



Behandling av aska från biobränslen för spridning på skogsmark - etapp 1

Henrik Bjurström, Rolf Sjöblom

**Behandling av aska från biobränslen för spridning på
skogsmark - etapp 1**

Treatment of biofuel ashes for forest recycling

Henrik Bjurström, Rolf Sjöblom

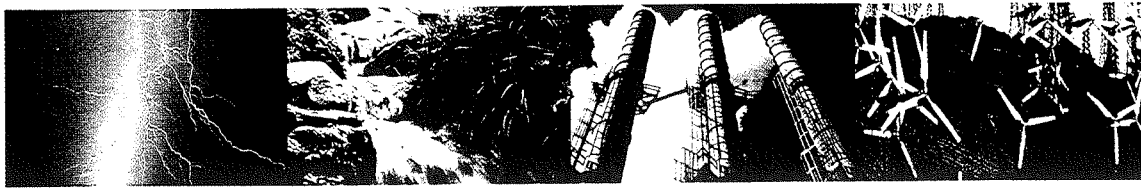
U3-608

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

101 53 STOCKHOLM - TEL 08/677 25 80

Mars 1997

ISSN 0282-3772



VÄRMEFORSK

BEHANDLING AV ASKA FRÅN BIOBRÄNSLEN FÖR SPRIDNING PÅ SKOGSMARK - ETAPP 1

Stockholm 1997-02-28

Henrik Bjurström, Rolf Sjöblom



ÅF-ENERGIKONSULT

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Inledning	9
2 Uppdrag, syfte och uppläggning av rapporten	10
3 Bakgrund	11
3.1 Ett uthålligt skogsbruk	11
3.2 Ramprogram Askåterföring	12
3.3 Övriga aktiviteter i Sverige	14
3.4 Aktiviteter utomlands	15
4 Funktionskrav	18
5 Askans egenskaper samt hantering, behandling och spridning	21
5.1 Biobränsleråvara, förbränningsprocesser och askans egenskaper	21
5.2 Behandling och lagring	24
5.3 Transport och spridning	26
6 Utredning, analys och diskussion	27
6.1 Förutsättningar	27
6.2 Härdningsprocessen	30
6.3 Agglomerering	33
6.4 Hantering, lagring och spridning	35
6.5 Kostnader	36
6.6 Utvecklingsfrågor m m	38
7 Slutsatser	42
8 Referenser	46

SAMMANFATTNING

Det bränsle som är lättast tillgängligt för en ökad produktion av energi från förnyelsebara källor i Sverige är det skogsbränslet, dvs avverkningsrester. Dess användning innebär att kretsloppet av mineraliska näringsämnen bryts. Syftet med återföring av askan efter detta bränsle är att kompensera för uttaget och återskapa kretsloppet.

Återföring av aska från förbränning av bibränslen till skogsmark bör ske utifrån gemensamma behov beträffande miljö, hälsa och hushållning med naturresurser samt askproducentens och skogsägarens behov av god teknik och ekonomi. Tydliga struktureringar och formuleringar av funktionskrav utifrån dessa olika aspekter bör utgöra en grund för det fortsatta arbetet med att utveckla och implementera lämpliga och effektiva system.

Ett omfattande utvecklingsarbete har bedrivits, särskilt under senare år, utomlands och i Sverige, inte minst inom *Ramprogrammet Askåterföring*, vilket finansieras av Vattenfall, Sydkraft och NUTEK, samt av olika anläggningsinnehavare. Den sammanställning av resultaten av dessa utvecklingsinsatser som redovisas i rapporten visar att en stor del av det kunskapsunderlag som erfordras för återföring av aska från förbränning av bi-bränslen till skogsmark redan föreligger.

Återföring av aska innebär att kretsloppsprincipen efterlevs och näringsämnen återförs vilket befrämjar tillväxten. Samtidigt är risken för skada på skog och mark ringa. Även hälsoriskerna bedöms vara små under förutsättning av att lämpliga åtgärder vidtas för att undvika damning.

Behandling och hantering av aska bör utgå från att befintliga metoder och befintlig utrustning för spridning av granulerat material på skogsmark utnyttjas. Detta innebär sannolikt att det material som skall spridas bland annat bör ha lämplig kornstorleksfördelning och lämplig fukthalt. Detta kan åstadkommas genom endera av två principiellt olika behandlingsförfaranden: självhärdning och krossning samt granulering och torkning.

- Risken för skada på det som växer till följd av återföringen av aska är liten
- Återföring av aska kan förväntas ha positiva effekter på skogen genom att näringsämnen till(åter)förs och genom att förurningen motverkas.
- Under förutsättning att granuler framställts till lämplig kvalitet bedöms spridning kunna ske med konventionell (och ofta befintlig) utrustning.
- För att kunna lagras, hanteras och spridas behöver askan granuleras till rundad granulform, kornstorlek i intervallet 0,1 - 5 mm med lämplig gradering och med liten finfraktion samt i vissa fall torkas till lämplig fukthalt (se ytterligare nedan).
- Den runda formen ger goda flytegenskaper, kornstorleksfördelningen goda spridningsegenskaper och frånvaron av finfraktion innebär att pulvret inte dammar vid hantering.

- I vissa fall härdar aska i kontakt med vatten vilket kan utnyttjas, dels för att granulera askan till lämplig form, dels för att göra den lagom beständig mot (urlakning i) vatten.
- I flertalet fall hårdnar inte aska i kontakt med vatten. Detta behöver kanske ej heller vara nödvändigt eftersom askpartiklar i lämplig blandare, lämplig process (inklusive väl avpassad mängd vatten) bedöms kunna ge tillräckligt hållfasta samt även i övrigt lämpliga granuler (jmf ovan). Eventuellt behöver tillsatsmedel med lågt pris per ton användas. Det förefaller också möjligt att utnyttja restprodukter för detta ändamål.
- Luftens innehåll av koldioxid kan i vissa fall bidra till hårdningen av askan genom karbonatisering.
- Sannolikt erfordras begränsningar i fukthalt för att granulerna ej skall klumpa ihop sig under lagring och transport samt flyta under hantering. Vid lagring under kalla betingelser kan fuktiga granuler tänkas frysa och därmed vittra sönder. Låg fukthalt innebär sannolikt en högre hållfasthet.
- Utredningar, bland annat från ramprogrammet, visar att strängsprutning sannolikt blir dyr samtidigt som kornformen och kornstorleksfördelningen bedöms bli mindre gynnsam.
- Behandling i intensivblandare (Eirichblandare och Lödigeblandare) har visats ge lämplig granulform och granulstorleksfördelning. Eventuellt erfordras torkning alternativt användande av tillsatser för att granulerna skall kunna lagras och hanteras.
- Behandling i rullpress kan sannolikt ske med låg vattentillsats. Eventuellt föreligger svårigheter att erhålla lämplig granulstorlek och granulstorleksfördelning för spridning med befintlig utrustning
- Bedömningen i denna rapport är att granulering i intensivblandare kan utföras till kanske 100 kronor per ton exklusive eventuella kostnader för tillsatsämnen och/eller torkning.
- I kostnaderna bör även medräknas årstidslagring i silo eventuellt vid temperaturer över vattnets fryspunkt. Dessa kostnader har emellertid inte varit föremål för någon uppskattning.

Olika tekniska och ekonomiska aspekter av betydelse för val av metod samt utformning av system redovisas och diskuteras i rapporten. Behov av ytterligare utvecklingsinsatser har identifierats inom följande områden: funktionskrav/utförandekrav, provtagning/provning/kvalitetssäkring, granuleringsförfarande, hårdningsprocessen samt torkning/sintring.

SUMMARY

Logging residues are the easiest available fuel for an increased production of energy in Sweden from renewable sources. A consequence of their removal from the forest is that the cycle of mineral nutrients is broken. The purpose of recycling the ash after this fuel to forest land is to compensate for the removal and close again the nutrient cycle.

Recycling nutrients and returning the inorganic components of the biomass removed from the forest should be performed in accordance with general principles of environmental protection, health considerations and the good house-keeping of natural resources. The activities should also be carried out in accordance with the needs of the forest and energy plant owners regarding good technology and economy. This implies that functional requirements originating from these principles and needs should be clearly structured and formulated and that such requirements should provide a basis for the continued development work as well as for the implementation of suitable, economical and efficient systems.

Comprehensive development work has been carried out, especially during the last several years, abroad as well as in Sweden, not least within the Research Program Wood Ash Recycling which is being financed by NUTEK, Vattenfall and Sydkraft. Development work has also been carried out by various plant operators. This work has been compiled and the conclusions are presented in the present report. It is concluded that a large part of the knowledge base needed for the returning of the inorganic constituents of the biofuel to the forest has already been established.

Returning inorganic constituents implies that the principle of recirculation is followed as well as that nutrients are brought back which improves accretion in the forest. At the same time, the risk of damage to the forest can be assessed as insignificant. Furthermore, the risks to human health are also assessed to be insignificant provided that pertinent precautions are taken to avoid dusting.

A prerequisite for the establishment of systems for the treatment and handling of ash should be the utilisation of available processes and equipment for spreading of granulated material on forest grounds. This probably implies that the material to be spread should have, amongst other properties, a suitable grain size and a suitable moisture content. Such material can be produced through either of the following paths: self-curing together with subsequent crushing, and granulation possibly combined with drying.

- The risk of damages on vegetation caused by wood ash recycling is small
- Recycling ash may be expected to have a positive effect on forest through returning nutrients and alleviating soil acidification
- Provided granules are produced with a suitable quality, spreading should be possible with conventional (and often existing) equipment
- To allow storage, handling and spreading, ash should be granulated to a round shape, with a particle size in the interval 0.1-5 mm, a suitable size distribution and a small proportion of tailings. In some cases, the ash granules should be dried to a suitable water content (see below)

- The round shape yields favourable flow properties, the particle size distribution yields an even spreading and dusting is avoided if there are no tailings.
- In certain cases, ash cures in contact with water, which behaviour may be utilised to agglomerate ash to a suitable shape and to provide it with suitable leaching properties.
- In the majority of cases ash does not cure in contact with water. This may not be necessary because granulation using an appropriate mixer in a suitable process (a o adequate water addition) may yield granules that are strong enough with the desired shape. Low cost additives, possibly waste products themselves, may have to be used.
- The carbon dioxide in air may in some cases contribute to the curing of ash through carbonation
- The water content of granules may have to be controlled so that these do not aggregate during storage or transport and so that these flow satisfactorily during handling. When stored under certain circumstances, moist granules may freeze and disintegrate. A low humidity content may yield stronger granules.
- Studies suggest that extrusion probably is expensive and that particle shape and size distribution may be less favourable.
- Treatment in mixers (such as Eirich or Lödige mixers) yields suitable particle shape and size distribution. Drying or additives may be needed in order to allow storing and handling the granules.
- Treatment in a cylinder press may require only a small addition of water. It may possibly be difficult to obtain particle size and size distribution suitable for spreading using existing equipment.
- Granulation in a mixer may probably be performed at costs of ca 100:- per ton, excluding costs for additives or drying.
- Costs for seasonal storage in a silo, possibly at temperatures above freezing, should be included. These costs have not been estimated.

In the present report, technical and economical aspects of importance for the selection of method as well as for the establishment of a system are described and discussed. The need for further development work is identified in the following areas: functional requirements - operational requirements, sampling, testing and quality assurance, granulation, curing processes and drying/sintering.

1 INLEDNING

Vid förbränning av biobränslen från skogsbruk erhålls en aska vars oorganiska innehåll svarar mot 1-3 % av den ursprungliga torrvikten. Hittills har denna aska deponerats som avfall. På senare år har denna praxis ifrågasatts utifrån ett antal utgångspunkter, vilka ofta varit sammanflätade med varandra.

Från samhällets sida - samt utifrån viljan hos aktörerna att ta sitt ansvar som goda samhällsmedborgare - ställs önskemål och krav från i första hand tre utgångspunkter: naturresurser, miljö och hälsa.

Skogen är en naturresurs som inte får utarmas. Uttaget av stamved och av hyggesrester innebär att mineralämnena i veden bortförs från skogen [M Olsson, 1996]. Förlusten kompenseras inte till fullo av vittringen. Återföring av askan till skogsmarken skulle kunna leda till att utarmningen av skogen motverkas och att skogsbruket blir uthålligt. Kretsloppsprincipen följs för mineraliska näringsämnen.

Miljöhänsynen innebär dels att spridning av aska kan motverka eller förhindra miljöförstöring, dels att spridningen inte bör ske på ett sådant sätt att miljön skadas.

Kravet på hälsa innebär bland annat att behandling, hantering och återföring av aska bör ske på sådant sätt att människors hälsa inte skadas. Detta gäller såväl de som arbetar med askan som människor i allmänhet.

Det finns även skäl ur "näringssynpunkt" att sprida askan. Man slipper deponering och får en viss kalknings- och gödnings effekt vilket kan tänkas påverka tillväxten i skogen gynnsamt.

Behandling, hantering och spridning av aska från förbränning av biobränslen kan göras på många sätt. De olika stegen är starkt beroende av varandra, och det är av väsentlig betydelse att valet av system för askåterföring sker utifrån ett helhetsperspektiv. Viktiga komponenter i systemet innefattar förbränningsprocessen, metod för utmatning av askan, agglomerering, eventuell torkning, mellanlagring, transport, spridning samt den spridda askans funktion i skogen.

Det framstår således som angeläget att de lösningar som väljs dels svarar mot behoven avseende naturresurser, miljö och hälsa, dels är gynnsamt för skogsbruket och kan genomföras i praktiken till en rimlig kostnad.

För närvarande pågår utvecklingsarbete på många håll avseende askåterföring. Regeringen och berörda myndigheter förbereder lagstiftning beträffande deponiavgifter. Redan i dag ställer länsstyrelser i vissa fall krav på värmeanläggningar att återföra askan från förbränning av biobränslen till skogsmark.

2 UPPDRAG, SYFTE OCH UPPLÄGGNING AV RAPPORTEN

Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning har gett ÅF-Energikonsult Stockholm AB i uppdrag att:

- studera vad som utförts nationellt och internationellt vad gäller behandling av aska från förbränning av biobränslen, samt att
- kartlägga försök som har genomförts eller som pågår avseende behandling av aska från förbränning av biobränslen i svenska anläggningar.

Syftet med uppdraget är att sammanställa befintlig kunskap inför kommande arbete med att välja och utveckla metoder och processer för behandling av aska för spridning på skogsmark. Syftet med uppdraget är också att identifiera behovet av ytterligare kunskap.

Kunskapsunderlaget skall innehålla dels sådan grundkunskap som kan erhållas från litteraturstudier, dels teknisk kunskap kring metoder, system och processer.

I uppdraget ingår även att analysera och diskutera relevanta frågeställningar kring de olika processerna samt att identifiera behov av utvecklingsarbete.

Denna rapport beskriver således vad de olika aktörerna gör, vad som kommit fram inom dessa program samt vår egen analys stödd av viss kompletterande information. Författarna till denna rapport har därför bedömt det som betydelsefullt för läsaren att i rapporten kunna särskilja dessa tre aspekter och exempelvis lätt kunna identifiera vad som kommit fram inom ramen för askåterföringsprogrammen från det som är ett resultat av rapportförfattarnas egna överväganden.

Rapporten har därför fått följande indelning. I avsnitt 3 beskrivs vilka aktörer - i Sverige och utomlands - som arbetat med vilka frågor. Avsnitt 4 beskriver de funktionskrav som enligt bakgrundsmaterialet ligger till grund för de olika arbeten som utförts i Sverige. I avsnitt 5 sammanfattas de resultat som erhållits hittills inom ramen för de olika projekten som tidigare omnämnts i avsnitt 3. Avsnitt 6 avser författarnas egen analys och diskussion samt visst kompletterande bakgrundsmaterial.

Vi ber samtidigt läsaren om överseende med de upprepningar som denna disposition oundvikligen innebär.

Denna utredning har utförts av Henrik Bjurström och Rolf Sjöblom vid ÅF-Energikonsult Stockholm AB. För informationsinsamling från Nordamerika har anlitats John Young, Applied Science Associates, Halifax, NS.

Författarna riktar ett tack till Erik Larsson, Svenska Fjärrvärmeföreningen, Bo Skoglund, Örebro Energi, Lars Wrangén, Värmeforsk och Per Levén, ÅF-Energikonsult Stockholm som granskat rapporten och lämnat synpunkter.

3 BAKGRUND

3.1 Ett uthålligt skogsbruk

Frågan om återföringen av askan efter förbränningen av trädbränslen till den skogsmark från vilken bränslen tagits ut, är sammanflätad med flera andra frågeställningar. En är kvittblivningen av ett fast avfall när deponering på tipp försvåras; en annan är uthålligheten i skogsbruket, vilken berör näringsbalansen i marken och omfattningen på uttaget av biomassa; en tredje är förurningen av skogsmark och ytvatten mot vilken myndigheter vidtar åtgärder i stor skala.

Aska är en restprodukt från omvandlingen av bränsle, eller avfall, till energi. Vid förbränningen eller förgasningen av biobränslen är det huvudsakligen den organiska delen av bränslet som omvandlas till koldioxid, vattenånga, kvävgas m m. Den oorganiska delen återfinns i huvudsak i askan, som utgör 1 à 3 % av det ingående bränslets massa. För förbrännings- eller förgasningsanläggningar regleras askhanteringen ofta i ett särskilt villkor: askan skall deponeras. Tipparnas kapacitet är begränsad och det är mycket svårt att anlägga nya tippor. I sig själva utgör dock inte askorna från eldningen av biobränslen något större problem i detta sammanhang, eftersom det ännu är frågan om begränsade volymer [Timm, 1991].

En av förutsättningarna för en ökad användning av biobränslen är tillgång till billigt trädbränsle. Stamved har ett för högt ekonomiskt värde, men hyggesrester som normalt lämnas att förmultna har litet eller inget. Emellertid innebär förmultnandet av resterna att huvuddelen av deras oorganiska innehåll, de mineraliska näringsämnen, blir tillgängliga för nästa generation träd. Bortförs hyggesrester finns en risk för att marken utarmas, varpå skogen får en sämre tillväxt. Det finns därför anledning att inte utnyttja till övermått detta billiga biobränsle. Skogsstyrelsen har utfärdad råd om begränsning av uttag av traddelar utöver stamvirke [SKFS 1986:1, Bucht, 1991]. Av vikt är markens beskaffenhet, och råden innebär att endast hälften av i landet tillgängliga volymer trädrester kan utnyttjas. Skall en större andel tas ut, dvs skall rester tas ut från känsliga marker, krävs kompensationsgödsling genom vilken man tillför i stort sett de näringsämnen som bortförts vid avverkningen. De mineraliska näringsämnena, förutom kväve, finns i askan efter förbränningen av hyggesresterna.

Ett aktuellt problem för skogsbruket är förurningen av marken. Förurningen har sitt ursprung i otillräcklig rening av rökgaserna från förbränningen av i huvudsak fossila bränslen. De kväveoxider och svaveloxider som följer med nederbörden skjuter syra-bas-jämvikten i mark åt det sura hållet. Ett sänkt pH i marken ökar utlakningen av de nödvändiga baskatjonerna och ämnen såsom aluminium blir mer tillgängliga, med skador på vegetation som följd. Problemet är akut i delar av landet och en åtgärd med verkan på kort sikt är den kalkning i stor skala som utförs bl a av Naturvårdsverket och av Skogsstyrelsen. Syftet är att återställa syra-basförhållanden i markerna.

Markens hälsotillstånd med hänsyn till förurningen är emellertid inte endast en fråga om kalkning. Processerna i marken är mer komplexa, och en slutsats från Naturvårdsverkets försöksverksamhet är att markens näringsstillstånd i övrigt bör beaktas när man vidtar åtgärder mot markförurningen [Staaf m fl, 1996, Ericson m fl, 1993]. Kalkning efter

försurning kan förvärra en näringsbrist. Man har därför sökt råda bot på detta genom att komplettera kalken med andra ämnen, den s k skogsvitaliseringen. Träaskan i sig är basisk och har god kalkningsverkan, samtidigt som den tillför en mer komplett uppsättning näringsämnen än kalken. Träaskan kunde därmed vara ett lämpligt komplement.

Skogsmarkskalkningen och skogsmarksvitaliseringen medför en storskalig, myndighets-sanktionerad användning av vedaskan eller av biobränsleaskan. Samtidigt förskjuts frågeställningen från en ren återföring av askan till den plats där bränslet togs ut, till en användning av aska som förbättrande medel.

Askan innehåller emellertid inte enbart de näringsämnen som behövs i skogen, utan också andra ämnen, såsom tungmetaller som inte har någon känd uppgift och kan vara föroreningar i bränslet. Denna sammansättning gör att askan är både en resurs och ett miljöproblem. Den mängd tungmetaller som får tillföras skogsmark är begränsad, se avsnitt 4.

3.2 Ramprogram Askåterföring

Ramprogrammet Askåterföring är ett sammanhållet forsknings- och utvecklingsprogram med målen att klargöra hur askåterföring påverkar förutsättningarna för en uthållig och hög biobränsleproduktion, och att utveckla/utvärdera storskaliga system för askhantering. Programmet som löper 1992-1996 finansieras av Vattenfall, Sydkraft och NUTEK. Insatserna fördelas på tre delområden: Återföring av aska till skogsmark, Askhantering och Askkaraktärisering [Ström, 1994, Fahlin, 1996]. En av ramprogrammets viktigaste uppgifter är att ta fram tillräckligt underlag för att berörda myndigheter (Naturvårdsverket och Skogsstyrelsen) skall kunna lämna rekommendationer och fatta policybeslut när det gäller återföring av aska. Ett antal av ramprogrammets projekt samfinansieras också med Naturvårdsverket och Skogsstyrelsen.

Ramprogrammet är inriktat på askåterföring som kompensation för uttag av bränsle. Programmet omfattar därför inte spridning av aska till åkermark för livsmedelproduktion. Programmet omfattar inte heller spridning av torvaska till skogs- eller torvmarker.

Återföring av aska till skogsmark omfattar studier av de ekologiska effekterna av askåterföringen, bl a nitrifikation och kväveutlakning, tillgång på mineralämnen och spårämnen, tungmetallflöden samt effekter på flora och fauna. Resultaten av dessa studier är att inget finns som tyder på att askåterföring ger upphov till några negativa effekter, under förutsättning att askan sprids i stabiliserad form och i rimlig dos. Flera projekt som rör ekologiska effekter av spridning av aska och kalk samfinansieras med Naturvårdsverkets vitaliseringsprogram.

Delområdet *Askhanteringssystem* behandlar de tekniska och organisatoriska systemen för återföring av aska till skogsmark. Här utvärderas och utvecklas tekniker för behandling av aska och studeras hur system för hantering och spridning av aska skall utformas.

När askan tas ut ur en anläggning är den finfördelad. I en första studie [Nilsson, 1993] har EnerChem AB undersökt vilka metoder som står till buds för agglomerering av askan

till större korn. Syftet är att minska lakbarheten hos de olika ämnena i askan så att chockeffekter kan undvikas. Samtidigt blir spridningen av askan enklare och damningen minskar. I rapporten beskrivs ett antal granuleringstekniker översiktligt. Kompaktering av askan i extruder medför generellt stort slitage och tryckarbeteⁱ. Rullning med tallrik eller trumma medför litet slitage, men utrustningen blir dyr för små kapaciteter. Befuktning av aska, självhärdning, krossning och siktning är den teknik som förordas när askans egenskaper är lämpliga.

Tillsammans med Skogsstyrelsen har EnerChem AB genomfört flera studier av framställning av självhärdad krossaska och dess spridning i skogsmark. Ramprogrammet har även bidragit till ett större försök utfört vid Falu Elverk. Kompakteringen av aska inför härdningen genom valspressning undersöks f n av Sydkraft Konsult.

Ett fåtal askor har så högt innehåll av tungmetaller, bl a kadmium, att de inte kan återföras till skogen. Vid Vattenfall pågår ett utvecklingsarbete som syftar till en termisk rening av askan, antingen i själva förbränningsprocessen eller i en särskild anläggning.

Inom delområdet *Askkarakterisering* studeras askans sammansättning, tekniska egenskaper och lämplighet för återföring samt hur dessa påverkas av faktorer som bränsleval samt teknik för omvandling och stoftrening. Askans egenskaper har undersökts för när den är härdad både kemiskt och fysikaliskt samt endast kemiskt. Undersökningar pågår beträffande hur stor del av näringsämnena i askan som är tillgängliga för växter och hur de lakas ut från askan. Undersökningarna genomförs av Inst. för Oorganisk Kemi vid CTH/GU, IVL, SLU och Kemakta Konsult AB.

Samtliga arbeten som finansieras av Ramprogram Askåterföring skall publiceras i NUTEK:s rapportserie. Två rapporter kom ut 1993, tre 1994 och under 1996 har hittills ett dussin kommit ut. Ytterligare rapporter skall vara på väg [Nilsson, 1996]. Därtill kommer en syntesrapport senare under 1996 eller 1997.

Ramprogrammet har föregåtts av FoU som har fått stöd från NUTEK, Vattenfall och Sydkraft, gemensamt eller var för sig. Vattenfall samarbetade 1989-1992 med Södra skogsägarna om Projekt Skogskraft. Målet för detta projekt var att utveckla och demonstrera metoder och system för att trädbränslen ska bli praktiskt, ekonomiskt och miljömässigt möjliga att använda i en skala lämpad för produktion av värme och kraft [Ericson, 1993, Ericson, 1994]. Spridning av granulerad aska har undersökts i ett fältförsök [Oskarsson, 1991].

Undersökningar av ekologiska effekter av askåterföring fortsätter i NUTEK:s program "Uthållig produktion av biobränslen från skogsmark" under perioden 1997-1999 [NUTEK, 1996].

ⁱ Med pelletering brukar man avse framställningen av cylindriska stavar, de s k pelleter, i vilken en massa pressas genom en hålmatrix. Pelletisering, troligen från engelska pelletization, motsvarar granulering.

3.3 Övriga aktiviteter i Sverige

Vid sidan om Ramprogram Askåterföring pågår flera verksamheter i större eller mindre skala. En kartläggning över hur askan behandlas har utförts av EnerChem AB på uppdrag av Ramprogrammet [Nilsson & Jönsson, 1996], utgående från en enkät utförd av Svenska Fjärrvärmeföreningen. I samarbete med SVEBIO och Svenska Fjärrvärmeföreningen har Ramprogrammet anordnat en konferens om de tekniska aspekterna för askåterföringen: behandling, lagring och spridning. Beskrivningen nedan utgör därför endast en kortfattad sammanställning över aktiviteter. För en beskrivning av resultat och slutsatser hänvisas till avsnitt 5. Spridning av aska på åkermark eller användning i komposter behandlas inte här.

Tyngdpunkten i insatserna ligger på behandling av aska i större eller mindre skala: självhärdning i huvudsak, granulering och pelletering i mindre omfattning. Flera spridningsförsök har utförts eller kommer att utföras med ekologisk uppföljning. Initiativet kan ha tagits av miljövårdande myndigheter, av uppfinnare eller av askproducenten: energi-producenter och skogsindustrin.

Falu Energi: verksamheten vid Falu Energi har fått stöd dels från Ramprogrammet, dels från olika intressenter: Mellanskog Bränsle AB, Skogens Gödslings AB, Sätters Energi-verk och Hedemora energi [Backman, 1996, Danielsson, 1996]. Huvudutförare är Falu Energi och Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för Skogsteknik i Garpenberg. Hela produktionen av flygaska under eldningssäsongen 1994/95, ca 450 ton, användes under första försöket att framställa självhärdad aska. Efter befuktning lämnades askan att härda utomhus och spreds hösten 1995 med utrustning för skogskalkning.

Pelletering: för ca tre år sen utförde IKAB för Iggesunds Bruks räkning försök att pelletera träbränsleaska utan och med inblandning av grönlutslam som bindemedel [Fredin, 1991, Berglund, 1991]. I ett senare projekt 1995 tillverkades ca 17 ton pelleter dels med grönlutslam (ca 3 t) som bindemedel, dels utan slam, men ibland lite tallolja [Wexell, 1996]. Intressenter för det senare projektet är SBI Nord, IKAB, SCA, Mellanskog, Bollnäs Energi, Hudik Kraft, MoDo Iggesund samt Stora Skog. I samarbete med SLU och Stockholms Universitet skall effekterna av askspridningen studeras i fält.

Kalmar: vid Kalmar Energi har en pilotskaleanläggning byggts upp. Askan befuktas, samgranuleras i trumma med dolomit och torkas med hjälp av rökgaser. Projektet har utförts i samarbete med Kalmar Högskola. Rapport ges ut inom kort [Claesson, 1996]. Patent har sökts.

Luleå Tekniska Högskola: vid Avd. för Restproduktteknik har flera examensarbeten utförts om hanteringen av aska. I två parallella arbeten 1994 har dels hanteringen av askan vid AssiDomän Kraftliner (med tonvikt på självhärdning), dels logistiksystemet för återföringen av askan studerats [Aunes, 1994, Lindberg, 1994].

Enligt Nilsson & Jönsson har inte askbehandlingen (härdning) studerats vidare i de arbeten som utförs av Luleå Tekniska Högskola.

EBRI AB: Under 1995 har EBRI AB provgranulerat aska från Eskilstuna Energi med en Lödige intensivblandare. I samråd med Vattenfall utfördes ett utökat försöksprogram med aska från åtta olika verk i 70 kg satser [Nordenberg, 1996]. Den satsvisa processen är följande: huvuddelen av askan homogeneiseras, i nästa steg befuktas den och blandas till en deg och i sista steget tillförs resten av askan. Granulerna kan torkas efter genomgången process. Patent har sökts [Thege, 1996].

Renoma: företaget hör till Norcemkoncernen (tidigare Cements). Enligt samtal med Bo Fransman och Lars Marcusson vid Renoma har man tagit fram metoder för att tillverka granuler lämpliga för spridning på skogsmark med hjälp av befintlig utrustning [Fransman & Marcusson, 1996]. Kornstorleksfördelning och kornform hos det granulerade materialet indikerar att någon form av trumblandare eventuellt med mixertillsats har använts. I vissa fall har man använt sig av tillsatser med lågt pris per ton. Utvecklingsarbetet har skett med syfte att få fram processer för att kunna utföra behandling av aska som en tjänst till olika energianläggningar.

WIECO: aska och slam samgranuleras i trumma [Lindahl, 1996]. Proov på askgranulering har utförts åt Skellefteå Kraft.

STORA: verksamhet pågår dels hos STORA Research, dels i de olika bruken [Sundin, 1996a]. Flera granuleringstekniker har provats, likaså självhärdning med och utan tillsats av slam. Ett pilotförsök har utförts i Fors med utrustning från Denver Sala, numera Svedala Pumps & Processes: askan befuktades och granulerades i en micropelletizer. Askan lagrades utomhus fyra månader innan den spreds.

Örebro Energi: Askan är normalt en blandaska (kol och biomassa) och därför eventuellt mindre lämplig att spridas i skogsmark. Granuleringsförsök har utförts. I projektgruppen ingår Örebro Energi, Örebro Läns Byggförening, NCC, SGI och Inst. för Oorganisk Kemi vid CTH [Nordin m fl, 1996, Skoglund, 1996]. I en fortsättning söker man utveckla användningar för blandaskan i samarbete med NCC. Örebro Energi har uppdraget från Svenska Fjärrvärmeföreningen att utforma en handbok i askhantering för fjärrvärmebranschen. Effekterna av en spridning av blandaskor har studerats av Nihlgårds grupp vid Lunds Universitet (Projekt Blandaskor).

ETC (Energitekniskt Centrum), Piteå: i ett projekt skall askan agglomereras tillsammans med fiberslam i en granuleringstrumma och brännas i ugn, varvid granulerna får önskad mekanisk styrka, vattenbeständigheten ökar, andelen oförbränt reduceras och askan renas från tungmetaller som förångas och tas om hand på ett annat ställe i processen [Nordin, 1996].

Nordkalk har framställt skogsvitaliseringsmedel med kalk och aska (krossaska) [Johnsson, 1996]. För tillverkningen användes en paddelblandare. Man har granulerat askor från bl a Eskilstuna Energi, Helsingborg Energi och från C4 Energi.

3.4 Aktiviteter utomlands

Spridning av aska till mark, åker eller skog utförs i någorlunda stor skala i ett fåtal länder: Danmark, Förenta Staterna och Österrike. Finland har sedan länge spritt aska i torvmark. I Tyskland har spridning av aska förekommit i samband med kalkning av

skogsmark [Staaf m fl, 1996]. Enligt Greene sprider åtminstone ett tyskt skogsbolag aska i sina egna skogar [Greene, 1988]. Av tidsskäl har endast förhållanden inom energibranschen undersökts för utlandet, men om information framkommit om skogsindustrins verksamhet har den också beaktats.

Danmark: askan från halmeldade värmeverk sprids till åkrar [Nielsen, 1996]. Den är endast något befuktad för att undvika damning [Heding, 1996]. Trädbränsleaskornas innehåll av kadmium upplevs som ett problem [Nielsen, 1996, Heding, 1996, Morsing & Westborg, 1994].

Österrike: det finns ett flertal biobränsleeldade värmeverk i Österrike med relativt låg effekt. Den producerade askan tas ut torr och fylls i säckar. Bönderna kommer och hämtar askan vid verket och sprider den själva. Därvidlag är damningen ett problem [Obernberger, 1996].

Nilsson och Jönsson nämner undersökningar av kompakteringen av aska som utförts av företaget ACETEC [Nilsson & Jönsson, 1996]. Vid Technische Universität Graz finns en omfattande verksamhet beträffande askans innehåll av tungmetaller samt olika reningsmetoder. Syftet är att undvika en ackumulering av bl a kadmium i näringsämnenas kretslopp.

USA: biomasseaska betraktas som ett avfall och deponeras i de flesta fallen. Lokalt sker en organiserad spridning av vedaska till jordbruk och till skogsbruk, fast det är svårt att fastställa dess omfattning. Vissa källor anger att 80% av vedaskan i nordöstra USA sprids på fält [Greene, 1988] med en tyngdpunkt i Maine, medan omfattningen enligt andra källor är mindre: 26 000 ton av årliga 190 000 ton sprids till mark i Maine [Connors, 1996]. Över hälften av askan går till deponi (100 000 ton) i Maine och en mindre del används för att stabilisera slam från kommunala reningsverk. Detta slam kan i viss utsträckning spridas till mark. Olika lagstiftningar i olika delstater gör situationen svår att överblicka.

Pionjären i nordöstra USA är Resource Conservation Services Inc. Askan befuktas så att den inte dammar och sprids sedan till åkermark eller till skogsmark [Coleman, 1995]. Askans konsistens har beskrivits som jordlik [LeBlanc & Precht, 1993]. Ibland har problem uppstått: t ex har sameldning av ved och kol gett en aska med pozzolanska egenskaper. Denna har härdat och skadat spridningsutrustningen [Coleman, 1995]. Bioaska från CFB-pannor har också stelnat och fått brytas upp (krossas). Man har funnit att gödselspridare gav bäst resultat på fält. För besvärliga skogsområden har terränggående utrustning utvecklats.

Agglomereringstekniker för askan har utvecklats eller undersökts men det är osäkert i vilken utsträckning tekniken används. Greene nämner en kraftproducent som väter askan med ett skum vid våtutmatningen och erhåller granuler [Greene, 1988]. Spridning av askan på mark har varit påtänkt men utförs inte idag [Smith, 1996]. En undersökning av pelletering med olika bindemedel nämns av Greene. Vid Tennessee Valley Authority, National Fertilizer Development Center, har man utvecklat ett pelletiserat NKPS-gödselmedel utgående från vedaska [Greene, 1988, Badger, 1988]. Det är för författarna okänt om medlet producerats i större skala. En undersökning av askprodukten som

gödsel för gräsmattor visade att granulerna löstes upp för långsamt för praktiskt bruk [Mays m fl, 1993].

Den begränsade undersökning som kunnat utföras inom ramen för detta projekt har givit vid handen att viss verksamhet med återföring eller nyttiggörande av aska pågår inom skogsindustrin i USAⁱⁱ. Vi har inte kunnat följa upp detta. Det finns alternativa användningar för aska, t ex inom cementindustrin, som toppskikt på deponier, som stabiliseringsmedel för annat avfall, m m. Vidare, det finns ett intresse för att nyttiggöra eller omhänderta askan från förbränningen av behandlat (fernissat eller impregnerat) trä och rivningsvirke [Fehrs & Donovan, 1993].

Kanada: all biobränsleaska från energibranschen deponeras idag. Visst intresse börjar finnas för spridning till jord- eller skogsbruk och en förstudie diskuteras.

Finland: verksamhet har pågått under slutet av sjuttioalet och i början av åttiotalet då man experimenterade med olika tekniker att behandla och sprida askan [Hakkila & Kajala, 1983, Hakkila, 1986]. Man har blåst färsk aska med fläkt, men arbetshygieniska frågor blev svåra. Man har också använt tallriksspridare. Agglomerering av askan undersöktes med och utan bindemedel [bl a Hörkkö, 1975, Takalo, 1980, Ries, 1996], men man fann det vara för kostsamt.

Enligt Greene skall Ekono OY ha utvecklat en pelletiseringsprocess [Greene, 1988]. Den pelletiserade eller granulerade askan används dock som material för vägbankar.

Regeländringar för avfallshanteringen har gett förnyad aktualitet åt askåterföring [Hakkila, 1996]. I det tvååriga undersökningsprogram som inleds 1997 av finska skogsindustrin ingår både tekniska aspekter och ekologiska studier [Anttila, 1996]. Självhårdning skall undersökas, bl a vid Metsä-Serla i Hannikuski.

Enocell bygger en fabrik i Uimaharju för granulering av aska med en kapacitet på 15 000 t/a som skall stå färdig sommaren 1997. Man använder tallrikstekniken [Hakkila, 1996, Anttila, 1996]. Pelletering med matris används i liten skala av Metla i Kannus [Takalo, 1980, Hytönen, 1996].

Andra länder: inga aktiviteter förefaller pågå i Nya Zeland för närvarande, men intresse finns [Gifford, 1996]. I Norge har inte heller några aktiviteter kunnat identifieras. Vi har inte undersökt Tyskland, f d Sovjetunionen eller Japan.

EU-projekt: flera EU-projekt pågår eller har föreslagits. I ett samarbete mellan TU Graz (I. Obernberger), Vattenfall Utveckling, Umeå Universitet (A. Nordin), VTT -Aerosol-tekniklaboratoriet och dk-Teknik skall förutsättningarna för termisk och biokemisk rening av vedaska från tungmetaller studeras. Studierna omfattar bl a kadmium. Ett projekt med snarlik inriktning drivs av Obernberger, österrikiska organisationer och en tysk panntillverkare.

Det är för oss okänt om det finns ytterligare EU-projekt om biomasseaska.

ⁱⁱ T ex sprider Weyerhaeuser, New Bern fabriken 12 t lös biobränsleaska per ha till plantskog

4 FUNKTIONSKRAV

Från att ha varit ett avfallsproblem blir askan som återförs till skogen en produkt, på vilken miljövärdande myndigheter ställer funktionskrav.

Även om Naturvårdsverket skriver att den princip som gäller är att det som tagits ut får föras tillbaka [Naturvårdsverket, 1994] kan man utgå från att askans ursprung, f d biobränslen, sannolikt inte är tillräcklig grund för att det skall få spridas i skogsmark eller till mark där energigrödor odlas. I den kravlista som kan sättas ihop, se t ex Naturvårdsverkets informationsskrift och Lindströms PM, återfinns flera aspekter: både innehållet i askan och dess hanterbarhet. Hittills har inte skogsägarna ställt lika preciserade krav, men de kommer sannolikt att göra det [Skogsägarnas Riksförbund, 1996, Klingberg, 1996]. Skogsstyrelsens PM för den aska styrelsen behöver för skogsvitaliseringsprogrammet kan i viss mån ses som ett sådant kvalitetskrav [Lindström, 1995].

Naturvårdsverkets ståndpunkt är att aska från förbränning av skogsbränslen bör återföras till skogsmarken för att sluta ett kretslopp av näringsämnen och motverka att marken utarmas [Naturvårdsverket, 1994]. Askan skall ge en balanserad näringstillförsel och ha låg halt av föroreningar. Askan skall vara härdad och ha sådan kornstorlek och form att den löses upp långsamt [Naturvårdsverket, 1994]. Hastigheten skall vara sådan att den motsvarar förmultnandet av hyggesavfallet, en period på 10-20 år, vilket är det "naturliga" alternativet till uttaget av hyggesrester.

Vad gäller föroreningar vill man inte sätta generella gränsvärden för metallhalter i askan utan hänvisar till försiktighetsprincipen: aska som skall spridas i skogen bör inte ha nämnvärt högre halter av tungmetaller än normalt för skogsbränsleaska i den aktuella regionen. Askans innehåll av tungmetaller kan ändå innebära begränsningar för dess användning, för hur mycket aska som kan återföras och på vilka marker. Två villkor bör vara uppfyllda:

1. Askan bör bara spridas på marker där skog avverkats. Askgivan får högst motsvara skördeuttaget (inget nettotillförsel av metaller på lång sikt).
2. Tillförseln av metaller får inte vara så stor att markbiologiska processer skadas (kortsiktigt villkor).

Naturvårdsverket anger vidare värden för den högsta acceptabla tillförseln av vissa tungmetaller till produktiv skogsmark, Tabell 1 [Naturvårdsverket, 1994]. Tabellerade värden avser sammanlagd tillförsel under en hel skogsgeneration, kanske hundra år. Vilken tillförsel som accepteras beror på den aktuella markens belastning med avseende på tungmetaller: mindre mängder får tillföras en mark som har låg metallhalt än till en mark som redan har hög halt av dessa metaller.

Man anser att i mycket produktiv skog skall aska med låga halter metall användas eller så skall askan blandas ut med kalk.

	Norra Sverige > 64°N	Mellersta Sverige 60–64°N	Södra Sverige < 60°N	Kritisk faktor
<i>g metall per hektar</i>				
Arsenik	(20–30)*	(40–70)*	(50–120)*	> 3?
Kadmium	30	50	100	5
Krom	300	400	1.000	> 10
Koppar	500	600	1.200	3
Kvikksilver	3	5	10	3
Nickel	(150)*	(300)*	(500)*	5
Bly	500	1.000	2.500	3
Zink	8.000	12.000	20.000	5
Vanadin	(50–100)*	(100–200)*	(200–300)*	3

* Preliminära värden baserade på begränsat underlag.

Tabell 1. Högsta acceptabla tillförsel av vissa tungmetaller med aska till produktiv skogsmark. Värdena avser total tillförsel av respektive metall med biobränsleaska och andra gödslings- och kalkningsmedel under en hel skogsgeneration [Naturvårdsverket, 1994].

Table 1 Maximum allowed loading rate of certain heavy metals to productive forest land. These values are valid for the total loading rate of respective metal through ash and other fertilizing or liming products in the course of one forest generation, approx. a hundred years.

Vad gäller jordbruksmark finns föreskrifter för användningen av avloppsslam [Naturvårdsverket, 1994] vilka anger gränsvärden för metaller dels i åkermark, dels i det slam som sprids. Motsvarande gränser finns i andra länder [Morsing, 1994]. Samma regler föreslås gälla för den aska som sprids till åkermark. Med en tidsperspektiv på hundra år är högsta acceptabla tillförseln av tungmetaller i samma storleksordning för både skogsmark och åkermark.

Skogsstyrelsen har uppdrag från regeringen att ”planera och utveckla beredskap för kalkning och vitaliseringsgödslning av skogsmark i större skala”. För dess försöksverksamhet har Skogsstyrelsen ställt mer detaljerade krav på askan. Endast skogsbränsleaska skall spridas ut, även om någon torvinblandning kan accepteras. Skogsstyrelsen anger lägsta godtagbara halter för makronäringsämnen, lägsta och högsta halter för mikronäringsämnen samt högsta halter metaller [Lindström, 1995].

Man ställer även hanteringsmässiga krav: jämn kvalitet på askan (mindre omfattande kontrollprogram), askan skall ha härdats och ha lämplig fördelning på kornstorleken. Ett antal kriterier anges för bestämning av om askan skall kunna anses ha härdats. Kraven på låg halt oförbränt och låg halt föroreningar berör askans förmåga att självhärda.

Makronäringsämnen

Ämne	Normal variationsvidd Totalhalt, %	Lägsta godtagbara halt Växttillgängligt, kg/ton
Magnesium	1 - 4,5	15
Fosfor	0,3 - 1,8	5
Kalium	1,5 - 16	20
Kalcium	7 - 35	100

Metaller, spårämnen

Ämne	Normal variationsvidd totalhalt, ppm, g/ton	Godtagbar halt i södra Sverige, ppm, g/ton	
		lägsta	högsta
Bor	140 - 430	100	500
Vanadin	<100		100
Krom	15 - 250		250
Mangan	5000 - 23000	5000	30000
Kobolt	2 - 15	2	100
Nickel	20 - 250		200
Koppar	25 - 600	50	500
Zink	70 - 5300	500	6000
Arsenik	2 - 100		20
Molybden	0,5 - 3	0,3	10
Kadmium	<1 - 30		30
Kvicksilver	0,001 - 1		5
Bly	<25 - 500		100*

Tabell 2 Skogsstyrelsens kvalitetskrav på halter av näringsämnen och tungmetaller i askan för skogs-vitaliseringsprogrammet [Lindström, 1995].

Table 2 Quality requirements placed by the Board of Forests on the concentration of nutrient elements and heavy metals in ash used for vitalization of forests.

* Enligt Mikael Axelsson, Skogsstyrelsen, har högsta godtagbara blyhalten ändrats till 250 ppm.

5 ASKANS EGENSKAPER SAMT HANTERING, BEHANDLING OCH SPRIDNING

I detta avsnitt sammanfattas resultat och slutsatser från olika undersökningar om egenskaper hos trädbränsleaska och om dess hantering inför spridningen. Till stor del härrör uppgifterna från olika projekt inom Ramprogram Askåterföring. Den tekniska utvecklingen refereras även.

5.1 Biobränsleråvara, förbränningsprocesser och askans egenskaper

Alla biobränslen innehåller mineralämnen som tillsammans med oförbränt material (kol), sand och grus och eventuellt bäddmaterial bildar aska vid energiomvandlingen. Färsk vedaska är alltså ingen enhetlig produkt utan dess sammansättning och dess egenskaper beror bl a av bränslet, av omvandlingsteknik och av driftsförhållanden. Den askprodukt som sedan sprids har dessutom påverkats av behandlingen: krossaska, granulat, bindemedel, etc. En för askspridningen viktig egenskap är hastigheten med vilken i askan olika ingående ämnen löses ut och blir tillgängliga för växtligheten. Detta gäller både näringsämnen och oönskade ämnen såsom kadmium. Syftet med behandlingen (hårdning, granulering etc) är att ämnen skall bli tillgängliga i önskad takt, se föregående avsnitt. Syftet är också att åstadkomma ett material som kan hanteras och spridas.

Bränslet, dvs skogsbränslen, avverkningsrester, stamved och bark som inte tidigare använts till annat, har varierande kvalitet. Själva energiomvandlingen kan ske genom förbränning eller förgasning, och de tekniska utförandena av anläggningarna är olika: rosterpanna, spreaderstoker, pulvereldad panna eller fluidiserad bädd (cirkulerande eller bubblande) med sand, med eller utan kalk eller dolomit, som bäddmaterial. Förgasningen utförs vanligen i en fluidiserad bädd. I anläggningarna finns dessutom reningsutrustning: cyklon, filter, kondensering av rökgaser mm. Aska tas ut på olika ställen i processerna. Från en rosterpanna tas bottenaska ut från pannan och flygaskan från reningsutrustningen. Från en fluidiserad bädd kommer aska som flygaska men även som bottenaska tillsammans med uttjänt bäddmaterial. Askan kan tas ut i torr form från pannan och stoftavskiljningsanläggningen, men befuktas ofta för att undvika damning (arbetarskydd).

Kemisk sammansättning

Uppgifter om den kemiska sammansättningen hos vedaska har sammanställts i flera rapporter. Eriksson och Börjesson [Eriksson & Börjesson, 1991] har samlat data från svenska och finska, däribland resultaten från en undersökning utförd av Vattenfall före starten av Ramprogram Askåterföring [Holmroos, 1993]. Flera analyser av totalhalter har utförts inom ramprogrammet [Nilsson & Steenari, 1996]. Ytterligare data finns i rapporter från Danmark [Morsing & Westborg, 1994], Österrike [Oberberger m fl, 1995, Oberberger & Narodoslawsky, 1995], USA [Etiégni & Campbell, 1991, McGinnis m fl, 1995, Rughani m fl, 1995, Connors, 1996].

De två huvudkomponenterna i färsk aska är oförbränt, förkolnat material och oorganiska föreningar, i huvudsak oxider. Askor från anläggningar med fluidbädd är generellt sett

väl utbrända, mindre än 5% kol, men de från rosterpannor brukar ha en högre halt oförbränt. Stora variationer kan förekomma för de senare och man har noterat att pann-effekten har betydelse. Enligt Nilsson och Steenari [Nilsson & Steenari, 1996] är halten oförbränt högre i flygaskan när både bottenaska och flygaska produceras. Förgasningsaskor har generellt högre halter oförbränt p g a den lägre temperaturen.

Den typiska variationsbredden för halter av huvudelement (näringsämnen) och av spår-element i publicerade analyser av aska sammanfattas i Tabell 3 [Lindström, 1995] i föregående avsnitt. För en mer detaljerad redovisning och diskussion hänvisas till original-litteraturen och till Nilsson och Steenari [Nilsson & Steenari, 1996]. Utöver makro-näringsämnen förekommer järn, mangan, natrium, svavel samt kisel och aluminium med högre halter. Elementen fördelar sig mellan flygaska och bottenaska beroende på flyktig-het, t ex återfinns kadmium företrädesvis i flygaskan. Om träbränslen sameldas med t ex kol, torv eller olja kan detta påverka askans sammansättning. De olika författarna drar slutsatsen att det finns ingen uppenbar korrelation mellan askans sammansättning och bränsle, panntyp eller driftförhållanden [Nilsson & Steenari, 1996, McGinnis m fl, 1995]. Sammansättningen varierar mer för ett bränsleslag än mellan olika bränslen, även om vissa särdrag kan iakttas.

Man kan göra balanser på elementen i en panna med hjälp av analyserna av olika askor [Obernberger & Narodslawsky, 1995]: vissa element försvinner i mer eller mindre stor omfattning med rökgaserna (framför allt kvicksilver och arsenik men även klor, svavel, kadmium, molybden och zink), vissa tillförs askan från materialen i pannan (järn, vana-din, aluminium, mangan). Obernberger och Narodslawsky nämner inget om bädd-materialen.

En torrutmatad askas oorganiska element förekommer huvudsakligen som oxider, i viss utsträckning som sulfater, karbonater eller silikater [Nilsson & Steenari, 1996]. För kalium förekommer även kaliumklorid.

Förgasningsaskornas sammansättning påverkas i relativt stor utsträckning av valet av bäddmaterial [Jönsson & Nilsson, 1996]. Halten oförbränt beror på förgasnings-temperaturen. Separationen av elementen mellan bottenaska och filteraska är mer accen-tuerad. Askan tas ut vid högre temperaturer än vid förbränning varför lättflyktiga metaller förs ofta ut med den producerade gasen.

Härdning

Den färska askan har egenskaper som gör den svår att hantera: den är ofta finfördelad (och därmed svår att sprida med vanlig utrustning) och dammar, och den reagerar häftigt med vatten eller fukt som finns både i vegetationens och i människokroppens vävnader. Det är därför i de flesta fallen nödvändigt att behandla den så att riskerna minskar, genom att dels agglomerera de fina partiklarna till större, dels överföra de reaktiva oxiderna till mindre reaktiva och mindre lösliga ämnen som hydroxider eller karbo-nater. En benämning för dessa två processer är härdning av askan. Ett antal av de före-ningar som har identifierats i bioaskor är sådana som deltar i cementhärdningsreaktioner. Vissa askor har förmåga att brinna ihop till stora aggregat vid tillsats av vatten (pozzolansk aktivitet [Steenari & Lindquist, 1996]), och vissa askor måste tillföras ett bindemedel såsom cement för att kunna agglomereras med vatten.

Under hårdningen tar askan upp vatten och koldioxid från luften [Steenari & Lindquist, 1996, Lea, 1970]. Kalciumoxid (CaO) bildar vid hydratiseringen kalciumhydroxid, Ca(OH)_2 som kan sedan omvandlas till kalciumkarbonat under inverkan av luftens koldioxid. Karbonatet är mycket mer svårslösligt än hydroxiden, vilket dämpar askans kalkverkan och gör den mer långvarig. Kalciumsilikat, CaSiO_4 , bildar en gel, kalcium-silikat-hydrat, och kalciumaluminat bildar olika hydrater. Om kalciumsulfat finns närvarande bildar den tillsammans med kalciumaluminat en hydratgel, ettringit; $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}$. Denna förening är dock stabil endast när vätskefasens pH överstiger 10. När askan ligger i fält innebär det att ettringit omvandlas till gips och partikeln vittrar.

Fysikaliska faktorer har betydelse: om askvattenblandningen trycks ihop kommer den högre tätheten att gynna hårdningen. Organiska ämnen kan verka retardrande på hårdningen och hämmande [Falk, 1992, Steenari & Lindquist, 1996].

Steenari har undersökt sammansättningen i flera askor, färska och tekniskt härdade, samt studerat hårdningsprocessen i laboratieförsök [Steenari & Lindquist, 1996]. Av de askor som härdats tekniskt av EnerChem AB hade alla CFB-askor härdat under bildning av ettringit, med liten bildning av karbonater. Karbonatiseringsprocessen uppträder inte i den tekniska hårdningen när askan ligger i högar [Steenari & Lindquist, 1996]. Bottenaskorna i försöket hade ett litet svavelinnehåll och hade därför bildat endast kalciumhydroxid och kalciumkarbonat under hårdningen. I laboratoriet bildades kalciumkarbonat strax efter vätningen medan ettringitbildningen tog längre tid. Den leder dock till vittring av partiklar när karbonatiseringen sker efter att askan lagts ut i skogen [Steenari, 1996].

Vattenfall Utveckling har låtit Sala International undersöka hårdningsbenägenheten hos några förgasningsaskor från VEGA-projektet: den är dålig, vilket tillskrivs den höga halten oförbränt (40-70%) och den grova kornstorleken i bottenaskan [Linanki & Karlsson, 1994]. I övrigt har inga särskilda studier av hårdningen av förgasningsaskor genomförts. Behovet av undersökningar har påpekats av Jönsson och Nilsson [Jönsson och Nilsson, 1996].

Lakning

När askan ligger i skogen efter spridningen skall den lakas ut, dvs förlora sitt innehåll på näringsämnen i önskad takt. Denna process är starkt avhängig den form i vilken elementen är bundna och askprodukten hållfasthet. Ett önskemål är att behandlingen av askan inte gör ämnen alltför svårtillgängliga.

Kalcium lakas ut långsamt när det föreligger som karbonat. Kalium lakas ut mycket snabbare eftersom det dels förekommer som lösliga salter, dels är löst i porvätskan. Både magnesium och fosfor förekommer som svårslösliga föreningar [Steenari & Lindquist, 1996].

Nedbrytningen av askprodukten och utlakningen av ämnen har simulerats av Eriksson med kolonner, där askan placerats i ett mårskikt och begjutits med artificiellt surt regn [Eriksson, 1996]. Tungmetaller lakas inte ut i någon nämnvärd takt med ett undantag: en

aska med höga halter metaller som härrörde från sameldning av avfall och torv med träbränslet.

En huvudfråga för utvärderingen av askans effekt i skogsmark och näringsämnenas tillgänglighet är hur lakningsprocessen skall simuleras i laboratoriet [Eriksson, 1993]. Förslag finnes: extraktion med 1 M ättiksyra och med varm, koncentrerad salpetersyra för bestämning av tillgängligt innehåll under första året resp under en generation [Nihlgård, 1996]. En sekventiell extraktion kan ge mer detaljerad information över processen [Westling, 1996]. Även andra förslag finns, t ex [Nordin, 1995]. Inom Ramprogram Askåterföring pågår standardiseringsarbete för bestämning av lakegenskaper samt av totalhalter.

Inga särskilda jämförelser av lakningshastigheten har gjorts mellan askor behandlade på olika sätt. Vid Stora Research har dock preliminära försök utförts i laboratoriet, vilka visar att självhårdad aska lakas ut fortare än granulerad eller pelleterad aska [Sundin, 1996b]. Motsvarande resultat har erhållits av Börjesson: mjukare granuler löses upp fortare [Börjesson, 1992].

5.2 Behandling och lagring

Med behandling av askan menas här huvudsakligen agglomerering av finfördelad färsk aska till större, maskinellt spridbara aggregat. De kemiska processerna i hårdningen har berörts ovan. Rening av askan från t ex kadmium är dock en behandling som är av intresse.

Gemensamt för alla behandlingsprocesser är att askan blandas med vatten, eventuellt med andra tillsatser, agglomereras och torkas. För agglomereringen av finkornigt material står ett antal tekniker till förfogande [Nilsson, 1993]. Aktuella i asksammanhang är granulering, varvid större mer eller mindre runda korn framställs ur ett finare pulver, kompaktering, dvs materialet pressas ihop med valsar eller genom att extruderas (strängsprutas). En teknik som inte kräver någon annan maskinell utrustning än en blandare för aska och vatten är självhårdning: det befuktade materialet lämnas att brinna, och efter en viss tid krossas och siktas de större aggregaten.

Omrörning

En noggrann omblandning av askan med vatten är en förutsättning för att agglomereringen skall kunna ske på ett tillfredsställande sätt, vare sig askan lämnas att självhärda eller den granuleras. Flera maskintyper har provats i detta sammanhang. En typ är en roterande betongblandare, som har fördelen att den är billig och lättillgänglig. Den kan modifierats för ändamålet. En annan typ motsvarar skruvtransportören i utmatningen av askan: en liggande cylindrisk behållare med en roterande axel på vilken skovlar eller blad fästs, paddelverk [Danielsson, 1996], Lödige-blandare [Thege, 1996], intensivblandare [Ries, 1996]. Även granulering sker i båda dessa blandare. Effektiviteten i omblandningen har betydelse för den vattenmängd som måste tillsättas.

Granulering

Två huvudsakliga principer har använts: tallrik resp trumma. I tallriksrullningen färdas askan i en spiral på en roterande tallrik. Under färdan plockar kornen upp finare material och växer. Denna metod används i processen som byggs upp vid Enocells anläggning i Uimaharju [Anttila, 1996]. I trumrullningen används en lutande roterande trumma med en bädd av aska: under färdan genom trumman byggs granulerna upp. Kraven på noggrann blandning av aska med vatten är något olika i dessa två tekniker. Trumrullning har provats bl a av WIECO [Lindahl, 1996], av Kalmar Energi [Claesson, 1996] etc. Betongblandaren är egentligen en form av trumma. Storleksfördelningen för de erhållna granulerna varierar med tekniken. T ex får Örebro Energi en bred fördelning med en begränsad andel spridbart material enligt Skogsstyrelsens riktvärden [Skoglund, 1996].

Kompaktering

Kompaktering är en särskild form av granulering: efter blandning av aska med vatten pressas det ihop till en grönkropp som får härda. Man kan pressa ihop den befuktade askan mellan valsar och klippa eller krossa den till önskad storlek [Windelhed, 1996, Nordström, 1996]. Alternativt kan man strängspruta den befuktade askan genom en matris [Takalo, 1980, Wexell, 1996] och man erhåller cylindriska stavar, s k pelletter [Nilsson, 1993]. I det senare fallet har slitage och igensättning av matrisen förekommit.

Självhärdning

I självhärdningstekniken befuktas askan, blandas om men granuleras inte. Den får själv brinna eller härda ihop till större aggregat på en utomhusplan. I praktiken läggs den befuktade askan i högar och lämpligt tillfälle för vidarebearbetning inväntas. Då krossas aggregaten och siktas. Resultaten har varit blandade: ibland har askan brunnit ihop till stora klumpar [Axelsson, 1996], ibland har agglomereringen uteblivit som i Falun [Danielsson, 1996], eller i Norrköping där askan fått en konsistens motsvarande fuktig jord [Nilsson & Jönsson, 1996]. I flera fall har bristande framgång tillskrivits den höga halten oförbränt. Samband med temperaturen har noterats: under +10°C härdat inte askan. Man har också konstaterat att härdningen eller agglomereringen inte skett under en presenning [Lindström, 1996]. I andra fall har den härdat under presenning [Uddäck, 1996]. Den härdade men ej agglomererade askan har kunnat spridas ändå.

Lagring

Det är sällan som askan kan spridas kort tid efter att den producerats, varför lagringsmöjligheter måste förutses. Därvidlag är det viktigt att askan inte utsätts för väder och vind, av flera skäl. Ett är att nederbörden då lakar ut de ämnen som är mest tillgängliga, och därmed minskar askproduktens nytta. Ett annat är risken för frostsprängning med en fuktig askprodukt, och en medföljande förändring av storleksfördelningen hos kornen.

Lindström [Lindström, 1996] rekommenderar emellertid att askhögar inte täcks med presenning eftersom det försvårar härdningen. Om askhögen packas t ex med hjullastare kan högens maktighet och bildandet av en skorpa förhindra oönskad lakning.

Rening

En hög halt oförbränt i askan är inte önskvärd: dels är det inte lämpligt att sprida askan, dels försvårar kolet härdningen. En metod är att bränna om askan i en CFB-panna. Försök har utförts av Vattenfall dels i Studsvik [Sfiris, 1991], dels i Nässjö [Bengtsson, 1996].

En alternativ metod är att mekaniskt rena askan från kol. Åbyhammar m fl nämner vindsiktning som en tänkbar teknik [Åbyhammar m fl, 1994].

Höga halter av tungmetaller, framför allt kadmium, har identifierats som ett större problem än kvarvarande kol. Vattenfall har genomfört försök som tyder på att man skulle kunna utnyttja kadmiums flyktighet för att rena askan, antingen i pannan eller i en separat ugn [Westermarck, 1996]. Arbete pågår för närvarande på ett EU-projekt och försök vid Energitekniskt Centrum i Piteå, se avsnitt 3.3 ovan.

5.3 Transport och spridning

Transport och spridning av askan har analyserats dels av Lindström inom ramprogrammet [Lindström, 1996], dels av Lindberg för ASSI Domän [Lindberg, 1994]. Transport till spridningsplatsen sker med lastbil, företrädesvis med växelflak eller container, eftersom askan inte bör läggas på marken. För spridningen av askan kan maskinparken för spridning av skogskalk och skogsgödsel utnyttjas.

Markspridning kan ske med fordon som går på stickvägar, såsom skotare, eller med fordon som går i skogen, beståndsgående fordon. Båda typer har använts, till exempel i Falun [Danielsson, 1996]. Spridningsbredden är ca 25 m för en skotare och 18 till 20 m för en beståndsgående maskin. Spridningsutrustningen kan i viss utsträckning anpassas till kornstorleksfördelningen. Stora partiklar innebär risk för skador på träden.

Spridning från luften, med flyg eller helikopter, kan användas när det inte går att komma fram med markspridare. Spridning med hästecipage kan vara en lösning i täta bestånd [Carlsson, 1996].

6 UTREDNING, ANALYS OCH DISKUSSION

6.1 Företsättningar

Inledning

Industriella aktiviteter skall styras av såväl gemensamma behov vad gäller naturresurser, miljö och hälsa som av företagets behov av att kunna utforma och driva sina processer med rationell teknik och god ekonomi. Ibland erfordras avvägningar mellan dessa intressen men ofta råder inte några motsatsförhållanden utan det handlar om att åstadkomma en god förståelse av möjligheter och villkor. En förutsättning för att de gemensamma behoven skall kunna tillgodoses är att effektiva processer kan tas fram och drivas till en låg kostnad.

För arbetet med att utveckla, bygga och driva anläggningar som svarar mot dessa förutsättningar är det av väsentlig betydelse att de krav på funktion som ställs utgående från behoven av god hushållning med naturresurser, miljö och hälsa finns tydligt formulerade av berörda myndigheter. Det är näringslivets uppgift att utgående från dessa funktionskrav utveckla och utforma processer och anläggningar.

Det är vidare viktigt att alla aspekter beaktas i utvecklingsarbetet och att en integration verkligen kommer till stånd mellan de olika frågeställningarna. Resultat från högskoleforskning behöver kombineras med kunskap och kompetens kring utrustning och anläggningar.

Det är också viktigt att utvecklingsarbetet inriktas på de frågeställningar som har störst betydelse för målsuppfyllelsen. Rimligen är de medel som kan tänkas ställas till förfogande för utvecklingsarbete starkt begränsade. Som tidigare nämnts utgör den aska som bildas endast en liten andel av ursprungsvikten hos biobränslet varför totalmängden ren aska från förbränning av biobränslen endast uppgår till cirka 40 000 ton per år [Nilsson & Jönsson, 1996]. En siffra som kan tjäna som jämförelsepunkt i detta sammanhang är den deponeringsskatt som diskuteras [SOU 1996:139]. Om den skulle fastställas till nivån 250 kronor per ton så blir totala skatten från denna källa tio miljoner kronor per år.

En analys av förutsättningarna för behandling av aska för spridning på skogsmark förutsätter att funktionskraven, det vill säga de krav (på funktionⁱⁱⁱ) som ställs på den aska som skall spridas, finns klarställda. Dessa krav skall baseras på ekologiska och tekniska förutsättningar samt motsvara de föreskrifter som kan förutses från berörda myndigheter. Analysen som ges i avsnitten 6.2 - 6.6 baseras på sådana krav som kunnat identifieras utgående från nuvarande kunskapsläge. Härledningen av dessa krav redovisas nedan.

ⁱⁱⁱ Även andra krav kan ställas på askan av praktiska skäl, t ex för att kontrollera förbränningsprocessen. Ofta utnyttjas kunskap om processen samt uppfyllande av andra krav (utförandekrav) för att visa att funktionskraven uppfylls.

Ekologiska krav

Kraven som ställs på askprodukten och askåterföringen utgår från dels nyttan verksamheten har för skogen och dels den skada verksamheten eller produkten kan göra. Det miljömässiga syftet med askåterföringen har angetts vara att motverka utarmningen av näringsämnen i marken, en följd av biobränsleuttag från skogen, så att produktionsförmågan är långsiktigt uthållig, utan att förändra skogsmarkens normala funktion. Aska är starkt basisk och ett koncentrat av ämnen, bl a tungmetaller, i bränslet och spridning kan leda till skador. Ett av ramprogrammets syften var att försäkra sig om att spridningen av askan inte medförde några negativa konsekvenser för miljön eller för skogen. Farhågor hade uttryckts bl a för att växtligheten skulle ta upp tungmetaller i större omfattning än om askan inte tillförts, för chockeffekter (salt och pH), för ökad utlakning av näringsämnen ur marken.

Enligt Naturvårdsverkets och Skogsstyrelsens rekommendationer [Naturvårdsverket, 1994] för försöksverksamheten skall askan härdas och agglomereras så att utlakningen av olika ämnen blir långsam. Askgivans storlek får högst motsvara skördeuttaget.

Intrycket författarna fick från konferensen "Askåterföring - effekter i skogen" är att de ekologiska undersökningarna med begränsade givor hittills inte har påvisat några betydande eller omfattande, eller ens statistiskt signifikanta, effekter av askspridningen, negativa eller positiva, utom att svamp, lavar och mossor kan skadas. Resultat tyder dock på en förhöjd utlakning av kväve som nitrat och kalium från mark till markvatten, men ej till ytvatten. En kadmimpuls, dvs en tillfällig höjning av kadmiumhalten, har konstaterats i markvatten på motsvarande sätt.

Emellertid innebär kalhuggning av ett område en kraftig störning av näringsflödet i en skog. Omedelbart efter hyggesfasen lakas näringsämnen ur marken, bl a nitrat och kalium, därför att det inte finns någon vegetation som tar upp näringsämnen. Bortförsl av hyggesresterna undantar en del av ämnena men samtidigt utarmas humusskiktet då löv och barr förs bort. Mot denna bakgrund blir frågan om askåterföring och näringsbalans mer komplex och frågan om nyttan med asktillförsel förtjänar att diskuteras.

En orsak till frånvaron av observerbara positiva effekter från spridningen av aska kan vara att försöken genomförts i jämförelsevis bördiga marker som har litet, eller kanske inget behov av kompensation för uttaget av näringsämnen på kort sikt [Nohrstedt, 1996]. Skogsstyrelsens föreskrift avråder från helträdsuttag i näringsfattiga marker [SKFS 1986:1]. Askåterföringen skulle då kunna uppfattas som en förrådsgödsling i syfte att öka marginalerna på lång sikt men utan effekt på kort sikt, se t ex [Jacobsson, 1996]. Observera dock beräkningarna av baskatjonbalanser [Olsson, 1996]. Skogsmarkens behov varierar inom Sveriges gränser. I Södra Sverige skulle askåterföringen kunna motverka försurningen samtidigt som helträdsuttaget för bort ett överskott av kväve. I Norrland är det snarare återföring av kväve som behövs [Jacobsson, 1996]. Spridning av aska på torvmarker eller utdikade, skogsbeklädda torvmarker ger däremot en tydlig ökning av tillväxten därför att vittringen inte tillför dessa marker de mineraliska ämnena som finns i askan [Magnusson och Hånell, 1996].

En optimal användning av biobränsleaskan betraktad som resurs, där man undviker negativa effekter och maximerar nyttan, förefaller mot denna bakgrund vara oförenlig

med en strikt gränsdragning mellan återföring och gödsling. Tillåtes målsättningen för askåterföring innefatta även gödslingsaspekterna påverkar detta de krav som bör ställas på askprodukten. Möjligheten att produktkraven kan komma att förändras inom investerings ekonomiska livslängd torde påverka askproducentens val av teknik.

Om askan skall återföras omedelbart efter avverkning för att utlakningen av ämnen skall likna nedbrytningen av hyggesrester späder tillförseln av bl a lättlösligt kalium på den pågående utlakningen från hygget. En del av askans näringsämnen kan tänkas försvinna därför att det inte finns någon vegetation. Denna näringstillförsel kan i vissa fall leda till ökad tillväxt av sly och annan oönskad växtlighet, vilket bl a amerikanska skogsbolag uttryckt farhågor för [Greene, 1988]. Skall dessa effekter undvikas för skogens skull måste vissa funktionskrav (lakbarhet, växttillgänglighet) ställas på askprodukten. Om utlakningen från askprodukten i detalj skall likna förmultnandet av hyggesrester kan upplösningshastigheten för samtliga element behöva justeras i en produkt, vilket i sin tur kan göra askbehandlingen omständlig. Viss information föreligger idag om den naturliga nedbrytningen [BA Olsson, 1996, Lomander, 1996].

Ur skogsbrukets synpunkt är spridningen av askprodukter tekniskt/ekonomiskt genomförbar dels i plantskog, innan träden vuxit för mycket, dels i samband med gallring. Detta innebär att det då finns en växande, ekonomiskt nyttig skog som förmår ta upp de näringsämnen som frigörs från askprodukten och att kanske andra krav kan ställas på askprodukten. Emellertid innebär detta också en fördröjning med några år av återföringen till den fastighet där avverkning skett.

Någon lagring i flera år är inte att tänka på, men däremot måste årstidslagring ordnas. Askan bör spridas under vegetationsperioden, men inte under våren för att undvika att störa djurlivet. Vintern bör undvikas, dels för att en del av näringsämnen kan rinna bort innan de kan komma växtligheten tillgodo, dels kan askkornen frysa sönder.

Enligt skriften "Biobränsleaska i kretslopp" begränsas askgivans storlek bl a av askans metallinnehåll [Naturvårdsverket, 1994]. Den högsta acceptabla tillförseln av vissa tungmetaller anges i Tabell 1 ovan. Detta förutsätter ett kvalitetssäkringsprogram för askan och den askprodukt som skall spridas. Sannolikt är också att en konsekvens av kvalitetskraven är att vissa askor hellre bör deponeras.

Tekniska krav

Det är redan relativt klart (utgående från ovanstående) vilka analyser som sannolikt kommer att behövas i en kvalitetssäkring av askan: totalanalys av askan med avseende på elementen (SIS-standard utarbetas f n), lakförsök med lämplig metod samt en bestämning av partikelstorleksfördelningen [Westling, 1996].

Omfattningen av kvalitetssäkringsprogrammet behöver dock vägas mot dess kostnader och mot risken att behöva kassera en sats aska. Förutsättningen för ett rimligt program är att förbrännings- eller förgasningsanläggning följts noggrant under en inkörningsperiod, se t ex Fällman och Hartlén [Fällman & Hartlén, 1994]. Syftet är att kartlägga beroendet av askan, sammansättning och egenskaper, på driftförhållanden och inmatat bränsle. Detta program kanske tillåter identifieringen av några nyckelanalyser. Rimligen förutsätter kvalitetssäkringen av askan även en kvalitetssäkring av bränslet. Connors

nämner att ett energibolag i Maine inte tar emot bränsle från vissa skogspartier i dess upptagningsområde på grund av att bränslet kan ha höga kadmiumhalter [Connors, 1996].

Även deponeringen av olämplig aska förutsätter en kvalitetssäkring, med bl a lakförsök enligt en europeisk standard under utarbetande. Hur aska som deponeras bör behandlas beror på sammansättning och egenskaper. Godartade askor behöver endast åldras, dvs utsättas för vatten och luftens koldioxid, vilket kan ske på tippen. Besvärligare askor kan behöva inkapslas.

Spridning av aska torde innebära att askan på något bestämt sätt fördelas jämt över ytan i skogsmarken. Rimligen ställs krav på viss jämnhet i den fördelning som erhålls i samband med spridningen. Här kan två strategier särskiljas:

- 1 Askans sprids med sofistikerad maskinutrustning och endast låga krav behöver ställas på askan. Den kan innehålla en stor andel finfraktion, kantig kornform och en bred kornstorleksfördelning.
- 2 Askans sprids med befintlig utrustning vilket bland annat ställer krav på liten andel finfraktion, snäv kornstorleksfördelning och rundad kornform.

Krav på askan ställs även utifrån behov av lagring och hantering. Detta kan gälla till exempel fukthalt, andel finfraktion, kornstorleksfördelning och kornform.

Sambanden mellan kravnivå och val av metod samt systemutformning diskuteras vidare i avsnitten 6.2 - 6.6.

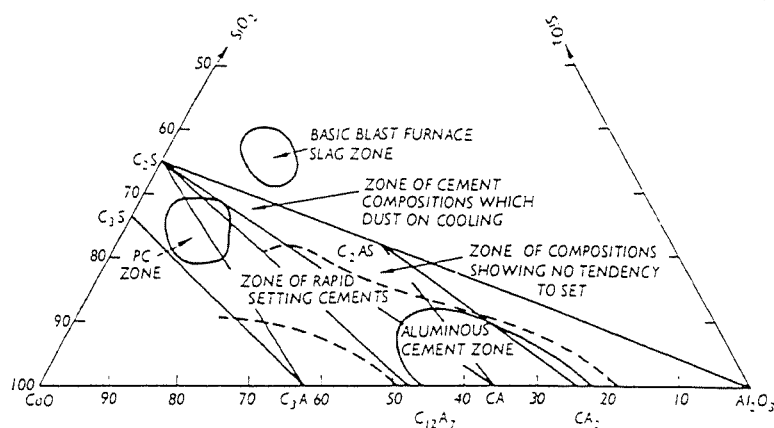
6.2 Härdningsprocessen m m

Som nämnts ovan i avsnitt 5.2 så har härdningsprocesserna studerats och identifierats inom Ramprogram Askåterföring. Sannolikt handlar det om hydratiseringsreaktioner och karbonatiseringsreaktioner.

Dessa fenomen har genomgått ingående studier under många år genom sin stora betydelse inom betong och betongputstekniken [Lea, 1970]. Härdning av betong innebär kemiskt sett till stor del att hydratiseringsreaktioner äger rum. Med tiden sker även en så kallad karbonatisering av betongen genom att de tar upp koldioxid från luften. I samband med denna reaktion sjunker pH-värdet i betongens porvatten vilket bland annat har betydelse för förutsättningarna för korrosion av armeringen. Mekaniskt sett innebär emellertid karbonatiseringen i övrigt inte några nackdelar.

Kalkbruk används för putsändamål och innehåller som namnet anger en högre halt kalciumoxid än cementbruk. Det hårdnar i vart fall delvis genom upptagning av kolsyra från luften, karbonatisering. Härdningsförloppet är grovt sett omvänt proportionellt mot kvadraten på tjockleken varför härdningen tar mycket lång tid för grövre dimensioner. Kalkbruk anbringas bland annat av detta skäl huvudsakligen i relativt tunna skikt. Härdat kalkbruk är segare än betong och klarar formförändringar bättre. Denna egenskap är fördelaktig när kalkbruk används som puts eller revetering.

Hydratiseringsreaktionerna i askan innebär att den tar upp vatten varvid nya ämnen bildas och materialet stelnar till en fast kropp. Förloppet är i princip detsamma som när cementpasta härdar i betong [Lea, 1970]. Reaktionen fortlöper oberoende av om luft får tillträde eller inte. Det är väl känt inom betongtekniken att hydratiseringsreaktionerna samt stelningsförloppet är starkt beroende av såväl detaljerna i kemisk sammansättning som mängden tillsatt vatten. Som framgår ur figur 1 är det bara för vissa specifika sammansättningar som man erhåller så kallade hydrauliska egenskaper, d v s upp-slamningen stelnar till följd av hydratiseringsreaktioner. Det system som visas på bild är visserligen ett starkt förenklat system som endast innehåller oxider av kalcium, kisel och aluminium, men slutsatsen bedöms ändå vara relativt generell och gäller troligen för de sammansättningar som aska från förbränning av biobränslen uppvisar.



Figur 1. Schematiskt ternärt fasdiagram för oxider av kalcium, kisel och aluminium, där området med cementegenskaper markerats [Lea, 1970].

Figure 1. A schematic ternary phase diagram for the system calcium oxide, silica and alumina, where the cement zones have been marked.

Reaktionshastigheten vid hydratisering beror av flera faktorer, bland annat på graden av finkornighet.

Samstämmiga uppgifter från olika askprojekt pekar på att aska kan härdas genom karbonatisering. Den koldioxid, som erfordras för härdningsförloppet kommer vanligen från luften. Den innehåller emellertid endast ca 0,030 volymsprocent koldioxid varför en avsevärd luftväxling erfordras för att tillräckliga mängder koldioxid skall kunna tillföras. För stora dimensioner begränsas härdningshastigheten även genom diffusion genom askan vilket kan ta lång tid och där reaktionshastigheten kan förväntas avta med tiden eftersom den grovt sett kan uppskattas vara omvänt proportionell mot kvadraten på tjockleken.

Graden av vattenmättnad har sannolikt också stor betydelse. Om materialet är torrt sker karbonatiseringsreaktionerna långsamt; de kan sägas katalyseras av närvaro av vatten. Vid vattenmättnad sker de emellertid långsamt eftersom tillförseln av koldioxid i detta fall begränsas av diffusionshastigheten i vattenfas, vilken är mycket långsammare än diffusionen i gasfas.

Optimala betingelser för karbonatisering är således fri tillgång till luft, lagom fuktighet samt en porös struktur hos askan. Ännu bättre är att utnyttja rökgaser som källa för koldioxid och värme, som t ex i Kalmar Energis försöksanläggning [Claesson, 1996].

Hydratisering och karbonatisering innebär att de kroppar som bildas innehåller askkorn eller rester av askkorn vilka har reagerat med varandra kemiskt.

Sådana härdningsförlopp är emellertid inte nödvändigtvis erforderliga för att granulat med lämplig kornstorlek, kornstorleksfördelning och kornform skall kunna framställas. Ofta kan stabila och tillräckligt hållfasta granuler bildas av finkorniga partiklar (sådana som föreligger i vedaska) endast genom bindning med vatten [Pietsch, 1991, Rhodes, 1990]. Ibland kan det vara lämpligt att också använda ytterligare tillsatser [Pietsch, 1991, Rhodes, 1990].

I första hand är det så kallade ytspänningseffekter som gör att små partiklar binds till varandra. Det vatten som fuktar partiklarna strävar efter att bilda en så liten yta mot luften som möjligt. (Sådana ytor kräver hög energi per ytenhet). Ytenergin mellan vatten och askpartiklar är väsentligt lägre än mellan vatten och luft, vilket innebär att vatten fuktar partikelytorna på ett sådant sätt att ytorna mot luften blir konkava (sett från luften). Effekten innebär att partiklarna pressas mot varandra.

Vid liten tillsats av vatten fås svagare bindning mellan partiklarna till följd av att den vatta ytan blir liten. Vid stor tillsats av vatten fås också svagare bindning mellan partiklarna till följd av att många eller de flesta porer är vattenfyllda varför kornens relativa läge har liten inverkan på storleken hos ytan mellan vatten och luft.

En utförligare beskrivning av teorin bakom agglomerering återfinns i monografier av Pietsch [Pietsch, 1991] och Rhodes [Rhodes, 1990].

I många fall används bindemedel av olika slag. Dessa kan vara organiska eller oorganiska, mer eller mindre flytande eller fasta och verka genom yt(spännings)effekter eller genom kemiska reaktioner. Priset kan variera högst avsevärt men många kan erhållas till lågt pris eller utan kostnad. I Pietschs bok [Pietsch, 1991] finns en förteckning i tabell 25. Som exempel kan nämnas ligninhaltiga restprodukter från cellulosaindustrin, cellulosahaltiga ämnen inklusive fibrer från skogsindustrin, asfalt, alkalisilikater (vattenglas), bentonit (en slags lera med stor vattenupptagande förmåga), cement, mald kalksten (kalciumkarbonat), bränd kalk (kalciumhydroxid), gips (kalciumsulfat) och - naturligtvis - vatten.

En härdningsprocess som inte tidigare diskuterats inom ramprogrammet är sintring vid förhöjd temperatur. Sådana processer innebär att graden av härdning kan styras och sannolikt därmed även beständigheten gentemot vatten samt utlakningshastigheten av olika ämnen [Nordin, 1996]. Termiska processer medger också enligt uppgift att tungmetaller kan förångas och omhändertas separat.

6.3 Agglomerering

Bakgrundsinformation för denna diskussion har inhämtats dels från tekniska uppslagsböcker [Kirk-Othmer, 1994, Ullmann, 1989], dels från monografier om partikelteknologi [Pietsch, 1991, Rhodes, 1990, Richerson, 1991].

Skillnaden mellan olika tekniker (granulering, pelletering eller självhärdning) är en fråga om skillnader i den utrustning som används för att agglomerera askan, vilka leder till varierande fysiskt utseende för de agglomererade askkornen. Vid granulering i trumma eller intensivblandare erhålles rundade korn. Vid pelletering, eller valspressning, är kornen kantigare. Bindemedel kan tillsättas i båda tekniker. I självhärdningen utnyttjas askans pozzolanska egenskaper för att framställa (förhoppningsvis) stora agglomerat, utan tillsats av bindemedel, som måste krossas ner till lämplig storlek. Valet av agglomereringsmetoder i de svenska försöken förefaller i stor utsträckning ha styrts utifrån tidigare erfarenhet i liknande sammanhang.

Hantering av kalk för jordbruksändamål liknar den process som har provats för hantering av aska från förbränning av biobränslen i ett antal fall, nämligen härdning på platta utomhus samt efterföljande krossning (se ovan avsnitt 5.2).

Spridning av kalk - vanligen mald kalksten - går till på följande sätt: kalkstenen krossas och mals till lämplig kornstorlek med hänsyn till i första hand den grad av långtidsverkan som önskas, vilket innebär att kalken blir relativt finkornig [Lundgren, 1996]. För att undvika damning fuktas kalken något innan den sprids. Kalkning på jordbruksmark sker sedan med specialfordon som klarar att sprida så finkornigt material. Finkornigheten innebär bland annat att avståndet mellan successiva turer med fordonet blir relativt litet eftersom små partiklar bromsas relativt snabbt i luften och inte kan kastas så långt.

Även om krossningen skulle göras till större kornstorlek så skulle spridningen ändå sannolikt behöva ske med specialspridare av något slag. Krossning ger nämligen i förhållande till andra granuleringssmetoder en bred kornstorleksfördelning med en stor andel finkornigt material samt en kantig kornform vilket ger en hög friktion mellan kornen och en dålig flytbarhet.

(I samband med trädgårdsodling används ofta s k kornad kalk som är något dyrare. Den dammar inte, flyter lätt och är därför lätt att sprida på samma sätt som konstgödning.)

En annan metod som provats är extrudering, som används vid tillverkning av palleter från malt biobränsle. För detta ändamål fungerar metoden väl eftersom den mjuka veden ger upphov till ett ringa verktygsslitage samt genom att partiklarna trycks ihop tillräckligt för att bilda palleter.

EnerChem har analyserat metodens tillämplighet på aska från förbränning av biobränslen och konstaterat att metodens komplexitet i kombination med det verktygsslitage som erhålls innebär att den sannolikt blir relativt dyr.

Enligt Pietsch, avsnitt 5.4.4, fungerar metoden väl för material som är plastiska [Pietsch, 1991]. Till metodens nackdelar uppges höra ett högt verktygsslitage samt benägenhet hos det pressade materialet att sönderfalla.

En annan typ av blandare är trumblandaren och liknande. Den används inom konstgödningsindustrin och ger till ett lågt pris granuler som har lämplig kornstorlek och kornform för spridning. Som framgår ovan har sådan utrustning använts på några håll med ofta gott resultat. En besläktad utrustning består av en tallrik som roterar och i vilken kulor kan rullas. Många övergångsformer existerar. Vissa typer av tallriksblandare förefaller ge kulor som visserligen blir jämnstora men som är alltför stora för att kunna spridas i befintlig utrustning.

En vidareutveckling av trumblandaren är olika typer av intensivblandare. En typ av dessa som författarna har en viss förtrogenhet med är den s k Eirichblandaren som tillverkas av Eirich i Tyskland. Lite förenklat kan den beskrivas som en trumblandare (men rotationsaxeln är vinklad i förhållande till lodlinjen) med ett "mixerverktyg". Blandaren refereras därför ofta till som "intensivblandare". Mixerverktyget roterar med en hastighet som är mycket högre än trumman. Detta innebär att korn som byggs upp till större storlek sönderdelas samtidigt som små korn binds samman på ett effektivt sätt. Metoden innebär att man erhåller en snäv kornstorleksfördelning och en rund kornform. Kornstorleken kan styras inom vissa intervall med hjälp av processparametrarna.

Intensivblandare används för skiftande ändamål. Exempelvis har IFÖ Electric lämnat extrudering för denna teknik för framställning av granulat för pressning av grönkroppar för elektrisk utrustning i keramiskt gods.

Genom kontakt med företaget Eirich i Tyskland som tillverkar utrustning av detta slag har det kommit till vår kännedom att mycket stora volymer kolaska granuleras med denna teknik för att göra askan hanterbar och icke-dammande inför deponering. Enligt kommersiella rapporter som författarna tagit del av har Eirich också granulerat aska från förbränning av biobränslen med synbarligen mycket gott resultat.

En besläktad typ av blandare är Lödigeblandaren. Den har en fast, liggande cylinder samt omrörningsverktyg som löper runt insidan av trumman. Där finns också, liksom i Eirichblandaren, ett mixerverktyg som roterar så att en hög periferihastighet erhålls. Genom trumman går ett rör som medger dosering av vatten eller andra bindemedel.

Det är Lödigeblandaren som används av EBRI AB. Andra aktörer bedöms ha använt trumblandare eller blandare av Eirichtyp.

Eirichblandaren, Lödigeblandaren med flera utrustningar finns beskrivna i litteraturen, se till exempel [Rhodes, 1990; Pietsch, 1991].

Ett modernare och hittills kanske inte så väl känt sätt att granulera konstgödnings [Pietsch, 1991, avsnitt 5.4.4] är genom sammantryckning i en valspress. Denna metod finns också beskriven i referenserna [Rhodes, 1990; Pietsch, 1991]. En fördel med metoden kan vara att materialet kan vara relativt torrt, vilket minskar risken för ihopklumpning efteråt, alternativt minskar behovet av torkning. En nackdel med metoden kan vara att granulerna är jämnstora, vilket kan leda till svårigheter att erhålla en jämn spridningsbild samt att de inte blir riktigt runda vilket innebär, att de inte rinner lika bra som

pulver innehållande sfäriska granuler. Nackdelen med jämnstorheten kan emellertid tänkas elimineras, i vart fall delvis, genom att olika stora granuler pressas i samma vals. Beträffande rasvinkeln så kan den förväntas vara betydligt gynnsammare än för krossat material och därmed kanske acceptabel.

6.4 Hantering, lagring och spridning

Det är viktigt att systemet för hantering och spridning av aska från förbränning utformas utifrån ett helhetsperspektiv. Hänsyn behöver tas till de krav som ställs utifrån de olika hanteringsstegen. En icke oväsentlig aspekt gäller möjligheterna att förvara den behandlade askan i avvaktan på spridning.

Sannolikt kommer det inte i fråga att askan sprids enligt något slags ”just in time”-system eftersom det av olika skäl kan vara olämpligt att sprida aska på skogsmark under vissa delar av året. Se avsnitt 6.1. Behandling av askprodukten kan ske i ett svep om askan granuleras och askan borde kunna spridas utan vidare behandling. Däremot kan inte krossningen efter självhärddningen ske långt före spridningen utan den måste ske i samband med den.

Till följd av att askan sannolikt är hygroskopisk - d v s tar upp vatten - och därmed avger vissa lättlösliga salter, kan det vara rimligt att anta att den granulerade askan skall förvaras torrt. Koncentrerad saltlösning som bildas i samband med att aska blir fuktig, t ex i samband med ett regn, kan vid uttorkning förväntas innebära att askan klumpar ihop sig vilket kan förväntas ge problem i samband med spridning.

Om askan skall spridas i fuktigt skick behöver två aspekter övervägas: risken för frysning och risken för hopklumpning. Dessa effekter är sannolikt beroende av graden av uttorkning. Försök behöver sannolikt utföras innan fukthalter vilka inte ger upphov till problem kan etableras. Det förefaller rimligt på nuvarande stadium att förmoda att någon form av torkning kan behöva komma till stånd. Enligt utsago från personer som arbetat med granulering och härddning av aska så utvecklar den under gynnsamma omständigheter tillräckligt mycket värme i hydratiseringsprocessen för att ge upphov till en tillräcklig torkning.

Lagring av aska kan ske i storsäck eller i bulk. I båda fallen rekommenderas att lagring sker under tak. Bulklagring kan ske i hög eller i silo. Vid lagring i silo bör risken för siloeffekter utredas (d v s eventuella problem med valvbildning eller att material fastnar mot väggarna).

Som framgår ovan så har de utredningar som utförts inom ramprogrammet visat dels att lämplig utrustning för spridning av aska från förbränning av biobränslen finns tillgängliga på marknaden (och i många fall finns hos berörda skogsbönder), dels att spridning av aska kan utföras med gott resultat under förutsättning att materialet har en lämplig kornstorlek, lämplig (snäv) kornstorleksfördelning samt en lämplig kornform.

Vår bedömning är därför att det förefaller lämpligt att i första hand söka anpassa granulering m m efter den utrustning som i stor utsträckning redan finns, snarare än att

utveckla ny utrustning för spridning av granulat som tillverkas med utrustning som också är ny.

Någon särskild analys av utrustning för spridning av aska från förbränning av biobränslen har därför inte utförts inom ramen för föreliggande uppdrag.

6.5 Kostnader

Utgående från de försök som utförts inom Ramprogram Askåterföring samt bedömningar av förutsättningarna för uppskalning har man inom detta gjort följande kostnadsuppskattningar (i kronor per ton) [Nilsson, 1993]: granulering 400-500, pelleting 400-500, krossaska 200-300, transport 70, spridning från mark 150 och spridning från helikopter över 300, sammanlagt 420-870, d v s ca 500-1000 kronor per ton. Om den dyraste metoden används genomgående motsvarar detta en ökning av bränslepriset på ca 2% eller ungefär 0,5% av priset för värme hos kund.

Det bör nämnas att de ovan angivna siffrorna avser grova uppskattningar och att de inte heller är helt jämförbara med hänsyn till bl a hur stora delar av totalprocessen som ingår etc.

I EnerChems rapport [Nilsson, 1993] har flera olika förfaranden för granulering diskuterats. Spektret innefattar såväl enkla förfaranden som förefaller kunna tillämpas till lågt pris som mera "avancerade" där bland annat investeringskostnaderna blir högre. Befintligt underlag medger inte någon närmare jämförande analys av kostnaderna.

Det har ej heller varit möjligt att inom ramen för föreliggande uppdrag göra någon grundligare analys av kostnaderna. Några kommentarer beträffande kostnadernas struktur kan ändå ges, bland annat utifrån perspektiv som erhållits inom ramen för andra uppdrag som för närvarande utförs vid ÅF-Energikonsult Stockholm AB. I dessa har i första hand intensivblandare från Eirich i Tyskland provats.

Kostnaderna för olika alternativa förfaranden förefaller vara starkt beroende av vilka krav som ställs och på hur de olika processerna kan utföras. Viktiga begränsningar ges här av kraven på systemtänkande.

Om självhärdning och krossning skall tillämpas bedömer författarna att krav bör ställas såväl på att askan skall härda som på att granulstorleken skall vara lämplig för spridning i befintliga maskiner. Det förstnämnda kravet torde innebära att en relativt omsorgsfull kontroll av såväl råvara och förbränningsprocess som härdningsprocessen erfordras. Det är väl känt bland annat från betongtekniken [Lea, 1970] att mängden vattentillsats har en avgörande betydelse för resultatet. En för liten tillsats kan innebära utebliven härdning och en för stor tillsats att materialet inte hårdnar som avsett.

Omfattande erfarenheter från krossning av olika material med olika slag av krossutrustning pekar vidare på att halten finfraktion blir hög. Om det material som skall spridas skall vara torrt så innebär den höga andelen finfraktion antingen problem med damning eller att omfattande siktningsbehöver tillgripas. För den händelse siktningsutförs reduceras processens effektivitet genom att en stor andel av det material som hanteras i

processen måste återföras och härddas igen tillsammans med ny aska. Om materialet skall vara fuktat så minskas visserligen risken för damning, men i stället behöver man säkerställa att hopklumpning inte kommer till stånd under lagring eller att materialet inte fryser sönder för den händelse det lagras kallt.

Användande av mera "avancerad" utrustning, till exempel en Eirichblandare, innebär att en jämn granulstorlek kan förväntas erhållas. Behovet av återföring av grovkornigt material bedöms som litet. (Mängden fint material bedöms bli så liten att det inte behöver separeras.) Granulerna är sannolikt fuktiga (såvida inte reaktionsvärmten från hårdningen innebär att de torkar) vilket i så fall innebär att torkning erfordras. Uppgifter pekar på att vattenhalten kan komma att vara 10 - 40% vilket innebär att en hel del vatten behöver torkas bort vilket också innebär en viss kostnad.

Enligt uppgifter från Eirich kan granulering utföras till en kostnad av ca 50 SEK per ton, vilket inte innefattar torkning. Sannolikt innefattar siffran inte heller byggnad och kring-system (vilket kanske kostar ungefär lika mycket). Vidare brukar uppgifter av detta slag baseras på att utrustningen har en god beläggning.

Utrustning från Eirich används i Tyskland rutinmässigt för granulering av stora volymer aska från förbränning av kol. Askan tippas på deponi och enda syftet med granuleringen är att underlätta hantering och transport. Genom processen får askan goda flytegenskaper så att den lätt kan lastas och lossas, och inte heller dammar. Exemplet pekar på att själva granuleringsprocessen knappast kan vara särskilt kostsam.

En viktig aspekt gäller behovet av kapacitet som ofta är litet (i varje fall i dessa sammanhang) eftersom mängden aska är så liten i förhållande till bränslet som det kommer i fråga. De processer som kan vara tillämpliga förefaller ofta gå bra att tillämpa i olika skalor, och vad gäller Eirichblandare så finns de i många olika storlekar.

Även om kostnaderna för själva utrustningen inte skulle vara starkt beroende av skala så kan ändå driftskostnaderna vara det. Driftskostnaderna kan till exempel innebära att det är fördelaktigt att överdimensionera utrustningen och använda den i kampanjer. Alternativt kan annan utrustning köras parallellt varvid driftskostnaderna kanske inte får så stor betydelse.

Om askan skall spridas i befintlig utrustning under tider då det är lämpligt att köra i skogsmarkerna erfordras lagring av granulerat material. (Lagring av ohärdat material förefaller mera vanskligt med hänsyn till konsekvensen av en eventuell hårdning vid fel tillfälle.) Eventuellt krävs att materialet är torrt för att det inte skall klumpa ihop eller ännu värre sintra ihop under lagring. Om fuktigt material lagras tillkommer risken för frysning och därmed sammanhängande sönderfall av granulerna.

Mot denna bakgrund kan följande bedömning göras beträffande kostnaderna. De uppskattningar som utförts inom ramprogrammet för själva granuleringen förefaller inte vara tagna i underkant. Det är viktigt att samtliga steg samt kostnaderna för dessa kommer med. Det är inte uteslutet att torkningen av granulerna kan komma att kosta lika mycket som själva granuleringen, eller kanske till och med mera.

Vid diskussioner med personer med lång erfarenhet av hantering av liknande material har framkommit att en kostnad som lätt underskattas är den för intern hantering och inte minst att fylla materialet i säckar.

Årstidslagring av granulerad aska är också en viktig kostnadspost.

Uppskattningen i denna rapport är att granulering i intensivblandare eller liknande kan utföras till kanske 100 kronor per ton exklusive eventuella kostnader för tillsatsämnen och/eller torkning.

Uppskattningen i denna rapport är vidare att de totaluppskattningar som gjorts inom ramen för ramprogrammet och som har refererats till ovan sannolikt är rimliga. Vi bedömer dock att skillnaden mellan självhärdning och krossning samt granulering sannolikt är mindre än vad som angivits. Det är inte uteslutet att kostnaden för den förra i själva verket kan bli högre om vissa kvalitetskrav skulle visa sig svåra att uppfylla.

Bedömningen i denna rapport är också att kostnaden för själva granuleringen sannolikt är mindre än hälften av kostnaderna för behandling, hantering, lagring och transport och exklusive spridning.

Det bör framhållas att uppskattningarna och bedömningarna ovan görs under stor osäkerhet. Viktigast i sammanhanget är egentligen själva diskussionen kring alternativa systemutformningar i ett tekniskt-ekonomiskt perspektiv.

6.6 Utvecklingsfrågor

Även om de senaste årens stora och viktiga insatser beträffande hantering och spridning av aska från förbränning av biobränslen har svarat på många viktiga frågor framstår ändå, som framgår av avsnitt 6.4 ovan, flera frågor av avgörande betydelse för systemutformning och jämförande kostnadsanalys som ofullständigt utredda.

Behov av ytterligare kunskap har identifierats inom följande områden:

- funktionskrav - utförandekrav
- provtagning/kvalitetssäkring
- granuleringsförfarande - utprovning i liten blandare
- härdningsprocessen inklusive alternativa möjligheter (härdning/enbart granulering, hög/låg temperatur, tillsatser, bark/torv, restprodukter
- torkning/sintring
- studie beträffande lagring m m

Krav på askan

Arbetet med utformningen av processer för behandling och hantering av aska för återföring bör styras mot bestämda och väldefinierade mål. Det finns naturligtvis alltid önskemål av olika slag, men i realiteten behöver man klarställa vilka krav på funktion som verkligen ställs utgående från kraven på god hushållning med naturresurser, miljö och hälsa. Det behöver också klarställas vilka krav som bör ställas med hänsyn till behovet av god teknik och god ekonomi.

Hur viktigt är det att askan återkommer till skogen? Skall den återföras nära i tid i förhållande till avverkningen eller när skogen bäst behöver näringsämnena? Vilka lakrater skall det vara för olika ämnen och hur viktigt är det att näringsämnena tillförs i en takt som skulle överensstämma med den som skulle ha blivit om hyggesresterna i stället lämnats i skogen? Hur allvarligt skulle det vara om ämnen som tagits upp på åkermark sprids på skogsmark och omvänt?

Är det till exempel ett grundkrav att befintlig utrustning för spridning på skogsmark skall kunna användas^{iv}? Vad skall man göra med blandaskor? Vad skall man göra med sådana askor som av något skäl inte är lämpade för återföring? Vilka krav kommer att ställas i framtiden beträffande deponering?

Rimligen finns många möjligheter till systemutformning som uppfyller de olika grundkraven. Det är viktigt att värmeanläggningarna dels beaktar de krav som bör ställas utifrån behoven av hälsa, miljö samt hushållning med naturresurser, dels utifrån sina förutsättningar och bedömningar kan välja system och utformning av anläggningarna för askhantering.

Provtagning och kvalitetssäkring

För flera av de utförandeformer som studerats för agglomereringen av askan kan processen förväntas vara starkt beroende av såväl råvarans, dvs bränslets, sammansättning som av förbränningsprocessen. Om kunskap om råvaran och processen inte tas fram och utnyttjas kan det program som erfordras för provtagning och provning av askan bli mycket omfattande. Dessutom kan processtekniska svårigheter uppstå genom att olika poster av aska måste mellanlagras åtskilda i avvaktan på resultat av analysen.

Det framstår därför som ändamålsenligt att söka utreda och förstå vilka faktorer hos råvara och process som påverkar behandlingen och hanteringen av askan samt på vilka sätt detta sker. Med en sådan förståelse som grund kan metodanpassade kvalitets-säkringsprogram utformas vilka medger att prov tas direkt på råvaran, det vill säga före förbränningen, och undersöks. Eventuellt föregås analysen av provförbränning eller eventuellt inaskning i liten skala. Provförbränning utförs redan idag i syfte att bestämma bränsleprovens värmevärde.

^{iv} Ett alternativ skulle ju faktiskt kunna vara att sprida askan på vanlig åkermark med enkel utrustning och i stället sprida mera koncentrerade medel, till exempel kalk med vissa tillsatser, på skogsmarken. Det kan svårigen hävdas att skogsmarken utarmas på natrium, aluminium och kisel. Emellertid skall samma krav ställas på vedaska som på slam [Naturvårdsverket, 1994]: askans halt av flera tungmetaller är för hög, varför en reningsprocess i så fall måste till.

Analys av proverna på råvaran och dokumentation av processparametrarna under driften av förbränningsanläggningen, tillsammans med kunskap om processen med avseende på askans egenskaper, förväntas (av författarna) kunna utgöra en viktig grund för bedömning av hur behandlingen av askan sedan skall utföras så att eftersträvd kvalitet kan erhållas. Erfarenheten från flera branscher har visat att analys av ingående material till en process, tillsammans med en god processkänedom, ger en mer effektiv kvalitets-säkring än en omfattande uppföljning av resultaten efter processen.

Behovet innefattar även att identifiera vilka metoder som skall användas för provtagning och provning och eventuellt även hur de bör utformas (om det visar sig att det inte finns något färdigt som passar).

Om vattenbeständighet och lakrater för olika ämnen är viktiga parametrar att styra processerna mot behövs sannolikt enkla men tillförlitliga metoder för att kunna utvärdera detta. Att för varje sats utvärdera hur askan fungerar i skogen genom en ekologisk uppföljning torde vara ogörligt. I stället behöver en kunskapsbas etableras med vars hjälp samband mellan vad som händer i skogen och resultat av enkel provning kan etableras.

En provningsmetod som visat sig tillämplig i liknande sammanhang är soxhletlakning. Metoden innebär satsvis urlakning med destillerat vatten samt anrikning av urlakat material i en begränsad vattenvolym. Metoden innebär vanligtvis att urlakningen sker betydligt snabbare än i naturliga vatten.

Agglomereringsförfarandet

Ett genomgående mönster i de försök till agglomerering som utförts är att värmeanläggningar ofta provat självhärdning och efterföljande krossning, medan olika "entreprenörer" ofta provat granuleringsförfaranden där härdningen sker samtidigt med eller i direkt anslutning till granuleringen.

Det kan vara angeläget för anläggningsinnehavarna att skaffa sig kunskap kring de olika processerna, i varje fall så långt att man får underlag för att bedöma vad man skall välja.

En del av kunskapen kring dessa kommersiella processer finns att hämta i läroböcker, tidskrifter, hos leverantörerna av utrustning samt från angränsande områden, till exempel behandling och hantering av aska från kolförbränning.

Det finns ett behov av närmare undersökningar av granuleringsförfaranden. Ofta finns det också goda möjligheter att prova olika utrustningar och metoder genom att hyra in sig i pilot- eller laboratorieutrustning.

Härdningsprocessen

En viss förvirring tycks råda kring härdningsprocessen. Inom ramen för ramprogrammet har klarlagts att det handlar om hydratiseringsreaktioner och karbonatiseringsreaktioner. De senare sker på olika sätt i full skala jämfört med laboratorieskala eftersom det tar tid för luftens koldioxid att tränga in i material av större dimensioner.

För att kunna driva en process erfordras emellertid även en konkret kunskap om hur härdningsprocessen förlöper under olika förutsättningar. Det handlar bland annat om variationer i askans sammansättning, i tillsatt mängd vatten och i temperaturen. Det är troligt att någon form av simulering av temperaturförloppet i större satsar behöver utföras.

Det är också tänkbart eller troligt att effekten av olika tillsatser behöver utredas (jmf avsnitt 6.2).

Resultatet bör vara en konkret kunskapsbas som kan användas vid anläggningarna när man skall bestämma parametrarna för behandling av en viss sats aska.

Torkning och sintring

Det är troligt att åtminstone vissa av processerna kräver torkning efter granuleringen. Orsaken är givetvis att agglomereringsprocessen kräver mer vatten för att fortgå tillfredsställande än askprodukten behöver innehålla. I vissa fall kanske tillräckligt med värme utvecklas i själva härdningsprocessen för att förånga ingående mängd vatten. I andra fall kanske själva granuleringsutrustningen kan användas även för torkning (detta är fallet med Eirichblandaren).

För torkning - och i många fall även för föregående granulering - av granuler används ofta en roterugn/tork. En sådan fungerar i princip som en cementugn, det vill säga torkutrustningen består av ett rör som är något vinklat i förhållande till horisontalplanet och som roterar kring sin egen axel. Material som skall torkas matas in i den högre änden medan varmluft eller dylikt tillförs i den ände som ligger lägst. Ofta tillförs värme genom en oljebrännare eller genom rökgaser.

Huvuddelen av värmeenergin används för att förånga vatten. Med ett mindre överskott av tillförd värme med hög temperatur kan höga temperaturer erhållas hos utgående gods. Detta kan innebära att materialet sintrar. Effekten kan vara både önskad och oönskad men innebär att det finns en potential att a) förånga och separat omhänderta oönskade tungmetaller, b) sintra granulerna till önskad mekanisk styrka samt c) sintra granulerna till önskad vattenbeständighet och lakrat.

Lagring

Årstidslagring kan innebära ökade kostnader för askhanteringen och ökade krav på de granuler som tillverkas. Det bedöms därför finnas behov av att närmare utreda följande aspekter:

- Vilka begränsningar föreligger beträffande vilka tider på året som aska kan spidas?
- Vilka begränsningar föreligger beträffande de fukthalter som olika askor kan tänkas få innehålla med hänsyn till riskerna för hopklumpning (t ex i en silo), frys-

ning, att material fastnar på siloväggarna samt risken för korrosion (av materialet t ex i en silo)?

- Hur bör förvaring av den behandlade askan ske: silo, upplägg i hög, inomhus eller utomhus, uppvärmt eller kallt?
- Uppskattning av kostnader.

7 SLUTSATSER

Det utvecklingsarbete som utförts inom ramprogrammet och i andra sammanhang täcker enligt författarnas sammanställning och bedömning i stor utsträckning det som erfordras för att återföring av aska skall kunna genomföras i stor skala i Sverige. Ytterligare relevant information finns även att tillgå i litteraturen samt hos tillverkare och användare av utrustning.

Genomgången och analysen visar att återföringen av aska kan ske med uppfyllande av högt ställda krav beträffande hälsa, miljö samt hushållning med naturresurser. Flera vägar står till buds beträffande val och utformning av kostnadseffektiva lösningar som också kan anpassas till enskilda askproducenter och skogsägare. Idag finns ingen etablerad teknik, utan det finns flera möjliga behandlingstekniker vilkas prestanda måste vägas mot kraven på askprodukten.

Vårt intryck är att askåterföring kommer att ske i stor skala innan det hunnit utvecklas ett ekologiskt vetenskapligt underlag till väl motiverade krav på den återförda askprodukten. Bland de tre områden som ingick i Ramprogram Askåterföring fortsätter endast studierna av ekologiska effekterna. Att kompensation för bortförslin av näringsämnen vid helträdsuttag behövs torde dock vara klarlagt för olika typer av skog. Redan i dag ställs krav från myndigheter att askan återförs, t ex i Faluns fall[Backman, 1996]. När formerna för askåterföringen diskuterats har en av målsättningarna varit att binda askproducenten vid dennes betalningsansvar.

Behandling och hantering av aska bör utgå från att befintliga metoder och befintlig utrustning för spridning av granulerat material på skogsmark utnyttjas. Detta innebär sannolikt att det material som skall spridas bland annat bör ha lämplig kornstorleksfördelning och lämplig fukthalt. Detta kan åstadkommas genom endera av två principiellt olika behandlingsförfaranden: självhärdning och krossning samt granulering och torkning.

Övriga slutsatser innefattar följande:

- Risken för skada på det som växer till följd av återföringen av aska är liten
- Återföring av aska kan förväntas ha positiva effekter på skogen genom att näringsämnen till(åter)förs och genom att försurningen motverkas.
- Det förefaller finnas goda möjligheter till att försätta askan med ytterligare ämnen som inverkar positivt på biobränslegröda och mark.
- Under förutsättning att granuler framställts till lämplig kvalitet bedöms spridning kunna ske med konventionell (och ofta befintlig) utrustning.
- För att kunna lagras, hanteras och spridas behöver askan granuleras till rundad granulform, kornstorlek i intervallet 0,1 - 5 mm med lämplig gradering och med liten finfraktion samt i vissa fall torkas till lämplig fukthalt (se ytterligare nedan).

- Den runda formen ger goda flytegenskaper, kornstorleksfördelningen goda spridningsegenskaper och frånvaron av finfraktion innebär att pulvret inte dammar vid hantering.
- I vissa fall härdar aska i kontakt med vatten vilket kan utnyttjas, dels för att granulera askan till lämplig form, dels för att göra den lagom beständig mot (urlakning i) vatten.
- I flertalet fall hårdnar inte aska i kontakt med vatten. Detta behöver kanske ej heller vara nödvändigt eftersom askpartiklar i lämplig blandare, lämplig process (inklusive väl avpassad mängd vatten) bedöms kunna ge tillräckligt hållfasta samt även i övrigt lämpliga granuler (jmf ovan). Eventuellt behöver tillsatsmedel med lågt pris per ton användas. Det förefaller också möjligt att utnyttja restprodukter för detta ändamål.
- Luftens innehåll av koldioxid kan i vissa fall bidra till hårdningen av askan genom karbonatisering.
- Sannolikt erfordras begränsningar i fukthalt för att granulerna ej skall klumpa ihop sig under lagring och transport samt flyta under hantering. Vid lagring under kalla betingelser kan fuktiga granuler tänkas frysa och därmed sönderfalla. Låg fukthalt innebär sannolikt en högre hållfasthet.
- Utredningar, bland annat från ramprogrammet, visar att strängsprutning sannolikt blir dyr samtidigt som kornformen och kornstorleksfördelningen bedöms bli mindre gynnsam.
- Behandling i intensivblandare (Eirichblandare och Lödigeblandare) har visats ge lämplig granulform och granulstorleksfördelning. Eventuellt erfordras torkning alternativt användande av tillsatser för att granulerna skall kunna lagras och hanteras.
- Behandling i rullpress kan sannolikt ske med låg vattentillsats. Eventuellt föreligger svårigheter att erhålla lämplig granulstorlek och granulstorleksfördelning för spridning med befintlig utrustning
- Bedömningen i denna rapport är att granulering i intensivblandare kan utföras till kanske 100 kronor per ton exklusive eventuella kostnader för tillsatsämnen och/eller torkning.
- I kostnaderna bör även medräknas årstidslagring i silo eventuellt vid temperaturer över vattnets fryspunkt. Dessa kostnader har emellertid inte varit föremål för någon uppskattning.

Behov av ytterligare kunskap har identifierats inom följande områden, se ovanstående avsnitt 6.6:

- krav på askprodukten
- provtagning/kvalitetssäkring
- granuleringsförfarande - utprovning i liten blandare
- härtningsprocessen inklusive alternativa möjligheter (härtning/enbart granulering, hög/låg temperatur, tillsatser, bark/torv, restprodukter
- torkning/sintring
- studie beträffande lagringen av askprodukten m m

8 REFERENSER

- P. Anttila, 1996, Metsäteho OY, muntlig information, oktober 1996
- M. Aunes, 1994, Askåterföring till skogsmark, Luleå Tekniska Högskola, Inst. Samhällsbyggnadsteknik, HLU-TH-EX--1994/142-E
- M. Axelsson, 1996, Erfarenheter av Skogsstyrelsens försöksverksamhet, föredrag vid konferensen "Askåterföring", Stockholm, 1996
- A. Backman, 1996, Hanteringen vid det enskilda verket, föredrag vid konf. "Askåterföring", Stockholm, 1996, 9 sid.
- P.C. Badger, 1988, Production of granular fertilizers containing wood ash, *Biologue* 5:2, 27-28
- S. Bengtsson, 1995, Bio-aska ersätter kol, *Energimagasinet* 1995:4, sid 24-26
- C. Berglund, 1991, Skogsgödsel av vedaska och avloppslam, Luleå Tekniska Högskola, Inst. Samhällsbyggnadsteknik, rapport 1991:190E
- S. Bucht, 1991, Skogsstyrelsens syn på helträdsuttag och askåterföring, i "Aska från biobränslen - Hinder eller tillgång", Hudiksvall, 1990, Red. T. Klingberg, sid. 45-48, Statens Energiverk rapport STEV-TB-91/1
- P. Börjesson, 1992, Granulerade vedaskors upplösning i skogsmark, Vattenfall Utveckling AB, rapport U(B) 1992/17
- H. Carlsson, 1996, Askåterföring med häst - ett miljövänligt framtidsalternativ, föredrag vid Konf. "Askåterföring", Stockholm, 1996, 8 sid.
- T. Claesson, 1996, Kalmar Högskola, och P. Snöberg, Kalmar Energi och Miljö, muntlig information, september 1996
- P.M. Coleman, 1993, Case study of recycling options for New Hampshire generators, Proc. 1st Biomass Conf. of the Americas, NREL-CP-200-5768, Vol. 1, pp 680-688
- P.M. Coleman, 1995, Land application of wood ash: 12 years in Northern New England, preprint Symp. "Land application of wood-fired and combination boiler ashes", Asheville, NC
- J.F. Connors, 1996, The wood fired electric generating industry in Maine, draft report, Maine State Planning Office
- B.O. Danielsson, 1996, Spridning av aska från Falu kraftvärmeverk - Redovisning av försöken 1995, Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. Skogsteknik, Garpenberg, Arbetsdokument nr 15:1996

S.O. Ericson, C. Fornling, T. Jonsson, A. Lundborg & R. Oskarsson, 1993, Skogsbränsle - för miljövänlig energiproduktion, Slutrapport för Projekt Skogskraft, Södra AB och Vattenfall AB

S.O. Ericson, A. Lundborg & R. Oskarsson, 1994, Aska i skogen - samlade erfarenheter och kunskaper från Projekt Skogskraft, Södra AB och Vattenfall AB

J. Eriksson, 1993, Karakterisering av vedaska, Vattenfall AB, rapport U(B) 1992/48

J. Eriksson, 1996, Härdade vedaskors upplösning i skogsjord, NUTEK, rapport R 1996:50

J. Eriksson & P. Börjesson, 1991, Vedaska i skogen, Vattenfall Utveckling AB, rapport UB 1991/46

L. Etiégni & A.G. Campbell, 1991, Physical and chemical characteristics of wood ash, *Bioresource Technology* 37, 173-178

M. Fahlin, 1996, Askåterföring sluter kretsloppet, föredrag vid SVEBIO:s Vårmöte 1996, "Bioenergi nödvändigt för det framtida energisystemet", 9 sid.

T. Falk, 1992, Askgranulering Sala, NUTEK rapport TB-92/9

J.E. Fehrs & C.T. Donovan, 1993, Environmental issues: new techniques for managing and using wood fuel ash, *Proc. 1st Biomass Conf. of the Americas*, NREL-CP-200-5768, Vol. 1, pp. 689-705

B. Fredin, 1991, Deponering eller återföring ?, i "Aska från biobränslen - Hinder eller tillgång", Hudiksvall, 1990, Red. T. Klingberg, sid. 81, Statens Energiverk rapport STEV-TB-91/1

A.M. Fällman & J. Hartlén, 1994, Kvalitetssäkring av sorterad bottenaska från avfallsförbränning, REFORSK, rapport FoU 108

J. Gifford, 1996, New Zealand Forest Research Institute, e-post, september 1996

W.T. Greene, 1988, Wood ash disposal and recycling sourcebook, OMNI Environmental Services, report to CONEG (Coalition of North East Governors), DoE/OR/21389-13 (1988)

P. Hakkila & H. Kajala, 1983, Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka (The technique of recycling wood and bark ash), *Folia Forestalia* 552, 1-37 (1983)

P. Hakkila, 1986, Recycling of wood and bark ash, A state-of-the-art review for Programme Group C under the IEA Forest Energy Agreement, The Finnish Forest Research Institute, *Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja* 211 (1986)

P. Hakkila, 1996, Finnish Forest Research Institute, muntlig information, oktober 1996

- N. Heding, 1996, Forskningscentret for Skov og Landskab, muntlig information, september 1996
- S. Holmroos, 1993, Karakterisering av vedaska, Vattenfall Utveckling AB, rapport VU-E 93:64
- J. Hytönen, 1996, Metla (Finnish Forest Research Institute), Kannus Research Station, brev, oktober 1996
- P. Hörkkö, 1975, Tuhkan rakeistamisesta, särtryck från "Kuorituhkaseminaari", Helsingfors (1975)
- S. Jacobsson, 1996, Askåterföreling och kompensationsgödsling efter helträdsavverkningen - effekt på trädens stamtillväxt, K. Skogs- o. Lantbr. akad. Tidskr. 135:13, 91-102
- L.E. Johnsson, 1996, Nordkalk Kalcium AB, muntlig information, september 1996
- O. Jönsson & C. Nilsson, 1996, Karaktärisering av förgasningsaskor från skogsbränslen, NUTEK, rapport R 1996:27
- Kirk-Othmer, Eds., 1994, Encyclopedia of industrial chemistry, Wiley, New York, NY
- T. Klingberg, 1996, Åt skogen med askan!, föredrag vid konf. "Askåterföreling", Stockholm, 3 sid
- J.D. LeBlanc & D. Precht, 1993, Three biomass power plants in New England. First five years of challenges and solutions, Proc. Cogen III CIBO Conference, Hartford, CT, p.201-217
- F.M. Lea, 1970, The chemistry of cement and concrete, 3. uppl., Edward Arnold Publ., London
- L. Liinanki & G. Karlsson, 1994, VEGA test och verifikation - Trycksatt förgasning av biobränslen, Vattenfall Utveckling AB, Projekt Bioenergi, rapport 1994/12
- A. Lindahl, 1996, WIECO AB, muntlig information, oktober 1996
- J. Lindberg, 1994, Askåterföreling till skogsmark, Luleå Tekniska Högskola, Inst. Samhällsbyggnadsteknik, rapport HLU-TH-EX--1994/141-E
- I. Lindström, 1995, Önskad askkvalite för försök med vitaliseringsgödsling våren 1995, Skogsstyrelsen, PM 1995-04-05
- I. Lindström, 1996, Kartläggning och syntes av teknik- och logistiksystem, NUTEK, rapport R 1996:14
- A. Lomander, 1996, föredrag vid konf. "Askåterföreling - effekter i skogen", Ultuna
- I. Lundgren, 1996, Nordkalk AB, Köping, muntlig information, oktober 1996

G. McGinnis, J. Rughani, W. St.John, J. Diebel, S. Shetron & M. Jurgensen, 1995, Wood ash in the Great Lakes Region: production, characteristics and regulation, Michigan Technological University, report to Council of Great Lakes Governors

T. Magnusson & B. Hånell, 1996, Aska till skog på torvmark - en litteraturstudie, NUTEK rapport under tryckning

D.A. Mays, U.R. Bishnoi & R.W. Taylor, 1993, Wood ash utilization in fine turf liming and fertilization, Alabama Agr. Mech. Univ., rapport till Tennessee Valley Authority

M. Morsing, 1994, The use of sludge in forestry and agriculture. A comparison of the legislation in different countries, Forskningscentret for Skov og Landskab, Forskningsserien, nr 5:1994

M. Morsing & S. Westborg, 1994, Aske fra halm- flisfyrede værker til jordbrugsmæssig anvendelse. Forprojekt, rapport NEI-DK-2034

Naturvårdsverket, 1994, Biobränsleaska i kretslopp, Naturvårdsverket informerar, SNV 91-620-9564-1

C. Nielsen, 1996, dk-Teknik, muntlig information, september 1996

B. Nihlgård, 1996, föredrag under konferensen "Askåterföring - effekter i skogen", Ultuna

A. Nilsson, 1993, Tekniker för behandling av aska, NUTEK, rapport R 1993:42

C. Nilsson, 1996, muntlig information, september 1996

C. Nilsson & O. Jönsson, 1996, Tekniker för behandling av aska - Kartläggning av aktiviteter i Sverige och utlandet, NUTEK rapport R 1996:62

C. Nilsson & B.M. Steenari, 1996, Karaktärisering och behandling av träaska, NUTEK rapport R 1996:15

F. Nordenberg, 1996, Granulering av vedaska med omrörarteknik, examensarbete vid Inst. Energiteknik, Mälardalens Högskola

A. Nordin, 1995, Askmedel och kalk - tidiga effekter på elektrisk konduktivitet och pH i en skogsjord och deras korrelationer med skaktest, Inst. Skoglig marklära, Sveriges Lantbruksuniversitet, rapport SLU-SKOMA-R-69-SE

A. Nordin, 1996, ETC, muntlig information, oktober 1996

A. Nordin, S. Sjögren, B. Skoglund & A. Ficks, 1996, Restprodukter av flygaska, Slutrapport till BFR, projekt 930931-2

AB Nordströms Konstruktionsbyrå, 1996, Pelletering av vedaska enligt patentsökt system, företagsbroschyr

H.-Ö. Nohrstedt, 1996, sammanfattning av första dagens föredrag, Konf. Askåterföring - effekter i skogen, Ultuna

NUTEK, 1996, Uthållig produktion av biobränslen från skogsmark, Programbeskrivning

I. Obernberger, 1996, Technische Universität Graz, muntlig information, oktober 1996

I. Obernberger & M. Narodoslawsky, 1995, Material fluxes of elements in biomass combustion plants and their characteristics, Proc. 3rd European Conf. Industrial Furnaces and Boilers, Lisbon

I. Obernberger, P. Pölt & F. Panholzer, 1994, Charakterisierung von Holzasche aus Biomassefernhelzwerken, I. Zur chemischen Analytik der Aschefraktionen, UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox. 6, 319-322

B.A. Olsson, 1996, Nätungssekologiska effekter av helträdsutnyttjande, K. Skogs- o. Lantbr. akad. Tidskr. 135:13, 45-51

M. Olsson, 1996, Långsiktiga nätungsbalanser vid uttag av skogsbränsle, K. Skogs- o. Lantbr. akad. Tidskr. 135:13, 37-44

R. Oskarsson, 1991, Från försök i Projekt Skogskraft, i "Aska från biobränslen - Hinder eller tillgång", Hudiksvall, 1990, Red. T. Klingberg, sid. 85-100, Statens Energiverk rapport STEV-TB-91/1

W.B. Pietsch, 1991, Size enlargement by agglomeration, Wiley & Sons, Chichester, Salle + Sauerländer, Aarau

M. Rhodes, 1990, Ed., Principles of powder technology, Wiley, Chichester

D.W. Richerson, 1992, Modern ceramic engineering, properties, processing and use in design, Marcel Dekker, New York, NY

H. Ries, 1996, Maschinenfabrik Gustav Eirich, muntlig information, augusti 1996,

J. Rughani, J. Diebel, G. McGinnis & W. StJohn, 1995, Characterization of wood ash and its regulations for land application in Great Lakes region, Proc. 2nd Biomass Conf. of the Americas, report NREL-CP- 200-8098, p. 168-177

H. Samuelsson, 1996, Skogsstyrelsen, föredrag vid konf. "Askåterföring - effekter i skogen", Ultuna

G. Sfiris, 1991, Utförbränning av vedaska i CFB-panna, Vattenfall Utveckling AB, rapport VU-V 91:28

SKFS 1986:1, Skogsvård. Skogsstyrelsens allmänna råd om begränsning vid uttag av träddelar utöver stamvirke på skogsmark

B. Skoglund, 1996, Askgranulering vid Örebro Energi under åren 94-96, föredrag vid konf. "Askåterföring", Stockholm, 9 sid.

Skogsägarnas Riksförbund, Skogsägarnas Askpolicy (1996)

H. Smith, 1996, Bioenergy Corp., muntlig information, oktober 1996,

SOU 1996:139, Skatt på avfall: slutbetänkande från Deponiskatteutredningen, Fritze, 1996

H. Staaf, T. Persson & U. Bertills, Red., 1996, Skogsmarkskalkning. Resultat och slutsatser från Naturvårdsverkets försöksverksamhet, Statens Naturvårdsverk rapport SNV 4559

B.-M. Steenari, 1996, Askhärdningens kemi - sammanfattning, föredrag vid konferensen "Askåterföring", Stockholm, 2 sid

B.-M. Steenari & O. Lindquist, 1996, Biobränsleaskors innehåll och härdningsegenskaper, NUTEK, rapport R 1996:28

E. Ström, 1994, Ramprogram Askåterföring. En presentation av programmet och pågående projekt, NUTEK rapport NUTEK R 1994:39

T. Sundin, 1996a, STORA Research, muntlig information, oktober 1996

T. Sundin, 1996b, inhoppt under konferensen "Askåterföring - effekter i skogen", Ultuna

S. Takalo, 1980, Tuhkan pelletöinnistä myönteisiä tuloksia, Metsä ja Puu 1980:8, 25-26

S. Thege, 1996, EBRI AB, muntlig information, oktober 1996

B. Timm, 1991, Krav på deponi eller krav på återföring, i "Aska från biobränslen - Hinder eller tillgång", Hudiksvall, 1990, Red. T. Klingberg, sid. 49-64, Statens Energiverk rapport STEV-TB-91/1

M. Uddbäck, 1996, muntligt framförande under konf. "Askåterföring", Stockholm

Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry, 1989, VCH Publishers, New York, NY

M. Westermark, 1996, Termisk kadmiumrening av träbränsleaskor, NUTEK, rapport R 1996:30 (1996)

O. Westling, 1996, Krav på askkvalitet och hur den skall mätas, föredrag under konferensen "Askåterföring", Stockholm, 4 sid

B.A. Wexell, 1996, Pelletering av träbränsleaska och en blandning av träbränsleaska och grönlutslam, föredrag vid konf. "Askåterföring", Stockholm, 9 sid.

K. Windelhed, 1996, Befuktningens och packningens betydelse för askans härdning, föredrag vid konf. "Askåterföring", Stockholm, 2 sid.

T. Åbyhammar, M. Fahlin, A. Nilsson & U. Henfridsson, 1994, Askåterföringssystem. Tekniker och möjligheter, NUTEK, rapport R 1994:3

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

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrierna
- Övrig Industri

Värmeforsk samarbetar med Statens Energimyndighet.

VÄRMEFORSK Service AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80 • Fax 08-677 25 35

<http://www.varmeforsk.se>