

Innovativ utnyttelse av aske fra trevirke for økt verdiskapning og bærekraftig skogbruk

*Innovative utilization of ash from wood
for value creation and sustainable forestry*

Henning Horn, Lars G. F. Tellnes (Treteknisk)

Eva Brod, Nicholas Clarke, Janka Dibdiakova, Kjersti Holt Hanssen,
Trond Knapp Haraldsen (NIBIO), Trond Karlsen, Kai Toven (PFI)





Innovativ utnyttelse av aske fra trevirke for økt verdiskapning og bærekraftig skogbruk

*Innovative utilization of ash from wood
for value creation and sustainable forestry*

Henning Horn, Lars G. F. Tellnes (Treteknisk)

Eva Brod, Nicholas Clarke, Janka Dibdiakova, Kjersti Holt Hanssen,

Trond Knapp Haraldsen (NIBIO), Trond Karlsen, Kai Toven (PFI)



Norsk Treteknisk Institutt

Adr.: Forskningsveien 3 B

P.B. 113 Blindern

NO-0314 Oslo

Tel: +47 98 85 33 33

firmapost@treteknisk.no

www.treteknisk.no

Bank: 9680.36.29894

Innovativ utnyttelse av aske fra trevirke for økt verdiskapning og bærekraftig skogbruk

Innovative utilization of ash from wood for value creation and sustainable forestry

Saksbehandler: Henning Horn
Finansiering: Norges forskningsråd, Jordbruksavtalen, egeninnsats fra industrideltagerne.
Dato: Juli 2016

Sammendrag

Prosjektets overordnede idé har vært å øke kunnskapen om trebasert biobrensel- aske for å kunne utnytte den på en økonomisk og økologisk bærekraftig måte. Bærekraftig bruk av bioaske vil medføre at bruk av ikke-fornybare ressurser begrenses og forurensning hindres.

Resultatene har vist at bunnaske fra ristfyrte forbrenningsanlegg kan benyttes som en bærekraftig ressurs som tilsetning til gjødsel eller jordforbedring istedenfor å leveres til deponi. Resultatene har lagt et grunnlag for å kunne tilpasse revisjonen av *Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav*.

Arbeidet har økt kunnskapen om ulike typer forbehandling av asker, gjødsel- egenskapene til aske alene og i kombinasjon med nitrogengjødsel, i tillegg til askens egenskaper som kalkningsmiddel i jordbruk og grøntanlegg. Det første feltforsøket i Norge ble opprettet i løpet av prosjektet for å undersøke de økologiske effektene av asketilbakeføring.

Prosjektet har vært viktig for å avdekke ressurstilgangen til bioaske fra rent trevirke i Norge, samt å gjøre livsløpsvurderinger med hensyn til bærekrafts- kriterier og vurdere hvilke alternative bruksområder for asken som er de mest tilgjengelige med dagens lovverk.

For næringslivet, med tremekanisk industri, treforedlingsindustrien og fjernvarmeindustrien i spissen, har prosjektet gitt noen svar på om og hvordan askene fra bedriftene bør utnyttes. Det er imidlertid flere oppgaver som gjenstår etter prosjektet, blant annet å få en bedre forståelse av mekanismene i forbrenningsprosessen med tanke på å oppnå riktig kvalitet på treaskene. Se også: www.askeverdi.no.

Stikkord: Askeutnyttelse, sagbruk, fjernvarmeanlegg, gjødsel, pelletering
Keywords: Ash utilization, sawmill, district heating plants, fertilizer, pelletizing

Summary

The main objective of the project has been to increase the knowledge of wood-based biofuel ashes for economically and ecologically sustainable utilization. A sustainable use of biofuel ashes will result in limited use of non-renewable sources and prevent pollution.

The project has shown that it is possible to utilize bottom ash from grate-fired combustion plants as an additive to fertilizers or soil, instead of landfilling. The results form a basis for producers to be able to adapt to the revision of the *Regulation on fertilizer products etc. of organic origin*.

The project has resulted in an increased knowledge regarding various types of pretreated ashes, fertilizing properties of ashes alone and in combination with nitrogen fertilizers, in addition to the properties of the ash as liming agent in farming and greeneries. The first field test in Norway was set up during the project, to investigate the ecological effects of wood ash recycling.

The project has been important to uncover the access to the overall resources of biofuel ashes from untreated wood in Norway, in addition to accomplish life cycle assessments of sustainability criteria and consider the alternative range of applications of biofuel ashes with the current legal framework.

For the business community, with the woodworking-, wood processing- and district heating industry as the main stakeholders, the project has provided some answers regarding how the ash from the companies can be utilized. However, there are several remaining questions post project. One is to gain a better understanding of the mechanisms in the various combustion processes, in order to achieve consistent quality of the wood ashes. Please see: www.askeverdi.no.

Forord

Rapporten dekker resultatene fra prosjektet *Innovativ utnyttelse av aske fra trevirke for økt verdiskapning og bærekraftig skogbruk (215935/O10)*, som ble gjennomført som et samarbeid mellom prosjekteier Bergene Holm AS, instituttene Treteknisk, Skog og landskap (nå NIBIO), Bioforsk Jord og miljø (nå NIBIO), Papir- og fiberinstituttet, samt totalt 19 industribedrifter fra treindustri- og fjernvarmebransjen. Deltagende industribedrifter er listet nedenfor.

Prosjektet ble gjennomført som et innovasjonsprosjekt i næringslivet (IPN), finansiert av Norges forskningsråd og Landbruksoppgjøret og egeninnsats fra bedriftene.

Treteknisk ønsker å takke prosjekteier Bergene Holm AS, instituttpartnerne NIBIO og PFI, samt alle ansatte ved de deltagende industribedriftene for et godt samarbeid i forbindelse med gjennomføringen av prosjektet.

Prosjektet har vist at bioaske fra forbrenningsanlegg med rent trevirke kan benyttes for resirkulering som gjødselblanding eller til jordforbedring i jord- og skogbruket. Det krever at askene fra bedriftene analyseres, og at analysene viser at innholdet av komponenter som kan gi økologiske negative effekter er innenfor grenseverdiene i dagens regelverk.

Deltagende bedrifter vi ønsker å takke:

- | | | |
|----------------------------------|---|---------------------------------------|
| • Bergene Holm AS avd. Brandval | • Moelven Numedal AS | • Eidsiva Bioenergi AS Trysil |
| • Bergene Holm AS avd. Haslestad | • Moelven Soknabruket AS | • InnTre AS, Verdal |
| • Bergene Holm AS avd. Larvik | • Moelven Van Severen AS | • Statkraft Varme AS |
| • Bergene Holm AS avd. Skarnes | • Moelven Østerdalsbruket AS | • Hafslund Varme AS |
| • Moelven Eidsvold Værk AS | • Begna Bruk AS | • Norske Skogindustrier ASA |
| • Moelven Granvin Bruk AS | • Eidsiva Bioenergi AS Lena | • Södra Cell Tofte (avviklet i 2013) |
| • Moelven Løten AS | • Eidsiva Bioenergi AS Kongsvinger Nord | • BioWood Norway AS (avviklet i 2013) |
| • Moelven Mjøsbruket AS | • Eidsiva Bioenergi AS Kongsvinger Sør | • Franzefoss Minerals Miljøkalk AS |
| | | • Forestia AS Braskereidfoss |

Prosjektet ønsker også å takke partnerne i referansegruppen for verdifulle innspill og informasjon. En spesiell takk til våre internasjonale partnere i Sverige, Danmark og Østerrike ved Skogstyrelsen, Skogforsk (SE) og Forest & Landscape Denmark, og Biotreat Univ. of Innsbruck (AT), samt Mattilsynet, Miljødirektoratet, Grønn forskning i Midt-Norge, Solør Bioenergi AS og Fylkesmannen i Hedmark.

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
Forord	5
1 Innledning	9
2 Bakgrunn	9
3 Prosjektgjennomføring	10
4 Ressurstilgang og kvalitet på treaske	11
4.1 Innledning.....	12
4.2 Ressurstilgang på aske fra rent trevirke	13
4.3 Prøveuttak og analyse av aske fra trevirke ved bedriftene	14
4.4 Elementsammensetning i askeprøvene	15
4.5 Total organisk karbon og pH-verdi	17
4.6 Oppsummering.....	17
4.7 Referanser	18
5 Forbehandling av treaske	19
5.1 Innledning.....	19
5.2 Herding og pelletering av treaske for tilbakeføring til skog	19
5.3 Pelletering av treaske med N-holdige organiske avfallskomponenter.....	22
5.4 Referanser	24
6 Bruk av treaske som gjødselprodukt i jordbruk og til grøntanlegg.....	25
6.1 Effekt av aske som kaliumgjødsel	25
6.2 Effekt av aske som fosforgjødsel	26
6.3 Konklusjoner	28
6.4 Referanser	28
7 Tilbakeføring av treaske til skog	29
7.1 Feltforsøk	29
7.2 Forsøksoppsett	30
7.3 Konklusjoner	35
7.4 Referanser	36
8 Økonomi og bærekraft	37
8.1 Innledning.....	37
8.2 Tidligere studier.....	37
8.3 Lovverk	38
8.4 Metoder og data.....	39
8.5 Resultater og diskusjon.....	40
8.6 Oppsummering og konklusjon.....	45
8.7 Referanser	46
9 Konklusjon.....	47
10 Videre arbeid og utnyttelse av resultatene	49
Vedlegg 1 Prosedyre for registrering av aske som gjødselprodukt.....	50

1 Innledning

I treindustrien har det over tid blitt et stadig større fokus på å utnytte alle biprodukter i produksjonen. Sagbrukene sine biprodukter av bark og flis utnyttes i dag som dekkbark, dyrestrø, drengrofting, sponplater, i treforedlingsindustrien og egen varme, samt fjernvarme. Asken fra forbrenningen av disse biproduktene har ennå ikke blitt utnyttet i noen særlig grad i Norge, mens i Sverige og Finland har det vært en større utnyttelse av aske til gjødsel i skogen etter hogst.

Stoltenberg II-regjeringens stortingsmelding nr. 34 (2006-2007) med en uttalt målsetning om å øke utnyttelsen av bioenergi med 14 TWh fram mot 2020 førte til en økt utbygning av biobrenselanlegg som har pågått frem til i dag. Med det grønne skiftet som nå er i gang, er det forventet at denne satsingen på etablering av biobrenselanlegg i Norge vil fortsette. Økt forbrenning av trebasert biobrensel vil også medføre økt produksjon av betydelige mengder aske som må håndteres på en hensiktsmessig måte. Derfor blir det stadig viktigere med en bærekraftig utnyttelse av de resulterende askeressursene fra biomassen.

Prosjektet *Innovativ utnyttelse av aske fra trevirke for økt verdiskapning og bærekraftig skogbruk - AskeVerdi* ble startet med bakgrunn i økt interesse for fornybar energi og mulighetene for å benytte treaske som gjødsel. Prosjektet er finansiert gjennom Norges forskningsråds program Bionær, Jordbruksavtalen, samt en gruppe industripartnere. Bergene Holm AS har vært prosjekteier, med Norsk Treteknisk Institutt som prosjektleder. NIBIO (tidligere Norsk institutt for skog og landskap og Bioforsk Jord og miljø), og Papir- og fiberinstituttet har vært forskningspartnere i prosjektet.

2 Bakgrunn

Aske fra forbrenning av trevirke inneholder næringsstoffer som kan brukes i skog- og jordbruk, men som i dag havner på avfallsdeponi. Da Bergene Holm AS kontaktet FoU-miljøene i 2011 var det med et ønske om å kunne utvikle kommersielle produkter slik at treaske fra rent brensel kunne bli utnyttet som en ressurs istedenfor å være et avfallsproblem. Dette var utgangspunktet for prosjektet da det ble startet i mars 2012.

På sagbrukene utnyttes hele tømmerstokken, hvor primærproduktene er bord og planker, mens flis og bark benyttes til varmeproduksjon eller selges videre som biprodukter. Asken er derimot fortsatt en *uønsket* sekundær ressurs, om enn en aldri så naturlig og nødvendig bestanddel i biobrenselkretsløpet. For industrien medfører det relativt store kostnader å kvitte seg med treasken.

Dagens regelverk gjør det vanskelig å resirkulere aske, og det blir stadig strengere dokumentasjonskrav for deponering. Aske inneholder kalium og fosfor, i tillegg til magnesium og kalsium som hovednæringsstoffer, men mangler nitrogen for å være et fullgjødsel. Produksjon av kalk krever mye energi, og fosforreservene blir

stadig mindre. Derfor kan resirkulering av aske gi potensielt viktige miljømessige gevinster. Det som kan begrense mulighetene for resirkulering er innholdet av tungmetaller, samt at lønnsomme rammevilkår må være på plass for å gi et incitament til industrien.

Prosjektet har undersøkt hvilken kvalitet og hvilke utnyttelsesområder treaske fra bedrifter som brenner ubehandlet trevirke kan ha i jord- og skogbruk.

3 Prosjektgjennomføring

Bergene Holm AS har i funksjon av å være prosjekteier hatt det formelle rapporteringsansvaret ovenfor Norges Forskningsråd. De deltagende industribedriftene har i prosjektperioden stilt sine forbrenningsanlegg til disposisjon for prøveuttak og analyse av bioråstoff og aske. Representanter fra bedriftene har deltatt på prosjektmøter og samlinger underveis i prosjektet.

Prosjektet ble delt i fem arbeidspakker, hvor hvert av de deltagende instituttene hadde ansvar for å være arbeidspakkeleder innen sitt ekspertområde.

Norsk Treteknisk Institutt har vært prosjektleder og dermed hatt hovedansvaret for koordinering, igangsetting av forsøk, oppfølging ved de ulike industrienhetene, og rapportering til prosjektgruppen. Treteknisk har også hatt ansvaret for prosessoppfølging med prøveuttak av aske på bedriftene, og vært arbeidspakkeleder for vurdering av økonomi og bærekraft ved alternativ utnyttelse av bioaske.

NIBIO (tidl. Skog og landskap-delen) har analysert askeprøvene og bidratt med kunnskap omkring iboende askemengder og askekvaliteter i de ulike tredeler og treslag. I tillegg har instituttet bidratt med kunnskap om økologiske effekter av asketilførsel til skog, samt vært ansvarlige for herdeforsøket med aske og feltforsøket i skog.

NIBIO (tidl. Bioforsk Jord og miljø-delen) har vurdert analysene av innhentede askeprøver i forhold til hvilke typer innblandinger av biobrenselråstoff fra industrien man ønsket å se nærmere på underveis i prosjektet. I tillegg har instituttet hatt ansvaret for testingen av aske i anvendelser i jordbruket og i grøntanlegg. Doktorgradsstudenten Eva Brod har arbeidet med denne delen av prosjektet, sammen med pågående arbeid i Bioenergy Innovation Centre (CenBio), og har undersøkt aske og andre restprodukter etter bioenergiutnyttelse med sikte på utvikling av gjødselprodukter til jordbruksformål. Eva Brod disputerte 3. Juni 2016 for graden ph.d. ved NMBU med avhandlingen «Resirkuleringspotensialet til fosfor i sekundære ressurser».

Papir- og fiberinstituttet (PFI) har kompetanse på forbehandling og granulering av ulike asketyper, og har i prosjektet arbeidet med produksjon av granulat og pellets av aske som er egnet for håndtering og lagring. En av oppgavene har vært å avklare hvilke faktorer som er viktige ved askestabilisering, samt anlegge herdeforsøk med ulike sammensetninger.



Figur 3.1. Hovedoppgavene i de ulike arbeidspakkene.

Ekspertgruppen har gjort egne evalueringer med hensyn til økologiske effekter ved bruk av askeprøver i vekstforsøk og feltforsøk i skogen, samtidig som dagens *Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav (Gjødselforskriften)* er benyttet i vurderingen.

I tillegg har Mattilsynet og Miljødirektoratet bidratt med innspill i referansegruppen i forbindelse med regelverksutviklingen i Norge, og hvordan dette bør tilpasses EU.

Det har også blitt benyttet kunnskap fra Sverige og Danmark i forbindelse med resultater fra feltforsøk og regelverksutvikling og alternativ bruk av bioaske. I Sverige resirkuleres en del av asken, og det har vært forsket på askeresirkulering i mange år. Årlig blir 50 000 tonn aske tilbakeført til 12 000 hektar skog i Sverige. Når mer enn stammevirket tas ut av skogen, krever det svenske regelverket at det skal gjennomføres tiltak ved behov for å unngå skader på den langsiktige næringsbalansen i skogen, samt for å unngå forsuring.

Resultatene fra prosjektet har dannet grunnlaget for økt bruk av aske til jord- og skogbruksformål, noe som vil bety reduserte kostnader både for produsenter og forbrukere av askeprodukter, og totalt sett en mer bærekraftig bruk av bioenergi.

4 Ressurstilgang og kvalitet på treaske

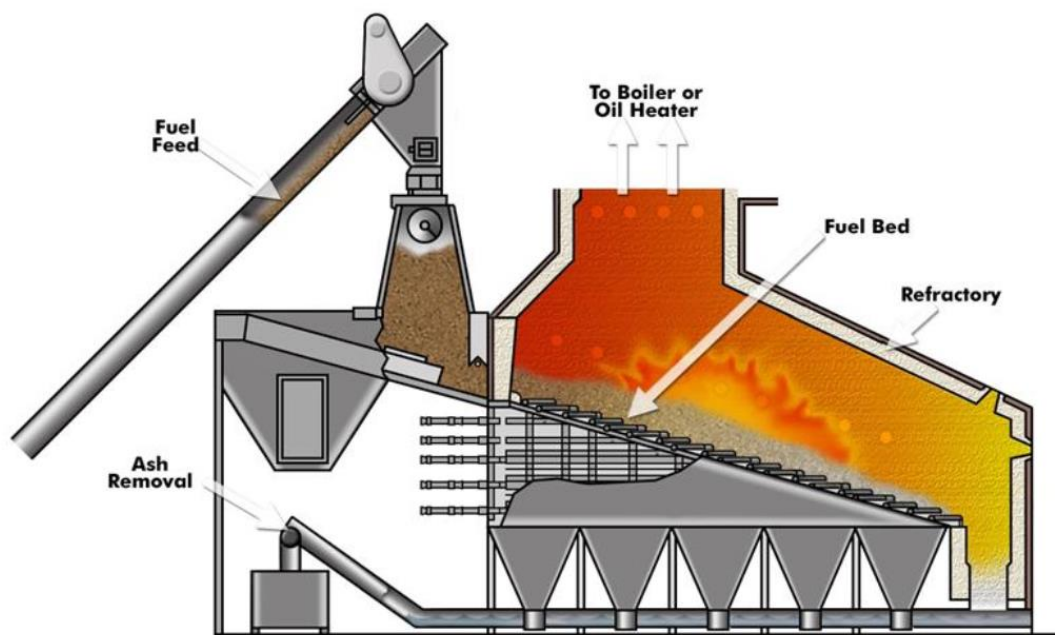
Aske som kan benyttes som jordforbedringsmiddel eller som gjødseiltisetning har et stort økonomisk potensial, da industrielle kunder allerede eksisterer. For å kunne si noe om dette potensialet for resirkulering av treaske ble det gjennomført

en systematisk undersøkelse av de kjemiske egenskapene til bunnaske, flyveaske og blandaske fra 20 forbrenningsanlegg.

4.1 Innledning

Den vanligste typen anlegg for forbrenning av fast biobrensel i Norge er ristfyrte forbrenningsovnner. Dette er ovner med skrå forbrenningsrist, som enten er fast eller bevegelig, hvor biobrenselet tilføres på toppen av forbrenningsristen og beveger seg nedover mens utbrenningen pågår. Primærluft tilføres i bunnen, og sekundærluft (og evt. tertiærluft) tilføres i forbrenningssonen gjennom flere rader med luftdyser for å sikre en fullstendig utbrenning. Denne typen anlegg gir bunnaske som faller ned under risten og flyveaske som tas ut fra røykgassen i multisyklon og/eller posefilter, se *Figur 4.1*.

Det finnes også noen få fluidisert bed forbrenningsanlegg (FBC) i Norge. I et fluidiserende bed-anlegg forbrennes biobrenselet med gjennomblåsning av luft i en turbulent sky av sand (for å gi størst mulig varmeoverførende overflate). Fordelen med disse anleggene er at de kan benytte et vidt spekter av både brensel og varierende fuktigheter, og de kan også oppnå en svært høy virkningsgrad selv



Figur 4.1. Skisse av biobrenselanlegg med skrå forbrenningsrist. Kilde: Wellons Fei Corp.

med vanskelige brensel med høy fuktighet, som for eksempel bark. Denne type anlegg krever store investeringskostnader, og bygges for større kapasiteter som eksempelvis store fjernvarmeanlegg eller temperaturkrevende prosessindustri. Eksempler er forbrenningsanleggene ved Norske Skog som deltok i prosjektet. Det er ingen FBC anlegg i Norge som benytter kun rent trevirke.

Kjemisk innhold i bioaske fra rent trevirke

Bunn- og flyveaske er forskjellig med hensyn til 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 landbruksformål eller skog. Fordelingen mellom de to fraksjonene vil avhenge av type biobrenselanlegg, men er typisk 90% bunnaske og 10% flyveaske i ristfyrte forbrenningsanlegg.

Bruk av bioaske og regelverk

Treasken som produseres i anleggene er et uorganisk restprodukt som inneholder verdifulle makro- og mikronæringsstoffer. Den vanligste metoden for å avhende asken har vært å levere den som avfall til deponi. Nye miljøbestemmelser og regulativer har de senere årene gjort det mer kostbart å levere aske til fyllinger.

Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav regulerer også askematerialer. Det er imidlertid ikke tillatt med spredning av aske til skog, da forskriften ikke definerer skog som en arealanvendelse som kan gjødsles med aske. Miljødirektoratet understreker også at bruk av askeinnblanding i gjødsel kun kan benyttes som et substitutt dersom kommersielt gjødsel ble benyttet på samme areal i utgangspunktet. Norsk PEFC Skogstandard åpner for tilbakeføring av aske under krav om at: «Bare herdet og behandlet aske med godkjente verdier for tungmetaller kan tilbakeføres til skog» (Levende Skog, 2016).

4.2 Ressurstilgang på aske fra rent trevirke

I tremekanisk industri produseres det ca. 1,9 kg aske pr. m³ produsert trelast (Tellnes et al, 2011). I 2014 ble det produsert 2,4 Mm³ trelast i Norge, noe som gir en beregnet askemengde på 4 560 tonn. På grunn av relativt høy alder på flere av forbrenningsanleggene med lavere grad av kontrollert styring av forbrenningsprosessen, produseres det også bioaske som inneholder en høyere grad av uforbrent materiale. Den totale produserte askemengden er nok derfor litt høyere enn beregningen skulle tilsi.

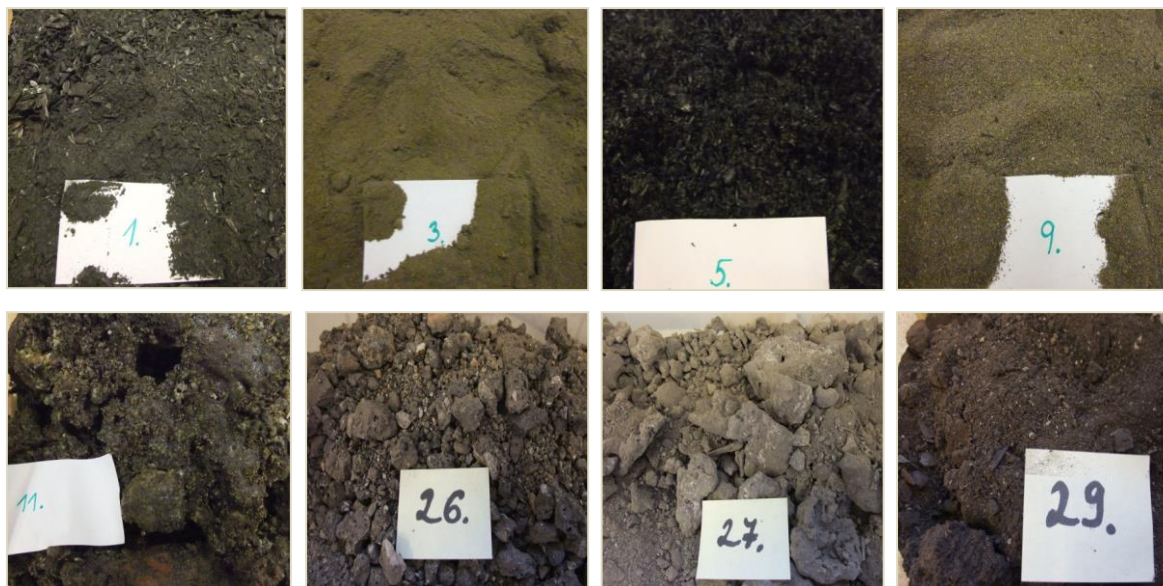
Statistisk Sentralbyrås statistikk over fjernvarmeanlegg som benytter rent trevirke av bark, flis og annet trebasert virke viser at det i 2014 ble forbrukt trevirke tilsvarende 1 522 GWh (SSB, 2014). Energidensiteten vil variere med fuktigheten i brenselet, men som et gjennomsnitt er det valgt å benytte 0,65 MWh/lm³ (Alakangas, 2005). Dette gir ca. 2,3 Mlm³ biobrensel til fjernvarmeproduksjon pr. år. Tall innhentet fra fjernvarmeanlegg viser at det produseres ca. 1,3 kg aske pr. lm³ biobrensel, slik at den totale askemengden fra biobrensel av rent trevirke i fjernvarmebransjen er 3 090 tonn. Dette gir totalt 7 650 tonn p.a. tilgjengelig aske fra rent trevirke.

En artikkel fra 2013 publisert av Norges Geotekniske Institutt angir at det produseres ca. 30 000 tonn aske fra treforedlingsindustrien (Okkenhaug & Slinde, 2013). Denne produksjonen er imidlertid mye mindre i dag, blant annet som følge av nedleggelsen av virksomheten ved Södra Cell Tofte.

4.3 Prøveuttak og analyse av aske fra trevirke ved bedriftene

Treaske har en varierende sammensetning, men inneholder det meste av de viktige næringsstoffer og tungmetaller som fantes i trevirket før forbrenningen. Asken er meget alkalisk, noe som gjør at anvendelse av aske i jordsmonn øker pH-verdien og tilfører de fleste hovednæringsstoffene, samt at tilgjengeligheten av sporelementer (tungmetaller) reduseres. Aske fra trevirke med riktig kvalitet kan derfor utnyttes i forvaltningen av forsurede grøntarealer, jordbruksarealer eller områder med flatehogst som trenger kalktilsetning. Askeegenskapene avhenger av hvilken type biobrensel-sortiment som benyttes i forbrenningen, riktig styring av prosessparametere i forbrenningsprosessen, samt behandling og lagring av askene. Alle askene i denne undersøkelsen er fra biobrenselanlegg med ristovner.

Det ble tatt ut 50 prøver av treaske fra 20 forbrenningsanlegg i Norge, hvor råstoffet er biobrensel av rent trevirke. Forbrenningsanleggene som er undersøkt skiller bunnasken fra flyveasken. Bunnasken består av askebiter og askeklumper, mens flyveasken består av mindre partikler. I flere av anleggene føres de to askefraksjonene sammen i en container til slutt, slik at bunn- og flyveaske blir blandet (blandaske).



Figur 4.2. Treaske (bunnaske, flyveaske, blandaske) fra noen av de 50 prøvene hentet fra 20 forskjellige bedrifter i Norge i 2012/2013.

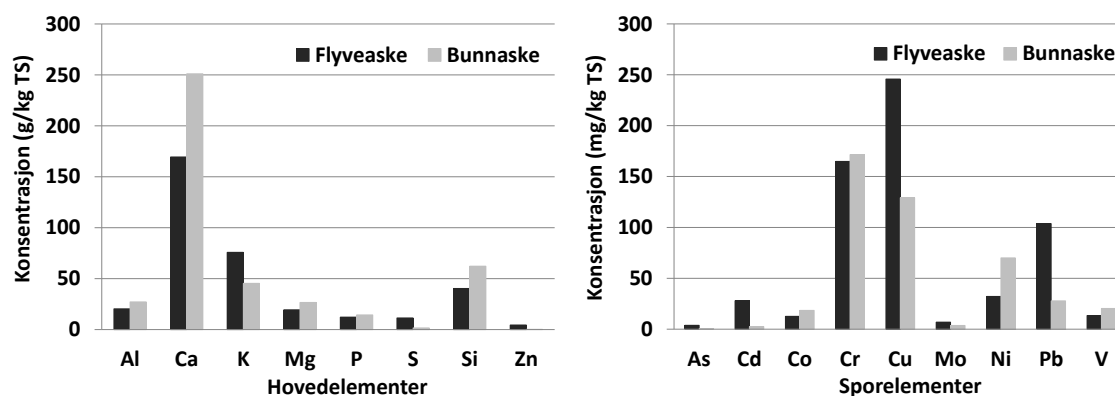
4.4 Elementsammensetning i askeprøvene

Alt naturlig trevirke inneholder tungmetaller. Mye av disse tungmetallene blir igjen i asken, slik at nivåene av tungmetaller blir oppkonsentrert. Asken kan også inneholde eventuelle forurensninger som fantes i biobrenselet.

Elementsammensetningen og mengden av uorganiske forbindelser som dannes under forbrenningsprosessen vil variere med hvilket råstoff som benyttes, filterteknologi, og ulike prosessparametere under forbrenningen.

Forbrenningstemperaturen vil imidlertid påvirke mengden flyktige alkalier som fjernes og mengden smeltetmasse som er til stede (Demeyer et al., 2001).

Askeprøvene som ble samlet inn fra bedriftene ble analysert med ICP-OES etter kjemisk behandling. Figur 4.3 viser gjennomsnittlige konsentrasjoner av hovedelementer (næringsstoffer) og sporelementer (tungmetaller) i treaske i de undersøkte askeprøvene. Konsentrasjonen av elementer i askeprøvene er angitt i tørrstoff (TS).



Figur 4.3. Konsentrasjoner av hoved- og sporelementer i bunn- og flyveasker fra rent trevirke.

Vurderingene av elementkonsentrasjonene ble gjort i forhold til kvalitetskravene som er satt i *Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav* (2003) i forhold til maksimumsgrenser for tillatt innhold av tungmetaller, se Tabell 4.1.

Analysene viser at det var en oppkonsentrering av tungmetaller i flyveaskene, sammenlignet med bunnaskene undersøkt i denne studien. Bunnaskene hadde høyere verdier av kalsium (Ca) og magnesium (Mg) sammenlignet med flyveaskene som ble undersøkt. Høye konsentrasjoner av hovedelementene Ca og Mg gjør asken til en potensiell kandidat for tilsetning til skogsjord for tilførsel av næringsstoffer, økning av pH, samt at det eventuelt kan gi en tilveksteffekt.

Det ble funnet litt lavere innhold av kalium (K) i noen av flyveaskene, som er forventet da flyveasker generelt har mindre hovedelementer enn bunnasker (Hakkila og Kalaja, 1983). Det ble målt et høyere silisiumnivå (Si) i noen av bunnaskene. Silisiumnivået i aske fra biobrensel som inneholder bark kan være

høyt på grunn av sand, grus og andre forurensninger som tas opp under tømmerhogst og transport. Konsentrasjonen av svovel (S) i alle flyveaskene var mye høyere enn i bunnaskene. Svovel vil kunne ha en korrosiv effekt på forbrenningsanlegget, og kan medvirke til sintring og slaggdannelse.

Tabell 4.1. Maksimumsgrenser for tillatt innhold av tungmetaller i gjødselvarer mv. av organisk opphav (LMD, 2003)

Kvalitetsklasser	0	I	II	III
	[mg/kg tørrstoff]			
Kadmium (Cd)	0,4	0,8	2	5
Bly (Pb)	40	60	80	200
Kvikksølv (Hg)	0,2	0,6	3	5
Nikkel (Ni)	20	30	50	80
Sink (Zn)	150	400	800	1500
Kobber (Cu)	50	150	650	1000
Krom (Cr)	50	60	100	150

Når man vurderer gjenbruk av treaske, er det grunn til å være særlig oppmerksom på kadmiumkonsentrasjonen (Cd). Resultatene presentert i *Figur 4.3* viser tydelig at kadmium oppkonsentreres i flyveaskene. *Tabell 4.1* viser grenseverdiene for kadmium for de ulike kvalitetsklassene. Flyveasker med nivåer over 5,0 mg/kg TS vil ikke kunne brukes på jordbruksareal, og heller ikke på grøntanlegg eller i skog.

I flere av askeprøvene ble det målt krom-nivåer (Cr) over de fastsatte maksimumsgrensene. Et høyt kromnivå kan være relatert til korrosjonsprosesser i forbrenningskammeret (Huang et al., 1992; Hakkila, 1989). Kobberkonsentrasjonen (Cu) varierte betydelig mellom prøvene av bunn- og flyveaske. Resultatene viser også at nivåene av kobber (Cu), arsen (As) og bly (Pb) var høyere i flyveaskene sammenlignet med bunnaskene.

Undersøkelsene viser at den kjemiske kvaliteten på de ulike treaskene varierte betydelig, avhengig av blant annet kvaliteten på biobrenselet som benyttes til forbrenningen, treslag, biobrenselsortiment og type forbrenningsanlegg. I tillegg vil faktorer som lagring, håndtering og forbrenningstemperatur ha betydning for askekvalitetene som oppnås. For bestemmelse av askens kjemiske kvalitet er det viktig å evaluere alle elementer (næringsstoffer og tungmetaller), samt være oppmerksom på høye konsentrasjoner av andre tungmetaller i asken. På grunn av menneskeskapte aktiviteter kan vi i fremtiden forvente en økning i konsentrasjonen av en rekke andre elementer - som platinametaller og lantanoider - i skogen, og dermed også i treasken (Holmberg, Lind og Claesson, 2000). Det vil derfor være nødvendig at også slike elementer inkluderes i fremtidige studier.

4.5 Total organisk karbon og pH-verdi

Elementer av karbon, nitrogen, svovel og klorider finnes i begrensede mengder i asken. Disse elementene må tas hensyn til da de i ulik grad kan ha innvirkning på både komponenter i forbrenningsbedriften og på aske kvaliteten (Obernberger og Thek, 2010). Totalt karboninnhold ble målt ved at prøvene ble forbrent i oksygen-atmosfære til aske og forbrenningsgasser. Resultatene er vist i *Tabell 4.2*.

Tabell 4.2. Gjennomsnitt av pH og totalt organisk karboninnhold (TOC) og standardavvik (STD) av treaske fra 50 askeprøver, hentet fra 20 forskjellige bedrifter i Norge.

	pH	STD	TOC (%)	STD
Flyveaske	12.4	0.8	20.4	20.1
Bunnaske	12.4	0.4	6.3	9.9

Det er ikke bare innholdet av tungmetaller som gjør at tilbakeføring av aske må gjøres i kontrollerte mengder, men også innholdet av kalsium. Kalsium gir en økning i pH-verdien, noe som igjen gir en økning i mikrobiologisk aktivitet og en potensiell mineralisering av nitrogen. Resultatene i *Tabell 4.2* viser at målt pH var sterkt alkalisk (pH > 12) i de fleste undersøkte askeprøvene, noe som betyr at asken har en betydelig kalkningseffekt på sur jord. Kalkningseffekten er en av de viktigste parameterne for å evaluere gjødslingsverdien av aske. Det var ikke stor forskjell i pH-verdi mellom bunn- og flyveaskene.

Innholdet av uforbrent organisk karbon i askeprøvene varierte i forhold til hvilket biobrensel-sortiment som ble benyttet. De laveste nivåene av totalt organisk karbon (TOC) ble målt i bunnaskene, noe som indikerer at forbrenningsforholdene var gode i perioden for prøvetakingen. Det er ikke tillatt å deponere biologisk nedbrytbart avfall med TOC > 10 % (LMD, 2004), noe som gjør at de fleste flyveaskene ikke oppfyller kravene i forskriften dersom de leveres separat.

4.6 Oppsummering

Flere studier har vist at flyveaske fra forbrenning av biomasse vil inneholde betydelig høyere konsentrasjoner av tungmetaller enn bunnaske (Hakkila, 1989). Mengden av tungmetaller i aske blir sterkt påvirket av forbrenningstemperaturen. De relativt høye konsentrasjonene av Cd, Zn og Pb i flyveaskene kommer av at disse elementene vil oppkonsentreres gjennom forbrenningsprosessen fordi den fungerer som en termodynamisk separasjonsprosess for de forskjellige uorganiske materialene i biobrenslene. Bunnasken forlater forbrenningskammeret med høy temperatur, og inneholder derfor ingen flyktige tungmetaller. Til gjengjeld inneholder den metaller med lav volatilitet, eksempelvis Ni og Cr, som oppkonsentreres her.

Resultatene viser en oppkonsentrasjon av tungmetaller i flyveaskene. Mer effektive filtreringssystemer i forbrenningsanlegget vil også gi høyere andel av tungmetaller i flyveasken (Hakkila og Kalaja, 1983). Ut fra resultatene vil noen av de undersøkte bunnaskene kunne utnyttes som gjødseltilsetning i grøntanlegg og til jordforbedring, men ikke som tilsetning i matjord i landbruket. Bunnasken som ble benyttet i skogsfeltforsøket hadde et høyt nivå av næringsstoffer, lave konsentrasjoner av tungmetaller, lite uforbrent organisk karbon og en høy pH-verdi, noe som gjør at asken oppfyller kravene som dagens regelverk setter til Kvalitetsklasse II.

Ved resirkulering av bunnaske til gjødslings- eller jordforbedringsformål må det alltid gjennomføres analyser som undersøker sammensetningen for å kunne sikre at asken ikke vil medføre negative økologiske effekter.

4.7 Referanser

- Alakangas, E (2005). *Properties of wood fuels used in Finland*, Technical Research Centre of Finland, VTT Processes, Project Report PRO2/P2030/05, Jyväskylä, 90 p. +app. 10 p.
- Demeyer A, Voundi Nkana JC., Verloo MG (2001). *Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview*. Bioresource Technology 77, 287-295.
- Hakkila P (1989). *Utilization of Residual Forest Biomass*. Springer-Verlag, 568 pp.
- Hakkila P, Kalaja H (1983). *The technique of recycling wood and bark ash*. Folia Forestalia 552, 37 (English summary 35-37).
- Holmberg SL, Lind BB, Claesson T (2000). *Chemical composition and leaching characteristics of granules made of wood ash and dolomite*. Environmental Geology 40 (1-2).
- Huang H, Campbell AG, Folk R, Mahler RL (1992). *Wood ash as a soil additive and liming agent for wheat: Field studies*. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 23(1&2), 25-53.
- Landbruks- og matdepartementet – LMD - (2003). *Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav*. FOR 2003-07-04 nr. 951. Hentet fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951>. Mars 2016.
- Landbruks- og matdepartementet – LMD - (2004). *Forbud mot deponering av nedbrytbart avfall*. FOR 2003-06-01 nr. 930. Hentet fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-930/>. April 2016.
- Levende Skog (2016). Hentet fra: www.levendeskog.no/levendeskog/vedlegg/08Levende_Skog_standard_Bokmaal.pdf. April 2016.
- Obernberger I, Thek G (2010). *The Pellet Handbook. The production and thermal utilization of biomass pellets*. Earthscan Ltd, 549 s.
- Okkenhaug, G. & Slinde, G. Aa (2013). *Kartlegging av organiske og uorganiske avfallstyper og aske, genererte mengder og økologisk påvirkning*. Norges Geotekniske Institutt.
- Tellnes, L.G.F., Flæte, P.O. & Nyrud, A.Q (2011). *Material Flows in the Norwegian Saw-milling 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. P. 113-118.

5 Forbehandling av treaske

5.1 Innledning

Treasker er aktuelle som gjødsling i skog og landbruk. Ved tilbakeføring av treaske til skog må asken herdes eller stabiliseres for å sikre at asken løses langsomt opp og ikke forårsaker skader på vegetasjonen. Ideelt sett er det ønskelig at utlakingen av næringssalter varer i opptil 25-30 år før asken er oppløst. Asken kan enten herdes ved å tilsette vann og bearbeide den mekanisk, eller ved vanntilsats, selvherding og knusing. Forbehandlingen skal stabilisere asken mot rask utløsning av alkaliske salter, samt gi et aske-granulat som er egnet for håndtering og spredning.

Ved bruk av treaske som gjødsel i jordbruk er det også svært viktig med en forbehandlingsprosess som gir et aske-granulat som er egnet for håndtering, transport og spredning. Ved bruk av aske til jordbruksformål ønsker man derimot ikke å stabilisere asken under forbehandlingen siden det er ønskelig med rask utløsning av næringsstoffer slik at næringsstoffene blir tilgjengelige for plantene i sprede-året. En ulempe ved treaske er at det ikke inneholder nitrogen. Nitrogen er nødvendig for å kunne oppnå et fullgodt alternativ til kunstgjødsel. Dette gjør at samgranulering av aske og et nitrogenholdig organisk avfall, som eksempelvis bioslam, er et interessant konsept for å utvikle et nytt gjødselslag eller et jordforbedringsmiddel for mineraljord.

Pelletering med valsepresse er en kostnadseffektiv metode for å fremstille et askegranulat egnet for håndtering, transport og spredning. Valsepelletering anvendes i industriell skala i Sverige, og det er blitt hevdet at pelletering krever færre arbeidstimer og mindre areal for askehåndtering sammenlignet med andre teknikker som for eksempel selvherding (Svantesson 2001; Svantesson, Petersson og Jedfelt 2004). Forbehandlingen kan gjøres enda mer effektiv ved å akselerere karbonatiseringen med karbondioksid-behandling. På den måten kan en lang utendørs herdeperiode på én til flere måneder unngås (Lövgren 2012).

Målsetningen har vært å avklare i) hvordan bioaske bør herdes og granuleres for å fremstille et granulat som er egnet for håndtering og lagring, ii) hvilke faktorer som er viktigst for å stabilisere bioaske for å minimere rask utløsning av alkaliske salter, og iii) hvordan blandinger av aske og nitrogenrike organiske avfallsprodukter bør granuleres/pelleteres, og videre vurdere egnethet av slike produkter med tilgjengelig spredeutstyr.

5.2 Herding og pelletering av treaske for tilbakeføring til skog

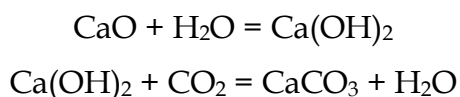
For å vurdere egnede granuleringsbetingelser ble det etablert en reproducerbar metodikk for å fremstille askepellets hvor temperatur og pelleteringstrykk kan varieres, se *Figur 5.1*. Holdfasthet, og dermed egnethet for håndtering, transport

og spredning, ble vurdert ved å måle kompresjonsstyrke på askepelletsene med materialtester.



Figur 5.1. Utstyr for pelletering av aske ved PFI. a) Enkel pelleteringspresse med regulerbar temperatur, trykk og hastighet under pelletering b) Operatør senioringeniør Trond Karlsen ved Kahl valse-pelleteringspresse.

Ved oppfukning av asken vil oksidene omdannes til hydroksider. Hydroksidene vil deretter reagere med karbondioksid fra luften og danne karbonater. Karbonater er lite reaktive, og karbonatdannelsen vil dermed stabilisere metallene i asken.



En godt karbonatisert aske, bestående av minimalt med oksider og hydroksider, er påkrevd for å oppnå en godt herdet aske med langsom utlaking av næringsstoffer. God miksing og passelig vanntilsats i forhold til mengden oksider i asken er nødvendig for å få en forbehandlet aske som er jevnt karbonatisert med lav støvningstendens.

I Sverige må herdet treaske testes for å kontrollere at asken oppfyller krav fra den svenske Skogsstyrelsen før den kan tilbakeføres til skog. Asken må inneholde tilstrekkelig høyt innhold av næringsstoffer, og innholdet av tungmetaller må ikke overskride definerte grenseverdier. I tillegg analyseres utlaking av alkaliske salter ved å måle konduktans på et vannekstrakt av herdet aske, og det anbefales at man ikke sprer asken i skog dersom ledningsevnen på vannekstraktet er over 24 mS/cm (Skogsstyrelsen 2008).

Tørr bunnaske fra Bergene Holm ble innhentet til studiet. Som illustrert i *Tabell 5.1* hadde denne asken et innhold av næringsstoffer og tungmetaller som gjør den akseptabel for tilbakeføring til skog i henhold til det svenske regelverket.

Tabell 5.1. Innhold av næringsstoffer og tungmetaller i bunnaske fra Bergene Holm.

	Element	Bunnaske fra Bergene Holm	Skogstyrelsens grenseverdier for tilbakeføring av aske til skog i Sverige
Næringsstoffer, g/kg	Ca	219	> 125
	Mg	19	> 15
	K	75	> 30
	P	12	> 7
Tungmetaller, mg/kg	As	0,1	< 30
	Cd	0,6	< 30
	Cr	32	< 100
	Cu	106	< 400
	Ni	42	< 70
	Pb	43	< 300
	Zn	300	< 7000

Knust bunnaske ble blandet med vann og mikset godt i en Hobart-mikser. Deretter ble askeblandingen pelletert med valsepresse. Optimal vanntilsats for denne aske kvaliteten var 15-20% vann. Askepelletsene ble analysert for kompresjonsstyrke, ledningsevne og pH som funksjon av lagringstid. Konduktans og pH ble analysert på vannekstrakt av asken i henhold til anbefalt metodikk av Skogsstyrelsen i Sverige (Skogsstyrelsen 2008). Bunnaske ble også behandlet med CO₂ for å undersøke om CO₂-behandling kan påskynde karbonatiseringen og dermed redusere nødvendig herdetid.

Resultatene viste at kompresjonsstyrke og holdfasthet på pellets av bunnaske var relativt dårlig, se *Tabell 5.2*. Forvarmede og varmpressede askepellets hadde relativt god holdfasthet rett etter fremstilling, men styrken falt raskt ved lagring. Etter tre ukers lagringstid sprakk pelletsene opp. For å bedre holdfastheten på askepelletsene ble det forsøkt å pelletere bunnaske med noe barktilsats. Barktilsats bedret holdfastheten på askepelletsene, men ved pelletering uten forvarming av komponentene ble styrken fortsatt redusert under lagring. Forvarming og varmpressing av askepellets med barktilsats ga imidlertid askepellets med god holdfasthet som vedvarte under lagring.

Analyser av ledningsevne og pH på vannekstrakt i *Tabell 5.2* viser at utløsning av alkaliske salter er lav og forblir konstant under lagring. Ledningsevnenivået på 15-16 mS/cm er vesentlig lavere enn Skogsstyrelsens anbefalte maksimale nivå for

spredning i skog (24 mS/cm), hvilket betyr at denne bunnasken vil kunne spres i skog rett etter pelletering.

Bunnasken virket tilsynelatende å være ferdig karbonatisert rett etter pelletering, hvilket også er sammenfallende med at man ikke så noen signifikant effekt av CO₂-behandling. Dette kan enten skyldes at asken karbonatiseres raskt under den mekaniske behandlingen av oppfuktet aske i Hobart-mikser og pelleteringspresse, eller at bunnasken kan ha vært utsatt for et fuktig klima før forbehandlingen av asken ble påbegynt, slik at karbonatiseringen har kunnet starte tidligere.

*Tabell 5.2. Herding og pelletering av bunnaske fra Bergene Holm.
Elektrisk konduktans og pH.*

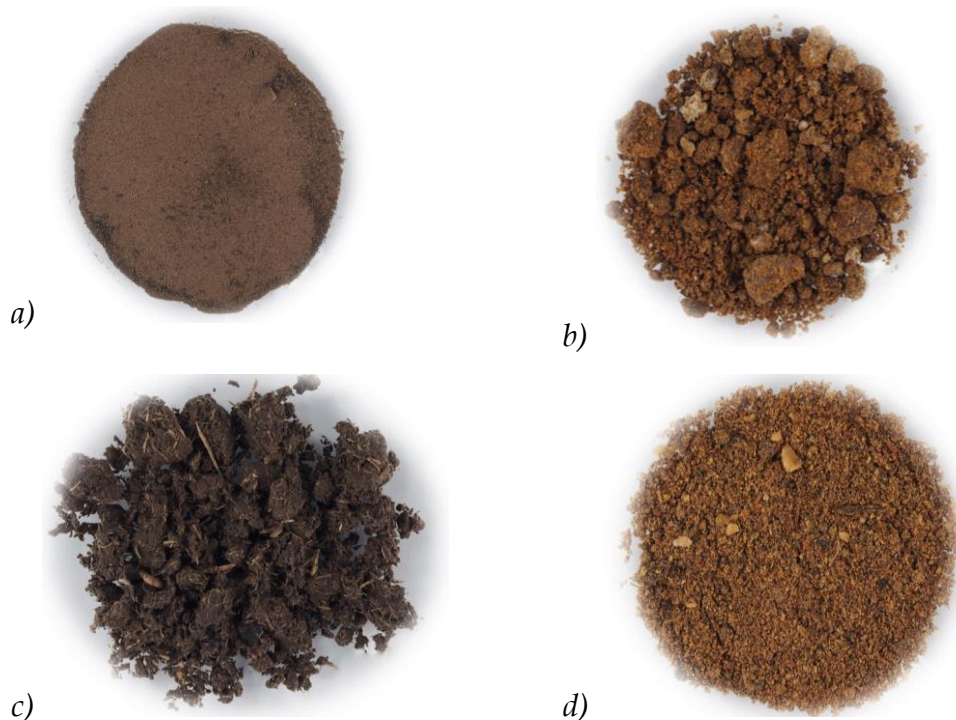
Herding av bunnaske	Kompresjons- styrke, kN/m	Ledningsevne, mS/cm			pH		
	Fersk	Fersk	3 uker	6 mnd	Fersk	3 uker	6 mnd
Referanse	23	15,9	16,2	15,3	12,7	12,6	12,9
CO ₂ behandling	14	15,6			12,7		
Pellets med 25% bark	26						
Pellets med 50% bark	60						
Varmpresset pellets med 50% bark	121	12,4			12,6		

5.3 Pelletering av treaske med N-holdige organiske avfalls-komponenter

Blandinger av treaske og nitrogenholdig organisk avfall er et mulig gjødsel eller jordforbedringsmiddel for mineraljord. Ulike organiske avfallsfraksjoner ble samlet inn for å undersøke denne muligheten. FoU-oppgaven var å utvikle en forbehandlingsprosess som gir et askegranulat egnet for transport og lagring, og å teste ut hvor godt askegranulatet fungerer som erstatning for mineralgjødsel.

I prosjektet skulle PFI utvikle en forbehandling basert på valsepressing som gir askepellets med god holdfasthet. Deretter skulle Bioforsk Jord og miljø (nå NIBIO) gjennomføre vekstforsøk for å avklare egnetheten av askepelletsene som gjødselerstatning.

Bunnaske fra Bergene Holm, og ulike nitrogenholdige organiske avfallskomponenter som papirslam fra Norske Skog, kjøttbeinmel fra Norsk Protein og kompostert fiske- og matavfall fra Global Enviro ble anvendt i studiet, se *Figur 5.2*. Tørrestoffinnhold, elementsammensetning og askeinnhold ble analysert av PFI. Ulike sammensetninger av organiske avfallskomponenter er vist i *Tabell 5.3*.



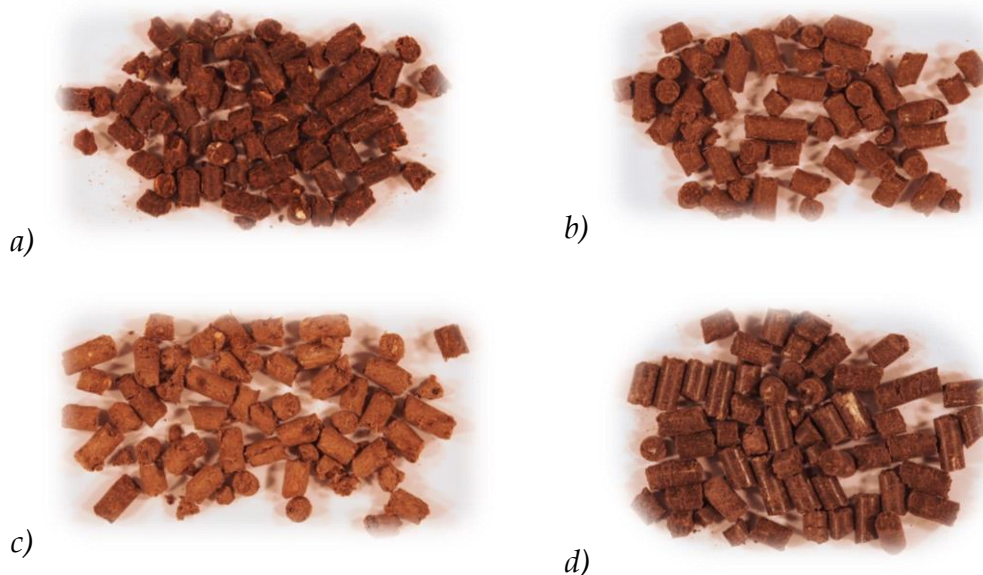
Figur 5.2. Bunnaske fra Bergen Holm (a), kjøttbeinmel fra Norsk Protein (b) papirslam fra Norske Skog (c) og kompostert fiskeavfall fra Global Enviro (d) er anvendt i et studie for å avklare om granulat av treaske og nitrogenholdig organiske avfall er egnet som gjødsel eller jordforbedringsmiddel (Bilde PFI).

Tabell 5.3. Tørrstoffinnhold, elementsammensetning og aske i ulike nitrogenholdige organiske avfallskomponenter.

Nitrogenholdig organisk avfall, avfallsleverandør		Tørrstoff %	CHN analyse			Aske 525 °C,
			Karbon,	Hydrogen,	Nitrogen,	% DM
			% DM	% DM	% DM	
Kjøttbeinmel	Norsk Protein	95,3	44,5 %	6,2 %	10,6 %	35,7 %
Kompostert matavfall	Global Enviro	91,4	48,5 %	6,7 %	4,5 %	20,2 %
Kompostert fiskeavfall	Global Enviro	66,2	50,1 %	7,1 %	7,9 %	13,9 %
Papirslam	Norske Skog	31,5	45,8 %	5,7 %	1,8 %	n. a.

PFI skulle utvikle en forbehandlingsprosess som gir et askegranulat egnet for transport og lagring. God miksing, justering av fuktinnhold og pelletering med forvarming ga askepellets med god holdfasthet som vedvarer under lagring.

Mengden av organiske avfallskomponenter i askepelletsene ble tilpasset slik at nitrogeninnholdet i pelletsene ble 3-6 g N/100 g. Figur 5.3 viser bilder av pelletsene etter seks ukers lagringstid.



Figur 5.3. Askepellets med god holdfasthet av bunnaske og ulike nitrogenrike avfallsprodukter a) pellets av treaske og kompost av matavfall b) pellets av treaske og kompost av fiskeavfall c) pellets av treaske, kjøttbeinmel og papirslam, d) pellets av treaske og kjøttbeinmel (Bilde PFI).

5.4 Referanser

- Svantesson, T., Petersson, T., Jedfelt, D (2004). *Utværdning av forsøk med vâlspelletteringsmetode*. Report. Dept. of Technology, University College of Kalmar.
- Svantesson, T (2001). *Automated Manufacture of Fertilizing Agglomerates from Burnt Wood Ash*. Doctoral Dissertation in Industrial Automation. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation. University of Lund.
- Skogsstyrelsen (2008). *Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring*. Jönköping. Skogsstyrelsen meddelande 2.
- Lövgren, L (2012). *Roll pelletizing of ash – Cost efficient handling and improved ash product quality with accelerated carbonatization*. ASH 2012 Stockholm International Ash Seminar.

6 Bruk av treaske som gjødselprodukt i jordbruk og til grøntanlegg

Sammensetningen av industripartnere har gjort det mulig å innhente trebasert aske for analyser fra mange ulike typer forbrenningsanlegg med ulike råstoffsammensetning i biobrenselet. Analysene har gitt noen svar på hvilke alternative anvendelsesområder som er mulige basert på de kvalitetene som oppnås, og eventuelt hvordan de kan utnyttes der kvaliteten gjør at en tilbakeføring ikke er mulig.

Parallelt med pågående aktiviteter i *Bioenergy Innovation Centre (CenBio)* har det blitt arbeidet med å kombinere nitrogenrike avfallsstrømmer og aktuelle askekvaliteter med sikte på å utvikle gjødsel- og jordforbedringsprodukter som er aktuelle i jordbruk, grøntanlegg og jordblandinger til grøntanlegg. Noen asketyper egner seg bedre som kalkingsmiddel enn som gjødsel på grunn av høyt innhold av kalsium og stor kalkverdi.

I denne delen av prosjektet er askens gjødselegenskaper alene og i kombinasjon med nitrogengjødsel dokumentert, samt askens egenskaper som kalkingsmiddel i jordbruk og grøntanlegg. Det økonomiske potensialet sammenlignet med mineralsk gjødsel og kalk er blitt undersøkt, og det er gjort en avklaring av ressurstilgang i forhold til andre anvendelser.

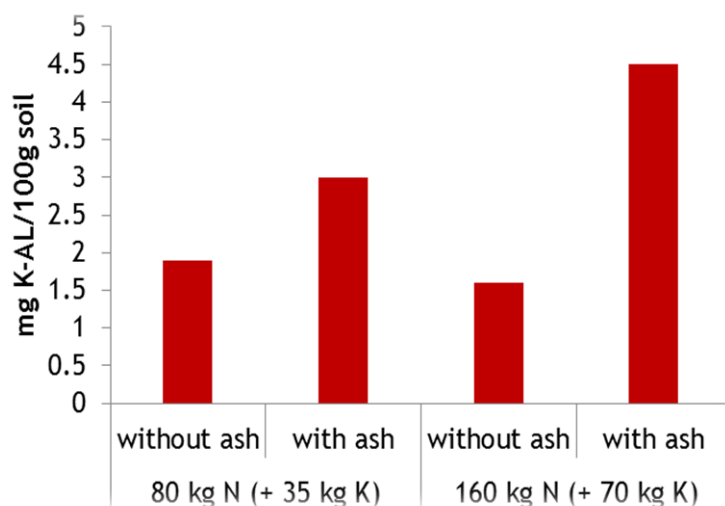
Kunder i industrien, som kan utnytte aske i tekniske anvendelser, etterspør også aske med lavt innhold av tungmetaller og restkarbon. Disse mulighetene for alternativ bruk av askeprodukter har det blitt arbeidet med i CenBio, men data fra AskeVerdi har vært viktig for å avklare ressurstilgangen av aske med aktuelle egenskaper.

Det er gjennomført ulike vekst- og laboratorieforsøk for å kartlegge tilgjengeligheten av kalium (K) og fosfor (P) i aske sammenlignet med mineralsk K og P.

6.1 Effekt av aske som kaliumgjødsel

Effekten av treaske (bunnaske fra Årnes Akershus energi) som kaliumgjødsel er undersøkt i et 2-årig pottforsøk med en næringsfattig sand/torvblanding som forsøksjord, og bygg og hvete som forsøksvekst. Forskjellige typer organisk avfall, som nitrogen- og fosforgjødsel, er testet og sammenlignet med mineralgjødsel. Nitrogengjødsel ble i forsøkene tilført med og uten tilsetning av aske. Asken var dosert som kaliumgjødsel i to mengder tilsvarende 3,5 og 7 kg K/dekar.

I dette forsøket ble det oppnådd bare en liten direkte kaliumvirkning av asken på planteveksten, men gjenværende løselige mengder av kalium etter høsting var signifikant større med tilførsel av aske enn uten, se *Figur 6.1*.



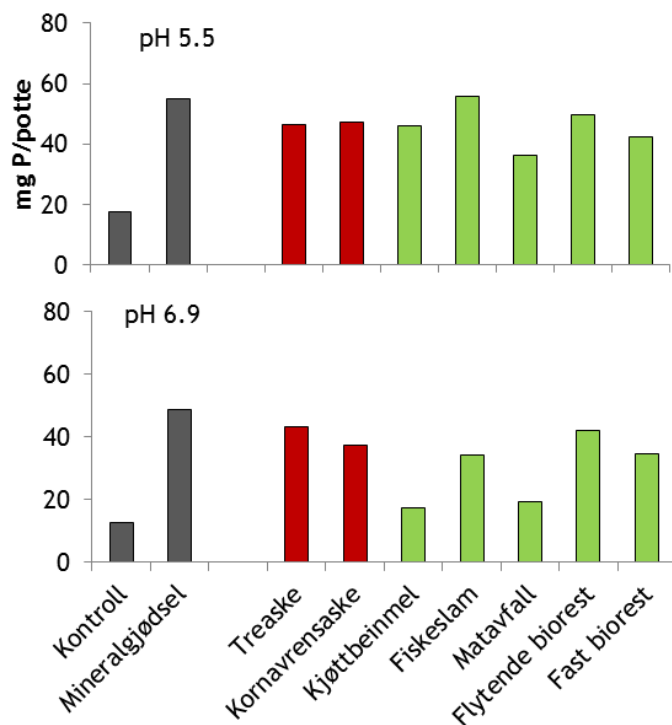
Figur 6.1. Løselig kalium i jord etter høsting med og uten tilførsel av aske.

6.2 Effekt av aske som fosforgjødsel

Det ble bruk forskjellige strategier og metoder for å klarlegge virkningen av fosfor i asken. Innledende pottforsøk i regi av CenBio indikerte overraskende og uventet god effekt av fosfor fra aske (Brod et al. 2014).

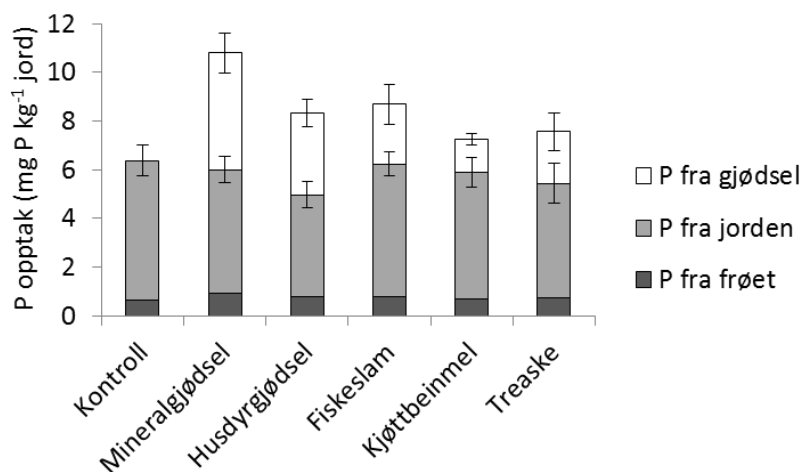
For å evaluere reelt opptak av P, ble det gjennomført et pottforsøk med raigras som forsøksvekst og en næringsfattig sand/torv blanding som forsøksjord. Jorden var kalket til to pH nivåer: pH 5,5 og pH 6,9. Asken var dosert som fosforgjødsel tilsvarende 3 kg P/dekar. En viktig forutsetning for å oppnå riktig resultat var at N-virkningen av N-rike avfallsmaterialer som ble blandet med aske var kartlagt. Det ble dessuten gjennomført detaljerte studier av mineralogien i aske (XRD), fast-fase ^{31}P -MAS NMR, kjemiske ekstraksjonsmetoder og studier med opptak av radioaktivt P.

Det viste seg at opptaket av P fra ulike organiske avfallsmaterialer var svært påvirket av pH i jorda, se Figur 6.2. Selv om aske er sterkt alkalisk, var P-virkningen av aske mindre påvirket av pH enn tilfellet var med kjøttbeinmel og behandlet restaurantavfall. Både treaske (bunnaske fra Moelven) og kornavrensaske (bunnaske fra Eidsiva Bioenergi) hadde betydelig P-gjødselvirkning både ved pH 5,5 og ved pH nær nøytral jordreaksjon. Den gode P-effekten av askene hadde sammenheng med mineralogien. Mens kjøttbeinmel og restaurantavfall hadde en meget høy andel av hydroksyapatitt (bundet kalsium og fosfat), var det mer løselige kalsiumfosfater i askene i tillegg til tungt løselige kalsiumfosfater (Brod et al. 2015a).



Figur 6.2. Opptak av P i raigras fra aske og andre resirkulert avfallsmaterialer.

Det ble også gjennomført et pottforsøk med en vanlig landbruksjord. Her ble jorden merket med radioaktivt fosfor for å undersøke hvor mye fosfor bygg tok opp fra henholdsvis jorden, gjødselen eller frøet.



Figur 6.3. Opptak av fosfor fra ulike kilder (jord, frø, gjødning) i studier med radioaktivt P.

Forsøket med radioaktivt fosfor bekreftet de øvrige undersøkelsene om god P-tilgjengelighet i askematerialer, se Figur 6.3. Plantene tok opp like mye fosfor fra

asken (bunnaske fra Moelven) som fra husdyrgjødsel av storfe. Kalkningsvirkningen til asken var så liten at den ikke reduserte tilgjengeligheten av P i jorden (Brod et al. 2016).

Studier av de kjemiske ekstraksjonsmetodene viste dessuten at de mest vanlige brukte metodene for karakterisering av P-tilgjengelighet i aske og organisk avfall ikke viste god sammenheng med opptatt P i plantene. Det anbefales derfor å karakterisere P-kvaliteten i aske og organisk avfall med vannekstraksjon eller etter metoden *Olsen P ekstraksjon* (Brod et al. 2015b).

6.3 Konklusjoner

Aske er i seg selv ikke et produkt som gir stor verdiskapning, selv om det inneholder P, K, Ca, Mg og en rekke mikronæringsstoffer. Uten tilførsel av nitrogen får en liten effekt av asken, men i blanding med N-rike avfallsmaterialer kan det lages resirkulert NPK-gjødsel. Dette konseptet har blitt testet ut i regi av CenBio (Brod et al. 2014), og er videreutviklet gjennom dette prosjektet.

En utfordring er at aske og N-rike materialer som kjøttbeinmel og tørket fiskeslam er i pulverform, noe som gjør at materialet er vanskelig å spre jevnt med tilgjengelig spredeutstyr. På grunn av dette har det vært en forutsetning å kunne lage holdbare og stabile *gjødselpellets* av aske og N-rike avfallsmaterialer, med passende NPK-forhold i blandingsproduktene.

Som nevnt i kapittel 5, klarte PFI å produsere en type gjødselpellets som hadde tilstrekkelig styrke og tålte lagring. Utviklingen av metodikk for å lage stabil og holdbar pellets var mer tidkrevende enn forutsett. Det var derfor ikke mulig å få gjennomført tester med prøveproduksjonen av gjødselpellets i løpet av prosjektperioden. Uttestingen vil imidlertid bli gjennomført i regi av andre prosjekter (SLAM-BEP og CenBio) i løpet av 2016.

6.4 Referanser

Brod E, Haraldsen TK, Krogstad T (2014) *Combined waste resources as compound fertiliser to spring cereals*. Acta Agr Scand B -S & P S 64: 329–340

Brod E, Øgaard AF, Hansen E, Wragg D, Haraldsen TK, Krogstad T (2015a). *Waste products as alternative phosphorus fertilizer. Part I: Inorganic P species affect fertilization effects depending on soil pH*. Nutr. Cycl. Agroeco. 103, 167-185.

Brod E, Øgaard AF, Haraldsen TK, Krogstad T (2015b). *Waste products as alternative phosphorus fertilizer. Part II: Predicting P fertilization effects by chemical extraction*. Nutr. Cycl. Agroeco. 103, 187-199.

Brod E, Øgaard AF, Krogstad T, Haraldsen TK, Frossard E, Oberson A (2016). *Drivers of Phosphorus Uptake by Barley Following Secondary Resource Application*. Frontiers in Nutrition: Nutrition and Environmental Sustainability. Vol. 3, Art. 12, 13 p.

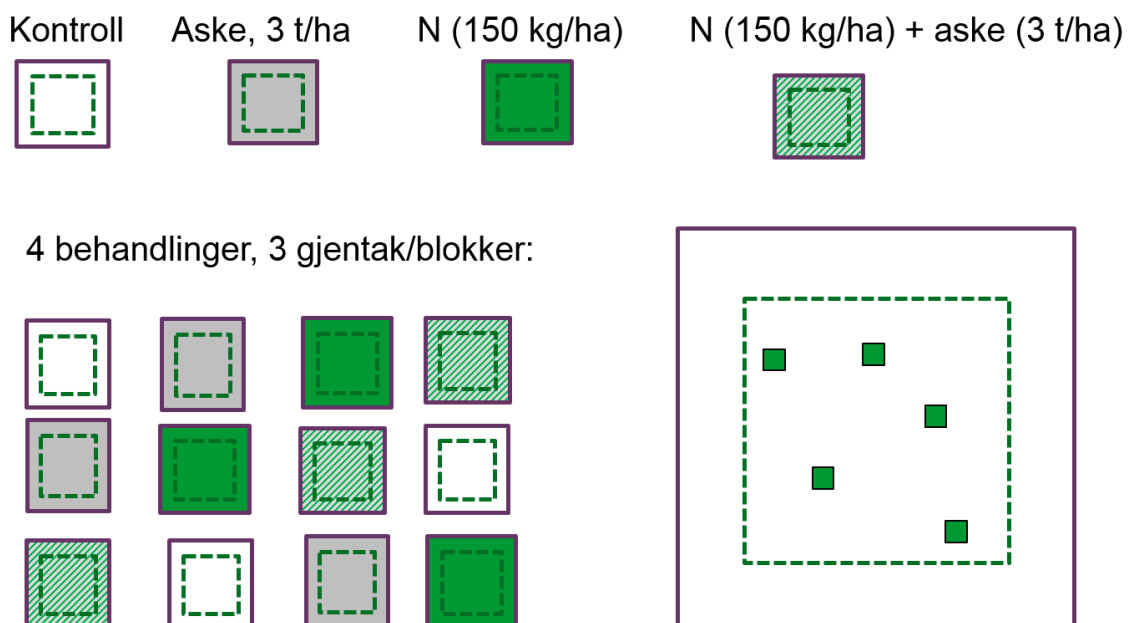
7 Tilbakeføring av treaske til skog

Innholdet av næringsstoffer i aske fra biobrenselanlegg gjør asken egnet til innblanding i gjødsel, samtidig som kalium og kalsium gjør at asken har en kalkningseffekt og kan høyne pH-forholdene i sur skogsjord. Økt pH i sur skogsjord gir bedret næringsopptak i planter. På den andre siden inneholder også treasken tungmetaller, og uherdet aske kan skade vegetasjonen. Det bør ikke forekomme uakseptable effekter på vegetasjon, skog, jord- og vannkvalitet, biodiversitet eller andre miljøverdier på grunn av askegjødsling. Asketype, dosering og spredningsmetode kan være viktige parametre i denne sammenheng.

7.1 Feltforsøk

For å undersøke økologiske effekter ved tilbakeføring av aske under norske forhold, ble et feltforsøk med tilbakeføring av treaske til skog anlagt ved Bærøe gård i Hobøl kommune, Østfold. Forsøksfeltet består av yngre produksjonsskog av gran, h. kl. IV, bonitet G17-G20. Skogen ble plantet på 50-tallet etter hogst og tynnet i 2006/2007.

I forsøket er det tatt med fire behandlingsledd: (i) 3 t/ha aske, (ii) 150 kg/ha ammoniumnitratgjødsel, (iii) 3 t/ha aske + 150 kg/ha ammoniumnitratgjødsel, og (iv) kontroll. Det ble gjennomført tre gjentak for hver behandling, med behandlingene i blokk.



Figur 7.1. Prinsippskisse av forsøksfeltet i skog med behandlinger. Til høyre: Fem vegetasjonsruter (1 m x 1 m) innenfor hver behandlingsflate.

Skogen ble gjødslet med nitrogen i slutten av mai 2013 og med aske i slutten av juni 2013. Det ble benyttet N-gjødsel fra Opti-KAS Skog, med innhold 27 % N (13,5

% som NO_3^- - og 13,5 % som NH_4^+), 5 % Ca, 2,4 % Mg og 0,2 % B. Asken var bunnaske fra Bergene Holm med innhold $< 0,1$ % N, 44 % Ca, 0,8 % K, 3,7 % Mg og 2,4 % P. Forsøket ble anlagt slik at det kan følges opp på lang sikt. Effekter på jord- og jordvannkjemi, vegetasjon og skogproduksjon ble evaluert så langt det var mulig i prosjektperioden.

7.2 Forsøksoppsett

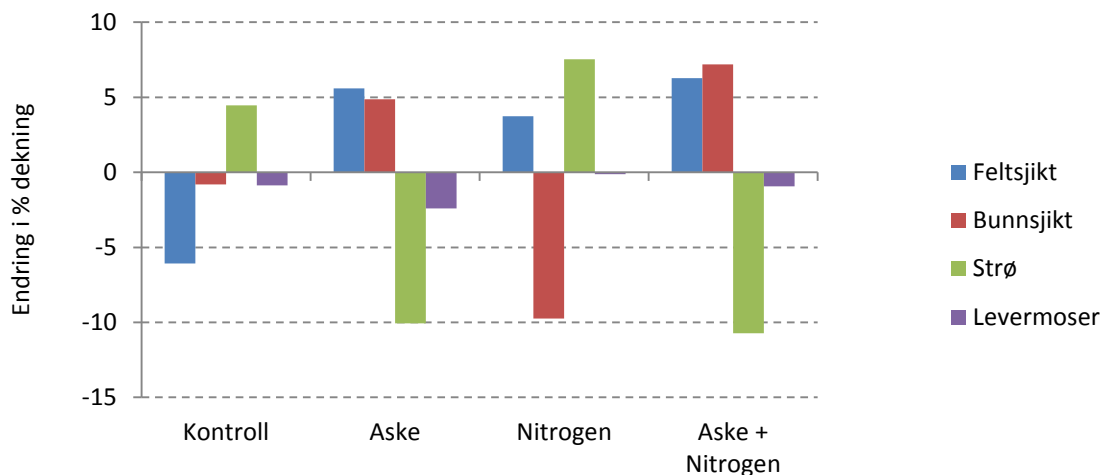
Fem vegetasjonsruter á 1 m x 1 m ble plassert tilfeldig innenfor hver behandlingsflate og permanent merket opp; til sammen 60 vegetasjonsruter. I hver av disse vegetasjonsrutene ble prosentdekning og smårutefrekvens (forekomst/ fravær i 16 småruter; Økland 1988) registrert for alle arter, både i 2012 og 2015. Dekning av busksjikt, feltsjikt (alle karplanter som ikke er busker og trær), bunnsjikt (all mose og lav), levermoser samt strø, kvister og greiner ble også registrert begge år. Økologiske parametere (foreløpig ikke brukt i analysene) ble målt ved hver vegetasjonsrute i 2012/2013. For vegetasjonsøkologisk metodikk, se blant annet Økland 1996.

Humusprøver ble tatt på fire punkter ved siden av vegetasjonsrutene våren 2013 (før behandling) og 2015. Jordvannprøver ble tatt med bruk av tensjonslysometer ved 40 cm dybde. Denne dybden, ganske langt ned i mineraljorda, ble valgt for å undersøke kjemien i vannet som renner ut fra økosystemet. Det ble gjort to prøvetakninger per behandlingsflate (totalt 24). Prøvetaking skjedde en gang hver måned fra mai til oktober eller november fra 2012-2014, og prøvene ble analysert på det kjemiske laboratoriet på NIBIO. Metodene som ble brukt er beskrevet av Ogner et al. (1999).

I foreløpige analyser av vegetasjonsdataene er det benyttet ikke-parametriske statistiske tester for å vurdere forskjeller mellom behandlingsflater før og etter behandling, og endringer fra før til etter behandling for (i) dekning av ulike sjikt, levermoser, strø m.m. og (ii) artsantall pr. vegetasjonsrute i ulike artsgrupper. For enkeltarter har vi også brukt ikke-parametriske tester, men foreløpig bare analysert endringer i % dekning fra 2012 til 2015 innen hver behandlingstype.

Det ble ikke funnet signifikante forskjeller mellom behandlingsflater i dekning av felt- og bunnsjikt før behandling. Det var heller ingen signifikante endringer i sjiktdekninger fra 2012 til 2015 for kontrollflatene, selv om gjennomsnittlig feltsjiktdekning etterpå ble redusert også på disse flatene (se Figur 7.2). På de andre behandlingsflatene økte dekning av feltsjiktet (ikke signifikant). På askebehandlede flater og flater tilsatt både aske og nitrogen økte dekning av bunnsjiktet (for flatene tilsatt aske svakt signifikant; $p = 0,028$). Flatene tilsatt nitrogen og aske viste signifikant redusert strødekning ($p = 0,009$; Figur 7.2). I 2015 var det svakt signifikant mer strødekning på kontrollflatene enn både på flater tilsatt aske og flater tilsatt både aske og nitrogen. Det var også signifikant mer dekning av strø, men mindre dekning av bunnsjikt, på flater tilsatt nitrogen enn

på både flater tilsatt bare aske ($p = 0,003$ for både bunnsjikt og strø) og flater tilsatt både aske og nitrogen ($p = 0,009$ for både bunnsjikt og strø).



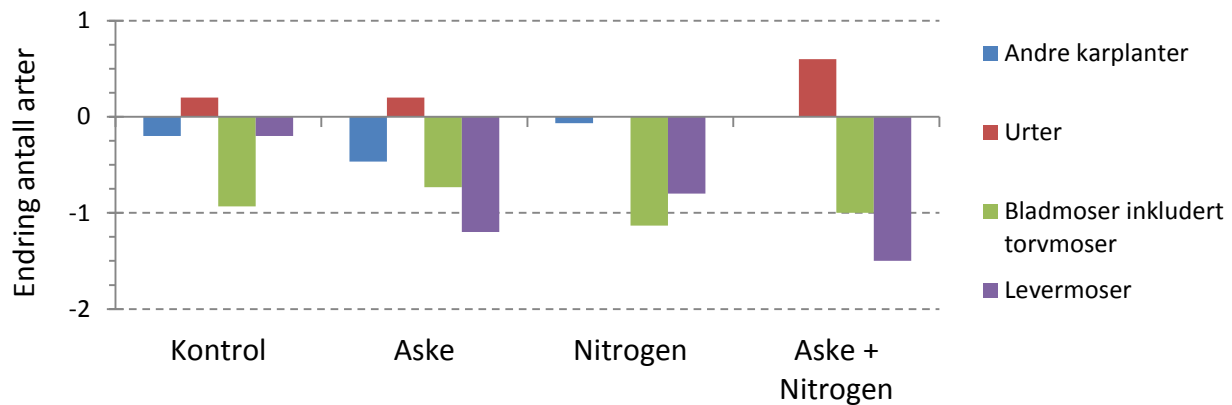
Figur 7.2. Gjennomsnittlig endring i % dekning av sjikt, strø og levermoser pr. vegetasjonsrute 2012 – 2015.

Før behandling (i 2012) var det noen signifikante forskjeller mellom de fire typene behandlingsflater for artsantall pr. vegetasjonsrute for noen artsgrupper. For eksempel var det flere bladmosearter på kontrollflatene enn på flatene tilsatt aske. Det var også flere mosearter (bladmoser inkludert torvmoser og levermoser) på flater som i 2013 ble tilsatt nitrogen enn flater tilsatt aske.

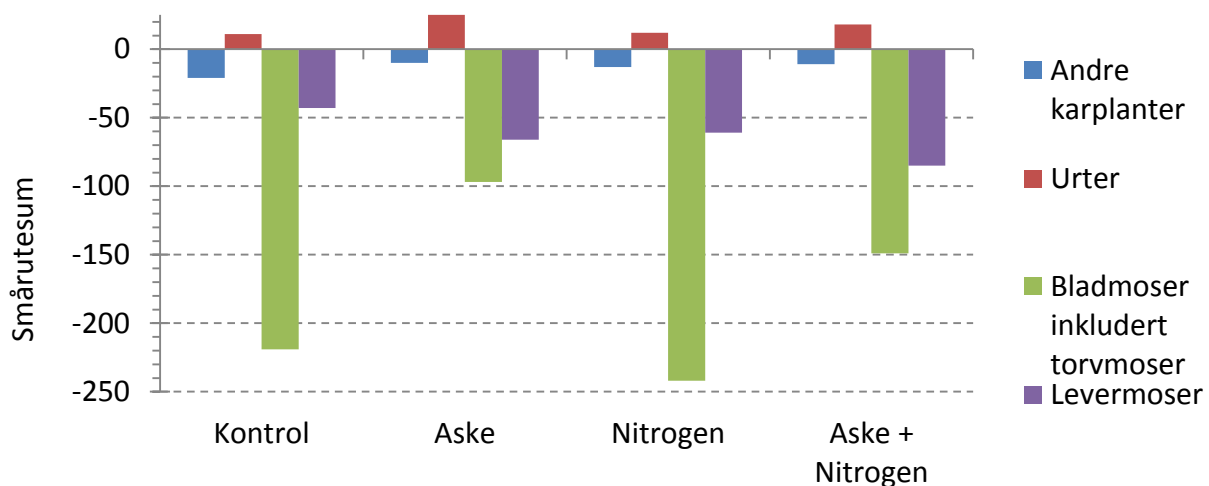
Forskjellene i artsantall mellom behandlingsflatene i 2015 reflekterte til dels forskjellene fra før behandling, men antall levermoser viste imidlertid større forskjell etter behandling mellom flater tilsatt nitrogen og flater tilsatt aske (færre på flater tilsatt aske; $p = 0,004$) enn før behandling ($p = 0,027$). For bladmoser inkludert torvmoser var forskjellen blitt mindre.

Antall levermoser pr. vegetasjonsrute ble også redusert fra 2012 til 2015 (se Figur 7.3), svakt signifikant ($p = 0,021$) på askebehandlede flater og flater tilsatt både aske og nitrogen ($p = 0,041$), mens antall urter økte noe på flater tilsatt både aske og nitrogen ($p = 0,044$).

Det var en reduksjon i antall småruteforekomster for mosegrupper i alle typer behandlingsflater (Figur 7.4; ikke testet statistisk), men mest på nitrogen-behandlede flater for bladmoser inkludert torvmoser og for levermoser på flater tilsatt aske og nitrogen.

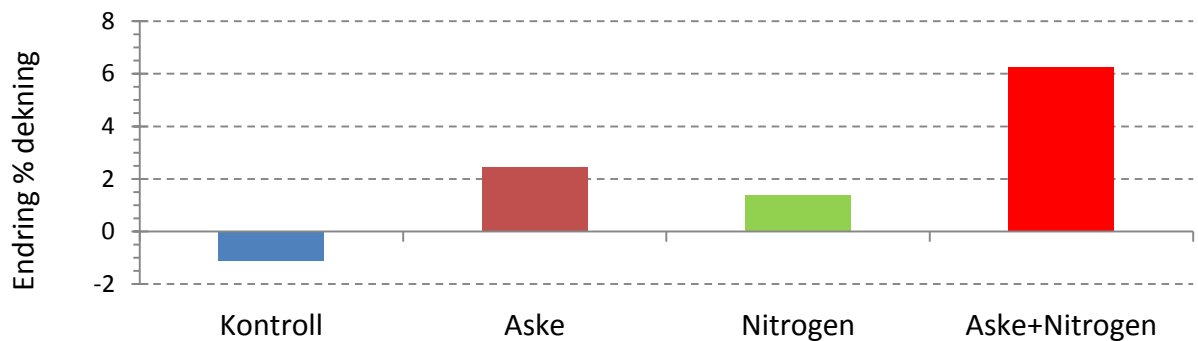


Figur 7.3. Gjennomsnittlig endring i artsantall pr. vegetasjonsrute fra 2012 til 2015.



Figur 7.4. Endringer i antall småruteforekomster for artsgrupper.

Det var noen signifikante endringer for % dekning av enkeltarter, men her nevnes bare småmarimjelle (*Melampyrum sylvaticum*; Figur 7.5), som økte sterkt på flater tilsatt aske og nitrogen ($p = 0,002$). Denne arten er kjent for å være litt næringskrevende (se blant annet Økland 1996).



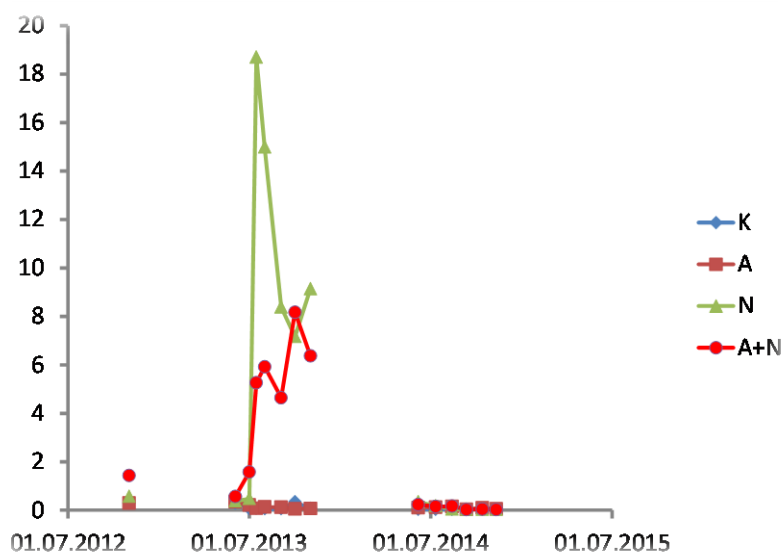
Figur 7.5. Endring i % dekning for småmarimjelle (*Melampyrum sylvaticum*).

De foreløpige analysene tyder på signifikante effekter på dekning av enkelte vegetasjonssjikt, på artsmangfold og på mengden av enkelte arter, men effektene varierer for ulike artsgrupper/arter og behandlinger. Askegjødsling, spesielt i kombinasjon med nitrogen, ser imidlertid ut til å ha noe større effekt på enkelte sjikt, artsgrupper og arter.

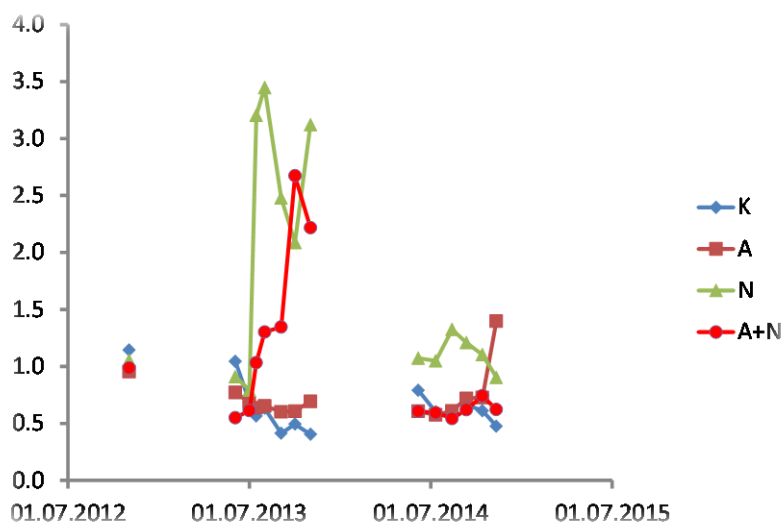
Foreløpige resultater for humuskjemien viser statistisk signifikante økninger for Ca, K, Mg, og P for ruter med askebehandling (med og uten N) sammenlignet med ruter uten askebehandling, samt signifikant reduksjon i H (økning i pH). Det ble ingen signifikant forskjell for C, N, eller Al mellom ruter med askebehandling (med og uten N) og ruter uten askebehandling.

For noen av tungmetallene ble det signifikante forskjeller med høyere nivåer i ruter med askebehandling sammenlignet med ruter uten askebehandling, men heller ikke etter askebehandling var konsentrasjonene særlig høye. Det var ingen signifikante forskjeller når det gjaldt arsenikk. Når det gjelder resultater av nitrogengjødslingen, var det ingen signifikant forskjell mellom ruter med nitrogengjødsling og kontroll.

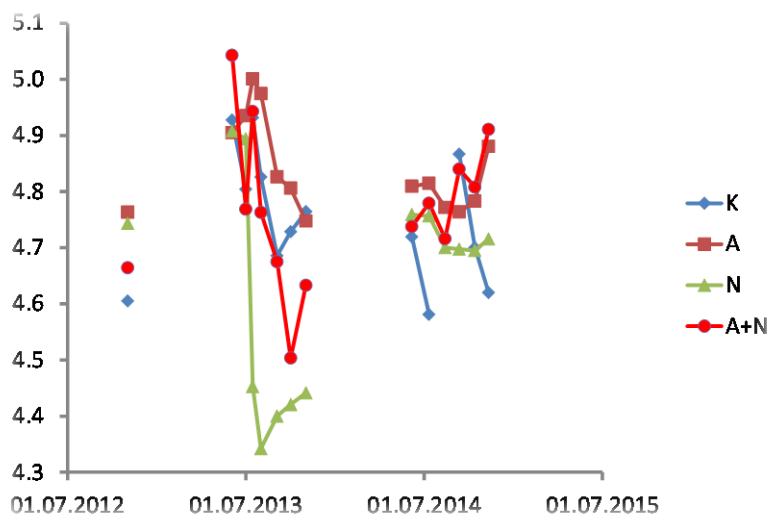
Jordvannkjemien viste tydelige effekter av nitrogengjødsling, med forhøyde konsentrasjoner av nitrat (Figur 7.6) og ammonium i 2013. Forhøyde konsentrasjoner av basekationer i 2013 etter nitrogengjødsling med og uten aske (for eksempel Mg, Figur 7.7) skyldes sannsynligvis ionebytteeffekter i jorda. pH i jordvann ble midlertidig redusert i 2013 etter nitrogengjødsling med og uten askebehandling (Figur 7.8). Mot slutten av 2014 var det tegn som kunne tyde på forhøyd pH i jordvannet på flatene med askebehandling med og uten nitrogengjødsling. Mangel på tydelige effekter av askebehandlingen i jordvannet kan skyldes at asken var herdet og dermed løses opp sakte, samt at prøvene ble tatt ved 40 cm dybde, altså relativt langt ned i mineraljorda.



Figur 7.6. Gjennomsnittlige endringer over tid i konsentrasjonen av NO₃-N (mg N/l) i jordvann ved 40 cm dybde. Behandlinger: K=kontroll, A=aske, N=nitrogengjødsel, A+N=aske og nitrogengjødsel.



Figur 7.7. Gjennomsnittlige endringer over tid i konsentrasjonen av Mg (mg/l) i jordvann ved 40 cm dybde. Behandlinger: K=kontroll, A=aske, N=nitrogengjødsel, A+N=aske og nitrogengjødsel.



Figur 7.8. Gjennomsnittlige endringer over tid i pH i jordvann ved 40 cm dybde. Behandlinger: K=kontroll, A=aske, N=nitrogengjødsel, A+N=aske og nitrogengjødsel.

I tillegg til feltforsøket, ble det utført en litteraturstudie (Hanssen et al. 2014). Relevant norsk og internasjonal litteratur ble gjennomgått med hensyn til regelverk om effekter av tilbakeføring av aske til skog, med hensyn til skogens tilvekst, vitalitet, vegetasjon, biodiversitet, jordsmonn, grunnvann og overflatevann (pH, næringsinnhold, organisk materiale, tungmetaller og arsenikk inkl. grenseverdier, avrenning, mikroorganismer). Egenskapene til treaske ble drøftet i lys av litteraturen og prosjektets egne analyser av askeprøver. Resultatene fra askeanalysene, litteraturstudiene og feltforsøket har gitt grunnlag for å vurdere hvilke skogstyper, asketyper og dosering som er mest egnet for norske forhold, og hvilke faktorer rundt askegjødsling i skog som bør utredes nærmere.

7.3 Konklusjoner

- Asken må være selvherdet eller granulert/pelletert.
- Det må stilles krav til maksimumsinnhold av tungmetaller og andre toksiske stoffer, evt. minimumsinnhold av næringsstoffer.
- En vanlig dose i våre naboland er 2-6 tonn pr. hektar. I Norge foreslår vi at ca. 3 tonn pr. hektar pr. gang og maksimum 6 tonn pr. hektar i et omløp kan være hensiktsmessig.
- Asken kan spres fra traktor eller spredevogn på bakken, evt. fra helikopter (granulert).
- På rik mineraljord vil aske kunne gi en viss økt tilvekst, mens på fattigere mineraljordtyper må N-gjødsling vanligvis også til for å få økt produksjon.
- Asken motvirker forsuring, og kan tilbakeføre næringsstoffer som blir fjernet med intensiv skogbruk, for eksempel under heltrehogst.
- Asken kan gi en god tilveksteffekt på grøftet torvmark.

- Asketilførsel, med og uten nitrogen, kan ha uheldige effekter på undervegetasjonen.
- Asken bør ikke spres i buffersoner mot vassdrag og andre områder hvor det må tas spesielle miljøhensyn.
- Askegjødsling bør ikke skje i yngleperioden eller før snøsmeltingen.

7.4 Referanser

Hanssen KH, Clarke N, Dibdiakova J (2014). Tilbakeføring av treaske til skog: Egenskaper, effekter og metoder. Rapport fra Skog og landskap 09/2014.

Ogner G, Wickstrøm T, Remedios G, Gjelsvik S, Hensel GR, Jacobsen JE, Olsen M, Skretting E, Sørli B (1999). The Chemical Analysis Program of the Norwegian Forest Research Institute 2000, Norsk institutt for skogforskning, Ås.

Økland T (1988). An ecological approach to the investigation of a beech forest in Vestfold, SE Norway. – Nord. J. Bot. 8: 375-407.

Økland T (1996). Vegetation-environment relationships of boreal spruce forests in ten monitoring reference areas in Norway. – Sommerfeltia 22: 1-349.

8 Økonomi og bærekraft

Dette kapitlet bygger på resultatene fra prosjektaktivitetene, og analyserer disse i et helhetlig systemperspektiv.

8.1 Innledning

Treaske inneholder næringsstoffer som kan erstatte konvensjonelt produserte gjødsels- og kalkingsprodukter. Til nå har treaske vært lite utnyttet som en ressurs av lovmessige, teknologiske og kommersielle årsaker. De lovmessige barrierene baserer seg hovedsakelig på et føre-var-prinsipp til helse- og miljøpåvirkning, hvor askens tungmetallinnhold er en kritisk faktor. I en helhetlig bærekraftsvurdering er det imidlertid flere faktorer å ta hensyn til. En vurdering i et større perspektiv kalles gjerne systemanalyse, og omfatter metoder som materialstrømanalyse (MFA) og livsløpsvurderinger (LCA). Vurderinger som bare tar hensyn til et begrenset omfang, som mengden tungmetaller i aske, kan ofte få motstridende konklusjoner sammenlignet med mer helhetlige analyser. For eksempel kan resirkulering av treaske vise seg å kunne redusere produksjonen av andre gjødselprodukter og dermed gi lavere total miljøbelastning.

8.2 Tidligere studier

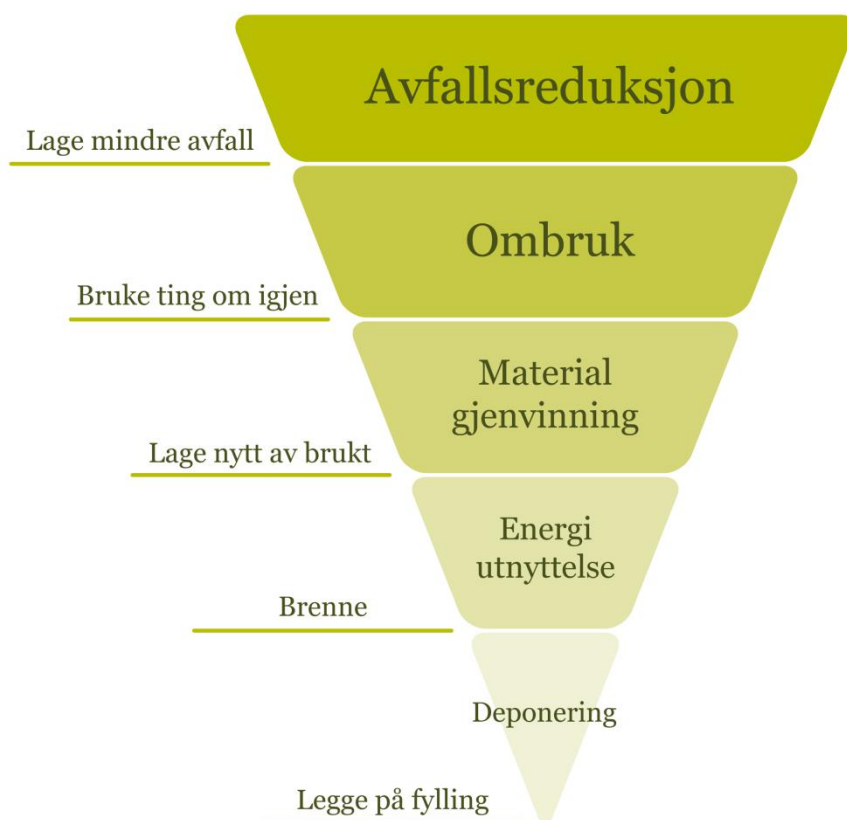
Det er finnes få publiserte studier av bærekraftsvurderinger med tanke på resirkulering av aske i Norge, men internasjonalt har det blitt publisert flere. Blant annet har det vært flere studier i Sverige gjennom det såkalte *Askprogrammet* (*Varmeforsk*, 2015). En studie fra 2010 undersøkte barrierene for askeresirkulering i Sverige, med en målsetning om at bioenergi skal bli bærekraftig (Baumanns, 2010). Metodene som er brukt er en kombinasjon av materialstrømanalyse og interessentanalyse. Resultatene viser at bare rundt 10% av asken ble resirkulert og at mangel på økonomiske insentiver var en viktig barriere. En svensk studie fra 2008 vurderte miljøeffektene av ulike alternativer for håndtering av aske (Olsson et al, 2008). Miljøeffekter ble vurdert ut fra et livsløpsperspektiv for treaske fra et bioenergianlegg i Borås. Det var tre ulike alternativer som ble sammenlignet:

- Tilbakeføring til skog etter GROT-uttak som alternativ næringskompensasjon (Ca, Mg, P, Zn)
- Som fyllmasse til skogsbilvei istedenfor pukk
- Deponering

I studien kom tilbakeføring til skog best ut, men dette alternativet forutsetter at næringskompensasjon er nødvendig, og at det substituerer konvensjonell produksjon av næringsstoffene.

8.3 Lovverk

Dersom man tar utgangspunkt i at treaske defineres som et avfall, vil EUs rammedirektiv 2008/98/EC for avfall (Waste, 2016) være sentralt. Avfallshierarkiet er omtalt i artikkel 4 i rammedirektivet, og angir rekkefølgen for avfallsminimering og håndtering som skal følges i lovverk og politiske rammeverk. Avfallshierarkiet er illustrert i *Figur 8.1*, hvor forebygging av at avfall oppstår kommer høyest opp, fulgt av gjenbruk, materialgjenvinning, energiutnyttelse, og deponering som siste alternativ. Artikkel 4, punkt 2 i EUs rammedirektiv for avfall åpner også opp for at det kan gjøres unntak fra hierarkiet for spesifikke avfallsstrømmer, men dette skal da begrunnes ut fra en livsløps-tankegang rundt den helhetlige miljøeffekten for håndtering av slikt avfall.



Figur 8.1. Avfallshierarkiet (Bilde: LOOP).

I forbindelse med gjenvinning, har avfallsdirektivet kriterier for avfallsfasens opphør, hvor avfallet har blitt til et nytt produkt. Disse kriteriene omtales også som «end-of-waste»-kriterier, og det er utviklet egne kriterier for flere avfallstyper. De generelle kriteriene er:

- Stoffet eller objektet er alminnelig brukt for spesifikke anvendelser.
- Det finnes et marked eller en etterspørsel for slike stoffer eller objekter.
- Stoffet eller objektet oppfyller tekniske krav for de spesifikke anvendelsene, og imøtekommer eksisterende lover og standarder for produkter.
- Bruk av stoffet eller objektet vil ikke føre til skadelige miljø- eller helsepåvirkninger.

I Norge er regelverket fastsatt i *Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall* (Avfall, 2016), men denne omhandler i liten grad ombruk og avfallsreduksjon.

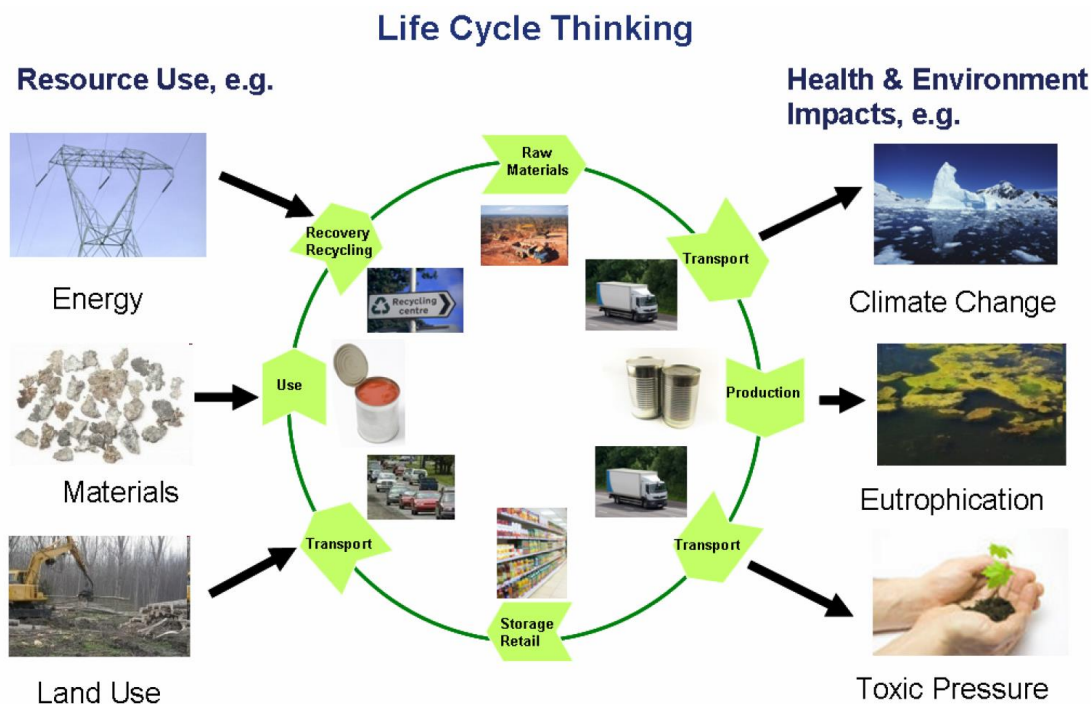
8.4 Metoder og data

Målsetningen med arbeidet har vært å kartlegge dagens situasjon for håndtering av treaske. Videre er det ut fra resultatene i de andre deloppgavene i prosjektet skissert opp mulige scenarioer for håndtering av treaske. Scenariene er videre vurdert i forhold til effekter for økonomi og miljø.

Systemanalysen inkluderer materialstrømanalyse, samt økonomiske analyser for de ulike prosessene. Systemanalysen gir også grunnlaget for en livsløpsvurdering. Datagrunnlaget fra studien har i hovedsak vært basert på fire kilder:

- Forskningslitteratur, spesielt i forbindelse med de andre deloppgavene i prosjektet.
- Offentlige statistikker, særlig fra Statistisk Sentralbyrå.
- Database; Ecoinvent database for livløpsregnskap.
- Prosjektseminarer og ustrukturerte intervjuer.

Livsløpsvurdering er en metode for å analysere miljøpåvirkningen av et produkt eller system som inkluderer råvareuttak, produksjon, bruk og avfallshåndtering, samt transport mellom alle ledd. Det er utviklet en rekke internasjonale standarder for analysene, men også flere guider på europeisk nivå, se *Figur 8.2*.



Figur 8.2. Illustrasjon av livsløpet til et produkt med ressursbruk og miljøeffekter (Illustrasjon: EU 2011).

Målet med LCA-studien i dette prosjektet har vært å sammenligne ulike alternativer for behandling av treaske basert på de realistiske alternativene fra systemanalysen. Siden transport vil variere mye fra sted til sted, vil omfanget begrense seg til sluttbruk og nytten av sluttbruk.

8.5 Resultater og diskusjon

Skogbruk

Siden asken kommer fra brensel som er tatt ut fra skogen, vil en i utgangspunktet gjerne tenke at tilbakeføring av aske er et godt tiltak hvor næringsstoffene går i kretsløp. Dette blir for eksempel praktisert i Sverige hvor cirka 10% av treasken blir resirkulert til skogen. Bakgrunnen for dette er at uttak av grener og toppler (GROT) fra skogen til brensel krever næringskompensasjon, som ivaretas ved tilbakeføring av aske. I tillegg er det fokus på at tilbakeføring av aske har en nøytraliserende effekt, på samme måte som kalk, slik at forsuring av jord og vann unngås.

I Norge tas det i mindre grad ut GROT, og næringskompensasjon er dermed ikke nødvendig i samme grad. Den skogsgjødslingen som skjer i dag er stort sett nitrogengjødsling mot slutten av et bestandsomløp (cirka 10 år før avvirkning). Spredning av aske i skog vil med dagens situasjon ikke erstatte andre produkter, og mangler derfor en etterspørsel. Kommersiell tilgjengelig skogsgjødsel består hovedsakelig av nitrogen. Treaske inneholder betydelig mengde kalsium og kan

derfor også tenkes å brukes i skog istedenfor kalk for justering av pH. Dette er for eksempel gjort i Tyskland hvor dolomittkalking blir iblandet 30 % treaske (ForstBW, 2013).

Det er få økonomiske insentiver per i dag for tilbakeføring av aske til skog. For nitrogengjødsling er det foreslått tilskudd for å øke karbonlagring i skogen som en del av stortingets klimaforlik. I de tilfeller der aske som gjødsel eller kalkingsmiddel i skogen har tilsvarende effekt for å øke karbonlagringen, kan det være et potensial for at en slik støtteordning også vil omfatte treaske.

Jordbruk

Aske kan anvendes i jordbruk som erstatning for bruk av konvensjonelt produsert kunstgjødsel og kalk. Norsk jordbruk har et årlig forbruk på rundt 350 000 tonn NPK-gjødsel (Nitrogen, fosfor og kalium) (Yara, 2013). Markedsmulighetene er derfor store, men aske mangler nitrogen. På samme måte som olje, er fosfor en begrenset ressurs. Diskusjonen om «peak oil» er velkjent (e.g. maksimal global oljeproduksjon ble nådd omkring 2005, og de gjenværende oljeressursene blir stadig mer energikrevende å utvinne), men de senere årene har også diskusjonen om «peak phosphorus» startet. Det internasjonale samfunnet deler en felles bekymring for at det vil bli knapphet av fosfor i framtiden (Fosfor, 2016). Utvinningen av fosfor medfører også en miljøbelastning. Bruk av aske i jordbruket har derfor et potensial for å erstatte konvensjonelt produsert kalk, fosfor og kalium.

Grøntanlegg

Bruk av aske i jordblandinger for produksjon av anleggsjord har vært utprøvd i praksis, og har vist seg å fungere. Bruk av aske i jordblandinger har følgende bruksområder:

1. pH-justering
2. Fosforgjødsel
3. Kaliumgjødsel
4. Tilførsel av mikronæringsstoffer

For produksjon av 1 m³ anleggsjord har det vist seg at 10 kg aske kan erstatte 4 kg CaCO₃ (kalk) og 0,5 kg fullgjødsel 12-4-18 mikro (Haraldsen, 2014).

En forenklet livsløpsvurdering er gjennomført for å avdekke hvilket potensial bruk av aske i anleggsjord har ved å redusere miljøbelastningen fra konvensjonell produksjon av næringsstoffene. Resultatene viser at bruk av aske vil redusere klimagassutslippet med 0,8 kg CO₂-ekvivalenter per kubikkmeter anleggsjord. Når alle miljøpåvirkningskategoriene er vektet, viser det seg likevel at vannforurensing (toksisitet og eutrofiering) fra produksjon av fosfor har størst betydning.

Kostnadmessig er det estimert at kalkstein koster cirka 2,40 kroner, og fullgjødelse 2,70 kroner per m³ anleggsjord, som til sammen blir rundt 5 kroner per m³. Ved å heller anvende aske vil dette gi ca. 500 kroner spart per tonn aske for jordprodusenten.

Teknisk anvendelse

Med tekniske anvendelser omfattes gjenvinningsalternativer for aske som ikke inngår i biologiske kretsløp. Muligheter for tekniske anvendelser av treasker er:

- I veier istedenfor pukk, gjøres i Sverige.
- For stabilisering av syrer som industriavfall. Dette gjøres på Langøya med flyveaske fra avfallsforbrenningsanlegg.
- Tilsetning som bindemiddel i sement, mørtel eller Leca.

Et eksempel på en alternativ utnyttelse av aske til tekniske anvendelser er Norsk avfallshåndterings (NOAH) anlegg på Langøya. Her brukes flyveaske til nøytralisering av syrer, samtidig som miljøgiftene blir forsvarlig stabilisert. Denne behandlingen har status som gjenvinning hos myndighetene, da den erstatter bruk av konvensjonell kalk til å nøytralisere syrene. Årlig mottas det omkring 200 000 tonn flyveaske, hovedsakelig fra avfallsforbrenningsanlegg i Nord-Europa.

Dersom man antar et gjennomsnittlig innhold av kalsium på 400 gram per kg tørr aske vil dette gi 0,56 kg kalk. Resultatet er at ca. 0,3-0,5 kg CO₂-utslipp unngås per kg aske. Å sende flyveaske med et høyt innhold av tungmetaller til Langøya vil også ha miljømessige fordeler ved at de blir tatt ut av kretsløpet. Økte utslippskrav til bioenergicentraler vil etter hvert gjøre det nødvendig å i større grad installere elektro- eller posefiltere, noe som også vil øke mengden flyveaske som må deponeres.



Figur 8.3. Aske kan erstatte kalk, noe som gir en miljøgevinst.

Deponering

Deponering innebærer et permanent disponeringssted av avfall ved deponering på eller under bakken (Avfallsforskriften). Deponier deles inn i tre kategorier:

1. Deponier for farlig avfall
2. Deponier for ordinært avfall
3. Deponier for inert avfall

For at aske skal kunne legges på deponi, må avfallsprodusenten sørge for at det er gjennomført en basiskarakterisering av avfallet før deponering finner sted. Dette er nærmere beskrevet i vedlegg II i Avfallsforskriftens kapittel 9 (Avfall, 2016).

Livsløpvurdering av scenarioer for bruk av aske

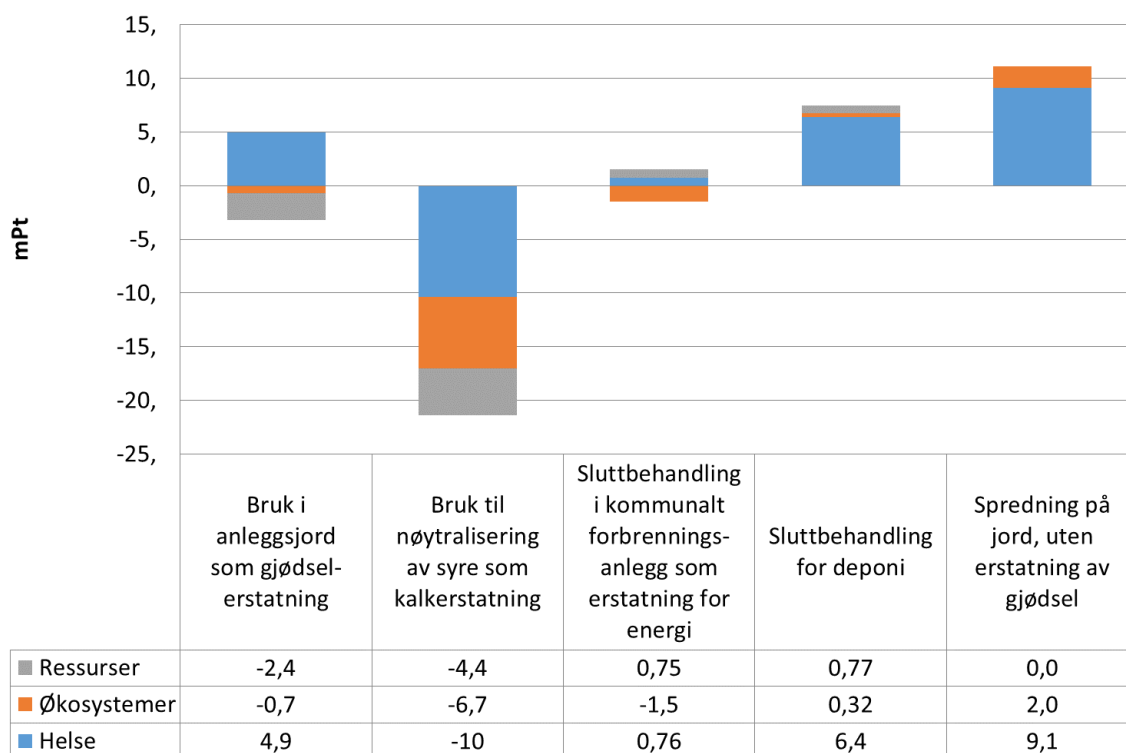
Basert på funnene i systemanalysen, er følgende scenarioer valgt ut for sammenligning:

- Bruk på land uten gjødslingsbehov.
- Levert på deponi.
- Levert som jordforbedringsmiddel til erstatning for gjødsel og kalkstein.
- Levert til Langøya som erstatning for brent kalk.
- Levert til energigjenvinning i kommunale avfallsforbrenningsanlegg.

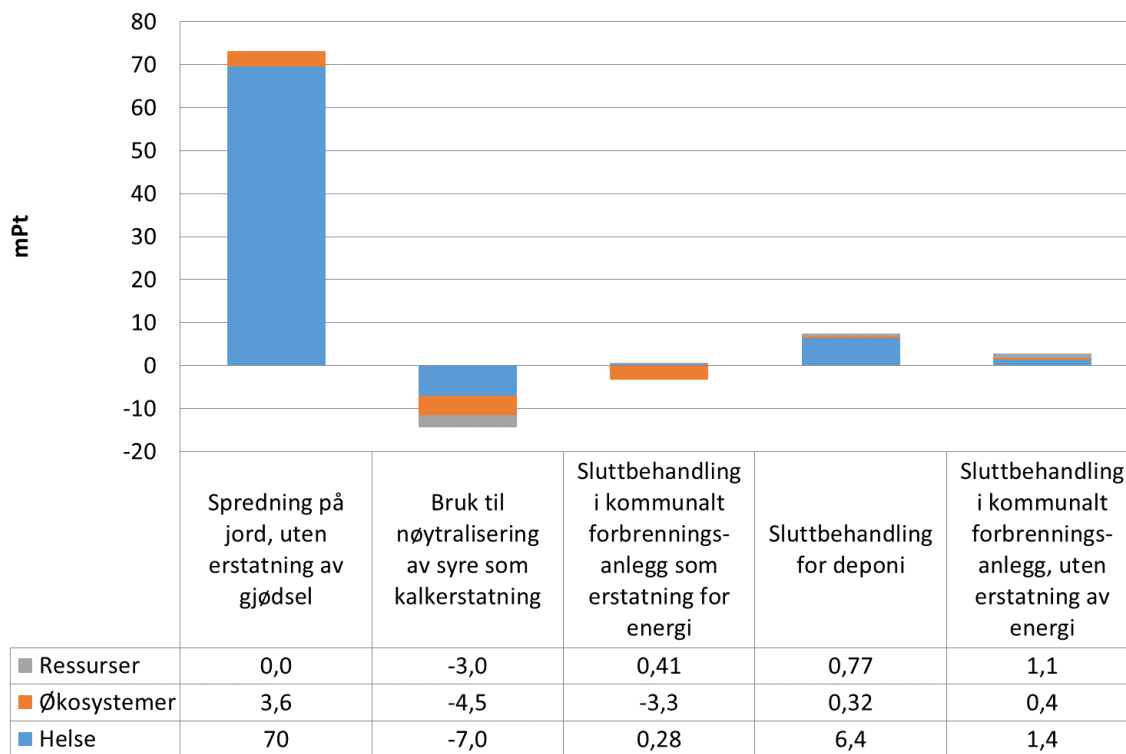
Livsløpsregnskap (eng. Life Cycle Inventory, LCI) er en fase i livsløpsvurderingen som omfatter sammenstillingen og kvantifiseringen av inngangsfaktorer og utgangsfaktorer for et bestemt produktsystem gjennom dets livsløp. LCI for de ulike anvendelsene av aske er basert på data fra databasen Ecoinvent v2.2, som presentert i Doka, 2009. Livsløpspåvirkning er beregnet med bruk av ReCiPe Endpoint (Hierarkisk verdigrunnlag), og med bruk av vekting for å forenkle sammenligningen.

Ved bruk av såkalte Eco-indikatorer for sammenligning av miljøpåvirkning benyttes gjerne den dimensjonsløse enheten *milli-point (mPt)*. Den absolutte verdien ikke er så viktig, da hovedhensikten er å gjøre en relativ sammenligning av ulike produkter og komponenter. Skalaen er valgt slik at 1 Pt er representativt for 1/1000 av den årlige miljøpåvirkningen på en gjennomsnittlig Europeisk innbygger. Skalaen leses slik at en høy verdi gir stor negativ miljømessig påvirkning. En negativ verdi medfører dermed en positiv miljømessig påvirkning.

Resultatene for livsløpspåvirkningen ved alternativ bruk av bunnaske og flyveaske er vist i henholdsvis *Figur 8.4* og *Figur 8.5*.



Figur 8.4. Påvirkning på helse, økosystemer og ressurser ved ulike behandlinger av bunnaske.



Figur 8.5. Påvirkning på helse, økosystemer og ressurser ved ulike behandlinger av flyveaske.

Resultatene for *bunnaske* viser at bruk for å nøytralisere syre har den beste effekten med hensyn til helse, økosystemer og bevaring av ressurser (*Figur 8.4*). Denne behandlingen kommer veldig bra ut da den ikke medfører noen direkte miljøbelastning, men bidrar til ekstra miljønytte da den erstatter kalkproduksjon. Energigjenvinning har tilnærmet null miljøbelastning, da nytten av energien som blir gjenvunnet er tilnærmet lik belastningen fra forbrenning.

Spredning av treaske på jord uten erstatning av ordinært gjødsel, samt deponering medfører de mest negative helsemessige påvirkningene. Bruk i anleggsjord har en betydelig miljømessig nytteverdi da ressursene bevares og produksjon av mineralsk gjødsel unngås, men samtidig kan innhold av kadmium og mangan gi negative helsemessige påvirkninger.

Resultatene for *flyveaske* viser at bruk til å nøytralisere syre har den beste effekten med hensyn til helse, økosystemer og bevaring av ressurser (*Figur 8.5*). Ved høye mengder karbon i askene kan også energigjenvinning være et gunstig alternativ.

8.6 Oppsummering og konklusjon

Behandlingen av treaske per i dag består hovedsakelig av deponering, noe som i utgangspunktet er den minst ønskede løsningen (jfr. Avfallshierarkiet, se kap. 8.3). Resirkulering av treaske som gjødsel eller jordforbedring praktiseres i noen grad, og så lenge dette oppfyller kravene i gjeldende forskrift (Gjødselvereforskriften, 2009), så vil dette være å anse som en forbedring. En del askeanalyser har vist relativt høye verdier av uforbrent karbon, og i slike tilfeller kan energigjenvinning være aktuelt. Ombruk (jfr. *Figur 8.1*) anses ikke som relevant med tanke på treaske.

Det beste alternativet i henhold til avfallshierarkiet vil derimot være å redusere askemengden. Bark inneholder cirka 10 ganger så mye aske som flis, noe som betyr en betydelig reduksjon av askemengdene dersom det er mulig for produsenter av biobrenselbasert varme med et skifte til å heller brenne flissortimenter. Dette har også fordeler med at det som regel vil føre til renere utslipp til luft.

Det er samtidig viktig å være klar over at det er designmessige begrensninger på ristfyrte forbrenningsanlegg for å kunne fungere optimalt, blant annet i forhold til partikkelstørrelsen på flissortimentene og trefuktigheten. En overgang fra bark til mer bruk av flis i biobrenselanleggene forutsetter også at de økonomiske rammevilkårene for omsetning av bark er bedre enn for flissortimentene. Eksempelvis vil produksjon av varme fra celluloseflis (som før forbrenning kan gi en rekke andre oljebaserte produkter eller benyttes i papirproduksjon) i utgangspunktet være en dårlig utnyttelse av et høyverdig produkt.

Bruk av bark til å erstatte torv i jordprodukter kan derimot ha et stort potensiale for vesentlig reduksjon av klimagassutslipp, da torv regnes som en fossil ressurs.

Treaske kan deklarerer i henhold til dagens forskrift som jordforbedringsmiddel eller som gjødsel.

Kommersialisering av treaske ser ut til å ha størst nytte der det erstatter ordinært gjødsel og kalkstein i jordbruk. I skogbruk er det liten anvendelse av slike næringsstoffer i dag, men det kan være en potensiell anvendelse for dette ved økt uttak av GROT eller i skog som trenger kalking. Anvendelse i anleggsjord vil redusere deponiavgiften med cirka 500 kroner per tonn, mens det også kan redusere kostnadene for gjødsel tilsvarende 500 kroner per tonn. Samfunnsøkonomisk vil dette gi en besparelse på 1000 kroner per tonn aske som blir brukt i anleggsjord sammenlignet med deponi. Lovverket åpner for å anvende aske som et kalkingsprodukt, men det er registreringspliktig hos Mattilsynet. Bruk av varedeklarasjoner som kan dokumentere egenskapene av askeproduktet kan være et nyttig virkemiddel for å fremme kommersialiseringen.

8.7 Referanser

- Avfall (2016). *Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall (avfallsforskriften). Kapittel 9. Deponering av avfall. Vedlegg II. Karakterisering og kriterier for mottak av avfall.* Hentet fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-930/>. April 2016.
- Baumanns, K. 2010. *The contribution of ash recycling to the sustainability of bioenergy from forest biomass: An analysis of Götaland, Sweden.* MSc thesis. Lund University, Sweden.
- Doka, G. (2009). *Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services.* Econinvent report No. 13. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- EU 2011. *Technical guide LCT and LCA for waste experts and LCA practitioner.*
- ForstBW (2013). *Regenerationsorientierte Bodenschutzkalkung.* Merkblatt 54/2013.
- Fosfor (2016). Hentet fra: phosphorusfutures.net. April 2016
- Haraldsen, TK (2014). NIBIO (tidl. Bioforsk Jord og miljø). *E-post korresp.* Nov. 2014.
- Miljødirektoratet (2016). *Norske utslipp. Landbasert industri.* www.norskeutslipp.no.
- Olsson, S., Kärrman, E., Rönnblom, T. og Erlandsson, Å. (2008). *Skogsbränsleaska som näringsresurs eller konstruksjonsmaterial. Miljöeffekter av olika hanteringsalternativ. Miljöriktig användning av askor, rapport 1068.* Stockholm: Värmeforsk.
- SSB (2012). *Statistikkbanken Tabell: 08604: Industriavfall. Generert mengde avfall, etter næring (SN2007), materialtype og behandlingsmåte (1000 tonn).*
- Värmeforsk (2016). Hentet fra: www.varmeforsk.se/forskningsprogram/askprogrammet. Mars 2016.
- Waste. 2016. *Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive).* Hentet fra: <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/>. Mars 2016.
- Yara (2013). *Gjødselproduksjon i Norge – viktig for norsk landbruk.* Hentet fra: www.yara.no/gjodsel/Tools-and-Services/gjodselaktuelt/gjodselaktuelt-2013-1/Gjodselproduksjon-i-Norge-viktig-for-norsk-landbruk.aspx. Nov. 2013.

9 Konklusjon

AskeVerdi har vært viktig for å dokumentere at aske bør inngå i en fullstendig bærekraftig utnyttelse av skogens ressurser. Resultatene har dannet grunnlaget for økt bruk av aske til jord- og skogbruksformål. Resirkulering av treaske vil gi reduserte kostnader både for produsenter og forbrukerne av askeprodukter, og totalt sett en mer bærekraftig bruk av bioenergi. Utnyttelsen av prosjekresultatene vil avhenge av den fremtidige regelverksutviklingen i Norge og EU.

Det ble i løpet av prosjektet gjennomført 50 prøveuttak av treaske fra rent trevirke fra 20 bedrifter med ristfyrte forbrenningsanlegg. Asken separeres i bunnaske og flyveaske. Det er bunnasken som er egnet for resirkulering tilbake til jorda som tilsats til vanlig gjødsel. Bunnasken står for ca. 90 % av det totale askevolumet. Samtidig har askeanalysene vist at det kan være store variasjoner i kvaliteten på de ulike askene, og det bør derfor legges mer FoU-arbeid i å sikre jevnere og mer forutsigbar kvalitet på treaskene.

Det har blitt gjennomført herdeforsøk og videreutvikling av ulike forbehandlingsprosesser av aske med granulering og pelletering. Resultatene viste at forvarming og varmpressing av askepellets med barktilsats ga pellets med god holdfasthet som vedvarte under lagring.

Utvalgte asker har blitt herdet for vekstforsøk med potteplanter hvor effekten av aske som kaliumgjødsel og effekten av aske som fosforgjødsel er undersøkt. Det ble oppnådd bare mindre direkte kaliumvirkning av asken, men gjenværende løselige mengder kalium etter høsting var signifikant større med tilførsel av aske enn uten. Fosfortilgjengeligheten i ulike organiske avfallsmaterialer viste seg å være svært påvirket av pH i jorda. I pottforsøk med landbruksjord var fosforopptaket i aske like høyt som fra vanlig husdyrgjødsel. Resultatene viste at målt pH var sterkt alkalisk i de fleste undersøkte askeprøvene, både for bunnaske og flyveaske, noe som betyr at asken har en betydelig kalkningseffekt på sur jord. Kalkningseffekten er en av de viktigste parameterne for å evaluere gjødslingsverdien av aske.

Det første feltforsøket i Norge for gjødsling med aske i skog ble i løpet av prosjektet anlagt ved Bærøe gård i Hobøl kommune, Østfold. I forsøket er det tatt med fire behandlingsledd; (i) aske, (ii) ammoniumnitratgjødsel, (iii) aske + ammoniumnitratgjødsel og (iv) kontroll. Resultatene til nå har gitt grunnlag for å vurdere hvilke skogstyper, asketyper og dosering som er mest egnet for norske forhold, samt hvilke forhold som bør utredes nærmere.

En ressurskartlegging av tilgjengelig bioaske fra industrien viser at det produseres ca. 4 000 tørr tonn treaske fra rent trevirke per år. Det er blitt gjennomført en systemanalyse og livsløpsvurderinger for å undersøke alternative bruksområder for asken.

Treaske inneholder næringsstoffer som kan erstatte konvensjonelt produserte gjødsels- og kalkingsprodukter. Til nå har treaske vært lite utnyttet som en ressurs av lovmessige, teknologiske og kommersielle årsaker. De lovmessige barrierene baserer seg hovedsakelig på et føre-var-prinsipp til helse- og miljøpåvirkning, hvor askens tungmetallinnhold er en kritisk faktor.

I dag praktiseres resirkulering av treaske som gjødsel eller jordforbedring i noen grad, men det bør komme klarere retningslinjer på plass for å kunne utvide denne praksisen.

Det er få økonomiske insentiver for tilbakeføring av aske til skog. For nitrogen-gjødsling er det foreslått tilskudd for å øke karbonlagring i skogen som en del av stortingets klimaforlik. I de tilfeller der aske som gjødsel eller kalkingsmiddel i skogen har tilsvarende effekt for å øke karbonlagringen, kan det være et potensial for at en slik støtteordning også vil omfatte treaske.

Når nytteverdien av resirkulering av treaske skal vurderes bør dette ses i et mer helhetlig bærekraftperspektiv, hvor det tas hensyn til flere faktorer. Vurderinger som bare tar hensyn til et begrenset omfang, som mengden tungmetaller i aske, kan få motstridende konklusjoner sammenlignet med mer helhetlige analyser. Dersom resirkulering av treaske kan vise seg å redusere produksjonen av andre gjødselprodukter vil dette gi en lavere total miljøbelastning. Slike utredninger bør gjøres som en del av et innovasjonsprosjekt ved å inkludere interessenter underveis.

10 Videre arbeid og utnyttelse av resultatene

Prosjektet har gitt verdifull og betydelig kunnskap om næringsinnhold og tungmetaller i treaske, samtidig som det er avdekket at det kan være store variasjoner i innholdet for de ulike prøveuttakene. Fra ristfyrte forbrenningsanlegg vet vi nå at det i hovedsak er bunnasken som bør benyttes til resirkulering i jordbruk eller grøntanlegg, som for eksempel tilsetning i dyrkingsmedier eller til jordforbedring.

Resultatene fra prosjektet har blitt benyttet av Miljødirektoratet i arbeidet med revisjonen av Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. Samarbeidet mellom fire institutter med overlappende ekspertområder har fungert godt, noe som har gitt økt og utfyllende kompetanse innen instituttene gjennom synergieffektene i prosjektet.

For næringslivet, med tremekanisk industri, treforedlingsindustrien og fjernvarmeindustrien i spissen, har nytteverdien av prosjektet vært at det gir noen svar på hvordan askene fra bedriftene best bør utnyttes.

Det er likevel flere FoU-oppgaver som gjenstår etter prosjektet, blant annet å få en bedre forståelse av mekanismene i forbrenningsprosessene med tanke på å fremskaffe en jevnere og mer forutsigbar kvalitet på treaskene. Det er i hovedsak fuktigheten i biobrenselet og forbrenningsforholdene i kammeret som vil avgjøre sammensetningen i asken etter forbrenning. Dette er FoU-områder som det bør fokuseres på for alle bedrifter med biobrenselanlegg som ønsker å levere aske til videre bruk i ulike produkter.

Slik status er, med et regelverk under revisjon og ikke helt klare retningslinjer for hvordan produsenter skal forholde seg, så er det behov for gjennomføring av ulike typer pilotprosjekter hvor aske fra rent trevirke kan testes for riktig bruk i forhold til næringsinnhold og grenseverdier for tungmetaller. Prosjekter hvor både produsenter og forbrukere av trebasert aske deltar vil bedre kunne avdekke hva som er de største barrierene for alternativ bruk av bioaske.

Det er opprettet en egen hjemmeside for prosjektet hvor alle resultater er gjort tilgjengelig: www.askeverdi.no.

I denne rapportens *Vedlegg 1* er det gitt en prosedyre for hvordan fremgangsmåten er for bedrifter som ønsker å registrere bunnaske som gjødselprodukt.

Vedlegg 1 Prosedyre for registrering av aske som gjødselprodukt

På Mattilsynets nettsider er det opprettet skjema for registrering av ulike typer gjødselprodukter. Følgende prosedyre kan følges:

1. Gå inn på Mattilsynets sider for registrering av gjødselprodukter og klikk på «Registrering av gjødselprodukter»:
http://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/gjodsel_jord_og_dyrkingsmedier/mineralgjodsel_og_kalk/registrering_av_gjodselprodukter.5242
2. Klikk på «Fyll ut skjemaet på Mattilsynets skjematjenester»
3. Klikk på «Logg inn via ID-porten»
4. Velg elektronisk ID (MinID, BankID, Buypass etc.)
5. Inne på Mattilsynets skjematjenester velges «Registrering av gjødselprodukt»
6. Velg produktkategori for gjødselvarer:
 - Mineralgjødsel
 - Mineralgjødsel, EF
 - Kalk
 - Kalk, EF
 - Organisk gjødsel
 - Dyrkingsmedier/jordforbedringsmedier
7. Spesifiser produkt – her defineres det hva produktet skal brukes til.
8. Last opp vedlegg (hvis det kreves)
9. Kontroller opplysningene du har gitt og send inn.

Det anbefales å kontakte Mattilsynet i forbindelse med registreringen for mer utfyllende veiledning.

Rapporter fra Treteknisk

1. Energisparing og energiøkonomisering ved trelasttørrking. Magnar Eikerol. 1981.
2. Oppvarming og rengjøring av skurtømmer før barking. Per Skogstad og Sverre Tronstad. 1982.
3. Betydningen av å kappe skurtømmeret etter kvalitet. Bjørn Lier. 1982.
4. NTI's simuleringsprogram for skur. Andreas Garnæs. 1982.
5. Metalldetektorer. Bjørn Lier. 1983.
6. Bruk av tre i svømmehaller. Håkon Bergsrud og Hans-Kristian Ellingsen. 1983.
7. Kvalitetskrav til skurlast av lauvtre. Bohumil Kucera. 1983.
8. Skurnøyaktighet ved råskur. Bjørn Lier og Magnar Müller. 1983.
9. Emneproduksjon. Markeder og produksjonsanlegg. Rolf Birkeland og John Rønningen. 1985.
10. Skurnøyaktighetsundersøkelser '86. Nye sirkelsagmaskiner - råskur med sagbladstyringer og tørrkløyving. Magnar Müller og John Rønningen. 1987.
11. Fingerskjøting av konstruksjonslast. Undersøkelser av forhold ved produksjon og styrke. Per Lind. 1987.
12. Skjærforhold i sagblad. Håkon Toverød. 1988.
13. MPS i trelastindustrien. Andreas Garnæs, Per R. Nordby og Håkon Toverød. 1988.
14. Trevirke. Prosjekt fasader - fornyet overflatebehandling. Redigert av Eirik Raknes. 1989.
15. Støydemping av sorterverk og internt transportutstyr. Samarbeidsprosjekt Odden Verksted A/S og NTI. Andreas Garnæs. 1992.
16. Arbeidsmiljø ved båndkløyve. Endring av avsug og demping av støy. Andreas Garnæs. 1992.
17. Tørrking - trekvalitet. Resultater fra 4 tørkeforsøk. Sverre Tronstad. 1993.
18. Tørrking av stolper. Resultater fra litt.studier, forsøk og økonomiske kalkyler vedr. kunstig tørrking av stolper. Marie-Louise Edlund og Sverre Tronstad. 1993.
19. Nordisk samkalibrering av styrkesorteringsmaskiner. Kjell Solli. 1993.
20. Sammenliming av gulvbord ved lakking. Blocking tendency of floor seals. Eirik Raknes. 1993.
21. Metoder for destruksjon/deponering av avfall fra impregneringsindustrien. En litteraturstudie. Fred G. Evans. 1994.
22. Miljø ved produksjon og bruk av trykkimpregnert tre. Sluttrapport. Fred G. Evans. 1994.
23. Årringer som uttrykk for tømmerkvalitet. Wei Han og Håkon Toverød. 1994.
24. Måling av tømmerkvalitet. Seminarrapport. Wei Han. 1995.
25. Lysbeskyttende forbehandling av tre kombinert med klarlakk. Lightprotecting pretreatment of wood in combination with clear coatings. Eirik Raknes. 1995.
26. Styrkesortering ger mervärde. Del 1 - Spørreundersøkelse. Strength grading gives added value. Part 1 - Questionnaire. Kjell Helge Solli. 1995.
27. Miljøargumenter for nordisk trevirke og treprodukter. Environmental arguments for Nordic wood and wood products. Tore Opdal. 1995.
28. Langtidsbestandighet av lim for bærende trekonstruksjoner (sluttrapport). Long-term durability of structural adhesives for wood (final report). Eirik Raknes. 1995.
29. Tørrking av bjørk. Per F. Jørgensen, KanEnergi AS. Sverre Tronstad og Asle Tengs, NTI. 1995.
30. Kvalitetsforbedringsprogram basert på avvikskostnadsoppfølging. Quality Improvement Program based on Poor Quality Cost Measurements. Rune Moen. 1996.
31. Økt økonomisk skurutbytte. Increased economic recovery in sawmills. Andreas Garnæs, Sindre Holøyen og Håkon Toverød. 1996.
32. Øket sideborduttak. Forprosjekt. Kvalitet, utbyttepotensial, produksjonsmetoder og videreforedling. Sverre Tronstad. 1996.
33. Egenskaper hos de viktigste norske lauvtrær. Strength properties in major Norwegian hardwood species. Bohumil Kucera, NISK og Håkon Helgerud Myhra, NTI. 1996.
34. Stress and strain in drying wood - a literature survey. Knut Magnar Sandland, NTI. 1996.
35. Tørkespenninger - kondisjonering. Bakgrunn, forsøk, metoder. Drying stresses - conditioning treatment. Background, tests, methods. Av Sjur Fløtaker, Knut Magnar Sandland og Sverre Tronstad, NTI. 1996.
36. Egenskaper hos soppfarget lauvtrevirke. Properties in hardwood with white rot fungus. Håkon Helgerud Myhra, NTI, Lone Ross Gobakken og Sverre Bjørn Holøs, Mycoteam, 1997.
37. Deklarasjon av treindustriens produkter. DTI, NTI, Trätec, VTT. 1997. Hovedrapport og bilag til hovedrapport. Sammenfatning med miljødeklarasjoner. Environmental declaration of products from the wood industry.
38. Endebeskyttelse av tømmer. End coating of logs. Håkon Helgerud Myhra og Knut Magnar Sandland, NTI, 1997.
39. Tørrking av osp. Resultater fra 13 tørkeforsøk. Drying of aspen. Results from 13 drying tests. Per F. Jørgensen, KanEnergi AS, Sverre Tronstad og Asle Tengs, NTI, 1998.
40. Klimastyrte tømmervanning. Climate controlled sprinkling of timber. Håkon Helgerud Myhra, NTI, 1998.
41. Avrenning fra tømmervanning. Waste water from timber sprinkling. Håkon Helgerud Myhra, NTI og Elin Gjengedal, Norges Landbrukshøgskole, 1998.
42. Tørkekvalitet i trelastindustrien. Drying quality in the sawmill industry. Sverre Tronstad, NTI, 1998.

43. Småskala sagbruksvirksomhet i Norge. Small-scale sawmills in Norway. Terje Apneseth, Lars Kleppe og Ole Helge Aalstad, NTI, 1999.
44. Utbytte ved maskinell styrkesortering av konstruksjonstrevirke i Norge. Yield from machine strength grading of structural timber in Norway. Håkon Helgerud Myhra, NTI, 1999.
45. Bygningselementer av massivtre. Prefab units of solid wood. Tor Kristensen, NTI, 1999.
46. Sidebord - kvalitet og utbytte. Side boards - quality and sawing yield. Sverre Tronstad, NTI, 1999.
47. Description and initial test of 8 principles for in-kiln measuring and end-point control of wood moisture content. IMCOPCO (task 2.1). Sjur Fløtaker and Sverre Tronstad, NTI, 2000.
48. Innleggingsnøyaktighet i sagmaskiner. Feeding accuracy into sawing machines. Audun Øvrums, NTI, 2001.
49. Virkesegenskapenes betydning for tørke- og høvlingskvalitet. The importance of wood properties concerning quality of drying and planing. Knut Magnar Sandland (NTI), Peder Gjerdrum (Skogforsk) og Bjarne Hamar (Moelven Soknabruket), 2001.
50. Kundeorientert sortering av trelast. Customer oriented grading of sawn timber. John Vincent Haugen og Magnar Müller, NTI, 2002.
51. Parkeringshus i tre. Et utviklingsprosjekt i samarbeid mellom offentlige byggherrer, industri og forskningsinstitutter. Parking house in wood. A development project in cooperation between public contractors, industry and research institutes. Dr. ing. Bernt Jakobsen, Aadnesen AS, 2002.
52. Norsk trevirke som råstoff. Verdiskapingspotensial og industrielle muligheter. Litteraturreport i SSFF-prosjektet. Norwegian timber as raw material. Added value and industrial possibilities. Literature survey in the SSFF-project. Terje Birkeland, Skogforsk, Per Johan Houen, PFI, Erlend Ystrøm Haartveit, Skogforsk, Vegard Kilde, NTI, Per Lind, NTI, Knut Magnar Sandland, NTI, Kjell Vadla, Skogforsk og Audun Øvrums, NTI, 2002.
53. Skurlastkvalitet fra Sandeskur. Sawn timber quality from Sandeskur. Audun Øvrums, Treteknisk, 2002
54. Delamination performed on glulam according to pr.EN 391-method B, January 2001, final draft. Nordtest Project no. 1528 - 01, Martin Kemmsies - Casco Products, Per Lind - Norwegian Institute of Wood Technology, 2002
55. Forbedring av høvlingskvalitet gjennom modifisering av høvlingsverktøy. Improvement of planing quality through modification of planing tool. Sindre Holøyen, Treteknisk, 2003
56. Råstoff til massivtreelementer. Raw material for solid wood elements. Av Olav Mjåland, Vegard Kilde, Geir Glasø og Jarle Aarstad, Treteknisk, 2004
57. Evaluation of glulam beams after 6 years exposure to outdoor climate. TEFT-Project. Av Birte Pitzner, Arne Rambøl og Per Lind, Norsk Treteknisk Institutt, 2004
58. Advances in drying of wood. Proceedings from COST-E15 seminars 2000-2004, Sverre Tronstad, Knut Magnar Sandland, Kjersti Folvik and Håkon Toverød, Norsk Treteknisk Institutt, 2005
59. Effect of top loading on the deformation in sawn timber during kiln drying. EU project STRAIGHT. Effekten av toppbelastning på deformasjoner av trelast under tørking. Sverre Tronstad, Norsk Treteknisk Institutt, 2005
60. Gluing of Norway spruce and Scots pine with an EPI-adhesive (emulsion polymer isocyanate) - Activity in the SSFF-project. Laminering av gran og furu med lim av type EPI (emulsjonspolymerisert isocyanat) - en aktivitet i SSFF-prosjektet. Birte Pitzner and Per Lind, Norsk Treteknisk Institutt, 2005
61. Prøving av trevirke ved -170 °C. Resultater fra bøye-, trykk- og skjærttest. Testing of timber at -170 °C. Results from bending-, shear- and compression tests. Kjell Helge Solli, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
62. Overflate- og systembehandling. Surface- and system treatment. Bjørn Jacobsen, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
63. Sitkagran som utvendig kledning - produksjonsforsøk. Sitka spruce as external cladding - production test. Jan Bramming og Olav Mjåland Norsk Treteknisk Institutt, 2006
64. Sawyer - planleggingsverktøy for sagprosessen. Sawyer - planning tool for the sawing process. Håkon Toverød, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
65. Fysiske og mekaniske egenskaper hos norsk gran og furu - en aktivitet i SSFF-prosjektet Physical and mechanical properties in Norwegian spruce and pine - An activity in the SSFF project. Jan Bramming, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
66. Sagbruksflis – geometri - en aktivitet i SSFF-prosjektet. Wood chips – geometry - An activity in the SSFF project. Knut Finstad, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
67. Bjørk i synlige konstruksjoner. Birch in visible constructions. Vegard Kilde, Kjell Helge Solli, Birte Pitzner, Per Lind og Jan Bramming, Norsk Treteknisk Institutt, 2006
68. Sitkagran som utvendig kledning – feltforsøk. Sitka spruce as external cladding – field tests. Jan Bramming og Bjørn Jacobsen. Norsk Treteknisk Institutt, 2007
69. Sitkagran som utvendig kledning – vedhefttest. Sitka spruce as external cladding – adhesion test. Jan Bramming og Bjørn Jacobsen. Norsk Treteknisk Institutt, 2007
70. Sitkagran som konstruksjonsvirke. Sitka spruce as structural timber. Kjell Helge Solli, Olav Mjåland, Knut Magnar Sandland - Treteknisk og Kjell Vadla - Skog og landskap. Norsk Treteknisk Institutt, 2007
71. Industriell overflatebehandling av kledningsbord. Industrial surface treatment of cladding. Bjørn Jacobsen, Norsk Treteknisk Institutt, 2008
72. ENØK i varme- og tørkeanlegg i trelastindustrien. Energy efficiency in the timber industry. Henning Horn, Norsk Treteknisk Institutt, 2008
73. Innvendige malte trepaneler - overflateegenskaper. Painted wood paneling - surface qualities. Bjørn Jacobsen, Brede Lesjø og Håkon Toverød, Norsk Treteknisk Institutt, 2009
74. Miljøvennlig engangsbehandling av furu kjernved og gran brukt som kledningsbord Environmentally friendly surface treatment of pine heartwood and spruce used as cladding. Bjørn Jacobsen, Norsk Treteknisk Institutt, 2009

- 75 Tørking av lafteplank.
Drying of timber for use in log buildings.
Knut Finstad og Knut Magnar Sandland,
Norsk Treteknisk Institutt, 2009
- 76 Klimatesting av massivtreelementer.
Climate testing of solid wood elements.
Karl Harper og Knut Magnar Sandland,
Norsk Treteknisk Institutt, 2009
- 77 ENTRÉ - Energieffektive trekonstruksjoner
Delrapport 1 –TEK-07.
ENTRÉ - Energy Efficient Timber Structures.
Christoffer Aas Clementz, Geir Glasø og Audun
Øvrum, Norsk Treteknisk Institutt, 2009
- 78 Svertesopp på trefasader.
Discolouring fungi on wooden facades.
Bjørn Jacobsen, Treteknisk og Lone Ross Gobakken,
Mycoteam, Norsk Treteknisk Institutt, 2009
- 79 Bedre utnyttelse av bioenergi fra sagbruk gjennom
fjernvarmeleveranse.
Improved utilization of bioenergy from sawmills
through distribution of district heating.
Henning Horn, Norsk Treteknisk Institutt, 2010
- 80 Byggematerialer og opplevelse av innemiljø.
Building materials and the experience of indoor
environment.
Julie Heiberg Arnseth, Kristian Bysheim, Christoffer
Aas Clementz, Anders Q. Nyrud og Ylva Steiner,
Norsk Treteknisk Institutt, 2010
- 81 Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus.
Junction connections in multi-storey timber buildings.
Jarle Aarstad, Norsk Treteknisk Institutt, 2010
- 82 Lufthastighet, utjevning og avkjøling under
tørkeprosessen – betydning for tørkekvalitet.
Air velocity, equalization and cooling during the
drying process – significance for drying quality.
Knut Magnar Sandland, Ylva Steiner og
Henning Horn, Norsk Treteknisk Institutt, 2010
- 83 Industrielt trebyggeri - erfaringer fra norske prosjekter
Industrial timber construction- experiences from
Norwegian projects
Anders Q. Nyrud, Kristian Bysheim, Geir Glasø -
Treteknisk, Tomas Nord - Linköpings universitet
Norsk Treteknisk Institutt, 2011
- 84 ENTRÉ.
Energieffektive trekonstruksjoner.
Delrapport 2, Yttervegger i tre som kan tilfredsstille
passivhuskrav.
ENTRÉ - Energy Efficient Timber Structures.
Christoffer Aas Clementz, Kristine Nore, Ylva Steiner,
Geir Glasø, Sigurd Eide, Kristian Bysheim og
Jørn T. Brunsell, Norsk Treteknisk Institutt, 2011
- 85 Massivtre med integrert akustisk demping
- produktutvikling, skjærkapasitet og erfaringer
fra biblioteket i Nye Hadeland Vgs
Cross Laminated Timber absorbent
- product development, shear capacity and
experience from the library of Hadeland high school
Kristine Nore, Jan Arne Austnes, Geir Glasø og
Jarle Aarstad, Norsk Treteknisk Institutt, 2012
- 86 Prosjektering av trekonstruksjoner
Trykk vinkelrett på fiberretning, en anbefaling
Design of timber structures, Compression
perpendicular to the grain, a recommendation
Sigurd Eide, Geir Glasø og Erik Aasheim
Norsk Treteknisk Institutt, 2013
- 87 Innovative byggematerialer av tre
- klimaendring og forbedret levetid.
Innovative wood building materials
Climate change and improved life.
Anders Q. Nyrud, Ulrich Hundhausen (Treteknisk)
Ulrike Heinemann (Treteknisk/Hunton),
Gry Alfredsen, Lone R. Gobakken (Skog og landskap),
Geir I. Vestøl (Institutt for naturforvaltning, NMBU),
Norsk Treteknisk Institutt, 2015
88. Building materials and wellbeing in indoor
environments. A focus group study.
Byggematerialer og velvære i innendørs miljø.
Kristian Bysheim, Anders Nyrud, Kristen Strobel
Norsk Treteknisk Institutt, 2016

Håndbøker fra Treteknisk

- 1 - bygge med Massivtreelementer**
6 hefter i ringperm. Generelt, Byggeteknikk
Dimensjonering, Brann, Lyd og Byggeprosjekter
ISBN 82-7120-000-3. Treteknisk 2006
- 2 Tre og fuktighet**
ISBN 82-7120-003-8. Treteknisk 2006
- 4 Treteknisk Håndbok 2009**
ISBN 978-82-7120-201-09
ISSN 1890-2170

Tekniske småskrifter fra Treteknisk

- 34 Bioenergi fra treindustrien. Jarle Svanæs. 2002
ISBN 87-7120-038-0
- 36 Overflate- og systembehandling
av tre brukt utendørs - Del 1
Bjørn Jacobsen og Fred G. Evans. 2003
ISBN 82-7120-039-9

FOKUS på tre

- | | | | |
|--------|--|--------|--|
| Nr. 1 | Sagtømmerandel i massevirke | Nr. 30 | Ubehandlede trefasader |
| Nr. 2 | Vurdering av norske treslag til bruk som fasadematerialer utendørs | Nr. 31 | Brannbeskyttet trevirke |
| Nr. 3 | Brannforebyggende arbeid i treindustrien | Nr. 32 | Fleretasjes trehus |
| Nr. 4 | Øket sideborduttak - Øket videreforedling | Nr. 33 | Rett trelast |
| Nr. 5 | Effektive ytterveggskonstruksjoner i tre | Nr. 34 | Furu |
| Nr. 6 | Overflatebehandling av tregulv | Nr. 35 | Bjørk |
| Nr. 7 | Heltregulv | Nr. 36 | Tre og lyd |
| Nr. 8 | Tre og miljø | Nr. 37 | Tre og brann |
| Nr. 9 | Innvendig panel | Nr. 38 | Trefuktighet - tørking |
| Nr. 10 | Soppfarget lauvtre | Nr. 39 | Tørking av gran og furu |
| Nr. 11 | Lerk | Nr. 40 | Trevirkets oppbygging og egenskaper |
| Nr. 12 | Broer i tre | Nr. 41 | Tradisjonsbasert trebruk |
| Nr. 13 | Innvendig listverk | Nr. 42 | Tradisjonsbaserte byggemetoder |
| Nr. 14 | Parkettgulv | Nr. 43 | Konstruksjonsvirke |
| Nr. 15 | Endebeskyttelse av tømmer | Nr. 44 | Laft og lafting |
| Nr. 16 | Tømmervanning | Nr. 45 | ENØK i trelastindustrien |
| Nr. 17 | Avrenning fra tømmervanning | Nr. 46 | Klima og trestabilitet |
| Nr. 18 | Lauvtrevirkets egenskaper | Nr. 47 | Tre i næringsmiddelindustrien |
| Nr. 19 | Konkurransefortrinn gjennom avansert kvalitetsforbedringsarbeid | Nr. 48 | Yteherding - årsak og tiltak |
| Nr. 20 | Massivtre | Nr. 49 | Sitkagran |
| Nr. 21 | Trykkimpregnering | Nr. 50 | Innsekter i tre |
| Nr. 22 | Utvendig kledning | Nr. 51 | Soppskader på tre |
| Nr. 23 | Overflatebehandling av utvendig kledning | Nr. 52 | Trekonstruksjoner med spikerplater |
| Nr. 24 | Virkesegenskapenes betydning for tørke- og høvlingskvalitet | Nr. 53 | Konstruktiv trebeskyttelse |
| Nr. 25 | Kjerneved av furu | Nr. 54 | Opplevelse av tre i innemiljø |
| Nr. 26 | Trebaserte plater | Nr. 55 | Yttervegger i tre med passivhuskrav |
| Nr. 27 | Trebaserte konstruksjonselementer | Nr. 56 | Landbruksbygg |
| Nr. 28 | Gran | Nr. 57 | Etasjeskiller med gitterbjelker |
| Nr. 29 | Uttak av furu kjerneved | Nr. 58 | Miljødeklarasjoner for tre og trebaserte produkter |