

## Gjødsling med nitrogen og aske – langsiktige effekter på skogproduksjon og vegetasjon

Kjersti Holt Hanssen og Jørn-Frode Nordbakken, NIBIO

### Innledning

Det er for tiden stor interesse for skoggjødsling, ikke minst på grunn av den potensielle CO<sub>2</sub>-bindingseffekten og ordningen med gjødsling av skog som et klimatiltak (Søgaard mfl. 2020). Tiltakets klimaeffekt, og også effektene gjødsling kan ha på miljøet, er hyppig diskutert.

I norsk skog på mineraljord er det stort sett nitrogen (N) som gir positivt utslag på bartrærnes vekst (Nilsen 2001). En vanlig dosering i Norge består av 15 kg N per dekar gitt som ammoniumnitrat, omtrent 10 år før hogst. Men også andre næringsstoffer som fosfor (P) og kalium (K) kan ha effekt på tilveksten, og dette blir viktigere med økende bonitet. Treaske er et restprodukt i treindustrien, og inneholder både P og K i tillegg til andre næringsstoffer. Treaske produseres i økende mengder, og det er et ønske fra industrien å benytte aske som en bærekraftig ressurs, istedenfor at den leveres til deponi (Horn mfl. 2016).

I 2012 ble det anlagt et forsøksfelt ved Bærøe gård i Hobøl, Viken fylke, hvor en rik granskog i hkl. 4 ble gjødslet med treaske, nitrogen og kombinasjonen av de to. Feltet i Hobøl er ett av to nyere gjødslingsforsøk i NIBIOs portefølje, og det eneste forsøket vi har med aske. Henholdsvis to og fem år etter gjødsling ble effekten på vegetasjonen og skogens tilvekst undersøkt. Vegetasjonsundersøkelsene viste at karplantene ble lite påvirket av gjødsling, mens det var noe redusert artsmangfold for moser og endringer i en del arters mengder (Økland mfl. 2022). For trærnes del var det en positiv effekt av N-gjødslingen på tilveksten fem år etter gjødslingen, og en enda bedre effekt av N + aske (Hanssen mfl. 2020).

Vi har svært få norske studier på effekter av gjødsling på vegetasjon, og generelt få studier med slike doser som brukes i norsk skogbruk i dag. Langsiktige effekter av gjødsling på både skogproduksjon og biologisk mangfold er interessante, derfor ble en ny vegetasjonsanalyse foretatt sommeren 2022, og trærne ble målt opp og årringprøver tatt på høsten, ti år etter gjødslingen.

### Materiale og metoder

Forsøket er et blokkforsøk i eldre granskog, bonitet G20-23, med tre gjentak av fire behandlinger: 15 kg nitrogen/daa (heretter kalt N), 300 kg treaske/daa (aske), treaske + nitrogen (aske + N), og ugjødslet kontroll. Hver forsøksrute er på 25 x 25 m, med en innerrute på 15 x 15 m hvor alle registreringer har blitt foretatt (fig. 1). Nitrogen ble tilført som ammoniumnitrat (Opti-KAS Skog, Yara) og treasken var herdet bunnaske fra Bergene-Holm AS (Hanssen mfl. 2020). Gjødslingen ble foretatt manuelt i mai (ammoniumnitrat) og juni (asken) 2013.

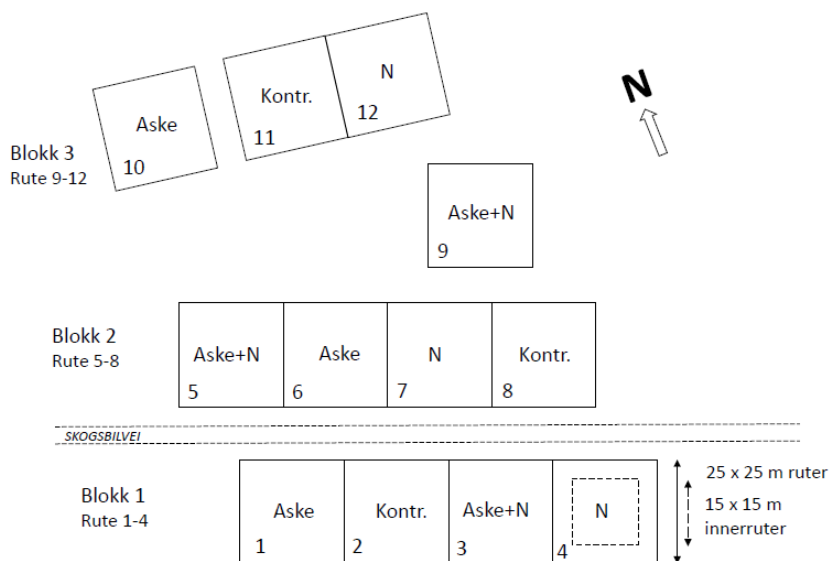


Fig. 1. Skisse over forsøksfeltet på Bærøe, Hobøl.

### Skogproduksjon

I forsøksfeltet ble trærnes høyde og brysthøydediameter målt høsten 2022, ti vekstsesonger etter gjødsling, på samme måte som det ble gjort etter fem år i 2017. Tilvekst og stående volum (Vestjordet 1967) ble beregnet for de to 5-års periodene. I tillegg ble borprøver tatt i brysthøyde, for nøyaktig beregning av tilveksteffekten av de ulike behandlingene. Årringbredden for de 15 siste årene ble så målt i lab.

Gjennomsnittlig årringvekst per behandling og blokk ble beregnet, og kalibrert mot veksten de siste fem årene før gjødsling, for å ta hensyn til forskjeller i vekstforhold mellom forsøksrutene før behandling. Effektene på grunnflate- og volumtilvekst samt stående grunnflate og volum ble analysert, med stående volum eller grunnflate i 2013 (før gjødsling) som kovariat.

### Vegetasjon

Til detaljerte vegetasjonsanalyser ble det i hver av 12 behandlingsflater tilfeldig plassert fem 1-m<sup>2</sup> ruter, 15 ruter for hver behandling. Hjørnene til 1-m<sup>2</sup> rutene ble permanent merket med aluminiumsrør.

I forbindelse med vegetasjonsanalysene før (2012) og etter gjødsling (2015 og 2022, hhv. 2 og 9 år etter gjødsling) ble artsmengder for individuelle arter registrert som prosent dekning (0-100 %). Ikke-parametrisk Wilcoxon-test for paradata (Salkind 2007) ble brukt for å teste for mulige endringer fra år til år i: (i) artsantall innen artsgrupper, og (ii) dekning av ulike artsgrupper (små vedplanter, lyng, karsporeplanter, urter, graminider, levermoser, bladmoser, torvmoser og lav). Statistisk signifikans ble definert som  $p < 0,05$ .

## Resultater

### Skogproduksjon

Analysene av tilvekst og volum i de to femårsperiodene som har gått etter gjødslingen, viste en signifikant høyere volumtilvekst (fig. 2) og stående volum i behandlingen med aske + N sammenliknet med kontroll i den første femårsperioden fram til 2017 (Hanssen mfl. 2020). Det er også større stående grunnflate i aske + N sammenliknet med både kontroll og behandlingen med kun aske (fig. 3), og i grunnflatetilveksten.

I andre femårsperiode er tilveksten generelt lavere, i dette bestandet som nærmer seg hogstmodenhet. Volumtilvekst (fig. 2) og stående volum er fortsatt størst i behandlingen med aske + N, men ingen av behandlingene er signifikant forskjellige fra den ugjødslede kontrollen. Heller ikke hvis hele tiårsperioden sees over ett er forskjellene i volum eller volumtilvekst signifikante på 5%-nivå, selv om det ikke er langt unna. Justert stående volum i  $m^3$  per hektar i de ulike behandlingene i 2022 var 416 (kontroll), 428 (aske), 426 (nitrogen) og 456 (aske + N). For stående grunnflate er det derimot signifikante forskjeller i 2022 (fig. 3).

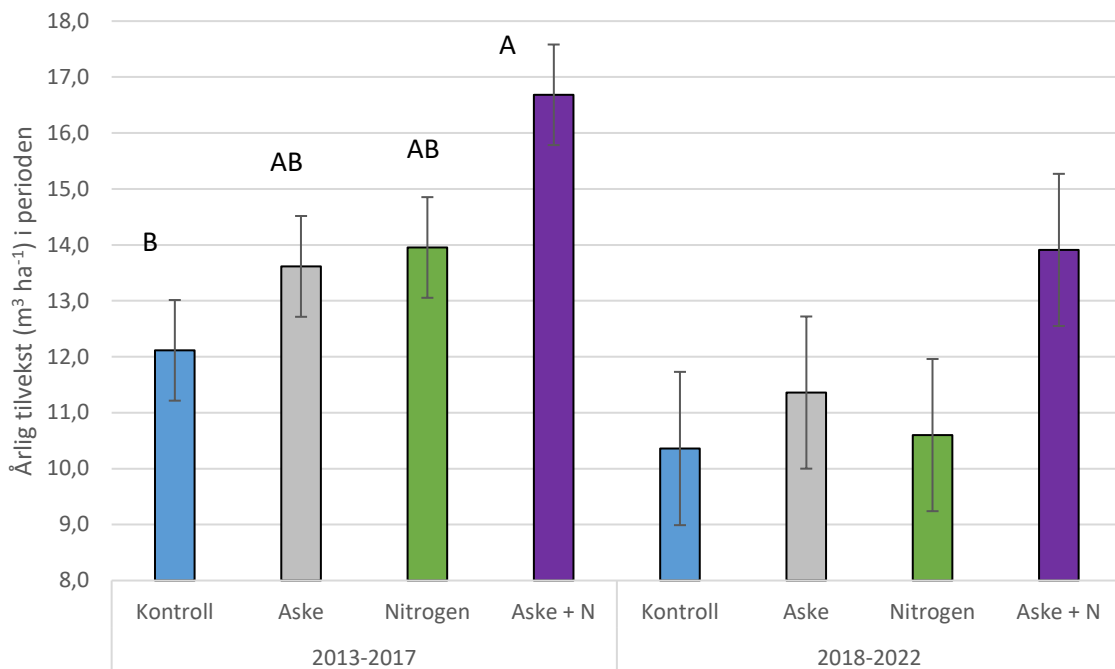


Fig. 2. Årlig løpende volumtilvekst i de ulike behandlingene, i første og andre femårsperiode etter gjødsling. Tilveksten er justert for stående volum før behandling. Ulike bokstaver viser signifikante forskjeller mellom behandlingene.

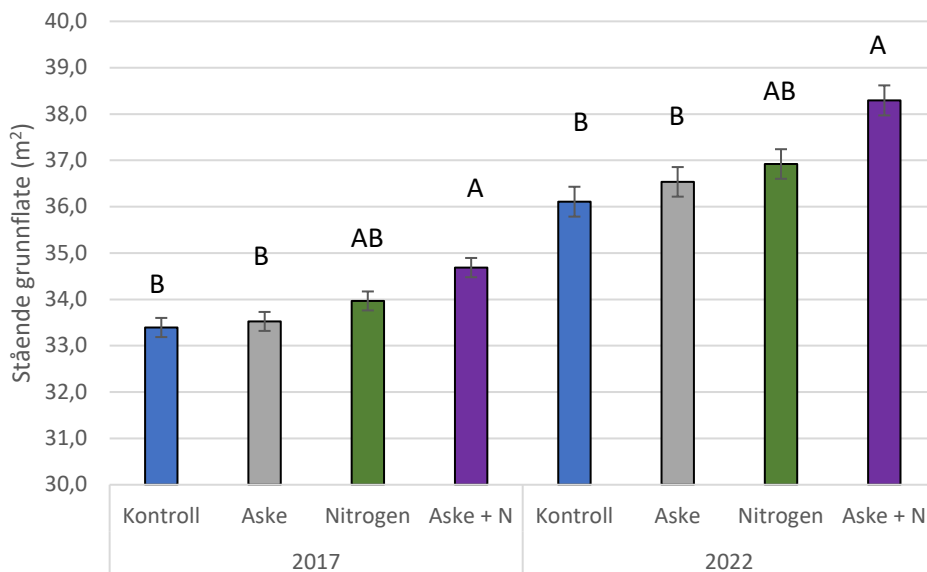


Fig. 3. Total stående grunnflate i de ulike behandlingene, etter første og andre femårsperiode etter gjødsling. Grunnflaten er justert for stående grunnflate før behandling. Innenfor hver periode viser ulike bokstaver signifikante forskjeller mellom behandlinger.

Figur 4 viser utviklingen av årringtilveksten, justert mot veksten før gjødslingen og mot kontrollflatene. Årringanalysene viser, i tråd med utviklingen av grunnflate, at trærne i aske + N-behandlingen vokser best, og at tilveksten holder seg godt over kontrollflatene i hele tiårsperioden. Det er likevel en tydelig dipp i tilveksten for aske + N-behandlingen i 2018, som var en tørkesommer. Effekten av N-gjødslingen ser ut til å være over etter 10 år. Derimot ser tilveksten ut til å være stigende vs. kontrollen for askebehandling.

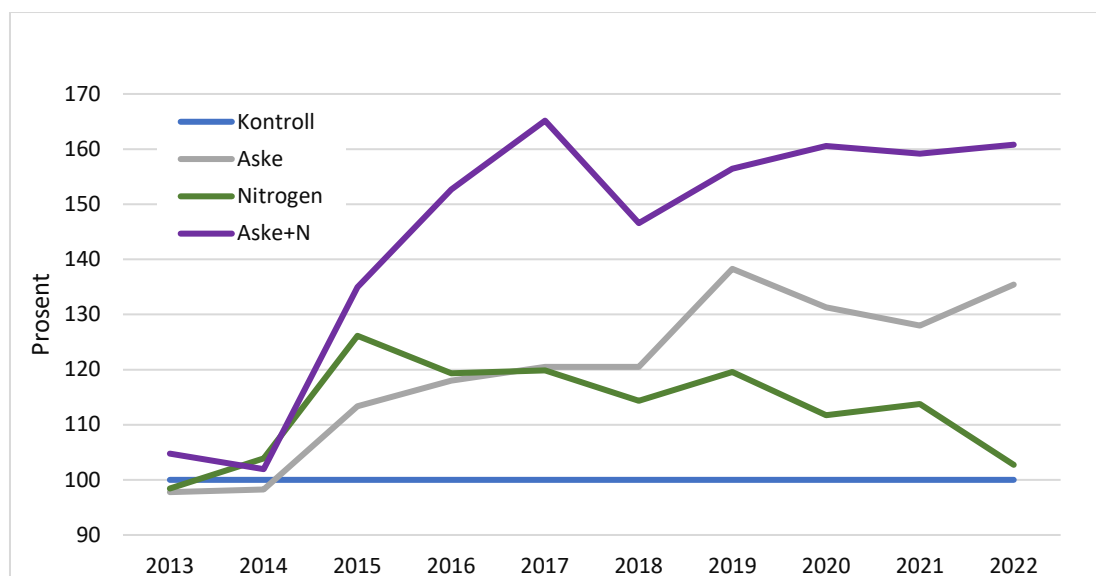


Fig. 4. Utviklingen av årringbredder for de ulike behandlingene, justert mot trærnes vekst før gjødsling og mot kontrollflatene (i figuren satt til 100 %).

## Vegetasjon

### Effekter på vegetasjon - artsantall i ulike artsgrupper

Ingen karplantegrupper endret artsantall i kontrollrutene i første (2012 til 2015), eller i andre periode (2015 til 2022). Perioden fra 2012 til 2022 hadde en negativ trend for antall arter av graminider (her: gras, starr og frytle) fra gjennomsnittlig 1,2 til 0,8 og bladmoser fra 11,7 til 7,3.

I askerutene gikk antall arter levermoser tilbake i første periode. I andre periode sank diversiteten av bladmoser og torvmoser, mens den økte for graminider. Diversiteten av vedplanter, levermoser, bladmoser og torvmoser ble redusert fra 2012 til 2022.

I ruter tilført aske + N sank antall arter levermoser, bladmoser og lav i første periode, og antall arter bladmoser i andre periode. Fra 2012 til 2022 sank antall arter av vedplanter, levermoser, bladmoser og torvmoser, mens antall urter økte.

Ingen artsgrupper viste signifikante diversitetsendringer i N-rutene i første periode. I andre periode sank antall arter av levermoser og bladmoser, mens antall urter økte. Fra 2012 til 2022 sank antall arter levermoser og bladmoser.

Tabell 1. Endringer i gjennomsnittlig antall arter i 1-m<sup>2</sup> ruter for ulike artsgrupper før (2012) og etter behandling (2015 og 2022). Fire behandlinger: kontroll (K), gjødsling med aske (A), aske+ nitrogen (A+N), og nitrogen (N) (15 ruter pr behandling). Piler angir signifikant ( $p < 0,05$ ) endring: økning (↑) og reduksjon (↓).

Antall arter	K						A						A+N						N					
	2012	2015	2022	2012-15	2015-22	2012-22	2012	2015	2022	2012-15	2015-22	2012-22	2012	2015	2022	2012-15	2015-22	2012-22	2012	2015	2022	2012-15	2015-22	2012-22
Vedplanter	1.4	1.4	1.3	.	.	.	1.3	1.1	1.1	.	.	↓	1.3	1.2	1.4	.	.	.	1.3	1.2	1.4	.	.	.
Lyng	0.7	0.7	0.9	.	.	.	0.7	0.8	0.9	.	.	.	0.7	0.9	0.9	.	.	.	0.9	1.0	1.0	.	.	.
Karsporeplanter	0.3	0.1	0.2	.	.	.	0.4	0.3	0.3	.	.	.	0.3	0.3	0.2	.	.	.	0.5	0.4	0.3	.	.	.
Urter	1.7	1.9	1.5	.	.	.	1.7	1.9	2.2	.	.	.	1.1	1.7	2.2	.	.	↑	1.4	1.4	1.7	.	↑	.
Graminider	1.2	1.1	0.8	.	.	↓	1.3	1.1	1.6	.	↑	.	1.1	1.1	1.4	.	.	.	0.9	0.9	0.7	.	.	.
Levermoser	1.9	1.7	1.3	.	.	.	2.1	0.9	0.8	↓	.	↓	2.8	1.3	1.0	↓	.	↓	3.5	2.7	1.7	.	↓	↓
Bladmoser	11.7	10.7	7.3	.	↓	↓	9.3	8.5	5.9	.	↓	↓	10.1	9.2	7.3	↓	↓	↓	11.7	10.7	8.2	.	↓	↓
Torvmoser	0.1	0.1	0.1	.	.	.	0.3	0.4	0.1	.	↓	↓	0.3	0.3	0.2	.	.	.	0.4	0.3	0.2	.	.	.
Lav	0.9	0.5	0.5	.	.	.	0.9	0.7	0.5	.	.	.	1.1	0.4	0.1	↓	.	↓	0.7	0.5	0.5	.	.	.

## Effekter på vegetasjon - dekning av ulike artsgrupper

Dekningen av graminider og levermoser sank i kontrollrutene i første periode. I andre periode økte dekningen av bladmoser med over 15 %. Fra 2012 til 2022 økte dekningen av lyng (primært blåbær) og bladmoser (etasjemose og furumose), mens graminider og levermoser gikk tilbake.

I askerutene avtok dekningen av levermoser i første periode. Torvmoser gikk tilbake i andre periode, mens dekning av vedplanter og bladmoser økte. Fra 2012 til 2022 økte dekningen av vedplanter, lyng, urter, og bladmoser, mens levermoser og torvmoser avtok.

For ruter tilført aske + N økte dekning av urter og bladmoser i første periode, mens levermoser og lav minket. Det var ingen artsgruppeendringer i andre periode, men for hele perioden fra 2012 til 2022 økte dekning av urter, mens levermoser og lav gikk tilbake.

I N-rutene økte dekningen av urter i første periode, mens dekningen av bladmoser avtok. I andre periode økte kun dekningen av vedplanter. Fra 2012 til 2022 økte dekningen av vedplanter og urter, mens dekningen av levermoser sank.

Tabell 2. Endringer i gjennomsnittlig samlet dekning i 1-m<sup>2</sup> ruter for ulike artsgrupper før (2012) og etter behandling (2015 og 2022). Fire behandlinger: kontroll (K), gjødsling med aske (A), aske+ nitrogen (A+N), og nitrogen (N) (15 ruter pr behandling). Piler angir signifikant ( $p < 0,05$ ) endring: økning (↑) og reduksjon (↓).

Dekning	K						A						A+N						N					
Artsgruppe	2012	2015	2022	2012-15	2015-22	2012-22	2012	2015	2022	2012-15	2015-22	2012-22	2012	2015	2022	2012-15	2015-22	2012-22	2012	2015	2022	2012-15	2015-22	2012-22
Vedplanter	3.1	3.6	6.5	.	.	.	3.3	4.1	9.2	.	↑	↑	4.7	5.3	9.1	.	.	.	2.9	3.9	9.1	.	↑	↑
Lyng	4.0	6.8	7.7	.	.	↑	6.7	9.1	11.9	.	.	↑	8.4	9.7	13.1	.	.	.	6.9	8.3	13.3	.	.	.
Karsporeplanter	7.1	1.5	0.8	.	.	.	0.7	0.5	0.3	.	.	.	1.1	0.4	0.3	.	.	.	1.7	0.9	0.6	.	.	.
Urter	5.1	3.8	5.4	.	.	.	3.4	5.5	7.5	.	.	↑	2.9	9.1	8.9	↑	.	↑	3.1	4.4	6.3	↑	.	↑
Graminider	5.9	2.5	1.7	↓	.	↓	10.0	9.7	8.9	.	.	.	3.9	3.9	3.1	.	.	.	4.3	4.9	3.9	.	.	.
Levermoser	3.3	2.3	1.5	↓	.	↓	4.9	1.9	1.1	↓	.	↓	3.4	1.3	2.0	↓	.	↓	5.5	3.6	2.5	.	.	↓
Bladmoser	59.7	58.6	74.9	.	↑	↑	60.0	67.2	75.0	.	↑	↑	53.5	63.9	62.5	↑	.	.	59.8	54.2	57.9	↓	.	.
Torvmoser	0.1	0.1	0.1	.	.	.	1.4	1.0	0.4	.	↓	↓	5.5	2.6	1.0	.	.	.	0.4	0.4	0.3	.	.	.
Lav	0.9	0.5	0.5	.	.	.	0.9	0.7	0.5	.	.	.	1.2	0.5	0.1	↓	.	↓	0.7	0.5	0.5	.	.	.

## Diskusjon

### Skogproduksjon

Forsøket er utført i et rikt granbestand, hvor tilførsel av nitrogen har gitt en viss økt vekst, men ikke signifikant forskjellig fra kontrollfeltene. Siden boniteten er høy er det naturlig at effekten av tilført N ikke er så tydelig som i mer næringsfattige bestand. Tilveksteffekten avtar nokså raskt og er helt over etter 10 år, i tråd med annen forskning (Nilsen 2001).

Kombinasjonen av aske og nitrogen er den behandlingen som har gitt best effekt, antakelig fordi den gir best balanse i næringstilførselen i dette allerede nokså næringsrike bestandet. Også andre studier har vist at aske gitt sammen med nitrogen kan forlenge effekten av nitrogengjødsling (Saarsalmi mfl. 2012). Samtidig ser effekten av ren askegjødsling ut til å være i ferd med å øke. Forsøk med ren asketilførsel på mineraljord i våre naboland har oftest vist ingen eller en viss positiv tilveksteffekt på god mark, mens man av og til har sett negativ effekt på magre jordtyper. Det har sammenheng med at det vanligvis er nitrogenmangel som begrenser veksten på mineraljord, og det er indikasjoner på at aske- eller kalktilførsel øker immobiliseringen av N under magre forhold, mens mineraliseringen på rik jord derimot kan øke. At effekten av aske + N fortsatt er til stede etter 10 år og at effekten av ren aske er stigende, er interessant.

Funnene er altså i tråd med annen forskning som viser at spredning av aske på rik mark kan gi økt vekst hos trærne. I dag er det imidlertid ikke tillatt å spre aske i skog, jfr. Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav (<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951>). Spredning av aske i skog kan også reguleres i «Forskrift om berekraftig skogbruk». Hvis tilbakeføring av treaske til skog skal bli en realitet, må regelverket først endres. Det må videre være mulig å spre aske med metoder som gir økonomisk gevinst, og uten at det går på bekostning av miljøet.

En annen interessant observasjon i forsøket er at forskjellen i årringtilvekst mellom aske + N-gjødslede trær og ugjødslede kontroll tydelig minket i tørkesommeren 2018. Det finnes noen indikasjoner på at trær i god vekst er mest utsatt for tørkestress (Rosner mfl. 2018), men i hvilken grad dette har spilt inn er uvisst.

## Vegetasjon

### Karplanter

Antall arter karplanter i 1-m<sup>2</sup>-rutene var lavt allerede før gjødsling. Effektene av aske, aske + N og N på karplantediversitet to år etter behandling var begrenset. I 2022 var antall arter vedplanter i askeruter lavere enn før gjødsling i 2012, og antall graminider (gras, starr og frytle) lavere enn i 2015. Antall urter økte fra 2012 til 2022 i ruter tilført aske + N.

I vår studie økte dekningen av lyng (primært blåbær) i ruter tilført aske eller nitrogen. Askedoser opptil 3 t ha<sup>-1</sup>, som i vårt forsøk, har oftest små effekter på dekningen av lyng. Forekomsten av blåbærlyng i studieområdet hadde en flekkvisfordeling og var noe begrenset allerede før behandling; med gjennomsnittlig dekning på 6,3% i de 60 1-m<sup>2</sup>-rutene.

Tidligere rapporterte effekter av askegjødsling inkluderer økt forekomst av urte- og gressarter (Gyllin & Kruuse, 1996; Arvidsson mfl. 2002), og økt biomasse av smyle (*Avenella flexuosa*) (Brandtberg mfl. 2021). I vårt forsøk økte dekningen av småmarimjelle (*Melampyrum sylvaticum*) i aske + N- og N-ruter i første periode, mens søsterarten stormarimjelle (*M. pratense*) økte i N-ruter i andre periode. Disse hemiparasittiske ettårige urtene reproducerer via frø (Dalrymple 2007), og forekomsten kan variere noe mellom år, avhengig av klimatiske forhold. Småmarimjelle foretrekker noe mer næringsrike forhold (Økland 1996), og kan ha fordel av aske + N og N-gjødsling. Et relativt næringsrikt jordsmonn i

studieområdet, og en relativt lav gjødslingsdose, kan ha begrenset effektene på karplanter, som forventes å være tydeligere på næringsfattige lokaliteter (Olsson & Kellner 2006).

### Moser

Mange mosearter i vår studie ble negativt påvirket av gjødsling. Aske og aske + N reduserte antall og dekning av flere levermoser og bladmoser. Mosenes mangler en beskyttende kutikula, og er utsatt for 'sviskader' av aske- og N-gjødsling (Skrindo & Økland 2002; Jacobson & Gustafsson 2001; Huotari mfl. 2015). N-gjødsling og påfølgende trevekst kan gi redusert solinnstråling og nedbør til skogbunnen (Skrindo & Økland 2002; Strengbom mfl. 2001).

Mosedekket reduseres ofte etter påføring av aske (Kellner & Weibull 1998; Jacobsson & Gustafsson 2001; Moilanen mfl. 2002; Ozolinčius mfl. 2007) eller aske + nitrogen (Ozolinčius mfl. 2007), men responsen avhenger av dose, arter, skogtype og miljøforhold (Jacobson 1997; Kellner & Weibull 1998; Huotari mfl. 2015; Dynesius 2012). Mosedekningen økte i ruter tilført aske + N, men ikke for alle arter. At etasjemose (*Hylocomium splendens*) og furumose (*Pleurozium schreberi*) økte i både askeruter og kontroll indikerer at andre faktorer enn gjødsling påvirket veksten. Etasjemose, som økte i N-ruter i andre periode, favoriseres av lange vekstsesonger og økt nedbør (jf. Økland & Halvorsen 2020). Muligens skades de store mosene mindre av aske enn andre moser (Kellner & Weibull 1998), selv om gjødsling med nitrogen kan ha negative effekter (Olsson & Kellner 2006).

Flere mosearter gikk tilbake to og ni år etter gjødsling, strølundmose (*Sciuro-hypnum starkei*) i ruter gjødslet med aske eller nitrogen, og kontrollflatene, sprikelundmose (*S. reflexum*) i N-ruter, og matteflette (*Hypnum cupressiforme* agg.) i aske + N-ruter. Denne endringen er relatert til tilgjengeligheten av smågreiner på skogbunnen (jf. Økland et. al. 2016), som er rikelig etter tynning og hogst, men som avtar på grunn av nedbrytning, og ved at de dekkes av større og mer konkurransedyktige mosearter. I vår studie bidro redusert tilgang av små greiner etter 2012 til mindre strølundmose i kontrollflatene, der etasjemose økte mest.

Dekning av levermoser minket i kontroll, men mest i aske eller aske + N-ruter. Nedgang i samlet dekning og artsantall av levermoser, som vokser spredt i skogbunnen, indikerer sårbarhet for aske og nitrogengjødsling. Levermoser er små og mange har blader som er bare ett cellelag tykke, og er følsomme for økte konsentrasjoner av basekationer (Huotari mfl. 2015). Mange levermoser vokser i små «lommer» i skogbunnen (jf. Økland 1996). De vokser ikke like raskt som de store bladmosene (som etasjemose og furumose), og kan utkonkurreres og forsvinne fra skogbunnen (Økland og Halvorsen 2020).

I siste periode økte dekningen av store moser som etasjemose og furumose (og også blåbær) mest i kontroll- og askeruter. At enkelte arter i kontrollfelt også viste signifikante endringer tyder på at andre faktorer også bidro. For enkelte mosearter kan reduksjoner skyldes nedgang i egnede mikrohabitater som følge en pågående suksesjon etter tynning i 2006/2007. Hogsten omkring deler av området før reanalysen i 2015 påvirket trolig ikke bakkevegetasjonen vesentlig. Siden har det blitt hogd ytterligere noe, og det kan ikke utelukkes at økt solinnstråling i deler av studieområdet i den siste perioden kan ha bidratt til endringene. Også i skogovervåkingsflater i uberørt granskog har store moser, særlig etasjemose (*Hylocomium splendens*), økt i mengde det siste tiåret (jf. Økland & Halvorsen 2020)

### Lav

Kun pulverbrunbeger (*Cladonia chlorophaea*) og stubbesyl (*C. coniocraea*) ble registrert i studieområdet. Begge gikk betydelig ned aske + N- ruter, og pulverbrunbeger også i aske-rutene. Redusert mengde etter behandling med aske og/eller nitrogen ble også funnet av Hart mfl. (2019), som understreket at lav er følsomme for høye konsentrasjoner av nitrogen. Reduserte forekomster for noen lavarter etter N-gjødsling ble også registrert av Skrindo & Økland (2002) og Hedwall mfl. (2010).



## Konklusjoner

Konklusjonen for skogens del blir at ren nitrogengjødsling i dette rike bestandet ga en viss effekt, men ikke så stor som man ellers forventer i bestand på lavere bonitet. Etter ti år var det ikke lenger forskjeller å se i årringtilvekst i forhold til kontrollrutene. Forsøket forsterker eksisterende kunnskap om at asketilførsel på fastmark kan gi positive tilveksteffekter på felt med god bonitet, men særlig i kombinasjon med nitrogen. I vårt forsøk varte effekten i minst ti år etter gjødsling. For at tilbakeføring av aske til skog skal bli et reelt alternativ, må det imidlertid regelendringer til.

To år etter gjødsling fant vi begrensede effekter på karplanter, og til og med noen positive effekter på urter. Men det var redusert mangfold og dekning av moser og lav, som kan skyldes effekter av forhøyede ionekonsentrasjoner på overflaten etter påføring av aske og nitrogen. Ni år etter gjødsling var det fortsatt nedgang i artsmangfoldet i flere artsgrupper, særlig for ulike mosegrupper. At enkelte arter i kontrollfelt også viste signifikante endringer tyder på at andre faktorer enn gjødslingen også bidro.

## Litteratur

- Arvidsson H, Vestin T, Lundquist H. 2002. Effects of crushed wood Aske application on ground vegetation in young Norway spruce stands. *For Ecol Manage.* 161:75-87.
- Brandtberg P-O, Wang P, Olsson BA, Arvidsson H, Lundkvist H. 2021. Effects of wood Aske, green residues and N-free fertiliser on naturally regenerated birch and field vegetation in a young Norway spruce stand in SW Sweden. *Scand J For Res.* 36:364-373. DOI: 10.1080/02827581.2021.1936154.
- Dalrymple S. 2007. Biological Flora of the British Isles: *Melampyrum sylvaticum* L. *J Ecol.* 95:583-597.
- Dynesius M. 2012. Responses of bryophytes to wood-Aske recycling are related to their phylogeny and pH ecology. *Perspect Plant Ecol Evol System.* 14:21-31.
- Gyllin M, Kruuse A. 1996. Effekter på floran etter tilførsel av ved- og blandaska. Ramprogram askåterføring. Stockholm (Sweden): NUTEK. (Rapport; no. 36; in Swedish).
- Hanssen, K.H., Clarke, N., Dibdiakova, J., 2014. Tilbakeføring av treaske til skog. Egenskaper, effekter og metoder. Rapp Skog og landskap 09/2014.: 19 s.
- Hanssen, K. H., Asplund, J., Clarke, N., Selmer, R. og Nybakken, L. (2020). Fertilization of Norway spruce forest with wood ash and nitrogen affected both tree growth and composition of chemical defence. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 93: 589-600.
- Hart SC, Massicotte HB, Rutherford PM, Elkin CM, Rogers BJ. 2019. Early response of understory vegetation to wood Aske fertilization in the sub boreal climatic zone of British Columbia. *For Chron.* 95:135-142.
- Hedwall PO, Nordin A, Brunet J, Bergh J. 2010. Compositional changes of forest-floor vegetation in young stands of Norway spruce as an effect of repeated fertilisation. *For Ecol Manage.* 259:2418-2425. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.03.018.
- Horn, H., Tellnes, L. G. F., Brod, E., Clarke, N., Dibdiakova, J., Hanssen, K. H., Haraldsen, T. K., Karlsen, T. og Toven, K. (2016). Innovativ utnyttelse av aske fra trevirke for økt verdiskapning og bærekraftig skogbruk (Innovative utilization of ash from wood for value creation and sustainable forestry). Treteknisk rapport nr. 89. 50 s.
- Huotari N, Tillman-Sutela E, Moilanen M, Laiho R. 2015. Recycling of Aske – For the good of the environment? *For Ecol Manage.* 348:226-240.
- Jacobson S, Gustafsson L. 2001. Effects on ground vegetation of the application of wood Aske to a Swedish Scots pine stand. *Basic Appl Ecol.* 2:233-241.
- Jacobson S. 1997. Återføring av aska till skogsmark – kortsiktiga effekter på floran efter spridning av krossaska. Uppsala (Sweden): Skogforsk. (Arbetsrapport; no. 377:8; in Swedish).
- Kellner O, Weibull H. 1998. Effects of wood Aske on bryophytes and lichens in a Swedish pine forest. *Scand J For Res. Suppl* 2: 76-85.

- Moilanen M, Silfverberg K, Hokkanen TJ. 2002. Effects of wood-Aske on the growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. *For Ecol Manage.* 171:321–338.
- Nilsen P. 2001. Fertilization experiments on forest mineral soils: A review of the Norwegian results. *Scand J For Res.* 16:541-554. DOI: 10.1080/02827580152699376.
- Olsson BA, Kellner O. 2006. Long-term effects of nitrogen fertilization on ground vegetation in coniferous forests. *For Ecol Manage.* 237:458-470. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.09.068.
- Ozolinčius R, Buožytė R, Varnagirytė-Kabašinskienė I. 2007. Wood Aske and nitrogen influence on ground vegetation cover and chemical composition. *Biomass Bioenerg* 31:710-716.
- Rosner, S., Gierlinger, N., Klepsch, M., Karlsson, B., Evans, R. mfl. 2018. Hydraulic and mechanical dysfunction of Norway spruce sapwood due to extreme summer drought in Scandinavia. *For. Ecol. Manage.*, 409: 527-540.
- Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M., Moilanen, M., Saramaki, J., 2012. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *For. Ecol. Manage.*, 278: 63-70.
- Salkind NJ, editor. 2007. *Encyclopedia of measurement and statistics.* Thousand Oaks (CA): SAGE Publications, Inc.
- Skrindo A, Økland RH. 2002. Effects of fertilization on understory vegetation in a Norwegian *Pinus sylvestris* forest. *Appl Veg Sci.* 5:167-172. DOI: 10.1658/1402-2001(2002)005[0167:Eofouv]2.0.Co;2.
- Strengbom J, Nordin A, Näsholm T, Ericson L. 2001. Slow recovery of boreal forest ecosystem following decreased nitrogen input. *Funct Ecol.* 15:451-457.
- Sjøgaard, G., Alfredssen, G., Antón Fernández, C., Astrup, R., Blom, H., Clarke, N., Eriksen, R., Granhus, A., Hanssen, K. H., Hietala, A., Mohr, C. W., Nygaard, P. H., Solberg, S. og Steffenrem, A. (2020). *Klimakur 2030 – beskrivelse av utvalgte klimatiltak knyttet til skog.* NIBIO Rapp. 9. 96 s.
- Vestjordet, E. (1967). *Funksjoner og tabeller for kubering av stående gran.* [Functions and tables for the volume of standing trees. Norway spruce]. *Meddr norske Skogfors Ves.* 22: 539-574.
- Økland T. 1996. Vegetation-environment relationships of boreal spruce forest in ten monitoring reference areas in Norway. *Sommerfeltia.* 22:1-349. <https://sciendo.com/pdf/10.2478/som-1996-0001>.
- Økland T, Nordbakken JF, Lange H, Røsberg I, Clarke N. 2016. Short-term effects of whole-tree harvesting on understory plant species diversity and cover in two Norway spruce sites in southern Norway. *Scand J For Res.* 31:766 – 776.
- Økland T, Halvorsen R. 2020. TOV granskog: Utvikling i bakkevegetasjonen og dens artsmangfold i ni områder med gammel, vernet granskog. Utvalgte overvåkingsresultater 1988–2019. In: Timmermann V (editor). *Skogens helsetilstand i Norge. Resultater fra skogskadeovervåkingen i 2019* [The state of health of Norwegian forests. Results from the national forest damage monitoring 2019]. Ås (Norway): Norwegian Institute of Bioeconomy Research. (NIBIO Rapport; 6/119: 39-46; in Norwegian).
- Økland, T., Nordbakken, J. F., Clarke, N. og Hanssen, K. H. (2022). Short-term effects of hardened wood ash and nitrogen fertilisation on understory vegetation in a Norway spruce forest in south-east Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 37: 320-329.