 Packningsarea=Antal packningslager*Area förstärkningslager[i]
 Volym förstärkningslager=Tjocklek makadam m*Area förstärkningslager[i]

Resources

Stone material[i]=Stone material[o]
 Stone material[i]=Densitet makam kg/m3*Volym förstärkningslager

Deponiaktiviteter

(Module definition)

PROCESS: Materialhantering på deponin samt sluttäckning m.m.

Energiförbrukningen för de arbetsmoment som innefattar bearbetning av materialet i deponin d.v.s. utplaning och formning till önskad geometri har uppskattats till 0.2 l diesel/m³ material i deponin eller 7.02 MJ/m³

Geotextil: polypropenmatta 110 g/m²
Bentonitmatta: 4600 g/m²

Inputs:**Materials/Products**

Bentonit	[kg]
Geotextil	[kg]
Järnsand	[kg]
Matjord m ³	[m ³]
Sand dränering m ³	[m ³]
Sand precover m ³	[m ³]
Schaktmassor m ³	[m ³]

Miscellaneous

Energi för järnsandhante	[MJ]
Energi för täckmaterialh:	[MJ]
Volym järnsand i deponi	[m ³]

Outputs:**Materials/Products**

Järnsand	[kg]
----------	------

Additional Equations:**Materials/Products**

Bentonit=0.307*Volym järnsand i deponi
Geotextil=0.00733*Volym järnsand i deponi
Järnsand[i]=Densitet järnsand kg/m³*Volym järnsand i deponi
Järnsand[i]=Järnsand[o]
Matjord m³=0.09*Volym järnsand i deponi
Sand dränering m³=0.0133*Volym järnsand i deponi
Sand precover m³=0.0133*Volym järnsand i deponi
Schaktmassor m³=0.033*Volym järnsand i deponi

Miscellaneous

Energi för järnsandhanteringen=7.02*Volym järnsand i deponi
Energi för täckmaterialhanteringen=7.02*Bentonit+7.02*Matjord m³+7.02*Sand dränering m³+7.02*Sand pre

Deponiprocessen för järnsand under deponeringstiden

(Module definition)

PROCESS: Emissioner från deponeringen av järnsand under en viss tidsperiod. Lakbarhetsvärden för L/S=2 har använts.

De direkta lakvärdena från laktesterna har använts som en approximation för emissionen från vägen under 100 år. Under 30 år har antagits att emissionen är 30 % av den för 100 år. Totalhalterna för Cd och Hg är < värden.

Inputs:**Materials/Products**

Järnsand	[kg]
----------	------

Outputs:**Chemicals**

As total	[kg]
Cd total	[kg]
Cr total	[kg]
Cu total	[kg]
Fe total	[kg]
Hg total	[kg]
Mo total	[kg]
Ni total	[kg]
Pb total	[kg]
Zn total	[kg]

Emissions

As 100 år	[kg]
As 30 år	[kg]
Cd 100 år	[kg]
Cd 30 år	[kg]
Cu 100 år	[kg]
Cu 30 år	[kg]
Hg 100 år	[kg]
Hg 30 år	[kg]
Pb 100 år	[kg]
Pb 30 år	[kg]

Additional Equations:**Chemicals**

As total=2.7E-005*Järnsand
 Cd total=1E-006*Järnsand
 Cr total=0.0013*Järnsand
 Cu total=0.005*Järnsand
 Fe total=0.366*Järnsand
 Hg total=1E-006*Järnsand
 Mo total=0.002*Järnsand
 Ni total=0.00014*Järnsand
 Pb total=0.00014*Järnsand
 Zn total=0.012*Järnsand

Emissions

As 100 år=2E-008*Järnsand
 As 30 år=0.3*As 100 år
 Cd 100 år=5E-009*Järnsand
 Cd 30 år=0.3*Cd 100 år
 Cu 100 år=0*Järnsand
 Cu 30 år=0.3*Cu 100 år
 Hg 100 år=2E-009*Järnsand
 Hg 30 år=0.3*Hg 100 år
 Pb 100 år=8E-008*Järnsand
 Pb 30 år=0.3*Pb 100 år

Electric power mixer - Swedish average

(Module definition)

Swedish electric power mix for year 1999.

Miljöfaktaboken för bränslen Del 1 Huvudrapport. IVL rapport B 1334A-2

Values per 1 MJ Electric power[o]**Inputs:****Energy carriers**

Electric power	1	MJ
----------------	---	----

Outputs:**Energy carriers**

Electric power	1	MJ
----------------	---	----

Electric power system - Swedish average

(Module definition)

Delivery of electric power.
Swedish electric power mix.

Values per 1 MJ Electric power[o]**Inputs:****Energy carriers**

Electric power	1	MJ
----------------	---	----

Outputs:**Energy carriers**

Electric power	1	MJ
----------------	---	----

Electric power, black coal, back pressure power-production

(Module definition)

Electric power production
Back pressure power technology
0.85 % total efficiency. Energy allocated equally to heat and power.
No precombustion factors added
Cleaning equipment: Electro filter, SO2 reduction equipment and SNCR NOX reduction
Year: 1995

Values per 1 MJ Coal**Inputs:****Energy resources**

Coal	1	MJ
------	---	----

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	1E-005	kg
CO2, fossil (air)	0.105	kg
NOx (air)	5E-005	kg
Particles (air)	2E-005	kg
SO2 (air)	5E-005	kg

Energy carriers

Electric power	0.85	MJ
----------------	------	----

Wastes, solid

Slag and Ash	0.005	kg
--------------	-------	----

Electric power, fuel oil, back pressure power production

(Module definition)

Electric power production
Back pressure power technology
85 % total efficiency. Energy allocated equally to heat and power.
No precombustion factors added
Cleaning equipment: Electro filter, SO2 cleaning (90 %, scrubber or lime stone additive), NOx-reduction with SNCR and improved combustion control equipment (60 % reduction).
Year: 1995

Values per 1 MJ Crude oil**Inputs:****Energy resources**

Crude oil	1	MJ
-----------	---	----

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	1E-006	kg
CO2, fossil (air)	0.078	kg
NOx (air)	6E-005	kg
Particles (air)	4E-006	kg
SO2 (air)	5E-005	kg

Energy carriers

Electric power	0.85	MJ
----------------	------	----

Wastes, solid

Slag and Ash	1E-005	kg
--------------	--------	----

Electric power, fuel oil, condensing power production

(Module definition)

Electric power production
 Condensing power technology
 35 % electric power efficiency. Energy allocated to electric power only.
 No precombustion factors added
 Cleaning equipment: Electro filter, SO2 cleaning (90 %, scrubber or lime stone additive), NOx-reduction with SNCR and improved combustion control equipment (60 % reduction).
 Year: 1995

Values per 1 MJ Crude oil**Inputs:****Energy resources**

Crude oil	1	MJ
-----------	---	----

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	1E-006	kg
CO2, fossil (air)	0.078	kg
NOx (air)	6E-005	kg
Particles (air)	4E-006	kg
SO2 (air)	5E-005	kg

Energy carriers

Electric power	0.35	MJ
----------------	------	----

Wastes, solid

Slag and Ash	1E-005	kg
--------------	--------	----

Electric power, natural gas, back pressure power production

(Module definition)

Electric power production
 Back pressure power technology
 0.85 % total efficiency. Energy allocated equally to heat and power.
 No precombustion factors added
 Cleaning equipment: Low NOx burner, NOx adjusted plant, prepared natural gas (sulphur reduction)
 Year: 1995

Values per 1 MJ Natural gas**Inputs:****Energy resources**

Natural gas	1	MJ
-------------	---	----

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	5E-007	kg
CO2, fossil (air)	0.051	kg
NOx (air)	7E-005	kg
Particles (air)	1E-008	kg
SO2 (air)	1E-006	kg

Energy carriers

Electric power	0.85	MJ
----------------	------	----

Elproduktion, kol, mottryck

(Module definition)

Electric power production
 Back pressure power technology
 0.85 % total efficiency. Energy allocated equally to heat and power.
 No precombustion factors added
 Cleaning equipment: Electro filter, SO2 reduction equipment and SNCR NOX reduction
 Year: 1995

Values per 1 MJ Coal**Inputs:****Energy resources**

Coal	1	MJ
------	---	----

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	1E-005	kg
CO2, fossil (air)	0.105	kg
NOx (air)	5E-005	kg
Particles (air)	2E-005	kg
SO2 (air)	5E-005	kg

Energy carriers

Electric power	0.85	MJ
----------------	------	----

Wastes, solid

Slag and Ash	0.005	kg
--------------	-------	----

Hydro power production

(Module definition)

Weighted average values from three hydropower plants, Seitevare, Harsprånget and Boden. Data from Vattenfall (1996), "El_Miljö. Livscykelanalys för Vattenfalls elproduktion - Sammanfattande rapport", supplemented with unpublished data from Vattenfall. They include the entire life cycle, extraction of fuel, construction, demolition and operation of the plant, and residual products.

The consumption of primary nuclear energy has been calculated from the stated consumption assuming 30 % efficiency of a nuclear power plant.

Values per 1 MJ Electric power**Inputs:****Chemicals**

Ammonia	1.25E-006	kg
H2SO4	4E-007	kg
HNO3	4.7E-006	kg

Energy resources

Coal	0.000742	MJ
Crude oil	0.00054	MJ
Natural gas	4.1E-005	MJ
Nuclear	0.00029	MJ

Energy resources-renewable

Biomass fuel	0.00718	MJ
Hydro power	1	MJ

Materials/Products

Wood	0.00033	kg
------	---------	----

Resources

Bauxite AlO(OH)	3.2E-008	kg
Copper, Cu (ore)	8.7E-005	kg
Iron, Fe (ore)	4.6E-005	kg
Land	9.9E-005	m ²
Lead, Pb (ore)	8.2E-006	kg

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	1.58E-006	kg
CO ₂ , fossil (air)	0.000198	kg
HC (air)	3.38E-007	kg
NO _x (air)	1.65E-006	kg
SO ₂ (air)	5.1E-007	kg

Emissions to water

COD	4E-010	kg
N, total (aq)	6.3E-010	kg
Oil, unspec. (aq)	6.9E-010	kg

Energy carriers

Electric power	1	MJ
----------------	---	----

Järnsand från koppertillverkning

(Module definition)

Inputs:**Outputs:****Materials/Products**

Järnsand [kg]

Miscellaneous

Xjärnsand [kg]

Additional Equations:**Materials/Products**

Järnsand=1E+003

Miscellaneous

Xjärnsand=Järnsand

Materialhantering av förstärkningslager

(Module definition)

PROCESS: Drift av dieselmotor för en arbetsmaskin. Låg NO_x teknik enl ref. Justerade data för SO₂ jämfört med ref data.

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1E+003 MJ Diesel**Inputs:****Energy carriers**

Diesel	1E+003	MJ
--------	--------	----

Outputs:**Emissions to air**

CH ₄ (air)	5E-005	kg
CO (air)	0.085	kg
CO ₂ , fossil (air)	75	kg
HC (air)	0.043	kg
N ₂ O (air)	0.0016	kg
NO _x (air)	0.71	kg
Particles (air)	0.028	kg
SO ₂ (air)	7E-005	kg

Energy carriers

Energi (använd diesel)	1E+003	MJ
------------------------	--------	----

Materialhantering av järnsanden i deponin

(Module definition)

PROCESS: Drift av dieselmotor för en arbetsmaskin. Låg NOx teknik enl ref. Justerade data för SO2 jämfört med ref data.

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1E+003 MJ Diesel**Inputs:****Energy carriers**

Diesel	1E+003	MJ
--------	--------	----

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	5E-005	kg
CO (air)	0.085	kg
CO2, fossil (air)	75	kg
HC (air)	0.043	kg
N2O (air)	0.0016	kg
NOx (air)	0.71	kg
Particles (air)	0.028	kg
SO2 (air)	7E-005	kg

Energy carriers

Energi (använd diesel)	1E+003	MJ
------------------------	--------	----

Materialhantering av täckmaterialen i deponin

(Module definition)

PROCESS: Arbetet med täckningen av deponin.

Drift av dieselmotor för en arbetsmaskin. Låg NOx teknik enl ref. Justerade data för SO2 jämfört med ref data.

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1E+003 MJ Diesel**Inputs:****Energy carriers**

Diesel	1E+003	MJ
--------	--------	----

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	5E-005	kg
CO (air)	0.085	kg
CO2, fossil (air)	75	kg
HC (air)	0.043	kg
N2O (air)	0.0016	kg
NOx (air)	0.71	kg
Particles (air)	0.028	kg
SO2 (air)	7E-005	kg

Energy carriers

Energi (använd diesel)	1E+003	MJ
------------------------	--------	----

Nuclear power production

(Module definition)

Data from Vattenfall (1996), "El_Miljö. Livscykelanalys för Vattenfalls elproduktion - Sammanfattande rapport", supplemented with unpublished data from Vattenfall. They include the entire life cycle, extraction of fuel, construction, demolition and operation of the plant, and residual products.

Only emissions to air and water and residual products are considered. Some chemicals used in minor amounts have been left out.

The input of nuclear power has been calculated from a stated consumption of 2.31E-2 g of natural uranium (U3O8) /kWh electricity. The energy content of natural uranium is 140 000 kWh/kg (AB Svensk Energiförsörjning (1994), "Energifakta").

Values per 1 MJ Electric power**Inputs:****Chemicals**

Ammonia	4.23E-006	kg
H2SO4	4.61E-005	kg
HNO3	2.39E-006	kg
Ion exchange resin	2.67E-007	kg
Lime	2.78E-005	kg
Oxygen, O2	0.000322	kg

Energy resources

Coal	0.00553	MJ
Crude oil	0.00357	MJ
Natural gas	0.000996	MJ
Nuclear	3.27	MJ

Energy resources-renewable

Biomass fuel	5.99E-005	MJ
Hydro power	0.00328	MJ

Materials/Products

Wood	1.3E-005	kg
------	----------	----

Resources

Bauxite AlO(OH)	1.04E-007	kg
Copper, Cu (ore)	0.000629	kg
Iron, Fe (ore)	4.25E-005	kg
Lead, Pb (ore)	6.51E-006	kg

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	1.09E-006	kg
CO2, fossil (air)	0.000783	kg
HC (air)	6.53E-006	kg
NOx (air)	4.63E-006	kg
Particles (air)	2.19E-006	kg
Radioactive emiss.	2.84E+004	Bq
SO2 (air)	3.58E-006	kg

Emissions to water

COD	1.71E-008	kg
N, total (aq)	4.68E-007	kg
NH3/NH4 (aq)	2.93E-007	kg
Nitrate (aq)	1.06E-006	kg
SO4 ions (aq)	2.75E-007	kg
Suspended solids (aq)	2.75E-007	kg

Energy carriers

Electric power	1	MJ
----------------	---	----

Wastes, solid

High radioactive	2.11E-005	kg
Low radioactive	0.00761	dm3
Medium radioactive	3.33E-006	dm3
Waste, industrial	0.00548	kg

Oljepanna - ånga/värme produktion

(Module definition)

TECHNOLOGY: Oil boiler. Energy efficiency 85 %. Sulphur content in oil 0.5 %. No precombustion in this module. Precombustion factors in separate module.

CLEANING EQUIPMENT: Optimised combustion condition for NOx reduction and low NOx burner.

YEAR: 1995

Values per 1 MJ Fuel oil**Inputs:****Energy fuels**

Fuel oil	1	MJ
----------	---	----

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	0.0001	kg
CO2, fossil (air)	0.073	kg
NOx (air)	0.00013	kg
Particles (air)	5E-005	kg
SO2 (air)	0.00024	kg

Energy carriers

Energy steam/heat	0.85	MJ
-------------------	------	----

Packning av förstärkningslager

(Module definition)

PROCESS: Drift av dieselmotor för en arbetsmaskin. Låg NOx teknik enl ref. Justerade data för SO2 jämfört med ref data.

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1E+003 MJ Diesel**Inputs:****Energy carriers**

Diesel	1E+003	MJ
--------	--------	----

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	5E-005	kg
CO (air)	0.085	kg
CO2, fossil (air)	75	kg
HC (air)	0.043	kg
N2O (air)	0.0016	kg
NOx (air)	0.71	kg
Particles (air)	0.028	kg
SO2 (air)	7E-005	kg

Energy carriers

Energi (använd diesel)	1E+003	MJ
------------------------	--------	----

Polypropylene production

(Module definition)

PROCESS: LCA data for polypropylene. Data have been obtained from 29 polymerisation plants producing a total of 5.69 million tonnes of PP. This represents 76.9% of all West European production. The average gross energy required to produce 1 kg of polypropylene is 73 MJ with a range of values extending from 54 MJ to 94 MJ.

YEAR: Latest production data available 2003 (probably data from late 1990th to beginning 2000th)

DATA SOURCE: APME, I Boustead, Ecoprofiles of the European plastics industry. Polyolefines. Published by APME, Brussels, 2003.

Values per 1 kg Polypropylene, virgin**Inputs:****Chemicals**

CaSO4	5E-006	kg
-------	--------	----

Energy resources

Coal	2.52	MJ
Crude oil	42.7	MJ
Energy unspecified	-1.89	MJ
Natural gas	26	MJ
Nuclear	3.02	MJ
Peat	0.01	MJ

Energy resources-renewable

Biomass fuel	0.05	MJ
Hydro power	0.3	MJ

Resources

Bauxite AlO(OH)	5E-006	kg
Bentonite	4.7E-005	kg
Dolomite CaMg(CO3)2	2E-006	kg
Natural sand and gravel	1E-006	kg
Iron, Fe (ore)	0.00019	kg
Limestone, CaCO3	0.00017	kg
Olivine (Mg,Fe)2SiO4	2E-006	kg
Potassium chloride, KCl	1E-006	kg
Rutile, TiO2	3E-006	kg
Sand and gravel	9E-005	kg
Shale	1.3E-005	kg
Sodium chloride, NaCl	0.00012	kg
Zinc, Zn (ore)	6.1E-005	kg

Outputs:**Emissions to air**

Cd (air)	1E-006	kg
CFC/HCFC (air)	2.3E-005	kg
CH4 (air)	0.0076	kg
CO (air)	0.0058	kg
CO2, fossil (air)	1.7	kg
Cr (air)	1E-006	kg
Cu (air)	1E-006	kg
HC (air)	0.0027	kg
HC aromatic (air)	9.3E-005	kg
HCl (air)	5.4E-005	kg
HF (air)	2E-006	kg
Hg (air)	1E-006	kg
NM VOC	1.8E-005	kg
NOx (air)	0.0028	kg
Particles (air)	0.00075	kg
Pb (air)	1E-006	kg
SO2 (air)	0.0036	kg

Emissions to water

Acids as H ion	2E-006	kg
BOD	3E-005	kg
Carbonate ions (aq)	3.2E-005	kg
Cd (aq)	1E-006	kg
COD	0.00025	kg
Cr (aq)	1E-006	kg
Cu (aq)	1E-006	kg
Detergent/oil (aq)	1.5E-005	kg
Dissolved organics	9E-006	kg
Dissolved solids (aq)	1.9E-005	kg
HC (aq)	6E-006	kg
Hg (aq)	1E-006	kg
NH3/NH4 (aq)	3E-006	kg
Nitrate (aq)	0.00012	kg
P as P2O5 (aq)	9.6E-005	kg
Phenol (aq)	2E-006	kg
Sulphate ions (aq)	0.00092	kg
Suspended solids (aq)	6.9E-005	kg
TOC (aq)	9E-006	kg

Materials/Products

Polypropylene, virgin	1	kg
-----------------------	---	----

Wastes, solid

Regulated chemicals	0.0014	kg
Slag and Ash	0.0067	kg
Waste, industrial	0.0204	kg
Waste, mineral	0.00026	kg

Produktion av diesel och lätt eldningsolja

(Module definition)

PROCESS: The production data for diesel fuel covers the extraction, refining and transport of the diesel oil to the consumer. This part of the fuel chain is often described by so called precombustion factors.

SOURCE: Basic data for extraction and transports are derived from the study "Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas", (1994), [1] supplemented with data for steel production from [2] (25 % primary and 75 % recycled steel). The drill platform uses no external electricity. The consumption of crude oil is recalculated to MJ using a lower heating value of 42.7 MJ/kg. Refinery data are from a Norwegian refinery. Average data for European production are expected to be higher. Precombustion data can vary significantly between different LCA studies and thus have to be considered as relatively uncertain.

[1] K.Keiserås Bakkane (1994), "Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas", Novatech a.s., Tapir Publisher).

[2] Sunér M., Life Cycle Assessment of Aluminium, Copper and Steel., M.Sc. thesis, Chalmers University of Technology (1996).

Values per 1 MJ Diesel**Inputs:****Energy resources**

Crude oil	1.1	MJ
-----------	-----	----

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	2.07E-006	kg
CO (air)	1.7E-006	kg
CO2, fossil (air)	0.00322	kg
HC (air)	3.48E-008	kg
N2O (air)	3.03E-008	kg
NOx (air)	1E-005	kg
Particles (air)	8.86E-009	kg
SO2 (air)	3.6E-006	kg

Emissions to water

COD	4.62E-009	kg
N, total (aq)	8.75E-010	kg
Oil, unspec. (aq)	4E-007	kg
Phenol (aq)	4.72E-009	kg

Energy carriers

Diesel	1	MJ
--------	---	----

Produktion av makadam

(Module definition)

Values per 1E+003 kg Makadam**Inputs:****Energy carriers**

Electric power	21.2	MJ
----------------	------	----

Energy fuels

Diesel oil	17	MJ
------------	----	----

Resources

Stone material	1E+003	kg
----------------	--------	----

Outputs:**Materials/Products**

Makadam	1E+003	kg
---------	--------	----

Underhåll av asfaltväg - stenmaterial

(Module definition)

Underhåll av asfaltväg är beräknad utifrån underhåll i LCA-väg för asfaltväg varm metod men omräknad per m2 väg. Underhållet för en väg med järnsand har beräknats med antagandet att järnsandvägen har 20 % mindre underhåll.

Values per 1 m2 Underhåll av asfaltväg**Inputs:****Energy resources**

Coal	0.636	MJ
Crude oil	176	MJ
Natural gas	10.8	MJ
Peat	0.0715	MJ

Energy resources-renewable

Biomass fuel	0.715	MJ
Hydro power	7.47	MJ

Resources

Bitumen	6	kg
Natural sand and gravel	385	kg
Stone material	474	kg

Outputs:**Emissions to air**

CH4 (air)	8.7E-006	kg
CO (air)	0.0116	kg
CO2, fossil (air)	13.4	kg
HC (air)	0.00563	kg
N2O (air)	0.000212	kg
NOx (air)	0.0835	kg
Particles (air)	0.00219	kg
SO2 (air)	0.01	kg
VOC (air)	0.00122	kg

Emissions to water

BOD	0.000114	kg
COD	0.00222	kg
HC (aq)	1.2E-005	kg
N, total (aq)	5.46E-005	kg
Oil, unspec. (aq)	5.19E-005	kg
P, total (aq)	1.2E-005	kg
Phenol (aq)	7.39E-005	kg

Materials/Products

Underhåll av asfaltväg	1	m2
------------------------	---	----

Wastes, solid

Radioactive load	1.59E-009	manSv
Waste to landfill	0.00111	kg
Waste, demolition	0.238	cm3
Waste, hazardous	0.00158	kg
Waste, high radioactive	0.0223	cm3
Waste, medium radioact	0.238	cm3
Waste, total	0.00269	kg

Utvinning av Bentonit

(Module definition)

Data från Ecoinvent, tysk produktion vid gruva.

Values per 1 kg Bentonit**Inputs:****Energy carriers**

Diesel	0.0921	MJ
Electric power	0.00257	MJ
Energy steam/heat	0.01	MJ

Resources

Bentonit (res)	1	kg
----------------	---	----

Outputs:**Materials/Products**

Bentonit	1	kg
----------	---	----

Utvinning av dräneringssand

(Module definition)

PROCESS: Utvinning av natursand med hjullastare. Schaktbarhetsklass 2 (1.72 MJ diesel/m3 schaktat material)

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1 m3 Sand dränering m3**Inputs:****Energy carriers**

Diesel	1.72	MJ
Electric power	3.41	MJ

Resources

Natural sand and gravel	1.42E+003	kg
-------------------------	-----------	----

Outputs:**Materials/Products**

Sand dränering m3	1	m3
-------------------	---	----

Utvinning av matjord

(Module definition)

PROCESS: Utvinning av natursand med hjullastare. Schaktbarhetsklass 2 (1.72 MJ diesel/m3 schaktat material)

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1 m3 Matjord m3**Inputs:****Energy carriers**

Diesel 1.72 MJ

Resources

Topsoil (res) 960 kg

Outputs:**Materials/Products**

Matjord m3 1 m3

Utvinning av precoversand

(Module definition)

PROCESS: Utvinning av natursand med hjullastare. Schaktbarhetsklass 2 (1.72 MJ diesel/m3 schaktat material)

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1 m3 Sand precover m3**Inputs:****Energy carriers**

Diesel 1.72 MJ

Electric power 3.41 MJ

Resources

Natural sand and gravel 1.42E+003 kg

Outputs:**Materials/Products**

Sand precover m3 1 m3

Utvinning av schaktmassor

(Module definition)

PROCESS: Utvinning av natursand med hjullastare. Schaktbarhetsklass 2 (1.72 MJ diesel/m3 schaktat material)

Referens: Stripple H., Livscykelanalys av väg - En modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210 (1995).

Values per 1 m3 Schaktmassor m3**Inputs:****Energy carriers**

Diesel 1.72 MJ

Resources

Excavated material (res) 1.42E+003 kg

Outputs:**Materials/Products**

Schaktmassor m3 1 m3

PROCESS: Emissioner från användning av traditionellt stenmaterial i förstärkningslagret under en viss tidsperiod i en vägapplikation. Totalmängderna för stenmaterialet har hämtats ur referensen nedan. Lakbarhetsvärden för L/S=10 för bergkross har använts. De direkta lakvärdena från laktesterna har använts som en approximation för emissionen från vägen under 100 år. Under 30 år har antagits att emissionen är 30 % av den för 100 år.

Peter Flyhammar har använt andra värden:

För As, Cd, Hg, Pb har Peter Flyhammar använt följande data.

As: 4 mg/kg TS Cd: 0,4 mg/kg TS Hg: 0,0025 mg/kg TS Pb: 25 mg/kg TS

Referens: Annika Ekvall, Bo von Bahr, Tove Andersson, Kaj Lax, Urban Åkesson, Lakegenskaper för naturballast, Bergmaterial och moräner, MILJÖRIKTIG ANVÄNDNING AV ASKOR 961, Rapport från Värmeforsk, ISSN 1653-1248, Februari 2006. (Tabell 16, sid 42, material Berg i väglinjen har använts)

Inputs:

Miscellaneous

Area förstärkningslager [m2]
Vägunderhåll [m2]

Resources

Stone material [kg]

Outputs:

Chemicals

As total [kg]
Cd total [kg]
Cr total [kg]
Cu total [kg]
Hg total [kg]
Mo total [kg]
Ni total [kg]
Pb total [kg]
Zn total [kg]

Emissions

As 100 år [kg]
As 30 år [kg]
Cd 100 år [kg]
Cd 30 år [kg]
Cu 100 år [kg]
Cu 30 år [kg]
Hg 100 år [kg]
Hg 30 år [kg]
Pb 100 år [kg]
Pb 30 år [kg]

Additional Equations:

Chemicals

As total=9.87E-006*Stone material
Cd total=3.59E-007*Stone material
Cr total=4.3E-005*Stone material
Cu total=2.67E-005*Stone material
Hg total=4.4E-009*Stone material
Mo total=2.05E-006*Stone material
Ni total=1.98E-005*Stone material
Pb total=2.13E-005*Stone material
Zn total=7E-005*Stone material

Emissions

As 100 år=1.2E-008*Stone material
As 30 år=0.3*As 100 år
Cd 100 år=4.5E-009*Stone material
Cd 30 år=0.3*Cd 100 år
Cu 100 år=0*Stone material
Cu 30 år=0.3*Cu 100 år
Hg 100 år=4E-011*Stone material
Hg 30 år=0.3*Hg 100 år
Pb 100 år=1.25E-008*Stone material
Pb 30 år=0.3*Pb 100 år

Miscellaneous

Vägunderhåll=Area förstärkningslager

Wind power production

(Module definition)

Data from Vattenfall (1996), "El_Miljö. Livscykelanalys för Vattenfalls elproduktion - Sammanfattande rapport", supplemented with unpublished data from Vattenfall. They include the entire life cycle, extraction of fuel, construction, demolition and operation of the plant, and residual products.

1500 operating hours yearly.

The consumption of primary nuclear energy has been calculated from the stated consumption assuming 30 % efficiency of a nuclear power plant.

Values per 1 MJ Electric power**Inputs:****Energy resources**

Coal	0.00675	MJ
Crude oil	0.00189	MJ
Natural gas	0.000419	MJ
Nuclear	0.000809	MJ

Energy resources-renewable

Biomass fuel	5.12E-005	MJ
Hydro power	0.000296	MJ
Wind power	1	MJ

Materials/Products

Glass fibre	5.22E-005	kg
Lubricating oil	1.07E-007	kg

Resources

Copper, Cu (ore)	6.69E-006	kg
Iron, Fe (ore)	0.000489	kg
Land	0.00419	m2

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	4.17E-007	kg
CO2, fossil (air)	0.000881	kg
HC (air)	4.81E-007	kg
NOx (air)	2.45E-006	kg
Particles (air)	4.61E-007	kg
SO2 (air)	2.35E-007	kg

Emissions to water

COD	5.5E-008	kg
N, total (aq)	5.19E-009	kg
Oil, unspec. (aq)	5.42E-009	kg

Energy carriers

Electric power	1	MJ
----------------	---	----

Wastes, liquid

Waste oil	2.74E-007	kg
-----------	-----------	----

Wastes, solid

Waste to landfill	0.000319	kg
Waste to recycling	0.000333	kg
Waste, industrial	5.33E-005	kg

***** MODES OF CONVEYANCE *****

Truck, heavy**PROCESS:**

Life cycle inventory data have been calculated for a heavy truck with a load capacity of 32 metric tonnes. It is also assumed that the weight and not the volume is the limiting factor for the load capacity i.e. the truck can be loaded to a maximum weight.

In the life cycle calculations only the fuel consumption of the truck has been considered, thus the production or maintenance of the truck is not included. The production of the used diesel fuel is not included. A sulphur content in the fuel of 0.05 % and a lower heating value of 35.1 MJ/l has been assumed.

To avoid differences between different truck producers etc. the EU regulation for diesel truck emissions has been used, [1]. Emission level A for the year 2000 has been used for this data. In the model, data are related to the fuel energy input so the regulation data are transformed to emission data based on fuel input. A 40 % energy efficiency of the diesel engine has been assumed. The engine emission data are then transformed to transport emission data via the fuel consumption of the truck. A fuel consumption of 0.47 litre diesel/km has been assumed for a truck in operation with full load, 32 tonnes.

[1] European Parliament and Council Directive, 14396/98, (6 January 1999). (Emission limits for diesel vehicles).

DATA SOURCE: EU-regulations, Swedish Environmental Research Institute (IVL)

Inputs:**Energy carriers**

Diesel	0.516	MJ/(tonne*
--------	-------	------------

Outputs:**Emissions to air**

CO (air)	0.00012	kg/(tonne*km)
CO2, fossil (air)	0.0387	kg/(tonne*km)
HC (air)	3.78E-005	kg/(tonne*km)
N2O (air)	1.08E-006	kg/(tonne*km)
NOx (air)	0.000289	kg/(tonne*km)
Particles (air)	5.73E-006	kg/(tonne*km)
SO2 (air)	1.24E-005	kg/(tonne*km)

***** END OF THE REPORT *****

Bilaga 3. Kompletta resultattabeller från LCA-modellerna

Summaresultat från deponeringsalternativet för järnsand samt summaresultat från vägapplikationsalternativet för järnsand.

SUMMARY OF Deponering av järnsand

Values calculated per 1E+003 kg of Järnsand

<u>Variable:</u>	<u>Inputs:</u>	<u>Outputs:</u>	<u>Unit:</u>
Chemicals			
Ammonia	5.37E-005		kg
As total		0.037	kg
CaSO4	2.04E-008		kg
Cd total		0.00136	kg
Cr total		1.34	kg
Cu total		5.03	kg
Cyklohexylamine	6.37E-008		kg
Fe total		366	kg
H2SO4	0.000445		kg
Hg total		0.001	kg
HNO3	7.18E-005		kg
Hydrazine, N2H4	3.18E-007		kg
Ion exchange resin	2.55E-006		kg
Lime	0.000266		kg
Mo total		2	kg
Ni total		0.16	kg
Oxygen, O2	0.00308		kg
Pb total		0.162	kg
Zn total		12.1	kg
Emissions			
As 100 år		3.22E-005	kg
Cd 100 år		9.57E-006	kg
Hg 100 år		2.04E-006	kg
Pb 100 år		9.27E-005	kg
Emissions to air			
Cd (air)		4.07E-009	kg
CFC/HCFC (air)		9.37E-008	kg
CH4 (air)		0.000155	kg
CO (air)		0.0167	kg
CO2, biogenic		0.0558	kg
CO2, fossil (air)		13.9	kg
Cr (air)		4.07E-009	kg
Cu (air)		4.07E-009	kg
HC (air)		0.00706	kg
HC aromatic (air)		3.79E-007	kg
HCl (air)		2.2E-007	kg
HF (air)		8.14E-009	kg
Hg (air)		4.07E-009	kg
N2O (air)		0.000249	kg
NM VOC		7.33E-008	kg
NOx (air)		0.0905	kg
Particles (air)		0.0024	kg
Pb (air)		4.07E-009	kg
Radioactive emiss.		2.71E+005	Bq
SO2 (air)		0.00893	kg
VOC (air)		0.000966	kg
Emissions to water			
Acids as H ion		8.14E-009	kg
BOD		9.06E-005	kg
Carbonate ions (aq)		1.3E-007	kg
Cd (aq)		4.28E-009	kg
COD		0.00177	kg
Cr (aq)		4.07E-009	kg
Cu (aq)		4.07E-009	kg
Detergent/oil (aq)		6.11E-008	kg
Dissolved organics		3.67E-008	kg
Dissolved solids (aq)		7.74E-008	kg
HC (aq)		9.55E-006	kg
Hg (aq)		4.07E-009	kg
N, total (aq)		5.06E-005	kg
NH3/NH4 (aq)		2.81E-006	kg
Nitrate (aq)		1.06E-005	kg
Oil, unspec. (aq)		6.37E-005	kg
P as P2O5 (aq)		3.91E-007	kg
P, total (aq)		9.53E-006	kg
Phenol (aq)		5.89E-005	kg
SO3 ions (aq)		4.26E-007	kg
SO4 ions (aq)		1.54E-005	kg
Sulphate ions (aq)		3.75E-006	kg
Sulphide (aq)		4.21E-008	kg
Suspended solids (aq)		2.91E-006	kg
TOC (aq)		3.67E-008	kg
Energy resources			
Coal	1.19		MJ
Crude oil	202		MJ
Energy unspecified	-0.0077		MJ
Natural gas	8.83		MJ
Nuclear	31.3		MJ
Peat	0.0568		MJ

Energy resources-renewable		
Biomass fuel	1.36	MJ
Hydro power	16.4	MJ
Wind power	0.0496	MJ
Materials/Products		
Glass fibre	2.59E-006	kg
Lubricating oil	5.31E-009	kg
Rock wool	2.18E-005	kg
Wood	0.00358	kg
Miscellaneous		
Area förstärkningslager	0.794	m2
Packningsarea	1.59	m2
Volym förstärkningslage	0.635	m3
Volym järnsand i deponi	0.556	m3
Xjärnsand	1E+003	kg
Resources		
Bauxite AlO(OH)	1.35E-006	kg
Bentonit (res)	0.171	kg
Bentonite	1.91E-007	kg
Bitumen	4.76	kg
Copper, Cu (ore)	0.00697	kg
Dolomite CaMg(CO3)2	8.14E-009	kg
Excavated material (res)	26	kg
Iron, Fe (ore)	0.000964	kg
Land	0.113	m2
Lead, Pb (ore)	0.000148	kg
Limestone, CaCO3	3.22E-005	kg
Natural sand and gravel	327	kg
Olivine (Mg,Fe)2SiO4	8.14E-009	kg
Potassium chloride, KCl	4.07E-009	kg
Rutile, TiO2	1.22E-008	kg
Sand and gravel	3.67E-007	kg
Shale	5.29E-008	kg
Sodium chloride, NaCl	1.55E-006	kg
Stone material	1.39E+003	kg
Topsoil (res)	48	kg
Zinc, Zn (ore)	2.48E-007	kg
Wastes, liquid		
Waste oil	1.36E-008	kg
Wastes, solid		
High radioactive	0.000202	kg
Low radioactive	0.0727	dm3
Medium radioactive	3.18E-005	dm3
Radioactive load	1.26E-009	manSv
Regulated chemicals	5.7E-006	kg
Slag and Ash	0.00404	kg
Waste to landfill	0.000897	kg
Waste to recycling	1.65E-005	kg
Waste, construction	0.000186	kg
Waste, demolition	0.189	cm3
Waste, hazardous	0.00125	kg
Waste, high radioactive	0.0177	cm3
Waste, industrial	0.0525	kg
Waste, medium radioact	0.189	cm3
Waste, mineral	1.06E-006	kg
Waste, total	0.00213	kg
plus 6 invisible items...		

SUMMARY OF Användning av järnsand i vägapplikation

Values calculated per 1E+003 kg of Järnsand

<u>Variable:</u>	<u>Inputs:</u>	<u>Outputs:</u>	<u>Unit:</u>
Chemicals			
As total		0.027	kg
Cd total		0.001	kg
Cr total		1.3	kg
Cu total		5	kg
Fe total		366	kg
Hg total		0.001	kg
Mo total		2	kg
Ni total		0.14	kg
Pb total		0.14	kg
Zn total		12	kg
Emissions			
As 100 år		2E-005	kg
Cd 100 år		5E-006	kg
Hg 100 år		1E-005	kg
Pb 100 år		8E-005	kg
Emissions to air			
CH4 (air)		5.42E-005	kg
CO (air)		0.0121	kg
CO2, fossil (air)		10.3	kg
HC (air)		0.00514	kg
N2O (air)		0.000182	kg
NOx (air)		0.0671	kg
Particles (air)		0.00173	kg
SO2 (air)		0.00689	kg
VOC (air)		0.000773	kg
Emissions to water			
BOD		7.24E-005	kg
COD		0.00141	kg
HC (aq)		7.62E-006	kg
N, total (aq)		3.47E-005	kg
Oil, unspec. (aq)		4.23E-005	kg
P, total (aq)		7.62E-006	kg
Phenol (aq)		4.7E-005	kg
Energy resources			
Coal	0.404		MJ
Crude oil	137		MJ
Natural gas	6.88		MJ
Peat	0.0454		MJ
Energy resources-renewable			
Biomass fuel	0.454		MJ
Hydro power	4.74		MJ
Miscellaneous			
Area förstärkningslager	0.794		m2
Packningsarea	1.59		m2
Volym förstärkningslage	0.556		m3
XArea förstärkningslage		0.794	m2
Xjärnsand	1E+003		kg
Resources			
Bitumen	3.81		kg
Natural sand and gravel	244		kg
Stone material	301		kg
Wastes, solid			
Radioactive load		1.01E-009	manSv
Waste to landfill		0.000705	kg
Waste, demolition		0.151	cm3
Waste, hazardous		0.001	kg
Waste, high radioactive		0.0142	cm3
Waste, medium radioact		0.151	cm3
Waste, total		0.00171	kg
plus 6 invisible items...			