



**Svensk Djupe Stabilisering**  
Swedish Deep Stabilization Research Centre

**Rapport II**

# Miljöeffektbedömning (LCA) för markstabilisering

**Tomas Rydberg**  
**Ronny Andersson**

## **Svensk Djupstabilisering**

Svensk Djupstabilisering (SD) är ett centrum för forskning och utveckling inom djupstabilisering med kalk-cementpelare. Verksamheten syftar till att initiera och bedriva en branschsamordnad forsknings- och utvecklingsverksamhet, som ger säkerhetsmässiga, funktionsmässiga och ekonomiska vinster som tillgodoser svenska intressen hos samhället och industrin. Verksamheten baseras på en FoU-plan för åren 1996 – 2004. Medlemmar är myndigheter, kalk- och cementleverantörer, entreprenörer, konsulter, forskningsinstitut och högskolor.

Verksamheten finansieras av medlemmarna samt genom anslag från Byggforskningsrådet/Formas, Svenska byggbranschens utvecklingsfond och Kommunikationsforskningsberedningen.

Svensk Djupstabilisering har sitt säte vid Statens geotekniska institut (SGI) och leds av en styrgrupp med representanter för medlemmarna.

Ytterligare upplysningar om verksamheten lämnas av SD:s projektledare Göran Holm, tel: 013–20 18 61, 070–521 09 39, fax: 013–20 19 14, e-post: [goran.holm@swedgeo.se](mailto:goran.holm@swedgeo.se), internet: [www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se).

## **Swedish Deep Stabilization Research Centre**

The Swedish Deep Stabilization Research Centre coordinates research and development activities in deep stabilization of soft soils with lime-cement columns. A joint research programme based on the needs stated by the authorities and the industry is being conducted during the period 1996 – 2004. Members of the Centre include authorities, lime and cement manufacturers, contractors, consultants, research institutes and universities.

The work of the Swedish Deep Stabilization Research Centre is financed by its members and by research grants.

The Swedish Deep Stabilization Research Centre is located at the Swedish Geotechnical Institute and has a Steering Committee with representatives chosen from among its members.

Further information on the Swedish Deep Stabilization Research Centre can be obtained from the Project Manager, Mr G Holm, tel: +46 13 20 18 61, +46 70 521 09 39, fax: +46 13 20 19 14, e-mail: [goran.holm@swedgeo.se](mailto:goran.holm@swedgeo.se), internet: [www.swedgeo.se](http://www.swedgeo.se).



**Svensk Djupstabilisering**  
Swedish Deep Stabilization Research Centre

## **Rapport 11**

# Miljöeffektbedömning (LCA) för markstabilisering

Tomas Rydberg  
CIT Ekologik AB

Ronny Andersson  
Cementa AB

Linköping 2003

<b>Rapport</b>	Svensk Djupstabilisering c/o Statens geotekniska institut 581 93 Linköping
Beställning	Tel: 013-20 18 42 Fax: 013-20 19 14 E-post: birgitta.sahlin@swedgeo.se
Nerladdning pdf-fil	<a href="http://www.swedgeo.se/sd">www.swedgeo.se/sd</a>
ISSN	1402-2036
ISRN	SD-R--02/11--SE

# Förord

Djupstabilisering är en svensk teknik som under de senaste 25 åren använts geotekniskt i stor omfattning eftersom det är en mycket ekonomisk och effektiv metod främst i leror. Denna metod och andra former av markstabilisering innebär en uppgradering av existerande material, istället för utskiftning av jordmassor och tillförsel av nytt material. Byggsektorns kretsloppsråd har nyligen i en rapport angett att detta kan ge stora miljömässiga fördelar.

Denna rapport har haft som syfte att med livscykelanalysmetodik kartlägga och deklarerat metoder och material för djupstabilisering med kalk- cementpelare, masstabilisering samt terrasstabilisering så att deras miljöpåverkan kan kvantifieras och värderas vid val av teknisk lösning. Arbetet baserar sig på tre projekt som tagits fram i samarbete med Peter Ekdahl, Scandiaconsult Teknik, Per Lindh, SGI, samt Mats Olsson och Nenad Jelusic från Vägverket. I det tekniska underlagsarbetet är vi även tacksamma för den hjälp vi fått av Magnus Karlsson, Banverket, och Göran Holm, SGI.

Metodiken för LCA är väletablerad men också formellt mycket styrd varför en sådan här rapport kan bli svårläst. Vi hoppas dock att arbetet ska kunna vara vägledande för ett fortsatt arbete med livscykelanalyser inom vägbyggnad och geoteknik framöver. I rapporten ger vi exempel på delar som bör utredas vidare. Samtidigt är det också vår förhoppning att de generella resultaten ska göra det möjligt att, mer konkret än tidigare, redan nu kunna värdera miljöpåverkan av markstabilisering.

December 2002

Författarna



# Innehåll

## Förord

## Sammanfattning och slutsatser ..... 7

<b>1. Inledning</b> .....	12
1.1 Bakgrund .....	12
1.2 Livscykelanalys (LCA) .....	13
<b>2. Mål och omfattning – generell beskrivning</b> .....	15
2.1 Syfte .....	15
2.2 Studerad produkt .....	15
2.3 Studerat system och avgränsningar .....	16
2.4 Använda data och datakvalitet .....	17
2.5 Miljöpåverkansbedömning .....	22
<b>3. Terrasstabilisering</b> .....	24
3.1 Teknisk beskrivning .....	24
3.2 Beräkningsfall samt indata .....	24
3.3 Resultat – terrasstablisering .....	28
3.3.1 Inventeringsresultat .....	28
3.3.2 Miljöeffekter – karakteriseringsresultat .....	29
3.3.3 Miljöeffekter – värderingsresultat .....	32
3.4 Miljöeffekter, kalkylfall 2 – jämförelse med ursprunglig terrass .....	33
3.5 Allmänna slutsatser – terrasstablisering .....	34
<b>4. Masstablisering</b> .....	36
4.1 Teknisk beskrivning .....	36
4.2 Beräkningsfall samt indata .....	37
4.3 Resultat – masstablisering .....	38
4.3.1 Inventeringsresultat .....	38
4.3.2 Karakteriseringsresultat – masstablisering .....	39
4.3.3 Värderingsresultat – masstablisering .....	41
4.4 Masstablisering jämfört med utskiftning .....	41
4.5 Allmänna slutsatser – masstablisering .....	43

<b>5.</b>	<b>Djupstabilisering med kalk- cementpelare</b> .....	44
5.1	Teknisk beskrivning .....	44
5.2	Beräkningsfall samt indata .....	44
5.3	Resultat djupstabilisering med kalk- cementpelare .....	45
5.3.1	Inventeringsresultat .....	45
5.3.2	Karakterisering av utsläpp .....	47
5.3.3	Värderingsresultat .....	47
5.4	Jämförelse djupstabilisering med lättfyllnadsalternativ .....	49
5.4.1	Gemensamma förutsättningar .....	49
5.4.2	Indata EPS cellplast .....	50
5.4.3	Indata lös lättklinker .....	51
5.4.4	Resultat .....	52
5.5	Allmänna slutsatser – djupstabilisering med kalk- cementpelare .....	55
<b>6</b>	<b>Avslutande diskussion och förslag till fortsatt arbete</b> .....	56
	<b>Referenser</b> .....	58
	<b>Bilaga 1</b> – Underlagsdata terrasstabilisering .....	61
	<b>Bilaga 2</b> – Underlagsdata djupstabilisering med kalk- cementpelare .....	67
	<b>Bilaga 3</b> – Effekt av terrasstabilisering .....	73
	<b>Bilaga 4</b> – Sätt att miljövärdera lösa material .....	81
	<b>Bilaga 5</b> – Resultat i tabellform .....	83



# Sammanfattning och slutsatser

En viktig miljöaspekt för anläggningssektorn är den omfattande användningen av material och transporter av dessa materialmängder. I en rapport från Byggssektorns kretsloppsrad (ByKR) uttrycks detta bland annat som ”Uppgradering av existerande material i anläggningssektorn, istället för utskiftning av jordmassor och tillförsel av nytt material kan ge stora miljömässiga fördelar”.

Markstabilisering är ett samlingsnamn på flera tekniker som använder befintliga jordar i väg- och järnvägskonstruktioner genom att man tillsätter bindemedel till befintligt markmaterial. Denna rapport har som huvudsakliga syfte att med livscykelanalysmetodik (LCA) kartlägga och deklarerar metoder och material för de olika markstabiliseringsfallen så att även metodernas miljöpåverkan kan värderas vid val av lösning. De tre stabiliseringsmetoder som undersökts i denna rapport är:

- 1) Terrasstabilisering, med 100 % cement
- 2) Masstabilisering, med 50 % cement och 50 % granulerad finmald masugns-slagg
- 3) Djupstabilisering med kalk- cementpelare med 50 % cement och 50 % bränd kalk

Studerad väg är 1 km med två vägbanor om vardera 11,25 m dimensionerad för 9 miljoner ekvivalenta standardaxlar enligt ATB VÄG. Detta motsvarar en motorväg med referenshastigheten 110 km/h. Studien avser 40 år och omfattar därför också de förväntade underhålls- och rekonstruktionsåtgärder som krävs i detta tidsperspektiv. Inverkan av transporter har speciellt studerats genom att både transportavstånd vid ett s.k. normalfall och transportavstånd vid betydligt kortare avstånd analyserats.

Miljöpåverkan har kvantifierats och värderats genom EPS- och ET-metoden samt utifrån miljöpåverkanskategorierna resurser (främst energi), klimatförändringar (uttryckt som global warming potentials – GWP), fotokemiska oxidanter

(oxidantbildning), utsläpp av försurande gaser (försurning) samt eutrofiering (övergödning).

## **Terrasstabilisering**

Terrasstabilisering är en internationellt mycket använd metod som används i begränsad omfattning i Sverige. Det är en metod som ger ökad kvalitet i överbyggnaden. Användbarheten i olika applikationer har bland annat visats vid nyligen genomförda projekt vid Yttre Ringvägen i Malmö samt på Sturups flygplats.

I denna rapport studerades en terrass med en skånsk lös lermorän. Speciellt undersöktes miljöpåverkan vid terrasstabilisering respektive utskiftning.

Resultaten visar framför allt att såväl terrasstabilisering som utskiftning har miljöfördelar i det genomgångna projektet, jämfört med att inte förstärka undergrunden alls. Orsaken till detta är främst att vid förstärkt undergrund behövs mindre omfattande underhålls- och rekonstruktionsarbeten. Dessutom framgår att det är miljömässigt mycket viktigt att hålla nere den totala mängden transporter, dvs. såväl vad gäller materialmängder som avstånd.

Totalt står utskiftningen respektive stabiliseringen bara för ca 5–10 % av den studerade vägens miljöpåverkan. De skillnader som framkommit mellan utskiftning och stabilisering har alltså en begränsad betydelse på vägens totala miljöpåverkan och alternativet är därför i detta perspektiv i stort sett likvärdiga.

Vid en jämförelse av enbart utskiftningen och stabiliseringen för det studerade referensfallet med normala transportavstånd framstår stabiliseringsalternativet som fördelaktigt. Den för stabiliseringsfallet ökade miljöpåverkan som produktion och transport av bindemedlet ger upphov till uppvägs gott och väl av miljövinsten som fås av ett minskat behov av transporter av obundna material.

För ett alternativt kalkylfall med minimerade transporter och att alla massor och material används i samma projekt var skillnaden mellan utskiftning och stabilisering försumbar.

Rapporten visar tydligt att underhålls- och rekonstruktionsaspekterna måste tas med i livscykelanalysen för att miljökonsekvenserna knutna till ett vägprojekt ska bedömas på ett riktigt sätt.

## **Masstabilisering**

Masstabilisering är en svensk/finsk metod som de senaste 5–10 åren framgångsrikt använts vid vägbyggnad på riktigt dåliga marker med organisk jord, t.ex. torv. Metoden har också stor användning för att behandla muddermassor, både genom stabilisering och solidifiering, dvs. binda miljömässigt oönskade ämnen. Ett exempel på detta är den vid Hammarby Sjöstad nyligen genomförda stabiliseringen av sediment utanför stranden vid Luma-fabriken.

Ett av Vägverket genomfört projekt har använts som underlag för beräkningarna. Resultaten visar att stabiliseringen, (bindemedel, transporter och arbete) står för en relativt stor del av den totala miljöpåverkan.

I varje projekt är resultatet dock beroende av projektets specifika förutsättningar. Faktorer som har stor påverkan på resultatet är bl.a. typ och mängd bindemedel, stabiliseringsvolym samt transporter.

Ett enskilt allmängiltigt val av en jämförande teknisk lösning har inte varit möjligt att ta fram inom detta projekt. En omfattande utskiftning som diskuterades som en alternativ lösning i det faktiskt genomförda projektet har använts för att illustrera metodiken. Resultatet av gjorda beräkningar är att masstabiliseringen i denna jämförelse är det klart bästa alternativet för miljön.

De jordar som masstabiliseras innehåller ibland olika former av oönskade ämnen t.ex. i muddermassor, sulfidleror och förorenad jord. Stabiliseringen innebär också en solidifiering. Därför kan alternativa metoder ”belastas” av ökade miljökostnader genom att andra åtgärder krävs för att omhänderta dessa oönskade ämnen. Effekten av detta kan ha stor betydelse för valet av metod. I den gjorda studien har detta inte beaktats för utskiftningen.

## **Djupstabilisering**

Djupstabilisering med kalk-cementpelare är en metod som under de senaste 25 åren använts i stor omfattning eftersom det är en mycket tekniskt och ekonomiskt effektiv metod främst i olika leror.

Resultaten från undersökningen visar att själva stabiliseringen står för en betydande del av den totala miljöpåverkan.

En jämförelse har också gjorts med lättfyllnadsmaterial för bankbyggnad som alternativ till djupstabilisering med kalk-cementpelare. Resultatet från denna

jämförelse visar att djupstabilisering entydigt är det miljömässigt bästa alternativet.

Miljömässigt optimerar rapporten inte de olika variablerna. Till exempel optimeras inte de olika tekniska lösningarna avseende utformning, tjocklekar m.m. Inte heller optimeras typ och mängd av bindemedel för varje metod, även om de olika materialen och kombinationer av material är olika effektiva i olika jordar. De kombinationer av cement, bränd kalk och slagg (Merit 5000) som idag av tekniska, ekonomiska och miljömässiga skäl generellt bedöms vara mest användbara har valts i de olika fallen. Det miljömässigt bästa alternativet av de tre bindemedlen beror förutom på deras tekniska egenskaper även av andra faktorer såsom erforderlig mängd och transportavstånd mellan depå och arbetsplats. Eftersom bindemedlen är olika tillgängliga över landet kommer projektets geografiska plats att ha betydelse.

Miljöpåverkan relaterad till transporter av bortfört och tillfört material står för en stor del av den totala miljöpåverkan i de studerade systemen. För den samlade miljöpåverkan är det därför viktigt att hålla nere transportererna så långt möjligt. Eftersom transportbehovet är nära kopplat till materialmängderna, är det alltså gynnsamt med lösningar som håller nere totala materialflödesmängderna.

Vid stabiliseringsmetoderna och lättfyllnadsalternativen utgör, förutom ovan nämna faktorer, även de använda tillverkade materialen (bindemedlen, cellplast samt lös lättklinker) en stor del av den totala miljöpåverkan.

### **Vidare arbete**

Exempel på effekter som inte behandlats i studien är toxicitet, ekotoxicitet, markanvändning, färskvattenförbrukning och påverkan på biologisk mångfald. Detta är således aspekter som skulle behöva studeras lite närmare. Markanvändning bland annat kopplat till deponier är en sådan.

Som omnämnts i samband med masstabilisering kan det vara så att de ytliga jordlagren är förorenade, eller naturligt innehåller ämnen som med fördel binds genom en stabilisering (solidifieras). Detta gäller såväl ytlager på land som muddermassor. Vid såväl solidifiering som urgrävning är alltså normalt också den vidare hanteringen av sådana jordar viktig. Allt ifrån ingen åtgärd till deponering hos t.ex. Sakab kan vara aktuell. Betydelsen av detta föreslås också vara värt att studera närmare.

En fråga som aktualiserats är om material bör bära med sig ett inneboende resursvärde i den här typen av studier. För anläggningssektorn är bland annat frågan om lämplighet och möjlighet att använda naturgrus eller inte kopplad till denna typ av resonemang. Detta är en fråga som vore intressant att studera vidare. I föreliggande arbete återfinns ett inledande resonemang i bilaga 4.

Vi har i studien visat på möjligheten att använda LCA som en del i beslutsunderlaget i samband med val av teknisk lösning för anläggning av väg, med huvudsakligt fokus på stabilisering och lättfyllning som ett sätt att förstärka undergrunden. I arbetet har vi dock bara behandlat ett begränsat urval av geotekniska metoder och en naturlig fortsättning på arbetet kan alltså vara en motsvarande genomgång av fler metoder.

# 1. Inledning

## 1.1 BAKGRUND

Miljömässiga överväganden spelar numera stor roll i samband med att beslut ska tas om, och hur, olika objekt ska byggas.

Byggsektorns kretsloppsråd (ByKR)(2001) kartlade nyligen miljöaspekterna i den svenska byggsektorn och pekade ut de mest signifikanta aspekterna. I rapporten visades att anläggningssektorn använder 38 % av den samlade materialmängden som används i Sverige (7600 kg/invånare per år). Siffran för husbyggnadssektorn var 4 %. Det är därför knappast förvånande att två viktiga miljöaspekter för anläggningssektorn är den omfattande användningen av material respektive transportererna av dessa materialmängder. I ByKR-rapporten uttrycks detta på så sätt att ”Uppgradering av existerande material i anläggningssektorn, istället för utskiftning av jordmassor och tillförseln av nytt material kan ge stora miljömässiga fördelar.” ByKR anger även att användningen av kemiska hälso- och miljöfarliga produkter samt miljöpåverkan under användningsfasen har bedömts varade två övriga viktiga aspekterna för anläggningssektorn.

Markstabilisering är ett samlingsnamn på flera tekniker som använder befintliga jordar i väg- och järnvägskonstruktioner genom att man tillsätter bindemedel i befintligt markmaterial. Därigenom möjliggörs bygg- och anläggningsarbete på, och med jord, som annars inte hade kunnat användas, det vill säga jord som i annat fall skulle ha tagits bort och ersatts av andra material. Beslut om stabilisering eller inte tas idag inte utifrån miljöaspekter utan vanligen enbart baserade på ekonomi, tillgång till utrustning, krav i ATB VÄG och kunskap om alternativen.

Denna rapport har som huvudsakliga syfte att med livscykelanalysmetodik kartlägga och deklarerar metoder och material för olika markstabiliseringsfall, så att även metodernas miljöpåverkan kan vägas in vid val av lösning. De tre stabiliseringsmetoder som undersökts i denna rapport är:

- Terrasstabilisering
- Masstabilisering
- Djupstabilisering med kalk- cementpelare

De bindemedel som ingår i studien är cement, bränd kalk och granulerad, finmald masugnsslagg (i detta fall Merit 5000).

Varje projekt har sina förutsättningar. Därför varierar alternativen till de tre stabiliseringsmetoderna. I den här studien har vi dock jämfört markstabilisering med de vanligaste alternativa teknikerna.

Förutom rapportens huvudförfattare har även följande personer bidragit med värdefull information, se även bilaga 1–3:

*Per Lindh*, Statens geotekniska institut, terrasstabilisering

*Nenad Jelusic*, Vägverket Region Mitt, masstabilisering

*Mats Olsson*, Vägverket Region Väst, djupstabilisering med kalk- cementpelare samt lättfyllnadsalternativ

*Peter Ekdahl*, Scandiaconsult Teknik Malmö, dimensionering av vägöverbyggnad.

## 1.2 LIVSCYKELANALYS (LCA)

Livscykelanalys (LCA) är en metod som kartlägger den potentiella miljöbelastning som orsakas av en produkt (tjänst, material m.m.) under dess livslängd. Genom att följa produkten och dess material ”från vaggan till graven” kartläggs resursförbrukning samt utsläpp till luft, vatten och mark för de olika delarna av livscykeln.

Det finns en ISO-standard i en serie dokument (ISO 14040-3) som utgör norm för utförandet av LCA-studier. Den här utförda studien följer huvuddragen i ISO-standarderna. I en LCA enligt ISO ingår fyra obligatoriska delsteg:

- definition av mål och omfattning
- inventeringsanalys
- miljöpåverkansbedömning
- tolkning av resultat.

I definition av mål och omfattning ska syftet med studien anges, hur resultatet ska användas och skälen till varför studien utförs. En utförlig beskrivning av det

undersökta systemet ska finnas med, i vilken systemets funktion, gränsdragningar och antaganden ska beskrivas och motiveras. En räknebas för studien, funktionell enhet, definieras i inventeringsanalysen till vilken resursförbrukning och emissioner kan relateras. I miljöpåverkansbedömningen beräknas och åskådliggörs den miljöpåverkan som det undersökta systemet ger upphov till. I det sista delsteget, tolkning av resultat, analyseras resultaten från inventeringsanalysen och miljöpåverkansbedömningen mot bakgrund av det som stadgats i definitionen av mål och omfattning.

I ISO-standarden rekommenderas även att man låter genomföra en tredjepartsgranskning av LCA-studier, särskilt då syftet med en studie är att jämföra produkter miljömässigt.

Underhandsversioner av rapporten har i olika omgångar cirkulerat på remiss till SD:s teknikstödgrupp, SD:s styrgrupp samt till de i avsnitt 1.1 omnämnda personerna, vilket har tjänat syftet som granskning och har lett till god genomlysning av beräknade alternativ.

Det finns även sedan tidigare exempel på LCA studier inom delar av anläggningsområdet, se t ex Gillberg m.fl. (1999), Stripple (1995), Häkkinen & Mäkelä (1996) och Svingby & Båtelsson (1999). Den här studien är dock betydligt mer utförlig vad avser olika alternativa tekniker inom anläggning med markstabilisering.



## 2. Mål och omfattning – generell beskrivning

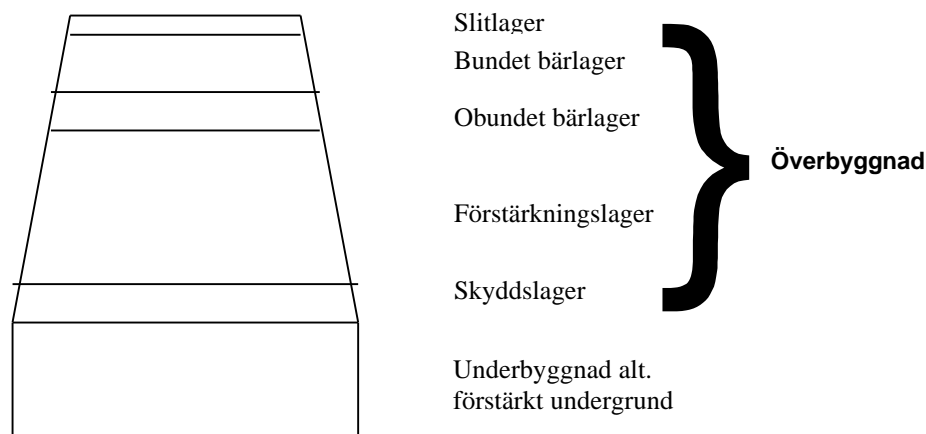
### 2.1 SYFTE

Rapportens huvudsyfte är att lyfta fram LCA som en användbar metod att bedöma anläggningsprojekts miljöpåverkan, vilket illustrerats med ett antal beräkningsfall. Eftersom varje anläggningsprojekt är unikt, ska man vara försiktig med att generalisera rapportens slutsatser till allmängiltiga slutsatser om olika anläggningsmetoders miljöpåverkan relativt varandra.

### 2.2 STUDERAD PRODUKT

Vägen som använts som kalkylväg är en väg med 2 körbanor om 11,25 m vardera, dimensionerad för 9 miljoner ekvivalenta standardaxlar enligt ATB VÄG.

De olika lagren i väggroppen som omfattas av kalkylen för de två fallen framgår schematiskt av figur 2.1. Se bilaga 3 för ytterligare detaljer.



Figur 2.1. Schematisk figur beskrivande de olika skikten i de kalkylerade fallen.

Som framgår av figur 2.1 är lagren olika såväl till tjocklek (djup) som bredd, eftersom de obundna lagren dimensioneras med hänsyn till slänter. De aktuella måtten som använts i denna studie för kalkyler av miljöpåverkan framgår under respektive stabiliseringsmetods avsnitt.

Ingen hänsyn har tagits till att vägrenarna har tunnare bundna lager, dvs. vi har förenklat vår studie och antagit att överbyggnaden över hela vägens bredd är densamma.

Den funktionella enheten för studien kan formuleras som ”en vägsträcka om 1 km med två vägbanor om vardera 11,25 m dimensionerad för 9 miljoner ekvivalenta standardaxlar enligt ATB VÄG samt underhållen och rekonstruerad under 40 år”.

### **2.3 STUDERAT SYSTEM OCH AVGRÄNSNINGAR**

De jämförande beräkningarna har gjorts i ett livscykelperspektiv, det vill säga, aktiviteter alltifrån produktion och transporter av bindemedel (i förekommande fall), makadam och bitumen, vägbyggnation, vägunderhåll och vägrekonstruktion har inkluderats.

#### **Användningstidens slut**

I den här studien har inget ”end-of-life”-scenarie formulerats. De studerade systemens slutaktivitet är rekonstruktion. Man kan formulera det som att det i den här studien antas att alternativen är tekniskt likvärdiga efter den rekonstruktion som görs vid 40 år. Det innebär ett antagande att efter ytterligare drifttid görs inte ytterligare åtgärder som är olika för alternativen, och om vägen tas ur bruk rivs den inte upp utan lämnas där den ligger.

#### **Dubbdäcksnotning**

Under vägens användning slits en del av slitlagret bort. I praktiken har detta och deformationer i asfalten stor betydelse för underhållet. I dessa kalkyler har detta spårunderhåll dock inte tagits med eftersom det inte spelar någon relativ roll för beräkningarna. Miljöpåverkan av damm bortslitet av dubbdäck har därför heller inte bedömts. I t.ex. Andersson (2003) visar sig även detta kunna ha stor betydelse. De jämförda alternativen är lika i detta avseende, så slutsatserna i jämförelsen påverkas inte. Däremot torde denna avgränsning medföra att såväl trafikens som vägens underhåll och rekonstruktions relativa betydelse undervärderas.

## **Trafikstörningar**

Underhålls- och rekonstruktionsfaserna skiljer sig åt i de jämförda alternativen. Det blir därmed också skillnad i trafikstörning för alternativen, men den skillnaden har bortsetts ifrån i denna studie. Därmed torde denna avgränsning medföra att såväl trafikens som vägens underhåll och rekonstruktions relativa betydelse undervärderats.

## **Karbonatisering**

Cementbaserade material karbonatiseras med tiden, dvs. en stor del av CO<sub>2</sub>-emissionerna som uppstår under tillverkningen av cement binds med tiden åter av cementet. I denna studie har detta inte tagits med eftersom de stabiliserade skikten nere i marken enbart kan bedömas ha en mycket långsam karbonatisering. I det fall materialen ska återvinnas och de grävs upp, och eventuellt krossas ner, bör betydelsen av karbonatiseringen tas med, se till exempel Ölund & Rydberg (1998).

## **Deponi**

För utskiftningsfall tillkommer behovet av deponering av schaktmassor. Endast driften av deponi (körning av schaktmaskiner etc.) har medtagits. Hänsyn har inte tagits till markbehovet. Detta innebär att utskiftningens miljöpåverkan undervärderats.

## **Produktionsutrustning**

Studien omfattar endast användning av produktionsutrustning (t.ex. fordon för transporter och stabilisering), men inte produktionen av dessa.

## **2.4 ANVÄNDA DATA OCH DATAKVALITET**

### **Använda data**

För de aktiviteter som studerats kan man göra följande översiktliga beskrivning:

### **Krossmaterial**

För allt tillfört stenmaterial antas miljöbelastningen vara lika med den för makadamproduktion. Visserligen kan man generellt säga att grövre stenmaterial kräver mindre energi än finare kross, men av tidsskäl har approximerats med samma produktion för allt spräng- och krossmaterial.

## **Bitumenproduktion**

Data är tagna ur Stripple (1995) och inkluderar alla steg från oljekälla till bitumen i depå. Jämfört med andra möjliga data (Häkkinen & Mäkelä, 1996) är utsläpp av viktiga ämnen lägre i Stripples rapport (45 % för CO<sub>2</sub>, 65 % för NO<sub>x</sub>, 25 % för SO<sub>2</sub>). Orsaken till dessa mycket lägre värden i Stripples rapport är inte vidare granskad. I den gjorda jämförelsen gynnar detta val de alternativ som använder mest bitumen vid underhåll och rekonstruktion.

## **Bundna lager**

Bindlager, bundet bärlager och slitlager – har alla antagits vara av varmasfalt. Två olika typer har använts i kalkylmodellen:  
AG med 4,4 % bitumen (i bundet bärlager)  
ABT med 6,2 % bitumen (i slitlager och bindlager).

Detta utgör approximativa medelvärden för de aktuella asfalttyperna enligt ATB VÄG.

## **Cementproduktion**

Medelvärde för Cementas produktion i Sverige. Byggvarudeklaration för år 2000 har använts för energiåtgång och emissioner av CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub>. För åtgång av insatsmaterial och andra parametrar är data från 1999. Jämfört med äldre data, t.ex. Stripple (1995) är emissionen av CO<sub>2</sub> ca 15 % lägre, SO<sub>2</sub> ca 65 % lägre och NO<sub>x</sub> ca 40 % lägre. Dessa mycket lägre värden beror på ett flertal större miljöinvesteringar i svensk cementproduktion som är gjorda under dessa år.

## **Produktion av bränd kalk**

Omfattar hela produktionskedjan för bränd kalk, dvs. utvinning av kalksten och bränning av denna, samt mellanliggande transport. Data ur CIT Ekologiks databas.

## **Produktion av Merit 5000**

Omfattar hela produktionskedjan för Merit 5000 från uppsamling av slagg vid masugn till färdig Merit (Uppsamling - mellantransport - granulering). Data från Merox (Elofsson 2001).

## Densiteter

Använda densiteter för de använda materialen anges i respektive avsnitt. Beräkningar har gjorts som visar att variationer i densiteterna i denna studie endast har en försumbar betydelse för resultaten. Undantaget för detta är densiteterna för lös lättklinker samt cellplast.

## Transporter

För cementtransporter och kalktransporter antas tung lastbil, dvs 60 ton totalvikt, varav 40 ton lastkapacitet. För övriga transporter antas medeltung lastbil, dvs. lastbil med totalvikt om 14–24 ton och en nyttolast på 8,5–14 ton. Data från CIT Transportdatabas 3g. För transportavstånd, se tabell 2.1.

## Arbetsmaskiner

Alla arbetsmaskiners emissionsprofiler (mängden av emissioner för olika ämnen/MJ bränsle) antas lika och lika som för dieseldrivna arbetsmaskiner för andra ändamål, t.ex. skogsbruk. Data från CIT Transportdatabas 3g. Energiåtgången för varje aktivitet framgår ur tabell 2.1.

## Datakvalitet

Övervägande andelen indata är från perioden ca 1994-1998.

Inverkan av transporter har speciellt studerats genom att både transportavstånd vid ett s.k. normalfall och transportavstånd vid betydligt kortare avstånd beräknats.

I huvudsak har beräkningarna grundats på tidigare insamlade data, t.ex. litteraturodata, data från tidigare studier osv. Huvuddelen av data är från mitten av 1990-talet. För cement och för Merit 5000 är data nyare.

Indata för bitumen i litteraturen skiljer sig som tidigare redovisats mycket åt. I denna studie har vi valt de lägre värdena av de tillgängliga data. För studier där asfaltkonstruktioner är i fokus för utredningen kan det behöva klarläggas vilka data som är de mest korrekta.

Eftersom data har hämtats från olika källor kan det finnas skillnader i val av systemgränser i underlagsinformationen. Till exempel kan det finnas skillnader i hur miljöpåverkan från elektricitetsproduktion har beräknats.

**Tabell 2.1. Sammanställning över indata.**

<b>Aktivitet</b>	<b>Referensscenario</b>
Bortgrävning	Bränsle ca 3 MJ/m <sup>3</sup> eller 1,667 MJ/ton
Borttransport	Medelstor lastbil, full borttransport, tom återtransport Avstånd 20 km => 40 km med 50 % lastgrad
Deponering	Hela mängden hanteras som annat avfall på deponi, data från förpackningsutredningen SOU1991:77 (Tillman et al, 1992)
Produktion av makadam (Mak Ny terrass prod)	Omfattar hela produktionskedjan för makadam (stenkross)
Transport av makadam (Mak Ny terrass trp)	Medelstor lastbil, full borttransport, tom återtransport Avstånd ca 25 km => 50 km med 50 % lastgrad
Packning av terrass (Ny terrass packn. Utskiftningsfall)	Antaget samma indata som för jordpackning i LCA väg (Stripple), dvs. 0,6 MJ/m <sup>2</sup> (Dynapac CA 251 D) => 0,7 MJ/ton
Byggnad av väg (Väg)	Se text, avsnitt vägprofil
Produktion av makadam till <ul style="list-style-type: none"> <li>- skyddslager</li> <li>- förstärkningslager</li> <li>- obundet bärlager</li> <li>- asfaltproduktion</li> <li>- bundet bärlager</li> <li>- slitlager</li> </ul>	Som produktion av makadam
Transport av makadam till <ul style="list-style-type: none"> <li>- skyddslager</li> <li>- förstärkningslager</li> <li>- obundet bärlager</li> <li>- asfaltproduktion</li> <li>- bundet bärlager</li> <li>- slitlager</li> </ul>	Medelstor lastbil, full borttransport, tom återtransport Avstånd 20 km => 40 km med 50 % lastgrad
Läggning/Packning av <ul style="list-style-type: none"> <li>- skyddslager</li> <li>- förstärkningslager</li> <li>- obundet bärlager</li> </ul>	Totalt 7,02 MJ/ton stenmaterial (Stripple, 1995, Appendix 1, sidan 2, cell B:66)
Produktion av bitumen	Taget från Stripple, 1995
Transport av bitumen	Medelstor lastbil, full borttransport, tom återtransport Avstånd 100 km => 200 km med 50 % lastgrad
Produktion av asfalt <ul style="list-style-type: none"> <li>- bundet bärlager</li> <li>- slitlager</li> </ul>	Energiåtgång som Stripple (1995) EI = 36 MJ/ton Olja = 285 MJ/ton (Tung EO)
Transport av asfalt <ul style="list-style-type: none"> <li>- bindlager</li> <li>- bundet bärlager</li> <li>- slitlager</li> </ul>	Medelstor lastbil, full borttransport, tom återtransport Avstånd 60 km => 120 km med 50 % lastgrad

Läggning & vältning av asfalt	lägg: 0,594 MJ/m <sup>2</sup> (ett lager) (Stripple, Appendix 1, cell B:11)=> 0,00521 MJ/kg vid 40 mm lager vält: 0,7988MJ/m <sup>2</sup> (ett lager) => (Stripple, Appendix 1, cell B:10)=> 0,007 MJ/kg vid 40 mm lager
- bundet bärlager	
- slitlager	
Produktion av cement	Inklusive transport till depå. Data från Cementas byggvarudeklaration 2000, kompletterat med data från 1999.
Transport av cement	Stor lastbil (40/60 ton), full borttransport, tom återtransport Avstånd 100 km => 200 km med 50 % lastgrad
Produktion av bränd kalk	Omfattar hela produktionskedjan för bränd kalk, dvs. utvinning av kalksten och bränning av denna, samt mellanliggande transport. Data ur CIT Ekologisks databas
Transport av bränd kalk	Stor lastbil (40/60 ton), full borttransport, tom återtransport Avstånd 150 km => 300 km med 50 % lastgrad
Produktion av Merit 5000	Data från Merox (Elofsson 2001)
Transport av Merit 5000	Stor lastbil (40/60 ton), full borttransport, tom återtransport Avstånd 150 km => 300 km med 50 % lastgrad
Repaving	Antaget samma energiåtgång per kg som för läggning (+vältning, dvs. 0,00521 + 0,007 MJ/kg) av asfalt

För alla anläggningsarbeten har antagits samma emissionsprofil. Spridningen i emissionsvärden är stor mellan olika maskintyper, ålder, körsätt m.m., men eftersom det inte varit inom studiens ram att undersöka detta har vi istället försökt illustrera transport- och läggningsarbetenas bidrag till miljöpåverkan med de aktuella indata.

De emissionsprofiler som använts för arbetsmaskiner och transporter i beräkningarna redovisas i tabell 2.2, och har där också jämförts med andra tillgängliga datakällor från Volvo (2002) och Nätverket för transporter och miljö (NTM 2002)

**Tabell 2.2. Jämförelse av använda data för emissionsprofiler för arbetsmaskiner och transporter ur CITs transportdatabas 3g med två andra datakällor.**

	CIT transportdatabas 3g	CIT transportdatabas 3g	Volvo EPD <sup>a</sup>	Volvo EPD <sup>a</sup>	NTM <sup>a</sup>
<b>Motortyp</b>	Maskiner	Trp medel-/tung lastbil	Euro 0	Euro 3, 7L-250	<1990
<b>Bränsle</b>	ospec	ospec	Cert. Bränsle	MK1, PartF	MK3
<b>Enhet</b>	gram/MJ	gram/MJ	gram/MJ	gram/MJ	gram/MJ
<b>CO<sub>2</sub></b>	72	73	76	73	76,8
<b>HC (VOC)</b>	0,14	0,081	0,042	0,001	0,17
<b>NO<sub>x</sub></b>	1,497	0,73	1,30	0,48	1,48
<b>SO<sub>2</sub></b>	4,68E-03	2,33E-02	4,7E-03	7,0E-05	0,024
<b>Partiklar</b>	–	0,033	0,042	0,001	0,086

<sup>a</sup> värden omräknade till gram / MJ

## 2.5 MILJÖPÅVERKANSBEDÖMNING

### Karakterisering

Inom projektet har följande miljöpåverkanskategorier beaktats:

- Resurser, främst energi
- Klimatförändringar (uttryckt som global warming potentials – GWP)
- Fotokemiska oxidanter (oxidantbildning)
- Utsläpp av försurande gaser (försurning)
- Eutrofiering (övergödning)

Det finns också andra effekter som i princip är intressanta. Det har konstaterats ligga utanför projektets ramar att analysera dessa, eftersom de flesta av dessa effekter ännu är föremål för internationell forskning och konsensusprocesser. Om metoder finns är de dåligt harmoniserade, alternativt saknas underlagsdata. Exempel på sådana effekter är toxicitet, ekotoxicitet, markanvändning, färskvattnenförbrukning och påverkan på biologisk mångfald.



## Normalisering

Normalisering går vanligen till så att man ställer det studerade systemets påverkan inom en kategori i relation till den totala påverkan inom samma kategori för ett definierat geografiskt område, t ex ett land, under en angiven tid, t.ex. ett år. Normalisering är ett sätt att öka förståelsen av resultaten från karakteriseringen.

## Värdering

Ett ytterligare steg att kvantifiera miljöpåverkan på är genom olika värderingsmetoder, ibland även kallade viktningsmetoder. Kännetecknande för dem är att man försöker väga samman olika effektkategorier för såväl utsläpp som för resursanvändning till en gemensam skala. Vi har här använt två sådana metoder:

- EPS-metoden (Environmental Priority Strategies in Product Design).
- ET-metoden (Environmental Theme, Effektkategori-metoden)

I EPS-metoden (Steen, 1996; Ryding & Steen, 1992) kopplas utsläpp och resursuttag till vilka skadeverkningar dessa får och samhällets betalningsvilja att undvika skadorna.

ET-metoden relaterar utsläpp och resursuttag till samhällets målnivåer inom olika effektkategorier. Ju högre aktuella utsläpp är över samhällets målnivå, desto större vikt tillmäts utsläpp av det ämnet. ET-metoden kallas ibland även CML-metoden efter institutet CML i Holland (Heijungs et al 1992), men här används den svenska versionen av denna metod (Baumann et al, 1993). Den svenska versionen finns i två varianter, dels ET-kort som relaterar till politiska mål 1995, dels ET-lång, som relaterar till mer långsiktiga miljömål. Det är ET-lång som använts i denna studie.

I flera tidigare studier, se till exempel Ölund & Rydberg (1998) har en tredje metod, ECO-metoden (Baumann et al, 1993), använts utöver EPS och ET. Till sin uppbyggnad är den lik ET, och resultaten om ECO används kan förväntas bli likartade resultaten för ET. Viktningen i ECO-metoden baseras på avstånd till mål dvs. skillnaden mellan dagens påverkansnivåer och uppsatta miljömål ger en indikation om hur stora reduktioner som är nödvändiga för olika ämnen.

## 3. Terrasstabilisering

I detta avsnitt görs en genomgång av den miljöpåverkan som uppkommer i samband med byggande av vägar med terrasstablisering (cement som bindemedel). Genomgången görs med avseende på byggprocessen inklusive underhåll och rekonstruktion. Jämförelser görs även med en alternativ teknik, utskiftning, som är den idag helt dominerande tekniken.

### 3.1 TEKNISK BESKRIVNING

Terrasstablisering är en metod för att styva upp terrassmaterialet genom nedfräsning av ett bindemedel, oftast cement eller kalk. Metoden kan användas för flera olika ändamål. I denna rapport studeras fallet då en skånsk lös lermorän i terrassen omvandlas till ett bundet material med högre bärighet. Metoden är därmed ett alternativ till den idag dominerande tekniken att schakta bort de lösa massorna och återfylla med bärande material. Genom att använda metoden reduceras behovet att använda natursten eller krossmaterial avsevärt. Dessutom undviks trafik- och luftföroreningsproblem som är kopplade till transporter och övrig hantering av bortgrävt material och återfyllnadsmaterial vid ett utskiftningsförfarande. För stabiliseringstekniken tillkommer istället produktion och transport av bindemedel samt själva stabiliseringen. Frågan är därför vilka miljömässiga konsekvenser det ena respektive andra alternativet får vid en jämförelse.

Den ökade stabiliteten som terrasstablisering medför innebär också att överbyggnaden eventuellt kan utformas tunnare, med bibehållen prestanda med avseende på tjäle och bärighet.

### 3.2 BERÄKNINGSFALL SAMT INDATA

Underlagsdata för terrasstablisering framgår av bilaga 1 samt (Lindh 2000).

#### Vägutföranden

De olika scenarierna omfattar terrasstablisering som jämförs med utskiftning, se bilaga 3. Samtliga alternativ har sammanfattats i tabell 3.1.

**Tabell 3.1. Sammanfattande översikt av samtliga de undersökta beräkningsfallen för alternativ vid terrassscenarierna.**

Alternativ	A	B	C	D	E
Slitlager (mm)	40	40	40	40	40
AG (mm)	120	120	120	120	120
Obundet bärlager (mm)	80	80	80	80	80
Förstärkningslager (mm)	420	420	420	440	420
Skyddslager (mm)	90	90	90	0	90
Utskiftat material (mm)	0	300	0	0	0
Stabiliserat material (kg cement per m <sup>2</sup> )	0	0	17	17	14,5
Underhåll och rekonstruktion	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 2	Typ 2

För underhåll och rekonstruktion har tre olika upplägg använts enligt tabell 3.1. De olika uppläggen består av:

- Typ 1: Underhåll efter 20 år - Ny AG 55 mm + Ny SL 40 mm; Rekonstruktion efter 40 år - Nytt bindlager 150 mm, Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm
- Typ 2: Underhåll efter 20 år - Repaving (antas motsvara 40 mm av SL + 40 mm av AG) samt påläggning av 25 mm ny SL; Rekonstruktion efter 40 år - Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm
- Typ 3: Underhåll efter 20 år - Repaving (antas motsvara 40 mm av SL + 40 mm av AG) samt påläggning av 25 mm ny SL; Rekonstruktion efter 40 år - Ny AG 50 mm + Ny SL 40 mm

Skillnaden mellan typ 2 och 3 är alltså liten, endast 20 mm SL skiljer.

I tabell 3.2 och 3.3 sammanfattas mått och vikter på de två grund- eller referensfallen utskiftning och stabilisering av terrass, vilket motsvarar kolumn B och E i tabell 3.1. Övriga fall redovisas i bilaga 5.

**Tabell 3.2. Typ, bredd och tjocklek på de lager och åtgärder som utgör referenskalkyfall "utskiftning".**

Lager	Bredd per vägbana (m)	Total bredd(m)	Lagertjocklek (mm)	Massa (kg/km)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
Slitlager (SL)	11,25	22,5	40	2250000	2500
Bundet bärlager (AG)	11,25	22,5	120	6750000	2500
Obundet bärlager (BL)	11,48	22,96	80	3306240	1800
Förstärkningslager (FL)	12,05	24,1	420	18219600	1800
Skyddslager (SKL)	12,56	25,12	90	4069440	1800
<b>Underbyggnad</b>					
Återfyllt obundet material	12,66	25,32	300	13672800	1800
Utskiftat obundet material	12,66	25,32	300	13672800	1800
<b>Underhåll efter 20 år</b>					
Repaving	11,25	22,5	80	4500000	2500
Ny SL 25 mm	11,25	22,5	25	1406250	2500
<b>Rekonstruktion efter 40 år</b>					
Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm	11,25	22,5	110	6187500	2500

**Tabell 3.3. Typ, bredd och tjocklek på de lager och åtgärder som utgör referenskalkyfall "stabilisering". Tillförd mängd cement är 14,5 kg/m<sup>2</sup>.**

Lager	Bredd per vägbana (m)	Total bredd(m)	Lagertjocklek (mm)	Massa (kg/km)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
Slitlager (SL)	11,25	22,5	40	2250000	2500
Bundet bärlager (AG)	11,25	22,5	120	6750000	2500
Obundet bärlager (BL)	11,48	22,96	80	3306240	1800
Förstärkningslager (FL)	12,05	24,1	420	18219600	1800
Skyddslager (SKL)	12,56	25,12	90	4069440	1800
<b>Underbyggnad</b>					
Tillförd cement, 14,5 kg/m <sup>2</sup>	12,66	25,32	260	367140	–
<b>Underhåll efter 20 år</b>					
Repaving	11,25	22,5	80	4500000	2500
Ny SL 25 mm	11,25	22,5	25	1406250	2500
<b>Rekonstruktion efter 40 år</b>					
Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm	11,25	22,5	110	6187500	2500

## **Indata specifika för kalkylfallen terrasstabilisering.**

### ***Spridning***

Utspridning av stabiliseringsmedel är ca 3 % av stabiliserad jord, dvs. 17 kg/m<sup>2</sup> vid 30 cm djup och 14,5 kg/m<sup>2</sup> vid 26 cm djup. Baserat på förbrukning på dumper 6,77 MJ/lös m<sup>3</sup> x km material fås 1,49 x 10<sup>-3</sup> MJ per kg utspridd cement då dumpern typ Volvo A35, i genomsnitt är halvfull.

### ***Fräsning***

Exempel på produktionstakt är 35 m/min = 2100 m/tim vid 30 cm djup (Wirtgen). Bredden på maskinen är 2,4 m varav 66 % nyttjandegrad för fräsningen (Lindh, 2001), alltså fräst yta 1,584 m<sup>2</sup>/löpmeter. Förbrukningen av bränsle är ca 80 l/tim enligt bilaga 1 vilket medför ca 3200 MJ/tim, alltså 1,524 MJ/löpmeter. Sammantagen energiåtgång blir 1,524/1,584 MJ/m<sup>2</sup> = 0,962 MJ/m<sup>2</sup>. Räknet per kg cement blir energiåtgången 0,057 MJ, och denna antas proportionell mot fräst volym.

### ***Packning***

Antaget samma indata som för jordpackning i LCA väg (Stripple, 1995), dvs. 0,6 MJ/m<sup>2</sup> (Dynapac CA 251 D) vilket omräknat blir 0,035 MJ/kg cement vid 17 kg/m<sup>2</sup> och 0,041 MJ/kg vid 14,5 kg/m<sup>2</sup>.

## **Scenarier för transporter**

Eftersom det är stora mängder material som hanteras under en vägbyggnadsprocess och transporter av dessa därigenom kan förväntas vara betydande, samt att insamlade data och antaganden om transportererna blir väsentliga för resultatet i beräkningarna, har vi formulerat två scenarier med korta transporter, ett scenario för vardera utskiftning och stabilisering av terrass, motsvarande tabell 3.2 och 3.3.

De använda transportavstånden i de olika scenarierna framgår av tabell 3.4. Förutom transport har i korttransportfallet även inkluderats ett antagande om att deponi av utskiftade material bortfaller. Det motsvarar dels att det finns användning för de utskiftade materialen inom samma projekt och dels att de har tillräcklig kvalitet för detta.

Korttransportfallet kan illustrera hur mycket man kan vinna miljömässigt på att optimera transportererna i samband med vägbyggnation. Vanligen försöker man balansera materialmängder i vägens längdriktning, dvs. material (berg m.m.) som tas bort på ett ställe försöker man använda som återfyllnadsmaterial i närliggande parti av vägen, om möjligt. Vårt korttransportscenario indikerar även betydelsen av denna mass- och materialbalans.

**Tabell 3.4. Jämförelse av data som skiljer sig åt i scenarierna för normala transporter (Referensscenario, se även tabell 2.1) respektive korta transporter (Korttransportscenario).**

Aktivitet	Referensscenario	Korttransportscenario
Borttransport av utskiftat material	=> 40 km med 50 % lastgrad	=> 10 km med 50 % lastgrad
Deponering	Deponidrift	Ingen deponidrift
Transport av makadam (Återfyllnadsmaterial)	=> 50 km med 50 % lastgrad	=> 10 km med 50 % lastgrad
Transport av makadam till <ul style="list-style-type: none"> <li>- skyddslager</li> <li>- förstärkningslager</li> <li>- obundet bärlager</li> <li>- asfaltproduktion</li> <li>- - bundet bärlager</li> <li>- - slitlager</li> </ul>	=> 40 km med 50 % lastgrad	Antaget avstånd 5 km => 10 km med 50 % lastgrad
Transport av bitumen	Avstånd 100 km => 200 km med 50 % lastgrad	Avstånd 20 km => 40 km med 50 % lastgrad
Transport av asfalt (alla sorter)	Avstånd 60 km => 120 km med 50 % lastgrad	(mobilt asfaltverk) Avstånd 2,5 km => 5 km med 50 % lastgrad
Transport av cement	Avstånd 100 km=> 200 km med 50 % lastgrad	Avstånd 20 km => 40 km med 50 % lastgrad

### 3.3 RESULTAT – TERRASSTABILISERING

#### 3.3.1 Inventeringsresultat

Med inventeringsresultat menas här resultat av kalkylerna för de studerade livscyklerna, uttryckt i fysiska enheter, såsom MJ, kg, osv. Dessa resultat säger alltså inte så mycket om vilken miljöpåverkan de studerade alternativen har. Däremot är de bra för att skapa förståelse för det studerade systemets egenskaper och är ett underlag för de karakteriseringar och värderingar som görs i de följande avsnitten. I de här studerade systemen består många aktiviteter av körning med arbetsmaskiner eller transporter med lastbilar.

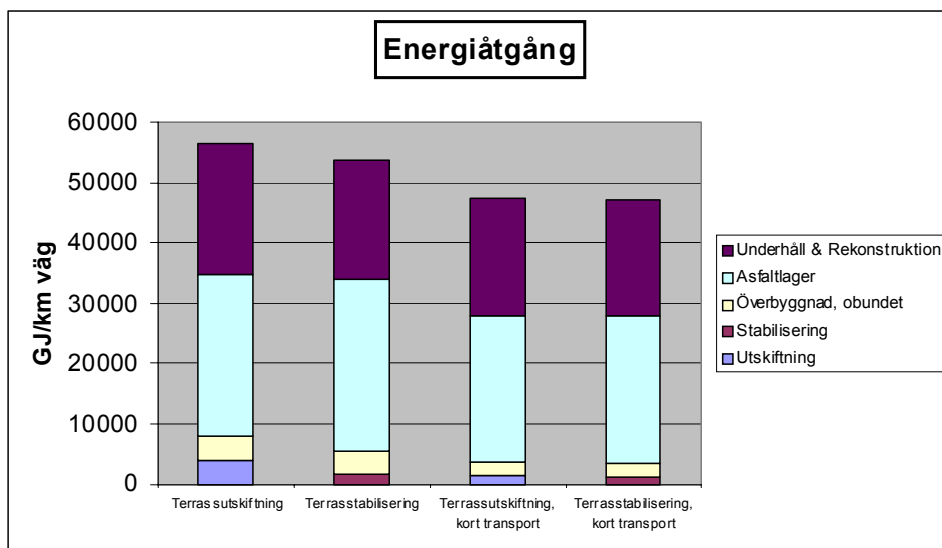
#### Energiåtgång

Energiåtgången har räknats om till den mängd energiresurser av olika slag som tas upp ur ”jordskorpan”. Därmed tar man hänsyn till de förluster som sker i överföring av elektricitet, och för raffinering och distribution av bränslen m.m.

Bitumen är en fraktion av råolja och innehåller energi, ca 40 GJ/ton (s.k. ”inherent energy” som enligt teorin annars kunde ha använts till energiproduktion).

Denna energimängd slår igenom ganska tydligt i samtliga kalkylfall i redovisning av energiåtgång. Totalt står utskiftningen respektive stabiliseringen bara för ca 5 – 10 % av all energiåtgång.

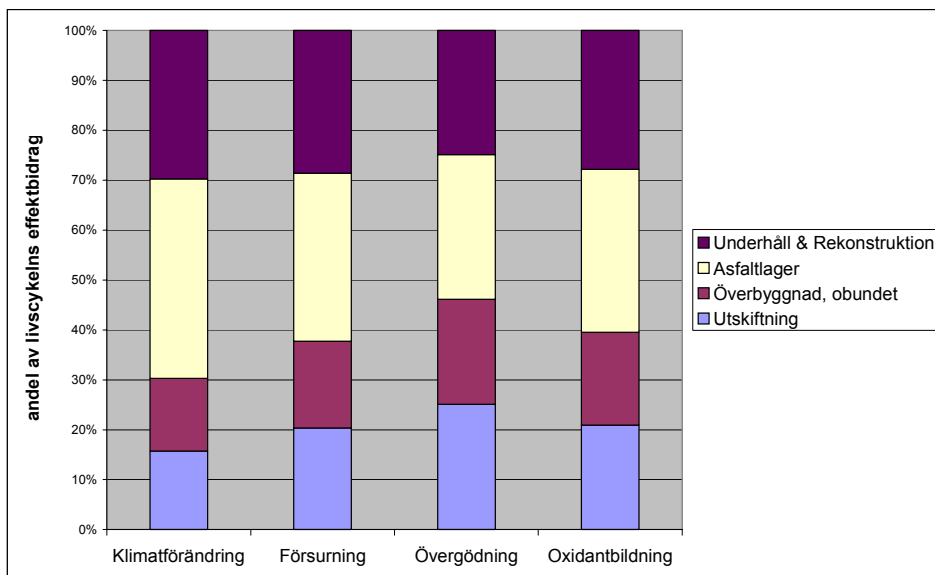
Produktionen av vägen har i figur 3.1 delats upp i aktivitetstyper, så att alla underbyggnad, obundna material i överbyggnaden, asfaltbundna lager, samt underhålls- och rekonstruktionsaktiviteterna redovisas separat.



Figur 3.1. Total beräknad energiåtgång i GJ per km väg för olika kalkylfall och uppdelat på olika typer av aktiviteter i produktionsfasen samt underhåll och rekonstruktion. Alternativen har likvärdig teknisk standard eftersom enbart frågan om stabilisering eller utskiftning skiljer alternativen åt.

### 3.3.2 Miljöeffekter – karakteriseringsresultat

I figur 3.2 visas hur bidraget till olika effektkategorier fördelar sig över de olika faserna i livscykeln i kalkylfallet utskiftning (referensfall, dvs. normala transporter). Även om det finns vissa skillnader mellan effektkategorierna är likheterna stora. Kategorin övergödning, som nästan enbart är kopplad till utsläpp av NOx i det aktuella fallet, har fullt logiskt något större relativt bidrag från transportintensiva aktiviteter. Totalt sett står utskiftningen bara för cirka 20 % av alla effektbidragen.

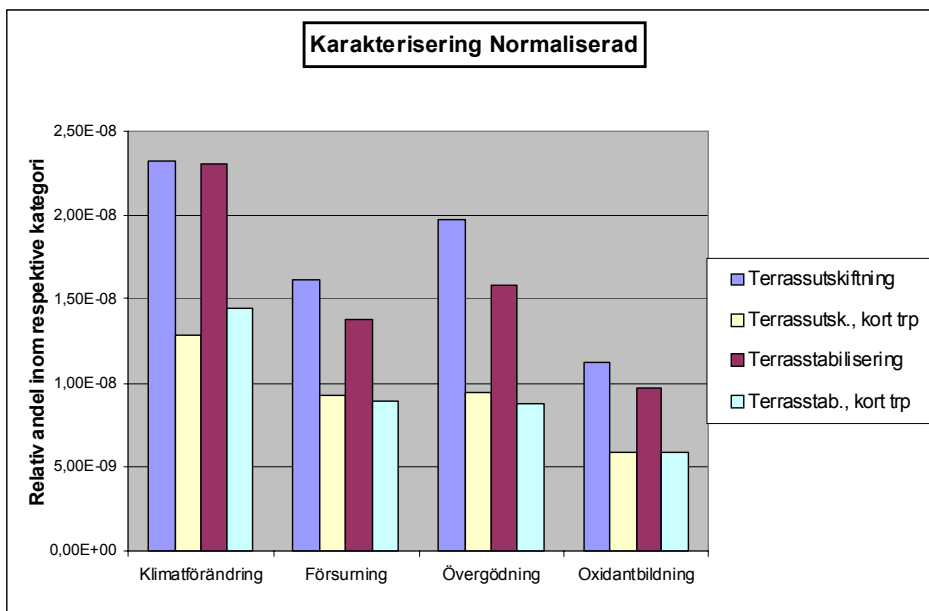


**Figur 3.2. Analys av utskiftningens (normala transporter) uppdelning på olika faser i livscykeln för effektkategorierna klimatförändring, försurning, övergödning och fotokemisk oxidantbildning.**

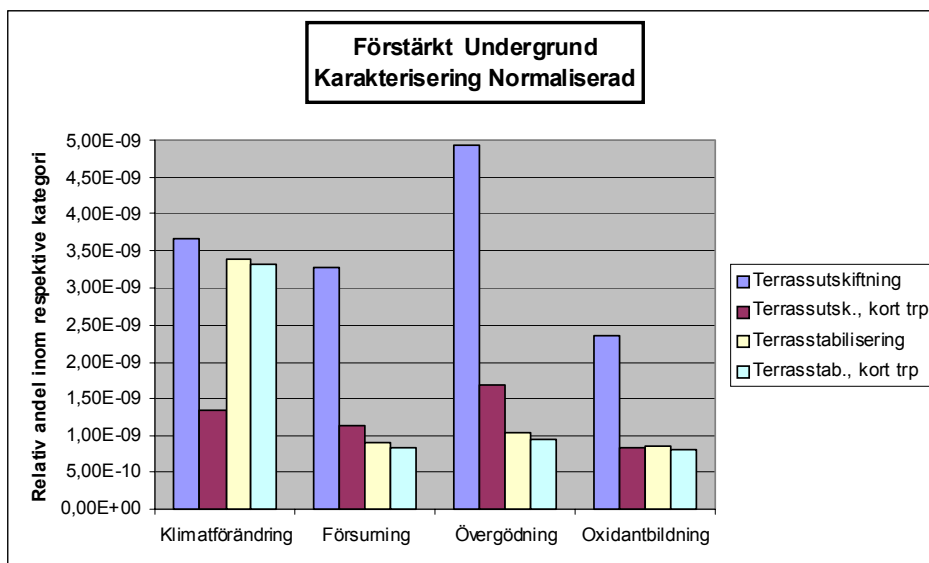
I figur 3.3 presenteras en jämförelse mellan utskiftning (2 transportfall) och terrasstabilisering (2 transportfall), inom kategorierna klimatförändring, försurning, övergödning och fotokemisk oxidantbildning. I samtliga kategorier är miljövinsten med korta transporter stor och ligger i dessa beräkningar typiskt i intervallet 30 – 50 %. Tidigare erfarenhet av LCA-studier där cement ingår säger oss att klimatförändring är den effektkategori som är minst gynnsam för det cementinnehållande alternativet. I enlighet med detta är utskiftning och stabilisering trots allt likvärdiga för klimatförändring, men för övriga tre kategorier visar resultaten för referensfallet på en mindre fördel för stabilisering.

Eftersom alternativen tagits fram för att vara så tekniskt likartade som möjligt skiljer sig alternativen enbart åt avseende använd metod för att förstärka undergrunden, dvs. stabilisering eller utskiftning. I figur 3.4 har därför de delar som skiljer alternativen åt presenterats i normaliserad form. Av resultaten ser vi att vid referensfallet ger stabilisering i detta fall endast en liten minskad miljöpåverkan inom kategorin klimatpåverkan, men betydligt mindre miljöpåverkan i övriga effektkategorier. Vid alternativet med mycket korta transporter och fullt utnyttjande av alla massor och material inom ett projekt är stabilisering och utskiftningarna generellt likvärdiga ur miljösynpunkt.





**Figur 3.3. Jämförelse av utskiftning och stabilisering, för referensfall (normala transporter) och fall med korta transporter, med avseende på bidrag till klimatförändring, förurning, övergödning och oxidantbildning, uttryckt relativt de samlade svenska effektbidragen inom respektive kategori.**



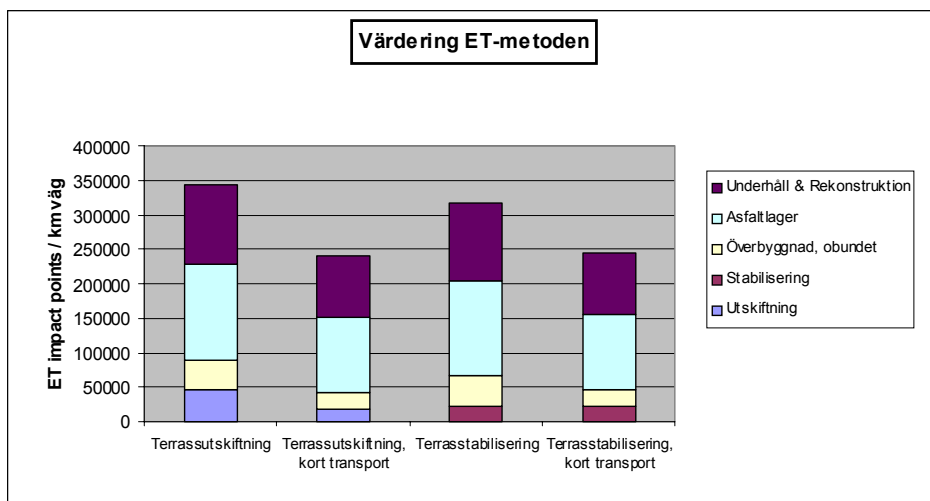
**Figur 3.4. Jämförelse av miljöeffekter för de olika förstärkta undergrunderna och vid olika transportfall.**

### 3.3.3 Miljöeffekter – värderingsresultat

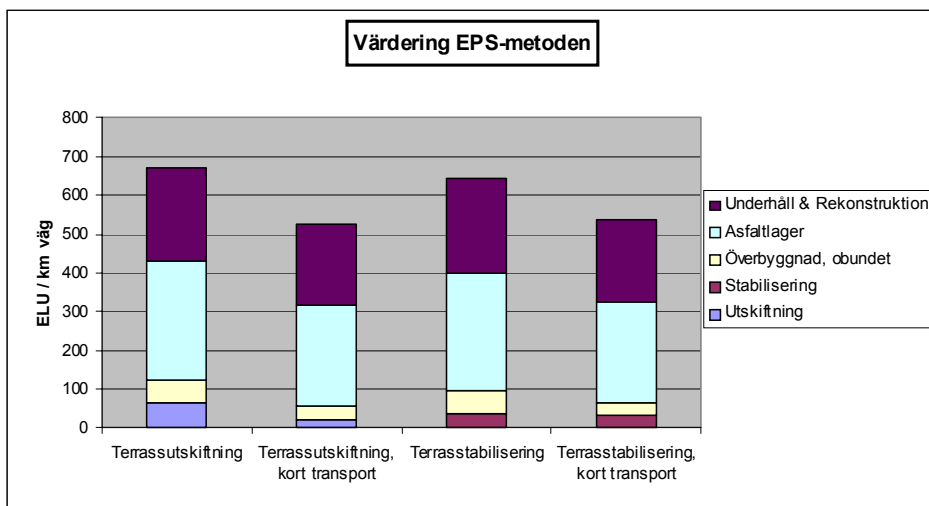
Ett alternativt sätt att kvantifiera miljöpåverkan är genom olika värderingsmetoder. Här har EPS-metoden och ET-metoden inkluderats i analysen. Resultaten framgår av figur 3.5 och 3.6.

I samtliga kategorier är miljövinsten med korta transporter stor. Att miljövinsten vid kortare transporter är något mindre än vid karakteriseringarna i avsnitt 3.3.2 beror på de resurser som främst kommer in i resultaten nedan från värderingen av oljan som resurs i bitumen. Alternativen är likartade i alla delar förutom delen som avser utskiftning eller stabilisering. Därför är skillnaderna mellan metoderna i denna totala jämförelse lika små som vid karakteriseringarna i avsnitt 3.3.2.

Vid en jämförelse av enbart utskiftningen och stabiliseringen erhålls liknande resultat som vid karakteriseringen dvs. vid referensfallet är miljöpåverkan lägre för stabiliseringsalternativet, men då transporterna antas kraftigt minskade samtidigt som alla massor och material används fullt ut inom samma projekt är skillnaden mellan metoderna mycket liten.



Figur 3.5. Jämförelse av utskiftning och stabilisering, med normal respektive kort transport, med avseende på värdering med ET-metoden.



Figur 3.6. Jämförelse av utskiftning och stabilisering, med normal respektive kort transport, med avseende på värdering med EPS-metoden.

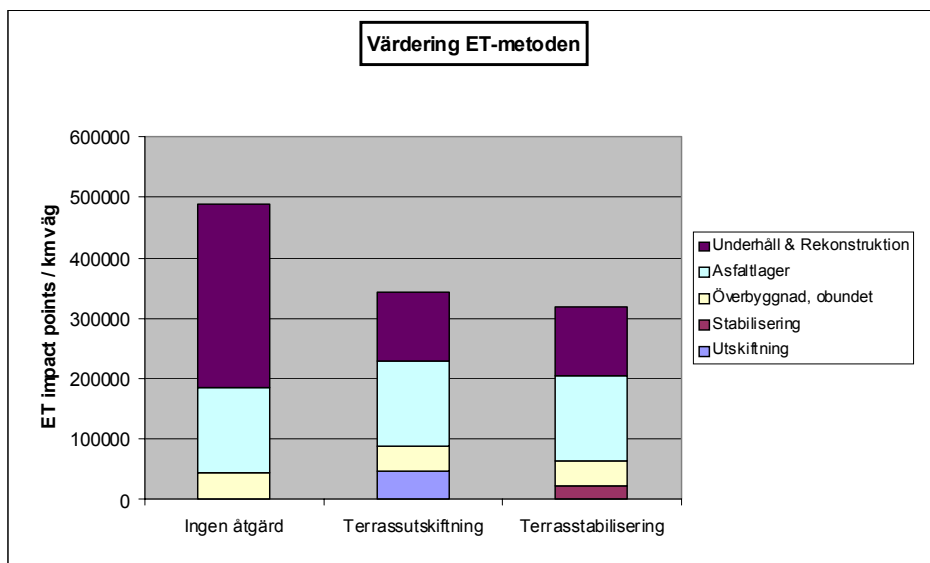
### 3.4 MILJÖEFFEKTER, KALKYLFALL 2 – JÄMFÖRELSE MED URSPRUNGLIG TERRASS

Båda fallen som redovisas i avsnitt 3.3 utgår ifrån att en åtgärd för att förbättra konstruktionens bärlighet görs. Det finns dock en möjlighet, som redovisas i bilaga 3, att använda lermoränen som terrass utan förstärkning av undergrunden. Detta medför dock enligt bilaga 3 betydligt mer omfattande underhåll- och rekonstruktionsåtgärder. Använda data redovisas i tabell 3.5.

Tabell 3.5. Mått och materialmängder Fall A, ursprunglig terrass, underhåll och rekonstruktion typ 1.

Lager	Bredd per vägbana (m)	Total bredd(m)	Lagertjocklek (mm)	Massa (kg/km)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
Slitlager (SL)	11,25	22,5	40	2250000	2500
Bundet bärlager (AG)	11,25	22,5	120	6750000	2500
Obundet bärlager (BL)	11,48	22,96	80	3306240	1800
Förstärkningslager (FL)	12,05	24,1	420	18219600	1800
Skyddslager (SKL)	12,56	25,12	90	4069440	1800
<b>Underhåll efter 20 år</b>					
Ny AG 55 mm + Ny SL 40 mm	11,25	22,5	95	5343750	2500
<b>Rekonstruktion efter 40 år</b>					
Bindlager 150, Ny AG 70, Ny SL 40 mm	11,25	22,5	260	14625000	2500

I figur 3.7 redovisas resultat från de i tidigare avsnitt använda alternativen för utskiftning och stabilisering jämfört med ingen åtgärd alls. ET-metoden har valts för denna illustration eftersom såväl resursaspekter som emissioner vägs in i resultatet.



**Figur 3.7. Jämförelse av utskiftning och stabilisering enligt tidigare med om ingen terrassåtgärd görs (referensfallet med normala transporter) (men därför med mer omfattande underhålls- och rekonstruktionsbehov) med avseende på värdering med ET-metoden.**

Resultatet visar framför allt att en stabilare grund (förstärkt undergrund) ger stora miljöfördelar över vägens livscykel genom det minskade underhållsbehovet.

### 3.5 ALLMÄNNA SLUTSATSER – TERRASSSTABILISERING

Miljöpåverkan relaterad till transporter av bortfört och tillfört material står för mellan en tredjedel och hälften av den totala miljöpåverkan i de studerade systemen, vilket indikeras av att kalkylfallen med korta transporter gav en miljövinster i denna storleksordning. Transportavstånd för obundna och bundna tillförda material är dock inte särskiljande vid jämförelse mellan utskiftning och terrassstabilisering. För den samlade miljöpåverkan är det viktigt att hålla nere transportererna så mycket som möjligt. Eftersom transportbehovet är nära kopplat till materialmängderna, är det alltså miljömässigt gynnsamt med lösningar som håller nere totala materialflödesmängderna.

Eftersom transporterna utgör en så stor del av miljöpåverkan, blir materialproduktionens del relativt måttlig.

Totalt står utskiftningen respektive stabiliseringen bara för ca 5 – 10 % av all miljöpåverkan.

I de fall där alla byggtransporter är mycket korta samt att alla massor och material kan användas inom projektet är utskiftning och stabilisering ur miljösynpunkt likvärdiga. I referensfallet som bygger på tillförda material för utskiftningen får terrasstabilisering i dessa kalkyler en överlag bättre miljöprestanda, dvs. mindre miljöpåverkan, än utskiftning. Den ökade miljöpåverkan som produktion och transport av bindemedlet ger upphov till för stabiliseringsfallet uppvägs alltså gott och väl av miljövinsten som fås av ett minskat behov av överbyggnadsmaterial respektive bitumenbundna lager i underhålls- och rekonstruktionsfasen.

En generell slutsats av beräkningarna är att det är miljömässigt fördelaktigt att bygga för att erhålla minskat underhålls- och rekonstruktionsbehov.

Bitumen som materialresurs diskuterades under redovisningen av energi. Råvarorna till krossmaterial (berg) och cement (kalksten mm) är resurser med god tillgång på och dessa värderas inte som knappa resurser.

## 4. Masstabilisering

### 4.1 TEKNISK BESKRIVNING

Masstabilisering har behandlats av Jelusic (1999). I den rapporten beskrivs och studeras olika utförda masstabiliseringsprojekt. Masstabiliseringen av det översta lagret, 1-5 m tjockt, och bestående av torv eller gyttja har ofta kombinerats med en underliggande djupstabilisering med kalk- cementpelare. Vid stabilisering av ytliga jordlager tillkommer en faktor, nämligen att dessa kan vara förorenade. Detta gäller såväl ytlager på land som muddermassor.

Tillgänglig byggtid, stabilitetsförhållanden, geoteknik och krav, eventuell hantering av oönskade ämnen och ekonomi är faktorer som gör att alternativen i varje enskilt projekt är olika. Vanliga alternativa lösningar är allt från urgrävning inom spontning, lättfyllning till pådäck. Vid urgrävning och muddring är normalt också den vidare hanteringen av dessa material viktig. Allt ifrån ingen åtgärd till deponering hos t.ex. Sakab kan vara aktuell. Ett enskilt allmängiltigt val av en alternativ, men jämförande teknisk lösning, har därför inte varit möjligt att göra inom detta projekt, men ett utvalt räkneexempel har nedan använts för illustration av metodiken.

I denna studie har ett av de av Jelusic (1999) omnämnda svenska projekten använts för att exemplifiera metodiken vid masstabilisering. Projektet som använts är Väg 601, Sundsvägen, Råneå och förutsättningarna återfinns i Jelusic (1999, 2001). Projektet avser torv/gyttja som överlagras en lös sulfidlera. Vägverket genomförde arbetet med masstabilisering av torv/gyttja och den övre delen av den lösa sulfidleran, ca 2 m. Den största delen av den lösa sulfidleran lämnades ostabiliserad. Den alternativa tekniska lösning vi valt för vår illustration är en som också diskuterades i det faktiska projektet, nämligen utskiftning i snitt ca 5 m. Någon miljöpåverkan av hanteringen av den, vid detta alternativ, urgrävda sulfidleran har inte beaktats.

Vid andra alternativa lösningar i ett projekt finns vissa möjligheter att använda annan redan framtagen LCA metodik. Så är t.ex. ett utskiftningsalternativ rimligt att behandla utifrån avsnitt 3, utskiftning vid terrasstabilisering, komplette-

rat med spontning m.m. På samma sätt kan alternativa lösningar med lättfyllning behandlas utifrån avsnitt 5. Alternativ med påldäck har tidigare behandlats av Stripple (1995), men en direkt jämförelse är svår att göra. En analys av eventuella skillnader i miljöpåverkan mellan oönskade ämnen i olika tekniska lösningar måste ske i varje enskilt fall. En vidare genomgång av dessa outredda faktorer föreslås utifrån detta arbete.

## 4.2 BERÄKNINGSFALL SAMT INDATA

För överbyggnaden har samma data använts som i fallet terrasstabilisering, se tillämpliga delar av avsnitt 2 och 3. Det enda som skiljer masstabilisering från terrasstabilisering är därför själva installationen av stabiliseringen, eller om man så vill, preparationen av underbyggnaden.

De använda bindemedlen vid stabiliseringen har antagits vara en blandning av 50 % cement och 50 % Merit 5000.

Använda data för överbyggnad och mängd använt bindemedel framgår av tabell 4.1.

**Tabell 4.1. Mått på överbyggnad och mängd använt bindemedel. Tillfört bindemedel var 150 kg/m<sup>3</sup> jord (blandning av 50 % cement och 50 % granulerad masugnsslagg Merit 5000).**

Lager	Bredd per vägbana (m)	Total bredd(m)	Lagertjocklek (mm)	Massa (kg/km)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
Slitlager (SL)	11,25	22,5	40	2250000	2500
Bundet bärlager (AG)	11,25	22,5	120	6750000	2500
Obundet bärlager (BL)	11,48	22,96	80	3306240	1800
Förstärkningslager (FL)	12,05	24,1	420	18219600	1800
Skyddslager (SKL)	12,56	25,12	90	4069440	1800
<b>Underbyggnad</b>					
Tillfört bindemedel, 150 kg/m <sup>3</sup> jord	12,66	25,32	2000	7596000	–
<b>Underhåll efter 20 år</b>					
Repaving	11,25	22,5	80	4500000	2500
Ny SL 25 mm	11,25	22,5	25	1406250	2500
<b>Rekonstruktion efter 40 år</b>					
Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm	11,25	22,5	110	6187500	2500

## **Avgränsningar och anpassningar av indata**

Mängden bindemedel som tillsätts vid masstabilisering varierar inom vida ramar, ca 90 – 200 kg/m<sup>3</sup> stabiliserad jord. Vår kalkyl grundar sig på 150 kg/m<sup>3</sup>.

De jordar som masstabiliseras innehåller ofta olika former av oönskade ämnen. Stabiliseringen innebär också en solidifiering, dvs. att dessa ämnen binds av bindemedlets reaktioner. Effekten av detta kan ha stor betydelse för valet av metod. Därför kan alternativa metoder ”belastas” av ökade miljökostnader genom att andra åtgärder krävs för att t.ex. hindra utläckage av oönskade ämnen.

## **Processer specifika för masstabilisering**

De processer som i denna rapport är specifika för masstabiliseringsfallet är:

- produktion av finmald, granulerad masugnsslagg (Merit 5000), se avsnitt 2.4
- transport av finmald, granulerad masugnsslagg (Merit 5000), se avsnitt 2.4
- installation (utförande) av stabilisering

Data är givna för hela arbetet med utförandet av stabiliseringen och därför görs ingen uppdelning i t ex inblandning och packning. Använd åtgång är 0,9 liter diesel / m<sup>3</sup> stabiliserad jord (Jelusic, 2001)

## **4.3 RESULTAT – MASSTABILISERING**

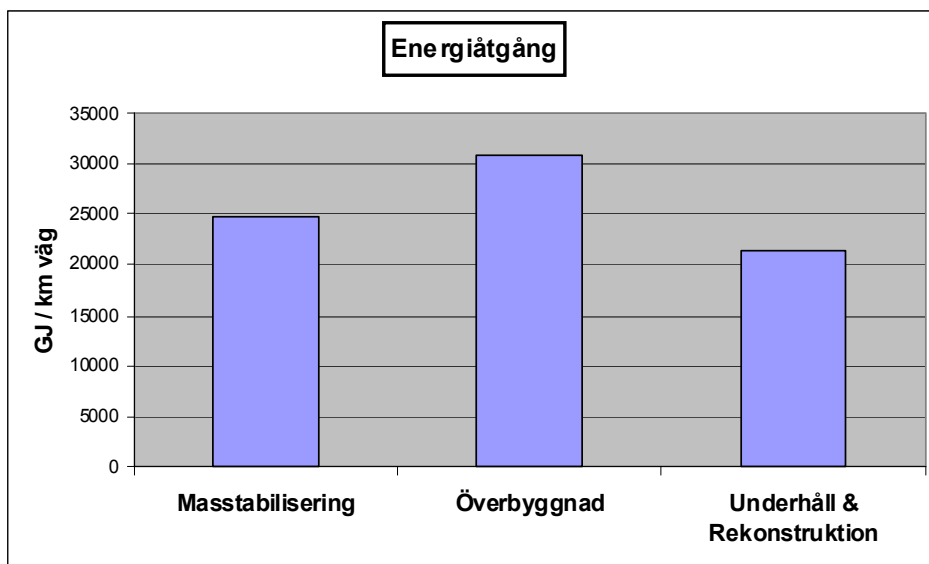
### **4.3.1 Inventeringsresultat**

Med inventeringsresultat menas här resultat av kalkylerna för de studerade livscyklerna, uttryckt i fysiska enheter såsom MJ, kg, osv. Dessa resultat säger alltså inte så mycket om vilken miljöpåverkan de studerade alternativen har. Däremot är de bra för att skapa förståelse för det studerade systemets egenskaper och ett underlag för de karakteriseringar och värderingar som görs senare. I de här studerade systemen består många aktiviteter av körning med arbetsmaskiner och transporter med lastbilar.

### ***Energiåtgång***

Energiåtgången har räknats om till den mängd energiresurser av olika slag som tas upp ur ”jordskorpan”. Därmed tar man hänsyn till de förluster som sker i överföring av elektricitet och för raffinering och distribution av bränslen m.m.





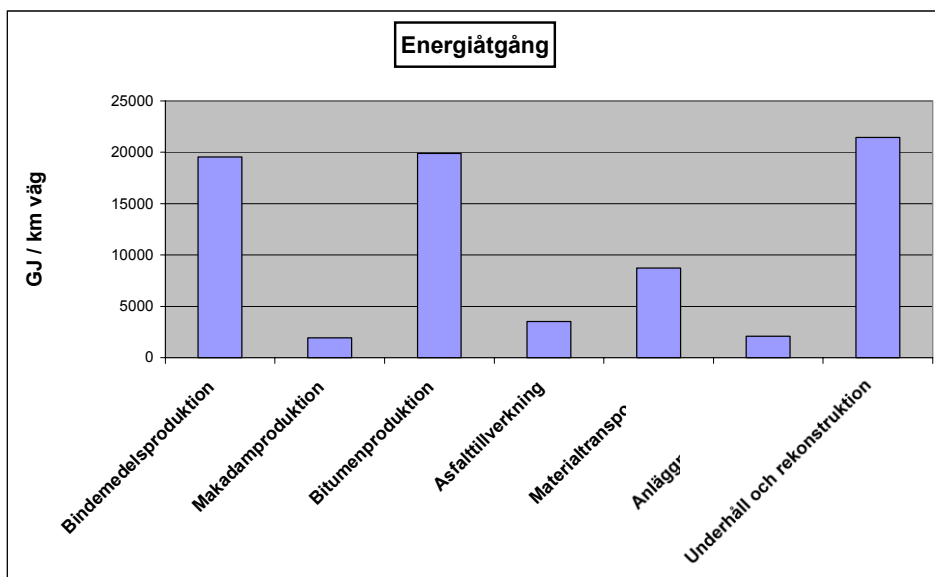
**Figur 4.1.** Fördelning över faser i livscykeln av energiförbrukning räknat som primär energi (energiråvara ur jordskorpan) presenterat i GJ/km väg.

I figur 4.1 har all energiåtgång i det studerade systemet fördelats på delmomenten masstabilisering, överbyggnad samt underhåll och rekonstruktion. Man kan utläsa att i produktionsfasen står stabiliseringen för ungefär 40 % av vägbyggnadens energiåtgång och överbyggnaden för ca 60 % (produktionsfasen). Underhåll och rekonstruktion i sin tur förbrukar ungefär samma energi som stabiliseringen.

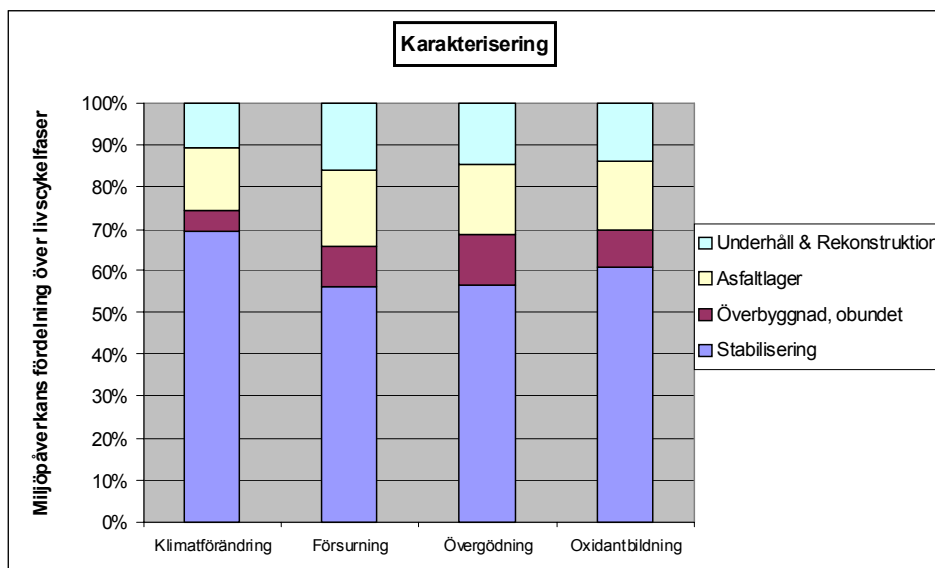
I figur 4.2 har en något mer finfördelad indelning gjorts. Dessutom har en omgruppering gjorts så att produktion av olika material lagts i separata moduler och transporter och anläggningsprocesser särskiljts. Detta har gjorts för att lyfta fram transporternas och anläggningsprocessernas roll jämfört med materialproduktion.

### 4.3.2 Karakteriseringsresultat – masstabilisering

En intressant analys är att se hur miljöpåverkan fördelar sig mellan de olika faserna i livscykeln. Figur 4.3 visar denna jämförelse. Som väntat är det för klimatförändringar som stabiliseringen har det största relativa bidraget, knappt 70 % av hela påverkan. Produktionen av cement emitterar koldioxid som har varit bundet i utgångsmaterialet, bl.a. kalksten (kalciumkarbonat). Inom kategorierna försurning, övergödning och oxidantbildning svarar stabiliseringen för en



Figur 4.2. Fördelning av primärenergiförbrukning på olika delar av vägbyggnadsprocessen vid masstabilisering i GJ/km väg.

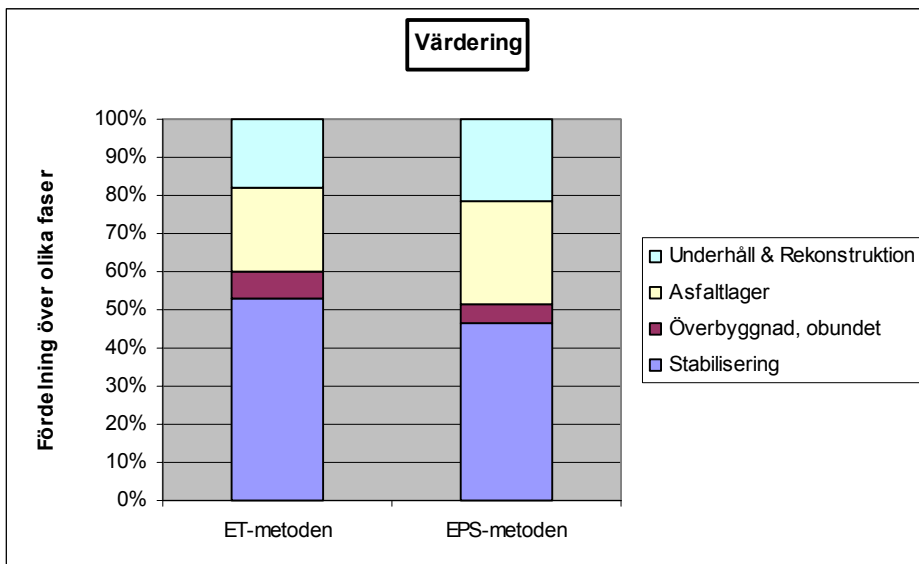


Figur 4.3: Miljöpåverkan inom olika effektkategorier med masstabilisering, fördelat över vägbyggnadsprocessens faser.

relativt sett något mindre andel av påverkan, mellan ca 55 – 60 %. Dessa effekter är också i större utsträckning knutna till emissioner från fordonsmotorer för transporter och anläggningsarbeten.

### 4.3.3 Värderingsresultat - masstabilisering

Liksom i figur 4.3 analyseras hur den samlade miljöpåverkan fördelar sig över livscykel faserna. I figur 4.4 visas detta för utvärdering med EPS-metoden och ET-metoden.



**Figur 4.4: Miljöpåverkan vid vägbyggnad med masstabilisering, värderad med EPS och ET, fördelad över vägbyggnadsprocessens faser.**

Resultatet är i stort i linje med resultatet ovan för karakterisering, men stabiliseringen inklusive transporter och arbete svarar vid detta beräkningsfall för 45 – 55 % av den totala miljöpåverkan, alltså något mindre andel än i karakteriseringen. Detta hänger samman med att värderingen av energiresursen som är bunden i bitumen tillskriver asfaltlagren större miljöpåverkan .

## 4.4 MASSTABILISERING JÄMFÖRT MED UTSKIFTNING

I enlighet med avsnitt 4.1 har i brist på ett entydigt tekniskt och ekonomiskt alternativ istället två konkreta alternativ vid ett av Vägverket i Sverige utfört projekt använts för att exemplifiera metodiken. Alternativet med masstabilisering överensstämmer med det i avsnitt 4.2 – 4.3 redovisade.

Kalkylfallet ”utskiftning” omfattar lika överbyggnad som i stabiliseringsfallet och överensstämmer därför med utskiftningsfallet vid terrasstabilisering. I tabell 4.2 redovisas de aktuella materialmängderna för fallet utskiftning.

**Tabell 4.2. Aktuella materialmängder för fallet utskiftning som alternativ till masstabilisering.**

Lager	Bredd per vägbana (m)	Total bredd(m)	Lagertjocklek (mm)	Massa (kg/km)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
Slitlager (SL)	11,25	22,5	40	2250000	2500
Bundet bärlager (AG)	11,25	22,5	120	6750000	2500
Obundet bärlager (BL)	11,48	22,96	80	3306240	1800
Förstärkningslager (FL)	12,05	24,1	420	18219600	1800
Skyddslager (SKL)	12,56	25,12	90	4069440	1800
<b>Undergrund</b>					
Återfyllt obundet material	12,66	25,32	5000	227880000	1800
Utskiftat obundet material	12,66	25,32	5000	151920000	1200
<b>Underhåll efter 20 år</b>					
Repaving	11,25	22,5	80	4500000	2500
Ny SL 25 mm	11,25	22,5	25	1406250	2500
<b>Rekonstruktion efter 40 år</b>					
Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm	11,25	22,5	110	6187500	2500

I figur 4.5 visas utfallet av beräkningarna, utvärderat med ET-metoden.

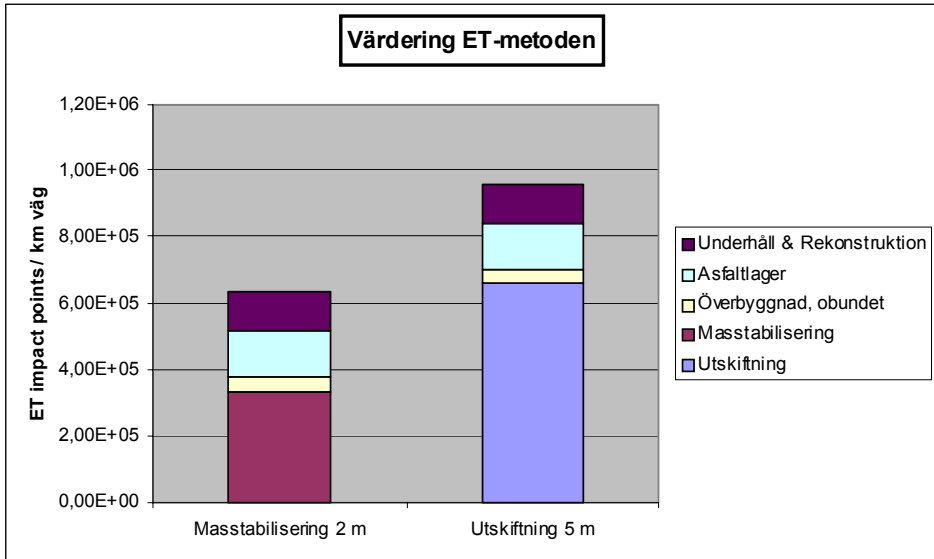
Vi har här inte presenterat separata figurer för karakterisering (klimatförändringar, försurning, övergödning, eller oxidantbildning) eller för EPS-värdering. Mönstret kan förväntas vara likartat vid masstabilisering kontra utskiftning, som vid terrasstabilisering kontra utskiftning. Det betyder att spridningen i utfall mellan de olika metoderna för miljöbedömning är ganska begränsad med de valda förutsättningarna.

Man måste dock vara försiktig med att generalisera resultatet i denna beräkning till andra anläggningsprojekt där masstabilisering diskuteras som alternativ till utskiftning. Variationer i förutsättningar med avseende på:

- mängd och typ av stabiliseringsmedel
- geoteknisk funktion
- jordens beskaffenhet
- tillgång på fyllmaterial

- möjlighet att omhänderta utskiftad torv/gyttja
- m.m.

spelar stor roll och varje anläggningsprojekt är därför unikt.



**Figur 4.5: Jämförelse av utskiftning och masstabilisering med oförändrad överbyggnad med avseende på värdering med ET metoden, uttryckt i ET impact points per km väg.**

#### 4.5 ALLMÄNNA SLUTSATSER – MASSTABILISERING

Vid masstabilisering är det ganska stora mängder av bindemedel som måste tillföras. Därför utgör stabiliseringen, och mer specifikt bindemedlets bidrag, en relativt stor del av den totala miljöpåverkan för det fallet. En viktig faktor för miljöpåverkan är därför typ och mängd bindemedel.

I det här beräknade fallet är masstabilisering det klart bästa alternativet för miljön, jämfört med utskiftning.

# 5. Djupstabilisering med kalk- cementpelare

## 5.1 TEKNISK BESKRIVNING

Metoden beskrivs i bilaga 2, Edstam (1997) och Holm (1999). I Stripple (1995) finns en inventering med livscykelanalytisk metodik gjord av djupstabilisering med kalk- cementpelare.

## 5.2 BERÄKNINGSFALL SAMT INDATA

Liksom för terrasstabilisering och masstabilisering är referensvägen en 1 km lång vägsträcka med 2 körfält om vardera 11,25 m bredd. För överbyggnaden har samma data använts som i fallet terrasstabilisering och masstabilisering, se tillämpliga delar av avsnitt 2-4. Det ger bredder och tjocklekar för de olika lagren enligt tabell 5.1. Bindemedlet består av 50 % bränd kalk och 50 % cement.

**Tabell 5.1. Mått på överbyggnad och övriga indata. 25 kg/m<sup>3</sup> bindemedel användes per meter pelare.**

Lager	Bredd per vägbana (m)	Total bredd(m)	Lagertjocklek (mm)	Massa (kg/km)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
Slitlager (SL)	11,25	22,5	40	2250000	2500
Bundet bärlager (AG)	11,25	22,5	120	6750000	2500
Obundet bärlager (BL)	11,48	22,96	80	3306240	1800
Förstärkningslager (FL)	12,05	24,1	420	18219600	1800
Skyddslager (SKL)	12,56	25,12	90	4069440	1800
<b>Undergrund</b>					
Tillfört bindemedel 25 kg/m pelare	12,66	25,32	10000	2813052	–
<b>Underhåll efter 20 år</b>					
Repaving	11,25	22,5	80	4500000	2500
Ny SL 25 mm	11,25	22,5	25	1406250	2500
<b>Rekonstruktion efter 40 år</b>					
Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm	11,25	22,5	110	6187500	2500

## Processer specifika för djupstabilisering

Samtliga processer för överbyggnaden är desamma som i terrass- och masstabiliseringsfallen. Det som är unikt för kalk- cementpelarfallet är främst data för stabiliseringen. Data är hämtade från ett verkligt stabiliseringsfall under 2000. För detaljer se bilaga 2. Data för cement och bränd kalk redovisas i avsnitt 2.4.

### 5.3 RESULTAT DJUPSTABILISERING MED KALK- CEMENTPELARE

#### 5.3.1 Inventeringsresultat

Med inventeringsresultat menas här resultat av kalkylerna för de studerade livscyklerna, uttryckt i fysiska enheter, såsom MJ, kg, osv. Dessa resultat säger alltså inte så mycket om vilken miljöpåverkan de studerade alternativen har. Däremot är de bra för att skapa förståelse för det studerade systemets egenskaper och som underlag för den vidare karakterisering och värdering som görs. I de här studerade systemen består många aktiviteter av körning med arbetsmaskiner och transporter med lastbilar

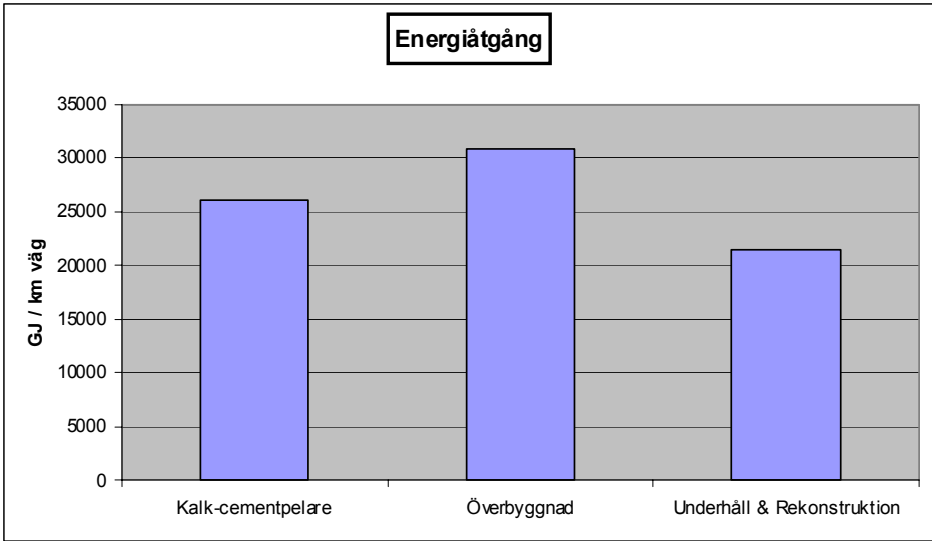
#### *Energiåtgång*

Energiåtgången har räknats om till den mängd energiresurser av olika slag som tas upp ur "jordskorpan". Därmed tar man hänsyn till de förluster som sker i överföring av elektricitet och för raffinering och distribution av bränslen m.m.

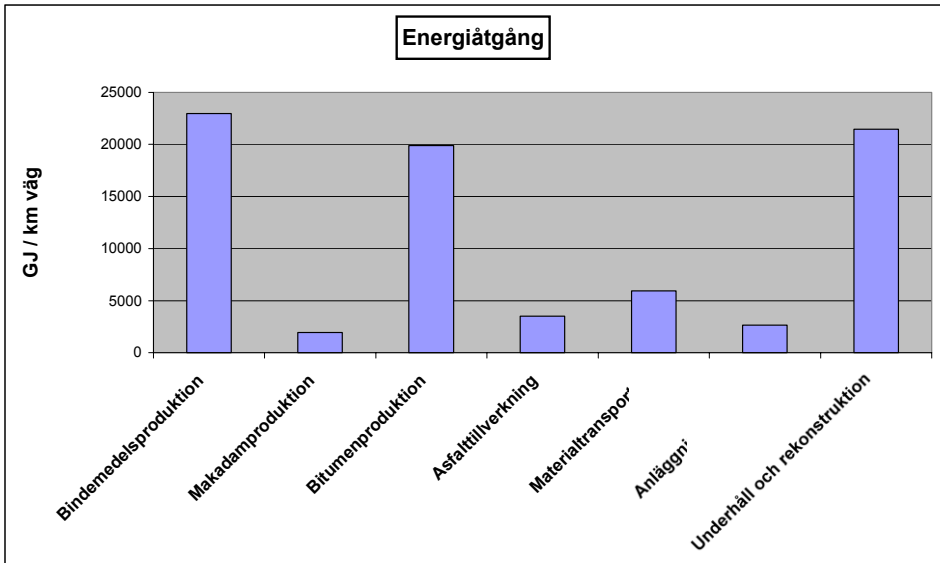
I figur 5.1 har all energiåtgång i det studerade systemet fördelats på delmomenten kalk- cementpelare, överbyggnad samt underhåll och rekonstruktion. Man kan utläsa att i produktionsfasen står stabiliseringen för cirka 40 % av vägbyggnadens energiåtgång och överbyggnaden för cirka 60 %. Underhåll och rekonstruktion svarar sedan för ungefär lika stor energiåtgång som stabiliseringen.

I figur 5.2 har en något mer finfördelad indelning gjorts. Dessutom har en omgruppering gjorts så att produktion av olika material lagts i separata moduler och transporter och anläggningsprocesser särskiljts. Detta har gjorts för att lyfta fram transporternas och anläggningsprocessernas roll jämfört med materialproduktion.

Figur 5.2 visar att produktionen av bindemedel och bitumen står vardera för drygt en tredjedel av energiåtgången medan övriga aktiviteter i produktionsfasen står för den sista knappa tredjedelen av energiåtgången.



Figur 5.1. Fördelning över faser i livscykeln av energiförbrukning räknat som primär energi (energiråvara ur jordskorpan).



Figur 5.2. Fördelning av primärenergiförbrukning på olika delar av vägbyggnadsprocessen vid djupstabilisering med kalk- cementpelare.



### 5.3.2 Karakterisering av utsläpp

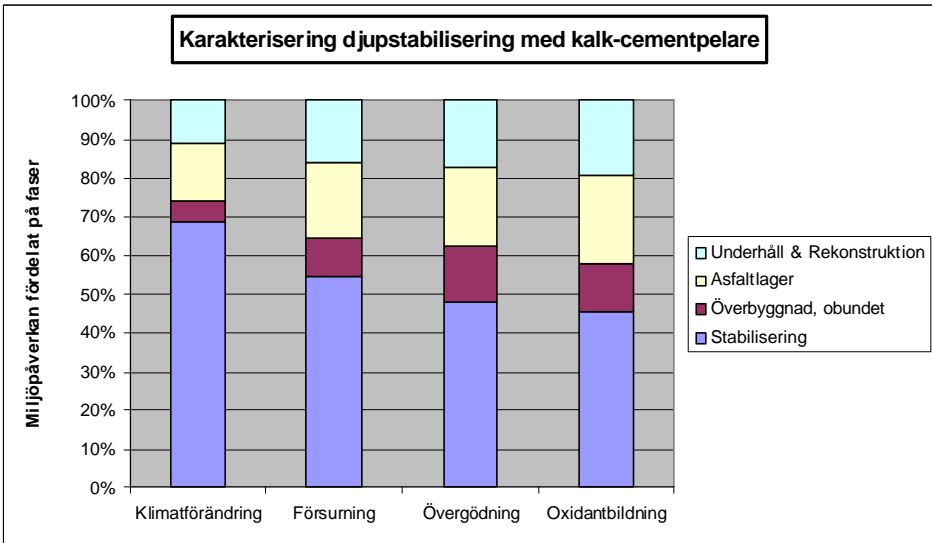
I figur 5.3 visas hur miljöpåverkan fördelar sig mellan de olika faserna i livscykeln. Inom kategorierna försurning, övergödning och fotokemisk oxidantbildning svarar stabiliseringen inklusive transporter och arbete för ca 40 – 50 %, av den totala miljöpåverkan. Dessa effekter är i första hand knutna till emissioner från förbränning av olika bränslen, t.ex. i fordonsmotorer för transporter och anläggningsarbeten. Det är därför rimligt att fördelningen av miljöpåverkan mellan olika delmoment är likartad fördelningen i energiåtgång.

Produktionen av cement och bränd kalk emitterar koldioxid som har varit bundet i utgångsmaterialet, bl.a. kalksten (kalciumkarbonat). Ett större relativt bidrag till kategorin växthuseffekt är därför att vänta sig av delmomentet stabilisering. Detta är också fallet enligt figur 5.3, där ca 2/3 av bidraget till kategorin klimatförändring kommer från stabiliseringen.

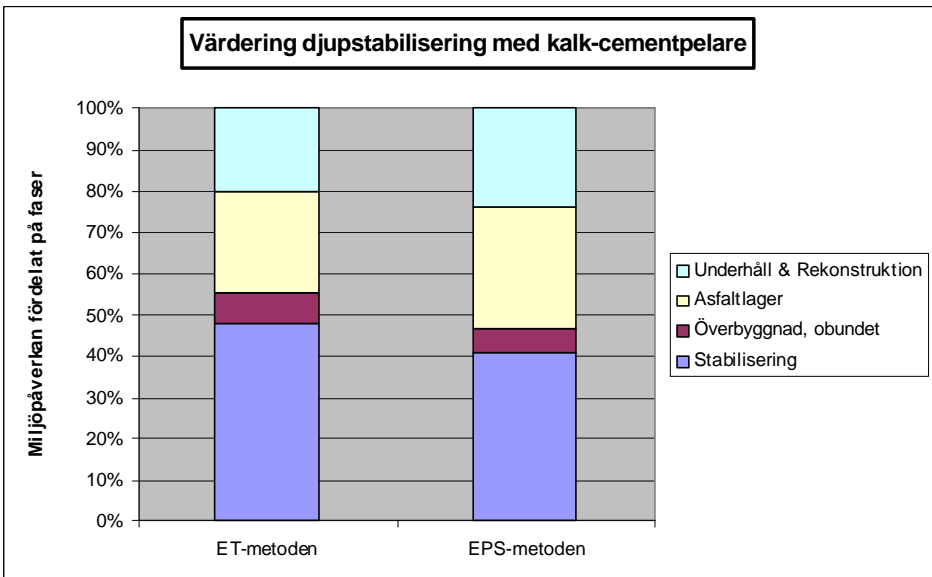
### 5.3.3 Värderingsresultat

Liksom i figur 5.3 är det intressant att se hur den samlade miljöpåverkan fördelar sig över livscykel faserna. I figur 5.4 visas detta för utvärdering med EPS-systemet och ET-systemet. Stabiliseringens bidrag är kring 40-45 %. Eftersom dessa värderingsmetoder sammanväger såväl energi- (resurs-) användning och utsläpp bidrar de bitumeninnehållande delarna i något större grad, och därmed stabilisering och obundna material i överbyggnad i lägre grad, till den samlade miljöpåverkan, än då enbart karakterisering av utsläpp studerades.

I Stripple (1995) beskrivs djupstabilisering med kalk- cementpelare och man har där inkluderat denna i inventeringen genom att en del av den 1 km väg som studeras har antagits vara stabiliserad med kalk- cementpelare. Detta gör det svårt att volymmässigt hitta en jämförbar enhet varför det inte inom ramen för detta arbete varit möjligt att jämföra hans resultat med resultaten i denna studie.



**Figur 5.3.** Miljöpåverkan inom olika effektkategorier, fördelat över vägbyggnadsprocessens faser.



**Figur 5.4.** Miljöpåverkan vid vägbyggnad med djupstabilisering med kalk-cementpelare, värderad med EPS och ET, fördelad över vägbyggnadsprocessens faser.

## **5.4 JÄMFÖRELSE DJUPSTABILISERING MED LÄTTFYLLNADSNALTERNATIV.**

Under vissa omständigheter kan ett alternativ till djupstabilisering med kalk-cementpelare vara att bygga en vägbank av lättfyllnadsmaterial (t.ex. cellplast-block eller lös lättklinker). LCA för ett urval lättfyllnadsmaterial har gjorts tidigare (Svingby & Båtelsson, 1999), men i den studien gjordes ingen jämförelse med djupstabilisering, utan endast tre olika lättfyllnadsutföranden (cellplast, lös lättklinker och merolätt) studerades.

I den här studien har vi lagt in ett beräkningsfall där vi översiktligt jämför djupstabilisering med kalk-cementpelare enligt ovanstående avsnitt med alternativa konstruktioner bestående av a) cellplast, och b) lättklinker. Syftet har varit att visa LCA-metodens användbarhet för att studera miljökonsekvenser för olika anläggningsmetoder.

### **5.4.1 Gemensamma förutsättningar**

Liksom tidigare har beräkningarna gjorts för 1 km väg med 2 vägbanor om vardera 11,25 m bredd.

Släntlutning har satts till 1:2. Bankhöjden har satts till 3 meter för båda lättfyllnadsalternativen, det vill säga från undersidan av avjämningen till ovensidan på slitlagret är höjden 3 meter.

För indata på enskilda processer har data ur CIT:s databas utnyttjats för betong, cellplast-produktion, polypropengranulat och sand. Data för lös lättklinker, armeringsjärn, produktion av geotextil och transportavstånd har hämtats ur rapporten av Svingby & Båtelsson (1999).

Notera att vid den geotekniska dimensioneringen har densiteter angivna i ATB VÄG använts. För cellplast och lös lättklinker är dessa geotekniskt dimensionerande densiteter högre än materialens inbyggnads densiteter som använts nedan.

## 5.4.2 Indata EPS cellplast

**Tabell 5.2. Transportavstånd som har använts i beräkningarna.**

	Transportavstånd [km] (transportsätt)	Kommentar
EPS cellplastblock	300 (lastbil)	Tillverkning granulat, skumning
Armeringsjärn	300 (lastbil)	Tillverkning från skrot
Betong	30 (lastbil)	
Sand	2 (dumper)	Både för avjämning och släntfyllnad (bredd 0,5 m)

**Tabell 5.3. Materialmängder för alternativet med cellplast.**

Lager	Bredd per vägbana (m)	Total bredd(m)	Lagertjock- lek (mm)	Massa (kg/km)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
Slitlager (SL)	11,25	22,5	40	2250000	2500
Bundet bärlager (AG)	11,25	22,5	120	6750000	2500
Obundet bärlager (BL)	11,48	22,96	80	3306240	1800
Förstärkningslager (FL)	12,05	24,1	420	18219600	1800
Skyddslager (SKL)	12,56	25,12	590	26677440	1800
<b>Underbyggnad</b>					
Cellplastblock	13	26	1500	780000	20
Armeringsjärn 50 kg/m <sup>3</sup> betong		26	100	130000	–
Betong	13	26	100	5980000	2300
Sand, avjämning		26	150	7020000	1800
Sand, släntfyllnad	0,5	1	2100	3780000	1800
<b>Underhåll efter 20 år</b>					
Repaving	11,25	22,5	80	4500000	2500
Ny SL 25 mm	11,25	22,5	25	1406250	2500
<b>Rekonstruktion efter 40 år</b>					
Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm	11,25	22,5	110	6187500	2500

### 5.4.3 Indata lös lättklinker

Tabell 5.4. Transportavstånd som har använts för lättklinkeralternativet.

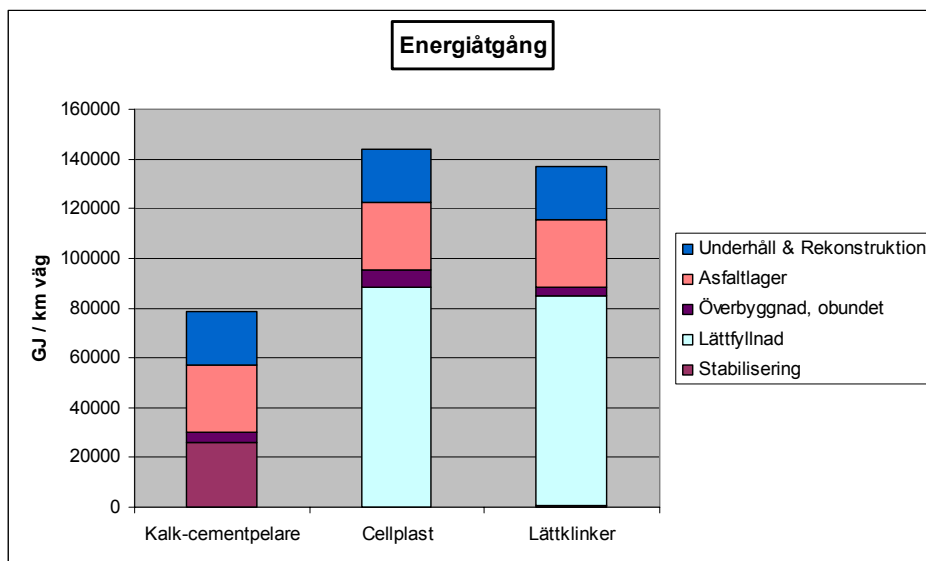
	Transportavstånd [km] (transportsätt)	Kommentar
Lättklinker	200 (lastbil)	
Geotextil	300 (duk)	
	600 (granulat)	Tillverkning granulat, duktillverkning
Grus/bergkross	2 (dumper)	Både för avjämning och släntfyllnad (bredd 0,5 m)

Tabell 5.5. Materialmängder för alternativet med lös lättklinker.

Lager	Bredd per vägbana (m)	Total bredd(m)	Lagertjock- lek (mm)	Massa (kg/km)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )
Slitlager (SL)	11,25	22,5	40	2250000	2500
Bundet bärlager (AG)	11,25	22,5	120	6750000	2500
Obundet bärlager (BL)	11,48	22,96	80	3306240	1800
Förstärkningslager (FL)	12,05	24,1	420	18219600	1800
Skyddslager (SKL)	12,56	25,12	90	4069440	1800
<b>Undergrund</b>					
Lös lättklinker	13	26	2100	20202000	370
Polypropen Geotextil				7560	–
Grus/bergkross, avjämning		26	150	7020000	1800
Grus/bergkross, släntfyllning	0,5	1	2100	3780000	1800
<b>Underhåll efter 20 år</b>					
Repaving	11,25	22,5	80	4500000	2500
Ny SL 25 mm	11,25	22,5	25	1406250	2500
<b>Rekonstruktion efter 40 år</b>					
Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm	11,25	22,5	110	6187500	2500

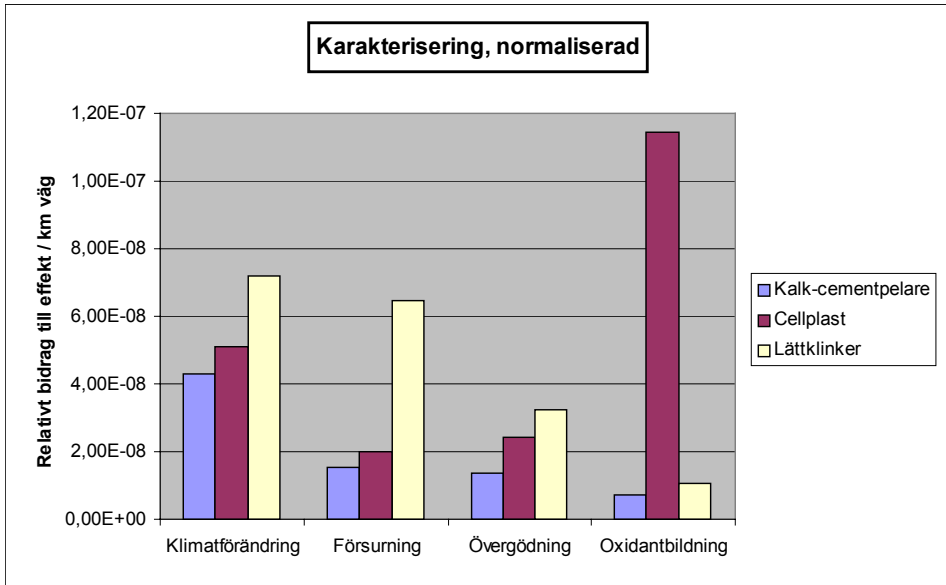
## 5.4.4 Resultat

Beräkningsresultatet för djupstabilisering och lättfyllnadsalternativen visar entydigt på fördel för djupstabilisering med kalk- cementpelare. I figur 5.5 visas resultatet för energiåtgången och med överbyggnaden inkluderad är de båda lättfyllnadsalternativen nästan dubbelt så energikrävande som djupstabilisering med kalk- cementpelare.



**Figur 5.5. Energiförbrukning för olika delar av livscyklerna för de jämförda fallen. Energiåtgången är räknad som primär energi (energiråvara ur jord-skorpan).**

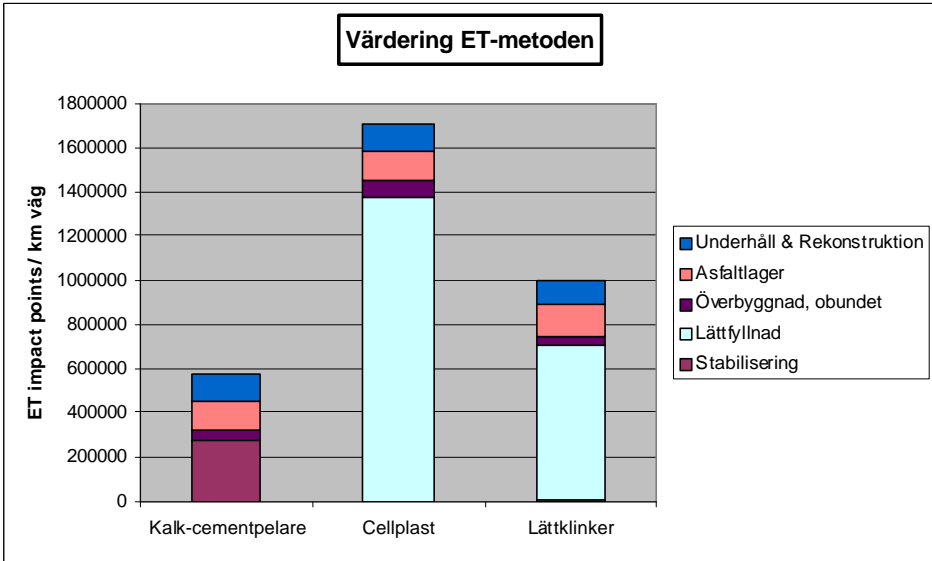
I figur 5.6 jämförs de olika alternativen med avseende på karakteriseringsresultat, och där endast de skiljande delarna ingår, det vill säga, asfjallagren och huvuddelen av obundet material i överbyggnad har ej inkluderats i figuren. Resultaten visar att djupstabilisering med kalk- cementpelare miljömässigt är att föredra framför de studerade lättfyllnadsalternativen. Skillnaderna är inbördes mindre mellan de två lättfyllnadsalternativen cellplast och lös lättklinker. För klimatförändring, övergödning och försurning framstår lös lättklinker som alternativet med störst miljöpåverkan. För oxidantbildning framstår cellplast som alternativet med klart störst miljöpåverkan.



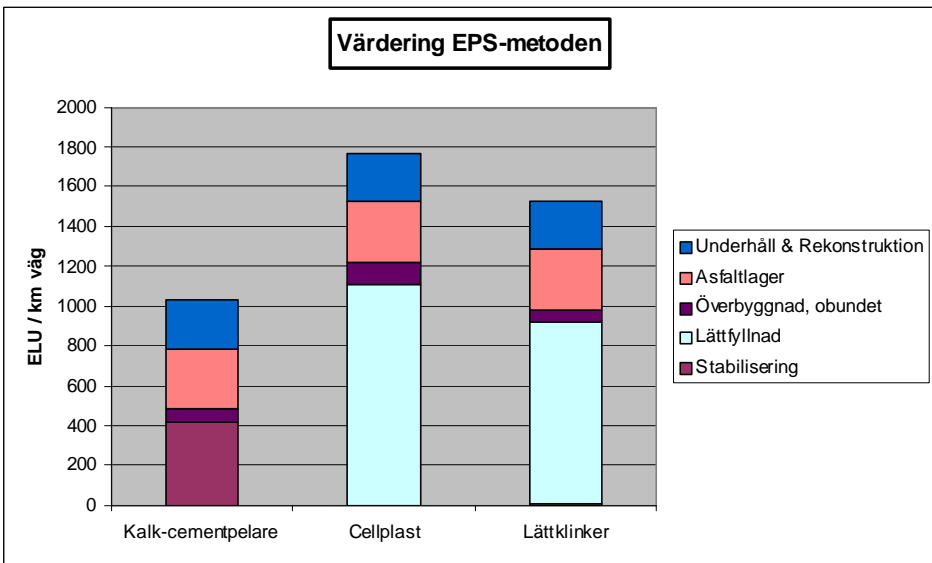
**Figur 5.6. Resultat av karakterisering för jämförelsen mellan djupstabilisering med kalk- cementpelare, lättfyllning med cellplastblock respektive med lös lättklinker, med avseende på klimatförändringar, försurning, övergödning och oxidantbildning, uttryckt relativt de samlade årliga svenska effektbidragen inom respektive kategori.**

I figur 5.7 och 5.8 har alternativen utvärderats med ET-metoden och EPS-metoden. Båda dessa metoder ger ett utfall som mycket påminner om utfallet då energiåtgången studerades. Båda beräkningsresultaten visar att de båda lättfyllnadsalternativen har cirka dubbelt så hög miljöpåverkan som djupstabilisering med kalk- cementpelare. En bidragande orsak till detta är att de båda värderingsmetoderna fäster vikt vid resursförbrukning, vilket i denna studie i första hand gäller fossila bränsleråvaror. Eftersom cellplasten framställs av fossila bränsleråvaror kommer denna metod att belastas med en stor miljöpåverkanspost kopplat till detta innehåll av fossilt kol.

I Svingby & Båtelsson (1999) har samma lättfyllnadsalternativ, cellplast och lös lättklinker, jämförts sinsemellan och resultatet visar på en väsentlig skillnad mellan dem. Lös lättklinker har där en mycket lägre miljöpåverkan än cellplast, dvs. en större skillnad än de resultat som uppnåtts i denna studie. En orsak till denna skillnad i resultat kan vara att den studien använt en annan leveransdensitet för lättklinkern. Skillnaden kan också delvis tillskrivas att nyare värderingsindex för EPS-metoden (Steen 1996 jämfört med Steen and Ryding, 1992) har använts i denna studie samt att värderingsindex för resurser inkluderats i denna studie.



**Figur 5.7.** Resultat av värdering med ET-metoden för jämförelsen mellan djupstabilisering med kalk- cementpelare, lättfyllning med cellplastblock respektive med lös lättklinker.



**Figur 5.8.** Resultat av värdering med EPS-metoden för jämförelsen mellan djupstabilisering med kalk- cementpelare, lättfyllning med cellplastblock respektive med lös lättklinker.



## **5.5 ALLMÄNNA SLUTSATSER – DJUPSTABILISERING MED KALK- CEMENTPELARE**

Resultatet för djupstabilisering med kalk-cementpelare pekar på ett relativt stort bidrag från själva stabiliseringen till den totala miljöpåverkan

I den genomförda beräkningen för lättfyllnadsmaterial som alternativ till kalk-cementpelare fås ett entydigt resultat. Djupstabilisering med kalk-cementpelare är miljömässigt att föredra framför de studerade lättfyllnadsalternativen (cellplast och lös lättklinker).

## 6. Avslutande diskussion och förslag till fortsatt arbete

Som vi inledningsvis påpekade, bör man vara försiktig med att generalisera resultat och slutsatser från beräkningar med specifika förutsättningar liknande de vi har arbetat med i den här studien. Men trots det vill vi peka på vissa slutsatser som är så tydliga att de måste kunna sägas vara i huvudsak generellt giltiga, och också användbara som tumregler.

Miljöpåverkan relaterad till transporter av bortfört och tillfört material står för en stor del av den totala miljöpåverkan i de studerade systemen. För den samlade miljöpåverkan är det därför viktigt att hålla nere transporterna så långt möjligt. Eftersom transportbehovet är nära kopplat till materialmängderna, är det alltså gynnsamt med lösningar som håller nere totala materialflödesmängderna.

Det visade sig också att det miljömässigt är tydligt fördelaktigt att bygga med förstärkt undergrund, och på så sätt minska framtida behov av underhåll och rekonstruktion.

Vi har i studien visat på möjligheten att använda LCA som en del i beslutsunderlaget i samband med val av teknisk lösning för anläggning av väg, med huvudsakligt fokus på stabilisering och lättfyllning som ett sätt att förstärka undergrunden. I arbetet har vi dock bara behandlat ett begränsat urval av geotekniska metoder och en naturlig fortsättning på arbetet kan alltså vara en motsvarande genomgång av fler metoder.

Eftersom det sker kontinuerlig utveckling av ny och förbättrad teknik för olika delar av de studerade systemen finns också i motsvarande grad behov av uppföljning och uppdatering vad beträffar miljöpåverkan från de studerade metoderna.

Som omnämnts i samband med masstabilisering kan det vara så att de ytliga jordlagren är förorenade, eller naturligt innehåller ämnen som med fördel binds genom en stabilisering (solidifieras). Detta gäller såväl ytlager på land som muddermassor. Vid såväl solidifiering som urgrävning är alltså normalt också

den vidare hanteringen av sådana jordar viktig. Allt ifrån ingen åtgärd till deponering hos t.ex. Sakab kan vara aktuell. Betydelsen av detta föreslås också vara värt att studera närmare.

Exempel på effekter som inte behandlats i studien är toxicitet, ekotoxicitet, markanvändning, färskvattenförbrukning och påverkan på biologisk mångfald. Detta är således aspekter som skulle behöva studeras lite närmare. Markanvändning bland annat kopplat till deponier är en sådan.

En fråga som aktualiserats är om material bör bära med sig ett inneboende resursvärde i den här typen av studier. För anläggningssektorn är bland annat frågan om lämplighet och möjlighet att använda naturgrus eller inte kopplad till denna typ av resonemang. Detta är en fråga som vore intressant att studera vidare. I föreliggande arbete återfinns ett inledande resonemang i frågan i bilaga 4.

# Referenser

- Andersson, K., and Andersson, R. (2003). Life cycle assessment (LCA) of a concrete road. Istanbul April 2003. Ur: Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads.
- ATB VÄG 2002, Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner Vägverket publ. 2001:111.
- Baumann et al (1993), Miljömässiga skillnader mellan återvinning/återanvändning och förbränning/deponering, Chalmers Tekniska Högskola, Chalmers Industriteknik, IVL, Sveriges Industriförbund, REFORSK FoU nr 79, 1993.
- Bredenberg, H., Holm, G. and Broms, B.B., Dry mix methods for deep soil stabilization. Ur: Proceedings of the international conference on dry mix methods for deep soil stabilization, Stockholm, Sweden, 13-15 October 1999.
- ByKR, Byggsektorns Kretsloppsrad, Byggsektorns betydande miljöaspekter, miljöutredning för byggsektorn, [www.kretsloppsradet.com/miljoutredning.html](http://www.kretsloppsradet.com/miljoutredning.html), slutrapport, 2001.
- Cementa byggvarudeklaration för cement 2000. [www.cementa.se](http://www.cementa.se).
- CIT Ekologisks databas.
- CIT transportdatabas 3g.
- Edstam. T., Erfarenhetsbank för kalk-cementpelare. Svensk Djupstabilisering, SD-rapport nr. 1. Linköping 1997.
- Ekdahl, P. Scandiaconsult Teknik Malmö, personlig kontakt, 2001.
- Elofsson, M. SSAB Merox AB, personlig kontakt 2001.
- Gillberg, B m.fl., Betong och Miljö, fakta från Betongforum. Svensk Byggtjänst, 1999.
- Gäbel, K. A life cycle process model, simulation of environmental, product and economic performance in cement production, 2001.
- Gäbel, K. Cementa AB, Danderyd, personlig kommunikation 2001.

- Heijungs, R., Guinée, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A., Wegener Sleeswijk, A., Ansems, A.M.M., Eggels, P.G., van Duin, R., and deGoede, H.P. Environmental life cycle assessment of products, Guide and Backgrounds (2 volumes), Centre of Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, October 1992.
- Holm, G., Keynote lecture: Application of dry mix methods for deep soil stabilisation. Ur: Proceedings of the international conference on dry mix methods for deep soil stabilization, Stockholm, Sweden, 13-15 October 1999.
- Häkkinen & Mäkelä. Environmental adaption of Concrete, Environmental impact of concrete and asphalt pavements. VTT, Finland, 1996.
- ISO 14040-14043, Life Cycle Assessment, International Organization for Standardization, Geneva 1998.
- Jelusic, N., Masstabilisering. Svensk Djupstabilisering, SD-rapport nr. 5. Linköping 2000.
- Jelusic, N., Vägverket Region Mitt, personlig kontakt 2001.
- Lindh, P., Soil stabilisation of fine-grained till soils – the effect of lime and hydraulic binders on strength and compaction properties, Licenciate thesis, Department of Geotechnology, Lund Institute of Technology, Lund University, ISBN 91-630-8364-7, 2000.
- Lindh, P, Statens geotekniska institut, personlig kontakt, 2001.
- NTM, 2002. Nätverket för transporter och miljön, [www.ntm.a.se](http://www.ntm.a.se).
- Olsson, M. Vägverket Region Väst, personlig kontakt, 2001.
- Person, L. Livscykelanalys tillämpad på en byggnadskonstruktion, CIT Ekologi, 1997.
- Ryding S-O och Steen B, The EPSEnviro-Accounting method. An application of environmental accounting principals for evaluation and valuation of environmental impact in product design. IVL Report no B1080, IVL, Gothenburg, 1992.
- Tillman, A.-M., Baumann, H., Eriksson, E. och Rydberg, T, Packaging and the Environment, Offprint from SOU 1991:77, Chalmers Industriteknik, Göteborg, 1992.
- Steen B, AFR, Swedish Environmental Protection Agency, “EPS-Default Valuation of Environmental Impacts from Emission and Use of Resources”, Version 1996, Annual report, Report 111, April 1996.
- Stripple, H., 1995. Livscykelanalys av väg – en modellstudie för inventering, IVL rapport B 1210, Göteborg, november 1995.

- Svingby, M. och O. Båtelsson, LCA av lättfyllnadsmaterial för vägbankar, Vägverket Publ 1999:66 (sammanfattande rapport) och 1999:67 (detaljerad rapport), 1999.
- Vold, M., A Rønning, E Okstad, LCA of Cement and Concrete - National report for the Swedish case study, Confidential, Oestfold Research Foundation, STÖ, Fredrikstad 1995.
- Volvo (2002). Miljövarudeklaration EPD för Volvo Trucks, [http://www9.volvo.com/truck/customeroffer/epd/calc\\_one.asp](http://www9.volvo.com/truck/customeroffer/epd/calc_one.asp).
- Wirtgen, [www.wirtgen.de](http://www.wirtgen.de), 2001.
- Ölund, G. och Rydberg T., Livscykelanalys av marksten. CIT Ekologik, 1998.

# **BILAGA 1**

## **Underlagsdata Terrasstabilisering**

## JÄMFÖRELSE MELLAN STABILISERING OCH MASSUTSKIFTNING

### Syfte

Att jämföra stabilisering av befintlig naturlig jord med massutskiftning.

### Förutsättningar

Byggnation av 1 km motorväg (2\*11,25 m). Stabilisering alternativt utskiftning av de översta 30 cm.

### Stabilisering

#### ■ *Arbetsgång vid stabilisering*

- 1) Vegetationsavbaning och matjordavtagning inom den yta som ska stabiliseras
- 2) Ev. uppbyggnad av bank
- 3) Etablering av fräs och spridare (samt ev. blandningsverk)
- 4) Spridning av bindemedel
  - a) transport av bindemedel till arbetsplatsen
  - b) lossning av bindemedel till spridningsfordon inkl. uppställning av bindemedelsbehållare
  - c) spridning av bindemedel
- 5) Infräsning av bindemedel (och ev. vatten)
- 6) Packning av ”fräst” yta
- 7) Kontroll av packningsegenskaper och erhållen bärighetstillväxt
- 8) Uppbyggnad av förstärknings- och bärlager
- 9) Asfaltering
- 10) Trafiköppning

#### ■ *Utrustning och start/avvecklingskostnader*

Fräs, (typ Wirtgen Hamm Soil Stabilizer Raco 350) arbetsbredd 2,4 m, transport tur och retur arbetsplatsen 50 mil.

Silo eller bulktransportsläp för mellanlagring av bindemedel (kompressor för lossning)

Dumper med spridare, transport tur och retur arbetsplatsen xx mil.

Packningsutrustning, transport tur och retur arbetsplatsen xx mil.

Transport av bindemedel till arbetsplatsen xx mil.



### ■ Bindemedelsåtgång

Bindemedelsåtgången beräknas bli ca 3 % av torrvikten hos materialet som ska stabiliseras, d.v.s. ca 17 kg bindemedel per m<sup>2</sup>. Bindemedel typ byggcement.

### ■ Beräkningsexempel stabilisering

Area som ska stabiliseras =  $(11,25 * 2) \text{ m} * 1 \text{ km} = 22\,500 \text{ m}^2$ .

Bindemedelsåtgång =  $17 \text{ kg} * 22\,500 \text{ m}^2 = 382,5 \text{ t}$ .

Kostnad för bindemedel = xx SEK/t;

**total bindemedelskostnad 382,5 \* xx = xxx SEK.**

Transport av bindemedel, varje lastbil tar ca xx t last.  $382,5 \text{ t} / \text{xx t} = \text{xx}$  lastbilar.

Kostnad för transport = xx SEK/(lastbil och mil); transportsträckan tor = xx mil;

**total transportkostnad för bindemedel = xx lastbilar \* xx mil \* xx SEK/ (lastbil och mil) = xxx SEK.**

Kostnad för lossning av bindemedel till spridningsfordon = xx SEK/lastbil;

**total kostnad för lossning = xx lastbilar \* xx SEK/lastbil = xxx SEK.**

Kostnad för transport av spridare tor arbetsplatsen = xx SEK/mil. Sträckan tor arbetsplatsen = xx mil.

**Total transportkostnad = xx SEK/mil \* xx mil = xxx SEK.**

Kostnad för spridning av bindemedel. Bindemedlet ska spridas på två ytor av storleken  $11,25 \text{ m} * 1 \text{ km}$ , d.v.s. på en total yta av  $22\,500 \text{ m}^2$ . Spridare med arbetsbredd xx m. Total körsträcka för spridare =  $2 * (11,25 \text{ m} / \text{xx m arbetsbredd}) * 1 \text{ km} = \text{xx km}$ . Kostnad för spridare = xx SEK/km. **Total kostnad för spridning av bindemedel = xx km \* xx SEK/km = xxx SEK.**

Kostnad för transport av fräs tor arbetsplatsen = xx SEK/mil. Sträckan tor arbetsplatsen = 50 mil.

**Total transportkostnad = xx SEK/mil \* 50 mil = xxx SEK.**

Kostnad för fräsning. Fräsning sker på två ytor av storleken  $11,25 \text{ m} * 1 \text{ km}$ , d.v.s. på en total yta av  $22\,500 \text{ m}^2$ . Fräsens arbetsbredd är 2,4 m. Total körsträcka för fräs =  $2 * (11,25 \text{ m} / 2,4 \text{ m arbetsbredd}) * 1 \text{ km} = 2 * 5 * 1 \text{ km} = 10 \text{ km}$ . Fräsen kan endast utnyttjas till 66 % av maxkapaciteten. Kostnad för fräs = xx SEK/km. Divmedelsförbrukning 80 l/tim.

**Total kostnad för infräsning = 10 km \* 100/66 \* xx SEK/km = xxx SEK.**

Kostnad för transport av packningsutrustning tor arbetsplatsen = xx SEK/mil.  
Sträckan tor arbetsplatsen = xx mil.

**Total transportkostnad = xx SEK/mil \* xx mil = xxx SEK.**

Kostnad för packning. Packning sker på två ytor av storleken 11,25 m \* 1 km, d.v.s. på en total yta av 22 500 m<sup>2</sup>. Packningsutrustningens arbetsbredd är xx m. Total körsträcka för packningsutrustningen = 2 \* (11,25 m /xx m arbetsbredd) \* 1 km = 2 \* xx \* 1 km = xx km. Kostnad för packningsutrustning = xx SEK/km.  
**Total kostnad för packning = xx km \* xx SEK/km = xxx SEK.**

### ■ *Beräkningsexempel massutskiftning*

Area som beröra av massutskiftning = (11,25\*2) m \* 1 km = 22 500 m<sup>2</sup>. Utskiftning sker till 0,3 m djup. Volym som berörs av massutskiftning = 0,3 m \* 22 500 m<sup>2</sup> = 6 750 m<sup>3</sup>.

Densitet hos bortgrävda massor = 1,8 t/m<sup>3</sup>. Mängd bortgrävda massor = 6 750 m<sup>3</sup> \* 1,8 t/m<sup>3</sup> = 12 150 t.

Densitet hos fyllnadsmassor (grus/sprängsten) = 1,8 t/m<sup>3</sup>. Mängd fyllnadsmassor = 6 750 m<sup>3</sup> \* 1,8 t/m<sup>3</sup> = 12 150 t.

Kostnad för grus/sprängsten = xx SEK/t;

**total kostnad för fyllnadsmassor 12 150 \* xx = xxx SEK.**

Transport av fyllnadsmassor, varje lastbil tar ca 30 t last. 12 150 t/30 t = 405 lastbilar.

Kostnad för transport = xx SEK/(lastbil och mil); transportsträckan tor grustag/bergtäkt = xx mil; **total transportkostnad för fyllnadsmassor = 405 lastbilar \* xx mil \* xx SEK/(lastbil och mil) = xxx SEK.**

Borttransport av utgrävdamassor, varje lastbil tar ca 30 t last. 12 150 t / 30 t = 405 lastbilar.

Kostnad för transport = xx SEK/(lastbil och mil); transportsträckan tor upplag = xx mil (antag att massorna kan deponeras i projektets närhet = någon km).

**Total transportkostnad för bortgrävda massor = 405 lastbilar \* xx mil \* xx SEK/(lastbil och mil) = xxx SEK.**

Kostnad för transport av grävmaskin tor arbetsplatsen = xx SEK/mil. Sträckan tor arbetsplatsen = xx mil. **Total transportkostnad = xx SEK/mil \* xx mil = xxx SEK.**

Kostnad för bortschaktning av massor. Avschaktning sker inom två ytor av storleken  $11,25 \text{ m} * 1 \text{ km}$ , d.v.s. på en total yta av  $22\,500 \text{ m}^2$  och med en volym av  $6\,750 \text{ m}^3$ . Kostnad för grävmaskin =  $xx \text{ SEK/m}^3$ .

**Total kostnad för bortschaktning =  $xx \text{ m}^3 * xx \text{ SEK/ m}^3 = xxx \text{ SEK}$ .**

Antag att den grävmaskin som schaktat bort massor också kan blada ut de nya massorna.

Kostnad för utläggning av nya massor. Utläggning sker på två ytor av storleken  $11,25 \text{ m} * 1 \text{ km}$ , d.v.s. på en total yta av  $22\,500 \text{ m}^2$  och med en volym av  $6\,750 \text{ m}^3$ . Kostnad för grävmaskin =  $xx \text{ SEK/m}^3$ .

**Total kostnad för utläggning =  $xx \text{ m}^3 * xx \text{ SEK/ m}^3 = xxx \text{ SEK}$ .**

Kostnad för transport av packningsutrustning tor arbetsplatsen =  $xx \text{ SEK/mil}$ .  
Sträckan tor arbetsplatsen =  $xx \text{ mil}$ .

**Total transportkostnad =  $xx \text{ SEK/mil} * xx \text{ mil} = xxx \text{ SEK}$ .**

Kostnad för packning. Packning sker på två ytor av storleken  $11,25 \text{ m} * 1 \text{ km}$ , d.v.s. på en total yta av  $22\,500 \text{ m}^2$ . Packningsutrustningens arbetsbredd är  $xx \text{ m}$ .  
Total körsträcka för packningsutrustningen =  $2 * (15 \text{ m} / xx \text{ m arbetsbredd}) * 1 \text{ km} = 2 * xx * 1 \text{ km} = xx \text{ km}$ . Kostnad för packningsutrustning =  $xx \text{ SEK/km}$ .

**Total kostnad för packning =  $xx \text{ km} * xx \text{ SEK/km} = xxx \text{ SEK}$ .**



**BILAGA 2**  
**Underlagsdata djupstabilisering  
med kalk- cementpelare**

2001-12-21

## Aktivitetskedja Djupstabilisering

1. Skogsavverkning  
Skogen inom fastställt arbetsområde avverkas.
2. Matjordsavtagning  
Matjorden tas av inom området som skall stabiliseras.
3. Byggande av ev arbetsbädd  
Om leran inte klarar att bära arbetsmaskinen erfordras en arbetsbädd. Oftast görs denna av krossat berg, ca 30 cm tjockt, som placeras på en geotextil.
4. Etablering av KC-maskin  
Entreprenören som ska sätta pelarna kommer med sin maskin på trailer. KC-maskinen är antingen en modifierad grävmaskin eller en specialbyggd.



Bilder på maskiner från två KC-entreprenörer: LC Markteknik och Hercules Grundläggning.

5. Installation av KC-pelare  
Alla pelarlägen markeras på markytan och varje pelare definieras med egen ID-beteckning. KC-maskinens borrhång ansätts till pelarläget och lodas eller riktas in i avsedd lutning med hjälp av speciella riktninginstrument. Blandningsverktyget borras ned till fast botten eller avsett djup. Utmatning och inblandning av bindemedel i jorden sker genom att verktyget skruvas uppåt samtidigt som bindemedlet trycks ut i verktygets ovansida. Bindemedlet har fluidiserats och blandats i maskinens lagertank och matas sedan ut i tryckledningen med varvtalsstyrda cellmatrare synkroniserade med borrhångens och inblandningsverktygets uppåtgående rörelse. Vanligen ligger inblandad

2001-12-21

mängd inom intervallet 20 – 100 kg/meter pelare och fördelningen mellan kalk och cement inom intervallet 25 – 75 % för båda materialen

6. Provning av KC-pelare  
För att säkerställa att pelarna utförs enligt uppställda krav utförs kontroll/provning av pelarna. Normalt så utförs provning på ca 1 % av utförda pelare. Provningsutförs genom att pelaren sonderas uppifrån eller nerifrån.
7. Uppbyggnad av bank + förbelastning  
Banken byggs upp med krossat berg till i handlingen föreskriven nivå. Förbelastningen görs för att skynda på sättningförloppet och ta ut sättningarna under byggnadstiden. Tiden för förbelastning varierar från objekt till objekt, normalt 6 – 12 månader.
8. Avschaktning av förbelastning  
När sättningarna avstannat schaktas förbelastningen av till nivå där förstärkningslagret skall börja.
9. Uppbyggnad av förstärknings- och bärlager  
De obundna lagren byggs upp enligt normalsektion.
10. Asfaltering  
Bundna lager byggs enligt normalsektion
11. Trafiköppning  
Vägen är klar att använda

Mats Olsson  
Vägverket Region Väst  
Teknikavdelningen

### **Kompletterande information efter frågor från TR**

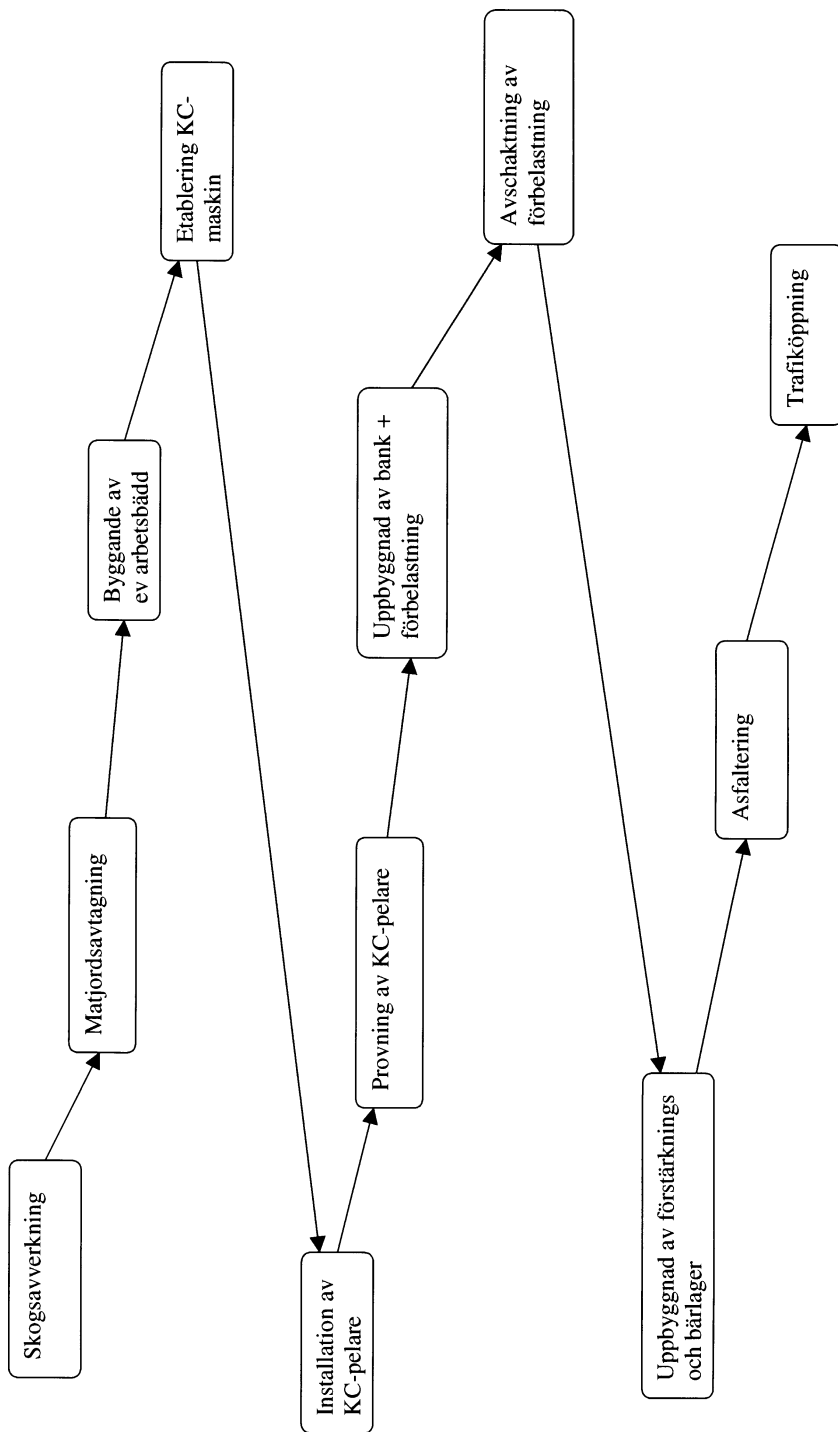
*Typiskt värde på avsett djup (eller inom vilket intervall) för en pelare?*

Det varierar från fall till fall. För närvarande kan pelare upp till 24 m längd sättas i Sverige. Medellängden eller typiskt värde borde ligga på 15 m.

*Antal pelare per m<sup>2</sup> väg?*

Pelarna sätts normalt i rutmönster med c/c från 1,0 – 2,0 m, det varierar alltså från 1 pelare /m<sup>2</sup> till 0,25 pelare /m<sup>2</sup>. Typiskt värde borde vara 0,44 pelare /m<sup>2</sup> (c/c 1,5 m)

## Flödesschema förstärkning med KC-pelare





## LCA för KC-pelare

**Valt objekt:** 1 förstärkning ingående i E6, Håby Rabbalshede, del 3

**Entreprenör:** Hercules Grundläggning, ue till NCC

Kontakt: Ingemar Magnusson, 031-647856, 070-5891225

### Pelare

Diameter: 600 mm

Inblandning: 75/25

Inblandad mängd: 25 kg / m pelare

Total inblandningslängd: 29 500 m

### Etablering

Körda mil från förra etableringen:

**25 mil**

Förbrukning diesel l/10 mil:

**55 lit, tot 138 lit**

Bränslekvalitet:

**Citydiesel**

## DATA GÄLLANDE FÖRHÅLLET 75/25

### KC-Installation

Total åtgång kalk (hårdbränd, osläckt):

**575 ton (75 %)**

Total åtgång cement (Std Portland):

**195 ton (25 %)**

Transport av kalk, mil/leverans:

**2 x 35 mil, 15 lev, tot 1050 mil**

Kommer från (ort):

**Köping**

Förbrukning diesel, l/10 mil:

**45 lit, tot 4725 lit**

Bränslekvalitet:

**Citydiesel**

Transport av cement, mil/leverans:

**2 x 16 mil, 5 lev, tot 160 mil**

Kommer från (ort):

**Skövde**

Förbrukning diesel l/10 mil:

**45 lit, tot 720 lit**

Bränslekvalitet:

**Citydiesel**

Tidsåtgång för installation, antal dagar:

**30 skift ( 16 tim )**

Åtgång drivmedel för installation, antal liter:

**15 000 lit**

Maskinstorlek:

**1 Utrustn. består av 2 st 35 tons maskiner**

Bränslekvalitet:

**Citydiesel**

## DATA GÄLLANDE FÖRHÅLLANDET 50/50

### KC-Installation

Total åtgång kalk (hårdbränd, osläckt): **385 ton (50 %)**

Total åtgång cement (Std Portland): **385 ton (50 %)**

Transport av kalk, mil/leverans: **2 x 35 mil, 10 lev, tot 700 mil**

Kommer från (ort): **Köping**

Förbrukning diesel, l/10 mil: **45 lit, tot 3150 lit**

Bränslekvalitet: **Citydiesel**

Transport av cement, mil/leverans: **2 x 16 mil, 10 lev, tot 320 mil**

Kommer från (ort): **Skövde**

Förbrukning diesel l/10 mil: **45 lit, tot 1440 lit**

Bränslekvalitet: **Citydiesel**

Tidsåtgång för installation, antal dagar: **30 skift (16 tim )**

Åtgång drivmedel för installation,  
antal liter: **15 000 lit**

Maskinstorlek: **1 Utrustn. består av 2 st**

**35 tons maskiner**

Bränslekvalitet: **Citydiesel**

### Service

Hur ofta ( /1000 h): **4 ggr/1000 h**

Materialåtgång (olja, slitdelar o dyl.): **4 x 60 lit vegetabilisk,  
2 st blandningsvertyg**

29 500 m pelare ( Ø 600 mm) ⇒ 8340 m<sup>3</sup> stabiliserad jord

62 204 m<sup>3</sup> jord totalt ⇒ andel stabiliserad jord = 13 %

## **Bilaga 3**

# **Effekt av terrasstabilisering - Slutrapport *RST Sweden***

Malmö 2003-01-23  
SCANDIACONSULT SVERIGE AB  
RST Sweden  
Peter Ekdahl

## 1. INLEDNING

Terrasstabilisering är en metod att styva upp terrassmaterialet genom inblandning av främst cement eller kalk. Denna rapport består av en exemplifiering av effekterna av terrasstabilisering på vägdimensionering, beräknat med PMS Objekt 2000 som är Vägverkets verktyg för vägdimensionering.

Arbetet baseras på tre scenario

- utan stabilisering
- med stabilisering
- med stabilisering och kompensationsminskning av förstärkningslagret med bibehållen livslängd på vägen

Dessa har redovisats med olika teknisk kvalitet, totalt har därför fem alternativ beräknats.

Som ett generellt mått på stabiliseringens inverkan på terrassens styvhet (E-modul) kan man enligt SGI anta att modulen ökar med en faktor 3 under ofrusna förhållanden.

Dessutom görs en enkel uppskattning av påverkan på de underhållsinsatser som kan behövas med utgångspunkt från vilket kriterium som avgör vägens livslängd.

De två kriterier som enligt ATB VÄG anses dimensionerande är

- horisontell dragtöjning i underkant av asfaltlagret
- vertikal trycktöjning i på terrassytan

Dessutom finns ett kriterium för enstaka tung last, vilket dock inte är dimensionerande i något fall.

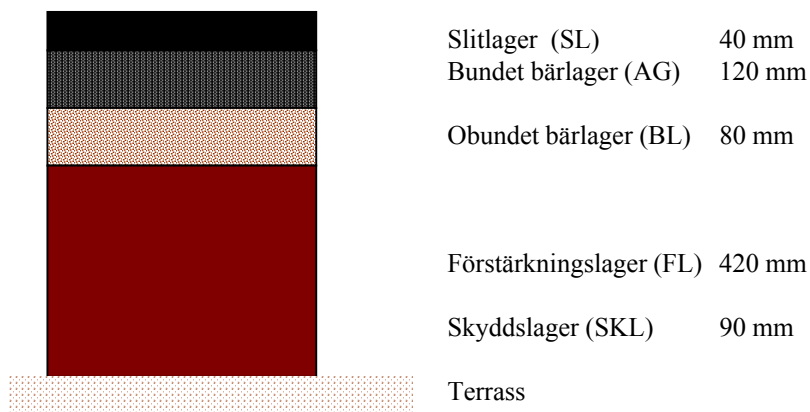
Exemplifiering görs för en väg i Skåne med lermorän som terrassmaterial och genom att använda sig av trafikmängden motsvarande totalt  $9 \cdot 10^6$  standardaxlar under 20 år enligt ATB VÄG (trafikklass 5 i gamla VÄG94).

Som mått på avgörande kriterium används en kvot (K) mellan tillåtet och verkligt antal standardaxlar. Denna skall vara  $>1$  för att konstruktionen skall hålla avsedda 20 år för asfalten och 40 år för obundna lager.

Rutinunderhåll, på grund av spårbildning orsakad av deformationer och dubbäcksslitage, har inte behandlats i rapporten eftersom detta underhåll inte görs för att öka hela konstruktionens strukturella styrka utan mer för att ge trafikanterna en jämn och säkert överyta. Normalt behövs spårunderhåll ungefär vart 10:e år.

## 2. ACKUMULERAD TRAFIK - 9 MILJONER STANDARDAXLAR UNDER 20 ÅR

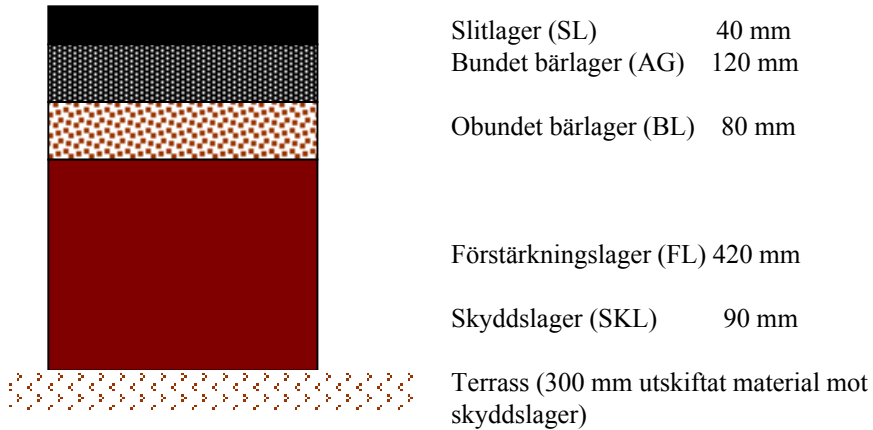
### 2.1 Utan terrassåtgärd



	Efter 20 år	Efter 40 år
$K_{\text{asfalt}}$	= 1,06	ca 1
$K_{\text{terrass}}$	=	ca 1

Detta betyder i praktiken att såväl asfalt som terrass efter 20 år kan vara orsaken till en utlöpt livslängd för konstruktionen. Underhåll orsakat av  $K_{\text{asfalt}}$  är såväl enklare som billigare än om orsaken kommer från terrassens deformationer ( $K_{\text{terrass}}$ ). Konstruktionen (terrassen) kommer efter ca 40 år troligen behöva grundligt rekonstrueras.

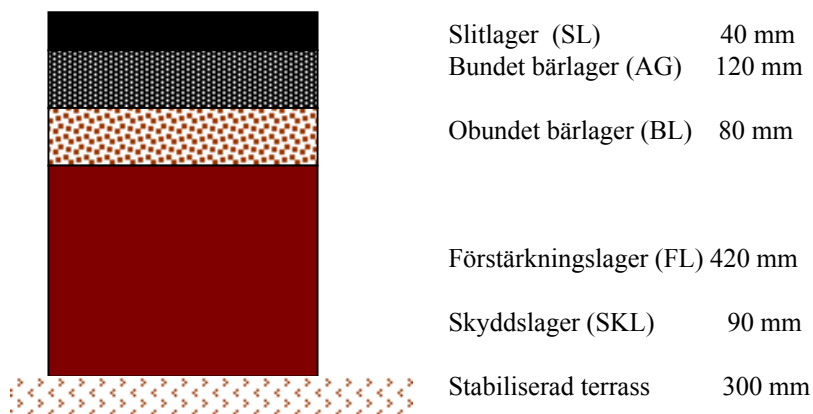
## 2.2 Med utskiftning av terrass



	Efter 20 år	Efter 40 år
$K_{\text{asfalt}}$	= 1,09	ca 1
$K_{\text{terrass}}$	=	ca 6

Utskiftning av terrassen mot 300 mm extra skyddslager ger effekten att  $K_{\text{terrass}}$  ökar markant. Risken för skador som härstammar från en svag terrass reduceras alltså. Detta betyder i praktiken att asfaltens livslängd är utlöpt innan terrassen är i riskzonen. Underhåll orsakat av  $K_{\text{asfalt}}$  är såväl enklare som billigare än om orsaken kommer från terrassens deformationer ( $K_{\text{terrass}}$ ).

## 2.3 Med stabilisering

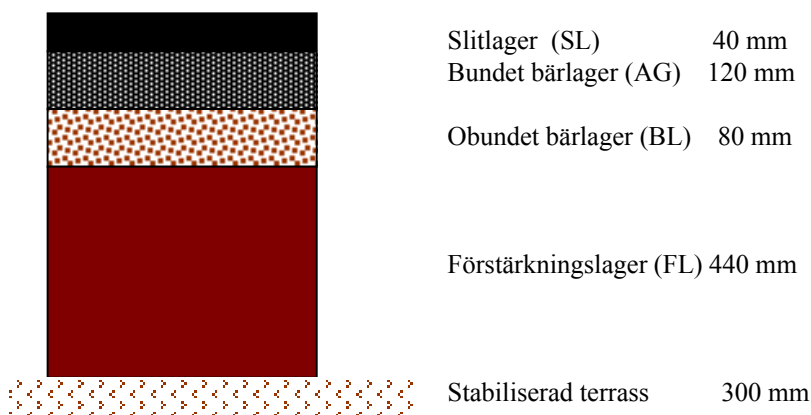


	Efter 20 år	Efter 40 år
$K_{\text{asfalt}}$	= 1,01	ca 1
$K_{\text{terrass}}$	=	ca 12

Underhållsbehovet blir med all sannolikhet enbart orsakat av  $K_{\text{asfalt}}$ . Säkerheten på terrasskriteriet har ökat betydligt som följd av den styvare terrassen.

## 2.4 Med stabilisering och korrigerat förstärkningslager

–  $K_{\text{terrass}} = 6$  efter 20 år



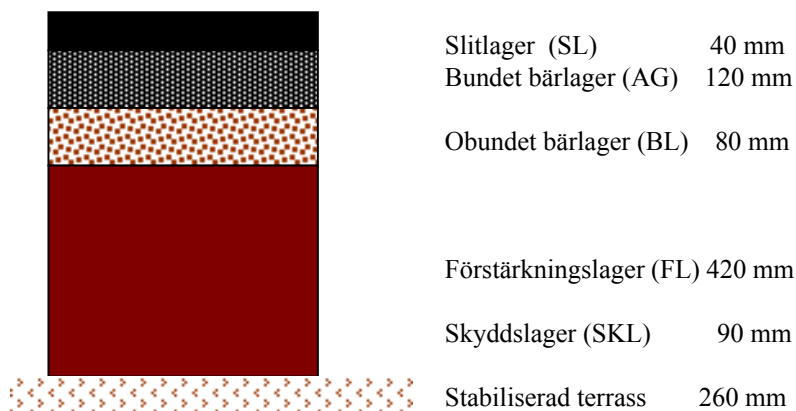
	Efter 20 år	Efter 40 år
$K_{\text{asfält}}$	= 1,13	ca 1
$K_{\text{terrass}}$	=	ca 6

Stabiliseringen medför i detta fall att man teoretiskt kan ta bort skyddslagret och samtidigt öka förstärkningslagret till 440 mm. Fortfarande finns ungefär samma säkerhet som i avsnitt 2.2 för att terrassen inte kommer vålla problem under den tekniska livslängden och kommer därmed inte påverka underhållsvalet.

Skillnaden gentemot utskiftning av terrassmaterial ligger främst i att utskiftningen byts ut mot stabilisering och att förstärknings- och skyddslagertjockleken kan minskas med 70 mm genom stabilisering.



## 2.5 Med stabilisering – $K_{\text{terrass}} = 6$ efter 20 år



	Efter 20 år	Efter 40 år
$K_{\text{asfalt}}$	= ca 1	ca 1
$K_{\text{terrass}}$	=	ca 6

Med samma överbyggnad som med 300 mm utskiftat material får man samma bärighet hos terrassen med 260 mm stabilisering. Detta gör att man fortfarande får ungefär samma säkerhet som i avsnitt 2.2 för att terrassen inte kommer vålla problem under den tekniska livslängden. Därmed används här också samma troliga underhåll och rekonstruktion.

### 3. BELÄGGNINGSUNDERHÅLL

Bedömningarna av underhållsbehov grundar sig på följande resonemang; Underhåll sker normalt genom asfaltförstärkning på ytan, ytterst sällan är det praktiska förfarandet att man gräver bort asfalten för en förstärkning av underliggande material vilket teoretiskt annars är ett rimligt alternativ. När kvoten  $K_{\text{terrass}}$  är nära 1 baseras underhållsstrategin i denna rapport istället på att förstärka asfaltlagren så mycket att belastningen på terrassen minskar och på så sätt förlänger man den tekniska livslängden för detta lager. Vid stora kvoter på  $K$  kan man nöja sig med underhåll som i mindre utsträckning minskar belastningen på terrassen men som förstärker asfalten i sig.

Nedan har olika underhålls- och rekonstruktionsåtgärder angivits för att alternativen ska vara tekniskt jämförbara sinsemellan. Därför ska nedanstående olika åtgärder ses som en relativ jämförelse alternativen emellan.

Vid beräkning av minskat asfaltunderhåll med effekter från stabilisering gentemot utskiftning av terrassmaterial (men med samma överbyggnad i övrigt) fås:

#### **Normal åtgärd efter 20 år:**

Alternativen i avsnitt 2.1

Asfaltbundet bärlager (AG) 55 mm + 40 mm nytt asfaltslitlager.

Utskiftning och stabilisering, dvs. övriga alternativ

Repaving + 25 mm nytt asfaltslitlager.

Repaving antas ta bort 40 mm SL + 40 mm bundet bärlager.

#### **Åtgärd efter 40 år:**

Alternativen i avsnitt 2.1

Efter 40 år är det normala en rekonstruktion bestående av:

150 mm nytt bindlager + 70 mm AG + 40 mm nytt asfaltslitlager.

Utskiftning och stabilisering i avsnitt 2.2, 2.4 samt 2.5

70 mm AG + 40 mm nytt slitlager. Dvs gentemot ingen terrassåtgärd är skillnaden efter 40 år 150 mm asfaltbundet bindlager.

Stabilisering i avsnitt 2.3

50 mm AG + 40 mm nytt slitlager. Dvs gentemot ingen terrassåtgärd är skillnaden efter 40 år 170 mm asfaltbundet bindlager.

## **Bilaga 4**

# **Sätt att miljövärdera lösa material**

## SÄTT ATT MILJÖVÄRDERA LÖSA MATERIAL (NATURGRUS KONTRA KROSS)

I den aktuella studien förekommer endast krossmaterial. Nedanstående resonemang har därför ingen direkt bäring på de framräknade resultaten. Det kan dock vara intressant i andra sammanhang att diskutera värdering av naturgrus.

### EPS-filosofi

I EPS-systemet har naturgrus värderats efter substituerbarhet med krossmaterial. Det innebär (får till följd att) att energikostnad för att krossa sten till storlekar liknande naturgrus belastar naturgruset från början, med ett ELU-index som är 0,003 ELU/kg.

På samma sätt skulle man kunna värdera grus utifrån andra kategorier, baserat på skillnaden i energiåtgång för makadam kontra naturgrus.

Stripple anger följande värden:

Per ton produkt	Naturgrus	Kross
El (MJ)	2,4	21,2
Diesel (MJ)	0,886	17

EPS-filosofin tillämpad på Stripplens indata skulle ge naturgruset ett ”värde” av 18,8 MJ el och 16,1 MJ diesel/ton.

Energiåtgången för naturgrus är 5 % av makadam i detta exempel.

En intressant konsekvens av synsättet är att alla beräkningar som presenteras i rapporten, är giltiga både för krossgrus och naturgrus om principen ovan tillämpas.

### Knapphetstal

Den i LCA mest förekommande metoden att värdera (eg. karakterisera) resurser är att ställa användningen mot den globala tillgången. Om man tillämpar det på naturgrus kan man få ett mått som kan jämföras med motsvarande mått för metaller och liknande resurser.

Kontentan är att det idag saknas ett enhetligt sätt att värdera naturgrus.

## **BILAGA 5**

# **Resultat i tabellform**

## Innehållsförteckning Bilaga 5

Översikt av alternativ .....	85
Fall A, Befintlig terrass, Underhåll och rekonstruktion typ 1 .....	86
Fall B:1, Utskiftning av terrass, referensfall, Underhåll och rekonstruktion typ 2 .....	87
Fall B:2, Utskiftning av terrass, korta transporter, Underhåll och rekonstruktion typ 2 .....	88
Fall C, Terrasstabilisering 30 cm, Underhåll och rekonstruktion typ 3 .....	89
Fall D, Terrasstabilisering, 30 cm, minskad överbyggnad, Underhåll och rekonstruktion typ 2 .....	90
Fall E:1, Terrasstabilisering, referensfall, 26 cm stabilisering, Underhåll och rekonstruktion typ 2 .....	91
Fall E:2, Terrasstabilisering, korta transporter, 26 cm stabilisering, Underhåll och rekonstruktion typ 2 .....	92
Masstabilisering .....	93
Utskiftning som alternativ till masstabilisering .....	94
Djupstabilisering med kalk- cementpelare .....	95
Lättyllning med cellplastblock .....	96
Lättyllning med lös lättklinker .....	97

## Översikt av alternativ

<i>Alternativ</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
<i>Slitlager (mm)</i>	40	40	40	40	40
<i>AG (mm)</i>	120	120	120	120	120
<i>Obundet bärlager (mm)</i>	80	80	80	80	80
<i>Förstärkningslager (mm)</i>	420	420	420	440	420
<i>Skyddslager (mm)</i>	90	90	90	0	90
<i>Utskiftat material (mm)</i>	0	300	0	0	0
<i>Stabiliserat material (kg cement per m<sup>2</sup>)</i>	0	0	17	17	14,5
<i>Underhåll och rekonstruktion</i>	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 2	Typ 2

För underhåll och rekonstruktion har tre olika upplägg använts enligt tabell 3.1. De olika uppläggerna består av:

**Typ 1:** Underhåll efter 20 år – Ny AG 55 mm + Ny SL 40 mm; Rekonstruktion efter 40 år – Nytt bindlager 150 mm, Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm

**Typ 2:** Underhåll efter 20 år – Repaving (antas motsvara 40 mm av SL + 40 mm av AG) samt påläggning av 25 mm ny SL; Rekonstruktion efter 40 år – Ny AG 70 mm + Ny SL 40 mm

**Typ 3:** Underhåll efter 20 år – Repaving (antas motsvara 40 mm av SL + 40 mm av AG) samt påläggning av 25 mm ny SL; Rekonstruktion efter 40 år – Ny AG 50 mm + Ny SL 40 mm

## Fall A, Befintlig terrass, Underhåll och rekonstruktion typ 1

Parameter	filnamn	Utskiftning A	Utskiftning	Ö.byggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekond	Total
<b>Inventeringsresultat</b>							
Energiåtgång	GJ / km väg		0,00E+00	3,98E+03	2,71E+04	5,79E+04	8,89E+04
CO2 [kg]	kg / km väg		0,00E+00	2,79E+05	5,80E+05	1,28E+06	2,14E+06
SO2 [kg]	kg / km väg		0,00E+00	3,00E+02	1,59E+03	3,51E+03	5,40E+03
NOx [kg]	kg / km väg		0,00E+00	2,80E+03	3,65E+03	8,07E+03	1,45E+04
VOC [kg]	kg / km väg		0,00E+00	9,25E+02	1,58E+03	3,51E+03	6,02E+03
PAH [kg]	kg / km väg		0,00E+00	3,32E-04	1,38E-03	3,08E-03	4,79E-03
Partiklar [kg]	kg / km väg		0,00E+00	2,06E+02	4,09E+02	9,09E+02	1,52E+03
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>							
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km		0,00E+00	3,21E+05	8,35E+05	1,63E+06	2,79E+06
Försurning	kg SO2-ekv / km		0,00E+00	2,25E+03	4,14E+03	9,14E+03	1,55E+04
Övergödning	kg NOx-ekv / km		0,00E+00	2,80E+03	3,65E+03	8,07E+03	1,45E+04
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km		0,00E+00	4,04E+02	6,73E+02	1,49E+03	2,57E+03
<b>Viktningresultat</b>							
ET, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km		0,00E+00	4,46E+04	1,40E+05	3,03E+05	4,87E+05
EPS-metoden	ELU / km		0,00E+00	6,31E+01	3,05E+02	6,55E+02	1,02E+03

**Utskiftning** omfattar utgrävning, borttransport och deponi, samt produktion, transport och installation av återfyllnadsmaterial  
**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden  
**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonditionering** omfattar alla dessa arbeten inkl materialberedning och transport



## Fall B:1, Utskiftning av terrass, referensfall, Underhåll och rekonstruktion typ 2

### Resultat i tabellform för Utskiftning av terrass, normal överbyggnad

Fall B filnamn Utskiftning B referensfall

Parameter		Utskiftning	Ö.byggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekond	Total
<b>Inventeringsresultat</b>						
Energiåtgång	GJ / km väg	4,02E+03	3,77E+03	2,71E+04	2,15E+04	5,64E+04
CO2 [kg]	kg / km väg	2,84E+05	2,64E+05	5,80E+05	4,87E+05	1,62E+06
SO2 [kg]	kg / km väg	3,02E+02	2,84E+02	1,59E+03	1,33E+03	3,50E+03
NOx [kg]	kg / km väg	3,15E+03	2,65E+03	3,65E+03	3,12E+03	1,26E+04
VOC [kg]	kg / km väg	9,82E+02	8,77E+02	1,58E+03	1,35E+03	4,79E+03
PAH [kg]	kg / km väg	1,69E-04	3,15E-04	1,38E-03	1,17E-03	3,04E-03
Partiklar [kg]	kg / km väg	2,15E+02	1,96E+02	4,09E+02	3,47E+02	1,17E+03
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>						
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km	3,30E+05	3,04E+05	8,35E+05	6,23E+05	2,09E+06
Förorening	kg SO2-ekv / km	2,50E+03	2,13E+03	4,14E+03	3,51E+03	1,23E+04
Övergödning	kg NOx-ekv / km	3,16E+03	2,65E+03	3,65E+03	3,13E+03	1,26E+04
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km	4,32E+02	3,83E+02	6,73E+02	5,72E+02	2,06E+03
<b>Viktningresultat</b>						
ET, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km	4,66E+04	4,23E+04	1,40E+05	1,14E+05	3,43E+05
EPS-metoden	ELU / km	6,45E+01	5,98E+01	3,05E+02	2,44E+02	6,74E+02

**Utskiftning** omfattar urgrävning, borttransport och deponi, samt produktion, transport och installation av återfyllnadsmaterial

**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden

**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonstruktion** omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter

## Fall B:2, Utskiftning av terrass, korta transporter, Underhåll och rekonstruktion typ 2

### Resultat i tabellform för Utskiftning av terrass, normal överbyggnad, korta transporter

Fall B filnamn Kort trp fall B utskiftning

Parameter		Utskiftning	Ö.byggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekond	Total
Inventeringsresultat						
Energiåtgång	GJ / km väg	1,48E+03	2,19E+03	2,44E+04	1,93E+04	4,74E+04
CO2 [kg]	kg / km väg	1,03E+05	1,51E+05	3,88E+05	3,26E+05	9,68E+05
SO2 [kg]	kg / km väg	1,09E+02	1,58E+02	1,37E+03	1,15E+03	2,79E+03
NOX [kg]	kg / km väg	1,07E+03	1,58E+03	1,82E+03	1,56E+03	6,03E+03
VOC [kg]	kg / km väg	3,40E+02	4,94E+02	9,31E+02	7,91E+02	2,56E+03
PAH [kg]	kg / km väg	1,69E-04	3,15E-04	1,38E-03	1,17E-03	3,04E-03
Partiklar [kg]	kg / km väg	6,94E+01	9,44E+01	2,37E+02	2,02E+02	6,03E+02
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>						
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km	1,19E+05	1,75E+05	4,93E+05	3,68E+05	1,15E+06
Försurning	kg SO2-ekv / km	8,55E+02	1,26E+03	2,65E+03	2,25E+03	7,02E+03
Övergödning	kg NOx-ekv / km	1,07E+03	1,58E+03	1,83E+03	1,56E+03	6,04E+03
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km	1,49E+02	2,17E+02	3,89E+02	3,31E+02	1,09E+03
<b>Viktningresultat</b>						
ET, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km	1,67E+04	2,47E+04	1,10E+05	8,97E+04	2,41E+05
EPS-metoden	ELU / km	2,32E+01	3,38E+01	2,61E+02	2,09E+02	5,26E+02

**Utskiftning** omfattar utgrävning, borttransport och deponi, samt produktion, transport och installation av återfyllnadsmaterial

**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden

**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonstruktion** omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter

### Fall C, Terrasstabilisering 30 cm, Underhåll och rekonstruktion typ 3

filnamn stabilisering oförändrad överbyggnad fall0\_24nov

Parameter	Stabilisering	Ö.byggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekonstruktion	Total
<b>Inventeringsresultat</b>					
Energiåtgång	GJ / km väg	3,77E+03	2,71E+04	1,85E+04	5,10E+04
CO2 [kg]	kg / km väg	3,34E+05	5,80E+05	4,17E+05	1,59E+06
SO2 [kg]	kg / km väg	2,55E+02	1,59E+03	1,14E+03	3,26E+03
NOx [kg]	kg / km väg	7,79E+02	3,65E+03	2,67E+03	9,75E+03
VOC [kg]	kg / km väg	3,53E+02	1,58E+03	1,15E+03	3,96E+03
PAH [kg]	kg / km väg	3,80E-04	1,38E-03	9,96E-04	3,07E-03
Partiklar [kg]	kg / km väg	1,13E+02	4,09E+02	2,96E+02	1,01E+03
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>					
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km	3,59E+05	8,35E+05	5,32E+05	2,03E+06
Försurning	kg SO2-ekv / km	7,97E+02	4,14E+03	3,01E+03	1,01E+04
Övergödning	kg NOx-ekv / km	7,79E+02	3,65E+03	2,68E+03	9,76E+03
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km	1,84E+02	6,73E+02	4,89E+02	1,73E+03
<b>Viktningsresultat</b>					
ET, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km	2,59E+04	1,40E+05	9,80E+04	3,06E+05
EPS-metoden	ELU / km	4,16E+01	3,05E+02	2,10E+02	6,17E+02

**Stabilisering** omfattar produktion, transport och installation av cement

**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden

**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonstruktion** omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter

## Fall D, Terrasstabilisering, 30 cm, minskad överbyggnad, Underhåll och rekonstruktion typ 2

Fall D

filnamn

stabilisering fall1\_24nov

Parameter	Stabilisering	Ö.byggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekond	Total
<b>Inventeringsresultat</b>					
Energiåtgång	GJ / km väg	3,30E+03	2,86E+04	2,26E+04	5,62E+04
CO2 [kg]	kg / km väg	2,31E+05	6,85E+05	5,76E+05	1,83E+06
SO2 [kg]	kg / km väg	2,55E+02	1,71E+03	1,43E+03	3,64E+03
NOx [kg]	kg / km väg	7,79E+02	4,65E+03	3,98E+03	1,17E+04
VOC [kg]	kg / km väg	3,53E+02	1,94E+03	1,65E+03	4,71E+03
PAH [kg]	kg / km väg	3,80E-04	1,38E-03	1,17E-03	3,21E-03
Partiklar [kg]	kg / km väg	1,13E+02	5,03E+02	4,27E+02	1,21E+03
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>					
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km	2,66E+05	8,65E+05	6,45E+05	2,14E+06
Försurning	kg SO2-ekv / km	1,86E+03	4,95E+03	4,20E+03	1,18E+04
Övergödning	kg NOx-ekv / km	2,32E+03	4,65E+03	3,98E+03	1,17E+04
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km	1,84E+02	8,28E+02	7,04E+02	2,05E+03
<b>Viktningresultat</b>					
ET, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km	3,70E+04	1,56E+05	1,28E+05	3,47E+05
EPS-metoden	ELU / km	5,23E+01	3,29E+02	2,64E+02	6,87E+02

**Stabilisering** omfattar produktion, transport och installation av cement

**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden

**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonstruktion** omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter

## Fall E:1, Terrasstabilisering, referenstill, 26 cm stabilisering, Underhåll och rekonstruktion typ 2

filnamn Terrass-stabilisering, alternativfall E

Parameter	Stabilisering	överbyggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekonstruktion	Total
<b>Inventeringsresultat</b>					
Energiåtgång	1,43E+03	3,77E+03	2,71E+04	2,15E+04	5,38E+04
CO2 [kg]	2,85E+05	2,64E+05	5,80E+05	4,87E+05	1,62E+06
SO2 [kg]	2,17E+02	2,84E+02	1,59E+03	1,39E+03	3,42E+03
NOx [kg]	6,64E+02	2,65E+03	3,65E+03	3,12E+03	1,01E+04
VOC [kg]	3,01E+02	8,77E+02	1,58E+03	1,35E+03	4,11E+03
PAH [kg]	3,24E-04	3,15E-04	1,38E-03	1,17E-03	3,19E-03
Partiklar [kg]	9,63E+01	1,95E+02	4,09E+02	3,47E+02	1,05E+03
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>					
Klimatförändring	3,06E+05	3,04E+05	8,35E+05	6,23E+05	2,07E+06
Försurning	6,79E+02	2,13E+03	4,14E+03	3,51E+03	1,05E+04
Övergödning	6,64E+02	2,65E+03	3,65E+03	3,13E+03	1,01E+04
Oxidantbildning	1,57E+02	3,83E+02	6,73E+02	5,72E+02	1,79E+03
<b>Viktningresultat</b>					
ET, effektkategori, lång sikt	2,21E+04	4,23E+04	1,40E+05	1,14E+05	3,18E+05
EPS-metoden	3,55E+01	5,98E+01	3,05E+02	2,44E+02	6,45E+02

Stabilisering omfattar produktion, transport och installation av cement

Ö.byggnad, obundet omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden

Asfaltlager omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

Underhåll och Rekonstruktion omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter

## Fall E:2, Terrasstabilisering, korta transporter, 26 cm stabilisering, Underhåll och rekonstruktion typ 2

Fall E:finamn Kort trp terrass - stabilisering oförändrad överbyggnad

Parameter	Stabilisering	Ö.byggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekonstruktion	Total
<b>Inventeringsresultat</b>					
Energiåtgång	GJ / km väg	1,33E+03	2,44E+04	1,92E+04	4,71E+04
CO2 [kg]	kg / km väg	2,78E+05	3,88E+05	3,25E+05	1,14E+06
SO2 [kg]	kg / km väg	2,09E+02	1,37E+03	1,15E+03	2,89E+03
NOx [kg]	kg / km väg	5,98E+02	1,82E+03	1,58E+03	5,58E+03
VOC [kg]	kg / km väg	2,78E+02	9,31E+02	7,94E+02	2,50E+03
PAH [kg]	kg / km väg	3,24E-04	1,38E-03	1,17E-03	3,19E-03
Partiklar [kg]	kg / km väg	9,00E+01	2,37E+02	2,02E+02	6,24E+02
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>					
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km	2,98E+05	4,93E+05	3,34E+05	1,30E+06
Försurning	kg SO2-ekv / km	6,26E+02	2,65E+03	2,26E+03	6,80E+03
Övergödning	kg NOx-ekv / km	5,98E+02	1,58E+03	1,58E+03	5,59E+03
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km	1,47E+02	3,89E+02	3,33E+02	1,09E+03
<b>Viktningresultat</b>					
ET, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km	2,11E+04	1,10E+05	8,89E+04	2,44E+05
EPS-metoden	ELU / km	3,39E+01	3,38E+01	2,61E+02	5,35E+02

**Stabilisering** omfattar produktion, transport och installation av cement

**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden

**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonstruktion** omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter

## Massstabilisering

filnamnMass-stab oför överb

Parameter		Stabilisering	Ö.byggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekonstruktion	Total
<b>Inventeringsresultat</b>						
Energiåtgång	GJ / km väg	2,48E+04	3,77E+03	2,86E+04	2,26E+04	7,97E+04
CO2 [kg]	kg / km väg	3,64E+06	2,64E+05	6,85E+05	5,76E+05	5,17E+06
SO2 [kg]	kg / km väg	3,88E+03	2,84E+02	1,71E+03	1,43E+03	7,30E+03
NOx [kg]	kg / km väg	1,22E+04	2,65E+03	4,65E+03	3,98E+03	2,35E+04
VOC [kg]	kg / km väg	5,22E+03	8,77E+02	1,94E+03	1,65E+03	9,69E+03
PAH [kg]	kg / km väg	4,82E-03	3,15E-04	1,38E-03	1,17E-03	7,69E-03
Partiklar [kg]	kg / km väg	1,54E+03	1,95E+02	5,03E+02	4,27E+02	2,66E+03
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>						
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km	3,96E+06	3,04E+05	8,65E+05	6,45E+05	5,77E+06
Försurning	kg SO2-ekv / km	1,24E+04	2,13E+03	4,95E+03	4,20E+03	2,37E+04
Övergödning	kg NOx-ekv / km	1,22E+04	2,65E+03	4,65E+03	3,98E+03	2,35E+04
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km	2,51E+03	3,83E+02	8,28E+02	7,04E+02	4,43E+03
<b>Viktningresultat</b>						
ET, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km	3,35E+05	4,23E+04	1,56E+05	1,28E+05	6,61E+05
EPS-metoden	ELU / km	5,24E+02	5,98E+01	3,29E+02	2,64E+02	1,18E+03

**Stabilisering** omfattar produktion, transport och installation av cement och granulerad masugnsslagg

**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden

**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonstruktion** omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter

## Utskiftning som alternativ till masstablisering

filnamn Massutskiftning

Parameter		Utskiftning	Ö.byggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekond	Total
<b>Inventeringsresultat</b>						
Energiåtgång	GJ / km väg	5,75E+04	3,77E+03	2,86E+04	2,26E+04	1,12E+05
CO2 [kg]	kg / km väg	4,05E+06	2,64E+05	6,85E+05	5,76E+05	5,57E+06
SO2 [kg]	kg / km väg	4,32E+03	2,84E+02	1,71E+03	1,43E+03	7,74E+03
NOx [kg]	kg / km väg	4,40E+04	2,65E+03	4,65E+03	3,98E+03	5,52E+04
VOC [kg]	kg / km väg	1,39E+04	8,77E+02	1,94E+03	1,65E+03	1,84E+04
PAH [kg]	kg / km väg	2,82E-03	3,15E-04	1,38E-03	1,17E-03	5,68E-03
Partiklar [kg]	kg / km väg	3,07E+03	1,95E+02	5,03E+02	4,27E+02	4,19E+03
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>						
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km	4,70E+06	3,04E+05	8,65E+05	6,45E+05	6,51E+06
Försurning	kg SO2-ekv / km	3,50E+04	2,13E+03	4,95E+03	4,20E+03	4,62E+04
Övergödning	kg NOx-ekv / km	4,40E+04	2,65E+03	4,65E+03	3,98E+03	5,53E+04
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km	6,10E+03	3,83E+02	8,28E+02	7,04E+02	8,01E+03
<b>Viktningresultat</b>						
ET, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km	6,61E+05	4,23E+04	1,56E+05	1,28E+05	9,87E+05
EPS-metoden	ELU / km	9,20E+02	5,98E+01	3,29E+02	2,64E+02	1,57E+03

**Utskiftning** omfattar urgrävning, borttransport och deponi, samt produktion, transport och installation av återfyllnadsmaterial  
**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden  
**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonstruktion** omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter



## Djupstabilisering med kalk- cementpelare

filnamn KC-pelarsstabilisering

Parameter	Stabilisering	Ö.byggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekonstruktion	Total
<b>Inventeringsresultat</b>					
Energiåtgång	GJ / km väg	3,77E+03	2,86E+04	2,26E+04	8,10E+04
CO2 [kg]	kg / km väg	2,64E+05	6,85E+05	5,76E+05	5,11E+06
SO2 [kg]	kg / km väg	2,84E+02	1,71E+03	1,43E+03	9,13E+03
NOx [kg]	kg / km väg	2,65E+03	4,65E+03	3,98E+03	2,00E+04
VOC [kg]	kg / km väg	8,77E+02	1,94E+03	1,65E+03	7,24E+03
PAH [kg]	kg / km väg	1,27E-03	1,38E-03	1,17E-03	4,14E-03
Partiklar [kg]	kg / km väg	1,95E+02	5,03E+02	4,27E+02	1,92E+03
<b>Bidrag till olika miljööffekter</b>					
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km	3,04E+05	8,65E+05	6,45E+05	5,69E+06
Försurning	kg SO2-ekv / km	2,13E+03	4,95E+03	4,20E+03	2,31E+04
Övergödning	kg NOx-ekv / km	2,65E+03	4,65E+03	3,98E+03	2,00E+04
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km	3,83E+02	8,28E+02	7,04E+02	3,26E+03
<b>Viktningresultat</b>					
ET, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km	4,23E+04	1,56E+05	1,28E+05	6,02E+05
EPS-metoden	ELU / km	5,98E+01	3,29E+02	2,64E+02	1,07E+03

**Stabilisering** omfattar produktion, transport och installation av cement och bränd kalk

**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden

**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonstruktion** omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter

## Lättfyllning med cellplastblock

filnamn Cellplast-lättfyllnad

Parameter		U.byggnad obundet	Lättfyllnad	Ö.byggnad obundet	Asfaltlager	Underhåll & Rekonstruktion	Total
<b>Inventeringsresultat</b>							
Energiåtgång	GJ / km väg	1,57E+02	8,80E+04	7,11E+03	2,86E+04	2,26E+04	1,46E+05
CO2 [kg]	kg / km väg	1,10E+04	3,41E+06	4,98E+05	6,85E+05	5,76E+05	5,18E+06
SO2 [kg]	kg / km väg	9,95E+00	4,20E+03	5,35E+02	1,71E+03	1,43E+03	7,88E+03
NOx [kg]	kg / km väg	2,06E+02	1,29E+04	4,99E+03	4,65E+03	3,98E+03	2,67E+04
VOC [kg]	kg / km väg	4,52E+01	5,15E+04	1,65E+03	1,94E+03	1,65E+03	5,67E+04
PAH [kg]	kg / km väg	5,89E-10	9,44E-02	5,94E-04	1,38E-03	1,17E-03	9,76E-02
Partiklar [kg]	kg / km väg	5,53E+00	1,85E+03	3,67E+02	5,03E+02	4,27E+02	3,15E+03
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>							
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km	1,35E+04	4,30E+06	5,73E+05	8,65E+05	6,45E+05	6,40E+06
Försurning	kg SO2-ekv / km	1,53E+02	1,32E+04	4,01E+03	4,95E+03	4,20E+03	2,65E+04
Övergödning	kg NOx-ekv / km	2,06E+02	1,29E+04	5,00E+03	4,65E+03	3,98E+03	2,67E+04
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km	2,06E+01	2,07E+04	7,22E+02	8,28E+02	7,04E+02	2,30E+04
<b>Viktningresultat</b>							
ET, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km	2,19E+03	1,37E+06	7,96E+04	1,56E+05	1,28E+05	1,79E+06
EPS-metoden	ELU / km	2,47E+00	1,10E+03	1,13E+02	3,29E+02	2,64E+02	1,81E+03

**U.byggnad, obundet** omfattar avjämnning under och släntfyllnad runt lättfyllnadsmaterialet

**Lättfyllnad** omfattar cellplastblock samt betong med armeringsjärn

**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i byggnaden över lättfyllnaden

**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonstruktion** omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter

## Lättfyllning med lös lättklinker

filnamn Lättklinkerfyltlinad

Parameter		U.byggnad	Lättfyllnad	Ö.byggnad	Asfaltlager	Underhåll & Rekond	Total
<b>Inventeringsresultat</b>		<b>obundet</b>		<b>obundet</b>			
Energiåtgång	GJ / km väg	6,57E+02	8,42E+04	3,77E+03	2,86E+04	2,26E+04	1,40E+05
CO2 [kg]	kg / km väg	4,50E+04	5,14E+06	2,64E+05	6,85E+05	5,76E+05	6,71E+06
SO2 [kg]	kg / km väg	4,69E+01	3,27E+04	2,84E+02	1,71E+03	1,43E+03	3,61E+04
NOx [kg]	kg / km väg	4,26E+02	2,02E+04	2,65E+03	4,65E+03	3,98E+03	3,19E+04
VOC [kg]	kg / km väg	1,39E+02	3,56E+03	8,77E+02	1,94E+03	1,65E+03	8,17E+03
PAH [kg]	kg / km väg	1,33E-04	2,89E-03	3,15E-04	1,38E-03	1,17E-03	5,89E-03
Partiklar [kg]	kg / km väg	2,53E+01	3,22E+03	1,95E+02	5,03E+02	4,27E+02	4,37E+03
<b>Bidrag till olika miljöeffekter</b>							
Klimatförändring	kg CO2-ekv / km	5,14E+04	6,41E+06	3,04E+05	8,65E+05	6,45E+05	8,27E+06
Försurning	kg SO2-ekv / km	3,44E+02	4,87E+04	2,13E+03	4,95E+03	4,20E+03	6,04E+04
Övergödning	kg NOx-ekv / km	4,27E+02	2,02E+04	2,65E+03	4,65E+03	3,98E+03	3,19E+04
Oxidantbildning	kg eten - ekv / km	6,09E+01	1,86E+03	3,83E+02	8,28E+02	7,04E+02	3,84E+03
<b>Viktningresultat</b>							
E.T, effektkategori, lång sikt	ET impact points / km	7,18E+03	6,99E+05	4,29E+04	1,56E+05	1,28E+05	1,03E+06
EPS-metoden	ELU / km	9,94E+00	9,11E+02	5,98E+01	3,29E+02	2,64E+02	1,57E+03

**U.byggnad, obundet** omfattar avjämnning under och släntfyllnad runt lättfyllnadsmaterialet

**Lättfyllnad** omfattar lös lättklinker inkl. arbeten och transporter

**Ö.byggnad, obundet** omfattar produktion, transport och installation (läggning/packning) av obundet material i överbyggnaden

**Asfaltlager** omfattar alla bundna led och material (makadam, bitumen) fram till lagd väg.

**Underhåll och Rekonstruktion** omfattar alla dessa arbeten inkl materialproduktion och transporter



## Rapport

1. **Erfarenhetsbank för kalk-cementpelare.** 1997  
Torbjörn Edstam
2. **Kalktypens inverkan på stabiliseringsresultatet. En förstudie.** 1997  
Helen Åhnberg & Håkan Pihl
3. **Stabilisering av organisk jord med cement- och puzzolanreaktioner** 2000  
Karin Axelsson, Sven-Erik Johansson & Ronny Andersson
4. **Provbanksstudie på kalk/cementpelarförstärkt gyttja och sulfidhaltig lera i Norrala** 1999  
Rolf Larsson
5. **Masstablisering** 2000  
Nenad Jelusic
6. **Blandningsmekanismer och blandningsprocesser – med tillämpning på pelarstabilisering** 2000  
Stefan Larsson
7. **Deformation Behaviour of Lime/Cement Column Stabilized Clay** 2000  
Sadek Baker
8. **Djupstabilisering med kalkcementpelare – metoder för produktionsmässig kvalitetskontroll i fält** 2001  
Morgan Axelsson
9. **Olika bindemedelsfunktion vid djupstabilisering** 2001  
Mårten Janz & Sven-Erik Johansson
10. **Mitigation of Track and Ground Vibrations by High Speed Trains at Ledsgård, Sweden** 2002  
Göran Holm, Bo Andréasson, Per-Evert Bengtsson, Anders Bodare & Håkan Eriksson



**Svensk Djupstabilisering**

c/o SGI, 581 93 Linköping  
Tel: 013-20 18 61, Fax: 013- 20 19 14.  
Internet: [www.swedgeo.se/sd](http://www.swedgeo.se/sd)