

Rapport
fra Skog og landskap

09/2014



skog +
landskap

Norsk institutt for
skog og landskap

TILBAKEFØRING AV TREASKE TIL SKOG

Egenskaper, effekter og metoder

Kjersti Holt Hanssen, Nicholas Clarke og Janka Dibdiakova



TILBAKEFØRING AV TREASKE TIL SKOG

Egenskaper, effekter og metoder

Kjersti Holt Hanssen, Nicholas Clarke og Janka Dibdiakova

ISBN: 978-82-311-0214-4

ISSN: 1891-7933

Omslagsfoto: Forsøksfelt med askegjødsling i Hobøl. Kjersti Holt Hanssen, Skog og landskap

Norsk institutt for skog og landskap, Pb. 115, NO-1431 Ås

FORORD

Prosjektet "Innovativ utnyttelse av aske fra trevirke for økt verdiskapning og bærekraftig skogbruk" (AskeVerdi, prosjektnummer 215935/O10) ble startet med bakgrunn i økt interesse for fornybar energi og mulighetene til å benytte treaske som gjødsel. Prosjektet går fra 2012 til 2015, og er finansiert av Norges forskningsråds program Natur og næring, Jordbruksavtalen og en gruppe industripartnere. Bergene Holm AS er prosjekteier, Norsk Treteknisk Institutt er prosjektleder, og Skog og landskap, Bioforsk og PFI er prosjektdeltagere i AskeVerdi. Denne rapporten er en del av arbeidspakke 4, Tilbakeføring av treaske til skog, hvor Skog og landskap er ansvarlig partner.

I rapporten gjøres en gjennomgang av regelverk og relevant norsk og internasjonal litteratur om effekter av tilbakeføring av aske til skog, med hensyn til blant annet skogens tilvekst, vegetasjon, jord- og vannkvalitet og karbonbinding. Egenskapene til treaske drøftes i lys av litteratur og prosjektets egne analyser av askeprøver fra norske tremekaniske bedrifter og fjernvarmeanlegg. Vi gjør videre en vurdering av hvilke skogstyper, asketyper og dosering som er mest egnet for norske forhold.

Vi takker industripartnerne for bidraget med innsamling av askeprøver fra sine anlegg, og Simen Gjølshø og Henning Horn for kommentarer til rapporten.

Ås, 23. april 2014

SAMMENDRAG

Produksjon av aske fra trevirke har økt kraftig de siste ti årene, fordi biobrensel i stadig større grad blir tatt i bruk til fornybar varme- og energiproduksjon. Aske fra trevirke inneholder viktige næringsstoffer og kalk som kan utnyttes til gjødslingsformål, alene eller sammen med andre næringsstoffer. Anvendelse av aske i skog øker pH-verdien og innholdet av de fleste hovednæringsstoffene i jordsmonnet, unntatt nitrogen. Askens egenskaper avhenger av hvilken type biobrenselstortiment som benyttes i forbrenningen, styring og prosessparametre i forbrenningsprosessen, samt behandling og lagring av asken.

Treaske inneholder tungmetaller som trærne har tatt opp fra jorda de vokser i. Konsentrasjonene varierer avhengig av jordsmonn og treslag, forbrenningsmetode, askefraksjon og andre faktorer. Analyser av askeprøver fra 19 norske biobrenselanlegg viste at kvaliteten på de ulike askeprøvene varierte i betydelig grad. Som forventet var det mer tungmetaller i flyveasken enn i bunnasken. Til en eventuell bruk i skogen vil bunnasken derfor være mest aktuell.

Flere studier har undersøkt konsekvensene av å føre tungmetaller fra treaske tilbake til skogøkosystemer. Resultatene tyder på at askegjødsling ikke fører til økt tungmetallinnhold i jordvann, fordi økt pH som følge av gjødslingen gjør at metallene blir ennå mer tungt oppløselige. Innholdet av tungmetaller i bær eller andre plantedeler øker ikke etter asketilførsel, men det er funnet økt innhold i noen typer sopp rett etter gjødsling.

Etter en askegjødsling vil det ofte bli en konsentrasjonsøkning av ioner fra lettløselige salter i jordvannet. Etter noen måneder går konsentrasjonene tilbake. Askegjødsling kan også øke pH-verdiene i jorda. Effektene på pH-verdier og ionekonsentrasjoner i jordvann er avhengig av dose, og skjer i hovedsak i de øvre jordlagene.

På mineraljord er det vanligvis mangel på nitrogen som begrenser veksten av skogen. Fordi aske ikke inneholder nitrogen, ser man ofte små effekter på tilveksten etter en ren askegjødsling. På god mark kan man få en viss positiv effekt, mens effekten kan være negativ på fattige marktyper. Aske gitt sammen med nitrogen kan forlenge effekten av nitrogengjødslingen. På grøftet torvmark vil man ofte få en tydelig økning i tilveksten, fordi asken øker pH og tilfører fosfor og kalium, som det ofte er mangel på i torvjorda.

Få studier tar for seg klimagassbalansen i hele økosystemet etter askegjødsling. Ut fra de rapportene som foreligger, er det sannsynlig at askegjødsling på grøftet torvmark vil ha en positiv effekt på klimagassregnskapet, mens det ikke vil ha særlig effekt i hverken positiv eller negativ retning på mineraljord.

På fastmark er endringene i vegetasjonen etter askegjødsling stort sett beskjedne og av kort varighet. Ofte er effekten en redusert dekning av moser i en periode, mens urter og gress kan øke. På grøftet torvmark gir askegjødsling mer varige endringer i vegetasjonen, gjerne i retning av en mer fastmarksliknende vegetasjonstype. Dosering og askeform påvirker effektene på vegetasjonen.

En dose på omtrent 3 tonn aske pr hektar (300 kg pr dekar) pr gang, og maksimalt 6 t pr omløp, vil i følge aktuell litteratur gi begrensede miljøeffekter, og god tilveksteffekt på grøftet torvmark. Askens kvalitet må kontrolleres, blant annet innholdet av tungmetaller. Nærmere retningslinjer om grenseverdier må gis i lovverket. Asken må være godt herdet for å unngå sviskader på vegetasjonen og for å gi en langvarig effekt.

I våre naboland Sverige og Finland er gjødsling med aske i skog nokså vanlig. I Norge er tilbakeføring av aske til skog ikke tillatt, fordi «Forskrift om gjødselvarer m.v. av organisk opphav» (2003) ikke definerer skog som et av arealene det kan spres aske på. Forskriften er p.t. under revisjon. Norsk PEFC Skogstandard vil også regulere bruken av

askegjødsling i skog. I rapporten oppsummeres andre lands regelverk knyttet til tilbakeføring av aske til skog.

SUMMARY

The production of ash from wood has greatly increased over the last ten years, because biofuels are increasingly being used for heating and energy production. Wood ash contains essential nutrients and lime which can be exploited for soil fertilisation, alone or together with other nutrients. Application of ash increases the pH and the contents of most of the main nutrients in the soil, except for nitrogen. The ash's properties depend on the type of fuel used in the burning process, control and process parameters during combustion, and the processing and storage of the ash.

Wood ash contains heavy metals that trees have taken up from the soil. Concentrations vary depending on the soil and tree species, the combustion method, ash fraction and other factors. Analysis of ash samples from 19 Norwegian biofuel plants showed that the quality of the different ash samples varied significantly. As expected, there were more heavy metals in the fly ash than in the bottom ash. Thus, bottom ash is the fraction more likely to be of use in the forest.

Several studies have examined the consequences of bringing heavy metals from wood ash back to forest ecosystems. Results indicate that ash fertilization does not lead to increased heavy metal concentrations in soil water, because a result of the increased pH is that the metals will become more insoluble. The concentrations of heavy metals in berries or other plant parts do not increase after ash spreading, but increased concentrations have been found in some types of mushrooms.

After ash fertilisation there will often be an increase in the soil water concentrations of ions from highly soluble salts. After a few months the concentrations decrease. Ash fertilization can also increase soil pH. The effects on pH values and ion concentrations in the soil water depend on the dose, and are mainly in the upper soil layers.

In mineral soils there is usually a lack of nitrogen, which limits the growth of the forest. Because ash does not contain nitrogen, effects on tree growth after pure ash fertilisation are often small. On a good site, one can get a certain positive effect, while the effect may be negative on poor sites. Ash supplied together with nitrogen can prolong the effect of nitrogen fertilisation. On drained peat there will often be a clear increase in growth, because the ash increases the pH and provides phosphorous and potassium, of which there is often a lack in peat soil.

Few studies address the greenhouse gas balance of the entire ecosystem after ash fertilisation. From the reports that are available, it is likely that ash fertilisation on drained peat will have a positive effect on the greenhouse gas balance, while the effect in mineral soil will be small.

Changes in vegetation after ash fertilisation on mineral soil are mostly modest and of short duration. Often the effect is a reduced coverage of mosses for a period of time, while herbaceous plants and grasses may increase. On drained peat, ash fertilisation causes changes in the vegetation, usually in the direction of a vegetation type more common on mineral soil. Dosage and ash type influence the effects on vegetation.

A dose of about 3 tonnes of ash per hectare at one time, and a maximum of 6 t per rotation, will according to current literature give limited environmental effects and good results for growth on drained peat. The ash's quality needs to be checked; among other things the heavy metal content. Further guidelines on threshold values must be given in

the legislation. The ash must be well hardened to avoid scorch damage to the vegetation and to provide a long-lasting effect.

In our neighbouring countries Sweden and Finland, forest fertilisation with ash is fairly common. In Norway, ash spreading in the forest is not allowed, because the "Regulation on Fertilisers etc. of Organic Origin" (2003) does not define forest as one of the land use types that can be fertilised by ash. This regulation is currently under revision. The Norwegian PEFC Standard will also regulate ash fertilisation in the forest. Other countries' guidelines and regulations related to spreading of ash in the forest are summarised in the report.

Nøkkelord: Aske, bioenergi, næringsstoffer, regelverk, skog, tilvekst

Key word: Wood ash, bioenergy, nutrients, regulations, forest, growth

Innhold

Forord	ii
Sammendrag	iii
1. Innledning	1
2. Dagens regelverk og praksis ved gjødsling med aske	1
3. Askens egenskaper og forbehandling	3
3.1. Råmateriale	3
3.2. Forbrenningsanlegg	4
3.3. Askens egenskaper	5
3.4. Forbehandling og herding av asken	8
3.5. Mengde tilgjengelig aske	9
4. Tungmetaller og forurensning	9
5. Effekter på jord og vann	10
6. Effekter på skogen	10
6.1. Mineraljord	10
6.2. Torvmark	11
7. Klimaefekter ved gjødsling med aske	12
8. Effekter på vegetasjon	12
9. Effekter på mikroorganismer/fauna	13
10. Regelverk for gjødsling med aske	14
11. Anbefalinger	16
Referanser	17

1. INNLEDNING

Bioenergi skapes ved forbrenning av biomasse, og i forbrenningsprosessen produseres det aske. I dag kommer omtrent 6 % av Norges energibehov fra bioenergi. Det er et mål å øke utnyttelsen av bioenergi i Norge med omtrent 14 TWh fram mot 2020, noe som tilsvarer en dobling av 2009-nivået (St. meld. nr. 39 2008-2009). En stor del av en slik økning må komme fra skogsvirke, slik som tynnings- og lauvtrevirke, energigran og hogstrestre (greiner, topper og nåler), ved siden av sagflis og andre restprodukter fra treindustrien. En mer intensiv utnyttelse av biomasse fra skog vil føre til en større eksport av næringsstoffer fra skogøkosystemene. For å opprettholde næringsbalansen og skogens vitalitet, kan det i noen tilfeller være nødvendig å tilbakeføre næringsstoffer.

Produksjon av aske fra trevirke har økt kraftig de siste ti årene. Grunnen er at biobrensel i stadig større grad blir tatt i bruk for å sikre fornybar og CO₂-nøytral varme- og energiproduksjon. Imidlertid fører energiproduksjon fra biomasse til betydelige askevolum som må utnyttes økonomisk (EU 2008, Trømborg 2011). Blant produsentene finner vi fjernvarmeanlegg, treforedlingsbedrifter og tremekanisk industri. Miljøvennlig utnyttelse av aske etter forbrenning av trebasert biomasse er en bærekraftig måte å utnytte en fornybar ressurs på som gjør at skogens bioenergiressurser kan karakteriseres som en grønn energikilde (EU 2008). I dag går store deler av asken til avfallsdeponier, noe som representerer en kostnad for bedriftene samtidig som næringsstoffene i asken ikke blir utnyttet.

De siste tiårene er det gjennomført en rekke studier omkring alternativ utnyttelse av treaske i jordbruk, skogbruk og grøntanlegg. Treaske inneholder alle hovednæringsstoffene planter trenger, med unntak av nitrogen, og vil også ha en kalkingseffekt. Resirkulering av treaske vil derfor kunne forbedre næringsinnholdet i jorda og motvirke forsuring av jordsmonnet. Men treaske kan også inneholde tungmetaller, og uherdet aske kan skade vegetasjonen. For å oppnå mest mulig positive virkninger og unngå negative effekter på miljøet må innholdet av tungmetaller og dioksiner ikke overskride visse grenseverdier, asken må være behandlet, og den må tilbakeføres i riktig mengde og på rett sted. Denne rapporten går igjennom norsk og relevant internasjonal litteratur om askens egenskaper, samt metoder, regelverk og effekter av å tilbakeføre aske, og gir anbefalinger om behandling og bruk av treaske i skog.

2. DAGENS REGELVERK OG PRAKSIS VED GJØDSLING MED ASKE

Det er ikke vanlig i Norge i dag å tilbakeføre treaske til skogen. Det finnes enkelte eldre forsøksfelt med askegjødsling på torv, blant annet på Åsmyra i Akershus (Thurmann-Moe 1956), og det finnes også noen få forsøk på fastmark. Fordi «Forskrift om gjødselvarer m.v. av organisk opphav (2003)» (<http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951>) ikke definerer skog som et av arealene det kan spres aske på, er det pr definisjon ikke tillatt. Forskriften er for tiden under revisjon (2014). Derimot åpner Norsk PEFC Skogstandard for tilbakeføring av aske. Skogstandarden er en frivillig standard for bærekraftig skogbruk som ble utviklet gjennom samarbeidsprosjektet Levende Skog, og over 90 % av det norske skogarealet er sertifisert gjennom den. Skogstandarden sier blant annet at «Askespredning i skog kan skje som tilbakeføring av næringsstoffer til egnet skogsareal. (...) Bare herdet og behandlet aske med godkjente verdier for tungmetaller kan tilbakeføres til skog».

I våre naboland Sverige og Finland er gjødsling med aske i skog mer vanlig. I følge Rec Ash (Emilsson 2006) spres det årlig ca 27 000 tonn aske på skogsmark i Finland. Det meste av dette blir spredt på torvmark, for å øke skogproduksjonen. I Sverige har tilbakeføring av aske til skog økt de siste årene, og ifølge Skogsstyrelsen ble det spredt ca 35 000 tonn i 2010. Der er fokuset ikke spesielt rettet mot torvmark. Askegjødsling anbefales mer generelt som en

motvekt mot forsurening og mot næringsubalanse i skog etter uttak av greiner og toppler til bioenergi. Våre naboland har dermed litt forskjellige begrunnelser for å tilbakeføre aske til skog.

I Sverige og Finland er det vanlig å bruke selvherdet og knust treaske, eventuelt granulert aske. Asken spres med traktor eller annet jordbruksredskap fra bakken, eller med helikopter. Dersom asken skal spres på torvmark fra bakken, må det skje på frossen mark for at jordas bæreevne skal være god nok. Vanlig dosering ligger på 2-6 tonn aske pr hektar (200-600 kg pr dekar). I Sverige anbefaler Skogsstyrelsen at maksimalt 3 tonn tilføres per hektar og tiårsperiode, og maksimalt 6 tonn i løpet av en omløpstid (Skogsstyrelsen 2008). Se kapittel 10 for andre lands regelverk omkring tilbakeføring av aske til skog.

Figur 1 illustrerer hvordan aske kan spres med traktor eller helikopter, mens Figur 2 viser et skogbestand rett etter spredning av aske.



Figur 1. Spredning av aske kan skje med traktor eller lassbærer og spreder fra bakken (til v.) eller med helikopter (til h.). Foto: Steinar Wormdal og N. Huotari, Metla, Finland.



Figur 2. Et granbestand i Hobøl, Østfold, rett etter spredning av 270 kg treaske pr dekar. Foto: Kjersti Holt Hanssen, Skog og landskap.

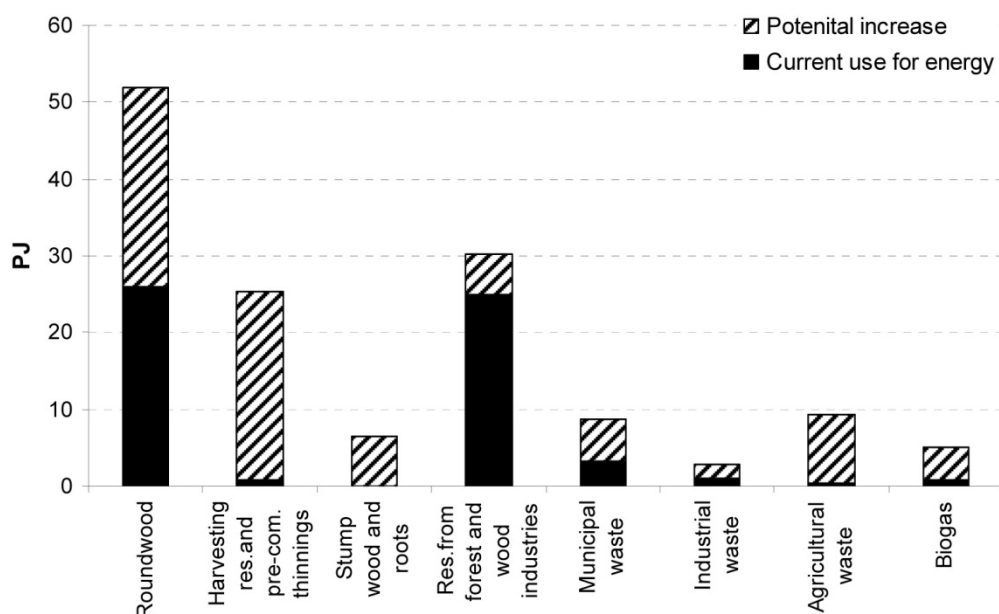
3. ASKENS EGENSKAPER OG FORBEHANDLING

3.1. Råmateriale

Askens innhold og kvalitet avhenger av flere faktorer, der den kjemiske sammensetningen og fuktigheten i brenselet er av de viktigste. Andre faktorer er for eksempel hvor trevirket er tatt ut, vekst- og hogstforhold, gjødseltype, innhøstingsteknikk, lagring, transport, håndtering og eventuelt forbehandling før forbrenning (Pitman 2006). Askens næringsinnhold domineres av kalsium, mens nitrogenet forsvinner i forbrenningsprosessen. Andre viktige makronæringsstoffer i asken er magnesium, kalium og fosfor. Av mikronæringsstoffer finnes blant annet bor, kobber, sink, mangan, kobolt og molybden. Asken inneholder også mesteparten av de tungmetaller som en gang fantes i trevirket, for eksempel kvikksølv, bly, krom, nikkel, vanadium og kadmium, samt arsen (Lindkvist 2000). Når aske skal spres i skog må den tas fra biobrenselanlegg som brenner rent trevirke og ikke rivningsvirke, da rivningsvirke kan inneholde større mengder med tungmetaller.

Både treslag og vokseområde vil påvirke askens innhold (Reimann et al. 2008). Selv ulike deler av treet har forskjellig kjemisk sammensetning. Mesteparten av næringsstoffene sitter i barken, grenene og toppene av treet (Lindkvist 2000). Aske etter forbrenning av bark eller nåler inneholder derfor mer næringsstoffer enn aske fra stammevirke, og askeandelen er større (Dibdiakova et al. 2014). Innholdet i bartrevirke er også forskjellig fra lauvtrevirke.

Figur 3 viser aktuelle og potensielle kilder for bioenergi i Norge. Ved og flis fra stammevirke samt sagflis og andre restprodukter fra treindustrien brukes mest i dag. De største potensialene ligger i økt bruk av heltre/stammeved, og virke fra ungskogpleie og hogstresten.



Figur 3. Aktuelle og potensielle kilder til bioenergi i Norge (Trømborg 2011).

Endringer i rammebetingelsene kan endre sammensetningen av råmaterialet som forbrennes, og indirekte også bakgrunnen for tilbakeføring av aske. Et eksempel er flistilskuddet, som i noen år ble gitt for å stimulere uttaket av skogsflis fra blant annet lauvskoghogster,

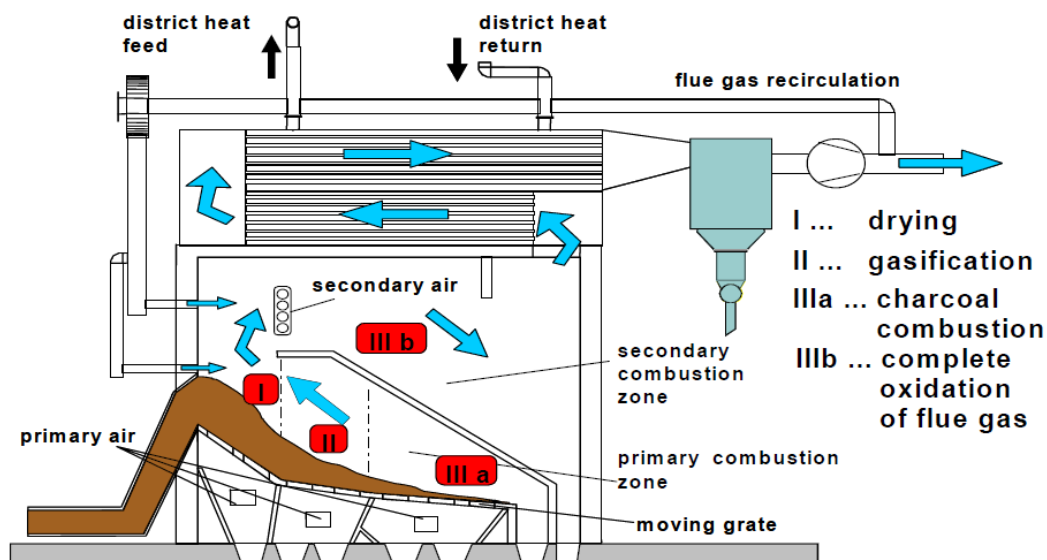
kulturlandskapspleie, veikanthogst, førstegangstynning og grot (hogstrestre). Som en følge av tilskuddet økte mengden av levert flis kraftig fra 2008 til 2013. Tilskuddet falt bort ved utgangen av 2013, noe som trolig vil føre til mindre mengder skogsflis, blant annet fra grothøsting. Det potensielle næringstapet ved grotuttak gir større grunn til å vurdere tilbakeføring av aske til skogen. Dette argumentet faller bort dersom det blir slutt på grothøstingen. Som nevnt finnes det imidlertid andre argumenter for tilbakeføring av aske til skog. Kalkingseffekt, resirkulering av næringsstoffer og (i noen tilfeller) økt tilvekst er blant disse.

3.2. Forbrenningsanlegg

Askens innhold og egenskaper bestemmes også av type forbrenningsanlegg, og temperaturen under forbrenningen (Obernberger et al. 2006, Pitman 2006). De fleste anlegg i Norge er ristanlegg. En prinsippsskisse av et forbrenningsanlegg med bevegelig skrårist er vist i Figur 4. Her forbrennes biomassen over en rist, som sørger for fordeling av luft og omblending av brenselet.

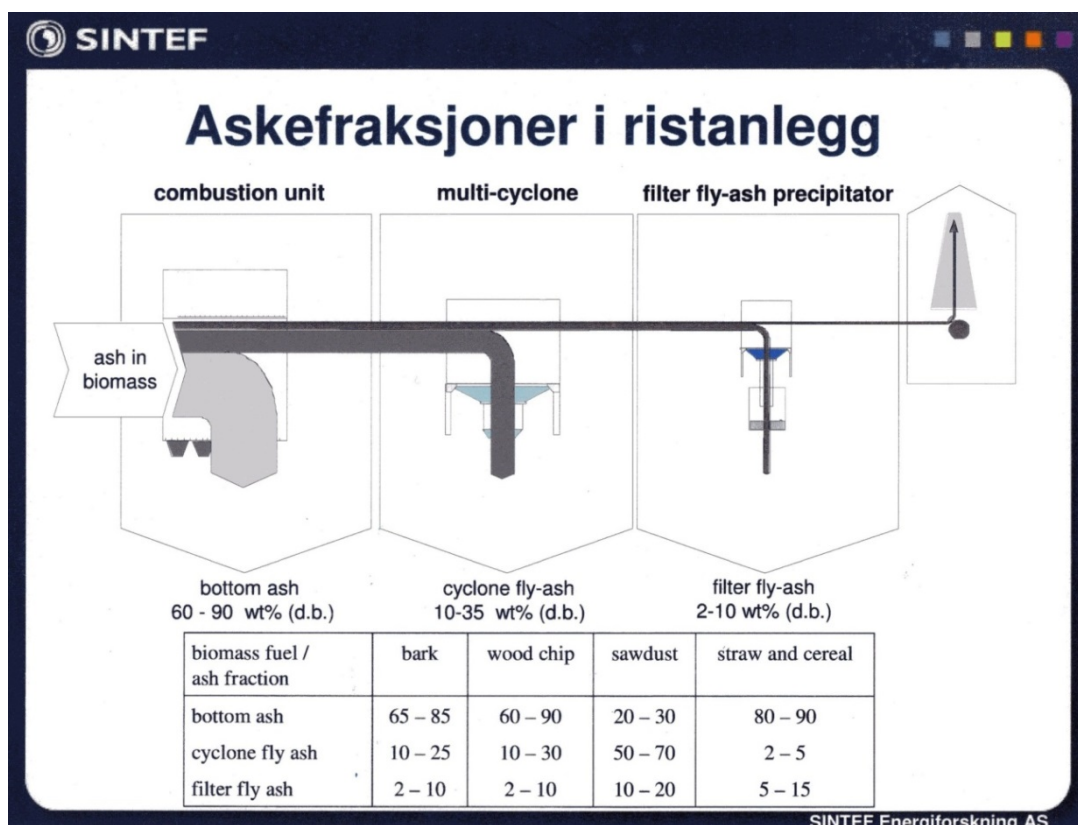
I tremekanisk industri står bark for den største andelen av biobrenselet som forbrennes. Bark av gran og furu kan bli forurenset av sand, grus og andre partikler gjennom hogst, transport og innlasting i forbrenningsanleggene. Aske fra bark kan derfor ha et høyt nivå av silisium, noe som kan gi utfordringer i forbrenningsanleggene. Flis av grot har også vist seg utfordrende å bruke i kjelene i Norge. Dette skyldes en stor finstoffandel, samt at høy nitrogenandel har medført høye NOx-utslipp.

Det finnes også noen få større CFB-anlegg («sirkulerende fluidisert bed») i Norge. I fluidiserte bed skjer forbrenningen i sand som gjennomblåses med luft. Brenslet mates inn i sanden. Fluidiserte bed er større anlegg som kan forbrenne mange ulike typer brenslers og er fleksible med hensyn på brenselets fuktinnhold. I begge typer forbrenningsanlegg dannes det bunnaske og flyveaske. Det varierer om asketypene separeres i dagens biobrenselanlegg.



Figur 4. Prinsippsskisse av biobrenselanlegg med bevegelig skrårist (Obernberger et al. 2006).

Figur 5 viser hvordan askefraksjonene fordeler seg i et ristanlegg, og at fordelingen kan variere med brenseltypen. Forbrenning av sagflis gir en stor andel flyveaske, mens halm og kornavrens i hovedsak gir bunnaske. For bark og heltreflis ligger bunnaskens andel på mellom 60 og 90 %.



Figur 5. Askefraksjoner i ristanlegg. Kilde: SINTEF Energiforskning AS

3.3. Askens egenskaper

Bunn- og flyveaske er forskjellig med hensyn på innhold og partikkelstørrelse. Flyveasken er mer finkornet, har lavere tetthet, og inneholder ofte mer dioksiner og tungmetaller enn bunnasken. Av hensyn til tungmetallinnholdet er det vanligvis bare bunnaske som kan tilbakeføres til skog. Fordelingen mellom de to fraksjonene vil avhenge også av type biobrenselanlegg.

Metaller med lav flyktighet, som nikkel, krom og vanadium vil være mest konsentrert i bunnasken. Det samme gjelder makronæringsstoffer som kalsium, magnesium og fosfor. Kalium er mer flyktig, men også her vil det meste av elementet foreligge i bunnasken. Miljømessig viktige tungmetaller, som kadmium, sink, bly og kvikksølv, er langt mer flyktige og forventes derfor å være mer oppkonsentrert i flyveasken (Narodoslawsky og Obernberger 1996). Den flyktige fraksjonen vil avhenge av den kjemiske sammensetningen i biobrenselet, den omgivende gassatmosfæren, forbrenningstemperaturen og hvilken type forbrenningsteknologi som benyttes. En høy forbrenningstemperatur og redusert atmosfære (mindre oksygen) vil øke flyktigheten av tungmetaller som kadmium, sink og bly. Ved påfølgende kondensering vil disse partiklene sammen med faste mikropartikler fra brenselet på risten danne finforstøvede partikler (aerosoler) som hovedsakelig består av kalium, svovel og klor. På grunn av den høye flyktigheten til kadmium, sink og bly vil også disse elementene kunne forekomme i aerosolene (Narodoslawsky og Obernberger 1996).

Tabell 1 viser gjennomsnittlig innhold av næringsstoffer og metaller i treaske hentet fra norske tremekaniske bedrifter og fjernvarmeanlegg i 2012/2013. Prøvene er analysert som en del av AskeVerdi-prosjektet. Askeprøvene som ble samlet inn fra forbrenningsanleggene ble

analysert med ICP-OES, en analytisk sporteknikk for bestemmelse av elementer. Metodikken er beskrevet i Dibdiakova og Horn (2014).

Konsentrasjonen av elementer i askeprøvene (Tabell 1) er angitt i tørrvekt. Kvaliteten på de ulike askeprøvene varierte i betydelig grad. Analysene viser at innholdet av både næringsstoffer og tungmetaller varierer svært mellom prøvene, og at flyveaske i hovedsak inneholder mer tungmetaller enn bunnasken. Tabell 2 viser tilsvarende tall fra en sammenstilling av data gjort av Augusto et al. (2008), basert på et antall askeanalyser fra Europa og Nord-Amerika.

Tabell 1. Medianverdier samt min- og maksverdier for næringsstoffer og metaller i treaske fra 50 askeprøver, hentet fra 19 forskjellige tremekaniske bedrifter og fjernvarmeanlegg i Norge i 2012/2013. Tallene er etter tørrvekt.

		Bunnasker (N = 20)			Flyveasker (N = 20)			Blandasker (N = 10)		
Element		Median	Min	Maks	Median	Min	Maks	Median	Min	Maks
Karbon (%)	C	2	0,3	29	13	0,5	75	7	1,1	35
g kg ⁻¹ :										
Nitrogen	N*	< 0,1	.	.	< 0,1	.	.	< 0,1	.	.
Fosfor	P	12	4	24	13	3	27	11	3	39
Kalium	K	46	8	79	52	4	283	41	22	100
Kalsium	Ca	200	58	437	162	50	345	144	72	253
Magnesium	Mg	22	8	37	21	6	35	22	17	34
Svovel	S	1	0,3	5	7	0,3	42	2	0,8	5
Natrium	Na	4	0,2	28	3	0,8	18	4	1	20
Jern	Fe	5	2	20	2	2	23	2	2	42
Aluminium	Al	15	2	72	6	0,8	57	7	2	81
Barium	Ba	4	1	11	3	1	7	3	1	7
Silisium	Si	43	0,6	114	15	0,7	132	6	0,7	120
Mangan	Mn	19	5	44	19	5	38	14	4	36
Sink	Zn	0,3	0,04	1	4	0,1	12	1	0,1	2
mg kg ⁻¹ :										
Arsen	As	0,7	0,1	4	1	0,1	59	1	0,1	6
Kadmium	Cd	1	0,2	8	21	0,2	58	4	0,2	12
Kobolt	Co	15	10	39	11	0,1	30	15	6	45
Krom	Cr	52	19	714	57	5	943	27	8	1252
Kobber	Cu	101	21	778	135	26	778	121	66	1430
Molybden	Mo	1	0,1	9	4	0,4	16	3	0,1	8
Nikkel	Ni	39	13	70	31	10	57	28	14	71
Bly	Pb	24	12	97	35	9	453	24	9	120
Selen	Se	2	0,2	19	2	0,2	30	2	0,2	25
Titan	Ti	790	29	4195	268	11	3716	485	17	2698
Vanadium	V	18	1,3	43	10	0,1	38	11	1	31

* N er her NO₃-nitrogen.

Tabell 2. Medianverdier og spennvidde for innholdet av næringsstoffer og metaller i treaske, etter Augusto et al. (2008)*. Tallene er etter tørrvekt, og basert på et antall askeanalyser fra Europa og Nord-Amerika.

Element	Symbol	Median	Spennvidde
g kg^{-1} :			
Karbon	C	≈ 250	.
Nitrogen	N	< 1	.
Fosfor	P	≈ 3	0,5-15
Kalium	K	≈ 30	2-130
Kalsium	Ca	≈ 200	40-350
Magnesium	Mg	≈ 15	3-25
Svovel	S	≈ 10	4-20
Natrium	Na	≈ 3	2-5
Jern	Fe	≈ 10	5-20
Aluminium	Al	≈ 20	10-30
Silisium	Si	≈ 80	1-180
Mangan	Mn	≈ 5	< 1 -30
mg kg^{-1} :			
Arsen	As	≈ 10	3-60
Kobber	Cu	≈ 70	15-300
Sink	Zn	≈ 300	15-2200
Bor	B	≈ 100	10-300
Molybden	Mo	≈ 10	3-120
Kadmium	Cd	≈ 3	0-25
Krom	Cr	≈ 35	10-250
Kobolt	Co	≈ 10	< 1 -20
Bly	Pb	≈ 70	15-650
Kvikksølv	Hg	.	0-1
Nikkel	Ni	≈ 20	6-200
Selen	Se	≈ 5	0-10

*Gjengitt med tillatelse fra Springer Science+Business Media

Av bunnaskene i Tabell 1 har 16 av 20 prøver tilfredsstillende innhold av tungmetaller til å klare kravene til aske av kvalitetsklasse III i «Forskrift om gjødselvarer m.v. av organisk opphav (2003)» (se kap. 10). Slik aske kan i dag spres i grøntanlegg. Fem av ti blandasker (blanding av flyve- og bunnaske) er innenfor kravene, mens bare to av tyve rene flyveasker har lave nok verdier av tungmetaller. I Tabell 1 ser man at det er en oppkonsentrasjon av kadmium, sink og krom i flyveaskene, noe som var forventet. Det er stort sett innholdet av disse elementene som gjør at askene overskrider grenseverdiene.

3.4. Forbehandling og herding av asken

Ubehandlet aske har mye finstoff og er sterkt basisk, gjerne med pH over 12. For å lette spredning, unngå sviing av vegetasjon, og gi en jevnere og mer langvarig avgivelse av næringsstoffer, må asken herdes eller granuleres/pelleteres. Selvherding er det enkleste og billigste alternativet. Ved herding tilsettes asken 30-40 % vann, og vann og aske blandes godt. Asken legges i hauger eller rygger, og selvherder deretter i 2-12 uker. Asken bør vendes minst en gang i løpet av herdeperioden.

Under herdingen skjer en karbonatisering som etter hvert omdanner kalsiumoksid (CaO) til kalsiumkarbonat, CaCO_3 . Kalsiumkarbonat er mindre reaktiv enn CaO i forhold til jord, jordvann, flora og fauna. Under herdingen synker pH-verdiene i asken noe, og den klumper seg. Generelt kan man si at ved $\text{pH} > 7$ er det kun kalium og kalsium som lett løses ut av asken. Det er først når pH synker under 7 at løseligheten av fosfor og magnesium øker markant og deretter, ved ytterligere lavere pH, følger en økning av sporstoffenes og tungmetallenes løselighet (Lindkvist 2000). Man skal likevel være oppmerksom på krom som har høy løselighet også ved høy pH (Pohlandt-Schwandt 1999). Etter herdeperioden blir asken vanligvis knust og siktet, slik at den blir mer homogen og får riktig kornstørrelse (Figur 6). Skogsstyrelsen (2008) har beskrevet en metode for å teste om asken er tilstrekkelig herdet.



Figur 6. Herdet, knust og siktet aske. Foto: Steinar Wormdal

Ved granulering og pelletering tilsettes også vann, eventuelt andre tilsetningsstoffer, og asken rulles eller presses til korn av en viss størrelse (Figur 7). Granulering og pelletering er dyrere enn selvherdet og knust aske, men sikrer et mer homogent og godt herdet materiale som er lettere å spre, og som avgir næringsstoffene langsommere (Nieminen et al. 2005). Ved pelleteringen kan asken blandes med andre stoffer, for eksempel nitrogenholdig materiale, slik at man produserer et næringsmessig balansert produkt.



Figur 7. Askepellets laget av bunnaske. Foto: Kai Toven, PFI.

3.5. Mengde tilgjengelig aske

I dag produserer tremekanisk industri i Norge egentilvirket bioenergi tilsvarende 727 GWh (SSB, tall for 2012). I følge Tellnes et al. (2011) produserer sagbruksindustrien en askemengde på ca 3400 tonn i året, basert på rent trevirke. I tillegg blir det produsert aske fra annen trebearbeidende industri, treforedlingsbedrifter og fjernvarmeanlegg. Hvor mye av dette som er rent nok til å brukes som gjødsel i skog er ikke kjent.

Hvis vi som et grovt anslag går ut fra at det til sammen kan dreie seg om ca 6 000 tonn, og alt blir brukt til askegjødning, kan man med en dose på 3 tonn pr hektar gjødsle et areal på ca 2 000 hektar (20 000 dekar) pr år.

4. TUNGMETALLER OG FORURENSNING

Trevirke består hovedsakelig av organisk materiale og mindre mengder av uorganisk materiale. Det uorganiske materialet er et resultat av trærne absorberer mineraler fra jorda. Når treet forbrennes, omdannes deler av de organiske elementene til CO₂ og vann, mens de uorganiske elementene blir igjen i asken (Hakkila 1989). Treaske inneholder tungmetaller som kadmium, bly, krom og kobber, som trærne har tatt opp fra jorda de vokser i. Konsentrasjonene kan variere, avhengig av jordsmonn og treslag (Lindkvist 2000). Flere studier har undersøkt konsekvensene av å føre disse tungmetallene tilbake til skogøkosystemer. Resultatene går nokså klart i retning av at askegjødning ikke fører til økt tungmetallinnhold i jordvann (Augusto et al. 2008, Pitman 2006). De fleste tungmetallene bindes i uoppløselig form til organisk materiale i jorda, og økt pH som følge av askegjødningen gjør at metallene blir ennå mer tungt oppløselige. Innholdet av tungmetaller i bær eller andre plantedeler øker ikke etter asketilførsel, tvert i mot er det funnet at konsentrasjonen f.eks. i bær i noen tilfeller gikk ned (Levula et al. 2000, Moilanen et al. 2006). I sistnevnte undersøkelse ble det imidlertid funnet

økt innhold av tungmetaller i noen typer sopp den første tiden etter gjødslingen. Dette skyldtes sannsynligvis at sopprøvene inneholdt aske som var falt direkte på soppenes overflate.

5. EFFEKTER PÅ JORD OG JORDVANN

Rett etter en askegjødsling (fra noen uker til noen måneder) vil det ofte bli en konsentrasjonsøkning av ioner fra lettløselige salter i jordvannet, f.eks. av kalium, natrium og sulfat. Konsentrasjonen av kalsium og magnesium øker også. I noen tilfeller, men ikke alltid, er det funnet en høyere konsentrasjon av løst organisk karbon og nitrat. Som nevnt over, øker vanligvis ikke konsentrasjonen av tungmetaller i jordvannet (Päivänen og Hånell 2012). Etter noen måneder går konsentrasjonen av lettløselige ioner i jordvannet tilbake (Augusto et al. 2008, Pitman 2006). Mengden av kalium, kalsium og magnesium i jordvannet kan imidlertid holde seg høyere enn før gjødslingen i lengre tid, selv om den første «toppen» går raskt tilbake.

Effekten på jordvann er signifikant først og fremst i de øvre deler av jordprofilet (Ozolincius et al. 2005) og er avhengig av dose. For eksempel fant Williams et al. (1996) små endringer i jordvannskjemi ved lave askedoser, men store endringer ved høye doser. I forsøk med askegjødsling varierer tilført askemengde svært, og mengder fra 1-44 t pr hektar er oppgitt (Augusto et al. 2008, Pitman 2006). Skogsstyrelsen (2008) anslår at de negative miljøeffektene vil bli meget begrensede ved doser opp til 3 t herdet aske pr hektar.

Askegjødsling kan øke pH-verdiene i jorda. Også her er effekten avhengig av dose, og endringene skjer i hovedsak i de øvre jordlagene (Jacobson et al. 2004; Saarsalmi et al. 2004). I en metastudie fant Augusto et al. (2008) imidlertid ingen signifikant effekt på pH-verdier i jorda de første 5 årene etter tilførsel av 1-3 tonn aske pr hektar. På lenger sikt økte pH-verdiene i både humuslag og øvre lag av mineraljorda, og ved større doser (4-8 tonn pr hektar) økte pH med opp til 2,5 enheter i humuslaget og 0,7 i det øvre laget av mineraljorda.

6. EFFEKTER PÅ SKOGEN

6.1. Mineraljord

På mineraljord er det vanligvis mangel på nitrogen som begrenser veksten av skogen. Fordi aske ikke inneholder nitrogen, ser man ofte små effekter på tilveksten etter en ren askegjødsling.

Jacobson (2003) fant at asketilførsel økte trærnes tilvekst på god bonitet, mens tilveksten avtok i et bestand med lav bonitet. Den samme tendensen ble funnet i en studie av Sikström et al. (2009), hvor effekten av aske- og kalktilførsel på flere forsøksfelt i Finland, Sverige og Norge ble undersøkt. Trenden gikk i retning av at tilførsel av aske eller kalk førte til lavere tilvekst på mark med lav bonitet, ingen endringer på middels bonitet, og noe økt tilvekst på mark med god bonitet. Den mest sannsynlige årsaken til dette er at aske- eller kalktilførsel påvirker nettomineraliseringen av N, og dermed mengden plantetilgjengelig nitrogen (Persson et al. 1990/1991).

Saarsalmi et al. (2004) tilførte aske, nitrogen, eller aske pluss nitrogen, i fem bartrebestand i Finland. Asketilførselen økte pH-verdiene og mengden kalsium- og magnesiumioner i jorda, men askegjødsling alene hadde ingen effekt på tilveksten. Tilveksten økte derimot i behandlingene som tilførte aske pluss nitrogen, eller bare nitrogen. En senere studie fra Finland av Saarsalmi et al. (2012) viste at aske gitt sammen med nitrogen gjorde at økningen i

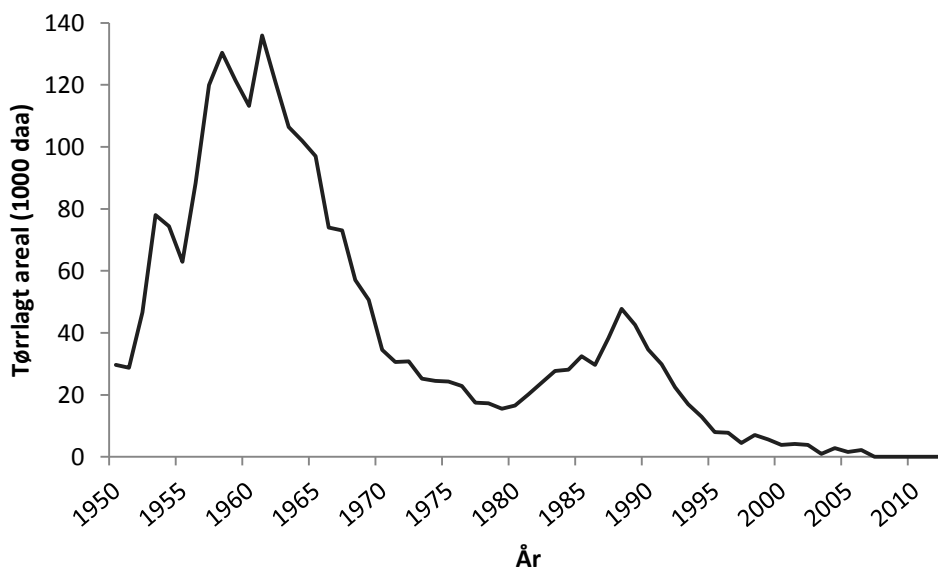
tilvekst holdt seg lenger enn der hvor N ble gitt alene. Det kan tyde på at en kombinasjon av N + aske er et godt gjødslingstiltak. Aske og nitrogen gitt samtidig kan imidlertid føre til større nitrogentap til luft. Derfor bør asken optimalt sett tilføres en stund etter N-gjødsling, noe som eventuelt vil fordyre tiltaket.

6.2. Torvmark

Mens askegjødsling av fastmark vanligvis ikke gir noen særlig økt tilvekst, er effekten ganske annerledes på torvmark. Her er det som regel ikke mangel på nitrogen som hemmer veksten, men mangel på andre næringsstoffer som fosfor og kalium. Disse næringsstoffene finnes i aske. Askegjødsling av torvmark hever pH, øker mikrobiell aktivitet og omsetning, gir bedre forhold for foryngelse og øker skogproduksjonen. Det er vist at produksjonen kan mer enn tidobles (Moilanen et al. 2002), selv om en dobling av tilveksten nok er et mer vanlig nivå (Augusto et al. 2008). I en studie fra Finland fant Silfverberg and Huikari (1985) at askegjødsling med 5-6 t pr hektar økte gjennomsnittsproduksjonen på grøftet torvmark med omtrent $3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ over 40 år. I et askegjødslingsforsøk av furuskog på Åsmyra (Ås, Akershus) økte totalproduksjonen etter 50 år fra ca 90 m^3 pr hektar uten gjødsling til 250-320 m^3 ved en engangs tilførsel av 4-10 tonn aske pr hektar (O. Haveraaen, upublisert manuskript). Effekten av asketilførsel er langvarig. I Finland fant Vääntinen et al. (2011) at spredning av granulert aske på torvmark var lønnsomt, med en internrente på 3-12 prosent.

Torvmarka må være grøftet for at askegjødslingen skal føre til økt skogproduksjon, hvis ikke vil høy grunnvannsstand gjøre at produksjonen uansett blir lav. Tilvekstøkningen er størst på torvmark som mangler kalium og fosfor, men som har god nitrogenstatus. På torvmark med lite nitrogen ($<1\%$) forblir tilveksten lav (Silfverberg og Huikari 1985).

I Norge er ca 4 300 000 dekar torvmark grøftet (Granhus 2010). De seinere tiåra har grøftingen vært beskjeden (Figur 8). Fra 2007 er nygrøfting ikke lenger tillatt etter Norsk PEFC skogstandard.



Figur 8. Skoggrøfting fra 1950 til 2011 (1000 dekar). Kilde: SSB

Ved valg av bestand bør høyest prioritet gis til godt drenerte, tresatte torvmarker med veksterlige trær midt eller sent i omløpet, på middels til lavproduktiv torvmark hvor veksten er begrenset av fosfor- og kaliummangel (Hånell og Magnusson 2005). Både de rikeste og de fattigste torvmarkstypene er mindre interessante for asketilførsel. På de rikeste er trærnes vekst ofte bra også uten asketilførsel, mens de fattigste typene trenger (gjentatt) tilførsel også av nitrogen for at tilveksten skal ta seg opp. Det blir dermed et mindre lønnsomt tiltak sett fra skogeiers side.

7. KLIMAEFFEKTER VED GJØDSLING MED ASKE

Eventuelle klimaeffekter av askegjødsling vil avhenge av om skogen får endret tilvekst etter gjødslingen, og dermed binder mer (eventuelt mindre) CO_2 , om det blir endringer i oppbyggingen eller nedbrytingen av karbonet i jorda, og om utslippet av klimagassene CO_2 , metan (CH_4) og lystgass (N_2O) øker eller avtar.

På mineraljord vil tilførsel av aske som nevnt føre til små endringer i skogens tilvekst. På god bonitet kan tilveksten og dermed CO_2 -bindingen i trærne øke noe, mens effekten kan være motsatt på lave boniteter. Maljanen et al. (2006) undersøkte produksjonen av N_2O , CH_4 og CO_2 i jorda etter askegjødsling, på både mineral- og torvjord. De fant ingen signifikant endring av produksjonen av lystgass i mineraljord, hverken på kort eller lang sikt. På lang sikt gikk produksjonen av metan ned etter askegjødsling, mens CO_2 -produksjonen økte noe.

På torvmark får vi vanligvis økt skogproduksjon etter askegjødsling, som vil føre til økt CO_2 -binding i trærnes biomasse. Tilførsel av aske høyner pH i det øverste torvlaget, og økt mikrobiell aktivitet fører til nedbryting av organisk materiale. Moilanen et al. (2002) fant at CO_2 -utslippet fra torva økte noe, mens metan (CH_4) og lystgass (N_2O)-utslippet gikk ned etter gjødsling med 8 t aske pr ha. Maljanen et al. (2006) fant liknende resultater i langtidsforsøk med askegjødsling. Nedgangen i utslipp av metan og lystgass tilskrives først og fremst den økte pH-verdien i jorda. Klemetsson et al. (2010) fant i en korttidsstudie fra Sverige at askegjødsling reduserte CO_2 -utslippet fra jorda med ca 20 % de første to årene etter gjødsling, og N_2O -utslippet med ca 40 %. En finsk studie fant derimot at gjødsling av grøfta torvmark med 5 og 15 t treaske pr ha økte utslippet av CO_2 fra torva med 77 - 100 %, målt 13 år etter asketilførselen. Gjødslingen førte imidlertid til at skogtilveksten økte så mye at tiltaket totalt var klart positivt for karbonbalansen. Utslippet av karbon til atmosfæren (utslipp av CO_2 fra torva minus opptak i trærne) ble redusert med omtrent 75 % (Moilanen et al. 2012).

Sikström et al. (2012) studerte klimaeffektene fem år etter tilførsel av 3–6 t aske pr ha i et gran- og et furubestand på grøftet torvmark i Sør-Sverige. Utslippene av klimagassene CO_2 , CH_4 og N_2O var i hovedsak uforandret etter fem år (en nedgang ble registrert de første to årene), mens skogproduksjonen økte i perioden. Ut fra dette konkluderte de med at det globale oppvarmingspotensialet ikke økte, men snarere avtok etter asketilførselen.

Det er få studier som tar for seg klimagassbalansen i hele økosystemet etter askegjødsling, særlig i et lengre tidsperspektiv. Ut fra de rapportene som foreligger, er det sannsynlig at askegjødsling på grøftet torvmark vil ha en positiv effekt på klimagassregnskapet, mens det ikke vil ha særlig effekt på mineraljord.

8. EFFEKTER PÅ VEGETASJON

På fastmark er endringene i vegetasjonen etter askegjødsling stort sett beskjedne og av kort varighet (Augusto et al. 2008, Arvidsson et al. 2002, Jacobson og Gustafsson 2001). Ofte er effekten en redusert dekning av moser i en periode, mens urter og gress kan øke. Jacobson og Gustafsson fant ingen endring i artssammensetning, men dekningen av moser og lav ble

reduisert de første årene etter spredning av aske. Etter fem år var mosedekningen omtrent tilbake til det normale, mens reinlav fortsatt hadde lavere dekning. Kellner og Weibull (1998) fant at askespredning reduserte mosedekningen, mens reinlav ikke ble påvirket i deres studie. Dosering og askeform påvirker effektene. Uherdet aske kan gi sviskader, herdet og knust aske har mindre effekter, mens granulert aske ofte ikke gir synlige effekter.

På torvmark gir askegjødsling endringer i vegetasjonen. Det skyldes ikke minst at økt pH-verdi gjør at den mikrobielle aktiviteten i torva øker og fører til bedre nitrogentilgang. Lyngarter og moser får ofte redusert dekning, mens urte- og grasdekningen øker. Vegetasjonen kan endres i retning av en mer fastmarksliknende vegetasjonstype. Endringene kan øke med økende askemengde, og være langvarige (Moilanen et al. 2002).

Askegjødsling er bare interessant for grøftet torvmark, hvor naturverdiene allerede vil være påvirket av grøftingen. Det vil imidlertid kunne finnes grøftede områder med spesielle verdier som gjør at de bør unntas gjødsling.

9. EFFEKTER PÅ MIKROORGANISMER/FAUNA

Det er gjort få undersøkelser av effekten av askegjødsling på annen flora og fauna. Studier av mikroorganismer i jord viser at gjødslingen øker aktiviteten og modifierer artssammensetningen, bl.a. ved at forekomsten av ammonifiserende og nitrifiserende arter øker (se Augusto et al. 2008). Jordnedbrytende smådyr blir lite påvirket av asketilførsel. Endringer i populasjonen av større dyr vil trolig eventuelt komme gjennom at de påvirkes av endringer i vegetasjonen.

10. REGELVERK FOR GJØDSLING MED ASKE

I Tabell 3 har vi samlet lover, forskrifter og retningslinjer som gjelder for askespredning i skog i Norge samt i Sverige, Finland, Østerrike og Litauen.

Oppsummert er det kun herdet aske som er anbefalt, bortsett fra i noen spesielle tilfeller. Askespredning er spesielt anbefalt på torvmark, samt der hogstrestre er fjernet. En dosering av omtrent 3 tonn tørrstoff (TS) per hektar, 1-2 ganger per omløp, virker å være vanlig. Innholdet av næringsstoffer, tungmetaller, As og PAH kan være angitt i retningslinjene, men ofte henvises det til andre dokumenter, for eksempel forskrifter. ¹³⁷Cs-innholdet er definert i Sverige etter Tsjernobylulykken. Alle land har retningslinjer for å beskytte det biologiske mangfoldet; størrelsen på buffersoner er normalt angitt. Også tidspunktet for askespredning er valgt for å unngå skader på jord, vann, og vannlevende organismer.

Tabell 3. Sammenlikning av regelverk for spredning av aske i skog i forskjellige land.

Tema:	Norge	Sverige	Finland	Østerrike	Litauen
Askeherding	Bare herdet og behandlet aske	Herdet aske	Granulert eller selvherdet aske	Herdet aske	Normalt granulert eller selvherdet aske, råaske kun ved spesielle tilfeller
Innhold næringsstoffer	Ikke spesifisert	Anbefalte verdier. Høye P- og K-konsentrasjoner dersom torvmark	(P + K) > 2 %, Ca > 6 %	Sammenligning med kalking	Anbefalte verdier. Bør analyseres
Innhold tungmetaller og arsen	Godkjente verdier (forskrift; se under)	Bør ikke overstige det som er fjernet med hogst under et omløp. Anbefalte verdier	Cd < 25 mg/kg, As < 40 mg/kg	Godkjente verdier	Anbefalte verdier. Bør analyseres
Innhold polyaromatiserte hydrokarboner (PAH)	Ikke spesifisert	Konsentrasjoner bør ikke være så høye at de skader miljøet		Lave konsentrasjoner, ansett som ufarlige	Anbefalte verdier. Bør analyseres
Innhold radionuklider (spesielt ¹³⁷Cs)	Ikke spesifisert	Bør analyseres. < 10 kBq/kg TS, på reinsdyrbeite < 0,5 kBq/kg TS		Lav. Ingen terskelverdi angitt	Bør analyseres
Marktype	Ikke spesifisert	Torvmark og svært forsuret jord i områder med mye sur nedbør, også der hogstrestre er tatt ut	Torvmark	Ikke spesifisert	Flater med mineraljord og høy fuktighet, drenert torvmark, hogstflater, skogreising på næringsfattig sandjord
Askedosering	Ikke spesifisert	3 t TS/ha i en 10-årsperiode eller 6 t TS/ha i et omløp. 2 t TS/ha som kompensasjon etter uttak av hogstrestre der	3 - 5 t/ha	Maksimum 2 t/ha i en 20-årsperiode	1,5 - 3,5 t/ha, 2 ggr/omløp

		bonitet < G23, 3 t TS/ha der høyere bonitet			
Bruk av nitrogengjødsling	Ikke spesifisert	N anbefalt i områder der lav N-avsetning samt lavproduktive flater der aske kan redusere tilvekst		Aske kan tilføres sammen med kompost, men ikke sammen med NH ₄ -gjødsel grunnet risikoen for avgassing av N	70 - 120 kg N/ha, unntatt der skogreising på gammelt jordbruksland med næringsfattig sandjord
Tidspunkt	Utenfor yngleperioden, ikke før snøsmelting	Ikke spesifisert	Spredning på torvmark vinterstid grunnet jordas bæringsevne		Ikke på fast snødekke
Buffersone	Buffersoner skal ikke gjødsles. Størrelsen på buffersoner spesifisert	Buffersoner skal ikke gjødsles. Størrelsen på buffersoner spesifisert	Buffersoner skal ikke gjødsles. Størrelsen på buffersoner spesifisert	Buffersoner skal ikke gjødsles. Størrelsen på buffersoner spesifisert	Buffersoner skal ikke gjødsles. Størrelsen på buffersoner spesifisert
Lagring av aske	Ikke spesifisert	Avrenning bør unngås		Avrenning bør unngås. Aske får ikke lagres i skogen	
Fysiske skader	Ikke spesifisert for askespredning, men skjemmende terrengskader skal unngås	Kjøring i skogen bør ikke medføre økt transport av sediment eller organisk stoff til vassdrag eller skader til kultur- eller fornminner. Skader på trær bør begrenses	Bakken må ha tilstrekkelig bæreevne	Må kunne kjøre i skogen (med henvvisning til bæreevnen)	Trær og busker skal ikke skades
Dokumentasjon	Ikke spesifisert	Skal dokumenteres		Skal dokumenteres	Skal dokumenteres
Referanser	Levende skog (Norsk PEFC Skogstandard) 2006	Skogsstyrelsen 2008	Forestry Development Center Tapio 2006, METLA 2013	Fachbeirat für Bodenfruchtbarkei t und Bodenschutz 2011	Ozolinčius et al. 2011

I Norge reguleres askegjødsling i skog av «Forskrift om gjødselvarer m.v. av organisk opphav (2003)», som ikke definerer skog som et av arealene det kan spres aske på. Det er dermed i utgangspunktet ikke tillatt. Imidlertid er spredning til blant annet grøntarealer tillatt, og her er det oppgitt grenseverdier bl.a. for tungmetaller. Disse er vist i Tabell 4 under. Regelverket er for tiden under revisjon (2014).

Norsk PEFC Skogstandard åpner for askegjødsling i skog. Opplysningene for Norge i Tabell 3 er i hovedsak basert på Skogstandarden.

Tabell 4. Krav til innholdet av tungmetaller fra § 10 i «Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav (2003)». Kvalitetsklassene II og III.

Kvalitetsklasser*:	II	III
	<i>mg/kg tørrstoff</i>	
Kadmium (Cd)	2	5
Bly (Pb)	80	200
Kvikksølv (Hg)	3	5
Nikkel (Ni)	50	80
Sink (Zn)	800	1500
Kobber (Cu)	650	1000
Krom (Cr)	100	150

*Kvalitetsklasse II: Kan nyttes på jordbruksareal, private hager og parker med inntil 2 tonn tørrstoff pr. dekar pr. 10 år. Kan nyttes på grøntarealer og lignende der det ikke skal dyrkes mat eller fôrvekster.

Kvalitetsklasse III: Kan nyttes på grøntarealer og lignende arealer der det ikke skal dyrkes mat- eller fôrvekster. Produktet skal legges ut i lag på maksimalt 5 cm tykkelse hvert 10. år og blandes inn i jorda på bruksstedet. Brukt til toppdekke på avfallsfyllinger skal dekkjiktet være maksimalt 15 cm.

11. ANBEFALINGER

Effektene av asketilførsel på både miljø og skogens tilvekst vil avhenge av blant annet skogstype, askens egenskaper, og hvor store doser man gjødsler med. Skogsstyrelsen (2008) anslår at de negative miljøeffektene vil bli meget begrensede ved doser opp til 3 t herdet aske pr hektar (300 kg pr dekar). Totalt under en omløpstid anbefaler de tilføring av opp til 6 t pr ha.

På mineraljord vil effekten på skogens tilvekst være moderate. Tilførsel av aske vil likevel kunne motvirke forsuring og tilbakeføre næringsstoffer som blir fjernet ved hogst, noe som kan være spesielt aktuelt ved heltreuttak. På gode boniteter kan det også være en positiv effekt på tilveksten. På fastmark bør man derfor prioritere bestand med høy bonitet for askespredning.

På torvmark vil askegjødsling kunne føre til kraftig økning i skogens tilvekst. Riktig mengde aske beregnes ut i fra minimumsbehovet for fosfor, som gjerne vil ligge på 40-50 kg pr hektar. Avhengig av næringsinnholdet i asken vil ønsket dose vanligvis være 3-5 t pr hektar (Päivänen og Hånell 2012), en mengde som også anbefales i Finland (Huotari 2012). Noen steder vil det være nødvendig med en gjentatt gjødsling for å opprettholde en tilfredsstillende næringssituasjon på grøftet torvmark over hele omløpet, særlig med tanke på kalium, men gjødslingseffekten er vanligvis langvarig (20-50 år). Torvmarka må være grøftet for at askegjødslingen skal føre til økt skogproduksjon. Ved valg av bestand bør høyest prioritet gis til godt drenerte, tresatte torvmarker med veksterlige trær midt eller sent i omløpet, på middels til lavproduktiv torvmark.

Oppsummert vil en dose på 3-6 tonn aske pr hektar i følge aktuell litteratur gi begrensede miljøeffekter, og god tilveksteffekt på grøftet torvmark. Askens kvalitet må kontrolleres, blant annet innholdet av tungmetaller. Nærmere retningslinjer om grenseverdier må gis i lovverket. Bunnaske vil generelt være bedre egnet enn flyveaske. Asken må være godt herdet for å unngå sviskader på vegetasjonen og for å gi en langvarig effekt.

I tråd med Norsk PEFC Skogstandard skal det ved askespredning i skog settes igjen ugjødslete soner mot vann og vassdrag for å unngå avrenning. Områder med spesielle

miljøverdier skal ikke gjødsles eller påvirkes eller askespredning, og buffersoner bør derfor legges også mot slike områder.

Dersom asken spres fra bakken på torvmark, bør spredningen skje mens jorda er frossen for å unngå kjøreskader.

I dag er askegjødsling i skog ikke tillatt, i følge «Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav (2003)». Forskriften må derfor endres før tilbakeføring av aske til skog eventuelt kan skje. Kravpunkt 10 i Norsk PEFC Skogstandard vil også regulere bruken av askegjødsling i skog.

REFERANSER

Arvidsson, H., Vestin, T. and Lundkvist, H. (2002). Effects of crushed wood ash application on ground vegetation in young Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 161: 75-87.

Augusto, L., Bakker, M. R. and Meredieu, C. (2008). Wood ash applications to temperate forest ecosystems - potential benefits and drawbacks. *Plant Soil* 306: 181-198. Tabell 1 s. 185.

Dibdiakova, J., Gjølshø, S. and Wang, L. (2014). Solid biofuels from forests - Fuel specification and quality assurance. Inherent properties of Norway spruce biomass in some geographical locations in South Norway. Rapport fra Skog og landskap 08/2014, 51 pp.

Dibdiakova, J. og Horn, H. (2014). Innovativ utnyttelse av aske fra trevirke for økt verdiskapning og bærekraftig skogbruk. Prøveuttak og analyse av aske fra trevirke ved ulike bedrifter. Rapport fra Skog og landskap (manuskript).

Emilsson, S. (2006). From extraction of forest fuels to ash recycling. *International Handbook. Skogsstyrelsen, Sverige*, 48 s.

Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (2011). Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen zur Verwertung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

Forestry Development Center Tapio (2006). *Harvesting Energy Wood*, 39 s.

EU (2008). Commission of the European communities. Directive of the European parliament and of the council on the promotion of the use of energy from renewable sources.

Granhus, A. (2010). Forest and forested mire development in Norway 1920-2010. Presentasjon ved seminaret 'Ditch network maintenance in peatland forests', Honne, Norge, 14. september 2010. Norsk institutt for skog og landskap.

Hakkila, P. (1989). *Utilization of Residual Forest Biomass*. Springer-Verlag.

Hånell, B. and Magnusson, T. (2005). An evaluation of land suitability for forest fertilization with biofuel ash on organic soils in Sweden. *Forest Ecology and Management* 209: 43-55.

Jacobson, S. (2003). Addition of stabilized wood ashes to Swedish coniferous stands on mineral soils - Effects on stem growth and needle nutrient concentrations. *Silva Fennica* 37: 437-450.

Jacobson, S. and Gustafsson, L. (2001). Effects on ground vegetation of the application of wood ash to a Swedish Scots pine stand. *Basic and Applied Ecology* 2: 233-241.

Jacobson, S., Högbom, L., Ring, E. and Nohrstedt, H. O. (2004). Effects of wood ash dose and formulation on soil chemistry at two coniferous forest sites. *Water Air and Soil Pollution* 158: 113-125.

Kellner, O. and Weibull, H. (1998). Effects of wood ash on bryophytes and lichens in a Swedish pine forest. *Scandinavian Journal of Forest Research*: 76-85.

Levende Skog (2006). Standard for et bærekraftig norsk skogbruk.
http://www.levendeskog.no/levendeskog/vedlegg/08Levende_Skog_standard_Bokmaal.pdf. 40 s.

Lindkvist, L. (2000). Aska från biobränsle. Produktions- och kvalitetsaspekter beträffande näringskompensasjon och vitalisering av skogsmark. Skogsstyrelsen, Rapport 5/2000, Jönköping. 31 s.

Maljanen, M., Nykanen, H., Moilanen, M. and Martikainen, P. J. (2006). Greenhouse gas fluxes of coniferous forest floors as affected by wood ash addition. *Forest Ecology and Management* 237: 143-149.

METLA (2012), Ash as a Forest Fertiliser, 8s.

Moilanen, M., Hytönen, J. and Leppälä, M. (2012). Application of wood ash accelerates soil respiration and tree growth on drained peatland. *European Journal of Soil Science* 63: 467-475.

Moilanen, M., Silfverberg, K. and Hokkanen, T. J. (2002). Effects of wood-ash on the tree, growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. *Forest Ecology and Management* 171: 321-338.

Narodoslawsky, M. and Obernberger, I. (1996). From waste to raw material – the route from biomass till wood ash for cadmium and other heavy metals. *Journal of Hazardous Materials* 50: 157-168.

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

Obernberger, I., Brunner, T. and Barnthaler, G. (2006). Chemical properties of solid biofuels - significance and impact. *Biomass & Bioenergy* 30: 973-982.

Ozolinčius, R., Buozyte, R. and Varnagiryte-Kabasinskiene, I. (2007). Wood ash and nitrogen influence on ground vegetation cover and chemical composition. *Biomass & Bioenergy* 31: 710-716.

Ozolinčius, R., Varnagiryte, I., Armolaitis, K. and Karlton, E. (2005). Initial effects of wood ash fertilization on soil, needle and litterfall chemistry in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand. *Baltic Forestry* 11: 59-67.

Ozolinčius, R., Armolaitis, K., Mikšys, V., Varnagirytė-Kabašinskienė, I. (2011). Kompensuojamojo tręšimo miško kuro pelenais rekomendacijos [Recommendations for

compensating wood ash fertilization] (2. opplag). Ministry of Environment of the Republic of Lithuania/Institute of Forestry of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Kaunas-Girionys, 17 s.

Persson, T., Wiren, A. and Andersson, S. (1990/1991). Effects of liming on carbon and nitrogen mineralization in coniferous forests. *Water Air and Soil Pollution* 54: 351-364.

Pitman, R. M. (2006). Wood ash use in forestry - a review of the environmental impacts. *Forestry* 79: 563-588.

Pohlandt-Schwandt, K. (1999). Treatment of wood ash containing soluble chromate. *Biomass & Bioenergy* 16: 447-462.

Reimann, C., Ottesen, R. T., Andersson, M., Arnoldussen, A., Koller, F. and Englmaier, P. (2008). Element levels in birch and spruce wood ashes - green energy? *Science of the Total Environment* 393: 191-197.

Saarsalmi, A., Malkonen, E. and Kukkola, M. (2004). Effect of wood ash fertilization on soil chemical properties and stand nutrient status and growth of some coniferous stands in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 217-233.

Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M., Moilanen, M. and Saramaki, J. (2012). 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management* 278: 63-70.

Sikström, U., Jacobson, S., Johansson, U., Kukkola, M., Saarsalmi, A. and Hanssen, K. H. (2009). Långtidseffekter på skogsproduktion efter askåterföring och kalkning - Preliminära resultat från en pilotstudie. *Värmeforsk Rapport* 1107: 22 pp.

Silfverberg, K. and Huikari, O. (1985). Wood-ash fertilization on drained peatlands (på finsk med engelsk sammendrag). *Folia Forestalia* 633: 1-25.

Skogsstyrelsen (2008). Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. *Meddelande* 2/08: 33 s.

Tellnes, L. G. F., Flæte, P. O. and Nyrud, A. Q. (2011). Material flows in the Norwegian sawmilling industry. I: Proceedings of the 7th meeting of the Nordic-Baltic network in wood material science and engineering (WSE). Oslo, Norway, October 27-28, 2011. S. 113-118.

Thurmann-Moe, P. (1956). Eldre og nyere skogkultur- og gjødslingsforsøk på Åsmyra. *Norsk Skogbruk* nr. 9 s. 309-316.

Trømborg, E. (2011). IEA Bioenergy task 40 – Country report 2011 for Norway. 18 s.

Väätäinen, K., Sirparanta, E., Räisänen, M. and Tahvanainen, T. (2011). The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. *Biomass & Bioenergy* 35: 3335-3341.