



# rapport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

## Dagsläget beträffande skogsindustrins avfall

Mats Ek Olle Westling

B1482

Februari 2003



<b>Organisation/Organization</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	<b>RAPPORTSAMMANFATTNING</b> <b>Report Summary</b>
<b>Adress/address</b> Box 21060 100 31 Stockholm	<b>Projekttitel/Project title</b> Dagsläget beträffande skogsindustrins avfall <b>Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor</b> Skogsindustrieföretag via SSVL samt Naturvårdsverket
<b>Telefonnr/Telephone</b> 08-08-598 563 00	
<b>Rapportförfattare/author</b> Mats Ek och Olle Westling	
<b>Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report</b> Dagsläget beträffande skogsindustrins avfall	
<b>Sammanfattning/Summary</b> Rapporten sammanfattar hur man tar hand om olika typer av avfall i svensk skogsindustri idag. Hanteringen har påverkats av den införda deponeringsskatten, förbudet att deponera brännbart avfall från 2002, och kommande förbud att deponera organiskt material. Den innehåller också en sammanfattning av läget beträffande återföring av aska till skogsmark. De avfallsslag som tas upp är askor, grönlutsslam, mesa, sodastoft, bioslam, kemslam, fiberslam, avsvärtnings slam, smetrest och renseri- och vedgårdsavfall. Trenden för oorganiska produkter går mot konstruktionsmaterial, medan organiska slam i allt högre grad blir bränsle eller jordprodukter. Viktigt för den fortsatta hanteringen av många avfallsslag blir hur man kommer att definiera organiskt avfall inför deponeringsförbudet år 2005.	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords</b> Avfall, Energiutnyttjande, Massa och papper, Omhändertagande, Skogsindustri, Återanvändning Alternative use, Disposal, Pulp and paper, Recycling, Solid waste	
<b>Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data</b> IVL Rapport/report B 1482	
<b>Beställningsadress för rapporten/Ordering address</b> Rapporten kan beställas från: IVL, Box 210 60, 100 31 Stockholm, fax 08-598 563 90, <a href="mailto:publikationsservice@ivl.se">publikationsservice@ivl.se</a> eller via <a href="http://www.ivl.se/rapporter">www.ivl.se/rapporter</a>	

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	3
Summary .....	5
1. Bakgrund .....	6
2. Syfte.....	6
3. Nuvarande hantering.....	7
3.1 Bottenaska.....	7
3.2 Flygaska .....	8
3.3 Grönlutsslam.....	9
3.4 Mesa.....	10
3.5 Sodastoft .....	10
3.6 Bioslam .....	10
3.7 Kemslam .....	12
3.8 Fiberslam.....	12
3.9 Avsvärtningsslam.....	12
3.10 Smetrester.....	13
3.11 Andra avfall.....	13
4. Synpunkter från Naturvårdsverket och Länsstyrelserna.....	14
4.1 Naturvårdsverkets syn.....	14
4.1.1 EU-direktiv.....	14
4.1.2 Deponering.....	14
4.1.3 Förbränning.....	15
4.1.4 Allmänna synpunkter från NV på några skogsindustriella restprodukter .....	16
4.2 Länsstyrelsernas syn .....	17
4.2.1 Avfallsläget idag .....	17
4.2.2 De nya direktiven .....	18
4.2.3 Samarbetet med andra länsstyrelser och Naturvårdsverket.....	19
5. Trender och kommande förändringar .....	19
5.1 Bottenaska.....	19
5.2 Flygaska .....	20
5.3 Grönlutsslam.....	21
5.4 Mesa.....	21
5.5 Sodastoft .....	22
5.6 Bioslam .....	22
5.7 Kemslam .....	23
5.8 Fiberslam.....	24

5.9	Avsvärtnings slam.....	24
5.10	Smetrester.....	25
5.11	Andra avfall.....	25
6.	Askåterföring till skogsmark .....	26
6.1	Sammanfattande bedömning.....	26
6.1.1	Skogsstyrelsens rekommendationer .....	26
6.1.2	Stimulans eller hinder för operativ verksamhet .....	27
6.1.3	Askåterföring i ett uthålligt skogsbruk.....	27
6.1.4	Teknik för behandling av askan före spridning.....	28
6.1.5	Kvarlämnade barr minskar behovet av kompensation .....	28
6.1.6	Askåterföringens möjligheter och risker .....	28
6.1.7	Tillväxtförluster efter askgödsling .....	29
6.1.8	Metoder för kontroll av aska .....	29
6.1.9	Spridning på hyggen.....	30
6.1.10	Är det bråttom med askåterföring? .....	30
7.	Behov av utveckling eller klargörande.....	31
7.1	Aska .....	31
7.2	Grönlutsslam och mesa .....	31
7.3	Organiska slam.....	31
7.4	Renseri- och vedgårdsavfall.....	32
8.	Referenser .....	32

Bilaga 1 Trädaska till skogen – En bedömning av kunskapsläget

## Sammanfattning

Rapporten sammanfattar hur man tar hand om olika typer av avfall i svensk skogsindustri idag. Hanteringen har påverkats av den införda deponeringsskatten, förbudet att deponera brännbart avfall från 2002, och kommande förbud att deponera organiskt material. Ökade krav på pannor för förbränning av avfall kommer också att påverka hanteringen av en del avfall/restprodukter.

De flesta uppgifterna är från år 2000, och en del från 2001. Mängderna är våtvikt. **Aska** från energiutvinning står för ca 270 000 ton. Ca 69 % hamnade på deponier, men en stor del i form av vägar och stabilisering. Bygge av interna vägar och annan konstruktion inom fabriksområdet stod för ca 26 %. 11 % användes för att anlägga torkytor för olika typer av organiska slam. Små mängder gick till tätskikt i deponier, jordförbättringsmedel och till skogsvitalisering. Den viktigaste trenden är att söka användning som konstruktionsmaterial även utanför fabriksområdet. Rapporten innehåller också en sammanfattning av läget beträffande askåterföring till skogen, något som inte har kommit igång i stor skala.

**Grönlutsslam** deponeras genomgående, och är befriat från deponeringsskatten. Det rör sig om ca 220 000 ton per år med knappt 50 % torrhalt. En liten del används som tätskikt i deponier efter blandning med aska. Mycket arbete görs för att undersöka hur man kan använda grönlutsslam som tätskikt även i kommunala deponier.

**Mesa** tas mest ut i samband med stopp, totalt ca 110-130 000 ton/år. Så mycket som möjligt bränns om internt eller externt. Cirka hälften av det rapporterade uttaget går till deponi, delvis som täckmaterial. En del sprids på jordbruksmark i närheten av några bruk.

**Stoft från sodapannan** går nästan helt till avlopp, ofta utan att mätas, men det rör sig om minst 50 000 ton/år. Ett bruk har installerat avskiljning av tungmetaller före utsläppet.

**Bio-, kem- och fiberslam** tas ofta ut tillsammans, och i andra fall blandas de före avvattning. Den totala mängden är över 700 000 ton/år, och över hälften förbrändes. Ca en fjärdedel deponerades, men en stor del i form av täckmaterial. Knappt 20 % gick till jordförbättringsmedel. Deponeringen minskar och måste i stort sett vara slut år 2005, medan både energiutnyttjande och jordprodukter ökar.

**Avsvärtningslam** är speciellt, eftersom det är mer osäkert vad det innehåller, och för att det är osäkert om det kommer att omfattas av avfallsförbränningsdirektivet eller ej. Det mesta av totalt ca 250 000 ton förbränns, eller kommer snart att förbrännas. Super-

kritisk vattenoxidation kommer troligen att införas vid ett bruk för samtidig återvinning av fyllmedel.

**Smetrester** behandlas olika beroende främst på innehållet av organiskt material. Det kan återvinnas efter koncentrerings med membranteknik, eventuellt användas som tätningmaterial, deponeras eller gå till biologisk rening.

**Renseri- och vedgårdsavfall** är stora mängder av bark, kvistar, flis, sand, grus och vatten, ca 460 000 ton/år. En del av detta är ganska ren bark som förbränns utan problem, men ofta bör det separeras först. Man kan tänka sig fraktionerna bränsle, kompostmaterial och inert, men bra separationsteknik saknas.

Följande tabell visar den ungefärliga fördelningen av omhändertagande av olika avfall under år 2000-2001:

	Askor	Grönluts- slam	Mesa	Bio-, kem- o. fiberslam	Avsvärtnings- slam
Mängd/år, ton våtvikt	290 000	220 000	130 000	700 000	250 000
Deponering, %	68	100	37	21	33
Konstruktionsmat. %	29				
Jordförbättring, %	2		8	19	
Täckning/tätning, %	1			4	7
Återanvändning, %			55	3	
Förbränning, %				53	60

En stor del av de deponerade askorna används för förstärkning och vägbyggen på deponierna. Konstruktionsmaterial står för vägar och landbygge utanför deponin, men normalt inom fabriksområdet.

En viktig omedelbar fråga för hantering av en del avfall är hur man kommer att definiera organiskt avfall när förbudet för deponering kommer år 2005.

## **Summary**

Final disposal of different kinds of solid waste from Swedish pulp and paper industry is discussed. The new tax on landfilling, prohibition of landfilling of combustible waste from 2002, and the future prohibition of landfilling of organic material has influenced the handling. The report also gives a summary concerning re-circulation of ashes to the forest.

The types of waste that are discussed are ashes, green liquor dregs, lime sludge, dust from the recovery boiler, biological sludge, chemical sludge, fibre sludge, de-inking sludge, coating residues and debarking and wood-yard waste. The trend for inorganic material is towards construction material, while organic material as much as possible is used for energy recovery or soil amendment.

The definition of organic material will be very important for the future handling of many kinds of waste after the landfill prohibition in 2005.

## 1. Bakgrund

Under 1997 och 1998 gjordes en genomgång av olika möjligheter att utnyttja eller åtminstone på bästa sätt bli av med restprodukter från skogsindustrin (Ek och Sundqvist 1998). Rapporten skrevs medan alla börjat fundera över hur de skulle ordna avfallshanteringen med tanke på den kommande deponeringsskatten och senare också förbud mot deponering av brännbart och organiskt material. En del tankar fanns och försök gjordes, men det var långt till färdiga lösningar.

Sedan dess har avfallsskatten införts (och höjts), deponeringsförbudet för utsorterat brännbart material har trätt i kraft, liksom förbudet för deponering av flytande avfall. Stoppet för deponering av organiskt avfall rycker närmre (2005) utan att man vet hur man ska definiera organiskt avfall. Förbränningsdirektivet ställer högre krav på pannor för avfallsförbränning.

I det här projektet ska man ta reda på vad som verkligen hänt, både från industrins sida och från myndigheterna. Vad gör man idag med askor, grönlutsslam och organiska slam? Hur ser myndigheterna på dagens hantering, och vad väntar de sig inom de närmaste åren? Är nuvarande och planerad hantering och kvittblivning miljömässigt sund?

En viktig principiell, praktisk och ekonomisk fråga är hur långt man ska gå i återföring av aska från skogsindustrin till skogsmark. Enligt kretsloppsprincipen ska askan tillbaka till den växande skogen, men hur långt är det rimligt? Vill man återföra allt i askan? Var behövs återföringen verkligen? Kan man få utläckaget till marken vid rätt tidpunkt? Var är det miljömässigt försvarbart med tanke på transportavstånd och påverkan vid spridning? Vad är ekonomiskt rimligt? För att belysa en del av de här frågorna görs en sammanställning av dagsläget vad gäller spridning av aska i skogsmark.

## 2. Syfte

Målet är att uppdatera den tidigare rapporten om hantering av avfall, och att inkludera myndigheternas syn på problemet idag. Rapporten ska vara ett stöd för skogsindustrin i det fortsatta arbetet med avfall och restprodukter.



### 3. Nuvarande hantering

Data i det här avsnittet baseras dels på uppgifter från brukens miljörapporter (Naturvårdsverket 2001), dels från svar från en enkät inom projektet, utskickad och sammanställd under 2001 och 2002. Enkäten gick ut till 63 massa- och pappersbruk, alltså inte bara till de 29 bruk som har varit med och stött projektet. Efter en del påstötningar kom det in svar från 45 bruk. Bortfallet var störst bland ointegrerade pappersbruk och rena returfiberbruk som "saknar" många av avfallsslagen. Enkätsvaren har kompletterats med besök vid och telefonkontakter med ett antal bruk och ett par entreprenörer.

Svaren har delats upp i ett stort antal avfallstyper, även om många av typerna behandlas gemensamt vid flertalet bruk. Det har gjorts delvis med tanke på de kommande reglerna.

#### 3.1 Bottenaska

Askans innehåll och form blir väldigt olika beroende på vilken form av panna man har, och givetvis beroende på bränslet. Här har en uppdelning åtminstone delvis gjorts i bottenaska och flygaska, eftersom de ändå har en del typiska karakteristiska egenskaper. Bottenaskan, och i synnerhet slaggen har större partiklar. Det gäller särskilt för rosterugnar. Flygaskan är mer finkornig och blir anrikad med avseende på de flyktiga metallerna bly, kadmium och zink.

Viktsförhållandet mellan bottenaska inklusive slagg och flygaska i en rosterugn är normalt ca 2:1. En panna med fluidbädd (den typen ökar i antal) ger övervägande flygaska.

Naturvårdsverkets samlade statistik (Naturvårdsverket 2001) skiljer inte på olika typer av aska, och ger summan 265 000 ton (med varierande torrhalt) för år 2000 för alla massabruk. De absolut största mängderna (158 000 ton) kom från TMP-bruken, som förutom bark ofta också förbränner bio- och kemslam, fiberslam och avsvärtningslam. Omräknat till torrsvikt blir mängderna totalt 189 000 ton och från TMP-bruken 122 000 ton. Sulfatmassabruken står för 48 000 ton och sulfitmassabruken för 13 000 ton.

Huvuddelen av all aska anges gå till deponi, ca 63 % av torrsvikten. Till "Återanvändning eller Materialåtervinning" gick 37 % och mindre än 0,5 % till "Kompost".

Enkäten, som frågade efter "Bottenaska" och "Flygaska", gav inte svar från alla bruk, men totalt täckte den ändå 288 000 ton våtvtikt. Att det är mer än totalsumman för 2000 enligt Naturvårdsverkets rapport kan bero på olika definitioner. Naturvårdsverket anger "Aska/slagg/stoft från energiutvinning", och siffrorna från samma bruk kan skilja med upp till ett par hundra procent mellan de två uppgifterna.

De flesta bruken gav separata siffror för botten- och flygaska i enkäten, men en del rapporterade dem sammanlagt. För ren bottenaska var mängden 102 000 ton, för ren flygaska 160 000 ton och för blandaska 26 000 ton.

Av den rapporterade bottenaskan i enkäten gick 71 % till deponi, för blandaskan var motsvarande siffra 69 %. En mycket stor del av askan som deponeras används för vägbyggen eller annan stabilisering på deponierna. Det innebär att man både sparar grustäkter och transporter av annat ballastmaterial, och också att man slipper deponiskatten. Behovet är stort för att göra många deponier körbara.

Den andra mängdmässigt stora posten är aska till landbygge och vägar inom fabriksområdet. Det står för 26 % av bottenaskan och 18 % av blandaskan. Det är i synnerhet Ortvikens kommun som under många år har byggt ut sitt landområde med aska, utan några konstaterade problem med utlakning eller annat.

En tillfällig (?) användning av aska är som bottenskikt vid torkning av blöta slam med den så kallade Econova-metoden. 3 % av bottenaskan och 10 % av blandaskan gick till att bygga upp sådana ytor, antingen i Econovas (Skoghall och Wargön) eller Återvinnarnas regi (Korsnäs).

I Skutskär används blandaskan tillsammans med grönlutsslam som tätskikt på den egna deponin. Om inte inblandningen av mesa är för stor klarar man permeabiliteten  $5 \cdot 10^{-9}$  m/s, och man får ett körbart skikt.

## 3.2 Flygaska

Även av flygaskan gick huvuddelen (67 %) till deponi, och en stor del av den mängden används till vägbyggen och förstärkningar. Till konstruktioner utanför deponin gick ca 27 %. Huvuddelen var inom fabriksområdet, men nära 7 000 ton från Kvarnsveden användes tillsammans med bioslam till täckning av sandmagasin vid Falu gruva. Mindre mängder användes till torkyta (Norrundet, Nymölla och Wargön, alla med Econova) och tätskikt (Gruvön på en extern deponi). Ett par procent gick till jordförbättring (Skoghall via Econova och Karlsborg via pH-justering i kompost). Cirka 1 000 ton gick till skogsvitalisering i Halland (från Nymölla), här går Skogsstyrelsen in med delfinansiering.

Tabell 1. Fördelning av aska på olika slutstationer enligt enkäten.

Typ av aska	Total mängd ton/år	Deponi % av total	Land och väg % av total	Torkyta % av total	Tätskikt % av total	Jordprod. % av total
Bottenaska	102 000	71	26	3	0	0
Blandaska	28 000	69	18	10	4	0
Flygaska	160 000	67	27	2,7	0,9	2,6

Den huvudsakliga hanteringen av de olika askslagen sammanfattas i tabell 1. Eftersom motsvarande noggranna redovisning saknas från tidigare år är det svårt att säga hur stor skillnad deponeringsskatten har gjort. Vår bedömning är att mer aska nu används för interna vägar, på och utanför deponin. Dessutom har användningen som torkyta enligt Econova-metoden tillkommit. Övriga förändringar är marginella, även om det är intressant att det nu förekommer en viss spridning i skogsmark, som inte går under benämningen försök.

Econova-metoden baseras på torkning på stora ytor med hjälp av vind och sol. Torkningen kan vara ett försteg till förbränning eller jordförbättringsmedel, beroende på bland annat askhalt och bränslevärde. Först lägger man ett plant och jämnt underlag som håller att köra på. Ofta är det ett lager av aska från skogsindustrin, som man antingen lägger på en del av deponin eller på andra lämpligt placerade ytor. En anlagd yta utanför en deponi måste vara tät, och man har diken för att hindra ytvatten att fukta materialet och för att samla dränagevatten.

Det organiska materialet som ska torkas provtas för bestämning av askhalt, metaller, fukthalt och värmevärde. Lämplig torrhalt vid utläggningen är 20-50 % TS. Så fort ytan börjar torka vänds materialet genom harvning. Allt eftersom materialet är torrt (70-90 % TS) skördas det med frästörvsprincipen. Oftast torkar materialet inom ett år.

Under processens gång utförs en rad olika mätningar. Före leverans av färdiga biobränsle- eller jordkomponenter genomförs ytterligare en produktanalys enligt företagets bränsle- respektive jordstandard.

### 3.3 Grönlutsslam

I Naturvårdsverkets sammanställning redovisas totalt 223 000 ton grönlutsslam våtvikt för år 2000. Det motsvarar ca 105 000 ton torrsvikt. Det mesta (87 %) deponeras internt och 13 % deponeras på externa deponier.

En del av det som rapporteras som deponerat används i själva verket som täck- eller tätskikt. Skutskär fick 1996 tillstånd att använda blandningar med grönlutsslam som

tåtskikt, förutsatt att permeabiliteten är  $10^{-8}$  m/s eller lägre. Blandning med aska klarade t.o.m.  $5 \cdot 10^{-9}$  och tillräcklig stabilitet för att köra på. När man införde ny kausticering som gav mer mesa i grönlutsslammets (ca 50 %) försämrades tätheten. Nu klarar man gränsen genom mer inblandning av barkaska.

### 3.4 Mesa

Uttaget av mesa var år 2000 ca 133 000 ton enligt Naturvårdsverkets sammanställning. Vissa bruk behöver ta ut mesa för materialbalansens skull, medan andra bara får överskott i samband med driftstörningar. Av den totala rapporterade mängden gick knappt 40 % bara till deponering, medan resten på något sätt återanvändes.

Aspa bruk täcker sin gamla deponi med mesa. Åtminstone från Mönsterås, Mörrum, Värö och Karlsborg levereras mesa som kalk till kringliggande jordbruk. En typ av återanvändning är som kalk efter extern ombränning. Skutskär, Norrsundet, Vallvik och Iggesund bränner om uttagen mesa i Svenska Minerals anläggning i Sandarne.

### 3.5 Sodastoft

För uttaget sodastoft (elfilterstoft från sodapannan) är statistiken ofullständig. I Naturvårdsverkets sammanställning redovisas bara 18 000 ton för år 2000. Allt utom 1 200 ton gick direkt till avlopp. Korsnäs och Lövholmen deponerade tillsammans den mängden. Enkätsvaren i det här projektet redovisade ca 33 000 ton, och allt gick till avlopp. Tidigare uppskattningar av totalmängden som inte återförs till kemikaliecykeln är minst 50 000 ton/år. Det mesta av mellanskillnaden gick säkert till avlopp direkt.

Ett undantag är Gruvöns hantering. Där har man vidareutvecklat idén med fällning av tungmetaller (Ek och Bergström 1999). På grund av sin process med gemensam återvinning från tillverkningen av sulfat- och NSSC-massa får man stora mängder sodastoft (natriumsulfat), ca 40 ton/dygn. Man löser upp stoftet i en begränsad mängd varmvatten. På grund av det höga pH som bildas faller en stor del av tungmetallerna, t. ex. ca 80 % av kadmium ut. Efter sedimentering går klarfasen till avlopp, medan fällningen avvattnas med grönlutsslammets som också innehåller relativt mycket tungmetaller i hårt bunden form.

### 3.6 Bioslam

I Naturvårdsverkets sammanställning slår man ihop bioslam och fiberslam från rening. För år 2000 var totalmängden 490 000 ton våtvikt, oftast med mellan 20 och 40 % TS. Mängdmässigt dominerade TMP-bruken med sina 238 000 ton. I enkätsvaren till det här

projektet redovisas ofta totalsiffran för reningsslam, men man uppskattar andelen av olika slag. Baserat på sådana antaganden kan man räkna med ca 270 000 ton bioslam.

48 % av bioslammet (våtvikt) förbrändes, antingen i egen eller entreprenörers regi. Oftast är det barkpannan eller annan biobränslepanna som används, men Skutskär och nu också Värö bränner sitt bioslam i sodapannan. Det betyder bland annat att man inte behöver avvattna det så mycket separat, man utnyttjar den stora indunstningskapaciteten i kemikalieåtervinningen.

Till jordförbättringsmedel gick enligt enkäten ca 31 %. Huvuddelen levererades till externa aktörer, främst Econova, men en del torkades och processades i egen regi, t ex Rockhammar och Utansjö. Bio- och blandslam tas ofta omhand på samma sätt, dvs de avvattnas och torkas. Sedan bestämmer torrhalt, energiinnehåll och mängden närsalter och eventuella oönskade ämnen om det används som bränsle eller jordförbättringsmedel.

Ca 20 % av bioslammet lades på deponi år 2000. Huvuddelen användes som täckningsmaterial, åtminstone 15 %, medan annat bara deponerades. Den mängden måste tas omhand på annat sätt senast år 2005. Ett exempel på det som användes som täckningsmaterial är Kvarnsvedens täckning av sandmagasin vid Falu gruva. De blandar 80 % vått slam (bioslam med en liten andel fiber) med 20 % flygaska, och får ett mycket tätt material med permeabiliteten  $2-3 \cdot 10^{-9}$  m/s (Larsson 2002). Det har pågått sedan 1989, och man har goda erfarenheter.

Tabell 2 visar hur hanteringen av bioslam har förändrats mellan 1994 (Ek m fl 1996) och 2000. Under den perioden hade man i stort sett en fördubbling av mängden.

Tabell 2. Fördelning av uttaget bioslam på olika omhändertagande.

	Förbränning % av total	Deponering % av total	Täckmaterial % av total	Jordförbättring % av total
1994	62	29	5	4
2000	48	6	15	31

Om man tar hänsyn till att totalmängden bioslam ökat under perioden ser man att allt omhändertagande utom ren deponering ökat. En del av täckmaterialet hamnar även idag på deponierna, men med en positiv användning. Den stora förskjutningen har alltså varit från deponering till jordförbättringsmedel. Förutsatt bra egenskaper som innehåll av närsalter och bidrag med mullgivande ämnen, och låga halter av tungmetaller och oönskade organiska ämnen är det en miljömässigt positiv förändring.

En svaghet med sammanställningen för båda åren i tabell 2 är att ett par TMP-bruk inte rapporterar sitt blandslam som ett avfall, utan bara som ett bränsle. För år 2000 innebar

det 1 300 TJ för alla TMP-bruken, nästan lika mycket som olja (Naturvårdsverket 2001). Det innebär att andelen slam (bio-, kem-, fiber- och avsvärtnings slam) som förbränns i verkligheten är högre än de angivna siffrorna.

### 3.7 Kemslam

Den totala mängden kemslam från rening var 2000 enligt Naturvårdsverket 213 000 ton. Av den mängden fanns inte mer än 131 000 ton i vår enkät. Skillnaden beror till en del på bortfall av några bruk, men kan också delvis förklaras med olika uppskattningar av kemslammets andel av olika blandslam.

Omhändertagandet blir också beroende av hur man blandar slammen. Ett rent kemslam går sällan till varken förbränning eller jordförbättring, medan blandningar med bioslam och fiber kan motivera sådan hantering. Av de uppskattade 131 000 ton kemslam i enkätsvaren deponerades 49 %, 21 % blev till jordförbättringsmedel, 23 % skulle användas som täckningsmaterial och 7 % förbrändes.

### 3.8 Fiberslam

Enligt enkätsvaren togs minst 316 000 ton fiberslam ut år 2000. Fiberslam tas oftast ut med bio- eller kemslam, och ibland som en ”ren” produkt. I det senare fallet kan det ofta användas som råvara för andra processer än den egna. Gruvön tar emot fiberslam från många bruk för att höja seghet och våtstyrka på sin fluting. Totalt 18 000 ton fiberslam med TS i genomsnitt ca 35 % återanvänds på det sättet, det betyder ca 6 % av det totala uttaget.

Den avgjort största delen av uttaget fiberslam, rent eller blandat, gick till förbränning. I enkätmaterialiet var det ca 75 %. 13 % rapporterades gå till deponi, men 2/3 av detta användes för täckning idag eller inom en snar framtid. Ca 6 % av totalmängden fiberslam användes till jordförbättringsmedel.

Eftersom det ofta är svårt att särskilja de olika typerna av slam (bio-, kem- och fiberslam) och de delvis behandlas tillsammans kan det vara meningsfullt att lägga ihop mängderna och se på fördelningen. Totalmängden enligt enkäten blir då 716 000 ton, varav 52 % förbrändes, 26 % deponerades (men en stor del i form av täckmaterial) och 18 % gick till jordförbättringsmedel.

### 3.9 Avsvärtnings slam

Naturvårdsverket rapporterar totalt 246 000 ton avsvärtnings slam för år 2000, med drygt hälften från TMP-bruk och resten från returpappersbruk. I enkäten uppgav Braviken

100 000 ton, som gick till förbränning. Askan från detta deponeras, då man ännu inte fått något generellt tillstånd för t ex vägbyggen utanför området. Hallsta och Hylte kvantifierar inte mängden, men allt slam bränns här tillsammans och askan deponeras idag.

Bland returpappersbruken rapporterade Edet 82 000 ton. Slammet deponeras idag, men kommer snart att förbrännas i en fluidbädd-panna. 17 000 ton från Munksjö i Jönköping används som täckmaterial på kommunens deponi.

### 3.10 Smetrester

Mängden bestyrkningsavfall är liten jämfört med de olika slammen. Naturvårdsverket rapporterar 20 000 ton för år 2000. I enkäten uppgav 3 bruk att de deponerade sina smetrester, totalt 5 500 ton. Korsnäs pumpar 7 000 ton smetspillvatten till ett invallat område med avfallsfiber, för dränering och infiltrering till den luftade dammen.

Frövi bränner 1 100 ton smetrest, Iggesund faller en del smethaltigt avlopp och får 7 500 ton smetslam som deponeras idag. Fors låter en okänd mängd smetspill gå till reningsverket, där det mesta avskiljs i försedimenteringen. Vid Ortviken har man nära 11 000 ton smetrester med ca 30 % TS. En del materialåtervinns med hjälp av ultrafiltrering, medan resten avvattnas med sedimentering och centrifug och används för landbyggnad tillsammans med askor.

### 3.11 Andra avfall

Ett avfallsslag som inte efterfrågades i enkäten är renseri- och vedgårdsavfall, dvs olika blandningar av bark och sand/grus. Flera bruk har ändå nämnt det som problem idag eller i framtiden. Idag tycks man antingen göra jord eller täckmaterial av det via kompostering, eller separera det för förbränning och konstruktionsmaterial. Enligt Naturvårdsverket hade man år 2000 totalt 460 000 ton! Av den mängden utnyttjades ca 70 % för energiutvinning, 12 % deponerades och 18 % nyttiggjordes på andra sätt.

Fiberrejekt och kvistmassa kan ofta säljas för materialåtervinning. Alternativet blir i framtiden förbränning. Returfiberrejekt deponeras fortfarande på sina håll, men man strävar efter att förbränna allt. Svårigheten är att hitta lämpliga pannor. Det gäller särskilt när man har större plastmängder i materialet. Ett speciellt problem har ABB Power Technology Products (tidigare Figeholms bruk), deras spill av fiberlaminat (900 ton) är ett högvärdigt bränsle, men svårt att sönderdela för inmatning i pannor. I brist på möjliga pannor i närheten söker man dispens för deponering.

## 4. Synpunkter från Naturvårdsverket och Länsstyrelserna

### 4.1 Naturvårdsverkets syn

Det här kapitlet baseras på samtal med Erik Nyström och Simon Lundeberg, Naturvårdsverket 2002-01-09. Det beskriver kort gången vid genomförandet av nya direktiv, och dagsläget vad gäller regler för deponering och förbränning.

#### 4.1.1 EU-direktiv

Efter att ett EU-direktiv kommit har medlemsländerna normalt 3 år på sig att införa nationella lagar som ska godkännas av kommissionen. Förslag till förordningar, föreskrifter och lagar som gäller avfall tas fram av Miljödepartementet och NV.

#### 4.1.2 Deponering

Deponeringsskatten som var 250 kr/ton vått avfall när den infördes har sedan dess successivt höjts för att 2003 vara 370 kr/ton. Skogsindustrins avdragsrätt från skatten gäller tidsbegränsat fram till 2004 för grönlutsslam, returfiberavfall, avsvärtningslam, askor från förbränning av avsvärtningslam och vatten eller stabiliserande ämnen för vätning av askor.

Från 2002 får man inte deponera brännbart material, definierat så att det inte får fortsätta att brinna efter antändning. Helt klart är att utsorterat brännbart material inte får deponeras. I övrigt försöker man fortfarande komma fram till en enhetlig tolkning. En tumregel enligt NV tycks vara att materialet inte får ha ett positivt energivärde vid förbränning, gränsen går då vid 5-6 MJ/kg avfall. Det betyder för skogsindustriella slam att de i de flesta fall kan deponeras efter normal avvattning till ca 30 %, men att ytterligare torkning gör det brännbart (vilket ju också är meningen). På grund av kapacitetsbrist i godkända pannor kommer många dispenser att ges de närmaste åren.

Från 2005 ska man inte alls få deponera ”organiskt” avfall. Här är den svenska definitionen långt ifrån klar, men man sneglar bland annat på det tyska förslaget som innebär att materialet varken får:

- ha ett energiinnehåll över 6 MJ/kg TS,
- ha mer än 18 % organiskt material av TS eller
- ge en viss syreförbrukning i ett standardiserat respirationstest.

Gränsen 3 % organiskt kol har också nämnts, vilket skulle vara betydligt hårdare.



Förordningarna och föreskrifterna som bygger på EU:s deponeringsdirektiv är mycket detaljerade. De innehåller uppgifter om

- klassning av avfall,
- barriärer,
- lakvattenmängd,
- deponigaser,
- avslutning och efterbehandling och
- mätning och kontroll.

En behandling av avfall så att det kommer att klassas som inert gör att kraven på deponin blir lägre. Avfallet klassas som inert om lakvattnet innehåller mindre än i listor föreslagna halter av olika föreningar efter en standardiserad lakning. När rapporten skrivs är de här gränserna inte fastslagna, det första förslaget från kommissionen röstades ner i maj 2002. De andra klasserna är farligt avfall och icke-farligt avfall. Definitionen av icke-farligt avfall (det mesta) är att det inte är inert och inte farligt avfall. Vad som är farligt avfall finns för varje bransch angivet i avfallsförordningen SFS nr: 2001:1063. För trä, massa och papper är det bara träskyddsmedel och ”Spån, spill, trä, fanér och spånskivor som innehåller farliga ämnen”. Oljeavfall hör också dit.

Varje deponi ska ha en anpassnings- och avslutningsplan till de nya reglerna. Den ska vara inlämnad till tillsynsmyndigheten senast 2002-07-01, annars måste deponin avslutas senast 2008.

EU:s deponeringsdirektiv finner man på nätet (<http://europa.eu.int/eur-lex/sv> under gällande lagstiftning, direktiv, år 1999 nr 31). Den svenska implementeringen av EU-direktiven hittar man i förordning SFS 2001:512 på [www.regeringen.se](http://www.regeringen.se) under Miljödepartementet och Lagar och förordningar. Naturvårdsverkets föreskrifter finns under [www.environ.se](http://www.environ.se), Lagar & rättesnören, Naturvårdsverkets föreskrifter, NFS. Det mesta av det som är aktuellt här hittar man under år 2001, som NSF 2001:13, 14, 16, 17 och 22.

#### **4.1.3 Förbränning**

När det gäller förbränning är det mycket viktigt om det avfall man ska bränna undantas från förbränningsdirektivet. Kraven på en panna för avfallsförbränning är betydligt högre än på t ex en barkpanna. Det gäller utsläpp av stoft, en mängd gaser och dioxin, men också krav på kontinuerlig mätning av flera variabler i både pannan och avgaserna. Enligt EU:s definition är avfall allt som man gör sig av med, förutom produkt. Hela definitionen återfinns i Miljöbalken, t ex under [www.environ.se](http://www.environ.se).

En ny förordning som reglerar förbränningen av avfall kom i december 2002 (SFS 2002:1060). Där undantas vissa typer av avfall, för skogsindustrin kan följande vara aktuellt:

- ”1. vegetabiliskt jord- och skogsbruksavfall,
3. vegetabiliskt fiberhaltigt avfall som uppstått vid produktion av nyfiberpappersmassa eller pappersproduktion, om avfallet förbränns på produktionsplatsen och den energi som alstras återanvänds,
4. träavfall, med undantag för träavfall som till följd av ytbehandling eller behandling med träskyddsmedel kan innehålla organiska halogenföreningar eller tungmetaller inklusive sådant träavfall från bygg- och rivningsverksamheter”.

Det öppnar för olika tolkningar av tillsynsmyndigheteten och Miljödomstolarna, och i slutändan eventuell rättslig prövning av dessa.

#### 4.1.4 Allmänna synpunkter från NV på några skogsindustriella restprodukter

Mängden **bioslam** (och kanske också **kemslam**) kommer att öka, därför är torkningen av slam viktig. Vid torkningen måste man ta hänsyn till energiaspekter (insatt och återvunnen mängd och kvalitet). Vid lufttorkning bör man ha kontroll på lakvattnet som bildas, men några generella regler för det finns inte.

De svenska kommunerna har fått frågan hur de kommer att klara att **sluta flödena av fosfor**. Det kommer också att gälla **kväve och kalium** som bör återföras till grödan. Nu har man även börjat diskutera en mer aktiv återföring av **svavel**, i och med att utsläppen av SO<sub>2</sub> minskar. Skogsindustrin bör enligt NV ställa sig samma frågor.

Återföring av **aska till skogsmark** är ett sådant kretslopp för fosfor och kalium (och andra baskatjoner). Frågan om askåterföring är dock komplicerad. Enligt NV bör man först minska mängden kadmium i askan, och sedan återföra den till de platser där den gör långsiktig nytta. Här måste man lägga ett LCA-perspektiv, med tanke på de resurser som krävs för uppgradering och spridning. Risken med dioxiner i flygaska bör utvärderas bättre innan man sprider **flygaska** i större skala. Hur mobila är dioxinerna? I dagsläget talar mycket för att flygaska bör deponeras om man inte har en förbehandling som både knäcker dioxiner och sänker kadmiumhalten.

Vid **kompostering** och annan blandning för att göra **jordförbättringsmedel** får man en utspädning av eventuella risksubstanser från en del avfallsslag. Det är självklart inte en långsiktig behandlingsmetod för stabila föreningar såsom tungmetaller. Det är viktigt att produkten sedan sprids på ett sätt som inte äventyrar den framtida användningen av marken. Förfarandet ställer också stora krav på en jämn sammansättning hos de ingåen-

de komponenterna. NV har inga speciella regler, vilket innebär att frågan hanteras av länsstyrelserna med risk för olika tolkningar.

Länsstyrelserna har över huvud taget en ganska fri ställning i alla de frågor där de har mandat att bestämma. NV hinner mycket sällan ta upp deras ärenden, vilket kan leda till olika tolkningar i olika länsstyrelser.

Användningen av **restprodukter som konstruktionsmaterial** i vägar eller liknande förutsätter den nödvändiga hållfastheten, men också en begränsad utlakning. I det avseendet borde restprodukterna klassas med relevanta lakteter, men några allmänt vedertagna sådana finns inte idag. Bedömningen skiljer mellan olika länsstyrelser.

## 4.2 Länsstyrelsernas syn

Det här avsnittet baseras på intervjuer med följande personer:

Ola Lindén	Länsstyrelsen i Östergötlands län
Åsa Hedmark	Länsstyrelsen i Östergötlands län
Torbjörn Holmgren	Länsstyrelsen i Gävleborgs län
Ove Forsberg	Länsstyrelsen i Gävleborgs län
Pontus Halldin	Länsstyrelsen i Örebro län
Ann-Charlotte Carlström	Länsstyrelsen i Örebro län
Mattias Hasselrot	Länsstyrelsen i Kalmar län

Endast mer generella synpunkter tas upp, inte detaljer i samarbetet med respektive bruk.

### 4.2.1 Avfallsläget idag

Uppfattningen i stort tycks vara att man har avfallsläget under kontroll idag, men det finns en del frågetecken framöver. Normalt går samarbetet bra, och man har ungefär samma tolkningar av direktiven i Länsstyrelserna och ute på bruken. Det beror till stor del på att bruken är stora, och därmed har kunnig och uppdaterad personal.

Aska av olika slag ansågs mest svårbedömt. Den allmänna uppfattningen var att askan i princip ska tillbaks till skogen, men bara om det är ren träaska, och bara tillbaks till skogar där man hämtat råvaran. Ett litet tillskott av olja i pannan vid enstaka tillfällen är inte ovanligt, hur länge gör det askan till farligt avfall? Många skogsindustriella askor är dåligt utbrända, vilket hindrar härdning. Det kan bero på typ av panna och att man eldar relativt blöt bark för att minska NO<sub>x</sub>-utsläppet. Samtidigt ökar utsläppet av PAH och andra organiska föreningar om man försöker minimera NO<sub>x</sub>-utsläppet. Med tanke både på kvaliteten och att askåterföring behövs mest där man tagit ut hyggesavfall för energi-

produktion kan man tycka att det främst är aska från fristående, ren energiutvinning som skulle återföras till skogen.

Att aska ersätter jungfruligt material som ballast i t ex skogsbilvägar är man i princip positiva till, men återigen är man tveksamma om det är aska från någon typ av samförbränning. De flesta tillämpar försiktighetsprincipen, men det finns vissa skillnader. En mer enhetlig bedömning baserad på erfarenheter från tidigare försök och storskalig användning i andra länder vore önskvärd. Samtidigt kräver det en jämn kvalitet, något som många äldre pannor inte klarar.

En jämn kvalitet är generellt viktig när restprodukter ska användas i olika sammanhang. Större entreprenörer anses klara den kontrollen, men vissa farhågor uttalades om mindre, lokala företag, frågan är hur man ska kontrollera dem eller hjälpa dem med kontrollen.

Inställningen till skogsindustriella restprodukter för både tätning och täckning av deponier var positiv, förutsatt att materialen klarar relevanta lakteter och täthetskrav. Organiskt material i tätskikt var man tveksam till, men det bör gå bra i täckskikt. Kravet på långtidstester bör vara betydligt lägre om man ska göra en topptätning än vid botten-tätning av en ny deponi. Vid eventuellt läckage går det relativt lätt att lägga på annat material.

Lakvattnen ansågs av de flesta inte vara något stort problem. Vad gäller kem- och bioslam ser man en stor ökning, och kanske problem när man inte får deponera organiskt material. Ökad slammängd, tillsammans med de resurser reningen tar, gör att man i varje fall bör försöka finna optimum för hur långt reningen ska drivas. Tyvärr är det svårt, eftersom man måste väga helt olika miljöparametrar mot varandra, men tanken måste ändå finnas där.

#### **4.2.2 De nya direktiven**

Deponeringsdirektivet ansågs så här långt relativt klart och lätt att tolka. En del frågetecken fanns kring vad som är flytande avfall, och man väntade spánt på hur man i Sverige kommer att definiera organiskt avfall till år 2005.

Beträffande avfallsförbränningsdirektivet väntade länsstyrelserna också på besked om vilka avfall som kommer att undantas, och alltså inte kräva speciella pannor. För icke undantaget material anser de flesta länsstyrelser att bruken kommer att utnyttja externa pannor i stället för att klassa sina för samförbränning eller avfallsförbränning.

### 4.2.3 Samarbetet med andra länsstyrelser och Naturvårdsverket

De flesta beklagade svårigheterna att få tid att diskutera enskilda frågor med Naturvårdsverket, som mer är ett ”EU-inriktat serviceorgan åt regeringen”. Samtidigt var man tacksam för att det varit en bra kontinuitet vad gäller skogsindustrihandläggare vid verket, med hög kompetens som följd. Det går oftast att få svar på sina frågor när man får tag i någon. Man ansåg också att de nya miljödomstolarna har bra kunskap.

Den skillnad i bedömning som kan bli en följd av att Naturvårdsverket inte är inblandat i de flesta ärenden försöker man minska genom samarbete mellan olika länsstyrelser. Det har nyligen bildats en informell mail-grupp med alla skogsindustrihandläggare på länsstyrelserna. Där kan man diskutera samordning och tolkningsfrågor. Dessutom kallar Naturvårdsverket regelbundet till träffar med skogsindustrihandläggarna från länsstyrelserna.

## 5. Trender och kommande förändringar

Nedan diskuteras de försök och planer som nämnts i samband med enkäten, mot bakgrund av olika förordningar och den totala miljöpåverkan.

### 5.1 Bottenaska

De försök som oftast nämns i samband med askor är olika aspekter av återföring till skogen. I samarbete med andra har man studerat pelletering eller granulering, blandningar med bioslam eller mesa, spridningsteknik, kostnader och effekt i skogen. För detta hänvisas till kapitel 6.

Det stora användningsområdet (förutom deponering) är som konstruktionsmaterial, i synnerhet i vägar. Så länge det bara gäller hållfasthet och bärighet går det uppenbarligen bra att använda bottenaska eller slagg. Inom fabriksområdet, och särskilt inom deponin, har en eventuell utlakning av tungmetaller och annat från askan en underordnad betydelse. Samtidigt används aska i stor utsträckning i vägbyggen i Danmark och på den europeiska kontinenten. Där har man tydligen en annan syn på utlakningsrisken, kanske påverkad av mindre tillgång till ballastmaterial.

Från flera bruk önskar man en gemensam och enklare bedömning av vilka askor som kan användas för vägbyggnad på olika platser. Bara användning i områden som är mindre känsliga för utläckage skulle kunna ta hand om all producerad aska, och spara motsvarande mängd naturligt material.

Ett möjligt problem med många askor från skogsindustrin är att de innehåller en hel del oförbränt kol, och ibland också organiskt material. Det kan påverka både granulering och hållfasthet på sikt. Beroende på hur organiskt material kommer att definieras kan det t.o.m. bli förbjudet att deponera sådan aska. Skälet till de höga kolhalterna är ibland att man kör ugnarna vid relativt låg temperatur och begränsad syretillförsel för att minska utsläppen av NO<sub>x</sub>. I andra fall beror det på ojämnheter i bädden, främst för rosterugnar.

Återföring till skogsmark och särskilt användning som konstruktionsmaterial och andra användningar av aska utreds i minst två större projekt i Sverige för närvarande. Det ena drivs av Värmeforsk och ett antal intressenter (bland dem flera skogsindustrier). Det kallas ”Miljöriktig användning av askor från energiproduktion” och är inne på det första av tre år (Ribbing 2002). En viktig del av projektet är att man även behandlar de juridiska frågorna.

Det andra projektet är finansierat av Vinnova, och kallas ”System för ökad användning av alternativa material i mark- och anläggningsbyggande” (AIS 32 2002). Här satsar ett antal företag, inklusive Skärblacka, på att hitta användningar som konstruktionsmaterial.

## 5.2 Flygaska

En speciell egenskap hos flygaskan är som nämnts att den är mycket finkornig. Med en viss mängd vatten och rätt sammansättning härdar den effektivt, och med mer vatten bildar den ett material med låg permeabilitet. Det härdade materialet kan krossas och siktas till lämplig storlek för att ge rätt hastighet för utläckage av salter i skogsmark. Innehållet av speciellt kadmium begränsar ofta givan vid spridning i skogsmark, se kapitel 6.

Vattenupptaget vid härdningen kan också användas för att avvattna andra restprodukter. Blandad med grönlutsslam ger askan ett mycket tätt material. Användningen som tätskikt, ensamt eller oftast i kombination med grönlutsslam, testas för närvarande av flera bruk enskilt. Dessutom deltar ett drygt 10-tal bruk i ett SSVL-projekt med syftet ”att i laboratorieskala och med pilotförsök i halvstor skala undersöka några olika restprodukters lämplighet som tätskikt i deponier, och att utveckla en metod för att bedöma olika avfalls möjligheter att användas som tätningsmaterial” (Sundqvist 2002).

Om man mot förmodan inte finner miljömässigt bättre sätt att ta hand om askan i framtiden borde man kunna fortsätta att deponera den utan hinder i deponeringsförordningen (SFS nr: 2001:512). Undantag kan vara mycket dåligt utbrända askor, som beroende av definition av organiskt innehåll eventuellt kan stoppas från år 2005. Möjligen kan en del askor t.o.m. klassas som brännbara, enligt avfallsförordningen (SFS nr: 2001:1063)

”sådant avfall som brinner utan energitillskott efter det att förbränningsprocessen startat”. Sådana askor måste i så fall brännas om.

### 5.3 Grönlutsslam

Grönlutsslammet är idag befriat från deponeringsskatt, beroende på avsaknad av alternativ behandling. Det som kallas grönlutsslam är i praktiken en blandning av svartslam, som absolut måste tas ur systemet, och mesa som används som precoat på filtren. Andelen mesa varierar mycket mellan bruken, mellan 0 och 80 %.

Det egentliga svartslammet är mycket finkornigt, därav svårigheterna att filtrera det utan precoat. Det innebär också att det avskiljda grönlutsslam blir väldigt tätt. Permeabiliteten är ofta i klass med en bra lera, och i princip är den lägre ju mindre inblandning av mesa man har. Det här har gjort att man undersöker möjligheten att använda grönlutsslam som tätskikt i deponier, ensamt eller blandat med flygaska. Ett större SSVL-projekt vid IVL ska försöka ta fram generella krav på materialet för att det ska vara tätt nog, ha låg utlakning och bra mekanisk stabilitet (Sundqvist 2002). Som nämnts används grönlutsslam redan i Skutskär efter inblandning av aska. Många bruk har gjort försök i olika skala, t. ex. Östrand och Frövi.

I Frövi är man intresserade av att använda grönlutsslam både som botten tätning i en ny deponidel och som täcksikt. Vid Korsnäs görs försök med grönlutsslam som skärm mellan deponin och havet.

På flera håll har man blandat in både grönlutsslam och mesa i askan vid försök med återföring till skogsmark. Aktuella försök är t. ex. Södra Skogsenergi tillsammans med Värö bruk.

Avdragsrätten för deponeringsskatt för grönlutsslam är temporär, och kommer att omprövas till 2004.

### 5.4 Mesa

Mesan är en relativt ren kalciumkarbonat, och kan användas på många ställen där man idag använder ny kalksten. Ett exempel som har prövats av Iggesund är som tillsats i externa energipannor för att binda svaveldioxid. Något annat som provas nu är som beståndsdel i vägar (Karlsborg och Vägverket).

Förutom de bruk som nämnts vill Frövi gärna sprida mesa på närliggande jordbruk, det skulle både minska deponeringen, transporter och brytning av kalksten. På en del håll finns det dock motstånd mot spridning i jordbruket, t. ex. från LRF (Skutskär).

Deponering av mesa skulle inte innebära några nämnbara miljörisiker, det bidrar till att hålla pH så högt i deponin att läckaget av de flesta tungmetaller i deponin i stort kommer att vara lågt under lång tid framåt. En möjlig nackdel är att det höga pH-värdet försenar nedbrytning av organiskt material i deponin, och därmed stabiliseringen av deponin. Ingenting i deponeringsförordningen hindrar deponering av mesa, men det borde finnas bättre användning för den här relativt rena restprodukten.

## 5.5 Sodastoft

Sodastoftet består till största delen av natriumsulfat. Man måste göra uttag på de flesta bruk, antingen för natrium- och svavelbalansen, eller för att stöta ut kalium och klorid. Utsläpp av natriumsulfat till recipienten har normalt ingen negativ miljöeffekt, utom vid stora mängder i en liten sötvattenrecipient. Däremot kan eventuellt innehållet av tungmetaller i sodastoftet vara ett problem i en del fall.

Beroende på mängder, kadmiumhalter och recipienter har flera bruk fått utredningskrav för att se vad man kan göra åt utsläppen av sodastoft. Man följer erfarenheterna från Gruvön, men inga fler bruk har ännu ålagts att använda tekniken. Gruvöns situation var speciell, med stort uttag av sodastoft på grund av processkombinationen, och en inlandsrecipient.

Så länge stoftet tas ut och deponeras torrt finns det inget hinder i den svenska deponeringsförordningen. När man väl löst upp det i vatten får det inte deponeras. Vid deponering av fast sodastoft kommer nästan allt att snabbt lösas upp och lämna deponin med lakvattnet. Kvar blir, beroende av pH, huvuddelen av tungmetallerna som binds till annat material i deponin.

## 5.6 Bioslam

Mängden bioslam kommer att öka under de närmaste åren, även om en del av de senast införda reningsmetoderna (t ex Multibio i Mörrum och liknande tankar i Braviken) strävar att minska mängden överskottsslam. Bioslammet kommer inte att kunna deponeras från år 2005 på grund av deponeringsförbud för organiskt material. Förbränningen väntas öka eftersom man räknar med att inte behöva någon särskild avfallsförbränningspanna för bioslammet.

Förbränning av slam med energiutvinning är miljömässigt acceptabelt, förutsatt att torrhalten är tillräckligt hög och förbränningen och rökgasreningen är bra. Det innebär ett NO<sub>x</sub>-tillskott, och med kloridhaltiga slam eventuellt dioxinbildning. Med dagens blekmetoder är dock kloridinnehållet lågt, och därmed risken för dioxinbildning liten. Med lokal förbränning undviker man transporter.



Utveckling av nya metoder för avvattning och torkning är viktig. Ett intressant sätt kan vara att använda låggradig spillvärme i kombination med vakuum för torkningen (Eklund och Eriksson 2001). Econovametoden eller liknande system med lufttorkning används på många håll.

Av slammets näringsämnen förlorar man vid förbränning allt kväve, medan fosfor, kalium, kalcium och magnesium blir kvar i askan. Frågan är dock vad man sedan gör med askan. Återföring till skogen är teoretiskt bra, men tekniskt och ekonomiskt besvärligt. Först när man vet hur ett storskaligt system skulle se ut kan man bedöma om miljönyttan med återföringen uppväger insatta resurser vid hantering, transport och spridning.

Användning som jordförbättringsmedel, oftast efter kompostering, torkning och blandning med andra material, gör att man kan utnyttja större delen av näringsinnehållet och dessutom den mullbildande effekten. Den här användningen har ökat kraftigt, och kommer troligen att fortsätta att öka. Kravet är en jämn kvalitet utan för höga halter av tungmetaller eller organiska miljögifter. Dessutom förutsätter det en lokal efterfrågan, materialet ska inte transporteras över stora avstånd. En inblandning av fiberslam är snarast en fördel, medan mycket kemslam kan göra användningen mer tveksam. Siffran 31 % till jordförbättring kan jämföras med att 21 % av kommunala avloppsslam gick till jordbruket år 2000 (Statistik 2002).

Det sista större användningsområdet är som täckmaterial (ibland tätningsmaterial) för deponier. Det tillämpas redan på många håll, och det här är en användning som studeras vidare, inte minst för slam från kommunal avloppsvattenrening (RVF Utveckling 2001). Behovet av täckmaterial är mycket stort, särskilt just nu när många gamla deponier ska avslutas. Tillgången på kommunalt slam är ca 220 000 ton TS per år (2000), det är då främst en rötad och därmed stabiliserad blandning av bioslam och kemslam (Statistik 2002). Slam från skogsindustrin skulle kunna bli ett tillskott, och därmed spara en del naturmaterial.

Frågan är dock om ett material med så hög halt organiskt material som bioslammen har är lämpligt som tätskikt. Rötade kommunala slam är relativt stabila, men ett orötat slam kommer att förlora ca hälften av det organiska materialet relativt snabbt i de syrefria miljöerna i deponin. Däremot är det mindre kontroversiellt att använda det som täcksikt, som man kan acceptera att det sjunker ihop.

## 5.7 Kemslam

För kemslam kommer tolkningar hos tillsynsmyndigheten och miljödomstolarna att avgöra om de ska undantas från avfallsförbränningsdirektivet. Motivet för undantag kan vara en viss fiberhalt i fällningen.

Det finns ett intresse av att återvinna fällningskemikalierna från slammet. Det skulle spara både kemikalier och transporter, och kanske också ge en möjlighet att återvinna fosfor. Det stora problemet är ännu den stora insats av syra som krävs för att lösa upp metallsalterna. Mycket arbete sker med kommunala slam, med huvudmotivet att återvinna fosfor (Stark m fl 2001), men mycket går också att applicera på skogsindustriella slam. En del metoder baseras på att man först förbränner slammet termiskt och sedan löser upp askan, medan andra går direkt på slammet (sur hydrolys eller våtkemisk oxidation).

En viss mängd kemslam i blandningar med fiberslam används som adsorbenter, men marknaden tycks bara svälja små mängder från några olika bruk.

## 5.8 Fiberslam

Fiberslam är ett odiskutabelt undantag i förbränningsdirektivet, och det har flera fördelar framför de andra slammen. Det är lättare att avvattna och i sig väldigt väldefinierat. Normalt tar man ut det tillsammans med andra slam, både på grund av processutformningen och för att man vill ha med fiberslam vid avvattning av bio- och kemslam.

En del bruk ser t.o.m. en brist på fiberslam, det räcker inte för att avvattna andra slam. Inte minst här blir effektiva och energisnåla torkmetoder viktiga.

## 5.9 Avsvärtningslam

Det här är ett betydligt svårare slam. Det är svårt att med säkerhet säga vad det innehåller, vad som följt med returpapperet. Det kan enligt Naturvårdsverkets syn idag troligen inte undantas från avfallsförbränningsdirektivet. Redan idag förbränns det mesta. Som för bioslammet är det en bra lösning, som dock förutsätter en bra panna och att man avvattnat slammet effektivt. Inblandning av avsvärtningslam i bränslet till en biobrännspanna skulle göra att den klassas som panna för samförbränning, om inte avsvärtningslammet undantas från avfallsförbränningsdirektivet. Det innebär utsläppskrav i proportion till inblandningen, och ett mer omfattande kontrollprogram.

En intressant variant på vanlig förbränning är aktuell i Hylte. Man planerar att behandla avsvärtningslammet med superkritisk vattenoxidation (SCWO). Ett skäl till det är det höga innehållet av oorganiskt fyllmedel i slammet. Vid dagens förbränning kommer fyllmedlet att ändra kristallstruktur och bara bidra till en stor mängd aska för deponering. Vid SCWO oxideras allt organiskt material i reaktor vid temperaturer över 374°C och 221 bar. Fyllmedlet förändras inte, och kan återanvändas. Energimässigt är de två processerna ungefär likvärdiga. SWCO ger mindre avfall och mindre transporter (nytt fyllmedel).

Enligt en aktuell rapport från Kanada skulle bara kopparhalten i avsvärtnings slam ligga så högt att det skulle begränsa användningen av komposterat slam (Beauchamp m fl 2002). Mängden av både fett- och hartssyror och PAH uppgavs minska till nära detektionsgränsen under 24 veckors kompostering.

## 5.10 Smetrester

Återanvändning av smetrester är mycket bruksspecifikt. Med få receptbyten och låg halt organiskt material är det relativt lätt och lönsamt att koncentrera upp smeten och använda den direkt i processen. Det kan t ex göras med membranfiltrering. Med täta smetbyten och hög halt organiskt material blir det svårare. Avskiljd smet måste förvaras länge utan att den angrips mikrobiellt. Det medför att man oftast väljer deponering idag.

Smetrester med hög halt organiskt material kommer inte att få deponeras i framtiden. Olika alternativ kan då vara konventionell förbränning eller behandling i biologisk avloppsrening vid låg askhalt och kanske superkritisk vattenoxidation vid låg andel organiskt material. I det senare fallet skulle man, om man klarar materialtransporten i reaktorn, få tillbaks den oorganiska delen nästan opåverkad och därmed möjlig att blanda nytt recept av.

Användning av vissa smetrester som tätmaterial i deponier har föreslagits, men hittills inte accepterats av myndigheterna.

## 5.11 Andra avfall

Renseri- och vedgårdsavfall är ganska likartade, främst en blandning av bark, sand och grus med olika vatteninnehåll. Mängden rapporterades år 2000 till 460 000 ton, men här räknar en del in all bränslebark, medan andra bara tar upp de svåra blandningarna. Här har man alltså en blandning av sand och grus som klassas som inert material, och bark och träflis som kommer att förhindra deponering. Även om blandningen är brännbar innehåller den ofta för mycket grus för att man ska vilja elda den.

De rimliga alternativen tycks vara kompostering för att stabilisera barken och sedan anläggningsjord, eller sortering och förbränning respektive vägbyggen eller möjligen deponering som inert. Valen beror på organisk halt och avstånd till avnämare. Energimyndigheten har finansierat en undersökning som bland annat tar upp de här frågorna (Jirjis och Engberg 2001).

## 6. Askåterföring till skogsmark

Detta avsnitt är skrivet av Olle Westling, IVL. Här ges bara en sammanfattning, medan den fylligare sammanställningen och alla referenser som hör till avsnittet återfinns i bilaga 1.

### 6.1 Sammanfattande bedömning

Det ökade uttaget av skogsbränslen, samt användning av industriella spillprodukter med ursprung i skogen, är en viktig del av ett långsiktigt hållbart energisystem i Sverige. Askan som bildas vid förbränning utgör en näringsresurs som kan motverka oönskade förändringar av skogsmarken. Storskalig återföring av trädaskor kan även bidra till att undvika dyrbar deponering av näringsrika avfall. Denna sammanfattande bedömning diskuterar möjligheter och hinder för askåterföring till skogen med utgångspunkt från miljöeffekter, som beskrivs närmare i efterföljande avsnitt.

En stor del av kunskapen som ligger till grund för bedömningarna finns samlad i en MKB av skogsbränsleuttag och kompensationsgödsling. (Egnell m. fl. 1998). Under de senaste åren har ytterligare forskning och utveckling främst bedrivits helt eller delvis inom ramen för Energimyndighetens program för ”Uthållig produktion av biobränslen från skogen” och Skogsstyrelsens försöksverksamhet med åtgärder mot försurning av skogsmark. Arbetet omfattar såväl miljöeffektstudier, som olika metoder för att karakterisera och behandla trädaskor för att uppnå vissa egenskaper. Forskningen och utveckling av metoder för att kartlägga det regionala behovet av kompensationsgödsling av olika ståndorter efter uttag av avverkningsrester (GROT) sker främst inom MISTRA-programmen ASTA (International and National Abatement Strategies for Transboundary Air Pollution) och SUFOR (Sustainable Forestry in Southern Sweden).

Den MKB som utförts ligger i stor utsträckning till grund för Skogsstyrelsens nuvarande regelverk och rådgivning (Skogsstyrelsen 2001) avseende skogsbränslen och kompensationsgödsling. Skogsstyrelsen anser i sina riktlinjer att vid uttag av skogsbränsle (GROT) bör kompensationsgödsling ske och merparten barr kvarlämnas någorlunda jämnt spridda. Ett uttag per omloppstid kan dock ske utan kompensationsgödsling, förutsatt att merparten barr kvarlämnas någorlunda jämnt spridda.

#### 6.1.1 Skogsstyrelsens rekommendationer

Kompensationsgödsling är generellt tillåtet på alla marker där uttag av GROT kan ske, men bör enligt Skogsstyrelsen framför allt utföras:

- Vid uttag från starkt försurad skogsmark.

- Vid uttag från torvmarker.
- Vid uttag av merparten barr i samband med föryngringsavverkning.
- Vid flera uttag per omloppstid.

Det bör noteras att de nuvarande riktlinjerna i första hand avser arealer med uttag av GROT på fastmark, men askåterföring som kompensationsgödsling kan enligt Skogsstyrelsen även ske efter all avverkning på torvmark och på skogsmark med enbart stamvedsuttag.

### **6.1.2 Stimulans eller hinder för operativ verksamhet**

Omfattningen av askåterföring till skogsmark i operativ skala som Skogsstyrelsen rekommenderar är idag blygsam. Askspridning sker inom Skogsstyrelsens försöksverksamhet samt av ett fåtal entreprenörer i mindre skala. Det finns flera tekniska och ekonomiska frågeställningar runt en operativ verksamhet som ännu inte är belysta tillräckligt för att en storskalig verksamhet skall komma igång. Det finns inget formellt hinder för en storskalig verksamhet att utvecklas. En svårighet är att få entreprenörer att investera i utrustning och bygga upp en organisation för askspridning i skogen, eftersom omfattning och spelregler är delvis oklara. Det finns logistikproblem i kedjan skogsbränsle från skog till askproducent och aska tillbaka till skogen. Skogsbränslet kommer från en rad skogsbestånd och skogsägare och återföring av askan kan komma att ske i andra områden där nyttan är som störst. Denna bedömning diskuterar i vilken utsträckning miljöaspekter på spridning av trädaska på skogsmark kan vara stimulans eller hinder för att en operativ verksamhet skall växa fram.

### **6.1.3 Askåterföring i ett uthålligt skogsbruk**

Askåterföring i skogen konkurrerar med andra sätt att hantera askan som deponering eller fyllnadsmaterial vid exempelvis vägbyggnation. Valet av sätt att hantera askan långsiktigt är dock mer komplicerat än att hitta det för dagen mest ekonomiska alternativet. Ren trädaska utgör en näringsresurs som kan motverka oönskade miljöeffekter i skogsmarken på lång sikt och bidra till ett uthålligt skogsbruk enligt nuvarande uppfattning. Om återföring av aska inte sker kan det leda till krav på restriktioner av uttag på de mest känsliga markerna (där Skogsstyrelsen idag starkt rekommenderar askåterföring). De känsligaste markerna är ofta bördiga granskogslokaler i södra och mellersta Sverige där efterfrågan på skogsbränslen är stor, och ytterligare restriktioner kan därför få en påtaglig effekt på den regionala potentialen för uttag av avverkningsrester (GROT).

#### **6.1.4 Teknik för behandling av askan före spridning**

Trädaska är i princip inte svår att stabilisera och forma till granuler eller andra agglomerat, eftersom askan har cementliknande egenskaper. Normalt behövs inget bindemedel efter vattentillförsel för att granulera eller pelletera. Viktigt är att metoden för stabilisering ger ett förutsägbart resultat med varierande askkvaliteter utan att processen är för dyr. Vattentillförsel, härdning och krossning, följt av siktning, är sannolikt den billigaste metoden, men resultatet är ibland svårt att styra. Askans egenskaper, främst andelen oförbränt, påverkar härdningsprocessen.

Granulering och pelletering är i regel dyrare metoder men samtidigt mer kontrollerbara. Valspelletering av skogsindustriaskor har prövats i industriell skala i en mobil anläggning med relativt bra resultat. Metoden är sannolikt billigast, även i stor skala, bland nu kända tekniker för granulering och pelletering.

Det finns ett behov av fortsatt utveckling av kostnadseffektiv teknik för behandling av aska. Problemet att hitta bra teknik är knappast oöverkomligt och det är därför inget reellt hinder för en storskalig verksamhet med askåterföring till skogsmark.

#### **6.1.5 Kvarlämnade barr minskar behovet av kompensation**

Barr som till större delen lämnas kvar jämt spridda på hygget efter uttag av GROT anses vara ett sätt att kraftigt minska behovet av kompensationsgödsling (även kväve) på många ståndorter. Nuvarande tekniker för avbarrning är inte tillräckligt effektiva enligt tillgängliga studier. Dessa studier är dock få och det är i praktiken svårt att avgöra om merparten barr tagits ut med hänsyn tagen till avbarrning och de avverkningsrester som alltid blir kvar efter uttag av GROT. Om dagens teknik regelmässigt inte klarar av att spara huvuddelen av barren spridda på hygget får det till konsekvens att Skogsstyrelsens råd att alltid kompensationsgödsla vid uttag av merparten av barren i dagsläget bör utföras på i stort sett hela arealen där uttag av GROT sker, om rekommendationen ska följas. Önskemålen om en effektiv avskiljning av barr och finkvistar har initierat försök med nya tekniker för avskiljning vid uttag av GROT.

#### **6.1.6 Askåterföringens möjligheter och risker**

Tillgänglig kunskap har visat att askgödsling med stabiliserade produkter vid rätt tillfälle, och med den hänsyn som bör tas vid all gödsling (jämför kvävegödsling), medför små effekter. Det är önskvärt eftersom nyttan av åtgärden är långsiktig och begränsade effekter möjliggör, åtminstone teoretisk, en lång varaktighet. Snabba och kraftiga effekter klingar i regel av relativt snabbt och kan dessutom orsaka skador på mark och

vegetation. Den typen av effekter kan uppnås med löslig aska som det inte finns något känt behov av att utnyttja för behandling av skogsmark. Kompensation med stabiliserad aska motverkar långsiktiga förändringar av markkemi till följd av GROT-uttag, men kan ej kompensera för mer akuta effekter på flora och fauna som orsakas av att avverkningsresterna avlägsnas.

Riskerna med askgödsling måste generellt betraktas som relativt små. På mycket kväverika marker i södra Sverige finns en risk för ökad nitratutlakning efter näringskompensation med trädaska. Om askgödsling kan öka avgången av växthusgaser kan inte bedömas säkert. Askan kan öka nedbrytningen av organiskt material i skogsmarken, men effekten är sannolikt begränsad. Trädbränsleaskors innehåll av miljögifter innebär vissa risker vid en tillförsel till skogen, men de negativa effekterna torde vara marginella om principerna i Skogsstyrelsens riktlinjer följs. Det gäller även vid inblandning av andra avfall och spillprodukter än aska så länge innehållet av näringsämnen och miljögifter följer riktlinjerna. Askgödsling medför en ytterligare risk för markskador eftersom körningarna i skogen ökar.

### **6.1.7 Tillväxtförluster efter askgödsling**

Både uttag av GROT och gödsling med trädaska kan få vissa (mindre) effekter på trädens tillväxt. Genom en näringskompensation med trädaska på bättre mark (C/N-kvot <30) kan tillväxtförlusten efter uttag av GROT motverkas. På svagare mark (C/N-kvot >30) ger asktillförsel sannolikt en viss temporär tillväxtminskning och näringskompensationen behöver innehålla kväve om tillväxtbortfallet skall kompenseras.

### **6.1.8 Metoder för kontroll av aska**

Genomgående för alla bedömningar av möjligheter och risker med askåterföring är att metoden är miljömässigt acceptabel under förutsättning att askan är stabiliserad på rätt sätt och att halterna av näringsämnen, miljögifter och radioaktiva ämnen följer riktlinjerna. Det ställer krav på att en aska som ska spridas i skogen på ett relativt enkelt sätt kan karakteriseras så att egenskaperna är de som förväntas. Vid utveckling av metoder för behandling av askan kan mer sofistikerade, och kostsamma, metoder användas för att kontrollera resultatet av olika tekniker. Men det behövs även enklare metoder för rutinkontroll i en operativ verksamhet. Detta finns inte idag och det är i viss mån ett hinder för en ökad verksamhet med askåterföring. Totalhalterna av miljögifter (tungmetaller) kan bestämmas med relativt standardiserade metoder, men kostnaden per prov är relativt hög. Askans stabiliseringsgrad och lakningsegenskaper kan inte fastställas med någon enkel och väl beprövad metod. Det finns dock ett underlag i form av olika

försök med lakningsmetoder som sannolikt kan användas för att föreslå en åtminstone preliminär metod.

### **6.1.9 Spridning på hyggen**

Askåterföring kan ske under större delen av omloppstiden, men behandling relativt nära efter slutavverkning har flera praktiska och ekonomiska fördelar. Den risk som finns är främst kopplad till att den normalt redan förhöjda utlakningen av oorganiskt kväve från hygget kan stimuleras ytterligare av askans pH-höjande effekt, som i sin tur kan öka nitrifikationen. Flera studier har visat att stabiliserad aska på hyggen/planteringar där markvegetationen är etablerad (normalt upp till fem år efter avverkning) inte orsakar ökad utlakning. Nackdelen att sprida på en plantering är en viss avgång av plantor samt att maskiner måste transporteras till platsen ytterligare en gång. Spridning på färskt hygge (efter det att GROT-högarna transporterats bort) kan minimera maskininsatsen och undvika plantskador, men askan måste då vara speciellt långsamlöslig och vals-pelleterade askor kan vara en lämplig produkt enligt utförda försök.

### **6.1.10 Är det bråttom med askåterföring?**

Askåterföring är en långsiktig åtgärd som kan ske under en stor del av omloppstiden. Den aspekten gör att det fortfarande finns tid att sprida aska på arealer med uttag av GROT de senaste decennierna. Det finns dock en risk att en framtida operativ verksamhet med askåterföring bara klarar av att hålla jämna steg med årliga avverkningar och GROT-uttag. Tillgången på lämplig aska samt maskiner och annan utrustning kommer sannolikt att begränsa möjligheterna till att även behandla mark som avverkats för många år sedan. Dessutom finns det ett administrativt problem att hålla reda på vilka arealer som haft uttag av GROT, även om det är anmälningspliktigt sedan 1998. Ask-spridningen på äldre avverkningar måste dessutom ske i slutna skog från stickvägar som tagits upp i samband med gallring. Under de senaste åren (1999-2001) har ca 30 000 ha per år anmälts för uttag av GROT i samband med föryngringsavverkning. Mer än hälften av den arealen finns i Götaland där problemet med markförsurning är som störst i landet. Om den arealen dessutom ökar i framtiden i hela landet kan arealen skogsmark med tidigare uttag av GROT, men utan kompensationsgödslin, med tiden bli relativt stor om en operativ verksamhet med askåterföring dröjer en längre tid.



## 7. Behov av utveckling eller klargörande

### 7.1 Aska

Eftersom en stor potentiell användning av aska är i skogsbilvägar vore det intressant att följa upp de tidigare sådana vägar som anlagts. Det skulle innefatta mätning av utlakning och studier av eventuella miljöeffekter i närområdet, liksom vägarnas bärighet på längre sikt. Den här användningen är bara ekonomiskt och miljömässigt intressant om avståndet från bruket till vägen är litet, men med tanke på det stora behovet av ballastmaterial vid vägbyggen kan man säkert oftast hitta vägar i närheten.

Återföring av aska till skogsmark är snarast beroende av politiska beslut, eftersom det egentliga behovet är begränsat till marker med GROT-uttag och sura marker. Det utesluter många bruk på grund av transportavstånden. Kanske är det snarare rena biobrännspannor som bör återföra sin aska.

En fråga kring askorna som kan bli viktig är halten oförbränt material, beroende på hur man kommer att definiera organiskt material. Det kan innebära deponeringsförbud för vissa askor.

### 7.2 Grönlutsslam och mesa

De enda alternativ till deponering av grönlutsslam som nämns är användning som tätningmaterial i deponierna eller viss inblandning i aska för återföring till skogsmark. Så länge det ändå hamnar på deponierna borde man kunna lägga det så att man samtidigt får möjlighet att utvärdera tätheten och stabiliteten i stor skala.

Överskottsmesa borde med fördel kunna spridas på jordbruksmark, den är ungefär lika ren som köpt kalk och innehåller mer fosfor och magnesium som borde vara positivt.

### 7.3 Organiska slam

Av gemensamt intresse för alla de organiska slammen är effektiv avvattning och torkning, åtminstone före förbränning. "Naturlig" sol- och vindtorkning är intressant om man har tillgång till de nödvändiga ytorna. Viktigt för förbränningen är om slammen undantas från avfallsförbränningsdirektivet, då avfallsförbränning kan kräva andra pannor än de man har idag.

För slam som ska komposteras eller användas som täckmaterial räcker en bra avvattning. För material som ska komposteras eller på annat sätt ingå i jordprodukter är det viktigaste att man kan garantera en jämn kvalitet, gärna med någon typ av certifiering.

Superkritisk oxidation kan vara intressant för avsvärtnings slam med relativt mycket fyllmedel, dvs slam som är problematiska att bränna i vanlig biobränslepanna och som kan ge värdefullt fyllmedel som produkt i stället för en stor mängd aska. För de flesta organiska slam är emellertid avvattning, torkning och konventionell förbränning säkert ett bättre alternativ.

## 7.4 Renseri- och vedgårdsavfall

Det finns så stora mängder av den här blandningen av utmärkt bränsle, inert material och vatten att man kanske bör studera närmre hur man bör behandla det. Exempel på frågor kan vara:

Vilka sammansättningar lämpar sig för deponering, jordtillverkning, förbränning respektive sortering?

Vilken teknik är bäst för avvattning?

Hur bör sorteringen utformas för att ge tillräckligt rena fraktioner till en rimlig kostnad?

Ska sorteringen göras i vått eller torrt tillstånd?

## 8. Referenser

AIS 32 ”System för ökad användning av alternativa material i mark- och anläggningsbyggande” Vinnovaprojekt, se [www.ais32.ncc.se](http://www.ais32.ncc.se) (2002).

Beauchamp, C., Charest, M-H. and Gosselin, A.: ”Examination of environmental quality of raw and composting de-inking paper sludge”, *Chemosphere* **46:6** (2002) 887-895.

Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O. och Örlander, G.: ”Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation”, Skogsstyrelsen Jönköping rapport 1 (1998) 170 s.

Ek, Mats och Bergström, Rune: ”Separation av tungmetaller ur elfilterstoft från soda-panna – laboratorieförsök” KAM-rapport nr A 24 (1999) 19 s.

Ek, Mats och Sundqvist, Jan-Olov: ”Skogsindustriellt avfall, idéer angående utnyttjande och omhändertagande”, rapport nr 17 inom Miljö 95/96 och IVL rapport B 1293 (1998) 34 s.

Ek, Mats, Palvall, Björn, Röttorp, Jonas och Sundqvist, Jan-Olov: ”Avfall från skogsindustrin – mängder, sammansättning och omhändertagande”, rapport nr 4 inom Miljö 95/96 och IVL rapport B 1233 (1996) 51 s.

Eklund, Anders och Eriksson, Lars: "Processlösning för vakuumtorkning av skogsindustriellt bioslam", Värmeforsk Skogsindustriella Forskningsgruppen rapport S1-117 (2001) 26 s.

Jirjis, Raida och Engberg, Jessica: "Lagringseffekter på förädlade industriella biprodukter – bark och fiberslam Slutrapport", Energimyndigheten, Avfall/Biogas rapport nr AVF 01/3 (2001) 64 s.

Larsson, Kjell-Arne: "Vilken rest återstår när massafabriken kretsloppsanpassas?" Nordisk Papper & Massa nr 4 (2002) 32-39.

Naturvårdsverket: Skogsindustrins utsläpp – avfallsmängder och energiförbrukning 2000 (2001) 111 s.

Ribbing, Claes, Svenska Energiaskor AB, tel 08-441 70 97, se vidare [www.askprogrammet.com](http://www.askprogrammet.com) (2002).

RVF Utveckling: "Användning av avloppsslam för tätning av deponier - Förstudie", Rapport 01:17 (2001) 24 s.

Skogsstyrelsen: "Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling", Skogsstyrelsen Meddelande 2 (2001) 16 s.

Stark, Kristina, Hultman, Bengt, Mossakowska, Agnes och Levlin, Erik: "Kemikaliebehov vid fosforutvinning ur avloppsslam", Vatten 57:3 (2001) 207-215.

Statistik: "Utsläpp till vatten och slamproduktion 2000 – Kommunala reningsverk samt viss kustindustri", Statistiska meddelanden MI 22 SM 0101 (2002) 36 s.

Sundqvist, Jan-Olov, IVL, tel 08-598 563 74 (2002).

## Bilaga 1

### Trädaska till skogen - en bedömning av kunskapsläget

Olle Westling

Denna bilaga utgör en beskrivning av kunskapsläget och en sammanfattande bedömning av möjligheter och hinder för askåterföring till skogen med utgångspunkt från miljöeffekter. Bedömningarna i rapporten är författarens syn på kunskapsläget.

#### Innehåll

Syfte med återföring av trädaska till skogsmark.....	35
Trädaska som gödselmedel .....	38
Metoder för att karaktärisera askans egenskaper .....	42
Miljöeffekter av askåterföring .....	46
Önskade effekter och risken för negativ påverkan .....	46
Forskningen i Sverige om askans miljöeffekter .....	47
Sammanfattning av kunskapsläget om miljöeffekter .....	48
Referenser .....	53

## Syfte med återföring av trädaska till skogsmark

### Bedömning

Det finns en relativt bred enighet inom såväl forskarsamhället som ansvariga myndigheter att uttag av avverkningsrester (GROT) innebär en ökning av skogsbrukets intensitet som kan leda till långsiktiga effekter på framför allt markens syra/bas-status, men även ett minskat utbud av kväve på kort och lång sikt. Utgångspunkten för den långsiktiga bedömningen är främst teoretisk och baseras på modellberäkningar av näringsbalanser under en hel omloppstid med och utan uttag av GROT. En ökad markförsurning på grund av uttag av GROT kan motverka prioriterade miljömål att bryta försurningstrenden i mark och vatten. Resultaten från långliggande försök med uttag av avverkningsrester är relativt få och effekterna är inte entydiga. Det pågår dock forskning som studerar detta närmare.

Det finns även en betydande enighet kring att huvuddelen av de möjliga negativa effekterna på markens näringsbalans efter uttag av GROT går att motverka med kompensationsgödsling. Trädaska är ett lämpligt gödselmedel, men i vissa fall kan en komplettering med kväve och andra näringsämnen vara nödvändig.

Huvudprincipen för konventionellt skogsbruk, som i Sverige innebär skörd av främst stamved, är att utnyttja skogsmarkens "naturliga produktionsförmåga". Begreppet naturlig produktionsförmåga är svårt att exakt definiera, men det extensiva brukandet av skogen har skett utan att kompensera för biomassauttagets effekt i form av näringsförluster från ståndorten. Intensiv markanvändning, som huvuddelen av jordbruket, förutsätter att markerna gödslas regelbundet med en rad näringsämnen för att upprätthålla produktionen på en ekonomiskt acceptabel nivå.

Kväve, som långsiktigt tillförs endast från atmosfäriskt nedfall (och i de flesta skogstyper även marginellt från kvävefixering), är normalt begränsande för skogens tillväxt på fastmark. Andra näringsämnen som baskatjoner (kalcium, magnesium och kalium), fosfor och olika spårämnen finns då i överskott, och förluster vid skörd kompenseras av naturliga processer som vittring och atmosfäriskt nedfall. Tillförsel av näringsämnen till fastmark i stor skala har i Sverige endast skett med det tillväxtbegränsande ämnet kväve, med syfte att öka produktionen av stamved.

På senare år har den långsiktiga hållbarheten av svenskt skogsbruk, med avseende på hushållningen av näringsämnen, ifrågasatts (Olsson, 1996; Egnell m. fl., 1998). Flera faktorer har bidragit till att förlusterna av näringsämnen från skogsmarken har ökat under 1900-talet:

- Volymproduktionen per ytenhet har ökat på grund av förbättrad skogsskötsel och i vissa områden stort nedfall av kväve från luften.
- Nedfallet av försurande luftföroreningar har orsakat en onormalt stor utlakning av näringsämnen från skogsmarken i en stor del av landet.
- Även om hela den årliga volymtillväxten inte avverkas i Sverige så har skogsbruket blivit mer intensivt i många områden, främst i samband med uttag av skogsbränslen där relativt näringsrika avverkningsrester skördas.

I områden i Sverige där främst de två första punkterna ovan kombineras har skogsmarken förändrats kraftigt under 1900-talet. Markerna har försurats och basmättnadsgraden har minskat påtagligt (Eriksson m. fl., 1992). I många fall har mineraljordens övre skikt förlorat hälften av det utbytbara förrådet av baskatjoner. Denna utveckling är dock inte dokumenterad i stora delar av Norrland.

De samlade näringsförlusterna vid avverkning måste kompenseras med markens vittring och tillskott via nedfall för att balans skall upprätthållas. Beräkningar baserade på vitt-ring och borttransport vid avverkning visar att nettoförluster kan uppträda på all skogsmark, oavsett näringsstatus och trädslag, i samband med helträdsutnyttjande (Olsson, 1996). Störst risk för nettoförluster av framför allt baskatjoner och fosfor finns efter avverkningar i bördiga granbestånd i södra Sverige. Dessa bestånd är ofta av stort intresse för biobränsleuttag (uttag av grenar och toppar i samband med avverkning) utöver skörd av stamved.

Utöver mer generella bedömningar att askåterföring är speciellt angelägen i försurade områden och i bördiga skogar finns ingen detaljerad analys av behovet av kompensationsgödsling uppdelat på geografiska områden eller ståndorter i Sverige. Skälet till det är att underlaget för en sådan bedömning saknas. Bland annat saknas verktyg och beräkningsverktyg som med precision och på ett dynamiskt sätt kan beskriva det långsiktiga behovet av kompensationsgödsling med tanke på både trädens långsiktiga näringsförsörjning, samt markens egenskaper och påverkan på avrinnande vatten. Forskning pågår dock med syfte att utveckla verktyg för att kartlägga behovet på såväl beståndsnivå som regionalt.

Gödsling med trädaska efter skogsbränsleuttag på kan motiveras av flera skäl:

- Som kompensation av förluster av baskatjoner, fosfor och spårämnen efter avverkning för att bibehålla markens nuvarande näringsstatus. Askåterföringen motsvarar i regel vad som bortfördes i form av grenar och toppar (som kan eldas och ge upphov till trädaska). Om barren lämnas kvar spridda på hygget minskar kompensationsbehovet. Askstillförseln kan komma att kombineras med kvävegödsling i norra Sverige. Stamvedsuttaget kan kompenseras genom nedfall från luften och markens vittring.
- Som en åtgärd för att förbättra marktillståndet i områden med hög belastning av försurande luftföroreningar (svavel och kväve), genom att öka basmättnadsgraden och på så sätt påskynda återhämtningsförloppet. Uttag av grenar och toppar utöver stamved kompenseras med trädaska med eller utan inblandning av kalk eller andra syraneutraliserande produkter. Gödslingen motsvarar mer än uttaget av grenar och toppar för att ge ett utrymme för återhämtning. I en storskalig verksamhet förutsätter detta att det i försurade områden finns tillgång till aska som kommer från andra regioner.
- En återföring av näringsämnen i form av aska till ”källan” är ett sätt att undvika att näringsrika avfall koncentreras i deponier.

Om uttag av GROT görs på torvmarker är lämnande av barr och asktillförsel eller annan näringskompensation ännu viktigare än på fastmark. Relativt lite forskning finns redovisad vad gäller miljöeffekter, men det är väl känt från Sverige och Finland att asktillförsel till torvmark har en tillväxtstimulerande effekt (Egnell m. fl., 1998).

Det är ett prioriterat miljömål att bryta försurningstrenden i skogsmarken (Anon., 2000). Både en MKB om skogsbränsleuttag (Egnell m. fl., 1998), och Skogsstyrelsen (Anon., 2001), har rekommenderat att skogsbränsleuttag skall kombineras med näringskompensation, företrädesvis med biobränsleaska. MKBn rekommenderade att kompensation skulle vara obligatorisk. Skogsstyrelsen anger i sina rekommendationer att den generellt är önskvärd, men att den alltid bör ske under specificerade förutsättningar, till exempel att flera uttag görs under en skogsgeneration, eller att barren tas ut eller lämnas koncentrerade. Med dagens teknik för uttag av GROT är det dock svårt att lämna huvuddelen av barren på hygget (Filipsson, 2001). För att så ska kunna ske måste sannolikt teknik för avskiljning av finkvistar och barr utvecklas.

## Trädaska som gödselmedel

### Bedömning

Bränslen och avfall med ursprung i skogen spelar en allt viktigare roll för energiproduktionen i samhället. Aska som bildas vid förbränningen kan i regel användas för kompensationsgödsling om kraven på näringsinnehåll och halter av miljögifter kan uppfyllas. Detta ställer krav på hanteringen av trädbränslen och möjligheterna till sameldning med andra bränslen eller avfall. Trädaskans kemiska egenskaper är relativt väl kända, även om en grundläggande kunskap om askans kemi saknas. Det gör att askans uppträdande under olika förhållanden bygger på empiriska observationer vid olika försök och inte mekanistiska förklaringar av askans mineralogiska förändringar vid till exempel behandlingar som syftar till att stabilisera askan.

Doserna av trädaska som gödselmedel varierar med ståndorten och uttagets storlek. En huvudprincip är att de ämnen som förts bort med avverkningsresterna återförs i samma mängd i form av aska (utom kväve). Detta gäller även tungmetaller och andra oönskade ämnen att målet är att inte öka upplagringen i skogsmarken. Doser utöver uttagets storlek är främst motiverat i försurade områden där syftet är att förbättra markens basmättnad. Dosen av trädaska bör dock inte överskrida 3 ton per ha.

Trädaskans egenskaper kan påverkas starkt genom olika härdningsförlopp samt granulerings- och pelleteringsmetoder. Även inblandning av andra avfall eller produkter än trädaska påverkar egenskaperna. Färsk obehandlad trädaska är i regel mycket reaktiv och bör inte användas för spridning i skogen.

Den ökande produktionen av energi från skogsbränslen, och industriella spillprodukter med ursprung från skogen, innebär att en allt större mängd trädaska kommer att produceras vid värmeverken och skogsindustrierna i Sverige. Denna aska utgör en resurs med tanke på dess innehåll av näringsämnen och pH-höjande förmåga. I mitten av 1990-talet producerades ca 80 000-90 000 ton TS aska per år i Sverige från trädbränslen (Jönsson & Nilsson, 1996). En tredjedel av denna mängd har producerats vid förbränning av endast trädbränslen och två tredjedelar vid sameldning med kol, torv, olja eller avfall. Av 80 000-90 000 ton anses ungefär två tredjedelar vara möjliga att använda i skogen med hänsyn till dess tungmetallinnehåll. Denna mängd utgörs dels av den aska som bildats vid förbränning av endast trädbränsle, dels halva den mängd som sameldats med andra energiråvaror. Olika försök har gjorts att blanda aska med andra näringsrika avfall



som grönlutsslam från skogsindustrier eller slam från kommunala reningsverk. Det kan teoretiskt öka tillgången på gödselmedel, men egenskaperna kan bli delvis annorlunda om inblandningen av olika avfall utöver trädaskor är hög.

Den mängd aska som behöver återföras per ha och skogsgeneration vid kompensation för näringsuttaget med GROT beror på mängden biomassa som förs bort, andelen barr i denna, graden av kompensation, sättet att beräkna den (om kompensationen avser kalkverkan eller något enskilt näringsämne) och slutligen askans näringsinnehåll. Hur mycket biomassa som tas bort beror på ståndortens bördighet och om uttaget sker både i gallring och slutavverkning eller endast i slutavverkning. Tillförsel av aska bör ske tidigast fem år efter utförd slutavverkning och senast fem år före planerad slutavverkning (Anon., 2001). Vid gödsling kort tid efter slutavverkning bör speciellt långsamlösliga askor användas.

Skogsstyrelsen har utfärdat riktlinjer för mängden aska för kompensationsgödsling som sammanfattas i tabell 1. Sammanställningen omfattar även kompensation efter uttag av enbart stamved. Det bör dock noteras att kompensation för konventionell avverkning av stamved är tillåtet, men det betraktas sällan som viktigt att utföra. Kompensationsgödsling rekommenderas i första hand när uttaget av näringsämnen ökar utöver konventionell skörd av stamved i samband med uttag av GROT.

Tabell 1. Riktvärden vid näringskompensation, ton aska TS/ha och omloppstid (Anon., 2001).

Uttag i granbestånd		Ståndortsindex, kompenserande dos, ton aska TS/ha och omloppstid		
		G18	G26	G34
All stamved under omloppstiden		1,5	2,0	2,5
Slutav- verkning	GROT utan merparten barr*	0,7	0,8	0,9
	GROT med merparten barr**	1,1	1,3	1,4
Röjning- gallring	Försenad röjning***	0,4	0,5	0,6
	Samtliga gallringar: GROT utan merparten barr****	0,3	0,6	0,8
	Samtliga gallringar: GROT med merparten barr*****	0,6	1,0	1,3

\* Vid uttag av GROT utan merparten barr vid slutavverkning är askgivan baserad på att 75 % GROT samt 25 % av barren tas ut.

\*\* Vid uttag av GROT med merparten barr vid slutavverkning är askgivan baserad på att 75 % GROT samt 75 % av barren tas ut.

\*\*\* Vid kompensation för uttag av GROT och stamved vid försenad röjning förutsätts att 75 % GROT, 75 % av barren samt all stamved tas ut. Uttaget är uppskattat till mellan 25 m<sup>3</sup> sk och 50 m<sup>3</sup>sk per hektar. Medeldiametern är uppskattad till mellan 6 och 10 cm.

\*\*\*\* Vid uttag av GROT utan merparten barr vid samtliga gallringar som normalt utförs under en omloppstid förutsätts att 75 % GROT samt 25 % av barren tas ut.

\*\*\*\*\* Vid uttag av GROT med merparten barr vid samtliga gallringar som normalt utförs under en omloppstid förutsätts att 75 % GROT samt 75 % av barren tas ut.

Uttag i tallbestånd		Ståndortsindex, kompenserande dos, ton aska TS/ha och omloppstid	
		T18	T26
All stamved under omloppstiden		0,8	1,2
Slutav- verkning	GROT utan merparten barr*	0,2	0,3
	GROT med merparten barr**	0,3	0,4
Röjning- gallring	Försenad röjning***	0,2	0,3
	Samtliga gallringar: GROT utan merparten barr****	0,1	0,2
	Samtliga gallringar: GROT med merparten barr*****	0,2	0,3

För förklaringar se tabellen om granbestånd

Uttag i björk/övrigt löv		Markens bördighet, kompenserande dos, ton aska TS/ha och omloppstid	
		B18	B26
All stamved under omloppstiden		1,4	2,1
Slutav- verkning	GROT utan löv <sup>0</sup>	0,4	0,5
Röjning- gallring	Försenad röjning <sup>00</sup>	0,3	0,6
	Samtliga gallringar: GROT utan löv <sup>0</sup>	0,2	0,3

<sup>0</sup> Vid uttag av GROT utan löv vid slutavverkning eller vid samtliga gallringar som normalt utförs under en omloppstid är askgivan baserad på att 75 % GROT tas ut.

<sup>00</sup> Vid kompensation för uttag av GROT och stamved vid försenad röjning förutsätts att 75 % GROT samt all stamved tas ut. Uttaget är uppskattat till mellan 25 m<sup>3</sup>sk och 50 m<sup>3</sup>sk per hektar. Medeldiametern är uppskattad till mellan 6 och 10 cm.

Askhalten i GROT är i genomsnitt 1-2 % av TS. Trädaskors mineralogi och innehåll av olika grundämnen uppvisar en betydande variation (tabell 2 och 3). Askkan innehåller alla de näringsämnen som fanns i trädbränslet, förutom kväve, dock inte nödvändigtvis i exakt samma proportioner. Den hastighet med vilken ämnen i askkan blir biologiskt tillgängliga varierar mellan asktyper och beror också på vilket specifikt ämne som avses.

Tillgängligheten minskar med ökad stabiliseringsgrad och kornstorlek. De kvantitativt viktigaste näringsämnen är oftast tillgängliga i ordning  $P < Mg < Ca < K$ .

Tabell 2. Vanligt förekommande halter (% TS) av makro-näringsämnen i trädbränsleaska från förbränning; median respektive 25- och 75-percentil inom parentes

Näringsämne	Halt
Kalcium (Ca)	17 (11-26)
Magnesium (Mg)	1,9 (1,3-2,8)
Kalium (K)	4,2 (2,6-5,9)
Fosfor (P)	0,9 (0,1-1,3)
Svavel (S)	0,5 (0,1-1,5)

Källa: Jönsson & Nilsson (1996)

Trädbränsleaska innehåller också miljögifter, till exempel tungmetaller (tabell 3), radioaktiva ämnen och organiska miljögifter. Tungmetallerna verkar generellt ha en relativt låg tillgänglighet, men den varierar samtidigt mycket mellan olika metaller och undersökningar. Aska från de områden som påverkades av nedfallet från Tjernobyl kan ha ett stort innehåll av  $^{137}\text{Cs}$ . Polyaromatiska kolväten (PAH), som bildats vid förbränningen, kan förekomma i aska.

Tabell 3. Vanligt förekommande halter (ppm TS) av spårelement i trädbränsleaska från förbränning; median respektive 25- och 75-percentil inom parentes

Spårelement	Halt
Arsenik (As)	8 (4-21)
Bor (B)	270 (180-390)
Kadmium (Cd)	7 (1-14)
Krom (Cr)	50 (26-70)
Koppar (Cu)	135 (85-190)
Kvicksilver (Hg)	<1
Nickel (Ni)	30 (28-140)
Bly (Pb)	80 (25-175)
Zink (Zn)	1080 (390-2300)
Vanadin (V)	52 (47-64)

Källa: Jönsson & Nilsson (1996), exklusiv. Hg (Eriksson & Börjesson, 1991)

Lös aska som inte behandlats på något sätt efter förbränning är i regel löslig och olämplig för att använda för långsiktig kompensering av näringsförluster i skogsmark. Därför har ett omfattande utvecklingsarbete utförts för att på olika sätt stabilisera askan och minska upplösningshastigheten. Det gör att näringstillförseln till skogsmarken sprids ut under en längre tid, samt akuta effekter på vegetation och andra organismer

undviks. Även lagring, transport och spridning har ställt motsvarande krav; askan måste vara stabiliserad och agglomererad (Nilsson & Steenari, 1996). Agglomereringen innebär att askan härddas och krossas, granuleras eller kompakteras för att kunna hanteras och minska upplösningshastigheten. Härdningen sker med vattentillsats och resultatet är beroende av ett antal faktorer som andel oförbränd aska, vattenhalt vid härdning, slaggmängd och kemisk sammansättning av askan. Färsk aska domineras av oxider, har ett högt pH och är mycket reaktiv. Härdningen ger principiellt hydroxider och småningom karbonater, men resultatet kan variera mycket beroende på förutsättningarna.

En metod för stabilisering och agglomerering är *granulering*, där olika typer av granuler som korn eller stavar formas. Vid rullning i trumma eller på tallrik formas rundade korn som kallas pellets. Kompaktering är en annan teknik som kan ske endera genom så kallad extrudering, där askan pressas till stavar genom en hålmatrix eller genom att askan pressas ihop till strängar i en vals (Lövgren m. fl., 2000). Asksträngarna kan sedan skäras eller krossas till flingor och siktas.

En annan metod som är den vanligaste idag, och som fortfarande är under utveckling är krossaska. Den torra lösaskan befuktas med vatten vilket gör att askan kan självhärda. Efter härdning krossas askan och siktas till önskad kornstorlek. Denna metod är billig för den kräver inga speciella investeringar, men har för närvarande en del nackdelar. Metoden verkar svår att reproducera, många har misslyckats med att få askan att härda ihop till aggregat. Inblandningen av vatten och andelen oförbränt material verkar vara kritiska faktorer. Mängden oförbränt får inte vara för hög.

## Metoder för att karaktärisera askans egenskaper

### Bedömning

Trädaskors kemiska egenskaper kan delvis beskrivas med metoder som används för andra produkter. Det gäller främst totalhalter av olika ämnen samt askans textur. Askans stabiliseringsgrad är av avgörande betydelse för egenskaperna i skogen och det finns olika förslag till metoder för att beskriva hur lätt- eller svårlöslig en spridningsfärdig askprodukt är. Skogsstyrelsen anger i Allmänna Råd och kompletterande information att endast aska vars reaktivitet starkt reducerats är aktuell för spridning i skogen. Skogsstyrelsen använder uttrycket ”stabiliserad och långsamlöslig”, men det finns ingen vedertagen metod att fastställa om så är fallet. Svårigheten att standardisera en metod ligger främst i att laboratorieresultat måste kunna översättas till effekter i skogsmark. Studier pågår, men försöken kräver tidsserier över ett flertal år.

En grundläggande karakterisering av en askprodukt bör bestå av:

- Kemisk analys av totalhalter av näringsämnen och spårämnen (inklusive tungmetaller).
- Beskrivning av det långsiktiga utlakningsförloppet för närings- och syraneutraliserande ämnen, salter samt i vissa fall tungmetaller (askans stabiliseringsgrad).
- Analys av askans textur och vattenhalt (kornstorleksfördelning, volymvikt).

*Kemisk analys av totalhalter och extraherbara mängder* har syftet att visa vad som är potentiellt lakbart efter mycket lång tid (flera skogsgenerationer) av önskade och oönskade ämnen i askan. Som försiktighetsprincip bör hela mängden tungmetaller i askan betraktas som potentiellt lakbar vid fastställande av rikt- och gränsvärden. Risken för att en stor del av tungmetallinnehållet lakas ut under kort tid (mindre än ett år) får med dagens kunskap om askans kemiska egenskaper betraktas som relativt liten. Risken för akuta effekter av kraftiga haltökningar är sannolikt förknippat med jonbyteseffekter i marken där salter från askan tränger ut lättlösliga och redan befintliga tungmetalljoner (främst kadmium) från markpartiklarna.

Totalanalys har utförts på olika sätt, vanligast är högtemperaturbehandling med ett smältmedel (ofta litiummetaborat) och uppslutning i starksyra. Högtemperaturbehandling med smältmedel ger ofta något högre halter av vissa ämnen, jämfört med enbart starksyrauppslutning. Det är dock oklart om den del som starksyrauppslutningen inte kan frigöra någonsin kan vittra, när askan är utlagd i skogen. Sannolikt består den ytterst svårvittrade delen av askan ofta av sand och grus som följt med bränslet.

Analysen kan även omfatta olika extraktioner som ger en "lättlöslig" eller "växttillgänglig" fraktion av askans ämnesinnehåll (Nihlgård, 1997). "Lättlöslig" eller "växttillgänglig" fraktion har analyserats med hjälp av enbart destillerat vatten, kraftigt utspädd starksyra samt organisk syra (ättiksyra som skall efterlikna humusskiktets påverkan genom organiska syror). Syftet med analysen har oftast varit att försöka kvantifiera hur mycket av olika ämnen som kan lösa ut på kort sikt (ett till två år).

*Beskrivning av det långsiktiga utlakningsförloppet* för närings- och syraneutraliserande ämnen samt salter kan ske under lång tid med fältliknande förhållanden i jordkolonner eller med undertryckslysimetrar i fält. En laboratoriemetod som kan tillämpas på olika asktyper är upprepad lakning med destillerat vatten som kan vara pH-justerat till cirka nederbördens pH (Larsson & Westling, 1999). Att översätta resultat från lakningsstudier till långsiktiga förhållanden i fält är inte okomplicerat, men pågående försök där askan är karakteriserad med upprepad lakning kan på sikt öka kunskapen. Olika askor kan dessutom jämföras inbördes och med olika ask- och kalkprodukter där egenskaper i fält är relativt välkända.

*Analys av askans textur och vattenhalt* har utförts med olika siktningmetoder som kan indelas i torrsiktning och våtsiktning. Analysen ger viktig information för bedömningar av spridbarhet, eventuella dammningsproblem och arbetsmiljörisker. Dessutom ger analysen kompletterande information för att bedöma utlakningsegenskaperna.

Skogsstyrelsen har som komplement till föreskrifter och allmänna råd (Anon., 1998) angivit riktvärden för askkvalitet (Anon., 2001). Skogsstyrelsen anger att aska som ska spridas i skog, bör till huvuddelen härröra från förbränning av skogsbränslen, men viss inblandning av aska från andra bränslen är inget hinder. Askans kvalitet avgör om den är lämplig att sprida på skogsmark. De angivna riktlinjerna avser inte andra restprodukter än askor.

Aska som ska spridas i skogen skall behandlas så att:

- Akuta skador på mark och vegetation liksom mekaniska skador på träd undviks.
- Jämn spridning medges.
- Askans upplösning sker långsamt.

Askans hårdhet kan förbättras genom vattentillsats samt mekanisk bearbetning till lämplig partikelstorlek och hårdhet. Den kan behandlas genom rullning till granuler eller kompaktering till pellets. Självhårdning med efterföljande sönderdelning och siktning (så kallad krossaska) är också en möjlig teknik. Tillsats av växtnäringssämnen och bindemedel kan förekomma.

De värden som anges i tabell 4 avser primärt halter i den askprodukt som sprids i skogen, efter eventuell tillsats av växtnäringssämnen och bindemedel men utan vatten.

Tabell 4. Rekommenderade minimi- och maximihalter av ämnen i askprodukter avsedda för spridning till skogsmark. Värdet för summa polyaromatiska kolväten (=PAH) är preliminärt (Anon., 2001)

Substanser	Riktvärden	
	Lägsta	Högsta
<b>Makronäringsämnen, g/kg TS</b>		
Kalcium	125	
Magnesium	20	
Kalium	30	
Fosfor	10	
<b>Spårämnen, mg/kg TS</b>		
Bor		500
Koppar		400
Zink	1 000	7 000
Arsenik		30
Bly		300
Kadmium		30
Krom		100
Kvicksilver		3
Nickel		70
Vanadin		70
<b>Organiska miljögifter, mg/kg TS</b>		
Summa PAH		2

Om askprodukten innehåller mycket inert bäddmaterial eller bindemedel blir halterna i askan lägre och halterna kan då anges per viktsenhet verksam substans. Den valda askdosen bör då också baseras på verksam substans. Huvudprincipen är att alla ämnen skall uppfylla riktvärdena. Smärre avvikelser för enstaka ämnen kan dock accepteras. Om angivna minimihalter underskrids bör möjligheten att tillföra sådana näringsämnen till askprodukten övervägas.

Utöver ovanstående har Statens strålskyddsinstitut (SSI) i "Policy för biobränsle", dnr 822/504/99, utfärdat riktlinjer för högsta tillåtna cesiuminnehåll i aska, som ska återföras till skogsmark. Halten ska vara mindre än 5 kBq/kg aska.

## Miljöeffekter av askåterföring

### Bedömning

Det finns en omfattande kunskap om effekter av trädaska på fastmark i skog från upp till 15 år gamla försök. Huvuddelen av resultaten kommer dock från studier av marker utan uttag av GROT. Syftet med askåterföring på marker med GROT-uttag efter avverkning är att uppnå långsiktiga miljöfördelar med perspektivet en skogsgeneration. Det gör att det saknas information om de långsiktiga konsekvenserna, men med dagens kunskap är det inget som talar för att oväntade effekter kan uppstå efter lång tid.

Aska är ingen enhetlig produkt utan egenskaperna varierar beroende på bränslets ursprung, eldningssätt och i synnerhet efterbehandling av askan. Spridning av väl stabiliserad aska med låga halter av tungmetaller och andra miljögifter har små negativa miljöeffekter. Lös eller dåligt härdad aska kan ge akuta skador på vegetation och sannolikt även markorganismer.

Även de önskade effekterna är relativt små, men sannolikt jämförbara med att låta avverkningsrester ligga kvar, även om det är brist på långa mätserier från försök med askgödsling av marker med uttag av GROT. Till skillnad mot marker där avverkningsresterna lämnas kvar kan askgödsling på låga boniteter orsaka en mindre tillväxtned-sättning genom indirekta effekter på kväveutbudet. På höga boniteter kan askan öka kväveutbudet och tillväxten något.

När tillförsel sker under omloppstiden är inte avgörande för effekterna, med undantag för färskt hygge. Askgödsling på färskt hygge kan stimuleras nitrifikation och utlakning av kväve och andra näringsämnen, i synnerhet om askan är löslig. När hyggesvegetationen är etablerad, eller om askan är svårlöslig, sker i regel ingen påverkan på utlakningen av kväve. Askgödsling kan även stimulera etableringen av hyggesvegetation och på så sätt förkorta tiden med förhöjd utlakning av kväve.

### Önskade effekter och risken för negativ påverkan

Risken för skadliga effekter av asktillförsel är i hög grad förknippat med användning av lös ohärdad aska, eller blandaskor med inblandning från andra bränslen än rent skogsbränsle. Risker som är uppenbara är akuta effekter på vegetation, påverkan på markorganismer av initialt hög salthalt och pH-värden, snabb utlakning av askans närings-



ämnen, stimulering av nitrifikation och kväveutlakning, samt tillförsel av tillgängliga tungmetaller. Om syftet är att långsiktigt kompensera för bortförsel av näringsämnen från skogsmarken vid ett tillfälle under en skogsgeneration är det en fördel om utlösningen av närings- och syraneutraliserande ämnen sker under en längre tid, i synnerhet om återföringen sker på hyggen eller i ungskog. Askans självhärdning gör att olika ämnen löses ut i olika takt.

Exempel på lösliga ämnen, även efter härdning, är kalium, svavel och klorid. Exempel på svårlösliga ämnen är fosfor och vissa tungmetaller. Sannolikt är de optimala utlösningsegenskaperna hos en stabiliserad trädaska en kompromiss för att under en skogsgeneration få ut huvuddelen av näringsinnehållet, utan en för snabb tillförsel den första tiden efter spridning i skogen. Askans effekter på näringsförråd och omsättning i skogsmarken skall i första hand jämföras med alternativet att toppar och grenar inte tas ut ur skogen. Det kvarlämnade riset har normalt en ”komposteffekt” på underliggande mark och näringsämnen och tungmetaller frigörs med olika hastighet från avverkningsresterna (vilket även sker med askan).

Önskade effekter av askåterföring är främst:

- Bidra till en långsiktigt vital skog.
- Bidra till att avrinnande vatten har en acceptabel kvalitet för organismer nedströms.
- Lägre eller oförändrade halter av tungmetaller i organismer.
- Ingen utarmning av näringsförråden under en skogsgeneration.

Oönskade effekter är:

- Akuta chockeffekter på växter och andra organismer orsakade av snabba och kraftiga ökning av pH eller salthalt.
- Skadliga nivåer av tungmetaller eller andra miljögifter i fauna, flora och mark.
- Stimulering av nitrifikation och kväveutlakning (mer än vad kvarlämnade grenar och toppar normalt orsakar).

### **Forskningen i Sverige om askans miljöeffekter**

Sverige har en ledande ställning med avseende på forskning kring effekter av träaskor som används som gödselmedel på fastmark i skog. Flera institutioner har varit verksamma i mer än tio inom området. Huvuddelen av forskningens resultat finns sammanställt i en MKB om skogsbränsleuttag och kompensationsgödsling (Egnell m. fl., 1998). Vissa senare resultat finns refererade i beskrivningen av de olika institutionerna.

IVL i Aneboda har under flera år bedrivit forskning och utvecklingsarbete inriktad på effekter av askåterföring på mark, markvatten, ytvatten och trädens näringsstatus.

Studierna är främst utförda i södra Sverige. IVL har också utvecklat och tillämpat en laboratoriemetod som går ut på att genom upprepad lakning beskriva askors reaktivitet (Larsson & Westling, 1999). Metoden har främst använts vid utveckling av metoder för stabilisering av trädaskor.

*SLU, skoglig marklära* har arbetat i många år med frågor kring askåterföring. Arbetet omfattar främst markeffekter och försök att koppla resultat från en laboratorielakning av aska till fältresultat vad gäller markkemi (Eriksson m. fl., 1998).

*SLU, ekologi och miljövard* har länge forskat kring effekter av askåterföring, bland annat gäller det markfauna och kväveomsättning. (Arvidsson, 2001).

*SkogForsk* har sedan mitten på 1980-talet bedrivit tillämpad skoglig försöksverksamhet inom området askåterföring. Verksamheten har varit inriktad på effekter ganska brett inom ekosystemet. Studierna omfattar främst kväveomsättning, trädutväxt, aska med förhöjda halter av <sup>137</sup>Cs, mark- och markvattenkemi samt skador på markvegetation (Högbom & Nohrstedt, 2000; Jacobson, 1999; Nohrstedt, 1996; Nohrstedt m. fl., 1999; Ring m. fl., 1998, 1999).

*Lunds universitet, Ekologiska institutionen*, har utfört flera typer av fältstudier som berör askåterföring. Flertalet undersökningar finns omnämnda i MKBn (Egnell m. fl., 1998). Nihlgård (1997) har studerat laboratorietester som skulle simulera olika näringsämnenas lakbarhet i fält. Vid institutionen har också forskare vid avdelningen för Mikrobiell ekologi studerat effekter av aska.

*Chalmers tekniska högskola* har lång erfarenhet av att arbeta både praktiskt och teoretiskt med frågan om askprodukters upplösning (Steenari m. fl., 1998).

## **Sammanfattning av kunskapsläget om miljöeffekter**

Sammanfattningen är i huvudsak hämtad från MKBn om skogsbränsleuttag och kompensationsgödsling (Egnell m. fl., 1998). Resultat som framkommit efter det arbetet refereras i texten.

### **Markvegetation**

Redan en låg dos (2 ton/ha) lös aska eller dåligt härdad krossaska vid doser om 3-4 ton/ha och däröver kan ge omfattande skador på mossor. Kvastmossor verkar särskilt känsliga. Lavar verkar avsevärt mindre känsliga eller okänsliga. Brännskador på mossor undviks om pelleterad eller granulerad aska används. Markvegetationens sammansättning kan tydligt ändras av lös aska i lite högre doser (> ca 5 ton/ha), bland annat ökar kvävegynnade arter.

### **Mykorrhiza**

Lös aska kan även vid rimliga doser ibland missgynna mykorrhizasvampars mycelie-tillväxt och fruktkroppsbildning, liksom deras kolonisation av plantor. En positiv effekt är ovanlig, men kan förekomma vid mycket sura förhållanden ( $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) < 4,5$ ). Två studier med stabiliserad (granulerad) aska har redovisats. I den ena fann man ingen effekt på fruktkroppsbildning. I den andra saknades effekt på artsammansättningen. Däremot fanns det en tendens till minskad mängd mykorrhizainfekterade rötter per meter rotlängd med ökad askdos, men samtidigt en motsatt tendens att mängden svamp-biomassa per mykorrhizainfekterad rot ökade med askdos.

### **Markens kolomsättning**

Lös aska i rimliga givor ger nästan utan undantag en större kolomsättning i ytliga marklager. Effekten verkar kunna vara långvarig, åtminstone mer än fem år. Respirationen ökar och halterna av organiskt material minskar. En 50-procentig ökning av respirationen, liksom en 25-procentig minskning av halten organiskt material i humuslagret efter 5-10 år, är inte alls ovanligt. En mindre del (ca 1/3) av minskningen av halten organiskt material kan bero på att humuslagrets vikt ökat av asktillförsele. Stabiliserad aska är ännu endast studerad i ett fall, granulerad aska förändrade ej humusens halt och mängd av kol. Två fältstudier finns över förekomsten av organiskt kol i avrinningsvatten. Båda gällde stabiliserad aska och i inget av fallen kunde en effekt påvisas. En laboratoriestudie fann ökade halter löst organiskt kol i lakvatten efter tillförelse av krossaska.

### **Omsättning av kväve i marken**

Bilden av hur kväveminerisering och nitratbildning påverkas av aska är splittrad. I tre studier har man undersökt förekomst av oorganiskt N i marken efter asktillförelse. I en av dessa fann man en säkerställd minskning (granulerad aska, 1-6 ton/ha), medan det saknades effekt i de två andra (såväl lösa som stabiliserade askor). I fem studier har resultat redovisats från inkubationstest. I en av dessa erhöles en ökad nettomineralisering och nitratbildning (granulerad aska), i två (lös aska och stabiliserad aska) saknades effekt, i en fjärde (lös aska) redovisas minskad nettomineralisering, men ökad nitratbildning och i den femte slutligen observerades endast minskad nettomineralisering. Det har inte gått att förklara orsaken till de varierande resultaten, i huvudsak beroende på brist på nödvändig bakgrundsinformation i de olika rapporterna. En rapport har redovisat fler såväl ammonium- som nitritoxiderande bakterier i humus efter tillförelse av 6,2 ton lös aska per ha. Nämnade studier representerade fastmark. Endast två undersökningar, en på fastmark och en på torvmark, har studerat halt och mängd av total-N. Båda fann förluster (100-500 kg N/ha) i markens övre lager. Endast en studie, i vilken 10 ton lös aska till-

fördes en torvmark per ha, har undersökt denitrifikation och potentiell kvävefixering. Denitrifikationen påverkades ej, men den potentiella kvävefixeringen ökade 2-20 gånger. Flertalet studier har inte avsett en längre period än tre år efter behandling.

### **Omsättning av fosfor i marken**

Effekter av aska på markens omsättning av fosfor har endast undersökts i ett par försök (Skogaby och Torup, båda i Halland). I Skogaby-försöket hade 3,2 ton granulerad trädaska tillförts per ha. Samtliga mätningar, vilka utfördes under fyra år efter behandling, antydde att askan gav en minskad tillgänglighet av fosfor. Preliminära resultat från Torup tyder på att en högre dos, 6 ton/ha, av samma aska kan ha motsatt effekt.

### **Markens organismer**

Lös aska i givor på 5 ton per ha och mer minskar biomassan svamp, men ökar biomassan bakterier. Lös aska kan, även vid låga givor, orsaka artförskjutningar inom gruppen mikrosvampar. Mikrobiell biomassa synes ej ha analyserats i försök med stabiliserad aska. Markfauna har studerats i ett försök med lös aska och flera försök med stabiliserad aska. Lös aska i dosen 7 ton per ha gav initialt en tydlig nedgång av antalet kvalster. Granulerad aska i givor om 3-4 ton per ha har ej påverkat mängden protozoer och enchytraeider. Lös eller dåligt stabiliserad aska i givor om 4 ton eller mer tenderar att minska antalet enchytraeider. I två försök med samtidig tillförsel av granulerad aska och kväve antyds en ökad förekomst av daggmaskar.

### **Markkemi**

Askans stabiliseringsgrad är avgörande för den pH-ökning som uppkommer ytligt i marken. I humusen kan lös aska öka pH med 0,4-2,5 enheter beroende på dos. Höjningen av pH minskar med stabiliseringsgrad och kan för granulerad trädaska vara nära noll. I flertalet av de studier som utförts har pH på kontrolltytor varit 4,0-4,5. Andra förändringar i humusen är att utbytbara aluminium minskar och att basmättnadsgrad och katjonbyteskapacitet ökar. Bland de utbytbara baskatjonerna är det oftast endast kalcium som ökar. I den övre delen av mineraljorden är ökningen av pH mindre, med värden mellan noll och en enhet beroende på asktyp. I detta skikt kan temporära pH-sänkningar förekomma, troligen på grund av utbytesreaktioner. Förändringar av mängden utbytbara baskatjoner uppträder här mer sällan och är då i regel förknippade med högre doser och längre tid efter behandling. På torvmark finns äldre studier som visat långvariga förbättringar av näringsstatus, men då har det i regel handlat om givor på 10 ton per ha och mer.

## **Mark- och ytvatten**

När 2-3 ton lös eller stabiliserad aska tillförts per ha inom avrinningsområden med ungskog eller äldre skog har pH i avrinningsvattnet höjts med 0,2-0,3 enheter, från en nivå på 5-6. I vattnet ökar ofta halterna av ämnen som kalcium, magnesium, kalium, sulfat och klorid. Vattnets halt av nitrat har inte påverkats. I ett fall där både aska och kalk tillfördes erhöles en minskning av nitrathalten det tredje året efter tillförel. Markvattenstudier på hygge eller plantskog har ibland gett tendenser till förhöjda nitrathalter efter tillförel av stabiliserad aska. Liknande studier av stabiliserad aska har i regel inte funnit någon tydlig effekt på markvattnets pH, vare sig i plantskog eller äldre skog. Ett exempel på ett kraftigt minskat pH i markvatten finns från en studie med nolltryckslysimetrar. I äldre skog har inte nitrathalten ökat i markvatten. Utomlands finns exempel på ökade nitrathalter i markvatten efter tillförel av aska, men då handlar det om lös aska i doser över 10 ton per ha. Halten baskatjoner kan öka i markvattnet, på större markdjup gäller detta särskilt K. I merparten av de svenska studier där Al har mätts verkar halten inte ha påverkats av asktillföreln. Dock finns ett exempel där halten Al ökat i relativt ytligt markvatten (25 cm). Kvoten mellan baskatjoner och Al var emellertid förhöjd.

På mycket kväverika marker i södra Sverige finns en risk för ökad nitratutlakning efter näringskompensation med trädaska. Detta kan gälla även färska hyggen i hela landet.

## **Tungmetaller**

Hur totalhalterna av tungmetaller i marken påverkas av asktillförel är lite studerat. Två studier som utförts antyder en viss ökning. Lätt extraherbara fraktioner kan öka eller minska. Det finns ibland en tendens till att höga givor ger lägre halter av lätt extraherbar fraktion än för obehandlad kontroll. En temporärt ökad biologisk tillgänglighet av tungmetaller synes dock ofta uppkomma tiden närmast efter asktillförel (1-2 år), även för granulerad aska. Tecken på detta är ökade halter i årsbarr, vissa svampar, enchytraeider och markvatten. Tecken på ökade halter finns också från studier av vatten i några avrinningsområden, men då hade kalk också tillförts. Om den ökade tillgängligheten är orsakad av tungmetaller från askan eller utbyteseffekter i marken är inte klarlagt. Resultat från lakförel tyder på att ursprunget kan variera mellan metallerna. För Cd och Zn synes det i huvudsak vara marken. Halten tungmetaller i blad av lingon och blåbär har inte ökat på grund av asktillförel (en studie, 7-8 år efter tillförel). En svag tendens till ökning kan dock skönjas för blåbärrisets bär (en studie, två och tretton månader efter tillförel). Den pH-höjning som askan orsakar kan eventuellt minska mikroorganismers känslighet för tungmetaller.

### **Radionuklider**

Tillförsel av aska, måttligt kontaminerad med bland annat  $^{137}\text{Cs}$ , har i försök inte orsakat någon signifikant ökning av radioaktiviteten i ytliga marklager, fältvegetation och träddelar 5 till 8 år efter behandling. Möjliga förklaringar till resultaten är askans stimulering av nedbrytningen av organiskt material samt askans innehåll av kalium som motverkar upptag av  $^{137}\text{Cs}$  (Högbom & Nohrstedt, 2000).

### **Skogsträden**

Tillförsel av aska till såväl fast- som torvmark, kan påverka skogsproduktionen. På bördiga fastmarker finns en tendens till ökad (0-15 %) produktion efter tillförsel av såväl lös som stabiliserad aska. För intermediära och svaga fastmarker finns en tendens till minskad produktion efter askgödsling (Jacobson, 1999). På torvmark erhålls i regel en betydande och uthållig ökning av skogstillväxten efter tillförsel av lös aska. Stabiliserad aska har inte prövats på torvmark. Lös aska har, med företrädesvis positiva erfarenheter vad gäller tillväxt, också prövats som gödselmedel vid beskogning av torvtäkt och vid energiskogsodling på torvmark. Ett par-tre studier på fastmark visar att lös eller stabiliserad aska i dosen 3 ton per ha kan ge en minskad mängd finrötter hos gran. Halterna av flera näringsämnen i årsbarr ökar snabbt efter asktillförsel, även för stabiliserad aska. Effekter av aska på föryngring är lite studerade. De synes vara små vad gäller planterat odlingsmaterial

## Referenser

- Anon. 1998. Skogsstyrelsens författningssamling, SKSFS 1998:5. Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om ändring i Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd (SKSFS 1993:2) till skogsvårdslagen (1979:429).
- Anon. 2000. Svenska miljömål - delmål och åtgärdsstrategier. Proposition 2000/01:130.
- Anon. 2001. Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling. Skogsstyrelsen Meddelande 2-2001. 16 s.
- Arvidsson, H. 2001. Wood Ash Application in Spruce Stands. Effects on ground vegetation, tree nutrient status and soil chemistry. Doktorsavhandling. Institutionen för ekologi och miljövard, SLU, Ultuna.
- Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O. & Örlander, G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen, Rapport 1. Jönköping. 170 s.
- Eriksson, J. & Börjesson, P. 1991. Vedaska i skogen. Vattenfall FUD-Rapport UB 1991/46. Vällingby. 77s.
- Eriksson, E., Karlton, E. & Lundmark, J.-E. 1992. Acidification of forest soils in Sweden. *Ambio* 21: 150-154.
- Eriksson, H., Nilsson, T. & Nordin, A. 1998. Early effects of lime and hardened and non-hardened ashes on pH and electrical conductivity of the forest floor, and relations to some ash and lime qualities. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Supplement No. 2, 56-66.
- Filipsson, J. 2001. Avbarrning av skogsbränsle – pilotstudie av avbarrning av trädrester med skotargrip vid lastning. Energimyndighetens projektrapporter, TB-02/6. 20 s.
- Högbom, L. & Nohrstedt, H.-Ö. 2000. Effekter av askåterföring på förekomst av 137Cs i vegetation och mark. Energimyndighetens projektrapporter, Slutrapport TB-00/9 33 s.
- Jacobson, S. 1999. Återföring av aska på skoglig fastmark – effekter på trädens stamtillväxt. Energimyndighetens projektrapporter. Slutrapport TB-00/4. 23 s.
- Jönsson, O. & Nilsson, C. 1996a. Aska från biobränslen. *KSLAs tidskrift* 135 (13), 25-36.
- Larsson, P.-E. & Westling, O. 1999. Lakning av vedaska – en laboratoriestudie. IVL Rapport B 1325. 21 s. Aneboda.
- Lövgren, L., Lundmark, J.-E. & Jansson, C. 2000. Kretsloppsanpassning av bioaskor. Utvärdering av ny teknik för pelletering av bioaska med avseende på dels driftegen-

- skaper, dels miljöeffekter i skogen av askåterföring. Rapport Etapp 1. Energi- myndighetens projektrapporter, TB-00/10. 61 s.
- Nihlgård, B. 1997. Vedaskors näringsvärden – en test av analysmetoder. NUTEK, opublicerad rapport. 26s.
- Nilsson, C. & Steenari, B.-M. 1996. Karakterisering och behandling av träaska. NUTEK Rapport R 1996:15. Stockholm. 43 s.
- Nohrstedt, H.-Ö. 1996. Ett enkelt lakförsök med skogsbränsleaskor använda inom projekt ”Massaindustrins barkaska åt skogen”. SkogForsk, PM 4 s. Uppsala.
- Nohrstedt, H.-Ö., Högbom, L. & Nordlund, S. 1999. Effekter av askåterföring på kväveomsättningen i ett kväverikt granbestånd i Halland. Energimyndighetens projektrapporter. Slutrapport TB-00/3. 33 s.
- Nohrstedt, H.-Ö. & Jacobson, S. 2000. Ståndorts-/beståndsanpassning av askkvalitet på fastmark – en analys. SkogForsk, Uppsala. Arbetsrapport Nr 444. 15 s.
- Olsson, M. 1996. Långsiktiga näringsbalanser vid uttag av skogsbränsle. I: Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. Konferens på Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien den 5 juni 1996. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens tidskrift. 13: 37-44.
- Ring, E., Jacobson, S. & Nohrstedt, H.-Ö. 1998. Självhärdad trädaska påverkade markvegetation och markvattenkemi. SkogForsk, Resultat Nr 15. Uppsala. 2 s.
- Ring, E., Lövgren, L., Nohrstedt, H.-Ö. & Jansson, G. 1999. Ash fertilization in a clearcut and in a Scots pine stand in central Sweden. SkogForsk, Report No. 2. 51 s. Uppsala.
- Steenari, B.-M., Marsic, N., Karlsson, L.-G., Tomsic, A. & Lindqvist, O. 1998. Long term leaching of stabilised wood ash. Scandinavian Journal of Forest Research, Supplement No. 2, 3-16.



## IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

### Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie)  
IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden  
IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt  
IVLs hemsida: [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie. Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



---

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

P.O.Box 210 60, SE-100 31 Stockholm  
Hälsingegatan 43, Stockholm  
Tel: +46 8 598 563 00  
Fax: +46 8 598 563 90

P.O.Box 470 86, SE-402 58 Göteborg  
Dagjämningsgatan 1, Göteborg  
Tel: +46 31 725 62 00  
Fax: +46 31 725 62 90

Aneboda, SE-360 30 Lammhult  
Aneboda, Lammhult  
Tel: +46 472 26 77 80  
Fax: +46 472 26 77 90

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