



Examensarbeten

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

2008:6

**Askgödsling och dess lämplighet i torvmarks-
skogar tillhörande Sveaskog Förvaltnings AB
- en litteraturstudie**

***The suitability of ash fertilization in the peatland forests
of Sveaskog - a literature study***



Askgödsling på Norra Hällmyren. Foto: Carl Malmström, 1933.

Tobias Norrbom

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handledts och granskats av handledaren, och godkänts av examinator. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

Förord

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng på D-nivå inom ämnet skogshushållning och är utfört med Sveaskog Förvaltnings AB som uppdragsgivare.

Studien bottnar i en önskan att sammanställa de befintliga forskningsresultaten i ämnet askgödsling på torvmark samt utreda möjligheterna för en sådan verksamhet på Sveaskogs marker.

Jag vill tacka alla de personer som ställt upp med hjälp under arbetets gång. Min handledare, Björn Hånell har kommit med flera förslag till förbättringar av texten och tagit sig tid som ibland inte funnits. Klaus Silfverberg, forskare vid Finska Skogsforskningsinstitutet (METLA), har delat med sig av sina erfarenheter i ämnet askgödsling och tipsat om lämplig litteratur. Produktionschef för Enocell Pulpmill i Finland (ägs av SCA), Sauli Purho, har bistått med information rörande askgödsling i Finland. Skogsekonomen Peichen Gong, SLU i Umeå, har hjälpt till med sin kunskap vad gäller nuvärdesberäkningarna i arbetet. Karin von Arnold och Hans Samuelsson på Skogsstyrelsen har förklarat vilka rådande lagar som begränsar möjligheterna för askgödsling och varför dessa är utformade som de är. Sist men inte minst vill jag tacka min uppdragsgivare Sveaskog, som gjort arbetet genomförbart genom att bidra med nödvändig information om bland annat askinnehåll och kostnadsuppgifter samt att genom sin positiva inställning till arbetet ha hållit min motivation uppe.

Umeå i februari 2008
Tobias Norrbom

Sammanfattning

Vid helträdsuttag riskerar skogsmarken att utarmas på näring. För att förhindra detta återförs näringsämnen i form av aska från biobränslen. Detta innebär samtidigt en minskad risk för försurning. Dock ger askan inte någon tillväxtökning på mineraljordar (fastmarker), som är den marktyp där åtgärden tillämpats i störst utsträckning i Sverige. Detta innebär ett minskat intresse från skogsägarens sida, varför askåterföring inte sker i tillräcklig utsträckning för att kompensera näringsuttaget. Sker asktillförseln däremot på torvmark, visar otaliga studier att en tydlig tillväxteffekt kan erhållas. I askan finns nämligen alla näringsämnen ett träd behöver, förutom kväve. På torvmarker är bristen på kväve oftast inte ett problem, i motsats till på fastmarkerna. I Finland tillförs torvmarker bioaska för ett sådant produktionshöjande ändamål, men även i Sverige finns förutsättningar för en sådan verksamhet. Emellertid har askgödsling inte fått kommersiellt fäste eftersom metodens miljörisker inte ansetts tillräckligt utredda. Förutom att öka tillväxten i skogen skulle askgödsling bidra till det naturliga kretsloppet och därmed minska den stora mängd aska som idag läggs outnyttjad på deponi.

Den här studien består av två delar; del I är en litteraturstudie där de forskningsresultat som hittills framlagts inom ämnet askgödsling redovisas, i syftet att belysa metodens för- och nackdelar såväl som behovet av ytterligare forskning.

I del II var syftet att till areal och geografiskt läge (landsdel) bestämma de marker som ägs av Sveaskog och kan vara lämpliga för askgödsling. För urvalet av lämpliga marker sattes beståndskriterier upp med avseende på torvdjup, dränering, vegetationstyp, beståndsålder, grundyta och höjd. Uppgifterna erhöles från Riksskogstaxeringen. Dessutom beräknades nuvärdet av en ökad produktion för bestånd av olika ålder och med olika förväntad tillväxteffekt. Både spridning med traktor och helikopter studerades. Nuvärdet beräknades dels för gödsling där rådande restriktioner följdes (3 ton aska/ha under hela omloppstiden), dels där restriktionerna förbisågs (5 ton aska var 30:e år), varpå dessa två scenarion jämfördes.

Det framkom i den litteraturstudie som gjordes att askgödsling på torvmark: ökar såväl pH och, kvävemineralisering i marken som de tillgängliga mängderna kalcium, magnesium och kalium. Det rådde heller ingen tvekan om att en kraftig tillväxteffekt erhålls om askgivan är tillräcklig (>2ton/ha). Flera försök pekar på att askgödsling inte ökar risken för utlakning av tungmetaller och näringsämnen i nämnvärd omfattning.

Sveaskog äger ca 52 000 skogsproduktiv torvmark. Ca 13 600 ha av dessa skulle kunna användas för askgödsling. Drygt 90 % av markerna återfinns i Norrland och Götaland.

Det framgår att askgödsling bör vara en lönsam åtgärd för Sveaskog. Med en beståndsålder på 20 år och en förväntad tillväxteffekt på 3m³sk/ha, år, var nuvärdet ca 19 900 kr/ha utan hänsyn till restriktioner och ca 11 700 kr/ha om restriktioner följdes, vid en kalkylränta på 3 %, en omloppstid på 100 år och då spridningen skedde med traktor.

Generellt gällde att ju högre tillväxteffekt och ju lägre beståndsålder, desto högre var nuvärdet, förutom då beståndets startålder var 80 år. Nuvärdet för gödsling utan restriktioner var högre än då restriktioner följdes vid alla ingångsåldrar, förutom för helikoptergödsling gjord vid ingångsåldern 80 år, där gödsling enligt restriktionerna föreföll vara det lönsammare alternativet.

Även om mer forskning behövs, för att utreda långsiktiga effekter av askgödsling, torde det finnas en möjlighet för metoden att få fäste i Sverige inom den närmsta framtiden.

Summary

During whole-tree harvesting, there is a risk that the soil will become impoverished of nutrients. To prevent this, nutrients are returned to the harvested site as wood ash. This action also reduces the risk of soil acidification. Nevertheless, the ash does not result in any increase of tree growth if it is added on mineral soils, which is where the measure is most commonly used in Sweden. Due to the lack of growth response, the interest from landowners is small, which is why ash amendment today is not done enough to compensate for the need. On the other hand, if the ash is added on organic soils, several studies show that an obvious gain in tree growth can be achieved. This is because the ash contains all the nutrients that a tree needs, except for nitrogen. On organic soils, the lack of nitrogen is usually not a problem, in contrast to mineral soils.

In Finland, ash is spread on organic soils specifically for this purpose; to increase forest growth. But it is possible to make this activity a commercial reality also in Sweden. However, this is presently not the case since the investigations of environmental risks of ash fertilization have not been considered sufficient. Except for increasing forest growth, ash fertilization would contribute to the natural circulation and thereby reduce the large amount of unused landfill ash.

This study consists of two parts. In part I, which is a literature study, the main results from the science of ash fertilization are presented to illustrate the benefits and disadvantages of the method, as well as the need for further knowledge.

In part II, the purpose was to determine the area and geographical placing of sites that were suitable for ash fertilization and owned by the forest company Sveaskog. For the selection of suitable sites, certain stand criteria were formed. They were based on peat depth, drainage, vegetation type, stand age, basal area and height. The stand data used was collected from the Swedish National Forest Inventory (SNFI). Also, the net present value (NPV) of increased tree growth was calculated for stands of different ages and with varying expected growth responses. Both ash spreading with tractor and helicopter were investigated. The NPV was calculated with and without law restrictions (3 tons of ash/ha during the whole rotation period and 5 tons of ash/ha every 30 years, respectively). These two scenarios were then compared.

In the literature study it was made clear that ash fertilization on organic soils increase both the pH of the soil, the mineralization of nitrogen as well as the available amounts of calcium, magnesium and potassium. Also, there was no doubt that there is an obvious gain in tree growth if enough ash is added (>2ton/ha). Several studies indicate that ash fertilization does not increase the risk of heavy metal and nutrient leaching to surface and ground waters to a considerable rate.

Sveaskog is the owner of about 52 000 ha of fertile peat lands. Approximately 13 600 ha of these could be used for ash fertilization. More than 90 % of the selected areas were found in the northern and southern regions of the country (Norrland and Götaland, respectively).

It was shown that ash fertilization should be a profitable method for Sveaskog. At a starting stand age of 20 years and an expected growth increase of 3 m³/ha/year, the NPV was approximately 19 900 SEK/ha if restrictions were disregarded and about 11 700 SEK/ha if

restrictions were applied, both cases considering a discount rate of 3 %, a rotation period of 100 years and ash spreading with tractor.

Generally, the greater the growth response and the lower the stand starting age, the higher was the NPV, except for the stand age 80 years. The NPV for fertilization disregarding restrictions was higher than when restrictions were followed, except for when helicopter was used and the stand starting age was 80 years, which made the case following restrictions the most profitable one.

Even if more research is needed to determine the long term effects of ash fertilization, there should be a chance that the method could be implemented in Sweden in the nearest future.

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 TRÄDETS TILLVÄXT	2
1.3. ASKANS VÄRDE	2
1.4 SYFTE	3
2. MATERIAL OCH METODER	4
2.1 DEL I	4
2.2 DEL II	4
2.2.1 Rådande restriktioner	4
2.2.2 Vilka marktyper bör askgödsas?	6
2.2.3 Vilken är den bästa askgivan?	7
2.2.4 Lönsamheten i askgödsling	7
3. RESULTAT	8
DEL I	8
3.1 ALLMÄNT	8
3.2 ASKA FÖRÄNDRAR MARKEMIN	8
3.3 TUNGMETALLER	9
3.3.1 Tungmetaller i grund- och avrinningsvatten	9
3.3.2 Tungmetaller i markvegetationen	9
3.4 AVRINNING AV NÄRINGSÄMNE	10
3.5 ASKANS EFFEKT PÅ NÄRINGSUPPTAG, TILLVÄXT OCH PLANTETABLERING	10
3.5.1 Näringsupptag	10
3.5.2 Plantetablering	11
3.6 SKOGSPRODUKTION	12
3.7 NEDBRYTNING OCH ORGANISMER	13
3.8 MARKVEGETATION	13
3.9 ASKGÖDSLING OCH VÄXTHUSGASER	14
3.10 ASKA VS HANDELSGÖDSEL	14
3.11 ASKTYPER	14
3.12 ASKGÖDSLING I FINLAND	15
DEL II	16
3.13 LÄMPLIGA MARKER	16
3.14 ASKANS VÄRDE	17
4. DISKUSSION	19
4.1 ALLMÄNT	19
4.2 PERSPEKTIV PÅ ASKGÖDSLING	20
4.3 VALET AV LÄMPLIGA MARKER	20
4.4 LÖNSAMHETEN I ATT ASKGÖDsla	21
REFERENSER	22

Bilagor

1. GRÄNSVÄRDEN FÖR TILLFÖRSEL AV TUNGMETALLER
2. KOSTNADER/INTÄKTER, NUVÄRDESBERÄKNINGAR

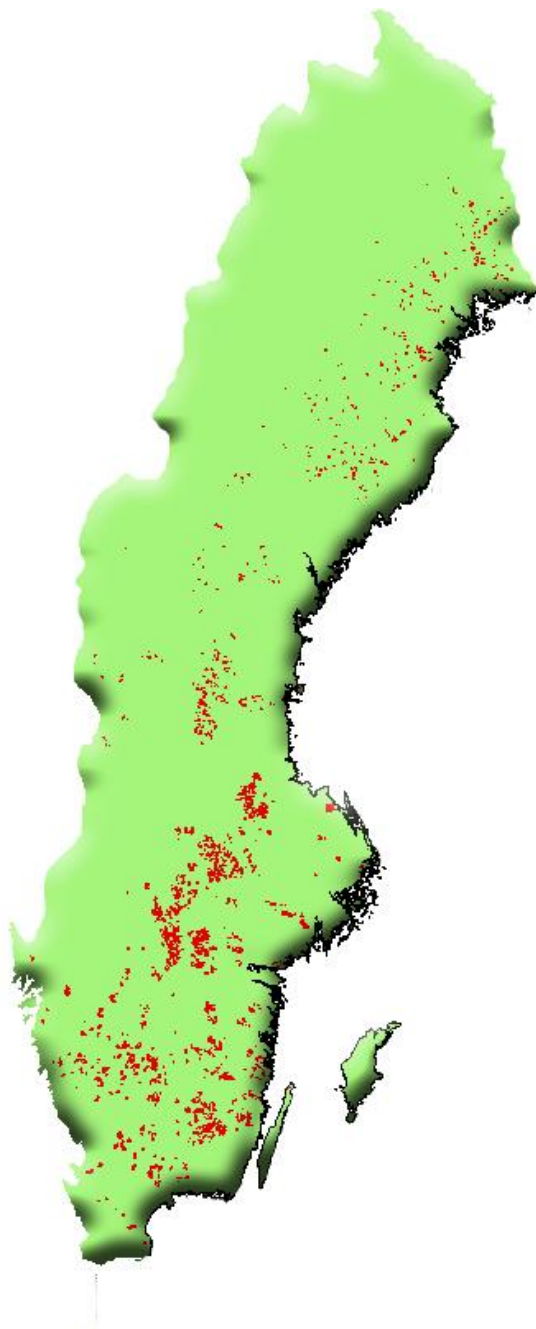
1. Inledning

1.1 Bakgrund

I takt med den ökade efterfrågan på virke och biobränsle, måste skogsnäringen finna nya sätt att öka skogsproduktionen. Samtidigt får naturvärden en allt viktigare roll i skogen, vilket skapar konflikter mellan olika intressen.

En hittills outnyttjad metod att öka produktionen i Sverige, är att tillföra bioaska på torvmark. Detta görs visserligen till viss del redan idag, men då som *askåterföring*, där målet med asktillförseln är att kompensera för näringsförluster hos ståndorten vid tillvaratagande av avverkningsrester samt att motverka försurning (Hånell, 2004). På fastmarker sker askåterföring av samma anledning men konsekvenserna efter ett biomassauttag, avseende förrådet av mineralnäringsämnen, blir oftast mer påtagliga på torvmarken. Till skillnad från fastmarker är det i fråga om torvmarker oftast inte mängden tillgängligt kväve i marken som begränsar trädens tillväxt. Tvärtom finns det ofta gott om kväve medan det istället råder brist på mineralnäringsämnen, främst fosfor och kalium, eftersom bergartsbildande mineral som kan vittra saknas. I aska från ved och torv finns alla de mineralnäringsämnen som ett träd behöver, utom kväve. Således kan gödsling med aska på torvmark inte bara kompensera för förlorade näringsämnen, utan därutöver höja virkesproduktionen påtagligt, vilket har visats i flera studier. I dag äger Sveaskog ca 52 000 ha skogsproduktiv torvmark (Figur 1.1), vilket utgör ca 1,5 % av bolagets totala areal. En del av denna torde kunna askgödsas för att ge en ökad skogstillväxt.

I Sverige finns ca 300 000 ton biobränsleaska av lämplig kvalitet (Hånell, 2004). År 2006 återfördes dock endast 27000 ton aska till skog och mark (Engfeldt, 2007). Att askgödsling hittills inte fått någon omfattning i Sverige beror troligen på den miljöanknutna skepsis som råder, eftersom det på flera punkter är oklart hur tillförsel av aska på torvmark påverkar miljön. I Finland däremot gödsas varje år flera tusen ha torvmarker, förmodligen eftersom andra restriktioner råder där. En utredning av det svenska regelverket för spridning av aska på torvmark pågår för närvarande, och det är därför oklart vilka eventuella restriktioner som kommer att gälla framöver.



Figur 1.1 Fördelningen av Sveaskogs skogsproduktiva torvmarker i Sverige.

1.2 Trädets tillväxt

Liksom vid de flesta produktionshöjande åtgärder är det, för att nå ett tillfredställande resultat nödvändigt att känna till vilka faktorer som är avgörande för ett träds tillväxt:

Klimatet. Regeln säger att ju lägre breddgrad och höjd över havet, desto gynnsammare är klimatet i avseende på markens produktionsförmåga. För askgödsling gäller att ju gynnsammare klimat, desto kraftigare blir tillväxtreaktionen efter gödsling (Hånell, 2004).

Växtplatsens dräneringsgrad. För att träden ska kunna ta upp syre och näringsämnen får inte dess rötter hämmas av vatten. Försök har visats att tillväxteffekten efter upprepade askgödslingar blir betydligt större på marker vars grundvattennivå sänkts genom dikning än på odikade marker (Hånell, 2005).

Torvens kvävehalt. Kväve är nödvändigt för ett träds tillväxt. Eftersom kväve är det näringsämne som helt saknas i aska, är torvens kvävehalt på växtplatsen avgörande för gödslingsresultatet och bör vara >1 % för att tillväxten ska bli tillfredställande. (Silfverberg & Huikari, 1985). Torvens kemiska sammansättning av växtdelar och därmed även växtplatsens ståndortstyp är avgörande för dess kvävehalt. Ofta gäller att ju bördigare ståndortstypen är, desto högre är koncentrationen av kväve i torven. Till exempel är torvens kvävehalt högre på en mark av örttyp än på en som domineras av starr (Westman, 1981). Tidigare resultat pekar på att tillväxteffekten efter askgödsling relativt sett blir större på näringsfattiga marker än på näringsrika (Holmen, 1985). Emellertid lämpar sig inte heller alltid de allra näringsfattigaste markerna för askgödsling eftersom även tillsats av kväve är nödvändigt för att näringsförhållandena ska bli tillräckliga (Huikari, 1952).

Torvdjupet. Resultat visar att tillväxteffekten efter askgödsling blir mindre på tunna torvlager eftersom trädens rötter på sådana marker ofta når ner till mineraljorden där näringstillgången för det mesta redan är god (Hånell, 2004).

Beståndets utvecklingsgrad. Generellt gäller att med ökande trädstorlek ökar trädens näringsbehov och gödslingsreaktionen blir kraftigare (se Paavilainen och Päivänen, 1995). Till en viss gräns gäller att ju högre tillväxten är före gödsling, desto bättre blir tillväxtreaktionen efter gödsling. Undantaget är de allra näringsrikaste markerna där brist på näring inte är den faktor som begränsar tillväxten (Hånell, 2004; Hånell och Magnusson, 2005). Flera finska studier där man använt konstgödsel, pekar på att gödsling är lönsammast i välväxande avverkningsmogna bestånd (Keltikangas och Seppälä, 1973; Hämläinen och Laakonen, 1983; Hämläinen *m. fl.*, 1985).

1.3. Askans värde

Ovanstående punkter är starkt avgörande för tillväxtresultatet efter en askgödsling och därmed även metodens lönsamhet. På lönsamheten inverkar dessutom en rad andra faktorer såsom trädslagstyp, val av skötselprogram (när sker gallringar och slutavverkningar?) och val av kalkylränta. Att beräkna lönsamheten i att askgödsla alla lämpliga torvmarker i Sveaskogs ägo skulle således kräva nuvärdesberäkningar på en högupplöst klassindelning med olika beståndstyper och skötselprogram. En sådan beräkning skulle bli mycket tidskrävande men ändå inte ge speciellt tillförlitliga resultat eftersom tillväxteffekterna efter tillsats av aska på

torvmark med stående skog i Sverige inte kan anses som tillräckligt utredda. Därför kommer en sådan ”total” lönsamhet av askgödsling inte att beräknas i detta arbete. Istället kommer några generaliserande räkneexempel att användas för att ge en uppfattning om värdet av askgödsling på olika beståndstyper.

1.4 Syfte

Syftet med arbetet är att:

- (i) redogöra för askans potential som produktionshöjande medel för skog på torvmarker i Sveaskogs ägo och för de eventuella miljörisker som är förknippade med askgödsling.
- (ii) till areal- och landsdel lägesbestämma de torvmarker som anses lämpliga för askgödsling, och
- (iii) uppskatta åtgärdens lönsamhet med avseende på den tillväxteffekt som uppstår och beståndets aktuella ålder.

2. Material och metoder

2.1 Del I

Den första delen av detta arbete baseras till största delen på litteraturstudier av tidigare forskningsresultat samt intervjuer.

2.2 Del II

I den andra delen av arbetet gjordes ett urval av lämpliga marker att gödsla med uppgifter från Riksskogstaxeringens material. Denna taxering utförs årligen genom stickprovsinventering, varför de erhållna värdena endast är skattningar och inte sanna värden. För att öka samplet och därmed minska medelfelet var värdena som användes medelvärden av den senaste femårsperioden (2002-2006). Urvalet gjordes med avseende på torvdjup, vegetationstyp, dikning, samt beståndets täthet, ålder och utvecklingsgrad. Kostnader korrelerade med askspridning erhöles från intervjuer (se Bilaga 2).

Med tanke på att en översyn av regelverket för spridning av aska på torvmark pågår för närvarande, och att det därför är oklart vilka eventuella restriktioner som kommer att gälla framöver, gjordes två beräkningar av lönsamheten; en där dagens restriktioner följs och en där dessa begränsningar förbises.

2.2.1 Rådande restriktioner

Sveaskog är ett FSC-certifierat bolag. I frågan om asktillförsel, står det i den nya standarden (inte ackrediterad i dagens läge men medlemmarna i Svenska FSC är överens om den), under Indikator 6.3.16 och 6.3.18 att man ska se till att åtgärden inte strider mot kriterium 6.3 samt följa Skogsstyrelsens rekommendationer i dessa frågor.

Kriterium 6.3

Ekologiska funktioner och värden skall bevaras intakta förstärkas eller återskapas exempelvis vad gäller:

- a) Skogsföryngring och succession.*
- b) Genetisk mångfald, art- och ekosystemdiversitet.*
- c) Naturliga kretslopp som påverkar skogsekosystemets produktivitet.*

6.3.16: Skogsbruket bedrivs i former som syftar till att upprätthålla markens naturliga processer och långsiktiga produktionsförmåga samt undviker att skada andra ekosystem och biologisk mångfald. Markägare eller företrädare som tillför/återför kväve/mineralämnen eller tillämpar biobränsletäkt skall med stöd av övergripande dokumentation (en miljökonsekvensbeskrivning) visa att åtgärderna inte utförs i strid med ovanstående.

6.3.18: Vid uttag av biobränsle följs Skogsstyrelsens rekommendationer och uttaget dokumenteras på beståndsnivå. Vid kompensation av näringsämnen/askåterföring för biobränsleuttag, skogsmarkskalkning och vitaliseringsgödsling sker den i enlighet med Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd.

Skogsstyrelsens rekommendationer är under omarbetning, och de rådande rekommendationerna är de från 2001, där närmast föreliggande rekommendation säger:

”För att undvika kortsiktiga negativa effekter bör sammantaget högst 3 ton aska TS (=torrsubstans) återföras per hektar och 10-årsperiod om det sammanlagda kompensationsbehovet överstiger 3 ton aska per hektar”.

Dessutom gäller de rekommenderade maximihalterna av tungmetaller i askprodukter och de gränser som anger den maximala tillförseln av tungmetaller med aska under en omloppstid (se Bilaga 1).

Rekommendationerna syftar dock till askåterföring i kompensations syfte och inte som produktionshöjare. I skogsvårdslagens allmänna råd för skador på mark- och vatten (30§), vilka står över Skogsstyrelsens rekommendationer och därför blir de bindande, rekommenderas en maximal askgiva på 3 ton per hektar och omloppstid. Det bör understrykas att det även här handlar om askåterföring. I dagens regelverk finns alltså ingen specifik del som behandlar tillförsel av aska som produktionshöjare. Dock gäller följande:

- samrådsplikt enligt Miljöbalken 12 kap 6§, där Skogsstyrelsen blir den samrådande myndigheten.

”Kan en verksamhet eller en åtgärd som inte omfattas av tillstånds- eller anmälningsplikt enligt andra bestämmelser i denna balk komma att väsentligt ändra naturmiljön, skall anmälan för samråd göras hos den myndighet som utövar tillsynen enligt bestämmelser i 26 kap. eller bestämmelser som har meddelats med stöd av samma kapitel”.

- ”Försiktighetsprincipen” enligt Miljöbalken 2 kap. 3§, som innebär att det, vid utövandet av en verksamhet finns en skyldighet att motverka negativa effekter på miljön. Denna skyldighet råder även om det råder brist på kunskap och vetenskaplig

bevisning angående verksamhetens effekter. Dock ska denna brist på bevisning inte skjuta upp en kostnadseffektiv åtgärd för att hindra miljöförstöring.

"Försiktighetsprincipen innebär att redan risken för skador och olägenheter medför en skyldighet att vidta åtgärder som behövs för att negativa effekter på hälsa och miljö ska förebyggas, hindras eller motverkas. Skyldigheten gäller alltså inte bara konstaterade skador och olägenheter, utan även möjliga/sannolika/troliga skador och olägenheter. Regeln är tillämplig på alla verksamheter som kan ha betydelse för miljöbalkens mål.

- Tillämpning av Skogsvårdslagen och då främst 30 §, vilken förutom att motverka skador på mark och vatten enligt ovan nämnda restriktion, bland annat syftar till att skydda lokala växt- och djurarter.

Det är idag osäkert hur det framtida regelverket för askgödsling på torvmark kommer att se ut. I denna studie görs därför antagandet att rådande restriktion gäller enligt SVL:s allmänna råd för ”skador på mark och vatten” i 30§, d.v.s. en maximal asktillförsel av **3 ton per hektar och omloppstid**.

2.2.2 Vilka marktyper bör askgödsas?

Urvalet för lämpliga marker för askgödsling gjordes med bakgrund av Hånells kriterier (2004), vilka grundas på trädets tillväxtreglerande faktorer under 1.2 och syftar till att göra en eventuell gödsling så lönsam som möjligt (Tabell 2.1). Följaktligen bortvaldes improduktiv myrmark (<1m³sk/ha, år), odikad mark och mark med ej fungerande diken, grunda torvtäckten (<30cm), marker med örter och sämre ris, kalmark samt plant- och ungskog. Även alltför gamla bestånd valdes bort. Kvar fanns då dränerade torvmarker med skog i gallrings- eller slutavverkningsstadiet, med vegetationstyp bättre ris och lågstarr. Även om marker av typ lågstarr i vissa fall kräver tillförsel av kväve, torde sådana marker uteslutas vid urvalet med hjälp av de beståndskaraktäriserande villkoren. Marker av typ högstarr räknades inte med eftersom denna typ endast uppträder på odikade marker (personligt meddelande, Björn Hånell). Vidare antogs dessa utvalda marker vara lämpliga för gödsling med helikopter i de fall transportavståndet till närmsta väg var mer än 400 m och gallring inte utförts de senaste 10 åren. På samma sätt uppfylldes kriteriet för traktorspridning på de marker där transportavståndet understeg 400 m och gallring utförts de senaste 10 åren.

Tabell 2.1. Kriterier som användes för att välja marker lämpliga för askgödsling

Kriterium	Specifikation
Produktiva marker	>1 m ³ sk/ha, år
Torvmarker	>= 30 cm torv
Dikat	Fungerande diken inom 25 m från provytecentrum
Vegetations typ	Lågstarr, blåbär, lingon
Ålder	10-130 år
Grundyta	10-34 m ²
Höjd	6-26 m

2.2.3 Vilken är den bästa askgivan?

Det är svårt att exakt ange vilken askgiva som är den optimala när man talar om asktillförsel i allmänhet. Först måste målen med asktillförseln klargöras. Exempel på sådana mål kan vara att kompensera för näring som tagits ut från ståndorten vid tillvaratagande av biobränsle, motverka försurning, frambringa skogstillväxt på kal myrmark, skapa tillväxtökning av redan befintlig skog etc. Målet måste sedan vägas samman med askans kvalitet, och var askan ska användas, d.v.s. ståndortens rådande näringsförhållanden i träd och mark, trädens ålder, bonitet, temperatursumma (Silfverberg K., 1996). I många tidigare experiment har tillväxteffekten visat sig bli bättre ju högre askgivan varit. En ökad giva medför dock en ökad risk för negativa effekter såsom näringsutlakning (Silfverberg och Hotanen, 1989), ökade proportioner av björk på kväverika ståndorter (*Betula spp.*) (Malmström, 1952; Lukkala, 1955; Silfverberg och Huikari, 1985) och minskad naturlig stamkvistning i snabbväxande tallbestånd (Silfverberg K., 1996). Åsikterna rörande den optimala askgivan är delade. Vid skogsgödsling på torvmark behövs enligt Paavilainen och Päivänen (1995) 40-50 kg fosfor per ha, vilket tillämpat på ett antal kända trädbränsleaskor redovisade av Paarlahti (1980) motsvaras av givor på 3-8 ton per hektar. Bramryd och Fransman (1985) ansåg 4-8 ton/ha vara den optimala givan. Silfverberg (personligt meddelande, 2007) anser en giva på 5 ton/ha vara mest ekonomisk, med hänsyn till spridningskostnader och risker för negativa konsekvenser på miljön. Likaså Hånell (2005) och Magnusson och Hånell (2000) rekommenderar en giva på 5 ton/ha.

2.2.4 Lönsamheten i askgödsling

I denna studie kommer askgivan fem ton per hektar att antas vara den optimala. Detta stämmer väl överens med det medelinnehåll av fosfor som beräknats utifrån tidigare askanalyser som gjorts i samband med askåterföring av Sveaskog (se Bilaga 1). Vidare kommer gödslingseffekten att antas vara i 30 år (se Väätäinen *m. fl.*, 2000), vilket innebär att ytterligare gödslingar görs med samma giva vart 30:e år. För enkelhetens skull kommer den ökade tillväxten efter en gödsling att tas ut 30 år efter varje gödslingstillfälle eller vid omloppstidens slut. Omloppstiden kommer genomgående att sättas till 100 år. Enligt Silfverberg (personlig kommentar) kan en askgiva på 5 ton/ha väntas resultera i en genomsnittlig tillväxtökning på ca 3m³sk/ha, år. Dock är initialeffekten relativt långsam och det dröjer ibland upp till 10 år innan tillväxten tar vid ordentligt. För att få med betydelsen av denna långsamma initialeffekt vid lönsamhetsberäkningarna, sattes de fem första årens ökning i tillväxt efter den första gödslingen lika med noll. I Sverige är tillväxteffekterna efter askgödsling på stående skog dåligt kända, varför de värden som används endast kan ses som antaganden, vilka till stor del är baserade på finska resultat. Nuvärdet per hektar av den ökade tillväxt som askgödsling innebär, beräknades med avseende på aktuell beståndsålder och förväntad tillväxteffekt, för både traktor- och helikopterspridning, med och utan restriktioner. I fråga om gödsling med restriktioner, gjordes två beräkningar; en där gödslingen skedde vid planperiodens början och en där den gjordes 30 år före slutavverkning. Nuvärdena från det lönsammaste av dessa två alternativ jämfördes därefter med nuvärdet för gödsling utan restriktioner.

3. Resultat

Del I

3.1 Allmänt

För att askgödning ska få acceptans i Sverige, krävs att de negativa effekterna på omgivningen inte överstiger vinsterna av en ökad trädproduktion. Sådana negativa effekter kan vara förändring av markens kemiska egenskaper, dess organismer och vegetation samt effekter på avrinningsvattnets kvalitet. Den första delen av detta arbete utgör en sammanställning av de idag rådande resultaten på området.

3.2 Aska förändrar markemin

Aska från ved innehåller i stort sett alla (ca 50 st. grundämnen) (Liem *et al.*, 1983) makro- och mikronäringsämnen som ett träd behöver förutom kväve, vilket går förlorat i förbränningsprocessen (Eriksson och Börjesson, 1991). På organogena marker (torvmarker) är den allmänna uppfattningen att kväve finns i tillräckliga mängder för att en god produktion ska kunna erhållas, men att det som regel i stället råder brist på mineralnäringsämnen och då framförallt kalium och fosfor. På fastmarker är förhållandet ofta det omvända med kväve som den begränsande tillväxtfaktorn. Detta till följd av den vittringsprocess av mineraler som sker på fastmarker, men som saknas på torvmarker (Magnusson och Hånell, 1996). Av denna anledning har gödslingsförsök med aska på fastmark visat sig vara i stort sett lönlös från tillväxtpunkt (Magnusson och Hånell, 2000). På torvmark däremot, är det väl känt att askgödning medför en produktionsökning, som inom vissa gränser, är positivt korrelerad med mängden tillförd aska (Silfverberg och Huikari, 1985). Hur askan reagerar med markens organiska material är avgörande för såväl markens kemiska som biologiska variabler, såsom utlakning av löst organiskt material och mineralnäringsämnen i avrinningsvattnet (Magnusson och Hånell, 1996).

Aska är starkt basisk. Försök har visat att *pH* i *torvens ytskikt* normalt höjs med 0,5-1 enheter vid askgivning på 5-10 ton per hektar och med 2 enheter vid givning på 10-16 ton per hektar (Bramryd, 1985; Bramryd och Fransman, 1985; Ericsson och Börjesson, 1991; Malmström, 1952; Silfverberg och Issakainen, 1987; Weber *et al.*, 1985). Den basiska effekten har i flera fall visat sig vara bestående i åtminstone 40-60 år efter asktillförsel (Bramryd och Fransman, 1985; Derome och Pätilä, 1989; Silfverberg och Hotanen, 1989; Silfverberg, 1996; Silfverberg och Huikari, 1985). Vid tillförsel av vedaska löser sig lättlösliga mineralsalter snabbt, jonstyrkan i markvattnet ökar, och därför ökar markens elektriska ledningsförmåga initialt (Rikala och Jozefek, 1990). Detta medför oftast en tillfällig pH-sänkning, vilken dock snart ändras till den ovan nämnda långsiktiga pH-ökningen (Magnusson och Hånell, 1996). Mängden utbytbar kalcium, magnesium och kalium ökar, vilket medför en höjning av basmättnadsgraden (Bramryd och Fransman, 1985; Lumme och Laiho, 1988; Nilsson *et al.*, 1987; Malmström, 1952, 1966; Rikala och Jozefek, 1990; Silfverberg, 1991; Silfverberg och Hotanen, 1989; Weber *et al.*, 1985). Även växttillgängliga mängder av koppar, zink och bor, vilka är viktiga mikronäringsämnen, ökar. Mangan har däremot visat sig både minska och öka efter askgödning (jmf. Silfverberg 1982; Silfverberg och Hotanen, 1989; Veijalainen, 1983). Totalmängden fosfor ökar och detsamma gäller oftast även för de tillgängliga mängderna (Rikala och Jozefek, 1990; Weber *et al.*, 1985). Även torvens totalhalt av kväve ökar med tiden, främst i ytskiktet. Detta är dock ingen direkt effekt av asktillförseln, utan något som

uppstår till följd av en ökad nedbrytning i den tidigare förhållandevis kvävefattiga torven (Malmström, 1952, 1966). Om utgångsmaterialet är kväverik torv kan dock det totala kväveförrådet minska (Magnusson och Hånell, 1996). Hur askan påverkar lösligheten av organiskt material är dåligt känt (Magnusson och Hånell, 1996).

3.3 Tungmetaller

3.3.1 Tungmetaller i grund- och avrinningsvatten

Tungmetaller är en komponent som ingår i den naturliga näringscykeln. Dock vanligen inte i den mängd och i de koncentrationer som askgödsling innebär, eftersom tungmetaller anrikas i askan (Väätinen *m.fl.*, 2000). Därför innebär åtgärden en potentiell risk för utlakning av tungmetaller och då främst kadmium, som är en betydande hälsorisk (Eriksson, 1990). I Skogsstyrelsens rekommendationer står att mängden tungmetaller som återförs ståndorten med aska, inte bör överstiga den mängd som tas ut vid avverkning. De svenska studier som har gjorts på området är fåtaliga och har inriktats på att utreda askans tillväxteffekter. I Finland har askans effekter på tungmetaller däremot studerats i desto större utsträckning. Andersson (1976) anser att den ökade salthalt som asktillförsel medför, inledningsvis kan mobilisera markens ursprungliga tungmetaller via jonbyte. Samtidigt kan markens förhöjda pH innebära att tungmetallernas koncentration i markvätskan minskar och därmed även risken för utlakning och växtupptag (Magnusson och Hånell, 1996; Rosén *m.fl.*, 1993). Flera tungmetaller binds nämligen hårt till humus och det är därför troligt att askan orsakar en fastläggning av tungmetaller under några år (Eriksson 1993). Dessa fastlagda tungmetaller kan till mängden, enligt Bramryd och Fransman (1985), överstiga de mängder som tillförs med askan. Sikström *m.fl.* (2006) visade att halterna av As minskade i grundvattnet efter asktillförsel. Detsamma gällde för As, Pb och V i avrinningsvattnet. Magnusson & Hånell (2000) kunde i sina försök med 8 ton aska/ha på avslutade torvtäkter i Hälsingland påvisa en minskning av halterna Al, Cr och Pb i avrinningsvattnet. För de övriga tungmetallerna syntes ingen skillnad. Sambandet mellan minskningen hos dessa ämnen och en samtida minskning av organiskt kol (TOC) stärker teorin om att tungmetaller till stor del binds till organiska föreningar. Bramryd (1985) och Bramryd och Fransman (1985), undersökte bland annat tungmetalleffekter i Sverige och Finland. Vid de tillfällen då tungmetallhalten i torven ökat, hade detta skett främst i torvens ytskikt. Bramryd (1985) konstaterade dock också en nedåttransport i profilen, vilket antyder att vissa av tungmetallerna i aska kan övergå i en relativt lättlöslig form (Eriksson och Börjesson, 1991)". Även Rosén *et al* (1993), mätte tungmetallhalter i mark- och avrinningsvatten efter askgödslingsförsök på fastmark. Inget av försöken visade dock signifikanta ökning i avrinningsvattnet. Vidare visade Nieminen *et al.* (2005) att tungmetaller är synnerligen svårslösliga i alla former av askgödselmedel.

Dräneringsvattnet från torvmarker består till största delen av löst organiskt och suspenderat organiskt material (DOC). Det organiska materialet kan fungera som bärare av tungmetaller och näringsämnen och därmed bidra till utlakning (Magnusson & Hånell, 1996). Det är dock oklart huruvida halten DOC påverkas av askgödsling. Weber *et al* (1985) kom emellertid i sina försök fram till att askgödsling med 10 ton per hektar kan innebära en ökad halt av DOC.

3.3.2 Tungmetaller i markvegetationen

I en studie av Silfverberg och Issakainen (1991) fann man att tillförsel av 10 ton/ha träaska respektive 20 ton torvaska/ha på torvmark tenderade öka kadmiumhalterna i bär, främst hjortron. Författarna menade att upprepad asktillförsel på ett och samma område kan få tungmetaller att anrikas och därmed tas upp i större mängd av vegetationen. Magnusson &

Hånell (2000) såg i sina askgödslingsförsök på avslutade torvtäkter en ökning av Cd i vårt- och glasbjörk, halvgräs, svamp, björnmossa och framförallt i *Salix sp.* I de barrträdsarter som undersöktes (5 st.) syntes dock ingen ökning av Cd. Moilanen et al. (2006) i sina försök fram till att risken för att bär och svamp ska ta upp tungmetaller i märkvärda mängder vid tillförsel av aska, är små. På lång sikt (10-52 år) efter asktillförseln hade t.o.m. tungmetallhalterna minskat, förutom As.

3.4 Avrinning av näringsämnen

Eftersom mängden joner i löst tillstånd i marken ökar, utgör det en potentiell risk för utlakning av framförallt kalium (Clapham och Zibilske, 1992; Nieminen *et al.*, 2005). Detsamma har visats för natrium (Na), Svavel (S) och Bor (B) (Nieminen *et al.*, 2005). Dock kan kaliums effekter på vattensystemens kvalitet ses som obetydliga (Magnusson och Hånell, 2000).

Fosfor har en stark produktionshöjande effekt i ytvattensystem (Paavilainen, 1976; Kenttämies, 1981) och utlakning av fosfor från handelsgödselmedel har konstaterats, om än en kortvarig sådan (Lundin och Bergquist, 1985). Efter askgödning har dock ingen sådan utlakning påvisats. Utlakningen från askgödning blir liten p.g.a. askans svårslösliga former av ämnet (Haveraaen, 1986). Nieminen *et al.* (2007) menar att anledningen till detta är det mesta av den med askan tillförda fosfor, adsorberas av aluminium och järn under askans vittringprocess. Det är dock oklart om denna adsorption sker med Al och Fe från askan eller från torven.

En ökad nitrifikation i samband med asktillförsel, kan öka risken för nitratutlakning. Nitratutlakning innebär i sin tur en risk för övergödning av de marina vattensystemen (Eriksson och Börjesson, 1991). Fem år efter askgödning med 8 ton torvaska/ha på nedlagda torvtäkter fann Magnusson & Hånell (2000) ingen signifikant förhöjd nitratutlakning. Försök på fastmark har pekat på ingen eller väldigt svag ökning av nitrifikationen (Martikainen, 1986).

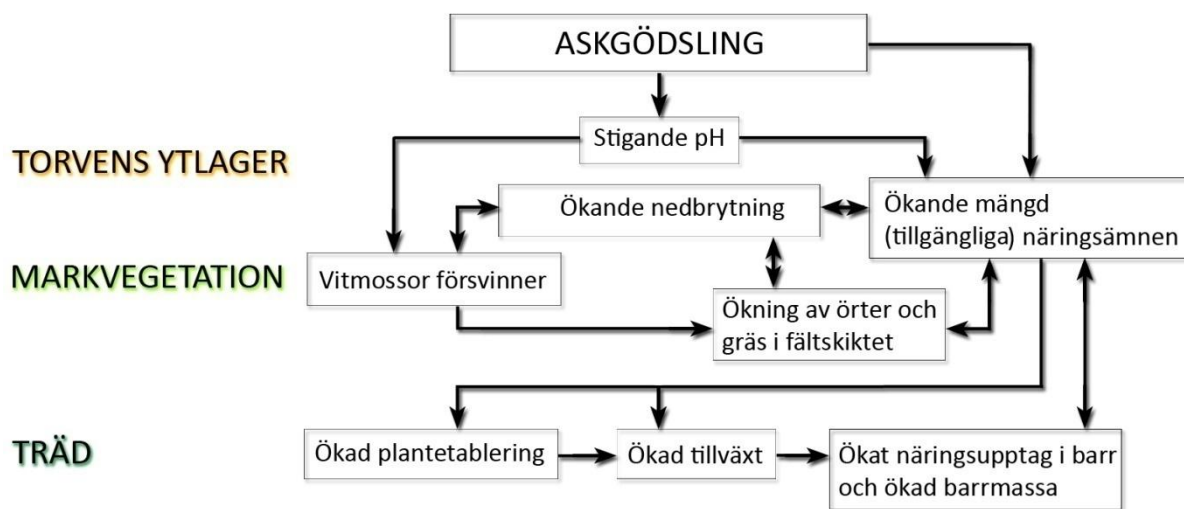
I ett askgödslingsförsök utfört av Sikström m.fl. (2006) i sydvästra Sverige, påvisades i avrinningsvattnet en ökning i halterna av B, Br⁻, Ca, Cd, Co, K, Cl⁻, Li, Mg, Mn, Na, P, PO₄³⁻, S, SO₄-S och Zn. För de flesta ämnena kom ökningen direkt efter asktillförseln (3,1 ton/ha) och varaktigheten var varierande. Endast för ämnena B, Ca, K, Li, Mn och Zn var ökningen kvarstående över hela mätperioden på 1 år.

3.5 Askans effekt på näringsupptag, tillväxt och plantetablering

3.5.1 Näringsupptag

I samband med den ökade mängden tillgängliga makronäringsämnen efter asktillförsel, ökar oftast även halterna K, och P i barr och blad, men inte alltid Ca och Mg (Lumme och Laiho, 1988; Bramryd och Fransman, 1985; Magnusson och Hånell, 2000). Efter en omgödning av Södra Hällmyren med fyra ton/ha, fann Tamm (1951) att askans kalium och kalcium togs upp nästan omedelbart av lokalens björkbestånd, men att trädens reaktion på kväve och fosfor inte var lika snabb. Vid en studie genomförd av Silfverberg och Issakainen (1991), där askans effekt på bärproduktion (lingon, blåbär, hjortron) undersöktes, visade det sig att kaliumhalterna oftast ökade, medan kalcium- och magnesiumhalterna sjönk.

Risken för brist på mikronäringsämnen för trädens tillväxt på skogsmark, är enligt Eriksson och Börjesson (1991) störst för B, Cu och Zn. Magnusson och Hånell (2000) fann i sina försök med torvaska på nedlagd torvtäkt att halterna av alla dessa ämnen, liksom halterna av K, ökade i barrträd (bl.a. tall och gran). För lövträd, främst björk, syntes signifikant ökade halter av Ca, B, Zn. Även Kaunisto (1987) fann att gödsling med vedaska på torvmark tycktes öka mängden B i tallbarr. Vidare undersökte Silfverberg (1982) askans förmåga att motverka borbrist i ett gödslingsförsök på långsamväxande granplanteringar och fann att mängden upptaget B i granbarrnen långsamt ökade efter asktillförseln. Även om vedaska kan innehålla relativt mycket Mn, minskar växternas upptag efter tillförsel (Magnusson och Hånell, 2000). Detta beror förmodligen på askans förhöjning av pH, vilket minskar manganets löslighet (Silfverberg, 1982). De mest betydelsefulla förändringar som sker på ståndorten efter askgödsling kan urskiljas i torvens ytlager, markvegetationen och träden (figur 3.1).



Figur 3.1. De huvudsakliga effekterna efter askgödsling på kväverika, dränerade torvmarker. Efter Silfverberg (1996).

3.5.2 Plantetablering

I flera växthusförsök har visats att aska hämmar frögroning (jmf Heikinheimo, 1915; Silfverberg, 1995). Rikala och Jozefek (1990) konstaterade att tall- och granfrö grodde som bäst vid $\text{pH} < 5$. För björkfrö gällde ett något högre pH.

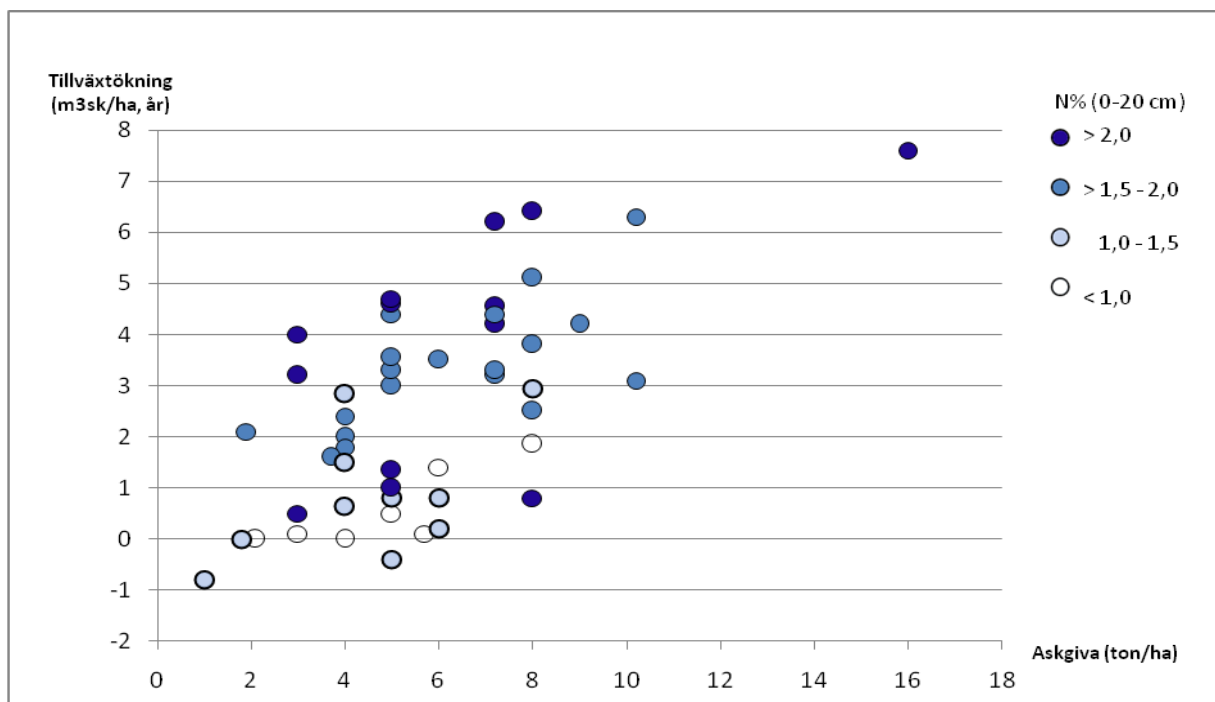
I fältförsök är däremot resultaten entydigt positiva. Till exempel visade Malmström (1935) hur aska starkt gynnade frögroningen vid en giva på 12,5 ton aska/ha på den dessförinnan näringsfattiga Norra Hällmyren. Vid uppföljning av beskogningsförsök på nedlagda torvtäcker fastställde Mikola (1975) och Leupold (2005) en god skogsproduktion på de gödslade ytorna, medan de gödslade kontrollerna förblev nästintill trädlösa.

3.6 Skogsproduktion

De flesta studier, som också är de äldsta och som gjorts för att utreda askans produktionshöjande effekt har anlagts på helt trädlösa eller glest trädbevuxna dikade myrar i Finland och Sverige (Magnusson och Hånell, 1996). Erfarenheter från försök med aska på äldre skog är däremot betydligt yngre och färre, varför det är svårt att fastställa askans långvariga effekt på sådan skog. Generellt gäller ändå att majoriteten av de försök som gjorts på askgödsling, har visat att tillförsel av bioaska på dränerad torvmark ger ett positivt resultat från tillväxtpunkt. Förmodligen beror detta på en ökad kvävemineralsättning och tillförsel av bristämnen P, K och B (Eriksson och Börjesson, 1991).

Silfverberg och Huikari gjorde 1985 en sammanställning av resultat från flera finska försök (Figur 3.2), vilka utfördes på trädlösa myrar mellan 60° och 67° N. Man jämförde totalt 55 askgödslade ytor med 24 ogödslade kontroller, som gödslats 30-40 år tidigare, och konstaterade att produktionen på de gödslade ytorna var 12-17 m³sk/ha och år. Det har visat sig att ju större askgivor som tillförts på dränerad torvmark med tall, desto tydligare och varaktigare har tillväxteffekten blivit (Silfverberg och Huikari, 1985; Silfverberg och Hotanen, 1989). Det har vidare i flera studier framkommit att askgivor på mindre än 2 ton/ha inte haft signifikant skillnad varken på trädens tillväxt (Silfverberg, 1991) eller deras näringsinnehåll (Silfverberg och Issakainen, 1987; Ferm *m fl.*, 1992) samt att volymtillväxten på kvävefattig torv (<1 %) blir liten (Silfverberg och Huikari, 1985). Silfverberg och Hotanen (1989), redovisar resultat från ytterligare ett finskt försök etablerat ca 40 år tidigare på 64°N, där askgödsling genomfördes med noll, 8 och 16 ton/ha. Den årliga produktionen som uppmättes till motsvarande noll, 8 och 10 m³sk/ha, kan jämföras med tillväxten hos tall på fastmark av blåbärstyp i södra Finland (Illvesalo och Illvesalo, 1975). Totalproduktionen (41 växtsäsonger) för de olika givorna var 12, 300 och 387 m³sk/ha. På den yta som erhållit högst mängd aska (16 ton/ha), fanns inga tecken på ett avtagande av den ökade produktionen.

Även från ett försök på Norra Hällmyren i Västerbotten erhöles övertygande resultat, med en genomsnittlig årlig tillväxt på 5 m³sk/ha 50 år efter att 12,5 ton/ha träaska tillförts på öppen dikad torvmark. På de ogödslade kontrollytorna hade däremot ingen beskogning skett överhuvudtaget (Holmen, 1977). Även Heikurainen (1973), Silfverberg och Issakainen (1987) och Silfverberg (1991) klargör tydligt askans positiva effekt på varaktig skogstillväxt. Detsamma gäller för ett gödslingsförsök vid Näsmyran i Hälsingland, där 8 ton/ha torvaska tillsattes en avslutad torvtäkt. Tretton tillväxtsäsonger efter gödslingen hade de gödslade ytorna i medeltal, en volym som var ca 10 gånger högre än den på de ogödslade kontrollerna (Leupold, 2005). Silfverberg (1991) redovisade resultat från gödslingsförsök med barkaska på en dikad och näringsfattig torvmark i västra Finland, där askan inte hade haft någon märkbar effekt på produktionen. Dock var askan mycket fattig på kalium och framförallt fosfor.



Figur 3.2 Den genomsnittliga årliga tillväxten efter olika askgivor jämfört med ogödslade ytor beräknade 21-46 år efter gödsling. Efter Silfverberg och Huikari (1985).

3.7 Nedbrytning och organismer

Tillförsel av 3 ton aska/ha på dikad näringsfattig torvmark ökade markrespirationen 2-3 gånger (Silvola, 1986, 1987). Sannolikt beror den ökade respirationen på en ökad mineralisering av kol i torven (t.ex. Malmström, 1952). Även kvävemineriseringen ökar, framförallt på kväverika torvtyper (Jappinen, 1987; Weber *et al.*, 1985). Detta borde, tillsammans med ett förhöjt ph, öka nitrifikationen. Dock har olika resultat erhållits i det sammanhanget (jmf. Martikainen, 1984, 1985; Rosén *et al.*, 1993).

Vissa bakterier och svampar gynnas av askgödsling på organogena jordar (Huikari, 1953; Weber *et al.*, 1985) och effekten kan kvarstå i åtminstone 30-40 år efter en askgiva på 10 ton/ha (Karsisto, 1979).

Askans effekt på markdjur är dåligt känd och har främst studerats på fastmark. Där pekar resultaten på att vedaska påverkar daggmaskar positivt, men småringmaskar negativt; vad gäller nematoder är resultaten otydliga; antalet hoppstjärter minskar eller förblir oförändrat; antalet kvalster som lever av svampmycel tycks minska och rovlevande kvalster förbli opåverkat. Rosén (1993), konstaterade att 1-3 år efter tillförsel av stabiliserad vedaska, tycktes kadmiumhalten i daggmaskar öka.

3.8 Markvegetation

Gödsling med vedaska gynnar oftast näringskrävande växter. Detta har visats både vad gäller botten- och fältvegetationen (Malmström, 1935, 1952; Lukkala, 1955, Vasander *et al.*, 1988). Till exempel har askgödsling av kväverika ytor inneburit en ökad frekvens av gräs och örter

(Silfverberg och Huikari, 1985; Sarasto, 1963; Merisaari, 1981). En kraftig asktillförsel (16 ton/ha) på kväverik torv resulterade i en kraftig förändring i florasamhället där dvärgarter och halvgräs ersattes med näringskrävande arter såsom vanlig tibast (*Daphne mezereum*) och brännässla (*Urtica dioica*) (Silfverberg och Hotanen, 1989). Man har funnit att med ett minskande pH och en minskande basmättnadsgrad, sjunker även artantalet bland örter i fältvegetationen (Falkengren-Grerup och Eriksson, 1990; Falkengren-Grerup och Tyler, 1993). Således torde askan, med sin basverkande effekt, innebära ett ökat artantal hos växterna på ståndorten.

3.9 Askgödsling och växthusgaser

Den emission koldioxid som dikade torvmarker står för motsvarar ca 15 % av Sveriges emission av koldioxid från förbränning av fossila bränslen (von Arnold, 2004). Att minska emissionerna från dikade torvmarker är därför av stort intresse ur klimatsynvinkel. Vid askgödsling ökar tillväxten och mer kol kan bindas av träden. På så sätt kan sådan skog bli en nettosänka av växthusgaser istället för en nettokälla. Dock finns oklarhet i huruvida denna tillväxtökning kan kompensera för den ökade växthusavgång som askgödslingen innebär. I sina försök på trädbevuxen torvmark i sydvästra Sverige, undersökte Sikström m.fl. (2006) bland annat avgången av växthusgaser efter askgödsling och konstaterade då en ökning i avgång av metangas. Denna var på 60 % (ej signifikant) andra året efter att askan tillförts. Om denna ökning antas vara faktisk och räknas om till koldioxidekvivalenter skulle den kräva en ca två procents ökning av den ackumulerade biomassan. Avgången av koldioxid var dock oförändrad och försöken kräver vidare uppföljning för att se om resultaten är kvarstående samt om nya framtida effekter kan uppstå med tanke på askans långvariga verkan i marken.

På kväverika marker (CN-kvot < 25) är risken stor för avgång av växthusgasen N₂O, som är en 296 gånger effektivare växthusgas än koldioxid. Denna risk kan minskas genom att utesluta de kväverika torvmarkerna från askgödsling (Hånell, 2004). I Sikströms försök (2006) var värdena för avgång av N₂O inte tillräckligt höga för att kunna detekteras.

3.10 Aska vs handelsgödsel

Makronäringsämnen i stabiliserad vedaska är mindre lösliga än de i handelsgödsel (Eriksson och Börjesson, 1991) och risken för skador på träden vid överdosering därför mindre (Reinikainen, 1980; Kolari, 1991). Några försök visar att vedaska ger bättre tillväxteffekter än handelsgödsel med samma näringsinnehåll, åtminstone på lång sikt (Silfverberg, och Huikari, 1985). Samtidigt har det motsatta framkommit med Kaunisto (1987) försök, där effekten av vedaska tycktes vara sämre eller ungefär lika med den för PK-gödsel.

3.11 Asktyper

Den aska som idag används av Sveaskog vid asktillförsel på skogsmark är flygaska (personligt meddelande, Ulf Nilsson). För att minska alltför plötsliga förändringar av markens pH och salthalt, och därmed reducera eventuella negativa effekter på flora och fauna, *stabiliserar* askan innan den sprids.

Sveaskog sprider idag uteslutande s.k. krossaska vid askåterföring med traktor. Det är aska som tillsatts vatten för att härda och sedan krossats. Vid traktorspridning utnyttjas med fördel redan befintliga stickvägar (Magnusson och Hånell, 2000). Vid spridning med helikopter bör

askan först formas till små granuler (granuleras) för att spridningsnoggrannheten ska bli god. Denna granuleringsprocess innebär en merkostnad (Samuelsson och Bäck, 1997). Dock medför granulerad aska även andra fördelar såsom minskade hanteringskostnader tack vare dess höga densitet och minskade problem med askdamm (Vesterinen, 2003). För att en askgödsling ska bli tillfredsställande ur tillväxtskympunkt, krävs att den aska som tillsätts håller god kvalitet. Tolkningen av kvalitet kan göras genom att se till ett av de försök som Kaunisto (1987) utfört. Där användes en aska av ”bra kvalitet” (1,7 % P och 6,58 % K) och en av ”dålig kvalitet” (0,58 % P och 1,82 % K). I Bilaga 1 syns innehållet av olika ämnen i bioaskor som Sveaskog använt vid askåterföring.

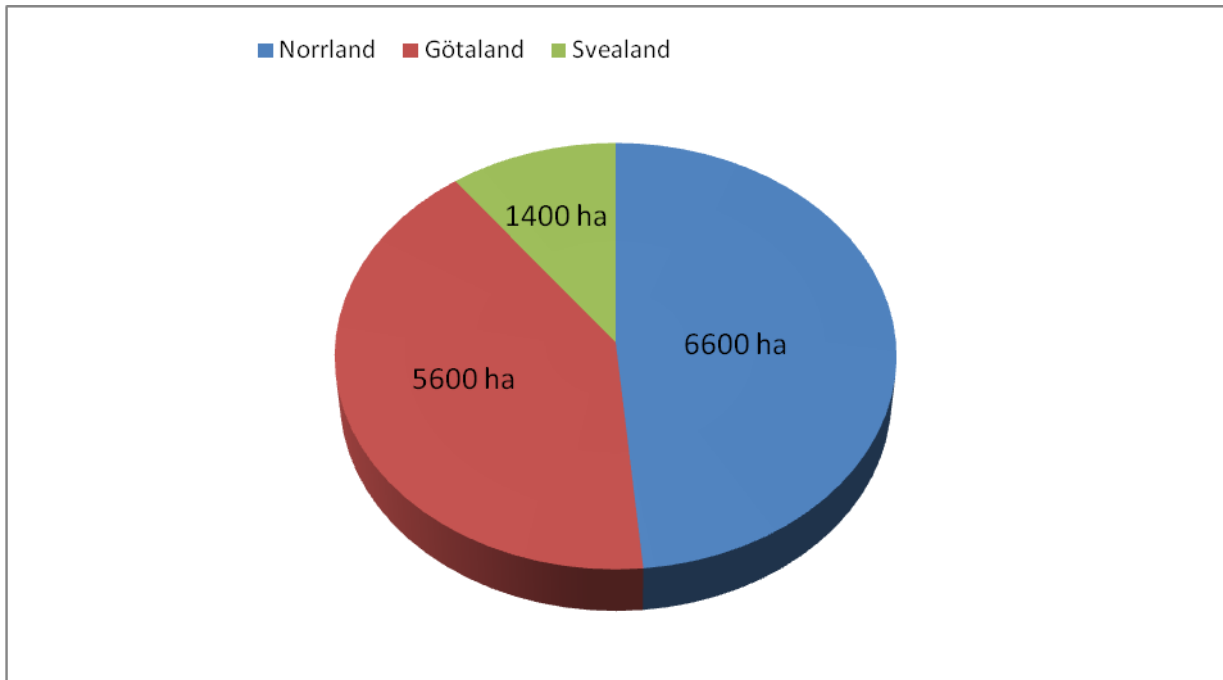
3.12 Askgödsling i Finland

I Finland finns en gammal tradition att nyttja dränerade torvmarker för skogsproduktion och förutsättningarna för askgödsling är goda eftersom mellan 5 och 6 miljoner ha har avvattnats för att kunna utnyttjas i skogsbruket (Nieminen *et al.*, 2006). Det är både granulerad aska och krossaska som sprids, antingen från helikopter eller från marken med traktor. Varje år gödglas mer än 10 000 ha med främst vedaska, men även torvaska, på medelgoda boniteter. Mest är det ung tallungskog som gödglas. SCA:s massafabrik Enocell i Finland ser askgödsling som en lönsam investering och sprider varje år aska på uppemot 1000 ha av bolagets torvmarker. I Finland är regelverket annorlunda än i Sverige, och miljöeffekterna troligen inte fullt så uppmärksammade, varför gödsling i Finland idag är mer accepterat än i Sverige (personlig kommentar, Klaus Silfverberg). Ändå har reglerna blivit striktare på senare tid, med införandet av den gräns som säger att inte mer än 60 mg Cd/ha får tillföras under 40 år med aska som maximalt får innehålla 17,5 mg Cd/kg torrsubstans (TS). Detta innebär för Enocell att maximalt 3,5 ton aska/ha kan spridas (personligt meddelande, Sauli Purho).

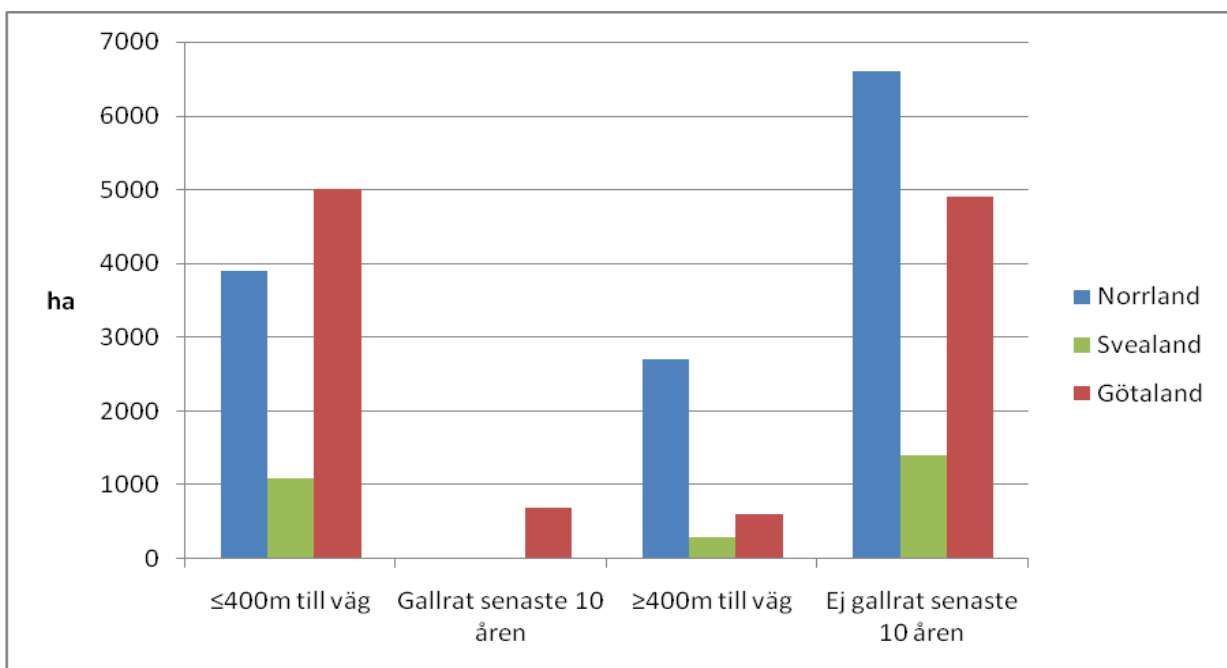
Del II

3.13 Lämpliga marker

Den totala arealen torvmark lämplig för askgödsling beräknades till 13 600 ha varav nästan 90 % återfanns i Norrland och Götaland (figur 3.3). Totalt var inte mer än 700 ha gallrade under den senaste 10-årsperioden (Figur 3.4), varför samma areal också utgjorde föremål för askspridning med traktor (Tabell 3.1).



Figur 3.3 Torvmarker lämpliga för askgödsling fördelade över landsdel



Figur 3.4. Arealen gödslingsbar torvmark med avseende på avstånd till närmsta väg och gallringshistorik, fördelat över landsdel.

Tabell 3.1. Arealen (ha) torvmark lämplig för askgödsling med avseende på landsdel och spridningssätt.

Landsdel	Traktorspridning	Helikopterspridning
Norrland	0	6600
Svealand	0	1400
Götaland	700	4900

3.14 Askans värde

Vid gödsling med restriktioner var gödsling vid planperiodens början det mest lönsamma alternativet varför det var detta som användes vid jämförelsen med gödsling utan restriktioner. Resultaten från det andra alternativet, gödsling 30 år före slutavverkning, redovisas i Bilaga 2.

Generellt gällde att ju högre tillväxteffekt och ju lägre beståndsålder, desto högre var nuvärdet. Dock blev nuvärdet vid beståndsåldern 80 år genomgående högre än det vid föregående ingångsålder, 60 år (tabell 3.2). Nuvärdet för gödsling utan restriktioner (5 ton aska var 30:e år) var högre än då restriktioner följdes (3 ton aska/ha under hela omloppstiden) vid alla ingångsåldrar om traktor användes men sjönk med ökande ingångsålder. Vid helikoptergödsling fanns samma samband, förutom för samtliga ingångsåldrar tillväxtreaktioner vid ingångsåldern 80 år. I dessa fall föreföll gödsling enligt restriktionerna vara det lönsammare alternativet (tabell 3.3).

Tabell 3.2 Det beräknade nuvärdet efter askgödsling **med restriktioner** vid varierande beståndsålder och tillväxteffekt. Gödsling sker vid planperiodens början.

TRAKTOR				
Beståndsålder vid år 0	Tillväxteffekt m3sk/ha, år			
	2	3	4	5
	NV kr/ha	NV kr/ha	NV kr/ha	NV kr/ha
20	7 914	11 725	15 536	19 347
40	7 914	11 725	15 536	19 347
60	7 914	11 725	15 536	19 347
80	10 747	15 974	21 202	26 429
HELIKOPTER				
Beståndsålder vid år 0	Tillväxteffekt m3sk/ha, år			
	2	3	4	5
	NV kr/ha	NV kr/ha	NV kr/ha	NV kr/ha
20	5 945	9 756	13 567	17 377
40	5 945	9 756	13 567	17 377
60	5 945	9 756	13 567	17 377
80	8 778	14 005	19 232	24 459

Tabell 3.3. Det beräknade nuvärdet (kr/ha) efter askgödsling **utan restriktioner** vid varierande ålder och tillväxteffekt. Tabellen visar även den procentuella skillnaden i nuvärde av att bortse från restriktionerna.

TRAKTOR								
Beståndsålder vid år 0	Tillväxteffekt m ³ sk/ha, år							
	2		3		4		5	
	NV kr/ha	Ökn %	NV kr/ha	Ökn %	NV kr/ha	Ökn %	NV kr/ha	Ökn %
20	13 552	71 %	19 942	70 %	26 332	69 %	32 723	69 %
40	12 078	53 %	17 773	52 %	23 468	51 %	29 163	51 %
60	10 579	34 %	15 524	32 %	20 469	32 %	25 414	31 %
80	10 942	2 %	16 169	1 %	21 397	1 %	27 083	2 %

HELIKOPTER								
Beståndsålder vid år 0	Tillväxteffekt m ³ sk/ha, år							
	2		3		4		5	
	NV kr/ha	Ökn %	NV kr/ha	Ökn %	NV kr/ha	Ökn %	NV kr/ha	Ökn %
20	8 360	41 %	14 750	51 %	21 140	56 %	27 531	58 %
40	7 443	25 %	13 138	35 %	18 833	39 %	24 528	41 %
60	5 944	0 %	10 889	12 %	15 834	17 %	20 779	20 %
80	7 660	-13 %	12 887	-8 %	18 114	-6 %	23 341	-5 %

4. Diskussion

4.1 Allmänt

Baserat på de forskningsresultat som finns idag, är det klart att vid tillförsel av bioaska på dränerad torvmark:

- Ökar markens pH
- Ökar kväveminaliseringen
- Ökar de tillgängliga mängderna kalcium, magnesium och kalium

Samtidigt kan kunskapen ses som bristfällig på ett antal andra punkter. Den mest intressanta av dessa och vad som kan antas vara den största orsaken till att askgödsling inte fått samma acceptans i Sverige som i Finland, är förmodligen den som rör de toxiska tungmetallerna. Dock hävdar Silfverberg (personlig kommentar) att ett hundratal studier i ämnet som denne tagit del av, inte tyder på några som helst negativa effekter vad rör tungmetallhalter i exempelvis avrinningsvatten och bär och svamp. Det är ändå osäkert hur storskalig askgödsling påverkar miljön i ett längre perspektiv. För närvarande pågår ett gödslingsförsök i vuxen tallskog på dikade torvmarker i södra Sverige, där Sikström m.fl. (2006) bland annat studerar miljöeffekter såsom utlakning av växtnäringsämnen och tungmetaller. Dess resultat kan ha stor betydelse för den framtida synen på asktillförsel som produktionshöjande åtgärd på torvmark.

Det ännu är oklart hur askgödsling påverkar den sammantagna klimatpåverkan, dvs. nettoupptaget/nettoavgången av koldioxid, metan och lustgas från de dikade och beskogade torvmarkerna. Vad gäller koldioxid är det emellertid klart att den ökning i produktion som askan medför ökar trädens upptag av koldioxid. Om man utesluter de allra näringsrikaste torvmarkerna torde också risken för omfattande avgång av lustgas minska.

I stort sett alla av de tidigare studier som genomförts med fokus på askans potential som produktionshöjare på dränerad torvmark talar samma språk: tillväxtökningen blir påtaglig. I det avseendet borde askan som gödselmedel absolut inte förbises. Även om askåterföring sker i allt större omfattning i dagens läge, har skogsägarna inget direkt incitament för att genomföra åtgärden eftersom majoriteten av återföringen sker på mineraljordar. Vissa tillväxtminskningar har konstaterats då fastmarker utarmats på näringsämnen vid stam- och/eller GROT-uttag. Detta är dock en effekt av kväveförlusterna med GROT-uttaget, och förhindras alltså bara genom återföring av kväve. (Jacobson och Kukkola, 1999). Askåterföringen handlar istället främst om att ”vara på den säkra sidan” för att försäkra sig om att markens produktionsförmåga på lång sikt behålls. Därmed inte sagt att askans verkan mot försurning i omgivande vattendrag m.m., är en oviktig punkt ur miljösynpunkt - tvärtom, är det något som borde fortsätta på de marker där det anses nödvändigt. Med marknadens stigande efterfrågan på virke, som tvingar skogsägare att finna sätt att öka produktionen, kan askan vara en av lösningarna, om det sker på dränerad torvmark. Dels är kompensationsbehovet efter uttag större på torvmarker, dels erhålls en produktionsökning jämfört med tidigare, ifall den tillförda mängden aska är tillräcklig (>2ton/ha).

Biologisk mångfald är ett välanvänt ord i dagens skogsfrågor, och en hög biologisk mångfald oftast något eftersträvanvärt. Begreppet har ingen självklar översättning, men inbegriper alla former av diversitet förknippade med våra levande organismer; från gennivå till ekosystemnivå. Även artrikedom är inorporerat i biodiversiteten. I samband med askgödsling ökar nettomineraliseringen av kväve och nya, mer näringskrävande växtarter vandrar in, vilket ofta resulterar i ett högre artantal i växtsamhället. Således kan askgödsling bidra till en ökad biodiversitet. Naturligtvis är det samtidigt viktigt att de ståndorter som askgödslingas inte utgör betydande habitat för rödlistade arter, som riskerar att försvinna vid asktillförsel.

För tillfället pågår en debatt där Sveriges skogsbolag anklagas för att skövla landets gamla naturskogar där artantalet är högt. Även i detta sammanhang skulle askgödsling på dikad torvmark kunna vara en av lösningarna på problemet. Detta eftersom växtligheten på de marker som lämpar sig bäst för ändamålet ofta kan ses som relativt ointressant ur biologisk synpunkt. Askgödsling skulle, förutom att öka artantalet, även öka tillväxten, vilket så småningom skulle kunna flytta fokus en aning från ”gammelskogarna” i fråga om virkestillgång.

Enligt FSC (6.5.8) får dikesrensning inte pågå på marker av lavrik typ, fattigristyp, kråkbärljungtyp eller starr- fräkentyp. Askgödsling kan vara motiverat på marker av starr-fräkentyp och resultera i en förändring av vegetationstyp i samband med den ökade näringstillgängligheten. Detta skulle i sin tur kunna innebära att dikesrensning på en sådan mark blir tillåten efter att askans effekt tagit vid. Dock kan en dikesrensning i vissa fall vara nödvändig för att en askgödsling ska vara befogad.

4.2 Perspektiv på askgödsling

Ytterligare en faktor som kan påverka askgödslingens framtid är samhällets acceptans. I en studie på hur personer förhåller sig till spridning av vedaska på skogsmark, var den generella uppfattningen positiv. Dock var troligen en stor orsak till detta att det framlagda syftet var att återföra näring efter skogsbränsleuttag eller motverka försurning., vilket skapar bilden av ett sunt kretsloppstänkande. Det är inte lika klart hur Sveriges befolkning ställer sig till en askgödsling där det primära målet är att höja skogstillväxten, med tanke på att det aldrig varit aktuellt i praktisk skala. Ordet askgödsling kan låta mer extremt och konstlat än askåterföring, vilket det på flera sätt också är. Naturligtvis skulle även spridningssättet inverka på folkets reaktion. Spridning med helikopter skulle sannolikt av många uppfattas som något negativt och onaturligt. Även kortvarig lagring av aska i skogen under spridningstiden av ett område skulle kunna ses som ett problem. Dock finns metoder för att minska askans negativa miljöpåverkan på lagringsplatsen, framförallt vad gäller granulerad/pelleterad aska. Förmodligen skulle en ökad kunskap leda till en ökad acceptans hos allmänheten eftersom många troligtvis är ovetande om att en stor del av askan läggs på deponi.

4.3 Valet av lämpliga marker

Vid en jämförelse med Hånells (2004) urval av marker lämpliga för askgödsling i hela Sverige (190 000 ha) kan den uppskattade arealen av desamma inom Sveaskog tyckas verka underskattad med tanke på Sveaskogs omfattning i landet. Vid en anblick av Sveaskogs övriga produktiva torvmarksareal, med ca 25 000 ha torvmark av liknande vegetationstyp som de som utgjorde en del av kriterierna i arbetet, utgör de slutgiltiga 13 600 hektaren ca 55 % av

denna. Det betyder att övriga 45 % är av lämplig vegetationstyp men istället faller ur på grund av andra faktorer såsom dikning, ålder osv. Med detta i åtanke torde resultaten ändå förefalla någorlunda rimliga. Dock bör det understrykas att medelfelet i uppgifterna från Riksskogstaxeringen blir mycket stort med tanke på att varje provyta som räknas in representerar inte mindre än 100 ha. Detta kan vara orsaken till att endast 700 ha ansågs som lämpliga för traktorspridning (var gallrade senaste 10 åren). En noggrann inventering av Sveaskogs torvmarker, med alla de nödvändiga delkriterierna, skulle förmodligen ge tillförlitligare resultat. Möjligt är även att flera av de marker som inte gallrats senaste 10 åren har ett gallringsbehov idag. Dessutom kan stickvägarna i flera bestånd vara fullt tillräckliga för att utnyttjas vid en gödsling även om gallringen inte har utförts under de senaste 10 åren. Om även sådana bestånd räknas in som lämpliga för traktorspridning borde arealen stiga betydligt. Generellt skulle arealen torvmark lämplig för askgödsling förmodligen kunna utökas avsevärt om marker medräknas som saknar diken eller är dåligt dränerade, liksom marker där torvtäcket är mindre än 30 cm.

4.4 Lönsamheten i att askgödsla

Nuvärdesberäkningarna i denna rapport är osäkra. Den största orsaken till detta är att kommersiell askgödsling idag inte pågår i Sverige överhuvudtaget, varför både kostnader (framförallt för helikopterspridning), intäkter och askans reaktion på skogstillväxten blir mycket spekulativa. En askgödsling kan innebära lägre avverkningskostnader som en följd av större medelstam, men samtidigt öka röjningskostnader i mindre välslutna bestånd efter en ökad produktion av björksly. Dessa är exempel på variabler som skulle kunna ha stor inverkan på en askgödslings lönsamhet, men som inte tagits med i detta arbete. Med tanke på kalkylernas långa planeringshorisont på närmare 100 år, ökar osäkerheten inte minst avseende de framtida virkespriserna. En annan oklarhet gäller intäkterna för den part som sprider askan. Idag erhåller Sveaskog ca 400 kr från värmeverken för varje ton aska som återförs. Detta är dubbelt fördelaktigt eftersom denna kostnad för värmeverken understiger kostnaden av att lägga askan på deponi, vilket ofta är det enda alternativet. Men om askgödsling blir verklighet i det svenska skogsbruket är det troligt att en ökad efterfrågan leder till att en konkurrens om kvalitativ aska uppstår mellan olika skogsintressenter. I sådana fall är det inte omöjligt att askan så småningom skulle kunna ses som en resurs och något som askproducenterna kan ta betalt för. Men i dagsläget är sådant inte fallet och askspridningen blir genomgående en plusaffär för Sveaskog oavsett om spridningen görs med traktor eller helikopter. Vid jämförelsen av att följa rådande restriktioner mot att inte göra det, finns en klar vinst i möjligheten att gödsla flera gånger under omloppstiden. Inräknas dessutom den extra tillväxt som 5 ton aska/ha istället för 3 ton/ha torde medföra, men som är svår att sätta ett generellt värde på, blir skillnaden än större. Vid beståndsåldern 80 år och spridning med helikopter ger dock gödsling enligt restriktionerna det högsta nuvärdet. Detta beror på att 20 år (den återstående tiden innan slutavverkning) inte räcker för att vinsten från ökningen i tillväxt, ska hinna överskrida den samtida ökningen av spridningskostnaden, som gödsling utan restriktioner innebär (kostnaden för att helikoptersprida 5 ton är ju högre än den för att sprida 3 ton).

Referenser

Almqvist, C. (1989/90: 1-6). *Gödslingseffekter på dikade torvmarker - prognoskurvor för tall (Prediction equations for estimations on Scots pine (Pinus sylvestris) response to fertilizer on drained peatland in Sweden)*. Uppsala 1990: Inst. f. Skogsförbättring. Inform. Växtnäings-skogsproduktion.

Andersson, A. (1976). *On the influence of maure and fertilizers on the distribution and amounts of plant-available Cd in Soils*. Sw. J. Agric. Res. 6: 27-36.

Bramryd, T. (1985). *Torv- och vedaska som gödselmedel. Effekter på produktion, näringsbalans och tungmetallupptag*. Statens Naturvårdsverk. PM 1997, 88 ss.

Bramryd, T., & Fransman, B. (1985). *Utvärdering av äldre gödslings- och kalkningsförsök med torv- och vedaska i Finland och Sverige*. Statens Naturvårdsverk PM 1997, 83 ss.

Clapham, W., & Zibilske, L. (1992). *Wood ash as liming amendment*. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 23:1209-1227.

Derome, J., & Pätilä, A. (1989). *The liming of forest soils in Finland*. Medd. Nor. Inst. Skogforsk. 42: 147-155.

Engfeldt, C. (2007). *Aska från energiproduktion – Producerad och använd mängd aska i Sverige 2006*. Svenska Energiaskor.

Eriksson, J. (1993). *Karakterisering av vedaska med avseende på innehåll av och löslighet hos växtnäringsämnen och tungmetaller*. Vattenfall FUD-rapport U(B) 1993/48.

Eriksson, J. (1990). *Vad innehåller vedaska? I: Aska från biobränsle - hinder eller tillgång?* Symposium i Hudiksvall, 13-14 november 1990. Bio X: 4-6.

Eriksson, J., & Börjesson, P. (1991). *Vedaska i skogen - en litteraturstudie*. Älvkarleby: Vattenfall.

Falkengre-Grerup, U., & Tyler, G. (1993). *Experimental evidence for the relative sensitivity of deciduous forest plants to high soil acidity*. For. Ecol. Manage. 60: 311-326.

Falkengren-Grerup, U., & Eriksson, H. (1990). *Changes in soil, vegetation and forest yield between 1947 and 1988 in beech and oak sites so southern Sweden*. For. Ecol. Manage. 38: 37-53.

Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M., & Issakainen, J. (1992). *Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland*. Plant and Soil 147: 305-316.

Haveraaen, O. (1986). *Ash fertilizer and commercial fertilizers as nutrient sources for peatland*. Medd. Nor. Inst. Skogforsk. 39(14): 251-263.

Heikinheimo, & O. (1915). *Kaskiviljelyksen vaikutus Soumen metsiin. Referat: der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands.* . Acta For. Fenn. 4: 1-264, 1-59.

Heikurainen, L. (1973). *Skogsdikning*. Stockholm: Nohrstedt & Söners förlag, 444 ss.

Holmen, H. (1977). *Prioritering av forskningsinsatser. Torvmarksgödsling. I: Skogsgödsling nu och i framtiden - en lägesorientering*. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademins Tidsskrift, Supplement 11, s. 23-29.

Holmen, H. (1985). *Torvaska som gödselmedel i skogsbruket*. Stockholm: Statens energiverk, rapport FBA-85/14, 10ss.

Huikari, O. (1977). *Micro-nutrient deficiencies cause growth disturbances in trees* . Silva Fenn.11: 28-29.

Huikari, O. (1952). *Suotyypin määrittäminen maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmällä pitäen (On the determination of mire types, specially considering their drainage value for agriculture and forestry)*. Silva Fenn. 75: 1-22.

Hånell, B. (2004). *Arealer för skogsgödsling med träaska och torvaska på organogena jordar i Sverige*. Värmeforsk, Stockholm.

Hämäläinen, J., & Laakonen, O. (1983). *Turvemaan varttuneiden männiköiden lannoituksen edullisuus (Profitability of fertilization in mature Scots pine stands on peatlands)*. Suo 356: 132-136.

Hämäläinen, J., Paavilainen, E., Salminen, O., & Heinonen, R. (1985). *Tuloksia ojitettujen korpikuusikoiden lannoituksesta (Profitability of fertilization in drained spruce swamps)*. Folia Forestalia 623: 1-26.

Illvesalo, Y., & Illvesalo, M. (1975). *Soumen metsätyypit metsiköiden lantaisen kehitys- ja puuntuottokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands*. Acta Forestalia Fennica 144, 101 ss.

Jacobson, S. & Kukkola, M. (1999). *Skogsbränsleuttag i gallring ger kännbara tillväxtförluster*. SkogForsk, Resultat nr 13.

Jappinen, J. (1987). *Effects of drainage and fertilization on nitrogen and phosphorus contents of mosses in two drained peatland forests*. Suo 38: 13-22.

Karsisto, M. (1979). *Effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatlands. Part II. Effect of ash fertilization* . Suo 30(4-5): 81-91.

Kaunisto, S. (1987). *Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young scots pine stands on drained mires of different nitrogen status*. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 140, 58ss.

Keltikangas, M., & Seppälä, K. (1973). *Metsänlannoituksen edullisuuden vaihtelu (Variations in the profitability of forest fertilization)*. Silva Fenn. 7 (3): 192-235.

Kenttämies, K. (1981). *The effects on water quality of forest drainage and forest fertilization in peatlands*. Water Research Institute, Nat, Board of Waters, Finland. Publ. 43: 24-31.

Kolari, K. (1991). *Ravinne- ja IAA-pitoisuuksien suhde männyn kasvuhäiröön kahdella turvemaan lannoituskoealueella*. Helsingin yliopisto, Kasvitieteen laitos, Fysiologis-anatomisen kasvitieteen lisensiaatintutkimus, 69 ss.

Leupold, S. (2005). *Vegetation sssion and biomass production after peat ash and PK-fertilization on the cutaway peatland of Näsmyran in Hälsingland, Sweden*. Graduate Thesis in Biology. SLU, Department of Forest Ecology. Stencilserie No. 107, 38 ss.

Liem, H. & m, f. (1983). *Studier av utlaknings- och vittringsprocesser för aska från torv- och biomasseförbränning. Bilagor till forskningsrapport*. Statens Naturvårdsverk PM, 1775.
Lukkala, O. (1955). *Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena II*. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 6-8:273-276.

Lumme, I. & Laiho, O. (1988). *Effects of sludge, conifer bark ash and wood fibre waste on soil characteristics and the growth of Salix aquatica*. Comm. Inst. For. Fenn. 146, 24 ss.

Lundin, L. & Bergquist, B. (1985). *Peatland fertilization. Short-term chemical effects on runoff water*. Studia For. Suec. 171.

Magnusson, T. & Hånell, B. (1996). *Aska till skog på torvmark. Ramprogram Askåterföring*. Nutek R 1996:85.

Magnusson, T. & Hånell, B (2000). *Aska för beskogning av torvtäkter - påverkan på växtnäringförhållanden, tungmetaller och vattenkvalitet*. Eskilstuna, rapport ER 18:2000: Energimyndigheten

Malmström, C. (1935). *Om näringsförhållandenas betydelse för skogsmarkens produktiva förmåga*. Medd. Stat. Skogsf. anst. 28: 571-650.

Malmström, C. (1966). *Skogssällskapets äldsta skogliga gödslingsförsök på dikad torvmark och de resultat de lämnat*. Skogssällskapet, styrelse- och revitionsberättelser, 19-45.

Malmström, C. (1952). *Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogstillväxt på torvmark*. Comm. Inst. For. Fenn. 40:17.

Martikainen, P. (1984). *Nitrification in two coniferous forest soils after different fertilization treatments*. Soil. Biol. Biochem. 16: 577-582.

Martikainen, P. (1986). *Nitrification in two fertilized pine forest soils - Academic dissertation*. University of Helsinki.

Martikainen, P. (1985). *Numbers of autrophic nitrifiers and nitrification in fertilized forest soil*. Soil. Biol. Biochem. 17: 245-248.

Merisaari, H. (1981). *Tuhkalannoituksen vaikutuksen kesto eräillä vanhoilla kokeilla*. Metsäntutkimuslaitoksen tieonantoja 13,69 ss.

Mikola, P. (1975). *Afforestation of bogs after industrial exploitation of peat*. *Silva Fenn.* 9:101-115. (In Finnish with English summary).

Moilanen, M., Fritze, H., Nieminen, M., Piirainen, S., Issakainen, J., & Piispanen, J. (2006). *Does wood ash application increase heavy metal accumulation in forest berries and mushrooms?* *Forest and Ecology Management* 226: 153-160.

Nieminen, M., Piirainen, S., & Moilanen, M. (2005). *Release of mineral nutrients and heavy metals from wood and peat ash fertilizers: Field studies in Finnish forest soils*. *Scandinavian Journal of forest Research* 20:146-153.

Nilsson, T., M, O., & Lundin, L. (1987). *Markförbättring och intensiv skogsproduktion på torvmark*. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. f skoglig marklära. Rapport nr 58, 51 ss.

Paarlahti, K. (1980). *Tuhkan toutanto ja ominaisuudet, på finska (Produktion av aska och askans egenskaper)*. *Muhoksen tutkimusas tied* 20: 13-15.

Paavilainen, E. (1976). *Effect of drainage and fertilization of peatlands on the environment*. In: *Man and the Boreal Forest* (ed. Co.O. Tamm). Stockholm: Ecol. Bull. 21, 137-141.

Paavilainen, E., & Päivänen, J. (1995). *Peatland forestry, ecology and principles*. Berlin: Springer Verlag, Ecological studies 111, 248 ss.

Reinikainen, A. (1980). *Tuhkalannoituksen ekologiaa*. *Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja* 20:20-23.

Rikala, r., & Jozefek, H. (1990). *Effect on dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings*. *Silva Fenn* 24: 323-334.

Rosén, K., Eriksson, H., Clarholm, M., Lundkvist, H., & Rudebeck, A. (1993). *Granulerad vedaska till skog på fastmark - ekologiska effekter*. Ramprogram Askåterföring, NUTEK R 1993:26.

Samuelsson, H., & Bäcké, J.-O. (1997). *Effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring - en litteraturstudie. Rapport 6*. Skogsstyrelsen.

Sarasto, J. (1963). *Ruskosammalia lyhytkortisella nevalla*. *Suo* 14(3): 44-45.

Sikström, U., Ernfors, M., Staffan, J., Klemedtsson, L., Nilsson, M., & Ring, E. (2006). *Värmeforsk Rapport nr. 974: Tillförsel av aska i tallskog på dikad torvmark i södra Sverige – effekter på skogsproduktion, södra Sverige – effekter på skogsproduktion,.* Stockholm: Värmeforsk.

Silfverberg, K. (2007, Oktober 24). Askgödsling i Finland. (T. Norrbom, Interviewer)

Silfverberg, K. (1995). *Forest regeneration on nutrient-poor peatlands: Effects of fertilization, mounding and sowing*. *Silva Fenn.* 29:205-215.

Silfverberg, K. (1982). *Nutrient analysis of Norway spruce after application of micro-nutrients*. *Folia For.* 526: 1-12 (In Swedish with English summary).

Silfverberg, K. (1996). *Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland*. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 588. (Dissertation).

Silfverberg, K. (1991). *Träaska, PK-gödsel och markförbättringsmedel på dränerade tallmyrar*. Abstract: *Wood ash, PK-fertilizer and two soil ameliorating additives on drained pine mires*. *Suo* 42: 33-44.

Silfverberg, K., & Hotanen, J.-P. (1989). *Puuntuhkan pitäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla*. Summary: *Longterm effects of wood-ash on a drained mesotrophic Sphagnum papillosum fen in Oulu district, Finland*. *Folia For.* 742, 23 ss.

Silfverberg, K., & Huikari, O. (1985). *Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemaidella*. (Wood ash fertilization on drained peatlands). *Folia Forestalia* 633.

Silfverberg, K., & Issakainen, J. (1991). *Effects of ash fertilization on forset berries*. *Folia For.* 769, 23 ss.

Silfverberg, K., & Issakainen, J. (1987). *Growth and foliar nutrients in peat-ash fertilized stands*. *Suo* 38: 53-62.

Silvola, J. (1986). *Carbon dioxide dynamics in mires reclaimed for forestry in eastern Finland*. *Ann. Bot. Fennici* 23: 59-67.

Silvola, J. (1988). *Effect of drainage and fertilization on carbon output and nutrient mineralization of peat*. *Suo* 39: 27-37. (In Finnish with English summary).

Strömngren, M. (2006). *Växthuseffekt och skogsproduktion: Hur ska vi hantera våra dikade skogsmarker? Rapport 90*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Tamm, C. (1951). *Chemical composition of birch leaves from drained mire, both fertilized with wood ash and unfertilized*. *Svensk Botanisk Tidsskrift* 45: 309-319.

Vasander, H., Lindholm, T., & Kaipiainen, H. (1988). *Vegetation patterns on a drained and fertilized raised bog in southern Finland*. Proc. the 8th Int. Peat congress, USSR Leningrad August 14-21.1988. 1: 177-184.

Weber, A., Karsisto, M., Leppänen, R., Sundman, V., & Skujins, J. (1985). *Microbial activities in a histosol: Effects of woodash and NPK fertilizers*. *Soil Biol. Biochem.* 17: 291-296.

Veijalainen, H. (1983). *Preliminary results of micronutrient fertilization experiments in disordered Scots pine stands*. *Comm. Inst. For. Fenn.* 116: 1153-159.

Vesterinen, P. (2003). *Wood ash recycling state of the art in Finland and Sweden*. VTT Processes.

Von Arnold, K. (2004). *Forests and Greenhouse gases - Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained forests on organic soils*. Linköping : Dept. of Water and Environmental Studies, 47 ss

Westman, C. J. (1981). *Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth*. Acta For. Fenn. 172: 1-77.

Väätäinen, K., Sikanen, L., & Asikainen, A. (2000). *Rakeistetun puuthuhkan metsäänpalautuksen logistiikka (Logistics of recycling granulated wood ash back to forest)*. Joensuu: University of Joensuu, Faculty of forestry, Research notes 116.

Bilaga 1

Gränsvärden för tillförsel av tungmetaller

Tabell 1.a. Takvärden, d.v.s. maximal tillförsel av tungmetaller med aska eller andra kompensationsgödselmedel till skogsmark med GRAN (eller lövträd) under en skogsgeneration jämförda med de värden som en gödsling med 3 ton aska/ha skulle innebära. Röda siffror innebär att värdet efter gödsling överstiger takvärdet i minst en landsdel (från Skogsstyrelsen).

Tungmetall	Södra Sverige*	Mellersta Sverige**	Norra Sverige***	Gödsling med 3 ton/ha
gram/ha				
As	90	90	90	58
Cd	100	50	25	32
Cr	300	200	150	168
Cu	1200	600	500	280
Hg	10	10	10	1
Ni	200	200	200	93
Pb	1000	500	250	460
Zn	20 000	15 000	10 000	2747
V	200	100	100	-

* = söder om 60:e breddgraden

** = mellan 60:e och 64:e breddgraden

*** = norr om 64:e breddgraden

Tabell 1.b. Takvärden, d.v.s. maximal tillförsel av tungmetaller med aska eller andra kompensationsgödselmedel till skogsmark med TALL under en skogsgeneration, jämförda med de värden som en gödsling med 3 ton aska/ha skulle innebära (se tabell 3). Röda siffror innebär att värdet efter gödsling överstiger takvärdet i minst en landsdel (från Skogsstyrelsen).

Tungmetall	Södra Sverige*	Mellersta Sverige**	Norra Sverige***	Tot/ha med gödsling 3 ton/ha
gram/ha				
As	30	30	30	58
Cd	100	50	25	32
Cr	300	200	200	168
Cu	800	800	500	280
Hg	5	5	5	1
Ni	200	200	200	93
Pb	400	200	100	460
Zn	10 000	7 000	5 000	2747
V	100	50	50	-

* = söder om 60:e breddgraden

** = mellan 60:e och 64:e breddgraden

*** = norr om 64:e breddgraden

Tabell 1.c. Makroelement (överst, % av TS) och spårelement (nederst, mg/kg TS) i vedaskor använda av Sveaskog vid askåterföring. Växtnäringsämnen är markerade med fet stil. "n" anger antal provtagna askor

Makroelement (% av TS)	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Si
	(n = 4)	(n = 4)	(n = 4)	(n = 4)	(n = 4)	(n = 4)	(n = 4)	(n = 3)	(n = 4)
Median	3,8	15	4,8	3,2	1,5	0,8	1,0	0,9	19
Min.	1,2	5,3	0,97	1,4	1,1	0,28	0,53	0,18	9,2
Max.	6,1	24	13	4,6	1,4	1,2	2	1,7	30

Spårelement (mg/kg TS)	As	B	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	(n = 5)	(n = 3)	(n = 6)	(n = 6)	(n = 6)	(n = 6)	(n = 6)	(n = 6)	(n = 6)
Median	19	442	10,6	56	93	0,3	31	153	916
Min.	<6	32	0,75	21	60	<0,05	17	14	153
Max.	53	1000	21	90	130	0,7	50	572	1620

Tabell 1.d. Gränsvärden för olika substanser enligt Skogsstyrelsens rekommendationer (2001).

Substanser	Högsta gräns (mg/kg TS)
B	500
Cu	400
Zn	7000
As	30
Pb	300
Cd	30
Cr	100
Hg	3
Ni	70
V	70

Bilaga 2

Kostnader/Intäkter, nuvärdesberäkningar

Tabell 2.a. Kostnader och intäkter. Kr/ton gäller för aska TS.

Kostnader	Kr/ton
Transport	78
Krossning av aska	46
Spridning med traktor	169
Spridning med helikopter	780
Granulering	91
Administration m.m.	130
Total kostnad/ha traktor 5 ton	2113
Total kostnad/ha helikopter 5 ton	5395
Total kostnad/ha traktor 3 ton	1268
Total kostnad/ha helikopter 3 ton	3237
Intäkter	
Spridning av aska (kr/ton)	520
Pris rotpost (kr/m ³ sk):	370

Tabell 2.b. Det beräknade nuvärdet efter askgödsling med restriktioner vid varierande beståndsålder och tillväxteffekt. Gödsling 30 år före planperiodens slut.

TRAKTOR

Beståndsålder vid år 0	Tillväxteffekt m ³ sk/ha, år			
	2	3	4	5
	NV kr/ha	NV kr/ha	NV kr/ha	NV kr/ha
20	1 805	2 675	3 544	4 413
40	3 261	4 831	6 401	7 971
60	5 955	8 791	11 626	14 462
80	-	-	-	-

HELIKOPTER

Beståndsålder vid år 0	Tillväxteffekt m ³ sk/ha, år			
	2	3	4	5
	NV kr/ha	NV kr/ha	NV kr/ha	NV kr/ha
20	1 356	2 225	3 095	3 964
40	2 449	4 019	5 589	7 159
60	4 044	6 879	9 715	12 551
80	-	-	-	-

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2007:5 Författare: Maija Kovanen.
Growth responses in Swedish boreal coniferous forests after addition of nitrogen as sewage sludge pellets.
- 2007:6 Författare: Jonas Kling
Att återställa en naturlig ordning. Skogshistoria och restaureringsbränning i Långsidbergets naturreservat
- 2007:7 Författare: Thomas Tjernell
Vindfällning, tillväxt och plantuppslag i en 13-årig granskärm i Medelpad
- 2007:8 Författare: Sofia Grape
Inverkan av nederbörd, temperatur och frost på årsringens egenskaper hos boreal tall (*Pinus sylvestris* L.)
- 2007:9 Författare: Christian Folkesson
Marktillstånd och potentiell borbrist på åkermark planterad med gran i Västerbottens län
- 2007:10 Författare: Johan Persson
Föryngringsresultat och beräknad virkesproduktion i naturligt föryngrade tallbestånd i Västerbotten under mitten av 1990-talet
- 2007:11 Författare: Elisabeth Lindström
Vad påverkar skogsägarnas naturhänsyn vid föryngringsavverkning i region Mellannorrland?
- 2007:12 Författare: Björn Erhagen
Löslighet och metylering av kvicksilver i en förorenad sjö (Ala-Lombolo) i Kiruna kommun
- 2007:13 Författare: Irina Kero
Utbyte av massaved och biobränsle i några typbestånd av Contorta
- 2007:14 Författare: Fredrik Gardmo
Uttag av energisortiment vid gallring av contorta, ett komplement till konventionell gallring?
- 2007:15 Författare: Lisa Werndin
Effekter av gödsling i äldre tallbestånd på renbetesväxter i fält- och bottenskipt
- 2008:1 Författare: Anna Bylund
En analys av SCA Skog AB's metod för egenuppföljning av gallringar
- 2008:2 Författare: Lars Johansson
Plantering av gran (*Picea abies* L. Karst) på kalhyggen och självföryngring under högskärm av björk (*Betula pendula* och *Betula pubescens*) – Föryngringsresultat 7-10 år efter avverkning
- 2008:3 Författare: Nathalie Enström
Heavy metal accumulation in voles, shrews and snails after fertilisation with pelletized and granulated municipal sewage sludge
- 2008:4 Författare: Jenny Sallkvist
Relationer mellan Norske Skog och de privata skogsägarna i Jämtland
- 2008:5 Författare: Emma Sandström
Skötsel av tätortsnära skogliga rekreationsområden. Besökarens upplevelser i norra och södra Sverige