



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



Säkra vägar i nytt klimat

Jämförande livscykelanalys mellan aska och grus i skogsbilväg

Varia 626

Ramona Bergman
Pascal Suer

LINKÖPING 2011

En investering för framtiden



**EUROPEISKA
UNIONEN**
Europeiska
regionala
utvecklingsfonden



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Varia 626

Säkra vägar i nytt klimat

**Jämförande livscykelanalys mellan aska och grus
i skogsbilvägar**

Ramona Bergman
Pascal Suer

En investering för framtiden



EUROPEISKA
UNIONEN
Europeiska
regionala
utvecklingsfonden

LINKÖPING 2011

Varia	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI – Informationstjänsten Tel: 013–20 18 04 Fax: 013–20 19 09 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA--11/626--SE
Dnr SGI	1-0712-0888
Uppdragsnr SGI	13634

SAMMANFATTNING

Denna livscykelanalys (LCA) fokuserar på de processer som ingår i byggfasen av en uppgradering av en skogsbilväg med flygaska respektive bergkross. För de två vägtyperna har en modell med ingående processer ritats upp och teknik och fallspecifik data (exempel arbetsmaskiner och avstånd) har identifierats. Fallstudien är en skogsbilväg i Timrå kommun. Denna väg har varit fokus i projektet Säkra vägar i nytt klimat där syftet har varit att uppgradera delar av skogsbilvägen med flygaska medan andra delar uppgraderats med grus och att jämföra dessa sträckor (Vestin et al., 2011).

Resultatet av LCA-analysen visar att uppgradering med bergkross ger en större miljöpåverkan än uppgradering med bioflygaskor. Den huvudsakliga orsaken till resultatet är att produktion av bergkross ger påverkan genom nyttjande och ändring av markområden. Både markanvändning inom bergtäkten och framställningen av bergkross bidrar till miljöpåverkan. Även i vägen med aska inkluderas en viss mängd grus, i form av det översta slitlagergruset. Denna process är den samma för båda vägtyperna, men är endast nödvändig vid användning av aska (pga. dålig slitållighet hos aska). Exkluderas gruset är det transport av askan samt användning av arbetsmaskiner som ger mest påverkan inom askvägalternativet.

En känslighetsanalys i vilken transportavståndet, dieselanvändning för arbetsmaskiner och mängden bergkross har halverats visar att resultatet påverkas ungefär lika mycket för ca hälften av kategorierna. Den andra hälften påverkas mest av förändring av mängden bergkross. Detta för att grusanvändningen (i slitlagret) är den dominerande faktorn till miljöpåverkan för flera kategorier och i jämförelse ger ändring för transport och dieselanvändning en mindre effekt på den totala bilden för vägen med aska. För asksträckan syns påverkan från grusanvändning och asktransporter mest inom kategorin "Utarmning av fossila resurser", i normaliseringen mot Europavärden.

Det finns två parametrar som har liten betydelse i sammanhanget, men där asksträckan har större påverkan än grussträckan, nämligen fotokemisk ozonbildning och mark-ekotoxicitet. Mark-ekotoxicitet kommer bland annat från lakning av metaller från askan, men även från diesel förbrukning och från bergtäkten. Gällande lakningen så har den i modellen angetts ske till omgivande mark (därför påverkan på mark-ekotoxicitet). Det har gjorts en känslighetsanalys av lakningen där indata har multiplicerats med faktorerna noll och tio. Resultatet visar att ändrade lakningsförhållanden ger en betydande inverkan på de miljöpåverkanskategorier där lakningen ger en effekt, dvs. humantoxicitet och marktoxicitet. Det är viktigt att få in så realistiska värden på lakningen som möjligt då bara en dubbelt så stor faktor ger en betydande skillnad för lakningen. Lakningen i sig är dock jämförd med annan påverkan i samband med asksträckan relativt liten.

Inventeringsdata har baserats på databasen Ecoinvent. Ecoinvent inkluderar data för infrastruktur (som t ex löpande band vid bergkross), markanvändning (som i sin tur påverkar biologisk mångfald) och utsläpp i vissa fall (som damning). I transporter med lastbil ingår till exempel utvinning av olja samt tillverkning av fordon, bensin och av vägar. Ecoinvent har en schweizisk bakgrund och europeiska medelvärden har använts där dessa fanns. Fallspecifika data har sökts för processer som ledde till betydande påverkan. Tyvärr har det inte varit möjligt att få fram fallspecifika data för bergkrossstillverkningen. Data för bergkrossen i studien är därför hämtat från schweiziska förhållanden.

Vår slutsats är att användningen av bergkross, transporter av aska samt användning av arbetsmaskiner utgör de parametrar som påverkar miljön mest. Osäkra parametrar är

indata för bergkross och lakningen från askan. Ur ett helhetsperspektiv var bioflygaska mer fördelaktigt att använda vid uppgraderingen av skogsbilvägen i Timrå, än bergkross.

FÖRORD

Rapporten ingår i projektet *Säkra vägar i nytt klimat*. Huvudfinansiärer har varit EU, Värmeforsk, Skogsstyrelsen och Statens Geotekniska Institut. Det är ett treårigt projekt som avslutades årsskiftet 2011/2012. Övriga rapporter och resultat från projektet är:

- Effektivt askutnyttjande i vägar (Vestin et al., 2011)
- Klimatanpassad vägbyggnadsteknik för skogsbilvägar
- Skogsbilvägar och vattendrag i mellersta norrland – ett klimatperspektiv
- Klimatanalys för vägbyggnad i mellersta norrland

Alla rapporterna går att hämta på skogsstyrelsens hemsida www.skogsstyrelsen.se. Skogsstyrelsen är ägare av projektet *Säkra vägar i ett nytt klimat* med Per Hallgren som projektledare. Rapportens uppdragsledare är Jenny Vestin, SGI. Analyserna och rapporten har i huvudsak utförts av Ramona Bergman med expertstöd och granskning genom hela processen av Pascal Suer (SGI).

Göteborg, november 2011

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	5
FÖRORD	7
1 INLEDNING.....	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Problemställning	11
1.3 Syfte	11
2 METOD	11
2.1 Inventering.....	12
2.2 Miljöeffektskategorier	12
2.3 Klassificering.....	14
2.4 Karaktärisering.....	14
2.5 Normalisering	15
2.6 Viktning	15
2.7 Känslighetsanalys.....	16
3 MÅL OCH OMFATTNING.....	16
3.1 Funktionell enhet	16
3.2 Avgränsning	16
3.3 Antaganden	17
4 FALLSTUDIE	18
4.1 Aska	18
4.1.1 Modell av process: Aska i skogsbilväg	20
4.2 Bergkross	21
4.2.1 Modell av process: Bergkross i skogsbilväg	22
4.3 Förklaring av aktiviteterna i modellen.....	23
5 INVENTERINGSANALYS.....	24
5.1 Resurser	24
5.1.1 Aska	24
5.1.2 Bergkross	24
5.1.3 Bränsleförbrukning för arbetsmaskiner.....	25
5.1.4 Sammanställning av teknik inom delprocesser	25
5.1.5 Sammanställning av resurser	27
5.2 Lakning från vägmaterialet	28
5.2.1 Aska	28
5.2.2 Bergkross	29
6 RESULTAT FRÅN MILJÖPÅVERKANSBEDÖMNING.....	30
6.1 Jämförelse mellan aska och bergkross inklusive samtliga miljöeffektkategorier	30
6.2 Aska	30
6.3 Bergkross	34
6.4 Känslighetsanalys.....	35
6.4.1 Diesel använt i byggmaskin.....	35
6.4.2 Transport lastbil samt Drift lastbil	35
6.4.3 Bergkross från gruva	36
6.4.4 Lakning.....	36
7 DISKUSSION	37
8 SLUTSATSER OCH TOLKNING AV RESULTATET	38
9 REFERENSER.....	39
BILAGOR	
1. Ordlista	
2. Figurer till resultat	

1 INLEDNING

Denna livscykelanalys (LCA) är en del av projektet *Säkra vägar i nytt klimat* vilket är ett samarbetsprojekt mellan SGI och Skogsstyrelsen. LCA-studien utförs för att jämföra miljöpåverkan mellan att använda aska i skogsväg jämfört med att använda bergkross¹. Det blir allt vanligare att använda restprodukter (bark, spån) från skogsindustrin till att framställa bioenergi. Det leder till ökad produktion av bioaska. Skogsstyrelsen har ett mål att föra tillbaka askan till skogsmark och tack vare askans bra geotekniska egenskaper passar den också som stabiliseringsmedel i vägar. Det blir både ett tillvaratagande av en överbliven produkt (avfall) samt ett resursutnyttjande som ersätter annat material i väg. Frågan är dock om det är någon betydande skillnad i miljöpåverkan mellan användning av aska eller bergkross. Livscykelanalysen fokuserar på konstruktionsfasen av skogsbilväg med aska eller bergkross och är därmed mer av en miljösystemanalys än livscykelanalys av de två vägtyperna. Mer underlag behövs för att kunna uttala sig om aska eller bergkross leder till skillnader i underhåll och vid borttagande av vägen.

1.1 Bakgrund

I Sverige är skogsindustrin en betydande näring och för att nå avlägsna skogsområden behövs fungerande vägar som kan klara av tunga virkestransporter. Skogsbilvägarna är alltså en viktig del av den svenska infrastrukturen. Det svenska klimatet med varierande temperatur över året påverkar kvalitén hos vägarna då tjällossning och regn försämrar bärigheten. Med klimatförändring kan dessa effekter bli vanligare. Bergkross är en resurs som utvinns från en bergtäkt och bergtäkten i sig ger en stor påverkan på markanvändning. Materialet är även tungt och transportererna kan bli bränslekrävande. Ofta bidrar transportererna till en betydande miljöpåverkan i LCA studier. Tidigare studier visar dock att flygaska från biobränsleförbränning kan vara ett alternativ till bergkross som stabiliseringsmedel i vägar. Aska ses även som ett avfall och att göra det till en användbar resurs är positivt. I fallstudievägen i Timrå skulle askan som inte användes i väg användas för landutfyllnad (Lindberg, 2011). Behovet av landutfyllnad kan dock ta slut och att hitta alternativa sätt att använda askan är önskvärt. Möjligheterna att använda askan i vägar bör alltså undersökas. Det finns många faktorer som spelar in i möjligheterna att använda aska, bland annat dess fysiska egenskaper som vägmateriäl, kostnaderna för användning av aska samt miljöpåverkan.

Aska kan användas i vägarna i syfte att (Hallgren, 2011):

- Spara på andra massor (naturresurser)
- Ta tillvara på aska från industrierna
- Ge lättare transport av material vid konstruktion av skogsbilväg
- Tillvarata askans bra geotekniska egenskaper

Nedan finns uppgifter från tidigare livscykelanalyser med olika slags aska i väg.

I en dansk studie från år 2007 gjordes en jämförelse mellan aska i väg och landutfyllnad och resultatet blev att det inte var stor skillnad i miljöpåverkan (Birgisdottir et al., 2007). Det man kunde se var att ekotoxicitet i vatten påverkades mest och att mest påverkan kom från koppar. I en amerikansk LCA studie från 2007 jämfördes aska och bergkross i väg. Med modellverktyget PaLATE blev resultatet att askanvändning i de

¹ I rapporten används ibland ordet grusväg samt grus, men betydelsen av ordet grus i denna rapport ska ses som bergkross.

flesta miljö kategorier gav en lägre miljö påverkan än bergkrossanvändning (med samma transportavstånd). De hade inte inkluderat att återanvändning av material spar på icke-förnyelsebara resurser och att återanvändningsbart material som läggs på deponi ger miljö påverkan och kostnader (Carpenter et al., 2007). Medtagande av dessa faktorer skulle ha talat till askans fördel.

Det har tidigare gjorts jämförelser mellan alternativa sätt att använda aska. I jämförelse mellan att deponera torvflygaska, använda den som tätskikt eller i väg så blev vägalternativet det bästa. Vägalternativet använder mest bergkross pga. att vägen har en kraftigare konstruktion än om konventionellt material används. Lakningen från askan i vägen är mindre pga. att en mix av bergkross och torvflygaska är mindre genomsläppligt. Att använda flygaska i väg i stället för att deponera den var oavsett transportavstånd mer fördelaktigt ur energisynpunkt (Kärman et al., 2006). Resultat från Kärman et al., 2006 visade att utlakning av metaller till vatten var en betydande miljö påverkan inom hela systemet (både för vägkonstruktion och deponering). Användning av bergkross och sand gav också en betydande miljö påverkan. Att krossa berg är energikrävande och medför mycket emissioner till luft och vatten. Studien visade att produktionen av maskiner inte hade en betydande påverkan på resultatet, med undantaget partiklar. Emission av partiklar ökade med 20 % om maskinproduktion inkluderas. Framför allt studier av hälsoaspekter bör ta med maskinproduktion. Betydande aktiviteter för mängden energianvändning var framför allt produktion av material och transporter. Det gjordes även en studie av olika hantering av bottenaska. I den studien fick askanvändning i väg lägst energianvändning, då mindre bergkross behöver användas. Om askans transportavstånd låg under 100 km var askanvändning i väg fortfarande det bättre alternativet ur energisynpunkt (Kärman et al., 2006).

Askans egenskaper beror på var den kommer ifrån, t.ex. avfallsförbränning, torvförbränning, pappersbruk. Tidigare studier har visat att flygaskan har goda egenskaper för att stabilisera vägmateriäl (Vestin et al., 2011; Mácsik et al., 2004). I den nuvarande studien valdes aska från ett regionalt pappersbruk. En betydande miljö påverkan från askanvändning kan vara utlakningen av föroreningar, mestadels metaller. Aska från pappersbruk är dock en bioaska och kan förväntas innehålla måttligt med metaller. En studie från Värmeforsk visar även att damning i samband med konstruktionsfasen av askvägar kan ge allvarliga effekter på den mänskliga hälsan (Gustafsson et al., 2009).

Ofta i LCA-studier blir transporterna den mest betydande miljö påverkan pga. utsläppen. Transporter bidrar även till miljö påverkan genom att naturresurser används i form av olja. I följande studie har tre slags miljö påverkan identifierats initialt som de mest betydande bidragen till negativ påverkan på miljön:

- Transporter, maskinanvändning
- Utlakning från aska
- Användning av bergkross

1.2 Problemställning

Ett sätt att spara på bergkross är att nyttiggöra aska från bioförbränning och använda askan som stabiliseringsmedel i skogsbilvägar. Problemet är att man inte helt vet askans egenskaper i skogsbilvägen och om det jämfört med bergkrossanvändningen faktiskt är fördelaktigt att använda aska om alla relevanta aspekter vägs in, så som geotekniska egenskaper, kostnad och miljö. I denna analys beaktas delar av miljöaspekterna.

1.3 Syfte

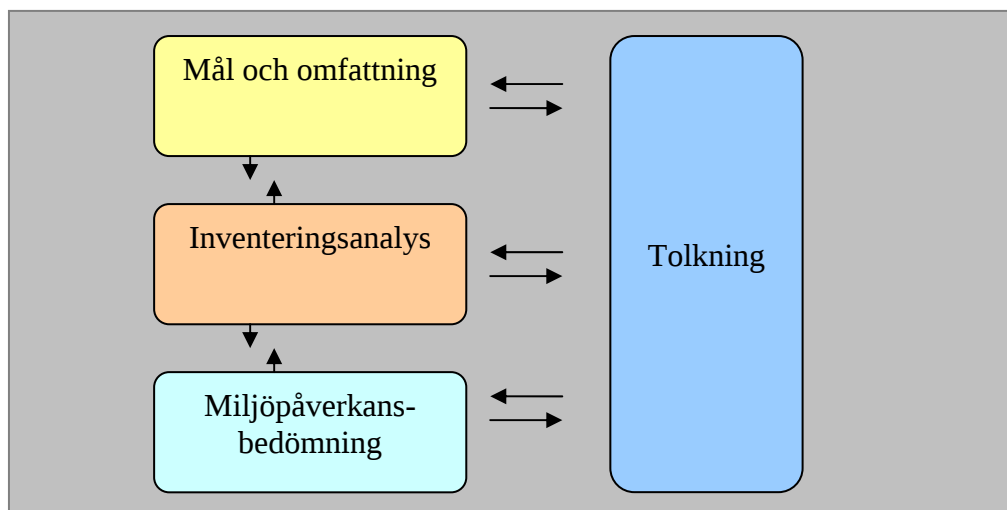
Syftet är att jämföra miljöpåverkan av att använda aska eller bergkross i skogsvägar. Analysen utgår från vägen. Det betyder att användning av aska och bergkross för andra syften än för vägen inte inkluderas. Aska som är ett avfall från (i detta fall) en pappersindustri går till annan användning om den inte hamnar i skogsväg. För tillfället i detta fall går det till landutbyggnad. I denna analys är skogsvägen objektet och inte askan. Det skulle gå att utöka analysen och även inkludera olika användning av askan (consequential LCA).

2 METOD

Studien använder livscykelanalys, men underhåll och slutlig kvittblivning ingår inte. Data för avvecklingsfaser för vägar saknas och därför kan inte slutlig kvittblivning inkluderas.

Utifrån rapporter inom uppdraget har information sammanställts av intresse för en livscykelanalys. Livscykelns olika processer har ritats upp i en modell. Funktionell enhet, avgränsning, antaganden, inventering, beräkningar, resultat och tolkning redovisas nedan i rapporten.

Strukturen i en livscykelanalys består av fyra steg (se figur 1). Man börjar med att definiera målet och inom vilka gränser analysen ska hållas. Nästa steg är en inventering av data, antingen framtaget i en specifik fallstudie eller data från befintliga databaser eller andra mer generella källor. Den data man är intresserad av är emissioner, förbrukning av energi och av andra resurser. I miljöpåverkansbedömningen sammanförs all data med olika slags miljöpåverkan, detta brukar kallas klassificeringen. Som exempel kan CO₂ vara en identifierad emission som i miljöpåverkansbedömningen kopplas ihop med växthuseffekten. Nästa steg i miljöpåverkansbedömningen är karaktäriseringen där indata multipliceras med en karaktäriseringsfaktor. Som exempel påverkar metan växthuseffekten mycket mer än vad koldioxid gör och därför multipliceras metan med en specifik karaktäriseringsfaktor. Det sista steget i miljöpåverkansbedömningen blir en relativ vägning mellan de olika bidragen. I sista skedet i LCA-processen tolkar man resultatet och gör känslighetsanalyser och vid behov går man tillbaks i processen och ändrar data.



Figur 1 Livscykelprocessens uppbyggnad i fyra steg.

2.1 Inventering

För att utföra en LCA kan data samlas som ett dokument i kalkylprogrammet Excel och beräkningar utföras utifrån dem. Det finns även dataprogram för LCA och inom denna studie har SimaPro använts med databasen Ecoinvent v2.1. Inom programmet finns flera olika databaser att använda som kommer från olika källor och innehåller olika specifik data.

Ecoinvent inkluderar data för infrastruktur (som t.ex. löpande band vid bergkross), markanvändning (som i sin tur påverkar biologisk mångfald) och utsläpp i vissa fall (som damning). I transporter med lastbil ingår till exempel utvinning av olja samt tillverkning av fordon, bensin och konstruktion av vägar. Ecoinvent har en schweizisk bakgrund och europeiska medelvärden har använts där dessa finns. Fallspecifika data har sökts för processer som ledde till betydande påverkan. Tyvärr har det inte varit möjligt att få fram fallspecifika data för bergkrossstillverkningen. Data för bergkrossen i studien har därför hämtats från schweiziska förhållanden.

2.2 Miljöeffektskategorier

För att göra miljöbedömningen och tolka resultatet kan olika metoder användas. De olika bedömningsmetoderna väger in olika faktorer och fokuserar på olika miljöpåverkan och därmed blir värderingen olika och genererar olika resultat. Därför är det viktigt att välja den mest passande metoden eller välja flera för att få med alla miljöaspekter man är intresserad av.

I en dansk studies modellering antas att 85 % av tungmetallerna som lakas stannar i jorden och 15 % går till vatten (Birgisdottir et al., 2007). I vår studie har 100% av de lakade ämnena antagits stanna i jorden. Karaktäriseringsfaktorn för mark-ekotoxicitet, som användes i den danska studien, är 5 ggr lägre än den i vatten pga. lägre biotillgänglighet. Därmed blir påverkan i jord mindre även om mer metaller stannar kvar i jorden. Val av beräkningsmetod har alltså betydelse för resultatet då metoderna inkluderar olika karaktäriseringsfaktorer från olika studier.

Inom denna studie har Recipemetoden använts, eftersom den inkluderar många miljö-påverkanskategorier såsom biologisk mångfald och markanvändning, samt mer klassiska kategorier som klimatpåverkan, resursförbrukning och marknära ozon (ReCiPe Endpoint method, version 1.05 Juli 2010).

I Recipemetoden kan man beräkna resultat för midpoint eller endpoint. Skillnaden är att midpoint (som det antyder) visar halva steget mot den slutliga påverkan och endpoint den slutliga påverkan. Med midpointresultat kan man som exempel se infraröd strålningens värme och i endpointresultatet se skada på människors hälsa och skada på ekosystem (ReCiPe, 2008). Man kan säga att midpoint är effekten av ett utsläpp och endpoint är påverkan av effekten. Endpointvärdena är summan av flera miljöeffektskategorier och redovisade i tre grupper inom Recipemetoden: Mänsklig hälsa, Ekosystem och Resurser.

De tre miljöeffektskategorier som påverkas mest inom denna studie är *Markanvändning*, *Utarmning av fossila resurser* samt *Klimatförändring*. Med påverkan på Markanvändning menas påverkan på ekosystemet på grund av nyttjande av mark samt förändring av mark, enligt Recipemetoden. Här redovisas midpointresultat i areal som nyttjas för *Landanvändning landsbygd*, *Landanvändning stadsmiljö* samt för *Landförändring naturmiljö*. Endpointresultat redovisar förlust av biodiversitet utifrån ytan som nyttjas och förändras. I *Utarmning av fossila resurser* ingår de resurser som består av kolväten. Enligt Recipemetoden begränsas användning av konventionella fossila bränslen pga. brist på dem och icke-konventionella resurser (uranium, vind, sol mm.) behövs för att säkra en tillräcklig försörjning av bränsle. Bedömning av *Utarmning av fossila resurser* fokuserar på utbytet av konventionella resurser mot icke-konventionella resurser och den extra kostnad detta innebär. Miljöeffektskategorin redovisas som en kostnad. För *Klimatförändring* redovisas endpointresultat för mänsklig hälsa samt för ekosystemets hälsa. Strålning och temperatureffekter är två steg i bedömningen som leder fram till endpoint resultaten för människa och ekosystem (ReCiPe, 2008).

Tabell 1 Miljöeffektskategorier som ingår i analysen, inklusive engelsk benämning.

Miljöeffektskategorier (Recipemetoden)		
Emissioner som påverkar människan	Klimatförändring, mänsklig hälsa	Climate change Human health
	Ozonedbrytning	Ozon depletion
	Humantoxicitet	Human toxicity
	Fotokemisk ozonbildning (marknära ozon)	Photochemical oxidant formation
	Bildning av partiklar	Particulate matter formation
	Joniserande strålning	Ionising radiation
Emissioner som påverkar naturen	Klimatförändring, ekosystem	Climate change Ecosystems
	Markbunden försurning	Terrestrial acidification
	Övergödning i sötvatten	Freshwater eutrophication
	Mark-ekotoxicitet	Terrestrial ecotoxicity
	Sötvatten-ekotoxicitet	Freshwater ecotoxicity
	Marin-ekotoxicitet	Marine ecotoxicity
Resursanvändning	Landanvändning, landsbygd/jordbruk	Agricultural land occupation
	Landanvändning, stadsmiljö	Urban land occupation
	Landförändring, naturmiljö	Natural land transformation
	Utarmning av metaller	Metal depletion
	Utarmning av fossila resurser	Fossil depletion

2.3 Klassificering

Görs en LCA i excel samlar man själv in all data och delar in dem i de miljöeffektskategorier som de påverkar. Detta är själva klassificeringen. Man gör allt arbete manuellt och arbetet är tidskrävande. I denna studie använder vi dataprogrammet SimaPro med färdigställd data. Det ingår även många miljöeffektskategorier (tabell 1). Detta gör att mycket data hanteras i analysen (mycket mer än vad man normalt tar med i Excelberäkningar).

2.4 Karaktärisering

Miljöbidrag för respektive miljöpåverkanskategori värderas relativt ett referensvärde för att rätt storlek av påverkan ska medräknas i analysen. Varje bidrag (t.ex. CO₂) kvantifieras inom varje miljöpåverkanskategori (t.ex. global uppvärmning, försurning) genom karaktäriseringsfaktorer. Man frångår det absoluta värdet och anger ett relativt värde med hjälp av karaktäriseringsfaktorn. Dessa faktorer kan vara specifika utifrån lokala förhållanden. Man kan hitta faktorerna manuellt i rapporter, men i denna studie använder vi de som finns i Recipes databas som används i SimaPro. Eftersom det ingår en stor mängd data och många miljöpåverkanskategorier blir det även en stor mängd värden för karaktäriseringsfaktorer som används. SimaPro inkluderar dem automatiskt i beräkningarna och de redovisas inte i rapporten (Recipes webbplats har tabeller, se www.lcia-recipe.net). De ämnen som utgör referensvärdet för karaktäriseringsfaktorerna redovisas i tabell 2.

Tabell 2 Referensämnen för karaktäriseringsfaktorerna (Recipe, 2008).

Impact category		Characterisation factor	
Abbreviation	Unit*	Name	Abbreviation
CC	kg (CO ₂ to air)	global warming potential	GWP
OD	kg (CFC-11 ⁵ to air)	ozone depletion potential	ODP
TA	kg (SO ₂ to air)	terrestrial acidification potential	TAP
FE	kg (P to freshwater)	freshwater eutrophication potential	FEP
ME	kg (N to freshwater)	marine eutrophication potential	MEP
HT	kg (14DCB to urban air)	human toxicity potential	HTP
POF	kg (NMVOC ⁶ to air)	photochemical oxidant formation potential	POFP
PMF	kg (PM ₁₀ to air)	particulate matter formation potential	PMFP
TET	kg (14DCB to industrial soil)	terrestrial ecotoxicity potential	TETP
FET	kg (14DCB to freshwater)	freshwater ecotoxicity potential	FETP
MET	kg (14-DCB ⁷ to marine water)	marine ecotoxicity potential	METP
IR	kg (U ²³⁵ to air)	ionising radiation potential	IRP
ALO	m ² ×yr (agricultural land)	agricultural land occupation potential	ALOP
ULO	m ² ×yr (urban land)	urban land occupation potential	ULOP
NLT	m ² (natural land)	natural land transformation potential	NLTP
WD	m ³ (water)	water depletion potential	WDP
MRD	kg (Fe)	mineral depletion potential	MDP
FD	kg (oil [†])	fossil depletion potential	FDP

* The unit of the impact category here is the unit of the indicator result, thus expressed relative to a reference intervention in a concrete LCA study.

† The precise reference extraction is "oil, crude, feedstock, 42 MJ per kg, in ground".

2.5 Normalisering

När man gjort karaktäriseringen kan man jämföra resultatet med en större helhet, exempelvis med miljöpåverkan inom alla vägkonstruktioner i Sverige eller med alla utsläpp i Sverige eller kanske i Europa eller världen. En stor miljöpåverkan inom denna LCA kan i ett Sverige-perspektiv vara en litet bidrag eller ett relativt stort bidrag. Vilket bidrag som ger mest miljöpåverkan i denna analys kan alltså ändras i en normalisering gentemot ett större sammanhang. I denna studie har resultaten normaliserats mot Europa. Se Reciperapporter för detaljerad information om bakgrunden till normaliseringsvärdena³.

2.6 Viktning

I viktningen inkluderas subjektiv värdering av miljöpåverkanskategorierna. När Recipe används i dataprogramet SimaPro finns en sådan värdering gjord och inkluderas automatiskt i beräkningarna i de resultat som redovisar viktning samt singelpoäng. Viktning får inte (enligt ISO-standard) inkluderas i livscykelanalyser som presenteras offentligt då två produkter jämförs. Därför ingår den inte i denna analys.

³ <http://www.lcia-recipe.net/>

2.7 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys har gjorts på följande delar:

- Diesel använt i byggmaskin
- Transport lastbil och Drift lastbil
- Bergkross från bergtäkt
- Lakningsvärdet

De tre första valdes för att de påverkar kategorin Utarmning av fossila resurser som i beräkningarna var den kategori som hade mest miljöpåverkan. Den fjärde valdes för att den har stor osäkerhet i grunddaten.

3 MÅL OCH OMFATTNING

Eftersom det för denna analys saknas data för slutfasen (kvittblivning), skillnad i underhållsprocesser och skillnader i användningsfasen av de två typerna av väg har dessa delar inte inkluderats. Analysen görs på konstruktionsfasen och lakning under ca 5-10 år.

Målet är att se skillnader i miljöpåverkan mellan att använda aska eller bergkross i skogsbilväg.

3.1 Funktionell enhet

1 m² väg med aska eller bergkross i bärlagret.

3.2 Avgränsning

Produktion av aska ligger utanför systemet och slutsatser om miljöeffekter vid förbränning av avfall inkluderas inte (Kärrman et al., 2006). Askan betraktas som ett avfall och inte en biprodukt. Således inkluderas inte de processer som leder fram till att askan bildas. Däremot ingår de processer som behövs för att tillgängliggöra askan för vidare användning, t.ex. transporter och lagring.

- a. Avgränsning mot andra produktsystem (tekniska system):
 - Tillverkning av maskiner ingår
 - Anställdas transporter och annan påverkan från dem ingår inte
- b. Avgränsning mot relevanta/icke relevanta processer inom det tekniska systemet
 - Förberedelse av vägen innan vägen anläggs inkluderas inte, exempelvis dikning (pga. att det är samma i båda fallen).
 - Material, energianvändning och emissioner som ingår i processer tas med. Inom materialdelen ingår tillverkning/utvinning och den energi och emissioner som det innebär att få fram materialet. Därtill kommer energiåtgång och emissioner vid transporter, huvudprocessen (vägkonstruktion) och användningsfasen (lakning).

- c. Tid: Inom Skogsstyrelsen har man normalt ett 30-årsperspektiv för vägarna, men eftersom underhåll inte inkluderats och lakningsvärdena antas gälla 5-10 år utgår vi från ett sådant tidsperspektiv (som för lakning).

Rum: Data från Europa (genom databasen Ecoinvent) har i huvudsak använts, men även viss fallspecifik data har inkluderats.

- d. Livscykeln med processerna:

- Konstruktion av väg - Ingår
- Användning (lakning) – Ingår
- Användning (körning) – Ingår inte
- Underhåll – Ingår inte
- Kvittblivning – Ingår inte

Huvudsaklig fokus ligger på konstruktion av väg. Till det läggs den information som hittas om användning av vägen. För användningsfasen inkluderas lakningsegenskaperna vid förhållandet vätska/aska eller bergkross 10 liter per kg. För underhållet görs (vad man vet i dagsläget) ingen skillnad mellan ask- och grusväg och alltså ingår inte den processen. Borttagning av väg ingår inte.

3.3 Antaganden

- Vissa maskiner som användes i det verkliga fallet i Sörkrånge har antagits kunna likställas med diverse arbetsmaskiner som finns tillgängliga i databasen Ecoinvent.
- All aska som fraktades till skogsbilvägen användes i verkligheten inte, men i beräkningen görs förenklingen att all ditfraktad aska lades i vägen.
- Det antas att bergkrosset inte användas till något annat om det inte användes i vägen, dvs. ingen annan del av samhället blir drabbat pga. brist på bergkross.
- Lakning under tidsperioden har antagits vara L/S 10 l/kg. Om infiltrationen är 300 mm/år i vägen skulle detta motsvara en tidsperiod på ca 5 år.
- 100 % av de lakade ämnena har antagits stanna i jorden.

4 FALLSTUDIE

För projektet ingick en skogsbilväg i Timrå kommun som fallstudie. Vägen är en primärväg till ett större skogsområde. För fallstudien ingick 1500 m väg som delades upp i fyra referenssträckor och två provsträckor. Två av referenssträckorna uppgraderades inte med bärlagergrus och tas alltså inte med i denna LCA-studie. Askan som användes var bioflygaska från Ortvikens pappersbruk och bergkrossen kom från Hussjö bergtäkt.

Det är viktigt att ha god detaljkunskap om det specifika fallet för att göra en realistisk analys. Vilken typ av aska och bergkross som används, hur långa transporter det är och vilka maskiner som behövs är några detaljer som behöver identifieras.

4.1 Aska

Den typ av aska som används är bioflygaska från ett pappersbruk. Pannorna eldas med olja och bark (Vestin et al., 2011). Askan bildas av:

- slam (fiberslam (fiber och spån))
- bioslam (aska från kaolinlera och kalciumkarbonat) (organiskt material, mikroorganismer) (Vestin et al., 2011)

Det är 33 km mellan pappersbruket och skogsvägen. Befintligt bergkross som fanns kvar sen tidigare vägarbete används med tillförsel av aska (30 % aska och 70 % bergkross).

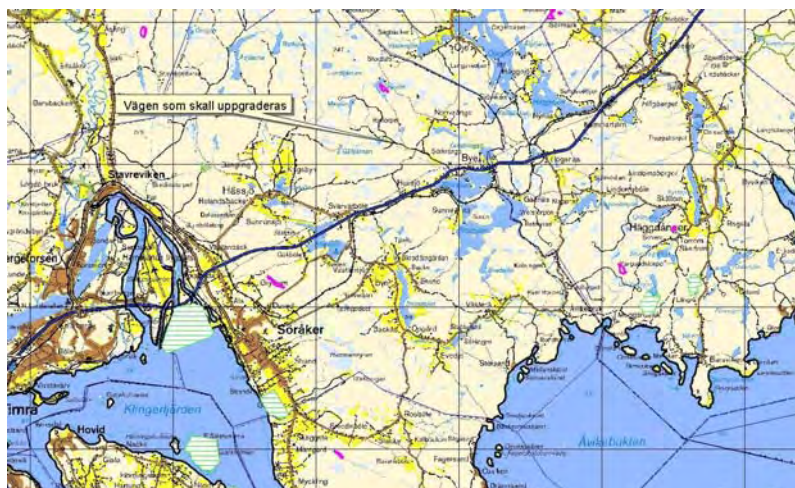
Provsträcka 1: 240 m, 120 mm opackad flygaska, 70 mm grusslitlager (0-18 mm bergkross)

Provsträcka 2: 260 m, 240 mm opackad flygaska, 70 mm grusslitlager (0-18 mm bergkross)

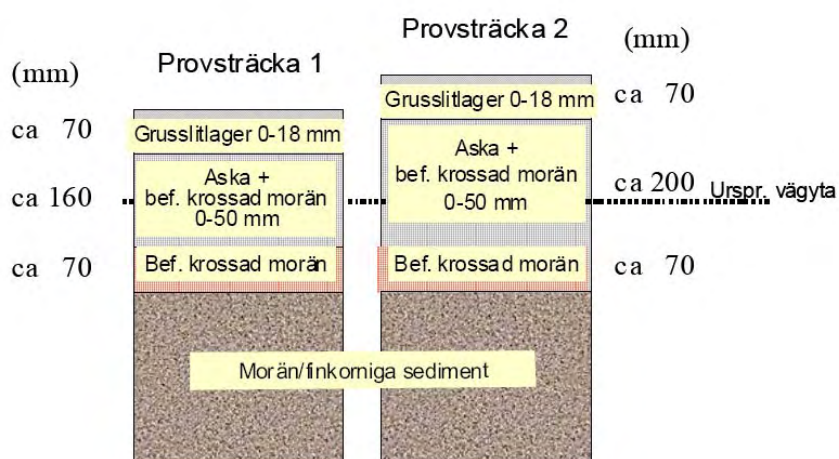
Provväg 2 ingår i analysen. Efter att askan har lagts ut i ett 24 cm lager fräses den in i befintligt bergkross med fräsdjup på 15 cm.

Densiteten för askan är $0,52 \text{ ton/m}^3$ (Hallgren, 2011). Det fraktades 200 ton aska till vägen i 8 lass om 25 ton styck (lastbil med släp). All aska användes dock inte.

Ovanpå asklagret lades ett slitlager på 70 mm (0-18mm bergkross), vilket betyder $0,182 \text{ ton/m}^2$ (se beräkning under *bergkross* 5.1). Detta moment är lika för grusväg och askväg, men eftersom det kan vara en betydande process i livscykeln och data finns att tillgå inkluderas den i studien.

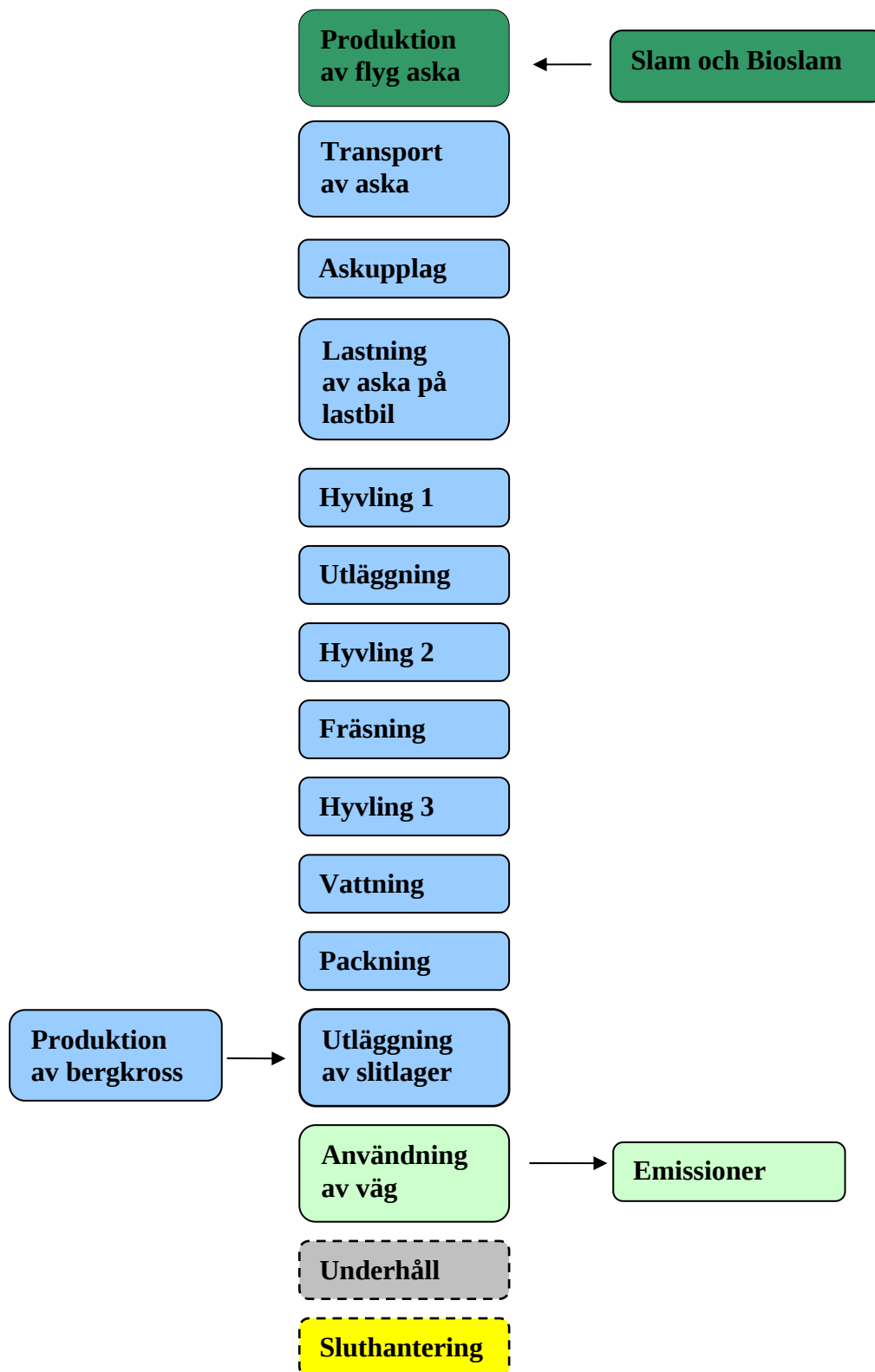


Figur 2 Det är ca 33 km mellan pappersbruket i Ortvisen (Sundsvall) och skogsvägen i Sörkränge (Timrå) (karta: Hallgren, 2009).



Figur 3 Provsrücke 1 och 2 för fallstudie med aska i skogsväg (Vestin et al., 2011).

4.1.1 Modell av process: Aska i skogsbilväg⁴



⁴ Förklaring av aktiviteterna se kapitel 4.3.

4.2 Bergkross

Bergkrosset kom från en större bergtäkt, Hussjötäkten. Det är 4,8 km till bergtäkten från skogsbilvägen. Enligt entreprenörens vågkvitton gick det 40 laster från bergtäkten med varierande mängd bergkross, i snitt ca 17 ton per last. Det användes ca 602 ton (0-32 mm) bergkross till referenssträckorna på 320 och 160 m. Det ger 0,38 ton per m². Det fraktades även 587 ton (0-18mm) bergkross till både provsträckor och referenssträckor. På samtliga sträckor lades det 70 mm av bergkross som slitlager överst, vilket betyder 0,182 ton/m².

Om inte det krossade berget används till vägen så antas att det inte används till annat, dvs. ingen annan del av samhället blir drabbat pga. brist på bergkross.

Bergkrosset lades ut vid ett tillfälle utan lagring och omlastning på plats.

Referenssträcka 1: 320 m, 150 mm bärlagergrus (0-32 mm), 70 mm slitlagergrus (0-18 mm)

Referenssträcka 2: 160 m, 150 mm bärlagergrus (0-32 mm), 70 mm slitlagergrus (0-18 mm)

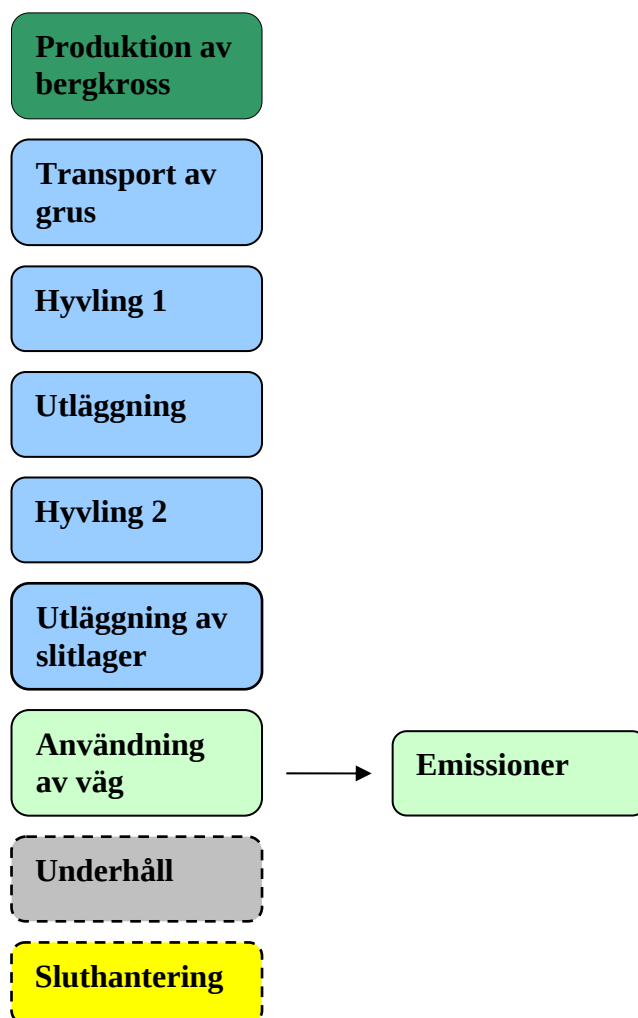
Användningsfasen

För användningsfasen inkluderas lakningen.

Underhåll

Det är ingen känd skillnad i underhåll mellan askväg och grusväg. Båda har ett liknande slitlager och det är detta som behöver underhållas. Hyvling av detta lager kan ske 1-2 ggr per år. Vart 5:e år kan slyröjning ske och efter 10-15 år en dikesrensning. Detta har inte inkluderats i denna studie, men enligt den kunskap som finns idag är det ingen skillnad i underhållsbehov mellan de båda konstruktionsmetoderna.

4.2.1 Modell av process: Bergkross i skogsbilväg⁵



⁵ Förklaring av aktiviteterna se kapitel 4.3.

4.3 Förklaring av aktiviteterna i modellen

- Produktion: Här ingår det bränsle som används vid produktionen/utvinningen av bergkross, samt material som behövs och de emissioner som uppkommer.
Aska: Bark, slam, bioslam, emissioner
Bergkross: Bränsle, sten, emissioner
- Transport: När materialet finns tillgängligt transporteras det till platsen.
Aska: 33 km
Bergkross: 4,8 km
- Upplag: Materialet används inte på en gång utan måste temporärt förvaras på plats. Detta medför att det eventuellt kan ske emissioner under förvaringen.
- Lastning: När det är dags att använda materialet måste det lastas på lastbil. Beroende på material kan olika maskiner behövas och olika många laster.
- Utläggning: Materialet läggs ut på vägområdet.
- Fräsning: Fräsningen innebär att askan blandas in i det befintliga lagret.
- Hyvling: När materialet är på plats hyvlas vägen för att slätas ut och bli jämn.
- Vattning: Ett fordon vattnar den utlagda askan för att stabilisera den.
- Packning: Slutligen packas allt material. När allt material har packats läggs ett slit lagergrus högst upp.
- Användning
av väg: Enbart lakningen har inkluderats i denna aktivitet.
- Underhåll: Det antas att det inte görs någon skillnad i underhåll mellan ask- och bergkrossträcka.

5 INVENTERINGSANALYS

Utifrån fallstudiebeskrivningen ovan, genom studie av rapporter och telefonsamtal har data samlats in och sammanställts. Mycket data finns redan tillgängligt i databaser och har använts för att förenkla inventeringsprocessen och korta ned tiden för arbetet. Den databas som har använts är Ecoinvent v2.1. Den data som inte finns i programmet och är fallspecifik har lagts in manuellt.

5.1 Resurser

5.1.1 Aska

De två provsträckorna hade olika lagerdjup av aska. Provsträcka 1 hade 120 mm aska och provsträcka 2 hade 240 mm aska (sistnämnda ingår i denna LCA studie). Alltså gick 2/3 av askan till provsträcka 2. Det fraktades 200 ton aska till skogsbilvägen, varav 133 ton aska gick till provsträcka 2. Provsträcka 2 är 260 m och med bredden 3,3 m blev den totala ytan 858 m².

$$\frac{133\text{ton}}{858\text{m}^2} = 0,155\text{ton} / \text{m}^2 \quad \text{ASKA (provsträcka 2)}$$

5.1.2 Bergkross

Efter en första beräkning visade det sig att aktiviteten *Bergkross från gruva* gav en betydande påverkan. Denna process är tagen ur databasen Ecoinvent i vilken information kommer från en schweizisk studie. Eftersom denna process var betydande valde vi att kontakta ett svenskt bergkrossföretag samt Swerock för att få mer relevanta siffror för de svenska förhållandena. Vi har inte lyckats samla in de uppgifter vi sökte och därför har studien använt Ecoinvent data.

Det användes 602 ton (0-32 mm) bergkross till referenssträckorna. Vägens längd var totalt på 480 m (320 och 160 m). Vägens bred var ca 3,3 m och den totala ytan blir alltså 1584 m².

$$\frac{602\text{ton}}{(1584\text{m}^2)} = 0,38\text{ton} / \text{m}^2 \quad \text{BERGKROSS (0-32mm)}$$

Det fraktades även 587 ton (0-18 mm) bergkross till både provsträckor och referenssträckor. På samtliga lades det 70 mm av bergkrosset som slitlager överst. Den totala längden av de fyra sträckorna var 980 m och med vägens bredd på 3,3 m blir den totala ytan 3234 m².

$$\frac{587\text{ton}}{3234\text{m}^2} = 0,18\text{ton} / \text{m}^2 \quad \text{BERGKROSS (0-18mm)}$$

5.1.3 Bränsleförbrukning för arbetsmaskiner

Det finns flera uppgifter om hur mycket bränsle arbetsmaskiner förbrukar, mestadels beroende på storleken. Genom att söka på Internet och läsa diskussionsforum har uppgifter mellan 8-30 l/h hittats⁶. I rapporten av Stripple (2001) används 20 l/h. Denna siffra har använts även för denna rapport. Tabell 3 visar uppgifter om bränsleförbrukning för en Dynapac F12 asfaltsläggare (Stripple, 2001). Dynapac F12 väger ca 16 ton (Saxtorp Trading, 2011) och eftersom maskinerna i fallstudien väger mellan ca 6-25 ton används detta värde som generell data i denna studie.

För samtliga maskiner där *Utgrävning/hydraulisk grävmaskin* i SimaPro har använts som motsvarighet till de maskiner som användes i fallstudien exkluderas bränsleförbrukningen och läggs till separat i form av *Diesel, använd i byggmaskin* (detta för att förenkla ändringar i bränsleförbrukningen i känslighetsanalysen).

Tabell 3 Bränsleförbrukning för asfaltsutläggare (Stripple 2011).

Asfaltsläggare	Bränsleförbrukning (l/h)	Bredd på väg (m)	Asfaltsläggning, hastighet (m/h)	Teoretisk läggningskapacitet (m ² /h)	Effektiv läggningskapacitet, 50 min/h (m ² /h)	Bränsleförbrukning (l/m ²)	Energiförbrukning (MJ/m ²)
Dynapac F12	20	5,0	240	1200	1000	0,0200	0,7020

5.1.4 Sammanställning av teknik inom delprocesser

Bränsleförbrukning är en betydande miljöpåverkan och således är det viktigt att hitta vilka maskiner som används i de olika processerna. Även tillverkningen av maskiner förbrukar resurser, t.ex. stål, bränsle, el.

Nedan följer tabell med maskiner för ask- samt bergkrossprocesserna. Informationen om vilka maskiner som använts har samlats in från rapport från pågående projekt *Säkra vägar i nytt klimat*. Information om deras bränsleförbrukning har bland annat hämtats från andra LCA-studier, Ecoinventdatabasen samt genom telefonsamtal med svenska företag.

⁶ <http://www.maskinisten.net/viewtopic.php?t=23274>

Asksträcka

Tabell 4 Teknik inom aktiviteterna för askväg.

Aktiviteter	Teknik (Fallstudie)	Ecoinventprocess (enhet i parentes)
Produktion av flygaska	-	-
Produktion av slitlagergrus	-	Bergkross från gruva
Transport av aska	-	Transport, lastbil > 16 t (tonkm)
Transport av slitlagergrus	-	Transport, lastbil > 16 t (tonkm)
Transport av maskiner (grävmaskin+vibrovält, hyvel, fräs)	De fraktas i trailer (stor).	Drift, lastbil 20-28 t (km)
Dittransport av hjullastare, vattentankbil och tippbil.	De kör själva.	Drift, lastbil 3,5-16 t (km)
Lägga askan för lagring vid vägen	Liten grävmaskin, 14 t.	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin ⁷
Hyvling	Väg hyvel 17,6 t (Grader)	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin
Lastning av aska på tippbil	Hjullastare	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin
Utläggning	3-axl tippbil.	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin
Fräsning	Caterpillar) 24 450 kg, 3 m bred, 261 kW bruttoeffekt.	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin
Vattning	Vattentankbil	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin
Packning	Vibrovält, 6 ton	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin
Utläggning av slitlager	-	-
Användning av väg	-	-
Lakning från väg	Lakningsdata är inkluderat från fallstudie.	
Underhåll	-	-
Sluthantering	-	-

⁷ I Excavation/hydraulic digger ingår konstruktion av maskin samt olja vid användning. Diesel har exkluderats i denna post.

Grussträcka

Tabell 5 Teknik för aktiviteter i 100 % grusväg.

Aktiviteter	Teknik (Fallstudie)	Ecoinvent (enhet inom parentes)
Produktion av bergkross samt slitlagergrus	-	Bergkross från gruva
Transport av bergkross samt slitlagergrus	-	Transport, lastbil > 16 t (tonkm)
Transport av maskiner (hyvel, vält)	De fraktas tillsammans i trailer (stor).	Drift, lastbil 16-32 t (km)
Dittransport av tippbil	Kör själv.	Drift, lastbil 3,5-16 t (km)
Hyvling	Väghyvel 17,6 ton (Grader)	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin ⁸
Utläggning av bergkross	3-axl tippbil.	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin
Packning	Vibrovält, 6 ton	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin
Utläggning av slitlager	-	-
Användning av väg	-	-
Underhåll	-	-
Sluthantering	-	-

5.1.5 Sammanställning av resurser

Tabell 6 Sammanställning av de resurser som använts. För beräkning av värdet per m² se del 5.1.1-5.1.3.

	Fallstudie	Per m ²
Bergkross (0-32 mm)	602 ton	0,38 ton
Bergkross (slitlagergrus, 0-18 mm)	587 ton	0,18 ton
Aska (provsträcka 2)	133 ton	0,155 ton
Diesel (anläggning av väg)	-	0,0200 l
El (bergtäkt)⁹	-	3,44 kWh (0-32 mm bergkross)

Från databasen Ecoinvent i Simapro finns det angivet 0,00906 kWh per kg bergkross. För grussträckan som använder 308 kg per m² blir det 3,44 kWh (exklusive slitlagergrus).

⁸ I Excavation/hydraulic digger ingår konstruktion av maskin samt olja vid användning. Diesel har exkluderats i denna post.

⁹ Data om energiförbrukning hos svensk bergtäkt har ej hittats, ej heller storlek av landyta som använts till svensk bergtäkt.

5.2 Lakning från vägmaterialet

5.2.1 Aska

Data för lakning från askan i vägen har tagits från Vestin et al., (2011). Värdet i den färgade kolumnen i Tabell 7 används i analysen. Värdena gäller L/S 10. Med ett antagande om 300 mm regn per år och m^2 över 155 kg aska blir lakningsförhållandet L/S 2 per år.

$$\frac{300\text{l}}{155\text{kg}} = 1,935 \approx 2 \quad \text{L/S 2}$$

Med nedanstående lakningsförhållande på L/S 10 och med 155 kg aska blir det 1550 l vatten. Antagandet att det regnar 300 mm per år (300 l/m^2) ger att L/S 10 värdet i tabell 8 gäller för 5 år med en askhalt på 155 kg/m^2 . Eftersom det är svårt att veta hur lakningen ser ut i framtiden inom en 30 årsperiod använder vi L/S 10 värdet direkt och likaså görs för bergkross för att kunna göra en jämförelse. För känslighetsanalysen multipliceras nedanstående värde med 0 samt 10 för extremvärdena.

Tabell 7 Lakningsdata för askväg (Vestin et al., 2011).

Laktest L/S 10 (SS-EN 12457-2) på flygaska från SCA, Örtviken			
Element	Enhet	Medel (n=3)	Stdav
Ca	mg/kg dw	2810	80
Fe	mg/kg dw	<0,04	-
K	mg/kg dw	6330	390
Mg	mg/kg dw	<0,9	-
Na	mg/kg dw	1000	50
S	mg/kg dw	4,39	0,17
Si	mg/kg dw	9,12	0,70
Al	mg/kg dw	3,65	0,28
As	mg/kg dw	<0,01	-
Ba	mg/kg dw	279	18
Cd	mg/kg dw	<0,0005	-
Co	mg/kg dw	<0,000553	-
Cr	mg/kg dw	0,00924	0,00131
Cu	mg/kg dw	<0,01	-
Hg	mg/kg dw	<0,0002	-
Mn	mg/kg dw	0,00535	0,00100
Mo	mg/kg dw	0,114	0,001
Ni	mg/kg dw	<0,00502	-
P	mg/kg dw	<0,1	-
Pb	mg/kg dw	0,0165	0,0002
Sb	mg/kg dw	<0,001	-
Sr	mg/kg dw	71,2	4,4
V	mg/kg dw	<0,0005	-
Zn	mg/kg dw	0,250	0,024

5.2.2 Bergkross

Med antagandet att det regnat 300 mm per år över en kvadratmeter med 380 kg blir lakningen L/S 1.

$$\frac{300l}{380kg} = 0,789 \approx 1 \quad \text{L/S 1}$$

Med nedanstående lakningsförhållande på L/S 10 och med 380 kg bergkross blir det 3800 l vatten. Antagandet att det regnar 300 mm per år (300 l/m^2) ger att L/S 10 värdet i tabell 8 gäller för 12 år med en bergkrossmängd på 380 kg/m^2 . Precis som för aska används nedanstående L/S 10 värde i beräkningarna. I känslighetsanalysen testas andra värden.

Tabell 8 Lakningsdata för bergmaterial (Ekvall et al., 2006) omräknat i denna rapport till mg/kg.

Metall	Totalhalt, medelvärde ¹ (min-max) µg/kg	Urlakning, medelvärde ² L/S=10 (min- max), µg/kg	Kvot ³ mellan urlakning och totalinnehåll, medelvärden, %	Urlakning, medelvärde L/S=10 mg/kg
As	9 870 (250 - 120 000)	12 (0,5 - 55)	0,12	0,012
Ba	415 000 (8 800 - 900 000)	40 (7 - 180)	0,01	0,040
Cd	359 (<200 ⁽⁸⁾ - 800)	4,5 (<3 ⁽²¹⁾ - 6)	(< 1,5)	0,0045
Co	44 300 (3 200 - 110 000)	1,7 (<1,0 ⁽¹⁴⁾ - 4)	< 0,004	0,0017
Cr	43 000 (6 600 - 170 000)	80 (<30 ⁽²²⁾ - 80)	< 0,19	0,080
Cu	26 700 (3 800 - 96 300)	<50 ⁽²³⁾	< 0,19	0,050
Hg	4,4 (<2 ⁽¹⁴⁾ - 10)	<15 ⁽²³⁾	-	0,015
Mn	1 030 000 (200 000 - 2 350 000)	141 (<10 ⁽¹⁾ - 1450)	< 0,014	0,141
Mo	2 050 (<1 000 ⁽⁷⁾ - 7 100)	85 (<50 ⁽²⁰⁾ - 105)	(< 4,9)	0,085
Ni	19 800 (4 000 - 60 300)	52 (<10 ⁽²⁰⁾ - 65)	< 0,26	0,052
Pb	21 300 (1 500 - 71 000)	12,5 (<10 ⁽²¹⁾ - 15)	< 0,06	0,0125
Sb	660 (<200 ⁽¹³⁾ - 1600)	4,3 (<1 ⁽¹⁴⁾ - 10)	(< 1,1)	0,0043
Se	<5 000 ⁽²³⁾	50 (<10 ⁽²²⁾)	-	0,050
Sn	4 270 (350 - 18200)	5,7 (<10 ⁽²⁰⁾ - 7)	< 0,13	0,0057
V	- ³	28 (<1 ⁽²⁾ - 120)	-	0,028
W	204 000 (4 000 - 430 000)	7,4 (<5 ⁽¹⁸⁾ - 10)	< 0,004	0,0074
Zn	70 000 (17 900 - 180 000)	58 (<50 ⁽²¹⁾ - 60)	< 0,08	0,058

6 RESULTAT FRÅN MILJÖPÅVERKANSBEDÖMNING

Inventeringsdata och analys med Recipemetoden gav följande resultat. Figurer finns i bilaga 2.

6.1 Jämförelse mellan aska och bergkross inklusive samtliga miljöeffektkategorier

I (Bilaga 2, Figur 1) ser vi en jämförelse mellan miljöpåverkan från aska i skogsbilväg samt med bergkross i skogsbilväg. Resultatet visar att bergkrossanvändningen totalt sett ger en större påverkan på miljön. Det är karaktäriseringen som visas, dvs. de olika bidragen har multiplicerats med sitt karaktäriseringsvärde. I resultatet ingår inte normalisering mot en större helhet och inte heller viktning av miljöpåverkanskategorier. Högsta värdet är satt till 100 %. I figuren kan vi se att bergkrosssträckan oftast ger mest påverkan, ibland markant och ibland med mindre relativ skillnad. Miljöpåverkanskategorier där bergkrosssträckan ger betydligt mer påverkan än asksträckan, dvs. där det är störst skillnad mellan ask- och bergkrosssträckorna är för:

- Landförändring, naturmiljö
- Joniserande strålning
- Landanvändning, stadsmiljö

För två miljöpåverkanskategorier ger aska en större påverkan:

- Fotokemisk ozonbildning
- Mark-ekotoxicitet

Dessa är inte de två största bidragen för asksträckan, det visar enbart att påverkan är större från aska än bergkross inom de kategorierna.

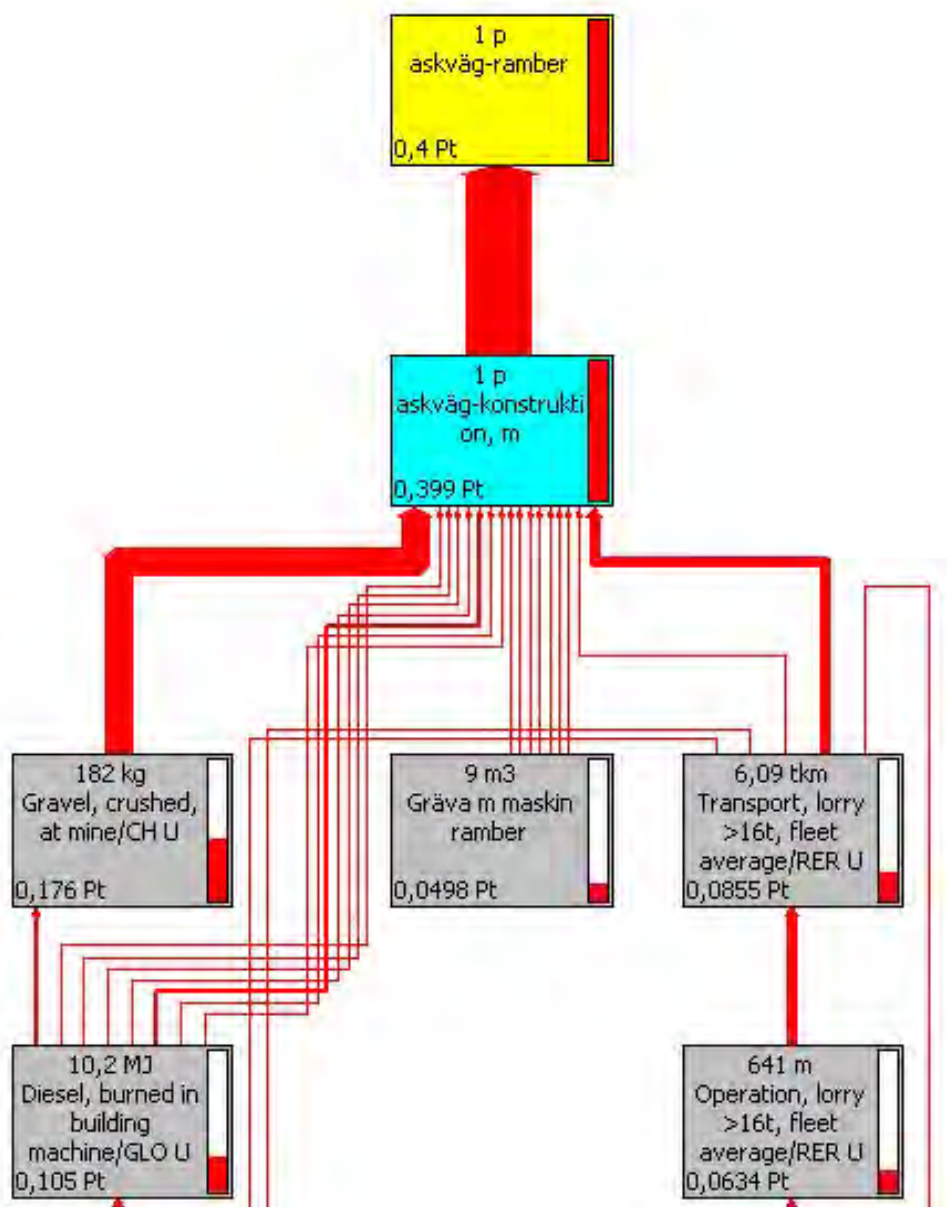
I (Bilaga 2, Figur 2) har siffrorna från karaktäriseringen normaliserats mot Europavärden, men inte viktats. I den kan man se att i båda fallen (aska och bergkross) kommer mest påverkan från:

- Landförändring, naturmiljö
- Utarmning av fossila resurser
- Klimatförändring, mänsklig hälsa
- Klimatförändring, ekosystem
- Bildning av partiklar

Störst skillnad är som sagt för *Landförändring, naturmiljö* där bergkrossanvändningen är mest påtaglig.

6.2 Aska

För att se mer i detalj varifrån bidrag inom askanvändningen kommer kan nätverket i figur 6 studeras. Vi ser där att störst bidrag till miljöpåverkan från asksträckan är ifrån *Bergkross från gruva* och därefter processen *Transport, lastbil*. *Diesel* är även ett relativt stort bidrag.



Figur 4 Nätverk för askanvändningen. Singelpoäng inkluderande normalisering och viktning.

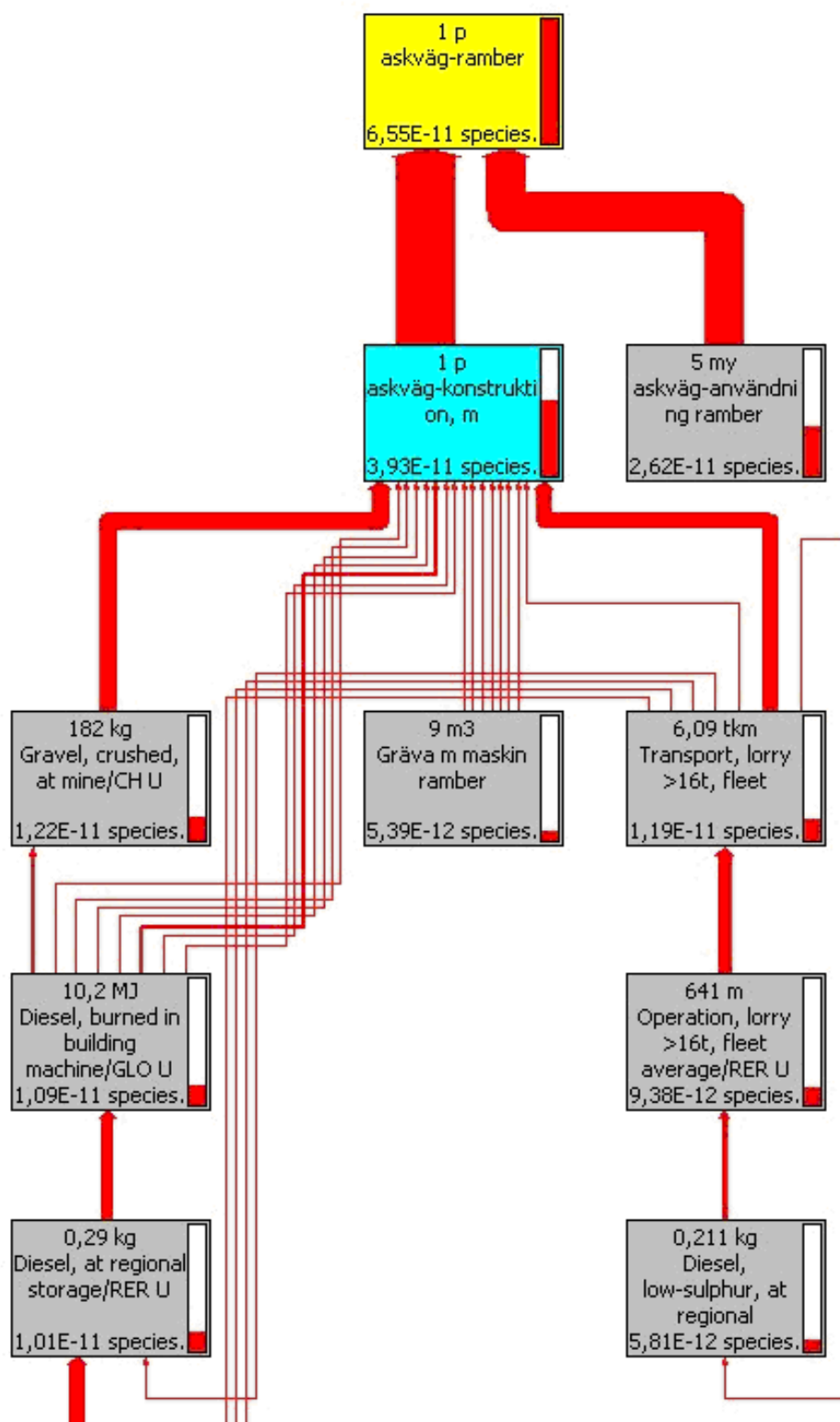
Inom livscykelanalysen för aska har två faser inkluderats, konstruktionen av väg samt användning (Bilaga 2, Figur 3). I användning har enbart lakning inkluderats. Lakningen gäller L/S 10 (liquid/solid med 10 ggr så mycket vätska som fast massa, l/kg) och som enligt figur 8 ger mest påverkan på *Mark-ekotoxicitet*.

Väljer vi att bara titta på konstruktionsfasens påverkan och alltså exkludera emissionerna från användningsfasen kan vi se vilken del i konstruktionsfasen som påverkar olika miljökategorier (Bilaga 2, Figur 4). Vi ser att *Bergkross från gruva* är ett stort bidrag genom alla miljöpåverkanskategorierna, precis som därefter kommer *Transport, lastbil* och *Diesel, burned in building machine*.

I normaliseringen av konstruktionsfasen (Bilaga 2, Figur 5) kan vi se vilka bidrag som jämfört med Europavärden ger en signifikant påverkan. Det är främst *Utarmning av fossila resurser*.

Av intresse är att exkludera slitlagergruset. Denna process är densamma för både askväg och grusväg och eftersom den processen ger ett signifikant bidrag till miljöpåverkan är det intressant att se vilken miljöpåverkan som blir störst vid konstruktion av askväg utan slitlagergruset. Bilaga 2, Figur 6 visar att påverkan inom samtliga miljö kategorier sjunker signifikant vid exkludering av slitlagergruset. Bilaga 2, Figur 7 visar att *Utarmning av fossila resurser* fortfarande är den mest påverkade kategorin, men nu är *Transport, lastbil* (främst transport av aska) samt användning av arbetsmaskiner de största bidragen till miljöpåverkan.

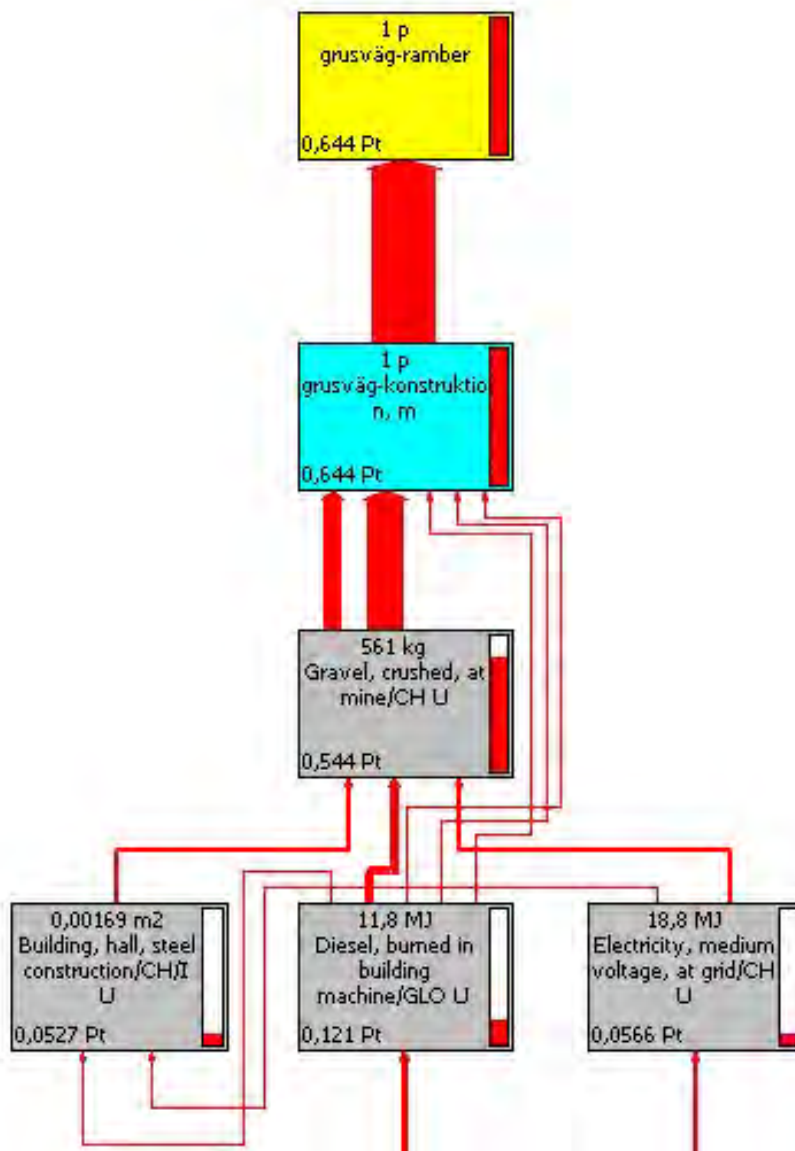
I figur 5 (nedan) visas ett nätverk med påverkan från asksträckan på *Mark-ekotoxicitet* och varifrån påverkan kommer. Vi ser att lakning i användningsfasen ger ett relativt stort bidrag, men även dieselanvändning inom både arbetsmaskiner, transporter och bergtäkten. Även bergtäkten i sig utöver dieselförbrukning ger ett bidrag till *Mark-ekotoxicitet*.



Figur 5 Nätverk som visar påverkan på Mark-ekotoxicitet och varifrån den kommer.

6.3 Bergkross

I figur 6 kan nätverket för livscykeln gällande bergkrossanvändningen ses. Den visar att *Bergkross från gruva* är det huvudsakliga bidraget till miljöpåverkan. Inom denna process är det främst dieselanvändningen, elektricitet samt byggnaden vid gruvan som ger påverkan.



Figur 6 Nätverk för bergkrossanvändningen.

Lakningen ger bara ett litet bidrag för *Mark-ekotoxicitet*. Annars är det konstruktionsfasen som dominerar denna avgränsade livscykel (det röda i Bilaga 2, Figur 8).

I (Bilaga 2, Figur 9) som visar konstruktionsfasen och exkluderar lakningen ser man i karaktäriseringen att *Bergkross från gruva* är det relativt varandra största bidraget. Det finns två *Bergkross från gruva* vilka vardera står för 0-32 och 0-18 mm bergkross. Det bergkross som ersätter askan (dvs. inte slitlagergruset) står för ca 50 % påverkan inom samtliga miljöpåverkanskategorier.

Den miljöpåverkanskategori som är mest påverkad, i ett Europaperspektiv, är *Landanvändning, naturmiljö*, det vill säga att markyta tas i anspråk för själva takten och ändras vid återställning efter täktverksamhetens slut (Bilaga 2, Figur 10). Även *Utarmning av fossila resurser* påverkas relativt mycket.

6.4 Känslighetsanalys

Bergkross från gruva är ett betydande bidrag, precis som *Transport, lastbil* och *Diesel använt i byggmaskin*. Alla dessa påverkar kategorin *Utarmning av fossila resurser* som är den mest påverkade miljöpåverkanskategorin för aska. *Bergkross från gruva* är även det mest betydande bidraget för bergkrossträckan där *Landförändring, naturmiljö* är mest påverkad. Indata för dessa processer bör ändras för att testa känsligheten av värdena. Även lakningen testas i känslighetsanalysen pga. det osäkra antagandet som gjorts. Det som testas är:

- Diesel använt i byggmaskin
- Transport, lastbil och Drift, lastbil
- Bergkross från gruva
- Lakningsvärdet

6.4.1 Diesel använt i byggmaskin

Diesel använt i byggmaskin halveras från 0,7 MJ till 0,35 MJ.

Resultat: Viss skillnad för både aska och bergkross. Störst skillnad är en 25 % minskning av *fotokemisk ozonbildning* för asksträckan och *utarmning av fossila resurser* minskar med ca 20 %. Det syns mindre skillnad för bergkrossträckan (Bilaga 2, Figur 11 och 12).

6.4.2 Transport lastbil samt Drift lastbil

Transportavståndet halveras för både *Transport, lastbil* och *Drift, lastbil*. För aska är det *Transport, lastbil* (frakt av aska) som ger det största bidraget till miljöpåverkan inom *Utarmning av fossila resurser*. Detta värde halveras tillsammans med övriga transporter för maskinerna.

Resultat: Viss skillnad för aska och grusväg. Störst skillnad är en 25 % minskning av ozonnedbrytande ämnen för asksträckan. *Utarmning av fossila resurser* minskar med ca 20 % (Bilaga 2, Figur 13). För samma beräkning visar normaliseringen i (Bilaga 2, Figur 14) att det i ett Europaperspektiv blir mest märkbar skillnad för *Utarmning av fossila resurser*. När bara asktransporterna halveras och jämförs med normalfallet samt då alla transporter halveras ser man att asktransporterna har en relativt stor påverkan på

minskningen (Bilaga 2, Figur 15). Bilaga 2, Figur 16 visar att halverat transportavstånd inom bergkrossträckan ger en något mindre skillnad än för asksträckan.

6.4.3 Bergkross från gruva

Mängden bergkross som används halveras.

Resultat: För *Landförändring*, *naturmiljö* och *Joniserande strålning* har det blivit nästan en halvering av påverkan från asksträckan. För *Utarmning av fossila resurser* är det en mindre skillnad (Bilaga 2, Figur 17). I en normalisering är dock strålningen obetydlig.

Inom grussträckan för samtliga miljöpåverkanskategorier har det blivit mer eller mindre en halvering av påverkan (Bilaga 2, Figur 18).

6.4.4 Lakning

Eftersom den data som lagts in för lakning är en grövre uppskattning av verkligheten testar vi att ändra värdena. Detta kan främst påverka miljöpåverkanskategorierna *Mark-ekotoxicitet* samt *Humantoxicitet*.

L/S 10 värdena multipliceras med 10 och 0 och jämförs med L/S 10 multiplicerat med 1 som vi har som normalfall.

Asksträcka

Multiplikerat med 10: För *Humantoxicitet* och *Mark-ekotoxicitet* är det en markant skillnad (Bilaga 2, Figur 19) då L/S 10 multipliceras med 10. Ser man i (Bilaga 2, figur 20) som visar normaliseringen så blir denna skillnad (mellan de två fallen) obetydlig i jämförelse med det större perspektivet mot total påverkan i Europa. Bilaga 2, Figur 21 visar samma sak, fast enbart med normalisering av askväg med lakning faktor 10. Även om *Humantoxicitet* och *Mark-ekotoxicitet* blir betydligt mer påverkade med faktor 10 för lakningen så är fortfarande påverkan av de två kategorierna obetydliga i ett större Europaperspektiv.

Multiplikerat med 0: Lakningsvärdet jämförs även mellan multiplicering med 1 (normalfall) samt med 0 för att se hur stor skillnad det blir om ingen lakning sker. Det blir nästan en halvering av påverkan för *Mark-ekotoxicitet* (Bilaga 2, Figur 22).

Bilaga 2, Figur 23 visar jämförelse mellan normalfall samt multiplicering med 0 och 10.

Bergkrossträcka

Multiplikerat med 10: Skillnaden mellan L/S 10 multiplicerat med 1 respektive 10 för lakningen från bergkross syns i *Mark-ekotoxicitet*, men är inte stor. Denna skillnad är dock inte märkbar i normaliseringen mot det större Europaperspektivet (Bilaga 2, Figur 24 och 25).

Multiplikerat med 0: Lakningen jämförs även mellan normalfallet 1 samt med 0 (ingen lakning) för att se betydelsen av värdet 1. För bergkrosslakningen är det inte stor skillnad mellan ingen lakning och 1 (dvs. den lakning vi använder i normalfallet) (Bilaga 2, Figur 26).

7 DISKUSSION

Avgränsningar och antaganden har gjorts som antagligen har en påverkan på resultatet. Som exempel har inte underhåll av de olika vägtyperna inkluderats. Det är för att studier om skillnader i underhåll inte finns. Det antas här att underhållet av vägtyperna är det samma. Eventuellt kan denna fas i livscykeln ha en betydande påverkan på miljöpåverkan beroende på hur ofta underhåll måste ske av de olika vägtyperna samt mer specifikt vad som behöver göras i underhållet (tillförsel av material, användning av maskiner etc.). I analysen har inte heller slutfasen (kvittblivning) av väg inkluderats, detta för att det inte funnits möjlighet att fördjupa sig i den delen av livscykeln. Användningsfasen är heller inte med, förutom lakning (L/S 10 värden). Det som analysen fokuserar på är konstruktionsfasen och resultaten i denna rapport representerar alltså denna fas av livscykeln.

I denna jämförande fallstudie har ett grusslitlager på 70 mm använts för både ask- och bergkrossvägen. Generellt sett läggs inte ett grusslitlager i fraktionen 18 mm för vanlig skogsbilväg, utan vanligtvis anläggs vägen med en bergkrossfraktion på 0/32 mm i hela vägkroppen. Att undvika ytterligare ett lager i mindre fraktion sparar energi för ytterligare ett krossningsmoment och därmed sparas både miljö och pengar. För att undvika att jämföra hållfastheten mellan ask- och bergkrossväg med två respektive ett lager konstruerades vägarna på liknande sätt. Analysen har alltså gjorts för ett specifikt fall och mer generella resultat kan beräknas om grusslitlagret exkluderas från bergkrossvägen.

Det man kan se från resultatet som speglar konstruktionsfasen av ask- respektive grusväg är att konstruktion av grusväg ger mer miljöpåverkan än konstruktion av askväg. Orsaken till detta ligger bland annat i att framställning av bergkross använder och ändrar stora markområden. I normaliseringen mot Europa är det just landförändringen som är det mest signifikanta bidraget till miljöpåverkan. Därutöver märks förbrukningen av fossila resurser vid utvinningen av bergkross.

För asksträckan kommer mest påverkan från *Utarmning av fossila resurser* som inkluderar både tillverkning av bergkross samt olja för att få diesel till arbetsmaskiner och arbetsmaskiner. Respektive bidrag till påverkan inom *Utarmning av fossila resurser* kan ses i figur 5 (bilaga 2) (som enbart tar med konstruktionsfasen och inte lakningen). Den visar att bergkrossanvändning, transporter och användning av arbetsmaskiner är stora bidrag. Efter *Utarmning av fossila resurser* kommer *Landförändring, naturmiljö*. Denna kategori domineras av bidrag från *Bergkross från gruva*. Det vi kan utläsa från detta är att bergkrossanvändningen är en betydande miljöpåverkan även inom asksträckan.

Vill vi hitta de kategorier där asksträckan ger mer miljöpåverkan än bergkrosssträckan, om än bidragen är små jämfört med ovan nämnda kan man studera figur 1 (bilaga 2). Där ser vi att *Fotokemisk ozonbildning* samt *Mark-ekotoxicitet* är större för aska än grusväg. För *Mark-ekotoxiciteten* har lakning, dieselförbrukning och faktorer inom bergkrossutvinningen störst påverkan gällande asksträckan.

Data har i huvudsak hämtats från databasen Ecoinvent och därmed har alltså mycket generell data från Europa använts. Av speciell betydelse är att data för tillverkning av bergkross kommer från en schweizisk bergtäkt. Det hade varit intressant att få svensk data om bergkrossen då detta är ett stort bidrag till miljöpåverkan. Den information som behövdes om svenska bergtäkter visade sig svår att få tag på och inkluderades alltså inte i analysen.

8 SLUTSATSER OCH TOLKNING AV RESULTATET

Resultatet utifrån de avgränsningar och antagande som gjorts visar på att användning av aska i grusväg är mer fördelaktigt än bergkross för delar av livscykeln. Detta är främst på grund av den stora påverkan det blir på miljön med bergkross. Känslighetsanalysen visar tydligt att miljöpåverkan för flera kategorier minskar för både asksträckan och bergkrosssträckan när mängden bergkross halveras. Det blir även skillnad för resultatet när transportavstånd halveras och då bränsleförbrukningen för arbetsmaskinerna halveras, bl.a. en 20 % minskning av *Utarmning av fossila resurser*.

Asksträckan ger mest påverkan för miljökategori *Utarmning av fossila resurser*. Påverkan kommer främst från bergkross, transporter och användning av arbetsmaskiner. Den största bidraget för transporterna gäller transport av aska (33 km och 0,155 ton). För att veta om ändrat transportavstånd har en betydande inverkan på resultatet ändrar vi denna parameter till ca halva transportavståndet (16 km) och beräknar miljöpåverkan. Det visade att halvering av transportavståndet ger effekt på resultatet för flera kategorier. Jämsides med transporterna är det användning av bergkross till slitlagret som är en avgörande parametern och ändring av denna, en halvering av bergkrossmängden, ger en minskad miljöpåverkan inom flera kategorier (främst *Landförändring, naturmiljö*). Om slitlagret inte inkluderas (som är liknande process för både ask- och grusväg) och analysen görs för konstruktion av askväg blir resultatet att *Utarmning av fossila resurser* fortfarande är den mest påverkade kategorin och det som påverkar denna kategori till stor del är som sagt transport av aska och användning av arbetsmaskiner.

Lakning har inkluderats för båda vägtyperna, men är relativt liten jämfört med annan påverkan. Det är främst *Mark-ekotoxicitet* samt *Humantoxicitet* som påverkas. Notera dock att utvärderingsmetoden innehåller generella exponeringsvägar för både landekologin och människors hälsa. För bedömning av lokala effekter på landmiljö eller hälsa är lokal bedömning ett bättre verktyg än LCA. Känslighetsanalysen visar att ändrade lakningsförhållanden ger en märkbar påverkan för dessa två kategorier. Att inkludera säkrare (mer realistisk) data för lakningen kan ge ett mer robust resultat gällande lakningens betydelse för den totala miljöpåverkan i askvägkonstruktionen. Tydligt är att ändras detta värde ändras resultatet för miljöpåverkan från lakning avsevärt. Lakningen i sig är dock jämfört med annan påverkan i samband med asksträckan relativt liten. Ökas lakningen 10 gånger (en säker överdrift) blir lakningen en mer betydande parameter, men fortfarande obetydlig jämfört med andra påverkanskategorier.

Bergkrossanvändning, transportavstånd och användning av arbetsmaskiner är alltså de parametrar som påverkar miljön mest. Osäkra parametrar är indata för bergkross samt lakning från aska.

Utifrån de avgränsningar och antagande som gjort inom studien är slutsatsen att aska är mer fördelaktigt att använda i ett livscykelperspektiv för konstruktionsfasen. Det är viktigt att minnas de avgränsningar som gjorts så att inte resultatet används generellt utan vidare eftertanke.

9 REFERENSER

Birgisdottir H., Bhandar G., Hauschild M.Z., Christensen T.H. (2007) *Life cycle assessment of disposal of residues from municipal solid waste incineration: Recycling of bottom ash in road construction or landfilling in Denmark evaluated in the ROAD-RES model*. Waste Management, vol 27, no 8, pp 75-84.

Carpenter A.C., Gardner K.H., Fopiano J., Benson C.H., Edil T.B. (2007) *Life cycle based risk assessment of recycled materials in roadway construction*. Waste Management, vol 27, no 10, pp 1458-1464.

Ek M., Sundqvist J-O. (1998) *Skogsindustrins avfall, idéer angående utnyttjande och omhändertagande*. Institutet för vatten- och luftvårdsforskning. IVL Rapport B 1293. Stockholm.

Ekvall A., von Bahr B., Andersson T., Lax K., Åkesson U. (2006) *Lakegenskaper för naturballast. Bergmaterial och moräner*. Värmeforsk. Rapport 961. Stockholm.

Gustafsson M., Wik O., Frogner-Kockum P. (2009) *Partikelspridning vid byggnation av väg med aska – modellöversikt, undersökning av fuktighetsgradens betydelse för damning och karaktärisering av partiklar från flygaska*. Värmeforsk. Rapport 1100. Stockholm.

Hallgren P. (2009) *PM Uppgradering av demonstrationsväg i Sörkrånge, med bioaska*. Skogsstyrelsen, Region Mitt, Säkra vägar i ett nytt klimat.

Hallgren P. (2011) Skogsvårdsstyrelsen. Personlig kommunikation.

Kärrman E., Olsson S., Magnusson Y., Peterson A. (2006) *Miljösystemanalys för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande*. Värmeforsk. Rapport 953. Stockholm.

Lindberg C. (2011) Ortvikens pappersbruk. Personlig kommunikation.

Mácsik J., Svedberg B., Lenströmer S., Nilsson T. (2004) *FACE Flygaska i geotekniska anläggningar, Etapp 1: Inventering/Tillämplighet*. Värmeforsk. Rapport 870. Stockholm.

Olsson S., Kärrman E., Rönnblom T., Erlandsson Å. (2008) *Skogsbränsleaska som näringsresurs eller konstruktionsmaterial, Miljöeffekter av olika hanteringsmaterial*. Värmeforsk. Rapport 1068. Stockholm.

ReCiPe (2008) *A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition, Report 1. Characterisation*. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM). Netherlands.

Saxtorp Trading (2011) <http://www.saxtorp.com/2011/dynapac-f12-4w-4>

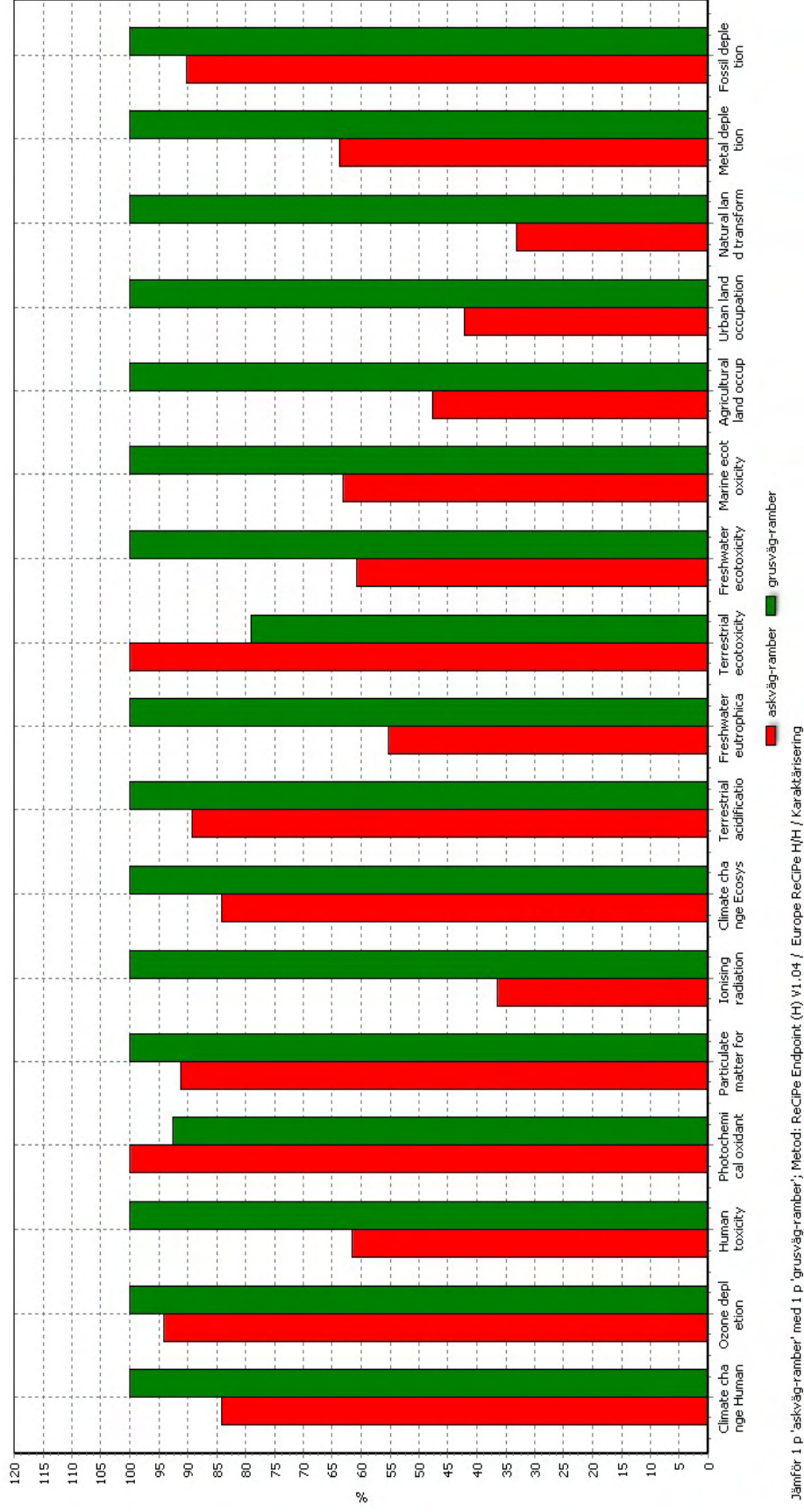
Stripple H. (2001) *Life Cycle Assessment of Road, A pilot study for inventory analysis*. Second revised edition. Swedish Environmental Research Institute. IVL Report B 1210 E. Gothenburg Sweden.

Vestin J., Arm M., Nordmark D., Hallgren P., Tiberg C., Lagerkvist A., Lind B. (2011) *Effektivt askutnyttjande i vägar*. Värmeforsk. Rapport 1169. Stockholm.

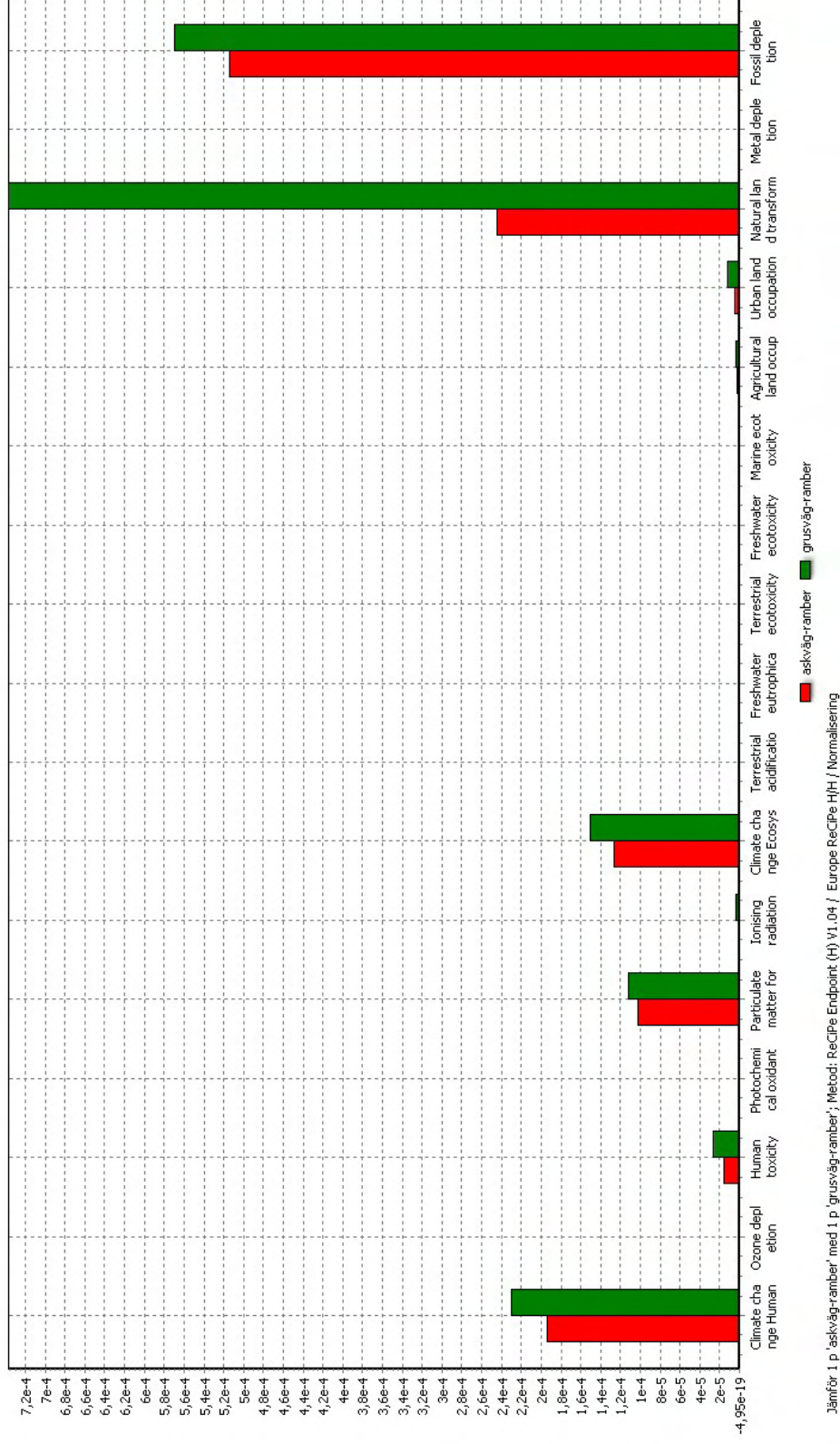
Bilaga 1 - ORDLISTA

Agricultural land occupation	Landanvändning, landsbygd/jordbruk
Climate change Ecosystems	Klimatförändring, ekosystem
Climate change Human health	Klimatförändring, mänsklig hälsa
Diesel, burned in building machine	Diesel använd i byggmaskin
Excavation/hydraulic digger	Utgrävning/hydraulisk grävmaskin
Fossil depletion	Utarmning av fossila resurser
Freshwater ecotoxicity	Sötvatten-ekotoxicitet
Freshwater eutrophication	Övergödning i sötvatten
Gravel crushed at mine	Grus krossat vid gruva
Human toxicity	Humantoxicitet
Ionising radiation	Joniserande strålning
Marine ecotoxicity	Marin-ekotoxicitet
Metal depletion	Utarmning av metaller
Natural land transformation	Landförändring, naturmiljö
Operation lorry	Drift lastbil
Ozon depletion	Ozonnedbrytning
Particulate matter formation	Bildning av partiklar
Photochemical oxidant formation	Fotokemisk ozonbildning (marknära ozon)
Terrestrial acidification	Markbunden försurning
Terrestrial ecotoxicity	Mark-ekotoxicitet
Transport lorry	Transport lastbil
Urban land occupation	Landanvändning, stadsmiljö

Bilaga 2 – FIGURER TILL RESULTAT



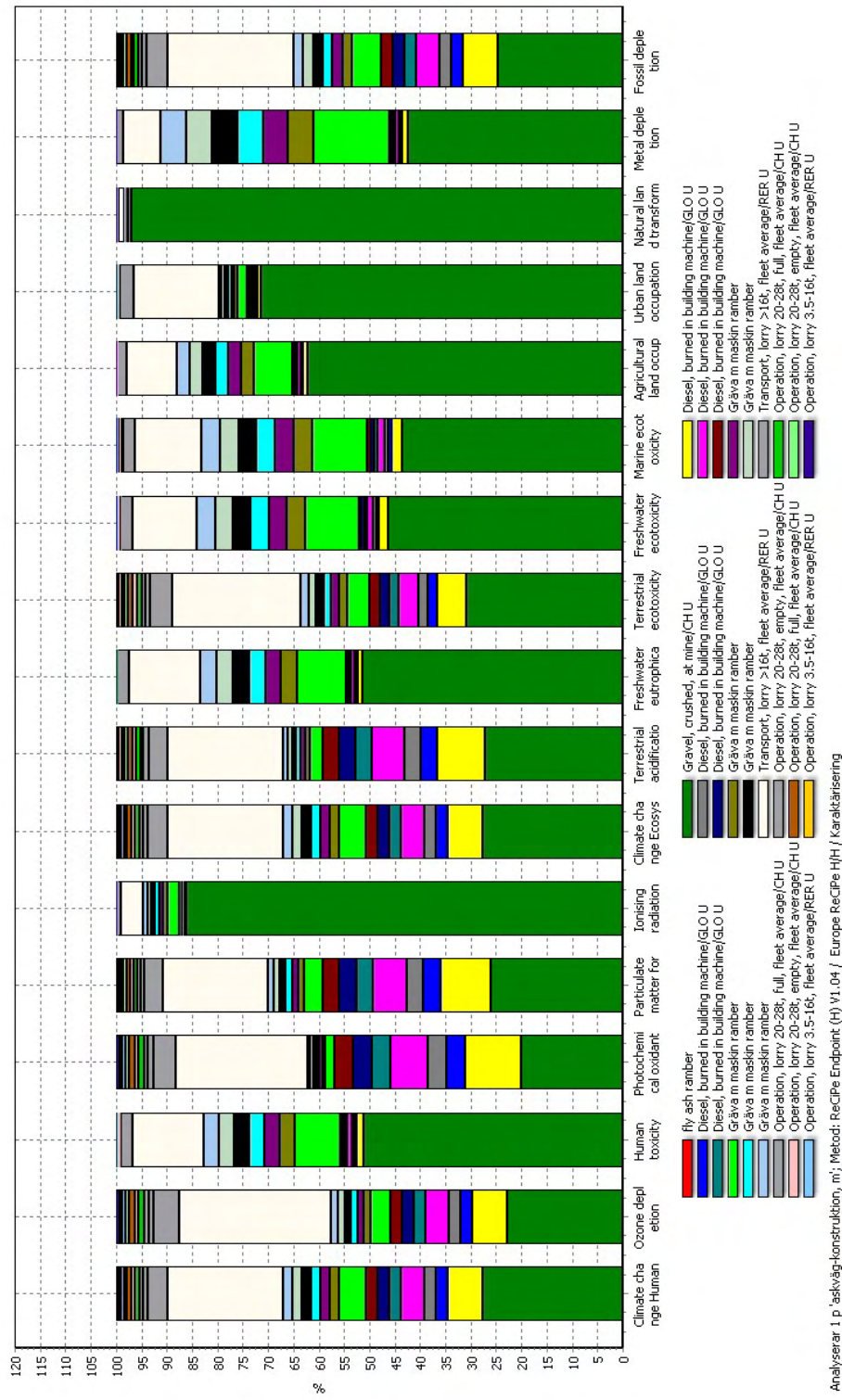
Figur 1 Karaktärisering för aska och grusväg i en jämförelse dem emellan.



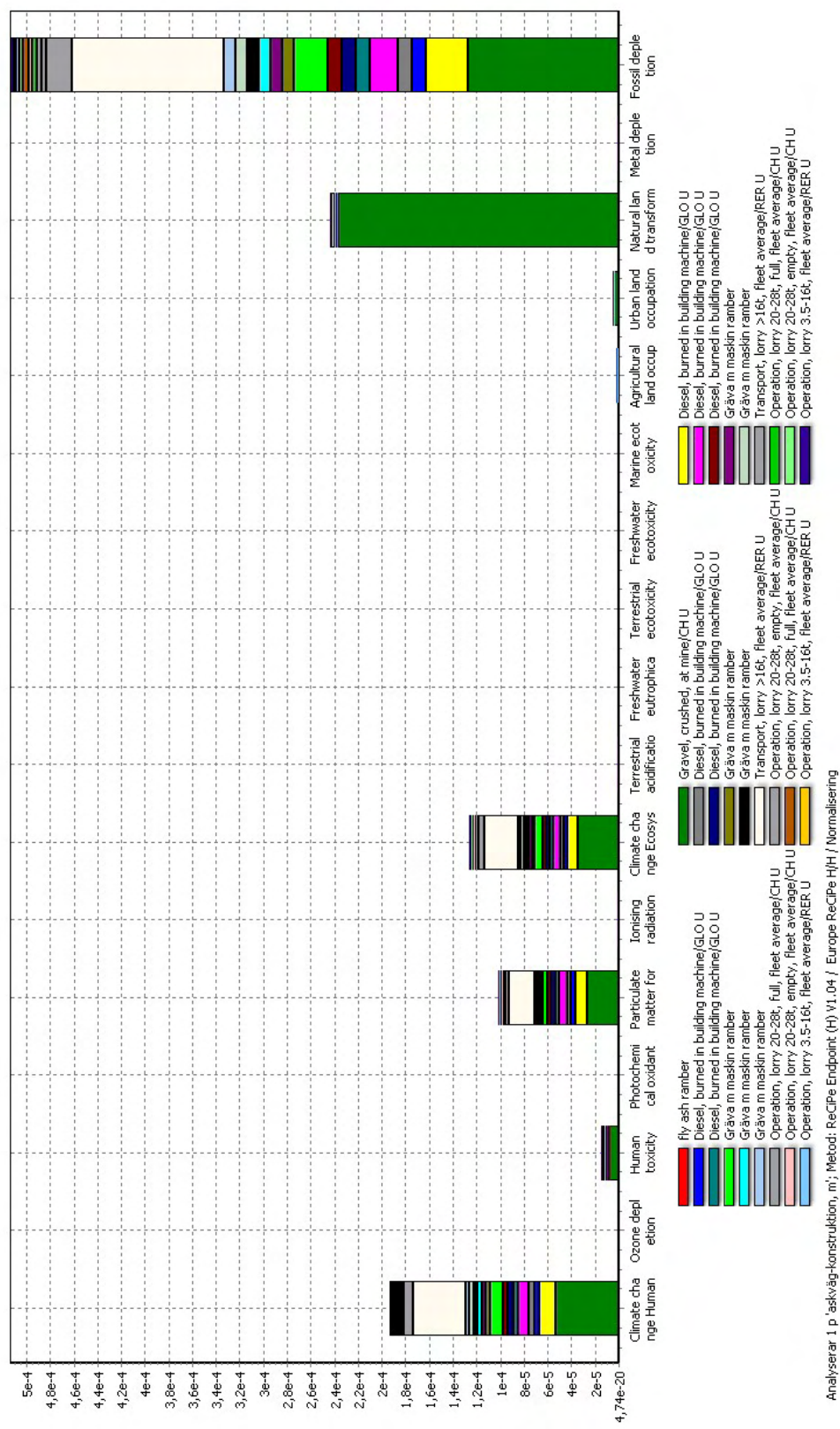
Figur 2 Normalisering för aska och grusväg i en jämförelse.



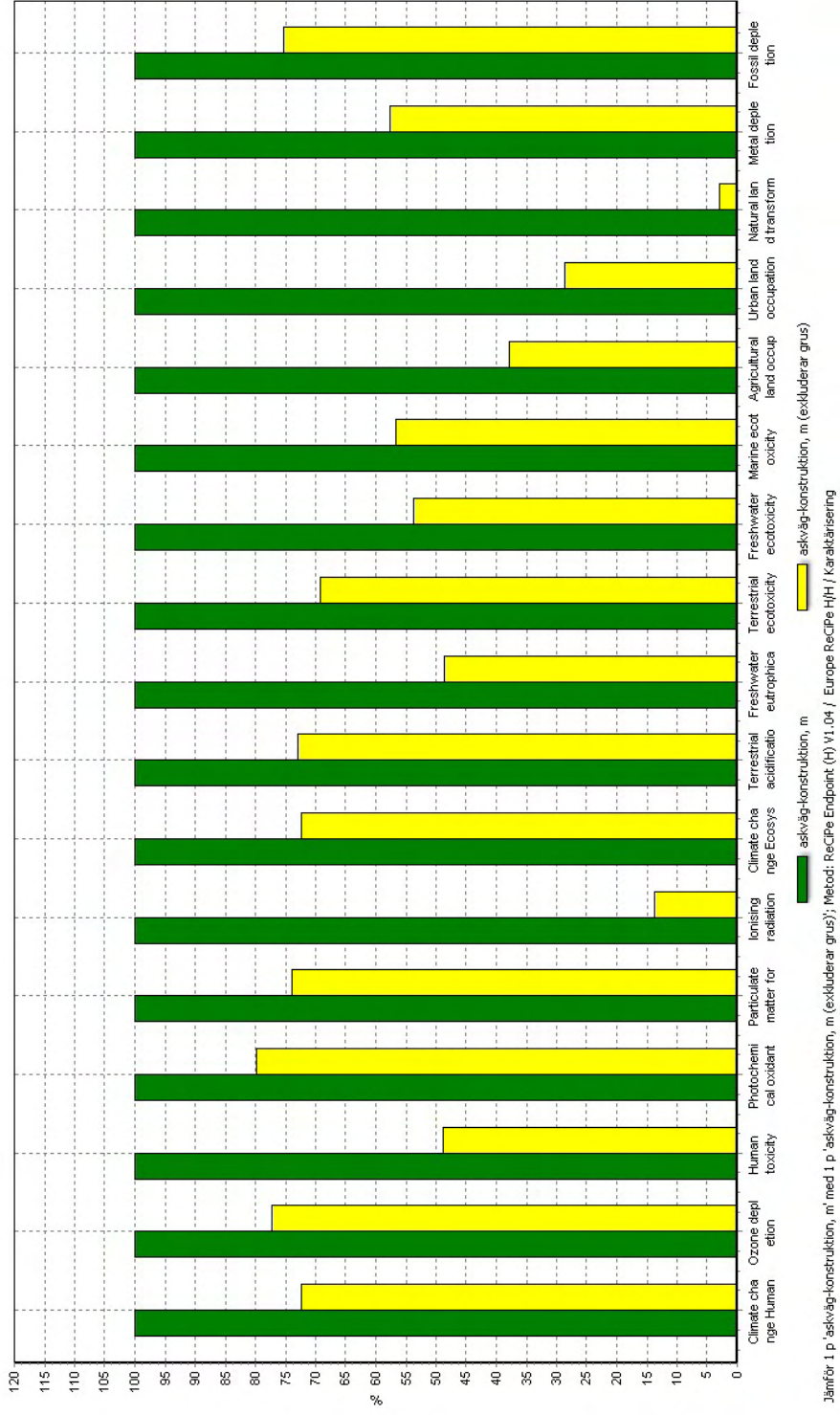
Figur 3 Karaktärisering av askväg. De två delprocesserna (konstruktion och lakning) relativt varandra.



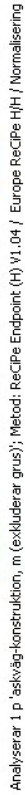
Figur 4 Karaktärisering av askvägens konstruktionsfas.



Figur 5 Normalisering för konstruktionsfasen av askvåg.



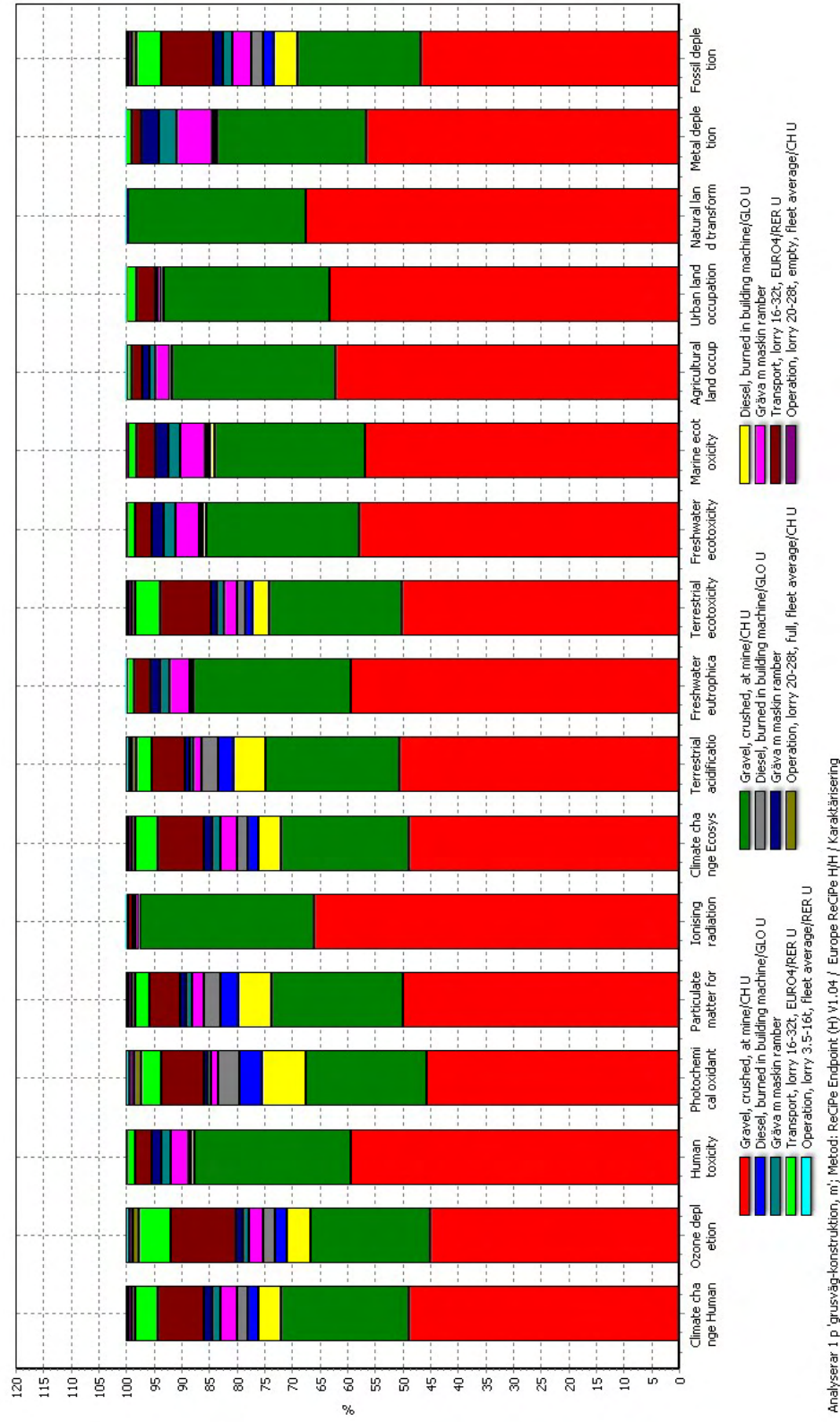
Figur 6 Slitlagergruset har exkluderats från konstruktion av asfält. Jämförelse mellan att inkludera grus (grön stapel) och exkludera gruset (gul stapel).



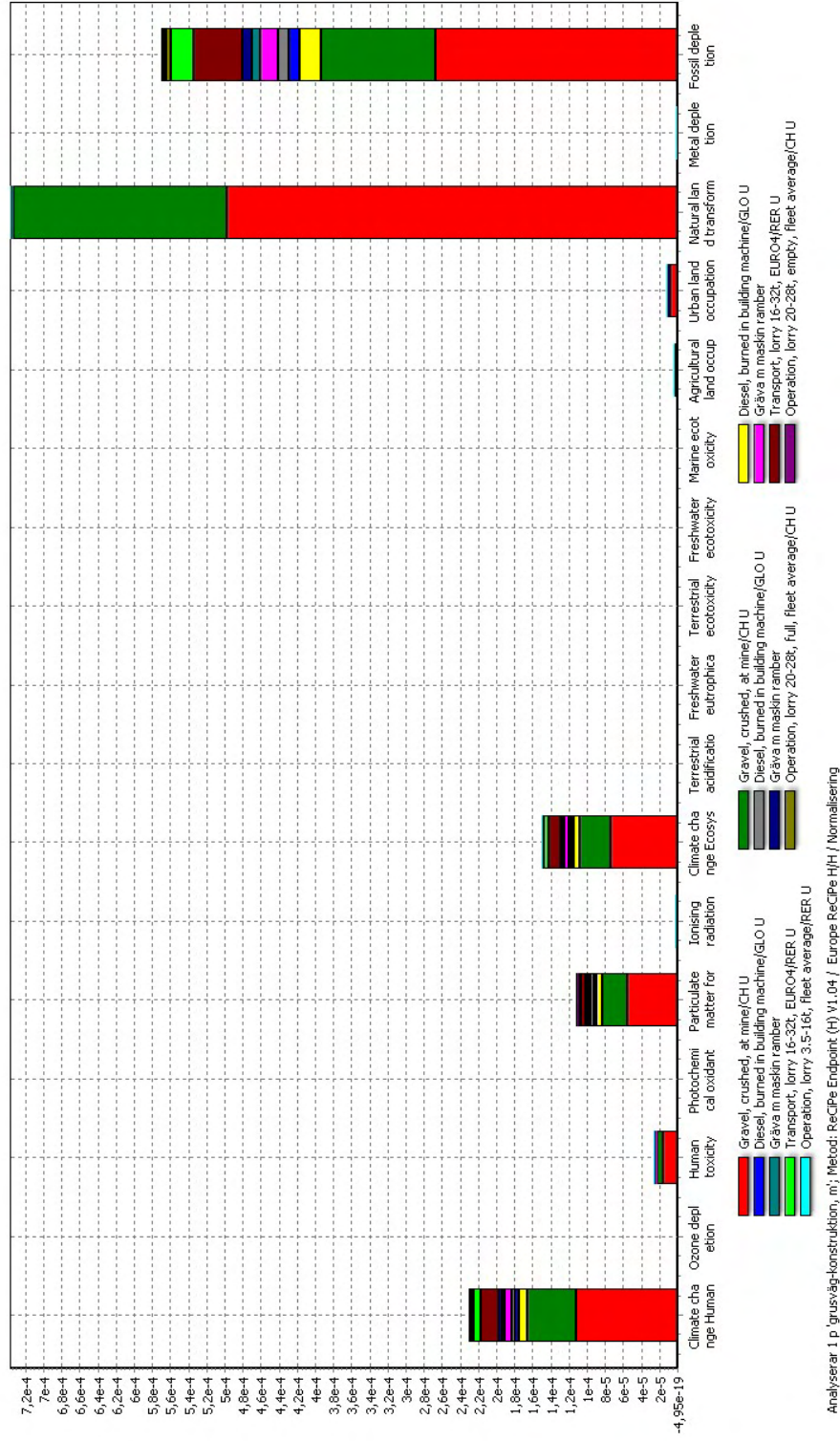
fortfarande är den mest påverkade kategorin.



Figur 8 Karakterisering (grus). Jämförelse mellan konstruktionsfas och användningsfas, där användningen ger ett minimalt bidrag till Mark-ekototoxicitet.



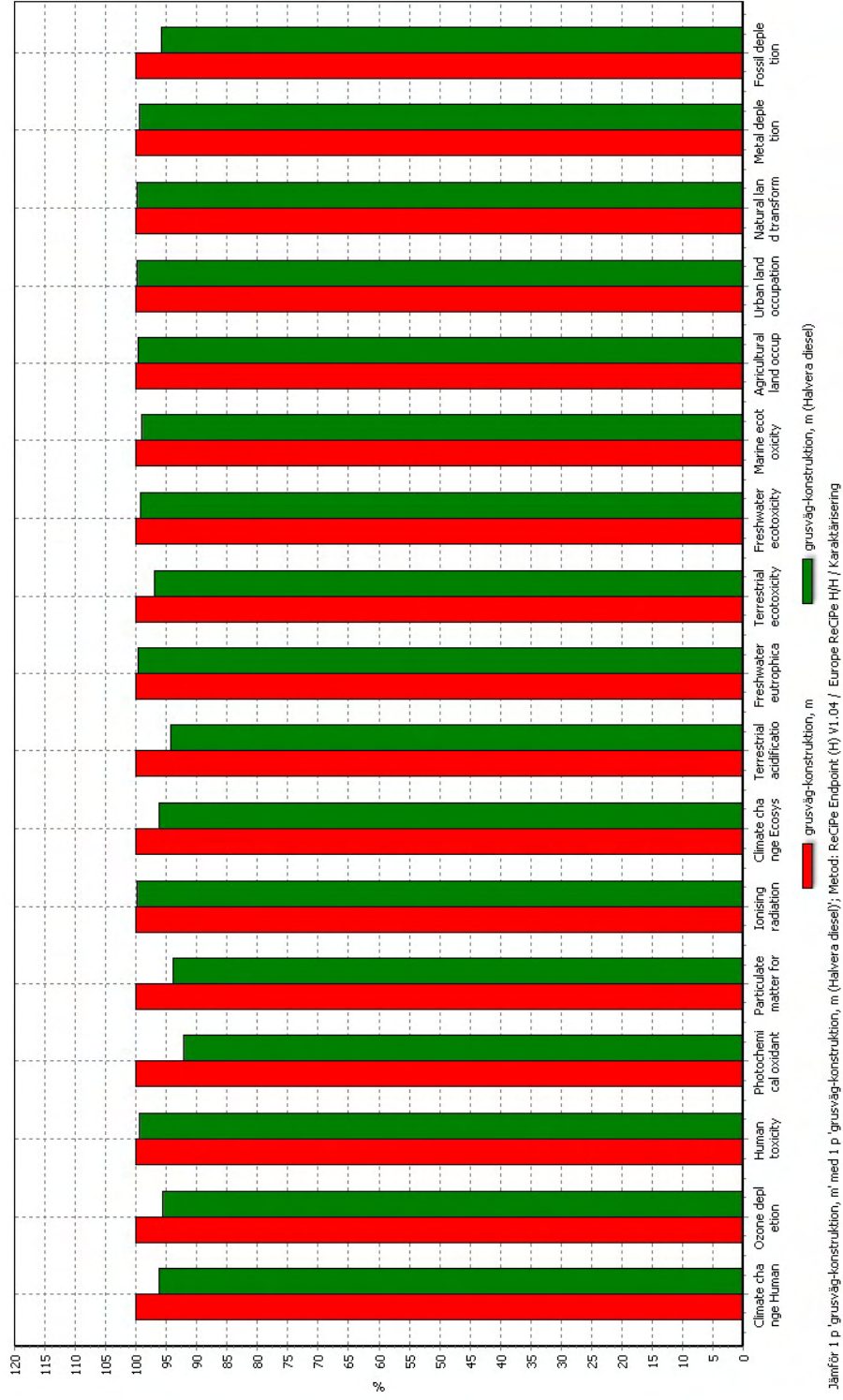
Figur 9 Karaktärisering inom grusvägens konstruktionsfas.



Figur 10 Normalisering inom grusvägens konstruktionsfas.



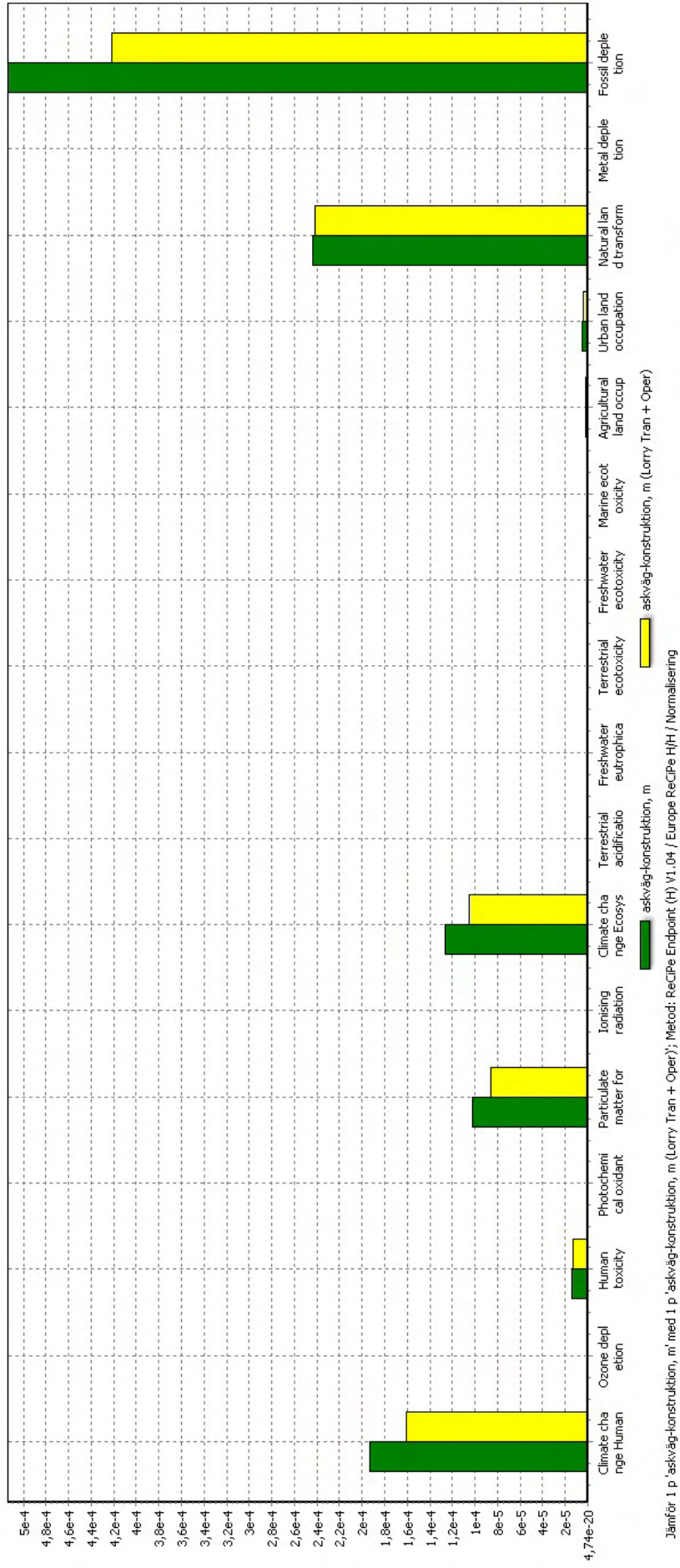
Figur 11 Askväg, jämförelse mellan dieselanvändning i arbetsmaskiner för vägkonstruktionen (0,7 samt 0,35 MJ/m2).



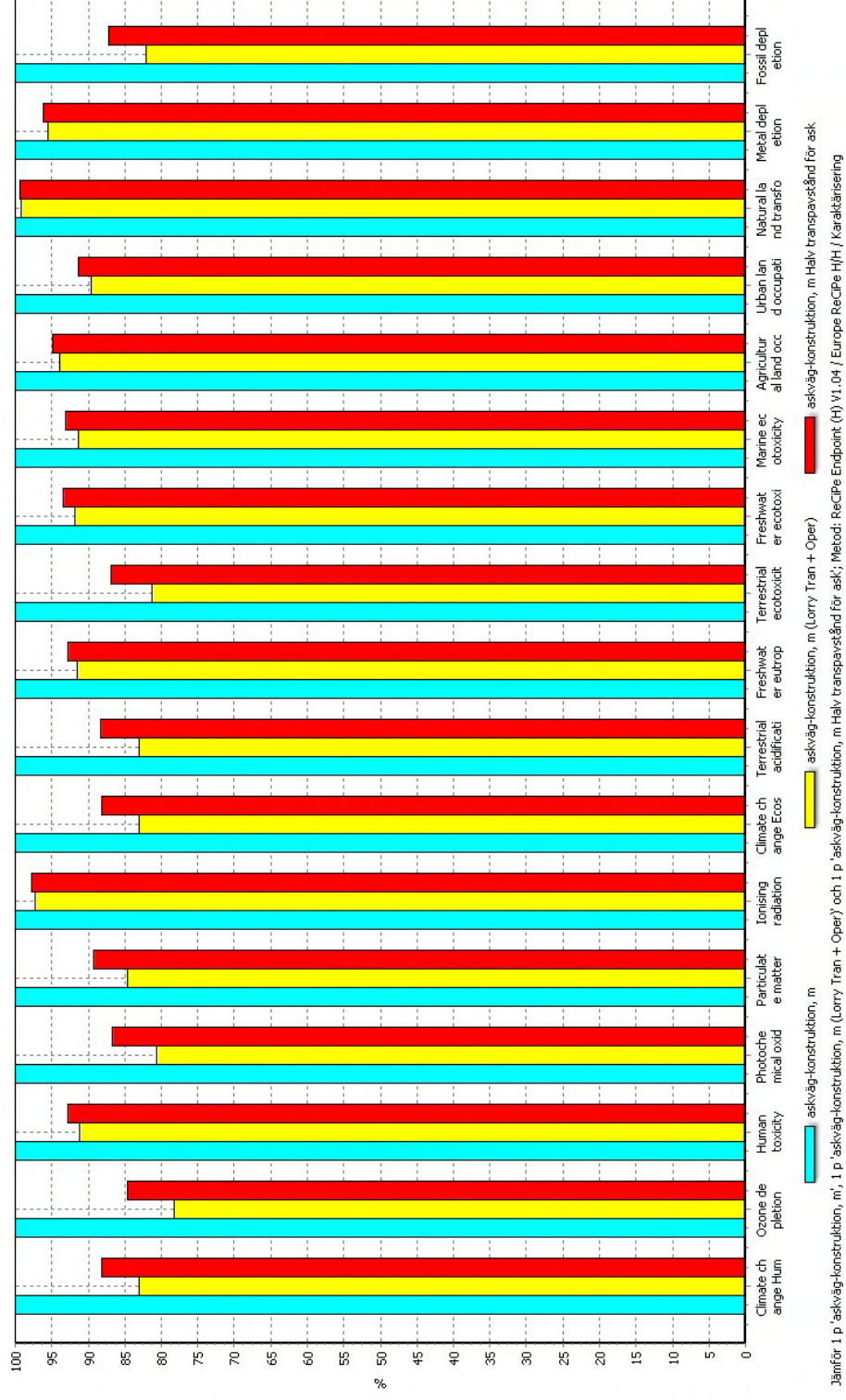
Figur 12 Grusväg, jämförelse mellan dieselanvändning i arbetsmaskiner (0,7 och 0,35 MJ/m2).



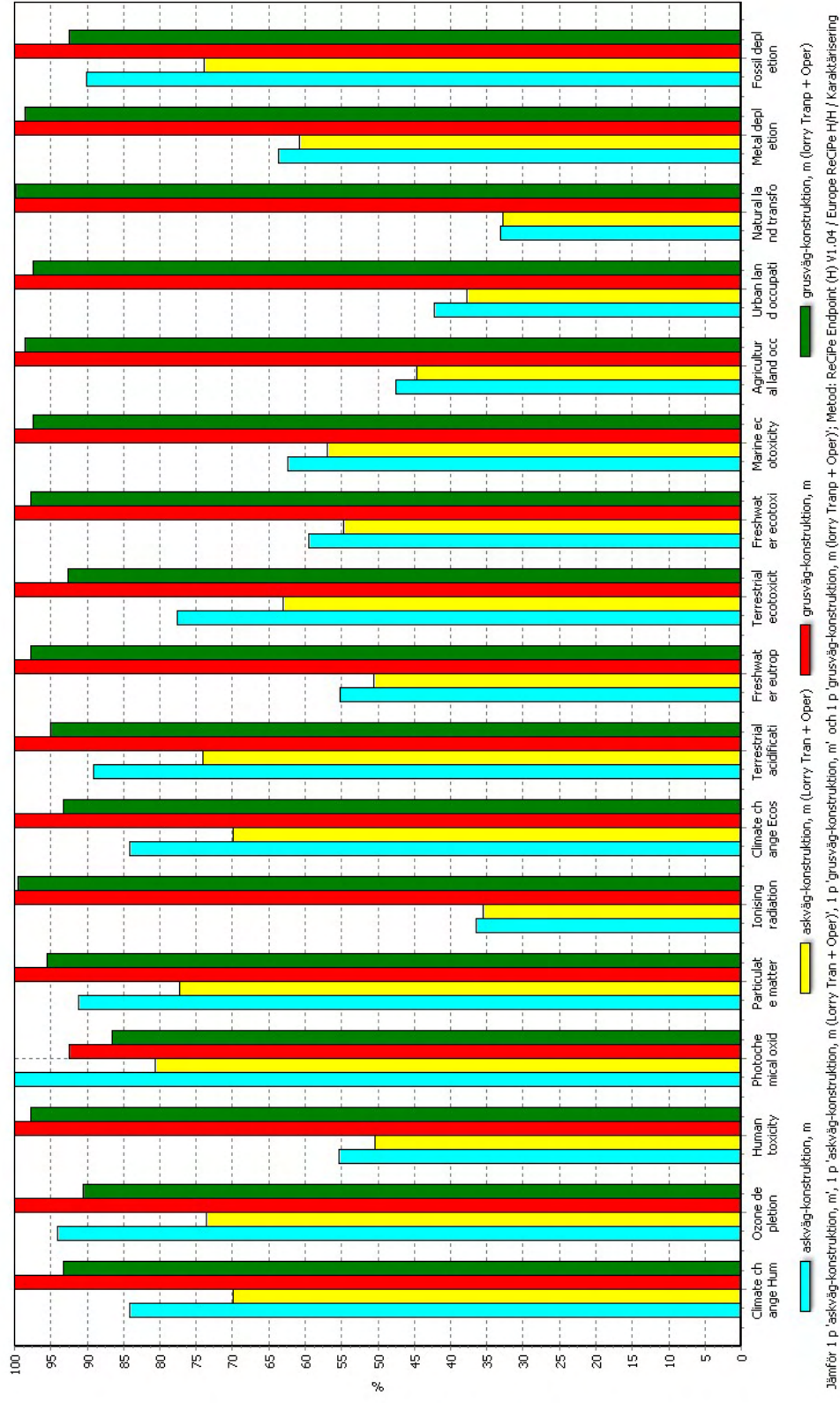
Figur 13 Askväg, jämförelse med halverat transportavstånd för aska och maskiner (karaktärisering).



Figur 14 Askväg, jämförelse med halverat transportavstånd för aska och maskiner. Normalisering mot Europa värden.



Figur 15 Enbart transportavståndet för askan har halverats (röd), och jämförs med normalfallet (blå) samt med alla transporter halverade (gul).



Figur 16 Grusväg (röd), jämförelse med halverat transportavstånd (grön) och halverat transportavstånd (gul).



Jämför 1 p 'askväg-konstruktion, m' med 1 p 'askväg-konstruktion, m (Gravel halverad)'; Metod: ReCiPe Endpoint (H) V1.04 / Europe ReCiPe H(H) / Karaktärisering

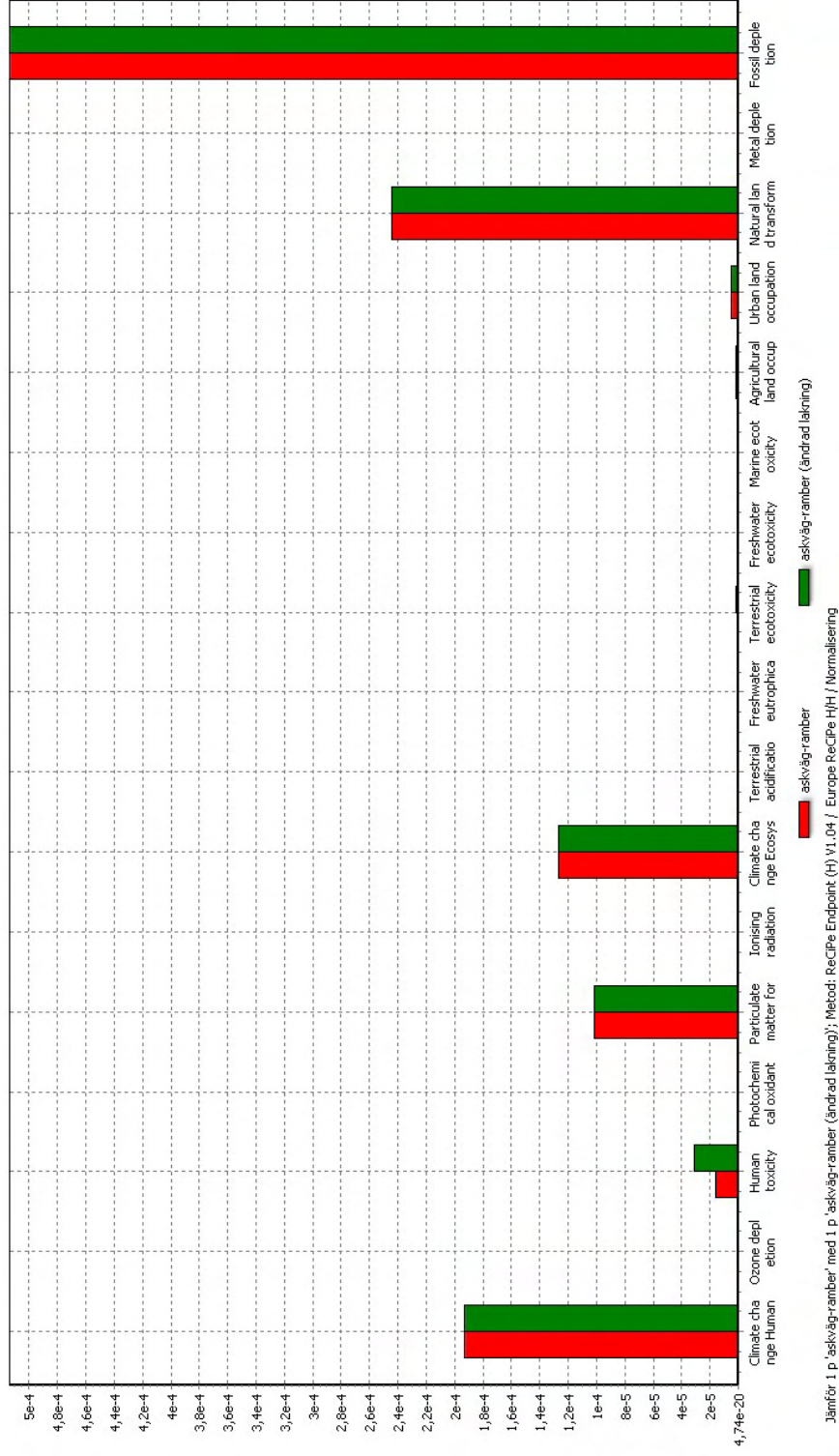
Figur 17 Aska, jämförelse med halverad mängd grus.



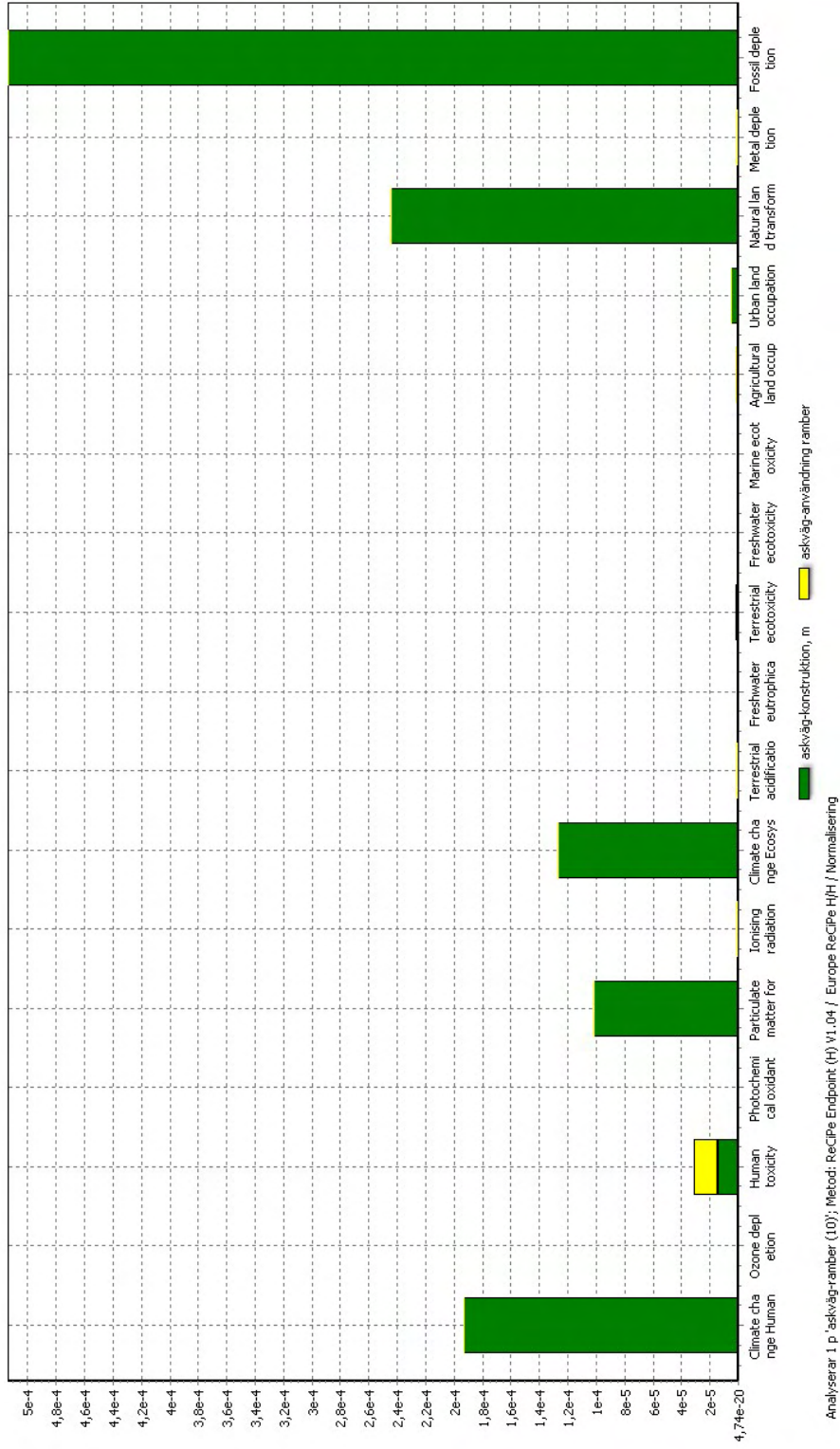
Figur 18 Grusväg, jämförelse med halverad mängd grus.



Figur 19 Karaktärisering över laktningens värde för askväg multiplicerat med 1(röd) och 10 (grön).



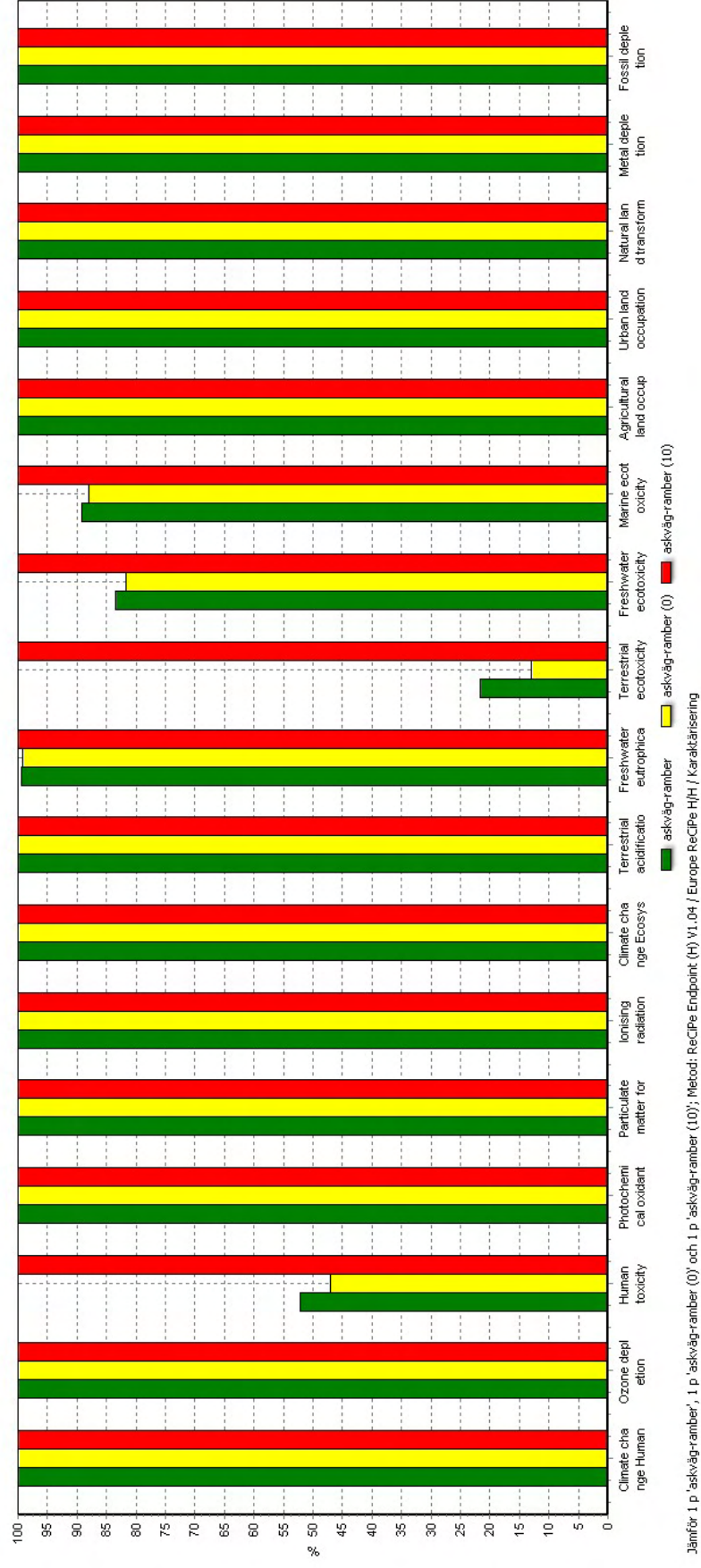
Figur 20 Jämförelse mellan länkning av askväg med värdena multiplicerade med 1 och 10 normaliserat mot Europavärden. Ingen stor skillnad mellan alternativen kan ses.



Figur 21 Figuren visar normalisering för askvägen (Jämförelse med konstruktionsfas samt lakning med faktorn 10).



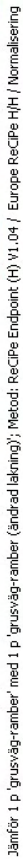
Figur 22 Lagningsvärdet för aska jämförs mellan normalvärdet samt med 0 (ingen lakning). Skillnad syns främst för Mark-ekotoxicitet.



Figur 23 Alla tre lakningsscenarierna för askväg jämförs (karaktärisering). Ordningsföljd för serierna: faktor 1 (grön), faktor 0 (gul), faktor 10 (röd).



Figur 24 Läkning från grusväg med läkningsvärdet multiplicerat med 1 (som normalfall) och 10 för jämförelse. Figuren visar karaktäriseringen.



skillnad mellan alternativen.



Figur 26 Laktionsvärdet jämförs även mellan multiplicering av 1 samt med 0 (ingen laktning). Skillnaden blir minimal.



Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute

SE-581 93 Linköping, Sweden

Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800

Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914

E-mail: sgi@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se