

## **Skogsbränsleaska som näringsresurs eller konstruktionsmaterial**

### **Miljöeffekter av olika hanteringsalternativ**

Susanna Olsson, Erik Kärrman, Tobias Rönnblom, Åsa Erlandsson



**Skogsbränsleaska som näringsresurs eller  
konstruktionsmaterial**

**Miljöeffekter av olika hanteringsalternativ**

**Wood fly ash used for nutrient compensation or as  
a construction material**

**Environmental impacts related to different  
management alternatives**

Susanna Olsson  
Erik Kärrman  
Tobias Rönnblom  
Åsa Erlandsson

Q6-610



## Abstract

En metodik för miljösystemanalys för att jämföra olika hanteringsalternativ för skogsbränsleaska har utvecklats och en fallstudie har genomförts med jämförelse av 1) spridning i skog, 2) användning som fyllnadsmaterial i bär- och förstärkningslagret i en skogsbilväg, 3) deponering. Både användning av skogsbränsleaska i väg och återföring av askan till skogen visade sig spara naturresurser och energi jämfört med deponering. Att återföra askan till skogen sparar mest energi och naturresurserna zink, fosfor och dolomit. Deponering eller användning av askan i väg innebär en bortförsl av arsenik, kadmium och bly från skogsmarken ur ett 100-årsperspektiv, om man väljer att inte betrakta askåterföringen som ett nettotillskott, utan som återföring av de ämnen som tidigare förts bort från marken i form av GROT.

Kritiska parametrar var antagandet om nödvändig näringskompensation samt vilken systemgräns som används för att beräkna nettoeffekten av metallflöden. Om näringskompensation av skogsmarken inte anses vara så eftersträvansvärd att man ersätter askan med ett alternativt kompensationsmedel förändras jämförelsen och betydelsen av transporter och underhåll ökar.

## Sammanfattning

Skogsstyrelsen rekommenderar att den aska som härrör från stora, eller tätt återkommande, uttag av GROT (grenar och toppar) från skog bör återföras till vissa marker, förutsatt att gränsvärden för olika ämnen i askan hålls, men askan kan även utgöra en resurs som konstruktionsmaterial. I detta projekt utvecklades miljösystemanalysmetodik för att bedöma vilken miljöpåverkan som sker vid olika alternativa alternativ för hantering av skogsbränsleaska samt hur olika faktorer påverkar resultatet av en jämförelse mellan dessa alternativ. Studien omfattar tre olika alternativ för hantering av 1 ton (TS) skogsbränsleaska från Borås energi; Alternativ 1: Nyttjandet av askan som näringsresurs genom spridning på skogsmark efter GROT-uttag. Alternativ 2: Nyttjandet av askan som fyllnadsmaterial i bär- och förstärkningslagret i en skogsbilväg. Askan ersätter krossat berg. Alternativ 3: Deponering av askan på avfallsdeponi.

Både användning av skogsbränsleaska i väg och återföring av askan till skogen visade sig spara naturresurser och energi jämfört med deponering. Att återföra askan till skogen sparar mest energi och naturresurserna zink, fosfor och dolomit. Deponering eller användning av askan i väg innebär en bortförelse av arsenik, kadmium och bly från skogsmarken ur ett 100-årsperspektiv, om man väljer att inte betrakta askåterföringen som ett nettotillskott, utan som återföring av av de ämnen som tidigare förts bort från marken i form av GROT.

Kritiska parametrar var antagandet om nödvändig näringskompensation samt vilken systemgräns som används för att beräkna nettoeffekten på metallflöden. Om näringskompensation av skogsmarken inte anses vara så eftersträvarsvärd att man ersätter askan med ett alternativt kompensationsmedel förändras jämförelsen och betydelsen av transporter och underhåll ökar.

En naturlig fortsättning på projektet är att använda den utvecklade modellen för att studera olika svenska regioner med avseende på användning av skogsbränsleaska. Förhållandena ser olika ut i olika delar av landet vad gäller behov av näringskompensation för skog, potential att bygga vägar med aska med mera.

Nyckelord: skogsbränsleaska, bioaska, miljösystemanalys, skogsspridning, grusväg

## Summary

The Swedish Forest Agency recommends that wood ash should be recycled to forest land, if the ashes fulfil certain threshold values. But there is also an option to use the ashes as construction material in forest roads. In this project, an environmental systems analysis approach was developed in order to assess the environmental impact from different alternatives. Three alternatives were analysed for the handling of 1 tonnes wood ash (DM) generated at the municipality of Borås in Sweden: 1) Spreading the ashes to forests, 2) Use the ashes as a construction material in roads and 3) disposal of the ashes.

Both the recycling of wood ash on forests and use of the ash for road construction have benefits in terms of saving natural resources and energy compared to disposal on landfill. Forest-recycling is the most energy efficient alternative and saves most of the resources Zn, P and dolomite. The road construction as well as the landfill alternatives results in a net-removal of the heavy metals As, Cd and Pb from the forests in a 100-year perspective, assuming that the content of these substances in the recycled ash is the same as the amount removed through biomass harvesting.

Critical parameters for the results were the assumption that nutrient compensation is needed if wood ashes not are used on forests and the system boundaries chosen for assessing the heavy metal leaching. If the nutrient compensation is not considered as necessary, the influence on the results of transports and maintenance increase.

One possibility for further work is to use the developed method for various regions in Sweden. The local conditions vary between different regions in terms of ash production, need for nutrient compensation and potential to build gravel roads etc.

Key words: wood ash, bio-ashes, environmental systems analysis, ash recycling to forest, forest roads





## Förord

Denna rapport slutrapporterar Värmeforskprojektet *Q6-610 Miljömässig användning av skogsbränsleaska*. Arbetsgruppen bestod av Erik Kärrman, Ecoloop (uppdragsledare), Susanna Olsson, KTH/Ecoloop, Tobias Rönnblom, SLU/Ecoloop och Åsa Erlandsson, Ecoloop. Projektet delfinansierades av Skogsstyrelsen och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU).

En referensgrupp har följt arbetet bestående av: Pål Börjesson, Lunds Universitet, Anna Lundborg, Energimyndigheten, Torbjörn Nilsson, SLU, Ulf Sikström, Skogforsk och Camilla Åhlund, Ena Energi AB.

Projektgruppen vill passa på att rikta ett varmt tack till referensgruppen för dess engagemang och stöd under projektet.

Författarna

Stockholm i december 2007

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE	2
<b>2</b>	<b>METOD</b>	<b>3</b>
2.1	MILJÖSYSTEMANALYS OCH LCA	3
2.2	LIVSCYKELPERSPEKTIV PÅ HANTERING AV SKOGSBRÄNSLEASKA	4
<b>3</b>	<b>FALLSTUDIE BORÅS</b>	<b>5</b>
3.1	MÅL OCH OMFATTNING	5
3.2	INVENTERING AV MILJÖDATA	8
3.3	MILJÖPÅVERKANSBEDÖMNING OCH TOLKNING	10
<b>4</b>	<b>RESULTAT OCH DISKUSSION</b>	<b>11</b>
4.1	POTENTIELL MILJÖPÅVERKAN I STUDERADE ALTERNATIV	11
4.2	LAKNING FRÅN SKOGSBRÄNSLEASKA	13
4.3	MÖJLIGHET ATT FASA UT TUNGMETALLER FRÅN SKOGSMARK	14
4.4	VARIERANDE KVALITET PÅ ASKAN	14
4.5	ANALYS OCH DISKUSSION OM RESULTATENS KÄNSLIGHET FÖR ÄNDRADE FÖRUTSÄTTNINGAR	14
4.6	OSÄKERHETER OCH AVGRÄNSNINGAR	17
<b>5</b>	<b>SLUTSATSER</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSPÅRBEJDE</b>	<b>20</b>
	PERSONLIGA MEDDELANDE	23

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Den aska som bildas vid energiutvinning av skogsbränsle kan ses som en resurs dels i form av näringsämnen och kalkverkan, dels i form av konstruktionsmaterial. Askan är i många fall rik på näringsämnen och har ett lågt innehåll av föroreningar och kan därför tjäna som näringstillskott i skogsmark eller åkermark. Skogsstyrelsen rekommenderar att den aska som härrör från stora, eller tätt återkommande, uttag av GROT (grenar och toppar) från skog bör återföras till vissa marker, förutsatt att gränsvärden för olika ämnen i askan hålls. Askåterföring till skogsmark anses minska risken för långsiktig näringsutarmning som befaras bli följderna av att stora mängder biomassa förs bort (Skogsstyrelsen 2001), men kan också ses som en del i arbetet med att motverka försurningseffekter (Wickström, 2001).

Svavel och kvävedeposition har tillsammans med uttag av biomassa under nittonhundratalet bidragit till försurning av skogsmark, främst i sydvästra Sverige. Genom tillförsel av aska ges en pH-höjning och markens förråd av baskatjoner ökar, samtidigt som markens syrabuffrande kapacitet förbättras. Aska återförs som härdade korn eller klumpar och löses därför långsamt upp, Skogsstyrelsen rekommenderar att askans ämnen skall tillgängliggöras under 5-25 år. De miljömässiga effekterna, som kan vara både positiva och negativa, av att återföra aska har beskrivits i ett antal olika rapporter under åren (t ex Aronsson och Ekelund 2004, Egnell et al. 1998, Höglblom et al. 2000, Westling och Kronnäs 2006).

Aska fungerar i många fall även bra som konstruktionsmaterial, exempelvis i olika typer av vägar (Lahtinen 2001; Mácsik och Jonsson 2001; Mácsik et al. 2004). Flygaska från skogsbränsleförbränning har härdande egenskaper, vilket kan utnyttjas i konstruktionsområden. Om askan används för konstruktionsändamål kan den ersätta material som annars skulle behövt utvinnas ur naturen. På så sätt sparas resurser såsom naturmaterial och energi för utvinningen av naturmaterial. I dagsläget produceras 143 000 ton aska årligen från förbränning av biobränsle (Engfeldt 2007). En del av den aska som produceras inom skogsindustrin nyttiggörs, men mycket läggs även på deponi (Ek och Westling 2003). Deponeringen av aska kräver resurser både i form av yta och energi.

Det finns därmed flera hanteringsalternativ för skogsbränsleaska, vilka alla innebär olika typer av påverkan på miljön. Hittills har miljöeffekterna av varje användningsområde studerats var för sig. Däremot saknas övergripande studier som inkluderar och jämför flera olika alternativ saknas. Traditionellt sett har miljöbedömningar av olika användningsområden för restmaterial också främst fokuserats på potentiell utlakning av miljöfarliga ämnen från materialen. Resurshushållning och emissioner som härrör från produktion och transport av materialen ligger utanför denna systemgräns och beaktas vanligtvis inte. Om miljömässigt riktiga beslut ska kunna tas för hanteringen av skogsbränsleaska måste dock alla olika miljöaspekter, såsom resurshushållning, bibehållen näringsbalans i marken och utsläpp från bränsleanvändning etc. som de olika

alternativen ger upphov till kunna vägas mot varandra. Annars riskerar man att få suboptimeringar, där resultatet i slutändan får större oönskade effekter på miljön än vad syftet varit.

Miljösystemanalys (MSA) är ett verktyg för att studera miljöpåverkan av komplexa system. En MSA kan bland annat användas för att tydliggöra och kvantifiera miljöeffekterna av olika alternativ och visa vilka faktorer som i huvudsak styr miljöpåverkan. Ett systemanalytiskt angreppssätt för att tydliggöra och kvantifiera miljöpåverkan från olika alternativa hanteringar av aska har utvecklats inom doktorandprojektet ”Uthålligt nyttjande av sekundära material, förbättrade bedömningar av miljöpåverkan” vid KTH i nära samarbete med Ramböll, Ecoloop och LTU. Syftet var att komplettera traditionella och mer platsspecifika miljöriskbedömningar som görs idag för olika användning av aska. Angreppssättet bygger på metodiken för livscykelanalys (LCA), vilket innebär att flöden av material följs hela vägen från utvinnandet av råmaterial och produktion till användning och slutligt omhändertagande av de olika produkterna som det studerade systemet skapar. Detta angreppssätt testades i en studie av olika möjligheter att hantera avfallsaska (Olsson et al. 2004) och visade sig vara ett värdefullt redskap för att beskriva och jämföra miljöpåverkan av olika alternativ. I ett projekt finansierat av Värmeforsk (Kärman et al. 2006) utvecklades angreppssättet ytterligare för att kunna omfatta fler typer av askor och fler olika användningsområden. Här belystes vad olika alternativ för hantering av aska som uppkommer i en region får för effekter på miljön och att lyfta in hushållning med naturresurser i en bedömning som hittills betonat risker. Projektet omfattade dock endast nyttiggörande av aska i anläggningsarbeten och beaktar därför inte askans potential som näringsresurs. Detta användningsområde är som tidigare nämnt aktuellt för skogsbränsleaska tack vare dess höga näringsinnehåll och relativt låga halt av föroreningar.

I detta projekt har vi utnyttjat de ovan beskrivna erfarenheterna och utvecklat vårt angreppssätt ytterligare för att kunna inkludera fler typer av nyttiggörande av aska än enbart anläggningsbyggande. I denna studie har vi undersökt vilken potentiell miljöpåverkan som tre olika alternativ för att hantera skogsbränsleaska leder till, givet att en viss mängd skogsbränsleaska uppkommer.

## **1.2 Syfte**

Syftet med projektet var att förbättra beslutsunderlag för användning av skogsbränsleaskor samt att utveckla befintlig miljösystemanalysmetodik till att omfatta miljöbedömning av olika användningsområden för skogsbränsleaska. Metoden beskrivs och tillämpas i en fallstudie där tre olika användningar av en specifik skogsbränsleaska inom en region studeras. Syftena med fallstudien var att jämföra miljöpåverkan vid tre olika alternativ för hantering av skogsbränsleaska samt att analysera hur olika faktorer påverkar resultatet av en jämförelse mellan dessa alternativ.

## 2 Metod

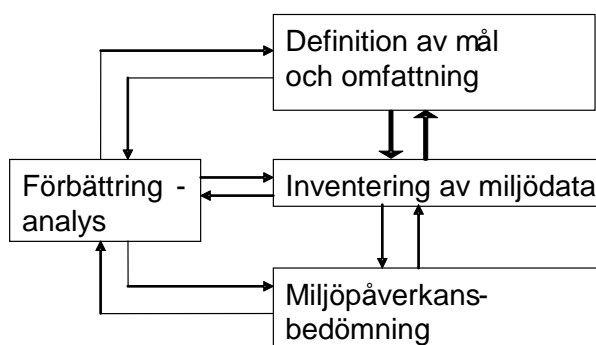
### 2.1 Miljösystemanalys och LCA

Systemanalys kan beskrivas som en procedur och en metodik för att ta fram underlag och vägledning med hjälp av systematisk analys i beslutssammanhang (Beck 1997). Ofta innehåller systemanalys utvecklandet av matematiska modeller och sökandet av optimala lösningar på problem. Miljösystemanalys är en systemanalys som används för att jämföra olika alternativ för att uppnå en definierad funktion ur miljösynpunkt. Miljösystemanalys kan minska suboptimeringar vid beslut och även visa var i ett system miljöpåverkan i huvudsak uppstår.

En välkänd metod för miljösystemanalys är livscykelanalys (LCA). LCA är en metod att analysera och värdera miljöpåverkan av en produkt, ett material eller en tjänst under dess hela livscykel, ”från vaggan till graven”. Analyser kan utföras på flera olika sätt inom regelverket för LCA, och resultatet påverkas av vilka metodval som görs. Centralt är dock att ett livscykelperspektiv används, att ett system definieras och att systemets resursanvändning och emissioner till luft och vatten kvantifieras. Resultatet kan både användas till att jämföra olika alternativ att producera samma funktion samt till att identifiera var i systemet som den huvudsakliga miljöpåverkan sker.

Arbetsprocessen för en LCA inkluderar fyra steg, målbeskrivning och omfattning, inventering av miljödata, miljöpåverkansbedömning samt förbättringsanalys (Figur 1). Tillvägagångssättet finns standardiserat i ISO 14040-43, där även detaljerade rekommendationer för varje steg är beskrivna. Ramverket kan ge intrycket av att LCA är en linjär process där man går från komponent till komponent. Det är dock snarare en iterativ process, där tidigare steg omformas vartefter ny kunskap inhämtas under studiens gång. Efter en första initial LCA kan en känslighetsanalys göras för att identifiera de viktigaste delarna av livscykeln och utifrån dessa kan sedan mer detaljerade analyser göras.

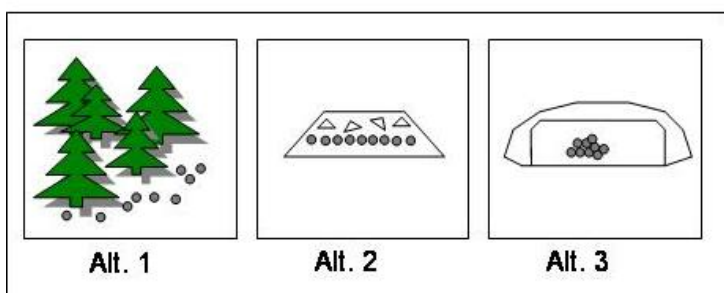
I rapportens studie har inte förbättringsanalys utförts.



Figur 1. Steg i livscykelanalys.

## 2.2 Livscykelerspektiv på hantering av Skogsbränsleaska

Utgångspunkten för studien är att en viss mängd skogsbränsleaska produceras inom ett geografiskt område och att olika alternativ för omhändertagande finns tillgängliga. För att kunna jämföra miljöpåverkan från de olika alternativen krävs att miljöpåverkan kvantifieras och relateras till en eller flera funktioner. Skogsbränsleaskan kan återföras till skogen efter bortförsl av GROT, utnyttjas som vägfyllnadsmaterial eller omhändertas genom deponering (Figur 2). Tanken är att jämförelsen ska kunna utgöra ett värdefullt beslutsstöd vid en bedömning av vilken typ av användning av askan som är lämpligast ur miljösynpunkt.



Figur 2. Tre alternativa sätt att omhänderta skogsbränsleaskan; spridning på skogsmark; vägfyllnad eller deponering.

## 3 Fallstudie Borås

### 3.1 Mål och omfattning

#### *Val av fallstudieregion*

Borås kommun valdes som fallstudieregion med anledning av att den ligger i Västsverige där försurningsläget till följd av framför allt svaveldeposition från övriga Europa är allvarligare än i andra delar av landet. Nästan hälften av Västra Götalandsregionens skogsmark är försurad. Askåterföring bör i sådana områden utföras, då den ger en buffrande verkan på skogsmark och i förlängningen även antas ge positiva effekter på omgivningens ytvatten (Zetterberg och Westling, 2006). Vidare har flertalet fältförsök och uppföljningar från askåterföring gjorts i regionen vilket medför att det är god tillgång på data om askan från Borås Energi & Miljö.

Idag produceras 2-2,5 tusen ton aska (TS) per år hos Borås Energi & Miljö genom förbränning av GROT, stamträ och bark. Verket har sedan 1997 haft en verksamhet som tar emot endast rena skogsbränslen och all aska som bildas återförs till skogsmark. Bränslet blåses in i förbränningspannan som är en planrosterbädd, tekniken och den relativt grova fraktionen gör att det i huvudsak bildas flygaska och endast små mängder bottenaska. Efter förbränning av skogsbränslet matas askan under vätning till ca 45 % fukthalt för att den ska vara lätthanterlig. Askan förs sedan till en härdningsplats som finns inom deponiområde. I ett två meter högt upplag härdar askan under 1-6 månader. Därefter bryts upplaget upp och askkakorna krossas och fraktioneras. Materialet har då en fukthalt på ca 25 %. All askan återförs till skogsmark.

Askors innehåll varierar i hög utsträckning beroende på de material som förbränns. Bioaskor som härrör från returträ innehåller ofta högre tungmetallhalter än rena skogsbränsleaskor. För att säkra en god återförsel av skogsaskor till skogsmark har Skogsstyrelsen har satt upp riktvärden för vilka halter av ingående ämnen som är önskvärda kontra icke önskvärda vid återförsel av skogsbränsleaskor till skogsmark. Askan från Borås Energi och Miljö håller jämn och god kvalitet.

I

Tabell 1 jämförs totalhalten i boråsaskan av olika ämnen med Skogsstyrelsens riktvärde för återföring (gällande och eventuellt kommande riktvärde). Den översta delen av tabellen visar makronäringsämnen, SVOs riktvärden visar lägsta rekommenderade halt för effektiv näringsåterförsel till skogsmark. Understa delen av tabellen visar spårämnen och metaller, SVOs riktvärden visar högsta rekommenderade halt för spridning i skogsmark.

Tabell 1. Boråsaskans totalhalt och Skogsstyrelsens riktvärden för askåterföring (gällande riktvärden i mittenkolumnen och föreslagna riktvärden i kolumnen längst till höger)

<b>Makronäringsämne</b>	Borås Total- innehåll <sup>1</sup> g/kg	Gränsvärden SVO, TS lägsta <sup>2</sup> g/kg	Gränsvärden SVO, TS lägsta <sup>3</sup> g/kg
Kalcium (Ca)	178	125	125
Magnesium (Mg)	29.4	20	15
Kalium (K)	67	30	30
Fosfor (P)	14.4	10	7

<b>Spårämnena + Metaller</b>	mg/kg	TS, högsta mg/kg	TS, högsta mg/kg
Bor (B)	200	500	800
Koppar (Cu)	150	400	400
Zink (Zn)	3300	7000	7 000
Kicksilver (Hg)	0.06	3	3
Bly (Pb)	76	300	300
Krom (Cr)	79	100	100
Arsenik (As)	<16	30	30
Nickel (Ni)	61	70	70
Vanadin (V)	27	70	70
Kadmium (Cd)	17	30	30

<sup>1</sup> Borås Energi & Miljö, personligt meddelande

<sup>2</sup> Skogsstyrelsen (2001)

<sup>3</sup> Skogsstyrelsen opublicerad

### Studerade alternativ

Fallstudien omfattar tre olika alternativa nyttjanden av 1 ton (TS) skogsbränsleaska:

- *Alternativ 1:* Nyttjandet av askan som näringsresurs genom spridning på skogsmark efter GROT-uttag
- *Alternativ 2:* Nyttjandet av askan som fyllnadsmaterial i bär- och förstärkningslagret i en skogsbilväg. Askans ersätter krossat berg.
- *Alternativ 3:* Deponering av askan på avfallsdeponi.

### Systemgräns och funktionell enhet

För att kunna göra en rättvis jämförelse mellan de tre olika alternativen krävs att miljöpåverkan relateras till samma funktion eller nytta i varje alternativ. Det studerade systemet omfattar därför omhändertagandet av ett ton aska, näringskompensation efter GROT-uttag samt produktion av en skogsbilväg. Det finns också ett antagande gjort om att det blir samma kalkverkan i alla alternativ oavsett kompensationsmedel. Som alternativ näringskompensation till askan används 156 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 61 kg TSP (trisuperfosfat), 784 kg Dolomit och 0,5 kg Zn vilket motsvarar innehållet av Ca, Mg, P



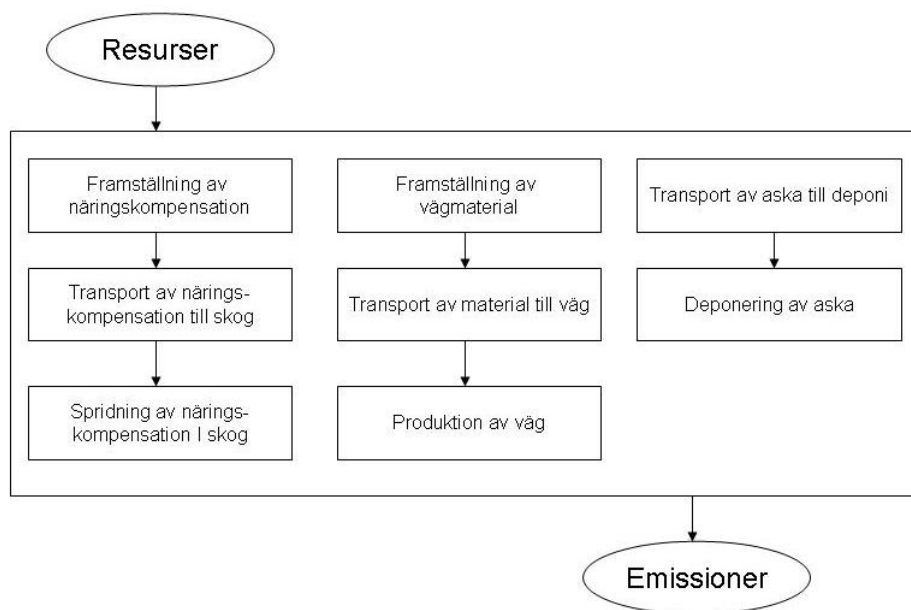
och Zn i ett ton aska. Oavsett hur askan omhändertas antas att skogsbilvägen byggs och att bortförelsen av näringsämnen genom biobränsleuttag ur skogen måste kompenseras på annat sätt (Tabell 2). I alternativ 3, där askan inte utnyttjas för näringskompensation eller som vägmateriäl, omhändertas askan genom deponering. Som alternativt materiäl istället för aska i vägkonstruktionen används krossat berg. Mängden motsvarar vad som behövs för att konstruera samma vägsträcka som kan konstrueras med ett ton aska dvs 2 m väg om askan antas utgöra 30 viktsprocent av bär- och förstärkningslagret.

Tabell 2. Användning av aska och alternativa materiäl i de olika alternativen.

	Näringskompensation	Skogsbilväg	Annat omhändertagande av askan
Alternativ 1	Aska	Krossat berg	Behövs ej
Alternativ 2	Dolomit, TSP, K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Zn	Aska	Behövs ej
Alternativ 3	Dolomit, TSP, K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Zn	Krossat berg	Deponering

Vid definitionen av systemgräns var utgångspunkten att så långt som möjligt inkludera hela systemets livscykel. En annan utgångspunkt var att enbart studera skillnaderna mellan de olika alternativen. Detta eftersom syftet med denna studie var att jämföra de olika alternativen ur miljösynpunkt snarare än att beskriva systemets totala miljöbelastning.

De enhetsprocesser som ingår i systemet framgår av Figur 3. Slutlig täckning av deponin, samt utläggning och kompaktering av askan, inkluderas i deponering. Alla transporter inkluderar lastning. Avlastning efter transport försummas. Användning och underhåll av väg antas vara samma, oavsett alternativ, och har därför inte inkluderats. Detsamma gäller slutligt omhändertagande av vägen och framtida användning av skogen.



Figur 3. Det studerade systemets enhetsprocesser

### 3.2 Inventering av miljödata

Vid inventeringen kvantifierades de resurser som systemet använder och de emissioner som systemet ger upphov till för de olika studerade alternativen. Endast de flöden av resurser eller emissioner som har potential att påverka miljön i någon av de former som beskrivs av SETAC-Europe (1999) inventerades. Data inhämtades dels från litteratur och dels genom intervjuer med personer som var insatta i de olika problemställningarna, t ex entreprenörer, materialägare och forskare. Plats specifika faktorer såsom transportavstånd antogs efter samtal med berörda aktörer.

#### *Askans tekniska och kemiska egenskaper*

Parametrar som är kopplade till askans tekniska eller kemiska egenskaper (t ex densitet och innehåll av olika ämnen) baseras på uppgifter från Borås Energi & Miljö.

#### *Näringskompensation*

I alternativ 1 används askan som näringsresurs. Ett ton aska antas spridas. Innan spridning måste dock askan lagras en viss tid så att karbonatisering sker och pH sjunker, detta för att minska risken för negativa ekologiska effekter. Lagringen sker på ett deponiområde 10 km från askproduktionen. Spridningen av askan sker 30 km från deponin med hjälp av en ombyggd skogstraktor. Information om tillvägagångssätt vid askåterföring baseras huvudsakligen på uppgifter från Borås Energi & Miljö.

I alternativ 2 och 3 omhändertas askan på annat sätt och då antas istället en alternativ näringskompensation användas för att uppnå samma återförsel av näringsämnen som askan skulle ge. Vid projektets genomförande fann vi ingen tillgänglig produkt på

marknaden som ersätter aska varför vi har antagit en blandning av olika produkter. Denna antas bestå av dolomit, Triple superfosfat (TSP), kaliumsulfat ( $K_2SO_4$ ), zink (Zn) och motsvarar innehållet av önskvärda ämnen (Skogsstyrelsen 2001) i den aktuella askan. Miljöbedömning av framställningen av dessa ämnen baserades på indata från Davis och Haglund, (1999) och Boliden Mineral AB (2006). Dolomiten antas bli producerad i Köping och transporteras med tåg till Borås (300 km). Kaliumsulfat antas bli producerad i Nordafrika och fraktas framförallt med båt (4000 km), TSP produceras i Östra Finland och antas transporteras med tåg till Borås (1500 km). Zinkmalm bryts i Bolidenområdet och vidarefördas i Kokkola i Finland. Den färdiga zinkprodukten transporteras därifrån till Borås i form av en zinksalt med båt och tåg (1000 km). Det bör nämnas att vi inte i detalj har analyserat vilken typ av zinksalt som är slutprodukt.

### *Vägkonstruktion*

I alternativ 2 används askan som fyllnadsmaterial i en skogsbilväg. Informationen om vägens dimensioner samt information om hur den byggs med och utan aska baserades på erfarenheter från Ehnsjövägen utanför Hallstavik (Mácsik och Svedberg 2006) samt intervjuer med inblandade aktörer. Vägen antogs vara 5 m bred och ha ett 0,2 m tjockt bär- och förstärkningslager. Ovanpå ligger ett slitlager av grus. I alternativ 2 utgör askan 30 viktsprocent av bär- och förstärkningslagret. Den totala torrdensiteten för vägmaterialet antas då vara  $1,7 \text{ ton/m}^3$ , utifrån erfarenheter från Ehnsjövägen. I alternativ 1 och 3 består lagret enbart av krossat berg. Information om bergkrossframställning har hämtats från Stripple (Stripple 2001). Avståndet mellan askproduktionen och vägen, samt mellan bergkrossproduktionen och vägen, antogs vara 30 km.

### *Deponering av aska*

För sluttäckning av deponin användes data som tagits fram i ett tidigare Värmeforskprojekt (Kärrman et al. 2006). Sluttäckningen omfattar ett avjämningskikt av sand, tätskikt av bentonitmattor, dräneringslager av sand, skyddsskikt av schaktmassor och överst ett växtskikt. Ingen lakvattenrening inkluderades. Dessutom utfördes en ytterligare inventering av utläggning och kompaktering av det deponerade materialet. Utifrån information från Lastbilscentralen i Borås och antaganden från entreprenörer och forskare antogs 5,9 MJ diesel behövas för utläggning och kompaktering av  $1 \text{ m}^3$  aska. Avståndet mellan askproduktionen och deponin var 10 km.

### *Transporter*

Alla kortare transporter antas ske med en lastbil med trailer som kan ta en maxlast på 35 ton. Beräkningarna gjordes med antagandet att lastbilen hade full last under distributionen men var tom på återvägen. Bränsleförbrukningen antogs till 0,45 l/km (Kärrman et al. 2006) och emissionsfaktorer är hämtade från Stripple (2001). För längre transporter med tåg och båt har miljöpåverkan beräknats enligt Baumann och Tillman (2004).

*Elproduktion*

Emissionsfaktorer för elproduktion (svensk medelel-mix) enligt Stripple (2001) användes. I dessa värden inkluderas endast produktion och råvara. Inga effekter från utvinning av råmaterial och transporter är inkluderade.

**3.3 Miljöpåverkansbedömning och tolkning**

Principen vid hanteringen av inventeringsresultaten var att så långt som möjligt behålla transparensen genom att inte aggregera informationen alltför mycket. Därför används inga miljöpåverkanskategorier och någon viktning av resultatet har inte gjorts. En normalisering gjordes dock för att få en indikation på vilka flöden som kan anses ha störst betydelse för systemets miljöpåverkan. Normaliserade värden beräknades genom att multiplicera resultaten (som angivits per ton TS aska) med den totala mängden producerad skogsbränsleaska i per år i Sverige och sedan dividera dessa flöden med nationella flöden av varje typ. De normaliserade värdena visar därmed hur stora skillnaderna i miljöpåverkan skulle bli i förhållande till miljöpåverkan från andra källor om all hantering av skogsbränsleaskan skedde enligt något av de analyserade alternativen.

Som komplement till resultaten ovan presenteras beräkningsresultat av lakning av tungmetaller från spridning av askan på skog samt potentialen att rena marken genom att sprida tillverkat kompensationsmedel istället för aska, exemplifierat med bly. Vidare redovisas en känslighetsanalys för varierande transportavstånd. Känslighetsanalyser redovisas även med en ändring i grundantagandena, i form av antagandet att näringskompensation inte behövs. Vidare diskuteras kvalitet på data, osäkerheter och avgränsningar.

## 4 Resultat och diskussion

### 4.1 Potentiell miljöpåverkan i studerade alternativ

Resultaten visar vilka sorts flöden de olika alternativen kan förväntas ge upphov till samt deras storlek. Det ska dock poängteras att studien avgränsats till enbart de flöden där det finns skillnader mellan alternativen och resultatet från ett alternativ ska därför tolkas i relation till de andra. I Tabell 3 redovisas de olika flödena samt normaliserade värden för dessa.

Tabell 3. Värden för flödena från varje alternativ (beräknade för 1 ton TS) och normaliserade värden, beräknade för totalt mängd producerad skogsbränsleaska per år, dvs 143 000 ton (Engfeldt 2007).

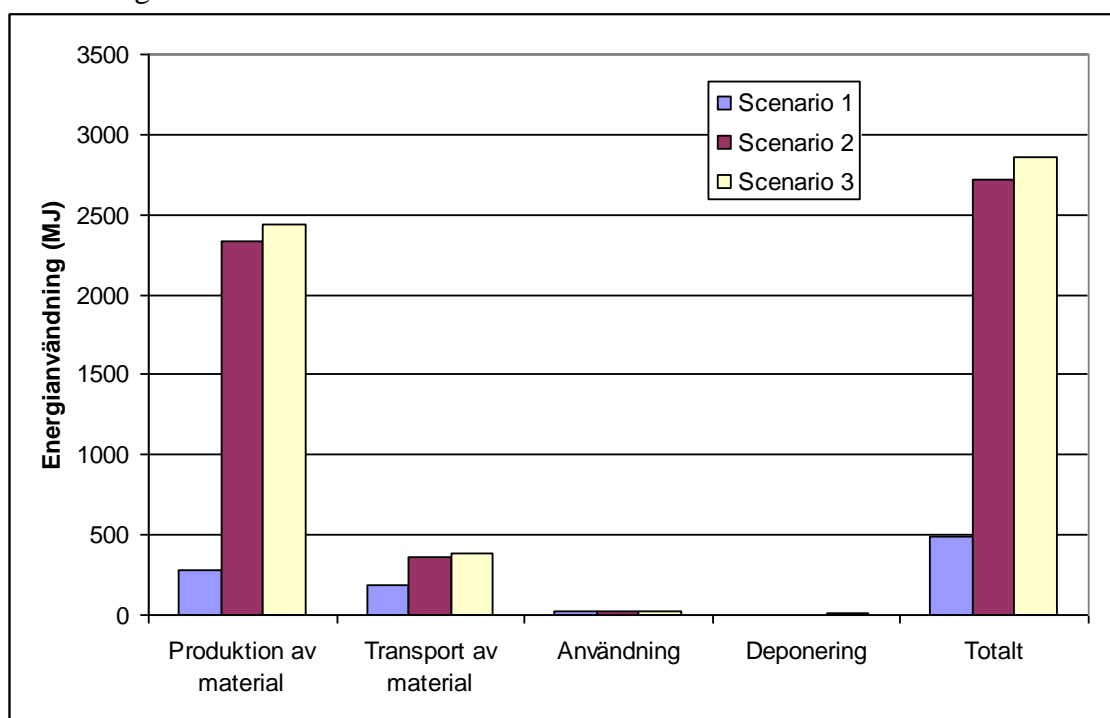
	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Nationella värden per år <sup>1</sup>	Norm. värden alternativ 1	Norm. värden alternativ 2	Norm. värden alternativ 3
<b>Resurser</b>							
Energi tot (GJ)	0.49	2.72	2.86	2.3E+09	1.7E-04	1.8E-04	3.1E-05
Råolja (g)	0	0	0.012	statistik saknas			
Sand (ton)	0	0	0.028	1.4E+06	0.0E+00	0.0E+00	2.9E-03
Jord (ton)	0	0	0,13	statistik saknas			
Krossat berg (ton)	3.92	2.33	3.92	5.0E+07	1.1E-02	6.7E-03	1.1E-02
Zink (kg)	0	0.50	0.50	2.2E+05	0.0E+00	3.3E-01	3.3E-01
Fosfor (kg)	0	15	15	statistik saknas			
Kaliumsulfat (kg)	0	160	160	statistik saknas			
Dolomit (ton)	0	0.78	0.78	2.4E+05	0.0E+00	4.7E-01	4.7E-01
Schacktmassor (ton)	0	0	0.042	statistik saknas			
<b>Emissioner till luft</b>							
SO <sub>2</sub> (g)	10	549	551	4.0E+10	3.8E-05	2.0E-03	2.0E-03
SO <sub>3</sub> (g)	0.0	63	63	statistik saknas			
CO <sub>2</sub> (g)	20810	95873	100641	5.3E+13	5.7E-05	2.6E-04	2.7E-04
NO <sub>x</sub> (g)	168	826	867	2.0E+11	1.2E-04	5.8E-04	6.0E-04
CO (g)	25	106	111	6.0E+11	5.8E-06	2.5E-05	2.6E-05
HC (g)	11	58	61	statistik saknas			
CH <sub>4</sub> (g CO <sub>2</sub> -ekv)	0.5	2.9	3.0	5.6E+12	1.3E-08	7.3E-08	7.7E-08
N <sub>2</sub> O (g CO <sub>2</sub> -ekv)	139	660	694	7.6E+12	2.6E-06	1.2E-05	1.3E-05
VOC (g)	0.09	0.60	0.64	2.0E+11	6.6E-08	4.3E-07	4.6E-07
Particles (g)	4.5	29.5	30.9	7.2E+10	9.0E-06	5.9E-05	6.1E-05
F <sub>2</sub> (kg)	0.00	0.01	0.01	statistik saknas			
<b>Emissioner till vatten</b>							
COD (g)	0.32	1.43	1.50	2.8E+11	1.6E-07	7.4E-07	7.7E-07
N-tot (g)	0.05	0.23	0.24	2.1E+10	3.4E-07	1.5E-06	1.6E-06
Olja (g)	0.11	0.48	0.50	statistik saknas			
Fenoler (g)	0.15	0.68	0.71	statistik saknas			

<sup>1</sup>Nationella värden för resursanvändning och emissioner i Sverige per år. Tillgänglig statistik har använts för att uppskatta användningen av sand och dolomit (Carlsson et al. 2006), krossat berg (SGU 2006), Zn (SGU 2007), SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, VOC och partiklar (Naturvårdsverket 2007), totala utsläpp till luft av CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O (Naturvårdsverket 2006), totala emissioner till vatten av COD och N-tot (SCB 2004).

Enligt normaliseringen föll ett par flöden ut som större än de andra. Framför allt användningen av dolomit påverkas av vilket alternativ som väljs. Även användningen av andra naturresurser (framför allt zink men även krossat berg och sand) var viktiga flöden. Därefter kom utsläpp till luft av SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> och CO<sub>2</sub>, samt användning av energi, i nämnd ordning.

När det gäller alla dessa flöden, utom användningen av krossat berg, var alternativ 1, där askan används som näringskompensation, det alternativ som har lägst potentiell miljöpåverkan. När det gäller krossat berg var däremot alternativ 2, där askan används som vägmateriäl, det mest fördelaktiga. Detta eftersom krossat berg inte behöver utvinnas i lika stor utsträckning om en del av materialet byts ut mot aska. Alternativ 2 och 3 visade sig vara relativt likvärdiga när det gällde utsläpp till luft samt användning av dolomit och zink.

Energianvändningen föll inte ut som ett av de viktigaste flödena men har stor betydelse för utsläppen till luft, se Figur 4. Energianvändningen härrör framför allt från förbränning av fossilbränslen men till viss del även från kärnkraft och vattenkraft.



Figur 4. Energianvändning vid olika aktiviteter i systemet.

I alternativ 1 återförs askan till skogen, i alternativ 2 används den som vägmateriäl och i alternativ 3 deponeras den. Lastning av material har inkluderats i produktionen av materialet. Transport av material avser aska, alternativ näringskompensation och krossat berg för vägkonstruktion. Transport av material till sluttäckningen av deponin inkluderar i deponering.

Det är framför allt vid framställningen av den alternativa näringskompensationen som energi används och utsläpp av SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> sker och dessa flöden är så stora i detta livscykelsteg att det överskuggar alla andra aktiviteter i systemet. Även om askan skulle transporteras 20 mil till skogsspridning (alla andra parametrar oförändrade) skulle alternativ 2 och 3 ändå ge mycket större energianvändning samt utsläpp av SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> än alternativ 1. Vid framställningen av den alternativa näringskompensationen är det produktionen av kaliumsulfat som orsakar störst utsläpp av SO<sub>2</sub>. Det beror framför allt på att stora utsläpp av SO<sub>2</sub> sker vid framställningsprocessen. En mindre del av utsläppen härrör från energianvändningen. Även när det gäller CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> sker störst utsläpp vid produktionen av kaliumsulfat, men skillnaden till övriga ingående ämnen är inte lika stor och nästan lika mycket släpps ut vid dolomitproduktionen. Utsläppen av CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> är framför allt kopplade till energianvändningen.

## 4.2 Lakning från skogsbränsleaska

Utgångspunkten i projektet var att askan inte utgör någon nettotillförsel av ämnen till skogen, detta eftersom det som tillförs med askan är det som en gång tagits ut i form av GROT. Tar man ingen hänsyn till detta kan man dock se utlakningen från materialen till omgivande miljö i de olika alternativen som ett flöde som bör redovisas. I Olsson (2008) gjordes en överslagsberäkning för metallflöden under 100 år i de olika scenarierna baserat på resultat från Flyhammar (2008), se Tabell 4. Det som ingår i utlakningen är lakning från krossat berg och lakning från askan. Den alternativa kompensationen antas vara fri från föroreningar (vilket nog egentligen inte är fallet). Överslagsberäkningen av utlakning ger en indikation på vad som kan förväntas, men det ska poängteras att det är relativt grov uppskattning, baserad på lakresultat i skakförsök.

Tabell 4. Lakning av arsenik, kadmium och bly i varje alternativ under 100 år per ton TS, baserade på medelvärden av svenska bioaskor (Flyhammar 2008), och normaliserade värden beräknade för totalt mängd producerad skogsbränsleaska i Sverige per år, dvs 143 000 ton (Engfeldt 2007).

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Nationella värden per år <sup>1</sup>	Norm. värden alternativ 1	Norm. värden alternativ 2	Norm. värden alternativ 3
As (g)	0.34	0.017	0.013	2.0E+08	2.4E-04	1.2E-05	9.6E-06
Cd (g)	4.3	0.006	0.006	4.3E+05	1.4E+00	1.9E-03	2.0E-03
Pb (g)	2.2	0.20	0.087	4.0E+07	8.0E-03	7.0E-04	3.1E-04

<sup>1</sup>Nationella värden för utsläpp till naturen av As, Cd och Pb som används i varor och produkter enligt Flyhammar (2008)

När det gäller utlakningen från skogsbränsleaskan ska det poängteras att enskilda askor kan skilja sig mycket åt, jämfört med den ”medelaska” som avses i Tabell 4. Utlakningen av metaller var mycket större i alternativ 1, där askan sprids i skogen, än i övriga alternativ. Det beror på att askan i alternativ 1 förväntas lösas upp helt, det vill säga alla metaller som är tillgängliga antas laka ut under en 100-årsperiod. I vägalternativet uppskattades utlakningen utifrån resultat från skakförsök med 10 l vätska per kg material och för deponeringsalternativet användes resultat från skakförsök med 2 l vätska per kg material. Detta utifrån uppskattningar av hur mycket vatten som

förväntas infiltrera genom dessa konstruktioner. De lakdata som används, samt det tidsperspektiv som avses, kan påverka resultatet men sannolikt inte i en sådan utsträckning att det förändrar jämförelsens utfall. Med ökande tidsperspektiv minskar dock skillnaderna i lakning mellan alternativen.

### 4.3 Möjlighet att fasa ut tungmetaller från skogsmark

Om man väljer att inte betrakta askåterföringen som ett nettotillskott, utan som återföring av av de ämnen som tidigare förts bort från marken i form av GROT, blir resultatet annorlunda. Förutsatt att den alternativa kompensationen är helt fri från föroreningar leder en utförsel av GROT utan askåterföring till att skogsmarken ”renas” från t ex tungmetaller, åtminstone ur ett relativt kortsiktigt perspektiv (100 år). Ur ett mer långsiktigt perspektiv kan även de tungmetaller som ligger i en väggropp eller i en deponi antas bli en del av kretsloppet. Nedan följer ett exempel beräknat på hur stor inverkan återföring kontra uttag av skogsaska kan förväntas ha på blyinnehåll i skogsmark.

Enligt Naturvårdsverkets ”Bedömningsgrunder för miljö kvalitet i skogslandskap” är blyinnehållet  $<25 \mu\text{g/g}$  TS i barrskogars mårskikt en ”Låg halt” som inte medför några uppmätta biologiska effekter ([www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)). Mårskiktet antas utgöra 501 ton torrs substans per ha och därmed upp till 12,53 kg Pb vid Naturvårdsverkets låga halt. Återföring av tre ton aska från Borås per ha medför en tillförsel av 228 mg Pb per ha, vilket är en relativt liten mängd i sammanhanget. Det innebär dock att man vid deponering av skogsaskan kan reducera mårskiktets Pb-förråd med 1,1 % Pb.

### 4.4 Varierande kvalitet på askan

Inte alla askor har så god kvalitet som skogsbränsleaskan från Borås och denna studies resultat kan därför inte direktöversättas till andra områden. Vid sämre kvalitet på askan bör också en mindre mängd alternativ kompensation användas i beräkningarna, eftersom systemet ska uppnå samma nytta i alla alternativ. Vid alltför låg kvalitet (för låg andel näringsämnen eller för stor mängd tungmetaller) är askan inte lämplig för spridning (jmf tabell 1). Det bör vara möjligt att optimera askhanteringen i en region utifrån tillgång på aska av olika kvalitet och behov av aska för olika ändamål. Om askproduktionen i någon region är större än tillgången på mark där GROT-uttag gjorts, kan det till exempel vara möjligt att man bör styra de bättre askkvaliteterna till återföring, medan de askor med sämre näringsinnehåll används för vägproduktion.

### 4.5 Analys och diskussion om resultatens känslighet för ändrade förutsättningar

Resultaten från denna studie visar att produktion av material dominerar energianvändningen och att återvinningen av askan är gynnsam. En möjlighet att effektivisera övriga alternativ skulle kunna vara att använda återvunna produkter som näringskompensation. För att återvinna fosfor skulle t ex avloppsslam kunna användas vilket finns tillgängligt i alla städer. Problemen med detta är dock, förutom

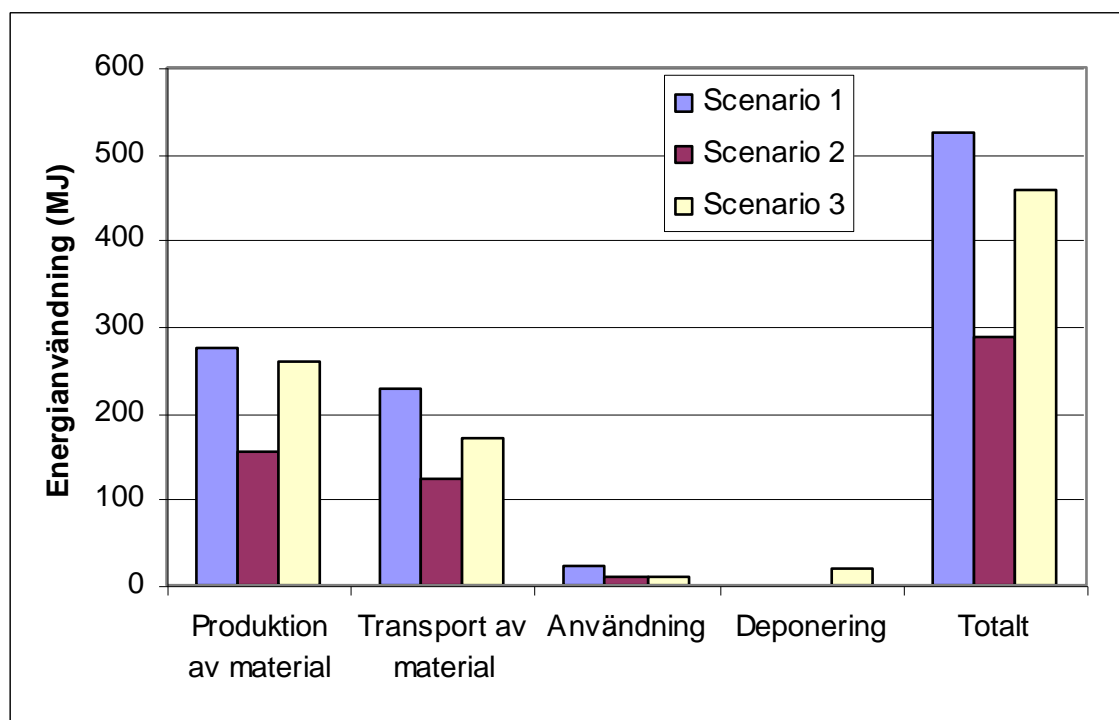


---

kväveinnehållet i jordbruksslam som inte alltid är önskvärd i skogen, att det idag finns en marknad för avloppsslam som jordförbättringsmedel och dessutom finns det ett nationellt miljömål som lyder att fosfor från avlopp skall återföras till produktiv mark, framförallt jordbruk. Det blir alltså konsekvenser för andra system som man borde ta hänsyn till i sin analys. Detta har inte funnits resurser att gått att göra inom ramen för detta projekt. Dolomit dominerar näringskompensationen och används för att ersätta kalcium och magnesium. Det är svårt att hitta ett återvunnet material som skulle kunna ersätta dolomit. Om inte aska används som vägbyggnadsmaterial är det också svårt att hitta något alternativ till krossat berg, förutom naturgrus som är en knapp resurs.

Eftersom transportavståndet för återföring av skogsbränsleaska är en parameter som kan förväntas variera mycket över landet utfördes en känslighetsanalys för hur olika transportavstånd påverkar systemets totala energianvändning. För övriga transporter behölls grundantagandet om 30 km. Jämförelsen mellan de tre alternativen visade sig dock inte vara särskilt beroende av transportavståndet. Askåterföring är det mest fördelaktiga alternativet även om transportavståndet är så långt som 20 mil. Detta på grund av den stora potentiella miljöpåverkan som framställningen av alternativ näringskompensation ger upphov till.

Denna känslighetsanalys visar att behovet visar att behovet av och nyttan med askåterföring. Om man skulle acceptera en bortförel av näringsämnen från skogsmarken utan att behöva producera annan kompensation skulle användningen av aska som vägmaterial bli det allra mest fördelaktiga alternativet när det gäller energianvändning (Figur 5) och utsläpp av SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub>. En ytterligare möjlighet skulle vara att man inte tar ut GROT över huvud taget, för att slippa askåterföra. Då skulle andra bränslen istället krävas för att ersätta GROT, vilket skulle kunna ge drastiska effekter för miljöpåverkan. För bedöma möjliga konsekvenser av detta krävs en omfattande miljösystemanalys med ännu bredare systemgränser än vad som använts här.



Figur 5. *Energianvändning vid olika aktiviteter i systemet, om näringskompensation inte anses behövas när askan används för annat. I alternativ 1 återförs askan till skogen, i alternativ 2 används den som vägmateriel och i alternativ 3 deponeras den. Lastning av material har inkluderats i produktionen av materialet. Transport av material avser aska, och krossat berg för vägkonstruktion. Transport av material till sluttäckningen av deponin inkluderats i deponering.*

Deponin bidrog med relativt liten energianvändning och känslighetsanalyser för antaganden om deponin (uteslutandet av tätskikt, transportavstånd för material till sluttäckningen, dimensioner vid sluttäckning) visade sig ha liten betydelse för systemets totala miljöpåverkan, förutom när det gäller användning av naturresurser. Om exempelvis dräneringslagret skulle vara tjockare än de 0,2 m som antagits skulle användningen av sand öka. Detta får dock ingen dramatisk effekt på slutsatserna eftersom alternativen ändå skulle behålla sin inbördes ordning.

Tidigare erfarenheter talar för att en väg byggd med askblandning kan byggas med ett tunnare bär- och förstärkningslager än om enbart krossat berg används, och att den långsiktiga hållbarheten ändå blir bättre. En känslighetsanalys gjordes därför, där askvägen antogs ha ett 0,2 m tjockt bär- och förstärkningslager medan samma lager i vägen med krossat berg antogs vara 0,4 m tjockt. Dessutom antogs underhållet minska till hälften. Dessa antaganden gjordes utifrån information från involverade entreprenörer och forskare och på publicerade erfarenheter (Lahtinen, 2001; Svedberg et al., 2008). Underhåll av den konventionella vägen antogs ske med 40 års intervall med hjälp av en hjullastare med arbetstiden 0,3 timmar per m väg.

Underhåll av askvägen antogs ske med 80 års intervall och med hjälp av asfaltläggare med arbetstiden 0,1 timme per m väg. För båda vägkonstruktionerna antogs underhållet ske genom att en tjocklek på 0,2 m material tillfördes, och alla materialtransporter antogs ske på samma sätt som tidigare.

Systemets användning av energi och krossat berg ökade till följd av dessa antaganden. Spridning av askan på skogsmark blev mindre fördelaktig, även om energianvändningen fortfarande var lägst i det alternativet. Produktion av material utgjorde fortfarande en stor del av systemets totala energianvändning i alternativ 2 och 3, pga framställningen av alternativ näringskompensation. Förändringen gav därför inga större effekter för resultatet, varken när det gäller förhållandet mellan olika alternativ eller betydelsen av de olika flödena utifrån normaliseringen.

#### 4.6 Osäkerheter och avgränsningar

Kvaliteten på resultaten från miljösystemanalyser beror i hög grad på kvaliteten på indata. I denna studie har olika typer av data med olika kvalitet använts, allt ifrån vetenskapligt publicerade resultat till rena uppskattningar av värden. Osäkerheterna i resultaten är därför stora. Detta är typiskt för systemanalyser och det är viktigt att inte övertolka små skillnader mellan olika alternativ, utan att endast dra slutsatser om de stora dragen.

I denna studie normaliserades resultaten genom att de divideras med samhällets totala påverkan. En annan möjlighet hade varit att relatera miljöpåverkan till landyta. Miljöpåverkan hade också kunnat relateras till en samhällssektor, men frågan är i så fall vilken sektor som skulle vara lämplig. Det finns argument för att relatera till såväl byggsektorn, skogssektorn, transportsektorn och avfallssektorn. Samtidigt täcker ingen av dessa sektorer in hela systemens livscykel varvid det normaliserade resultatet blir av begränsat intresse.

Miljöpåverkan från produktion av de maskiner som används i systemet studerades inte i detta projekt. I ett tidigare projekt (Kärrman et al. 2006) visade det sig att produktionen av maskiner inte hade någon signifikant påverkan på resultatet, förutom för en parameter: partiklar. Emissionerna av partiklar ökade om produktion av maskiner inkluderades. Vi har i denna studie valt att inte gå djupare i frågan om utsläpp av partiklar.

Systemgränserna sattes efter askproduktionen i detta projekt, det vill säga utgångspunkten var att ett ton skogsbränsleaska producerats och behöver omhändertas. Vidare uteslöts de delar av systemet som var lika i alla tre alternativ eftersom syftet var att bedöma skillnaderna snarare än att uppskatta total miljöpåverkan från systemet. Denna avgränsning innebär att man inte kan dra några slutsatser när det gäller totala emissioner eller total resursanvändning av askåterföring efter uttag av biomassa, utan endast om skillnader mellan de studerade alternativen. Möjligheter finns dock att utöka systemgränserna i kommande projekt om sådan information efterfrågas.

## 5 Slutsatser

Både användning skogsbränsleaska i väg och återföring av askan till skogen visade sig spara naturresurser och energi jämfört med deponering. Att återföra askan till skogen sparar mest energi och naturresurserna zink, fosfor och dolomit. Deponering eller användning av askan i väg innebär en bortförel av arsenik och tungmetaller från skogsmarken ur ett 100-årsperspektiv, om man väljer att inte betrakta askåterföringen som ett nettotillskott, utan som återföring av de ämnen som tidigare förts bort från marken i form av GROT.

Kritiska parametrar var antagandet om nödvändig näringskompensation samt vilken systemgräns som används för att beräkna nettoeffekten på metallflöden. Om näringskompensation av skogsmarken inte anses vara så eftersträvansvärd att man ersätter askan med ett alternativt kompensationsmedel förändras resultatet av jämförelsen, och betydelsen av transporter och underhåll ökar.

## 6 Rekommendationer och användning

Utifrån resultaten av studien rekommenderas att skogsbränsleaska återförs till skogen efter uttag av GROT, framför att användas vid byggande av skogsbilväg eller att deponera askan. Detta förutsätter dock att återföringen görs till skogar där alternativet annars skulle vara att tillverkad näringskompensation och dolomit måste tillföras istället för aska. Genom användning av aska minskar då miljöbelastningen.

Om det är önskvärt med en bortförsel av tungmetaller från skogsekosystemet kan dock deponeringsalternativet vara det bästa, beroende på hur viktig bortförseln anses vara jämfört med andra miljöaspekter.

I områden där näringskompensationen inte anses som nödvändig rekommenderas att använda den utvecklade modellen för att beräkna till vilket ändamål askan gör bäst miljönytta. Faktorer som spelar stor roll är då transportavståndet och det förväntade vägunderhållet. I projektets fallstudie gav användning av aska som konstruktionsmaterial i skogsbilväg den minsta påverkan på miljön, förutsatt att näringskompensation efter GROT-uttag inte är nödvändig. Detta förutsätter dock även att metallerna i askan inte anses innebära någon nettotillförsel av metaller till skogen.

## 7 Förslag till fortsatt forskningsarbete

En naturlig fortsättning på projektet är att använda den utvecklade modellen för att ur ett regionalt perspektiv optimera användning av skogsbränsleaska. Förhållandena ser olika ut i olika delar av landet vad gäller behov av näringskompensation för skog och potential att bygga vägar med aska, samt tillgång till material. Det finns också en rad andra typer av restprodukter, inte minst från massaindustrin, vars användning kan studeras på liknande sätt.

En annan viktig aspekt är lakningen av metaller. Det finns ett behov av att kunna göra bättre bedömningar av lakningsemissioner i miljösystemanalyser. Det finns även ett behov av att harmonisera riskbedömningar av att nyttiggöra restmaterial såsom askor i olika tillämpningar, så att bedömningarna vilar på samma vetenskapliga grund oavsett om materialet används för konstruktionsändamål eller som näringsresurs.

## Litteraturreferenser

Aronsson, K.A. och Ekelund, N.G.A. (2004). "Biological effects of wood ash application to forest and aquatic ecosystems". *Journal of Environmental Quality* 33: 1595-1605.

Baumann, H., Tillman, A. (2004). "The Hitch hiker's guide to LCA. An orientation in the life cycle assessment methodology and application". Studentlitteratur. ISBN 91-44-02364-2

Beck, M. B. (1997). Applying systems analysis in managing the water environment: towards a new agenda. *Water Science and Technology* 36(5), 1-17

Boliden Mineral AB (2006). "Miljörapport från Rönnskärsverket 2005".

Carlsson, A., Wadeskog, A., Palm, V. och Kanlén, F. (2006). "Material Flow Accounts and Policy. Data for Sweden 2004." *Environmental Accounts, Statistics Sweden*.

Davis J. och Haglund C. (1999). "Life cycle inventory (LCI) of fertiliser production. Fertiliser products used in Sweden och Western Europé". SIK-rapport nr 654 1999. Institutionen för kemisk miljövetenskap, Chalmers tekniska högskola

Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O., Örlander, G. (1998). "Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation". Skogsstyrelsen Rapport 1/1998. 170 sid.

Ek, M. och Westling, O. (2003). "Dagsläget beträffande skogsindustrins avfall", Rapport 1482, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm, Sweden.

Engfeldt, C. (2007). "Aska från energiproduktion - producerad och använd mängd aska i Sverige 2006", Svenska EnergiAskor.

Flyhammar, P. (2008). "Delrapport till Konsekvensanalys av förslag till kriterier för utfasningsämnen vid återvinning av askor/avfall i anläggningsarbeten"

Högbom, Lars, Nohrstedt, H.-Ö. och Nordlund, S. (2000). "Förvånande resultat från ett försök i Halland: Tillförsel av vedaska gav surare och mer kväverikt markvatten". Resultat nr 6, Skogforsk.

Kärman, E., Olsson, S., Magnusson, Y. och Peterson, A. (2006). "Miljösystemanalys för nyttiggörande av askor i anläggningsbyggande", Värmeforskrapport 953, Värmeforsk, Stockholm.

Lahtinen (2001). "Fly ash mixtures as flexible structural materials for low-volume roads". Doctoral thesis 70, Finnish road administration, Helsinki, Finland.

Mácsik, J. och Jonsson, R. (2001). "Askblandningar i anläggningsprocesser, användning av askblandningar vid: Provväg och täckning av tipp", Scandiaconsult Sverige AB, Sundsvall.

Mácsik, J. och Svedberg, B. (2006). "Skogsbilvägsrenovering av Ehnsjövägen, Hallstavik", Värmeforskrapport Q4-285, Värmeforsk, Stockholm.

Mácsik, J., Svedberg, B., Lenströmer, S. och Nilsson, T. (2004). "Flygaska i geotekniska anläggningar Etapp 1: Inventering/Tillämplighet", Värmeforskrapport Q4-107, Värmeforsk, Stockholm.

Naturvårdsverket (2006). "Sweden's National Inventory Report 2007, submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change".

Naturvårdsverket (2007). "Sweden's Informative Inventory Report 2007, submitted under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution".

Olsson, S., Kärrman, E. och Gustafsson, J.P. (2004). "Environmental systems analysis of the use of bottom ash from incineration of municipal waste for road construction". The 19th International Conference on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia, PA, USA.

Olsson, S. (2008). "Livscykelperspektiv på hantering av förbränningsaskor. Delrapport till Konsekvensanalys av förslag till kriterier för utfasningsämnen vid återvinning av askor/avfall i anläggningsarbeten"

SCB (2004). "Sveriges officiella statistik, statistiska meddelanden MI 22 SM 0401. Utsläpp till vatten- och slamproduktion 2002."

SETAC-Europe. (1999). "Best Available Practice Regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment". Int. J. LCA 4: 167-174.

Skogsstyrelsen (1991). "Naturvårdshänsyn. Tagen hänsyn vid slutavverkning 1989-1991 Skogsstyrelsen", Meddelande 4:1991.

Skogsstyrelsen (2001). "Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling". Skogsstyrelsen, Meddelande 2:2001

SGU (2006). "Grus, sand och krossberg, produktion och tillgångar 2005. " Per. publ. 2006:3.

SGU (2007). "Bergverksstatistik 2006", Per. Publ. 2007:2.

Stripple, H. (2001). "Life Cycle Assessment of Road, A Pilot Study for Inventory Analysis", IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Göteborg, Sweden.



Svedberg, B., Ekdahl, P., Mácsik, J., Maijala, A., Lahtinen, P., Hermansson, Å., Knutsson, S., Edeskär, T. (2008). "FUD-SALA Stabilization of unbound layers on a road section". Värmeforsk, Stockholm.

Westling, O., Kronnäs, V. (2006). "Långsiktiga effekter av askåterföring på mark- och vattenkemi i skog". Rapport B1670, IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Wickström, H. (2001). "Åtgärder mot markförsurning och för ett uthålligt brukande av skogsmarken". Skogsstyrelsen, meddelande 4-2001. Skogsstyrelsens förlag, Jönköping.

Zetterberg, T., och Westling O., (2006). "Vattenkemi och utlakning från brukad skogsmark i Västra Götalands län 2000-2004", Länsstyrelsen Västra Götalands län, Rapport 2006:37.

### **Personliga meddelanden**

Borås Energi och Miljö, Askans innehåll



Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED  
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80

Fax 08-677 25 35

[www.varmeforsk.se](http://www.varmeforsk.se)

Beställning av trycksaker

Fax 08-677 25 35