



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA)

Effekt av grisetangekstrakt (*Ascophyllum nodosum*) og silisium på rotvekst, næringsstatus og vitalitet ved planting av norsk gran (*Picea abies*)

Effects of brown alga (*Ascophyllum nodosum*) and
silicon on root growth, nutrient status and vitality on
establishment of Norway spruce (*Picea abies*)

Bjørnar Sæthershagen

Master naturforvaltning

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) under fakultet for miljø og naturforvaltning (MINA) på studielinjen naturforvaltning master. Feltarbeid er gjennomført på hogstflatene til Bjørnar og Oddvin Sørbøen på Leirskogen i Sør-Aurdal kommune i Valdres sommeren 2020.

Jeg vil takke hovedveileder Line Nybakken for god veiledning gjennom hele prosessen. En stor takk til tilleggsveileder og forsker Inger Sundheim Fløistad ved NIBIO for god veiledning gjennom hele prosessen, hjelp til behandling, innsamling av nåleprøver, transport av prøver til Ås, tørking og oppbevaring av prøver, booking av rom for vasking av planter og booking av WhinRhizo rotskanner i NIBIO sine lokaler. Husker ikke hvem av dere som booket tid på Sørhellinga for bruk av kulemølle og innveiling til elementatoranalysator-analyse, men takk for det. Dere har begge vært disponible både i, men også utenfor «normal» arbeidstid, noe jeg har satt stor pris på og som har vært helt avgjørende for at jeg kunne gjennomføre denne masteroppgaven. Takk til Erling Fløistad for hjelp til utplantning, Helge Meissner, NIBIO, for innføring i bruk av WhinRhizo rotskanner og Claus D. Kreibich for innføring i bruk av kulemølle og innveiling av prøver. En stor takk til skogeier Bjørnar og Oddvin Sørbøen som stilte areal, planteutstyr og planter til disposisjon. A special thanks to Jan Ditzen, “forschungsassistent” at the Free University of Bozen-Bolzano for helping me understand the basics in R studio. This was essential in getting results that made sense. I would also thank Azelis Holding S.A. for providing Acadian and Silicapower.

Denne oppgaven er i hovedsak skrevet i Vang kommune under koronapandemien. Det er da, innenfor rimelighetens grenser vanskelig å bli mer isolert fra omverdenen. Derfor vil jeg til slutt takke alle mine gode venner som gjennom en krevende tid fylt med jobb og masterskriving har gitt «ein enkel kar frå Leira» digital støtte og pågangsmot.

Sammendrag

Norge ligger i det boreale barskogbeltet hvor norsk gran (*Picea abies*) dominerer og utgjør i underkant av 50 % av den norske skogen. Gjennom norsk lov er det lagt til rette for bærekraftig utnyttelse av skogen som ressurs. Dette innebærer blant annet at skogeier er pålagt å etablere ny skog tre til fem år etter hogst, samtidig er det insentiver som skal bidra til en økt etableringssuksess og vekst. Som en fuktighetskrevenne art med grunne røtter er norsk gran særlig utsatt for tørkestress. Selv om et endret klima er forventet å gi Norge økt nedbør vil man også kunne oppleve økt tørke sommerstid. Dette kan by på utfordringer for norsk gran og norsk skogbruk. Behandlinger som kan bedre gran sin etablering og motstand mot stressfaktorer etter utplantning i et endret klima, vil være av interesse for skogbruket. Tidlig rotetablering er en viktig faktor for overlevelse og robusthet mot stress hos utplantet gran. Ekstrakt fra grisetang (*Ascophyllum nodosum*) har gjennom tidligere forsøk vist seg å gi positiv effekt på rotvekst hos bartrær. Behandling med silisium har vist å gi en økt motstand mot abiotisk og biotisk stress, og bartrær har fått økt rotvekst under tørkestress.

Formålet med denne masteroppgaven var derfor å undersøke effekten av grisetangekstrakt (Acadian) alene eller i kombinasjon med silisium (Silicapower) på norsk grans rotvekst, næringsopptak og vitalitet første vekstsesong etter utplantning på et hogstfelt. To forsøksfelt ble etablert på to markberedte hogstflater ca. 700m.o.h. sentralt i Sør-Norge. Totalt 356 planter hentet fra planteskolen ble delt i tre grupper. Før utplantning ble en gruppe behandlet med en løsning med Acadian, en gruppe ble behandlet med en løsning med Acadian og Silicapower og en gruppe ble behandlet med rent vann og fungerte som kontrollgruppe. Hver plante ble visuelt sjekket for vitalitet hver fjerde uke etter utplantning i juni og til sluttregistrering i oktober. For et utvalg av plantene ble konsentrasjon av nitrogen og karbon målt i nåler i juni og etter endt vekstsesong i oktober. Utvalgte planter ble målt for rotlengde i ulike diameterklasser ved sluttregistrering i oktober. Friske planter behandlet med Acadian alene viste en signifikant økt rotlengde i finere og mellomstore diameterklasser sammenlignet med kontroll. Behandling med Acadian i kombinasjon med Silicapower viste derimot ingen økning i rotlengde sammenlignet med kontroll. Nitrogen, karbon og C:N-forhold var ikke forskjellig mellom noen av behandlingene ved sluttregistrering. Acadian i kombinasjon med Silicapower ga en redusert vitalitet på behandlede planter etter endt vekstsesong sammenlignet med kontroll og planter behandlet med Acadian alene. Abiotisk stress ble konkludert som den eneste faktoren for avgang og redusert vitalitet hos plantene.

Nøkkelord: Biostimulant, nitrogen, karbon, foryngelse, planting, etablering

Abstract

Norway is situated in the boreal forest where Norway spruce (*Picea abies*) is the dominant tree species and counts for almost 50% of the Norwegian forest. Through law, Norway has arranged for a sustainable utilization of the forest as a resource. Forest owners is for example imposed to establish new forests after logging, there is also incentives which contributes to an increased establishment success and growth in seedlings. As a moisture-demanding species with shallow roots, the spruce is particularly exposed to drought-induced stress. Even though Norway is expected to receive increased amounts of precipitation in a changing climate, there is also expected to be increased periods of drought during the summer. This may cause challenges for spruce and the Norwegian forestry. Treatments which can improve the establishment of spruce seedlings and their resilience against stress in a changing climate is therefore of interest for the forestry. Early establishment of roots is an important factor in growth and robustness against stress in planted spruce seedlings. Extract from the brown alga (*Ascophyllum nodosum*) has through previous studies showed an increased root growth in conifer seedlings. Treatments using silicon has shown an increased resilience towards biotic and abiotic stress, and conifers have had an increased root growth during drought-induced stress.

The aim of this master thesis was to investigate the effect of extract from brown alga (Acadian) alone or in combination with silicon (Silicapower) on norway spruce root growth, nutrient uptake and vitality during the first growing season after planting. Experimental fields was established on two ground prepared felling sites at about 700m.a.s. in the central south Norway. A total of 356 spruce seedlings from a spruce nursery was divided in three groups. Before being planted, one group was treated with a solution consisting of Acadian, one group was treated with a solution consisting of Acadian and Silicapower and one group was treated with water, acting as a control group. Each plant was visually checked for vitality every four weeks after planting up to the end of the study in October. For a selected portion of the planted seedlings, the needles of the seedlings were collected to measure the concentration of nitrogen and carbon. Older needles were collected right after planting in June and current year needles was collected at the end of the study in October. A selected portion of the planted seedlings was collected at the end of the field experiment in October to measure the root length in different diameterclasses. Plants treated with Acadian alone showed a significant increased root length in fine and medium-sized diameterclasses compared with the control group. However, treatment using Acadian in combination with Silicapower showed no difference in root length compared with the control. Nitrogen, carbon and C:N-relationships was not different between treatments at the end of the field experiment. Acadian in combination with Silicapower showed a reduced vitality in treated plants at the end of the field experiment compared with control and plants treated with Acadian alone. The factor contributing for mortality and a reduced vitality in seedlings was concluded to be abiotic stress.

Keywords: Biostimulant, nitrogen, carbon, seedling establishment, planting, regeneration

Innhold

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
1. Innledning	1
2. Material og metode	6
2.1 Studieområde	6
2.2 Forsøksdesign	7
2.3 Plantemateriale	8
2.4 Behandling	8
2.5 Planting	8
2.6 Vitalitet	9
2.7 Behandling av prøver og analyse	9
2.7.1 Karbon, Nitrogen og C:N-forhold	9
2.7.2 Rotskanning	10
2.7.3 Dataanalyse	11
3. Resultat	12
3.1 Rotskanning	12
3.2 Vitalitet	14
3.3 Karbon, Nitrogen og C:N-forhold	16
3.3.1 Karbon	16
3.3.2 Nitrogen	16
3.3.3 C:N forhold	17
4. Diskusjon	19
5. Oppsummering og konklusjon	23
Litteratur	24

1. Innledning

Norsk gran (*Picea abies*) har spredt seg vestover gjennom Fennoskandia de siste 6500 årene og utgjør en vesentlig andel av den boreale skogen. Siden gran ankom sør-øst Norge for ca. 1000 år siden har den spredt seg gjennom landet (Seppä et al., 2009), og utgjør i dag rundt 48 % av skogen (Granhus et al., 2012). Dette gjør den til en viktig art for skogbruket og stod for 70 % av virke som ble høstet inn for salg i 2020 (Statistisk sentralbyrå, 2021). Samtidig som gran utgjør en økonomisk verdi vil den som art bidra med et vesentlig opptak av CO₂. Norske skogsarealer tok opp i underkant av 31 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2014 (Norwegian Environment Agency, 2016). For å øke kvalitet og tilvekst kan skogbruket benytte seg av tilskuddsordninger i forbindelse med tilrettelegging for ny skog og skjøtsel av etablert bestand (Forskrift om miljøtiltak mv. i skogbruket, 2004). Dette kan eksempelvis være gjødsling eller grøfting, men noen kommuner gir også muligheter for tilskudd til blant annet tettere planting, ungskogpleie og markberedning (Landbruksdirektoratet, 2021a; Landbruksdirektoratet, 2021b; Sør-Aurdal kommune, 2019). Dette er tiltak som kan øke karbonopptak, vekst, robusthet mot abiotiske og/eller biotiske stressfaktorer og/eller konkurransefortrinn mot annen vegetasjon, enten gjennom tilført næring direkte eller ved endring av vekstforholdene gjennom fysiske inngrep i jorda. Markberedning på hogstflater er eksempelvis forbundet med økt vann- og næringsopptak i planter og redusert konkurranse fra annen vegetasjon (Örlander et al., 1996). Dette er igjen forbundet med høyere overlevelse og vekst, også i påfølgende år (Johansson et al., 2013). Det har også vist seg å være effektivt mot snutebilleangrep (Bjorklund et al., 2003; Örlander & Nilsson, 1999), samt gi økt beskytte mot frostskafer (Langvall et al., 2001).

I Norge er skogeier pålagt gjennom lov å etablere ny skog innen tre til fem år etter hogst. Lovverket legger opp til en bærekraftig bruk av skogens ressurser, og man må tilpasse foryngelsesmetodene deretter (Forskrift om bærekraftig skogbruk, 2006; Skogbrukslova, 2005). Naturlig foryngelse kan i enkelte tilfeller være tilfredsstillende, men ved større hogstflater må egnede planter settes ut som et supplement for å oppnå en høyere tetthet (Hanssen, 2003) som møter kravene i lovverket (Forskrift om bærekraftig skogbruk, 2006). Ved etablering er det hensiktsmessig å oppnå en så høy plantetetthet som forholdene tillater, så raskt som mulig (Johansson et al., 2012). Til skogplanting brukes planter dyrket frem i planteskoler, før de kommer ut på plantefeltet (Nilsson et al., 2010). Det vil imidlertid være stor forskjell på forhold plantene opplever i et veksthus med homogene vekstforhold sammenlignet med hogstflaten den blir satt ut på, og flere ulike utfordringer vil komme over tid. I en etableringsfase er plantene særlig utsatt for disse stressfaktorene. Dette «planteskjokket» kan være mangel på energi, vann og næring på stedet planten befinner seg, eller mangler som følge av en konkurranse mellom ulike vegetasjon, angrep fra insekter og planteetere (Grossnickle, 2005; Grossnickle, 2012; Grossnickle & Macdonald, 2018). Vegetasjonen endrer seg drastisk fra en etablert aldersvarierte og tett skog til en ung jevn gammel bestand nylig utplantet på et hogstfelt. Økt soleksponering legger til rette for flere og nye «pionerarter» som utnytter de endrede forholdene og kan konkurrere om blant annet vann og nitrogen (Hart & Chen, 2006; Lehnert et al., 2013; Örlander et al., 1996). Kvantitet og kvalitet på tilgjengelig næring i jorda og fra nedbrutt avfall endres, samt tilgjengeligheten på vann (Jurgensen et al., 1997). I tillegg vil et hogstfelt ha større og mindre variasjoner i mikroklima, vann- og næringsforhold over korte avstander (Eldhuset et al., 2017; Nacke et al., 2016; Sutinen et al., 2010). Sammensetningen av nedbrytere som eksempelvis sopp opplever også et skifte i artssammensetning ved hogst. Mykorrhiza lever i og på røttene til planter. Denne soppen vil bli sterkt redusert ved hogst og bruker flere år på å komme tilbake. Soppen bidrar til nedbryting og gjør næring tilgjengelig for planter, noe som er særlig viktig i næringsfattige områder med lite tilgjengelig nitrogen (Kyaschenko et al., 2017; Persson et al., 2003). I tillegg vil utplantning av jevnaldrende, like arter kunne gi en konkurranse om de samme ressursene i både tid og rom (Grossiord, 2020), noe som over tid vil kunne redusere tetthet og samlet biomasse (Jonsson et

al., 2019). Klimatiske forhold vil også spille en rolle som eksempelvis kulde og varme. Temperaturen vil generelt variere i større grad på en hogstflate enn i en etablert skog. Særlig under vekstsesongen vil temperaturen kunne øke (Kubin & Kempainen, 1994; Nilsson et al., 2010). For høye temperatur og tørke kan redusere overlevelsen og redusere rotvekst (Luoranen & Viiri, 2016; Nordborg & Welanders, 2001). Kulde vil redusere rotvekst (Heiskanen, 2005) og skade røtter og nåler grunnet frostskafer (Carles et al., 2011; Fløistad & Kohmann, 2004). Planter vil derfor kunne være avhengig av ha tilgang på og lagre viktige ressurser som en «buffer» for å bedre takle perioder med økt stress, men også for å kunne hente seg inn fortere i ettertid, særlig den første vekstsesongen (Heiskanen et al., 2009; Millard & Grelet, 2010). På planteskoler er det tilrettelagt for gode vekstvilkår, noe som kan gi planten «fulle lager» med næring, eksempelvis nitrogen, som den senere kan bruke til første etableringsfase på feltet (Heiskanen et al., 2009). Nitrogen er generelt det største vekstbegrensende næringsstoffet i boreale skoger i Fennoskandia (Högborg et al., 2017). Nitrogeninnhold i nålene varierer i bartrær fra ca. 0,8 til 3,5 % der det optimale for vekst er antatt å ligge mellom 1,5 til 2,5 % (Landis & Nisley, 1990; Tamm, 1968). I planteskolene er verdien høyere og ligger mellom 2,0 % og 2,5 % nitrogen (Ingestad, 1979) for å gi maksimal vekst. Overlevelse er også observert høyest blant ett til to år gamle bartrær når målt nitrogeninnhold i nålene var rundt 2,0 % (Driessche, 1980). I tillegg til høy næringstilgang er planter fra planteskolen som regel behandlet med plantevernmiddel, noe som beskytter planten mot snutebilleangrep det første året (Moore et al., 2021; Örlander & Nilsson, 1999).

I ung alder kan gran vokse relativt raskt, men er avhengig av næring (Nilsson et al., 2012). Studier viser at gjødsling uten nitrogen gir liten effekt (Binkley & Högborg, 2016), mens gjødsling med nitrogen stort sett gir god tilvekst, også hos nylig etablert bestand etter hogst (From et al., 2015; Luoranen & Rikala, 2011). Gran er derfor i mer næringsfattige områder, eksempelvis blåbærskog, kjent for å kunne vokse senere enn blant annet furu (Nilsson et al., 2012). Opptak av nitrogen fra jorda kan begynne allerede innen to uker etter utplanting (Luoranen & Rikala, 2011).

Nitrogenopptaket er avhengig av organisk materiale og mineralisering av nitrogen i jorda. Med økt rotvekst øker også opptaket av nitrogen hos nyplantet gran (Nordborg et al., 2003). På hogstflater vil det være en økning i tilgjengelig nitrogen fra nyhogd avfall fra ca. ett år etter hogst, og avhengig av konkurranse kan det vare opptil fem år (Staaf & Olsson, 1994; Örlander et al., 1996). Samtidig som økt nitrogentilgang gir god tilvekst, vil for høye verdier av nitrogen kunne påvirke rotveksten til plantene. Med høy næringstilgang vil plantene ikke trenge like stort nettverk av røtter for å møte kravet til næringsopptak. Det vil derfor bli en økt satsing på overflatevekst, mens rotvekst blir nedprioritert (Helmisaari et al., 2007). Tidlig skuddvekst grunnet høye nitrogenkonsentrasjoner (1,8 %) gir større fare for frostskafer på våren (Fløistad & Kohmann, 2004; Luoranen & Rikala, 2011). Produksjon av forsvarsstoffer i de nye nålene vil også kunne bli nedprioritert. Nye nåler vil derfor kunne ha et lavere forsvar mot insekter, sykdom og planteetere etter gjødsling (Nybakken et al., 2018).

I Norge er det forventet en økning i nedbør og temperatur, men selv med en økning i nedbør forventes det også en periodevis redusert vannføringen sommerstid, noe som øker faren for tørke flere steder i landet (Hanssen-Bauer et al., 2015). Gran har et grunt rotsystem og danner tjukke organiske og sure jordlag (Berger & Berger, 2012; Schmid & Kazda, 2002). Den er skyggetolerant, men fuktighetskrevende og sårbar for tørke (Ditmarova et al., 2010; Lévesque et al., 2013; Ranade et al., 2019; Solberg et al., 2013). Gran danner et horisontalt lag med rotnettverk i den øvre delen av jorda. Fra større, strukturelle røtter (>2 mm i diameter) vil det spre seg et nettverk av finere røtter. Unge grantrær etablerer tidlig en vertikalvoksende strukturell rot, og ved gode jordforhold og høyere pH vil man kunne ha en økt vertikal rotvekst. Det vil derimot ta flere år før planten etablerer et stort og dypere nettverk av større og finere røtter (Puhe, 2003; Schmid & Kazda, 2002). Dypere

planting (ca. 10 cm) av gran på markberedt plantefelt har vist mindre avgang og skade grunnet tørke, og en økt overflatevekst som etter tre år overgår de grunnere plantede grantrærne (Luoranen & Viiri, 2016). Det er også vist en redusert transpirasjon med opptil 55 % på under to uker i nyplantet gran sammenlignet med ikke-plantet gran. Balansen mellom andel skudd og røtter er viktig. Basert på nålevekst vil redusert størrelse på røtter gi lavere transpirasjon, mens redusert andel skudd gir økt transpirasjon (Lüpke, 1973). Betydningen av godt etablerte røtter som tidlig kan bidra til større robusthet mot stress er derfor stor. Opptak av næring og vann skjer nettopp gjennom røttene, og med skjevfordeling mellom andel skudd og røtter vil plantene være utsatt for tørke. Et godt etablert rotsystem vil gi bedre kontakt og forankring i bakken, ta opp mer næring, og nå ut til fuktigere områder dypere i jorda. Planter som tidlig i etableringsfasen kan danne et godt rotsystem vil derfor legge til rette for en økt vekst og være bedre rustet til å møte abiotiske og biotiske stressfaktorer. Dette vil igjen øke sjansen for å overleve på plantefeltet (Grossnickle, 2005; Grossnickle, 2012; Grossnickle & Macdonald, 2018).

I jordbruket brukes såkalte vekstfremmende midler for å hjelpe plantene i etableringsfasen. Til dette benyttes gjerne sammensatte og komplekse stoffer som har positive virkninger på planteproduktivitet, men som også kan påvirke dyrene som spiser dem. Dette kan blant annet være ulike biprodukter eller ekstrakter fra plantematerialer (Craigie, 2011), og et eksempel på dette er at bønder i kystnære strøk i lang tid brukte tang som jordforbedringsmiddel for å øke planteveksten (Chapman & Chapman, 1980).

Produkter av biologisk opphav som forbedrer planters produktivitet kalles gjerne biostimulanter. Effekten kommer ikke bare fra tilførsel av kjente næringsstoffer, vekstregulatorer eller plantebeskyttende midler, men også på grunn av andre, mer ukjente bestanddeler i produktet (Yakhin et al., 2017). Et eksempel på en biostimulant er etter denne definisjonen ekstrakt fra grisetang (*Ascophyllum nodosum*). Flytende ekstrakt fra grisetang inneholder blant annet karbohydrater av høy og lav molekylær vekt, hormoner og næring. Noe av disse stoffene finnes i planten før ekstrahering, men noen av dem kan også oppstå gjennom prosessen (Craigie, 2011). Ekstraktet har vist effekt i blant annet epleproduksjon, der epler fra trær behandlet med grisetangekstrakt har økt vekt og nitrogeninnhold, samt at trærne har fått økt tilvekst på skudd og økt grønnfarge på bladene (Basak, 2008). I agurkplanter (*Cucumis sativus*) er det funnet et økt innhold av kjemiske forsvarsstoffer (fenoler), motstand mot soppangrep, økt biomasse, rot- og skuddvekst (Jayaraman et al., 2011). Sitrustre (*Citrus macrophylla*) har vist en økt motstand mot tørkestress tidlig i dyrkingsfasen der det ble registrert en økt andel av røtter med mykorrhiza etter behandling med grisetangekstrakt (Conesa et al., 2020). Krypkevein (*Agrostis palustris*) er en gressart som på grunn av sine grunne røtter er utsatt for tørkestress om sommeren. Behandling med grisetangekstrakt ga økt rotutvikling, og økt fotokjemisk aktivitet under tørkestress sammenlignet med kontroll (Zhang et al., 2002).

Grisetangekstrakt har også blitt brukt på hvitgran (*Picea glauca*). Dette ga økt antall hvite røtter, både antall lange (>5 cm) og korte (≤5 cm) i vekstsesongen året etter behandling (Macdonald et al., 2013). De hvite, små røttene vokser ut fra de større, mer strukturelle vedrøttene og bidrar til økt kontakt og opptak av næringsstoffer og vann i jorda. På disse røttene finner man også ofte mykorrhiza (Puhe, 2003). Positive resultater er også vist på vrifuru (*Pinus contorta*) der antall hvite røtter økte i vekstsesongen etter behandling utført sen sommer/høst året før (Macdonald et al., 2012). Det var derimot en forutsetning at det ble brukt riktig blandingsforhold både på vrifuru og hvitgran. For svake og/eller for sterke konsentrasjoner viste ingen økning i rotvekst sammenlignet med kontroll i påfølgende vekstsesong (Macdonald et al., 2012; Macdonald et al., 2013). Høyere konsentrasjoner (1:125) kunne også vise synlig skade på rotvevet hos vrifuru (Macdonald et al.,

2012). Disse to forsøkene viste samtidig en reduksjon i rotlengde samme året, 1-2 måneder etter behandling sen høst/vinter, året før utplanting (Macdonald et al., 2012; Macdonald et al., 2013). Dette kan indikere at ekstrakt fra grisetang ikke er et rent gjødselprodukt. I første omgang kan det være en belastning, samtidig vil det «trigge» en reaksjon i plantene som etter hvert motvirker effekten og kompenserer med en økt vekst som overgår kontrollene på en relativt kort tid. Mengde, frekvens og tidspunkt for behandling vil også kunne påvirke effekten ekstraktet har på planter (Craigie, 2011).

Et annet middel som er brukt for å motvirke abiotisk og biotisk stress og styrke vekst er silisium (Epstein, 1999; Reynolds et al., 2009). Sammen med oksygen er silisium det mest vanlige elementet å finne i jorda (Sposito, 2008). Det kan bidra til økt motstand mot insektskader, samt tørkestress (Reynolds et al., 2009). Planter tar opp silisium gjennom røttene i form av silisiumsyre (H_4SiO_4) i jordvannet. Konsentrasjonen av tilgjengelig silisium vil variere noe avhengig av pH (Epstein, 1994) og jordtype (Epstein, 1999), men ligger rundt 0,05-0,20 mM Silisium i skogsjord (Cornelis et al., 2010). Bartrær er regnet som relativt dårlige til å akkumulere silisium (Hodson et al., 2005), men norsk gran er blant de beste av bartrærne (Carnelli, 2001). Tilførsel av silisium har gitt positive resultater i rot og skuddvekst, relativt vanninnhold og klorofyll i koriander (*Coriandrum sativum*) under saltstress (Al-Garni et al., 2019). Under tørkestress har silisium vist seg å ha positiv effekt på vekst i virakfuru (*Pinus taeda*) (Emadian & Newton, 1989). Giftigheten av aluminium har også vist seg å avta på norsk gran ved silisiumbehandling der det har gitt normal rotvekst (Ryder et al., 2003).

Hvordan man skal tilpasse skogbehandlingen til et endret klima har tidligere ikke vært like høyt prioritert i Norge som i andre land (Søgaard et al., 2017). Klima er variert og påvirker skogens dynamikk og vekst forskjellig avhengig av hvor man befinner seg i landet (Hanssen-Bauer et al., 2015). Et endret klima vil derfor gi en endret risiko for ulike stressfaktorer plantene kan oppleve. Sett opp mot de ulike utfordringene skogplantene møter rett etter utplanting, og betydningen norsk gran har i møte med framtidens klima, vil det derfor være av interesse å se om midler tidligere brukt i landbruket og forsøk utført på norsk gran, hvitgran og vrifuru vil kunne gi en tilsvarende effekt på skogkulturen i Norge. Tidligere forsøk på bartrær har gjentatte behandlinger med biostimulant på samme individ over tid (Macdonald et al., 2012; Macdonald et al., 2013). I skogbruket vil flere behandlinger gjennom en vekstsesong kunne føre til en vesentlig økning i tid brukt på plantefeltet og dermed økning i kostnad. Det vil derfor være av interesse å se om det er mulig oppnå lignende resultater med en mer praktisk gjennomførbar tilnærming.

I denne masteroppgaven ønsket jeg å se om det var mulig å oppnå tilsvarende effekter som tidligere vist på blant annet hvitgran og vrifuru behandlet med grisetangekstrakt, samt effekter som tidligere vist på andre arter der det er benyttet silisiumbehandling. For at disse midlene skal kunne brukes av skogeier, må de testes under reelle forhold og med en praktisk og gjennomførbar metode. Jeg testet derfor et opplegg med kun en behandling før utplanting, noe som også fører til at skogeier enkelt kan behandle større antall planter på kort tid.

Basert på litteraturen beskrevet over satte jeg opp tre hypoteser: (1) friske planter behandlet med grisetangekstrakt alene eller i kombinasjon med silisium vil oppnå økt rotlengde sammenlignet med kontrollgruppen etter endt vekstsesong. Et godt etablert rotsystem legger til rette for økt opptak av næringsstoffer og vann. Dette vil kunne gi bedre robusthet mot en rekke stressfaktorer (Grossnickle, 2005; Grossnickle, 2012; Grossnickle & Macdonald, 2018; Nordborg et al., 2003). På bakgrunn av dette hypotetiserte jeg at (2) friske planter behandlet med grisetangekstrakt alene eller i kombinasjon med silisium ville ha et økt innhold av nitrogen og et lavere C:N-forhold sammenlignet med kontrollgruppen etter endt vekstsesong, og (3) planter behandlet med grisetangekstrakt alene

eller i kombinasjon med silisium vil vise bedre vitalitet og lavere dødelighet i første vekstsesong sammenlignet med kontrollgruppen.

2. Material og metode

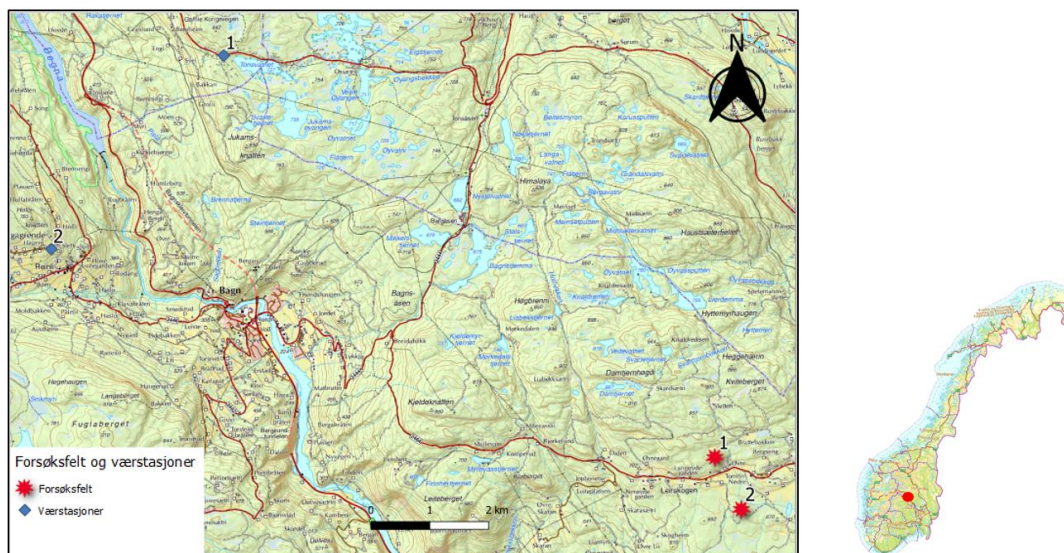
2.1 Studieområde

Feltstudien ble gjennomført i Sør-Aurdal kommune i Valdres, Innlandet fylke fra 01. juni 2020 til 18. oktober 2020. De to forsøksfeltene var lokalisert på Leirskogen, ca 8,5 km sør-øst for tettstedet Bagn (60.79716°N 9.70067°Ø). Området har et innlandsklima der somrene er tørre og vintrene er kalde. Værdata for området er hentet fra nærmeste værstasjoner der værstasjon på fv.33, Tonsåsen (1) har registrert temperatur og værstasjon i Reinli (2) har registrert nedbør under perioden for forsøket (tabell 1; figur 1).

Tabell 1: Værdata for Tonsåsen (middeltemperatur) og Reinli (nedbør) fra 1.juni til 18.oktober 2020.

Måned (2020)	Middeltemperatur Tonsåsen (°C)	Nedbør Reinli (mm)
Juni	14,6	123,6
Juli	10,0	118,2
August	13,5	41,2
September	8,0	71,9
Oktober (01. – 18.)	5,0	123,1

Studieområdet ligger i boreal barskog på grensen mellom nordboreal og mellomboreal sone (Moen et al., 1999). Skogen er dominert av norsk gran og blir nyttet som utmarksbeite av i hovedsak sau i sommerhalvåret. Naturtypen er etter NiN-systemet karakteristisk blåbærskog (T4-C1), noe som indikerer mindre uttørkingsfare, men også mer kalkfattig område sammenlignet med andre naturtyper i fastmarkskogsmark (T4) (Bratli & Øien, 2019). Området ligger på podsoljord. Forsøksfelt 1 og 2 (figur 1) befinner seg i bestand som er avvirket som flatehogst i 2019. Nordlige hogstflate er på ca. 65,5 daa med bonitet G11, ca. 750 m.o.h. Sørliche hogstflate er på ca. 49,0 daa med bonitet G14, ca. 650 m.o.h. Begge hogstflater ble markberedt høsten 2019.



Figur 1: Utvidet kart til venstre viser forsøksfelt 1 og 2 (Leirskogen), værstasjon 1 (Tonsåsen) og 2 (Reinli). Norgeskartet til høyre viser plassering i Norge, Sør Aurdal kommune (rød prikk).

2.2 Forsøksdesign

Det ble etablert et forsøksfelt på hver av de to utvalgte hogstflatene; et forsøksfelt på nordlige hogstflate (1) og et forsøksfelt på sørlige hogstflate (2). Begge forsøksfelt ble målt inn og markert, tilnærmet likt et rektangel på 40x25 meter. Disse ble plassert i nordre del på hver hogstflate, for at solinnstråling skulle være tilnærmet lik for begge forsøksfelt (figur 2). Innenfor forsøksfelt 1 og 2 var det 15 tilnærmet parallelle striper med markberedingsflekker med vendt toppjord med et snitt på ca. 2,5 meter mellom hver stripe etter markberedningen. Disse stripene gikk parallelt med kortsiden av de oppmålte rektanglene og dannet radene for utplantning.



Figur 2: Bilde fra forsøksfelt 1 med markeringer for avgrensning av forsøksfelt 1, retning sør-vest.

2.3 Plantemateriale

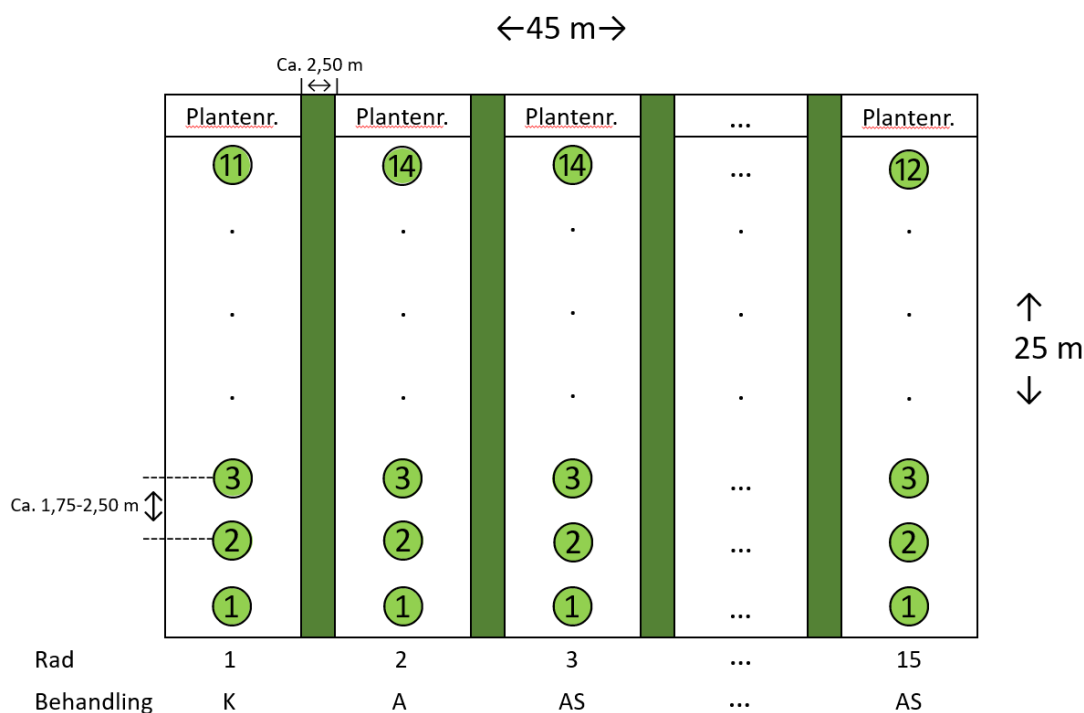
Plantematerialet som ble brukt i denne studien var ettårige granplanter M-95 fra Kaupanger frøplantasje (Kaupanger SAMS), til sammen 360 stk. Plantene kom kjemisk behandlet med insektsmiddelet Imprid-skog (virksomt stoff Acetamiprid).

2.4 Behandling

Azelis er en distributør av kjemiske stoffer med hovedkontor i Luxemburg (www.azelis.com). Azelis Agri/Horti leverte Acadian (grisetangekstrakt) og Silicapower (vannbasert silisium, 3 % Si) med forslag om å teste Acadian alene og Acadian sammen med Silicapower. De 360 plantene ble tilfeldig delt opp i tre ulike grupper, én gruppe for hver type behandling (120 planter per behandling, 60 planter per behandling per forsøksfelt). De tre behandlingene var (1) Kontroll, rent vann (K); (2) Acadian, blandet i rent vann (A); og (3) Acadian og Silicapower blandet i rent vann (AS). Før utplanting på hvert forsøksfelt ble hver gruppe på 60 planter satt i en 20 liters bøtte med væske etter type behandling, godt blandet med egen rørepinne. Væsken dekket alle torvplugger fullstendig. Plantene ble stående i væsken i ca. fire minutter for å sikre at torven ble fullstendig fuktet før utplanting. Mellom hver behandling ble bøtten skylt grundig med rent vann tre til fire ganger. Gruppe K ble behandlet med 5 L rent vann. Gruppe A ble behandlet med 5 L rent vann og 15 ml Acadian. Gruppe AS ble behandlet med 5 L rent vann, 15 ml Acadian og 2,5 ml Silicapower.

2.5 Planting

På hvert forsøksfelt ble hver enkelt rad plantet med en type behandling K, A eller AS. Disse tre behandlingene utgjorde til sammen et gjentak (tre rader). Det var fem gjentak, som utgjorde totalt 15 rader for hvert forsøksfelt. Hvert gjentak inneholdt 10-14 planter av hver behandling (figur 3). Variasjonen i antall planter per rad skyldes varierende tykkelse på jordsmonnet som førte til ingen eller bare delvis vending av jorden ved markberedning og dermed ingen passende planteplass. Plantene ble satt ut med en avstand på 1,75-2,5 meter. For utplanting ble det brukt Pottiputki planterør, diameter 45 mm. Plantene ble satt i stripene etter markberedning med vendt toppsjikt av podsoljord. Plantegruppe A ble markert med svarte strips, AS markert med hvite strips, mens K ikke hadde noen markering. Plantingen ble utført den 01. Juni 2020.



Figur 3: Illustrasjon på forsøksfelt, her vist med komprimert utgave av forsøksfelt 2. Plantenr viser utplantede planter som er nummerert (1-14). Rad 1-3 viser behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower) og utgjør gjentak 1, osv. til sammen 5 gjentak (dette utgjør totalt 15 rader).

2.6 Vitalitet

Vitalitet ble kontrollert ca. hver fjerde uke etter planting i juni og fram til sluttregistrering i oktober (27.juni, 24. juli, 22. august, 19. september og 17. oktober 2020). Forsøksfelt 1 og 2 ble systematisk gjennomgått og hver plante vurdert for synlige biotiske og abiotiske skader. Eksempel på dette var skader på bark, stamme, greiner, tydelig fargeskift på nåler, mengde nåler og tørkeskade. Basert på tidligere forsøk der planteskader er registrert ble samlet skadeomfang sammenstilt til en fem-poengskala for hver plante (Nilsson et al., 2019; Petersson & Örlander, 2003; Petersson, 2005; Wallertz et al., 2016). Poengskala betydde: 1 = frisk uten synlige skader, 2 = frisk med mindre skader, 3 = tydelig skadet, 4 = kritisk skadet og 5 = død.

Ved samtlige kontroller ble det kun gjenfunnet 56 av 60 planter fra behandling K på forsøksfelt 2. Dette skyldes mest sannsynlig tellefeil ved planting. Tomme plantehull ble ikke observert og avstand mellom planter stemte med planlagt plantemønster.

2.7 Behandling av prøver og analyse

2.7.1 Karbon, Nitrogen og C:N-forhold

For karbon- (C) og nitrogeninnhold (N) ble det tatt nåleprøver to ganger; en gang ved utplantning den 01.juni 2020, og en gang ved sluttregistrering den 18.oktober 2020. Ti nåler, fra årsskudd per plante ble samlet inn, ca. tre centimeter ned fra toppunktet på hovedstammen. Hver prøve ble lagt i papirkonvolutt, merket med behandling, rad, plantenummer og lagt i kjøleboks. Prøvene ble fraktet til Ås samme dag som prøvene ble tatt for tørking i tørkeskap på 30 °C i 72 timer, før de ble lagt på kjøll i -20°C frem til videre behandling og analyse. Den 01.juni ble det tatt nåleprøver av de seks første plantene (1-6) i alle 15 radene på forsøksfelt 2. Totalt antall prøver fra 01.juni var 90 stk; 30 prøver

per behandling. Den 18.oktober ble nåleprøver fra de seks første plantene (1-6) i rad 1-9 på forsøksfelt 1 og 2 samlet inn (figur 3). Totalt antall prøver fra 18. oktober var 108 stk; 36 prøver per behandling.

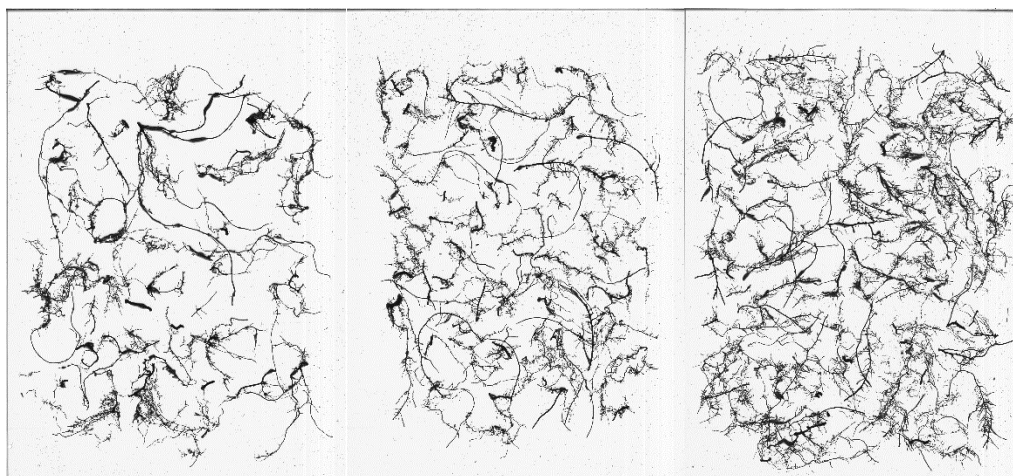
Før analyse av C og N ble de totalt 198 prøvene fra 01. juni og 18. oktober 2020 malt til pulver med kulemølle (Retsch MM400, Retsch GmbH, Germany). Hver enkelt prøve med ti nåler ble lagt i fem ml Eppendorf prøverør ved hjelp av pinsett sammen med en metallkule med vinger, merket med prøvenummer og ristet i kulemølle på vibrasjonsfrekvens 30 Hz i to minutter. Prøvene ble så veid inn til 5 mg (+/- 0,5 mg) i tinnbåter og pakket. Prøvene ble analysert for %C og %N med en elementanalysator (Elementar vario MICRO Cube, Germany).

2.7.2 Rotskanning

Friske planter (H1) ble samlet inn for rotskanning den 17. oktober 2020. Det ble gravd opp én tilfeldig plante i 14 av 15 rader i forsøksfelt 1 og to planter fra én rad (AS), totalt 16 planter. Fra forsøksfelt 2 ble én tilfeldig plante fra hver av radene gravd opp. Dette innebar å ta en god mengde jord fra rundt planten for å sikre at hele roten ble med. Den ene planten som var gravd opp viste seg å være to planter (som hadde stått sammen siden planteskolen) og ble derfor fjernet fra samlingen. Derfor ble det totalt ti planter fra behandling K, ni fra behandling A og elleve fra behandling AS. Plantene, sammen med jord og røtter, ble plassert i plastposer og merket før de ble lagt på kjølelager i +4 °C den 18.oktober 2020 fram til behandling og videre analyse.

Plantene ble vasket for jord og torvresten ved hjelp av pinsett, sil og vann. Hovedstammen fra planten ble klippet av ved rothalsen og røttene fra hver enkelt plante ble lagt på eget prøveglass fylt med vann, merket og lagt tilbake på kjølelager i +4 °C fram til skanning. Det er mulig noen av røttene i den minste diameterklassen gikk tapt i vaskeprosessen.

Før rotskanning ble hver rot enkeltvis klipt opp i egnede lengder, slik at de lå spredt og flatest mulig under en vannflate på ca. 0,5 cm på et gjennomsiktig plastbrett. Plastbrettet ble plassert i og skannet med EPSON Expression 11000XL (epson America Inc.). Skannet bilde (figur 4) ble deretter prosessert gjennom programvaren WinRhizo (WinRhizo v2013a, Regent Instruments Canada Inc.). Programmet klassifiserte skannede røtter i 16 diameterklasser og målte lengde på røttene i cm for hver diameterklasse. Klassene bestod av et intervall på 0,1 mm fra 0 til 1,0 mm, deretter et intervall på 0,2 mm opp til 2,0 mm og en klasse over 2,0 mm.



Figur 4: Skannet bilde av røtter, behandling K (kontroll) til venstre (felt 1, rad 1, plante 10), A (Acadian) i midten (felt 1, rad 5, plante 10) og AS (Acadian+Silicapower) til høyre (felt 1, rad 3, plante 8).

2.7.3 Dataanalyse

Innsamlede data ble sammenstilt, tabeller, og figurer ble laget i Microsoft Excel 2016, versjon 16.0.4266.1001 (Microsoft Corporation, 2016). Statistiske analyser ble gjennomført i R studio versjon 1.4.1103.

Data for vitalitet ble analysert med Pearson's Chi-kvadrattest med Yates kontinuitetskorrelasjon for å finne signifikante forskjeller mellom behandlingene. Gjennom feltsesongen ble det observert at planter i gruppe H2 og H3 (lettere skadet og skadet) kunne få en bedre vitalitet gjennom feltforsøket, men planter i gruppe H4 og H5 (kritisk skade og død) endret ikke vitalitetsstatus. Derfor ble fem-poengskala delt inn i tre grupper, gruppe 1=H1, gruppe 2=H2-H3 og gruppe 3=H4-H5. Chi-kvadrattest ble gjennomført på hver måned med behandlingene K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower) som variabler og gruppe 1-3 som responsvariabler. Det ble totalt åtte chi-kvadrattester med tre-gruppeinndeling (tabell 4). For å se hvor forskjeller lå mellom de ulike behandlingene i oktober, delte jeg fem-poengskalaen inn i to grupper og gjennomførte samme test. Gruppe 1 = H1-H4, gruppe 2 = H5. Etter hver test la jeg en av de fire poenggruppene fra gruppe 1 over i gruppe 2, fra H4 og ned til og med H2. Behandling K, A og AS var variabler, og gruppe 1 og 2 var responsvariabler. Dette ga totalt 16 chi-kvadrattester med to-gruppeinndeling (tabell 5). Data ble godkjent som signifikant forskjellig ved p-verdi under 0,05.

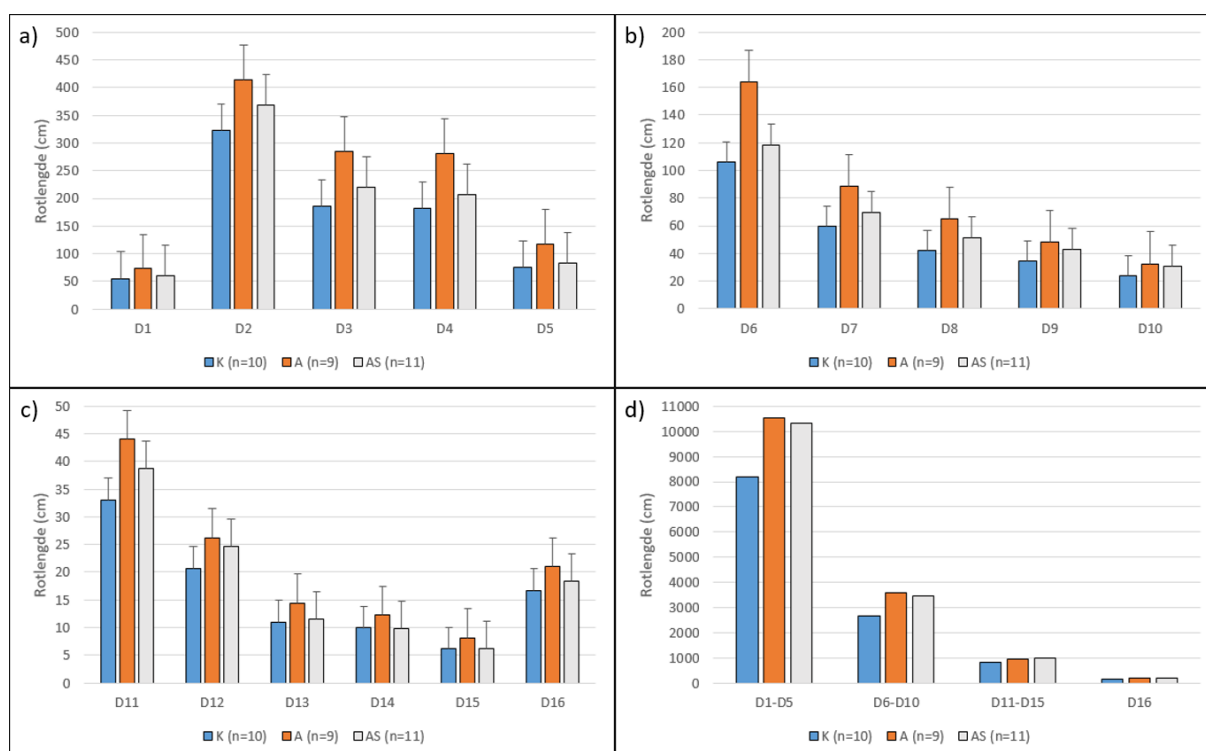
Shapiro-Wilk test for normalitet (normalitetstest) ble gjennomført på hver responsvariabel innenfor hver enkelt behandling i karbon, nitrogen, CN- og rotskanningdata. Tallmateriale ble godkjent som normalfordelt med p-verdi under 0,05. Normalfordelingen på de ulike responsvariablene innenfor hver behandling varierte noe. Det ble gjennomført LOG-tranformasjon, standardavvik og LOG-transformasjon av standardavvik i et forsøk for å få fullstendige sett med normalfordelte data. Det var fortsatt variasjon på enkelte responsvariabler innenfor behandlingene. Alle data, ubehandlet og transformerte data ble derfor tatt med videre i analysen der residualer ble visuelt sjekket om modellantagelser stemmer. Sammenligning av ubehandlet data og transformert data viste at ubehandlet data jevnt over viste bedre residualer og statistiske tester ble derfor gjennomført på disse.

CN-resultater og rotskanningdata ble testet ved hjelp av variansanalyse flerveis-ANOVA. ANOVA-test ble gjennomført med «Tukey's Honest Significant Difference` method» der man ser etter signifikante forskjeller i gjennomsnittet mellom behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower). Responsvariablene Karbonkonsentrasjon (C), Nitrogenkonsentrasjon (N) og C:N-forhold (C:N) ble testet opp mot K, A og AS som variabler for juni og oktober. Hver enkelt diameterklasse fra rotdata (D1 til D16), summert total lengde (D1-D16), summerte finrøtter (D1-D5), summerte mellomstore røtter (D6-D10) og summerte store røtter (D11-D15) ble testet som responsvariabler opp mot de tre variablene K, A og AS. Data ble godkjent som signifikant forskjellig ved p-verdi under 0,05.

3. Resultat

3.1 Rotskanning

Da diameterklassene ble delt inn i finrøtter (D1-D5), mellomstore røtter (D6-D10), større røtter (D11-D15) og røtter over 2 mm i diameter (D16) var i gjennomsnitt 69,1 % i D1-D5 (0,0-0,5 mm), 23,0 % i D6-D10 (0,5-1,0 mm), 6,6 % i D11-D15 (1,0-2,0 mm) og 1,3 % i D16 (>2 mm) i alle behandlinger sett under ett. Behandling A hadde gjennomsnittlig lengst røtter i alle diameterklasser, mens kontrollen var kortest i alle diameterklasser, bortsett fra D14 (tabell 2; figur 5 a, b, c og d). Behandling A hadde signifikant lengre røtter i summert diameterklasse D6-D10 sammenlignet med kontrollen. For hver enkelt diameterklasse hadde A signifikant lengre røtter i diameterklasse D5, D6 og D8 sammenlignet med kontrollen (tabell 3).



Figur 5: **a)** Gjennomsnitt rotlengthe i diameterklasse D1-D5 ved sluttregistrering i oktober for behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower). Vertikale feilfelt viser standardfeil. Diameterklassene var: D1=0-0,1 mm ; D2=0,1-0,2 mm ; D3=0,2-0,3 mm ; D4=0,3-0,4 mm ; D5=0,4-0,5 mm. **b)** Gjennomsnitt rotlengthe i diameterklasse D6-D10 ved sluttregistrering i oktober for behandling K, A og AS. Vertikale feilfelt viser standardfeil. Diameterklassene var: D6=0,5-0,6 mm ; D7=0,6-0,7 mm ; D8=0,7-0,8 mm ; D9=0,8-0,9 mm ; D10=0,9-1,0 mm. **c)** Gjennomsnitt rotlengthe i diameterklasse D11-D16 ved sluttregistrering i oktober for behandling K, A og AS. Vertikale feilfelt viser standardfeil. Diameterklassene var: D11=1,0-1,2 mm ; D12=1,2-1,4 mm ; D13=1,4-1,6 mm ; D14=1,6-1,8 mm ; D15=1,8-2,0 mm ; D16=>2 mm. **d)** Summert rotlengthe i inndelte diameterklasser ved sluttregistrering i oktober for behandling K, A og AS. D1-D5=0,0-0,5 mm, D6-D10=0,5-1,0 mm, D11-D15=1,0-2,0 mm og D16=>2,0 mm.

Tabell 2: Gjennomsnittlig målt rotlengde (cm) i diameterklasse D1 til D16 og gjennomsnitt av summert rotlengde i D1-D5 (finrøtter), D6-D10 (mellomstore røtter) og D11-D15 (store røtter) for behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower) fra sluttregistrering i oktober. Diameterklassene var: D1=0-0,1 mm, D2=0,1-0,2 mm, D3=0,2-0,3 mm, D4=0,3-0,4 mm, D5=0,4-0,5 mm, D6=0,5-0,6 mm, D7=0,6-0,7 mm, D8=0,7-0,8 mm, D9=0,8-0,9 mm, D10=0,9-1,0 mm, D11=1,0-1,2 mm, D12=1,2-1,4 mm, D13=1,4-1,6 mm, D14=1,6-1,8 mm, D15=1,8-2,0 mm, D16=>2 mm, D1-D5=0,0-0,5 mm, D6-D10=0,5-1,0 mm, D11-D15=1,0-2,0 mm og D1-D16=0->2 mm.

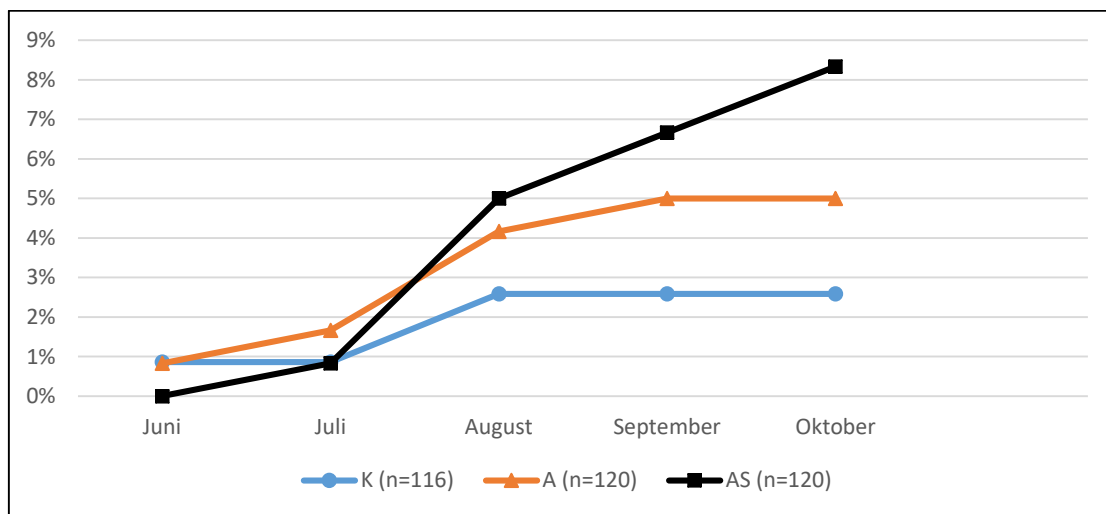
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
K	55,58	322,03	185,23	181,61	74,79	106,30	59,75	42,28	34,84	24,18
A	73,51	414,61	284,55	281,08	117,31	163,75	88,78	65,02	48,11	32,52
AS	59,51	367,71	219,41	207,25	83,13	118,20	69,30	51,58	42,84	30,91
	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D1-D5	D6-D10	D11-D15	D1-D16
K	33,09	20,65	11,04	9,91	6,11	16,64	819,25	267,34	80,80	1184,03
A	44,00	26,24	14,45	12,21	8,13	20,96	1171,06	398,19	105,04	1695,24
AS	38,79	24,69	11,52	9,88	6,26	18,39	937,00	312,83	91,14	1359,36

Tabell 3: Resultat fra «Tukey's Honest Significant Difference» Method" og F-test av ANOVA-modell. Gjennomsnittlig rotlengde (cm) i ulike diameterklasser fra sluttregistrering i oktober for behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower) er målt opp mot hverandre (K-A, K-AS, AS-A). Diff og P-verdi er hentet fra «Tukey's Honest Significant Difference», F-verdi og Pr(>F) er hentet fra F-test på ANOVA-modell. Fet skrift viser P-verdi og Pr(>F) verdi under 0,05. Diameterklassene var: D1=0-0,1 mm, D2=0,1-0,2 mm, D3=0,2-0,3 mm, D4=0,3-0,4 mm, D5=0,4-0,5 mm, D6=0,5-0,6 mm, D7=0,6-0,7 mm, D8=0,7-0,8 mm, D9=0,8-0,9 mm, D10=0,9-1,0 mm, D11=1,0-1,2 mm, D12=1,2-1,4 mm, D13=1,4-1,6 mm, D14=1,6-1,8 mm, D15=1,8-2,0 mm, D16=>2 mm, D1-D5=0,0-0,5 mm, D6-D10=0,5-1,0 mm, D11-D15=1,0-2,0 mm og D1-D16=0->2 mm.

		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
K-A	Diff	-17,924	-92,578	-99,320	-99,475	-42,515	-57,453	-29,032	-22,739	-13,277	-8,342
	P-verdi	0,458	0,556	0,157	0,077	0,041	0,031	0,062	0,048	0,200	0,301
K-AS	Diff	-3,926	-45,673	-34,181	-25,640	-8,336	-11,900	-9,553	-9,304	-8,004	-6,727
	P-verdi	0,958	0,851	0,772	0,812	0,857	0,829	0,692	0,538	0,511	0,417
AS-A	Diff	-13,998	-46,905	-65,139	-73,835	-34,180	-45,554	-19,480	-13,435	-5,273	-1,615
	P-verdi	0,604	0,852	0,421	0,214	0,105	0,093	0,249	0,303	0,756	0,952
	F-verdi	0,802	0,546	1,856	2,764	3,689	3,994	2,922	3,136	1,596	1,329
	Pr(>F)	0,459	0,586	0,176	0,0809	0,038	0,030	0,071	0,060	0,221	0,282
		D11	D12	D13	D14	D15	D16	D1-D5	D6-D10	D11-D15	D1-D16
K-A	Diff	-10,912	-5,588	-3,414	-2,308	-0,473	-4,315	-351,813	-130,844	-24,235	-511,208
	P-verdi	0,274	0,443	0,347	0,531	0,393	0,643	0,208	0,049	0,337	0,146
K-AS	Diff	-5,705	-4,035	-0,479	0,026	-0,244	-1,748	-117,756	-45,487	-10,335	-175,326
	P-verdi	0,667	0,621	0,976	1,000	0,995	0,922	0,814	0,638	0,797	0,765
AS-A	Diff	-5,207	-1,553	-2,934	-2,334	-0,230	-2,568	-234,057	-85,357	-13,900	-335,882
	P-verdi	0,726	0,934	0,438	0,509	0,429	0,848	0,472	0,238	0,680	0,404
	F-verdi	1,242	0,834	1,167	0,793	1,091	0,411	1,560	3,177	1,036	1,937
	Pr(>F)	0,305	0,445	0,326	0,463	0,350	0,667	0,228	0,058	0,369	0,164

3.2 Vitalitet

Fra planting i juni til sluttregistrering i oktober observerte jeg variasjon mellom H1 og H3 (frisk, mindre skadet og tydelig skadet) i alle tre behandlinger, men alle hadde en økende trend i gruppe H4 og H5 (kritisk skadet og død). Det ble ikke registrert gnag på bark eller toppskudd. I hovedsak var observerte skader brun farge på nåler fra nålespiss og ned tidlig i sesongen, og en overgang i nålefarge fra grønt til gult gjennom sesongen. Felles for avgang og skade gjennom forsøksperioden fra juni til oktober virket å være abiotiske stressfaktorer. Antall friske planter (H1) gikk ned i behandlingene K, A og AS fra utplantning til registrering sent i juni med henholdsvis 8,6 %, 9,2 % og 10,0 %. Ved sluttregistrering i oktober hadde behandlingene K, A og AS henholdsvis 91,4 %, 93,3 % og 82,5 % planter i gruppe H1. I behandling K, A og AS økte antallet planter i kategoriene mindre skadet og tydelig skadet (H2-H3) fra utplantning til registrering sent i juni med henholdsvis 7,8 %, 8,3 % og 10,0 %. Ved sluttregistrering hadde K 6,0 %, A 1,7 % og AS 9,2 % i H2-H3. I behandling K, A og AS var andelen i kritisk skadet og død (H4-H5) fra utplantning til registrering sent i juni 0,9 %, 0,8 % og 0,0 %. Trenden for alle behandlinger var økende, men ingen av behandlingene oversteg 10 %. K hadde 2,6 %, A 5,0 % og AS 8,3 % i H4-H5 i oktober. Registrering den 22. august hadde størst økning av andel planter i H4-H5 for K, A og AS med henholdsvis 1,7 %, 2,5 % og 4,2 % (figur 6; tabell 4).



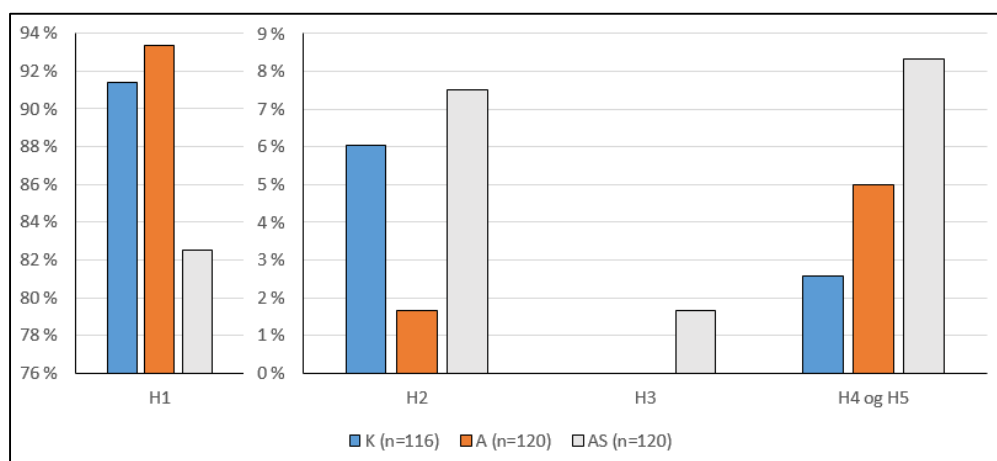
Figur 6: Andel planter (%) fordelt på behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower) til sammen i vitalitetsgruppe H4 (kritisk skadet) og H5 (død) fra registrering i juni til sluttregistrering i oktober.

I juni, juli, august og september var det ingen signifikante forskjeller i vitalitet mellom behandlingene, men ved sluttregistrering i oktober var det en signifikant forskjell i vitalitet mellom behandlingene der AS hadde størst andel i gruppe H2+H3 og H4+H5 (tabell 4).

Tabell 4: Antall registrerte planter i sammenslåtte vitalitetsgruppe for behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower) fra første registrering i juni til sluttregistrering i oktober. Fet skrift viser P-verdi under 0,05. P-verdi, df, og x-kvadrat er regnet ut med Pearson chi-kvadrattest.

Vitalitet juni-oktober					Chi-kvadrattest		
Måned	Behandling	H1	H2-H3	H4-H5	P-verdi	df	x-kvadrat
Juni	K	106	9	1	0,844	4	1,400
	A	109	10	1			
	AS	108	12	0			
Juli	K	106	9	1	0,641	4	2,520
	A	110	8	2			
	AS	105	14	1			
August	K	110	3	3	0,091	4	8,001
	A	110	5	5			
	AS	102	12	6			
September	K	107	6	3	0,119	4	7,339
	A	110	4	6			
	AS	100	12	8			
Oktober	K	106	7	3	0,031	4	10,646
	A	112	2	6			
	AS	99	11	10			

Det var signifikant forskjell mellom behandlingene i oktober når jeg skilte de friske og lettere skadde plantene (H1-H2) fra tydelig skadet, kritisk skadet og døde planter (H3-H5). Her fikk behandling AS en andel planter på 10,0 % sammenlignet med 2,6 % og 5,0 % for behandlingene K og A i gruppe H3-H5 (figur 7). Sammenlignet jeg behandlingene så jeg K og AS var signifikant forskjellige (tabell 5).



Figur 7: Andel planter (%) fordelt på behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower) i vitalitetsgruppe H1 (frisk), H2 (lettere skadet), H3 (tydelig skadet), H4 (kritisk skadet) og H5 (død) ved sluttregistrering i oktober. H1 vises med y-akse 76-94 %, H2-H5 vises med y-akse 0-9 %.

Tabell 5: Antall planter i vitalitetsgruppe H1 (frisk), H2 (lettere skadet), H3 (tydelig skadet), H4 (kritisk skadet) og H5 (død) for behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower) ved sluttregistrering i oktober. Chi-kvadrattest viser ulike inndelinger av fem-poengskalaen (H1-H5) og hvilke behandlinger som blir testet opp mot hverandre (K-A-AS, K-A, K-AS og AS-A). Fet skrift viser P-verdi under 0,05. P-verdi, df og x-kvadrat er regnet ut med Pearson chi-kvadrattest. Legg merke til at ingen av behandlingene har planter i H4 og kun AS har planter i H3.

Oktober					
Behandling	H1	H2	H3	H4	H5
K	106	7	0	0	3
A	112	2	0	0	6
AS	99	9	2	0	10
Chi-kvadrattest	H1, H2-H3, H4-H5	H1-H4, H5	H1-H3, H4-H5	H1-H2, H3-H5	H1, H2-H5
P-verdi	0,031	0,143	0,143	0,047	0,017
df	4	2	2	2	2
x-kvadrat	10,646	3,897	3,897	6,104	8,180
P-verdi	0,144	0,530	0,530	0,530	0,749
df	2	1	1	1	1
x-kvadrat	3,876	0,394	0,394	0,394	0,102
P-verdi	0,089	0,099	0,099	0,039	0,068
df	2	1	1	1	1
x-kvadrat	4,831	2,7207	2,7207	4,2725	3,3346
P-verdi	0,018	0,438	0,438	0,220	0,018
df	2	1	1	1	1
x-kvadrat	8,032	0,603	0,603	1,502	5,648

3.3 Karbon, Nitrogen og C:N-forhold

3.3.1 Karbon

Det var ingen signifikant forskjell i karboninnhold mellom behandlingene, hverken i juni eller i oktober, men konsentrasjonen økte i gjennomsnitt i denne perioden fra 46,27 % til 47,59 % for alle behandlinger sammenlagt. Nåleprøver fra juni viste at behandling K var i gjennomsnitt høyest med 46,64 % (50,96 % ± 7,94 p.p.). A var i gjennomsnitt lavest med 46,00 % (41,86 ± 7,18 p.p.). AS hadde 46,16 % (45,58 % ± 2,41 p.p.). Resultater fra prøver i oktober viste at K hadde en økning i gjennomsnitt fra juni med 0,85 p.p. og lå på 47,49 % (47,23 % ± 1,79 p.p.). A hadde den største økningen i gjennomsnittet med 1,62 p.p. og lå på 47,62 % (47,29 % ± 1,54 p.p.). AS økte også i gjennomsnitt karboninnhold med 1,49 p.p. og hadde høyest karboninnhold på 47,65 % (47,00 % ± 2,23 p.p.) (tabell 6).

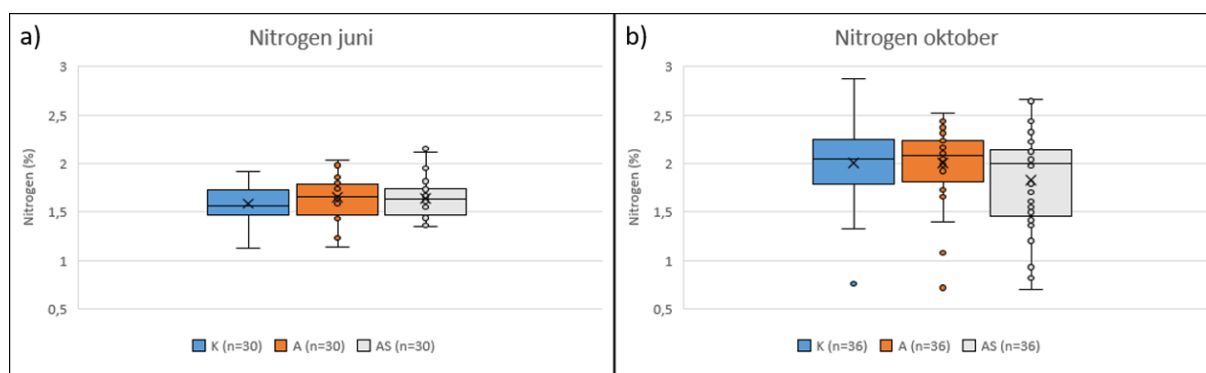
3.3.2 Nitrogen

Det var ingen signifikant forskjell i nitrogeninnhold mellom behandlingene, hverken i juni eller i oktober, men konsentrasjonen økte i denne perioden fra 1,63 % til 1,95 % i gjennomsnitt for alle behandlinger sammenlagt. Nåler fra juni viste at K hadde lavest gjennomsnitt på 1,59 % (1,52 % ± 0,40 p.p.). A hadde det høyeste gjennomsnittet i juni med 1,65 % (1,59 % ± 0,45 p.p.). AS lå på 1,64 %

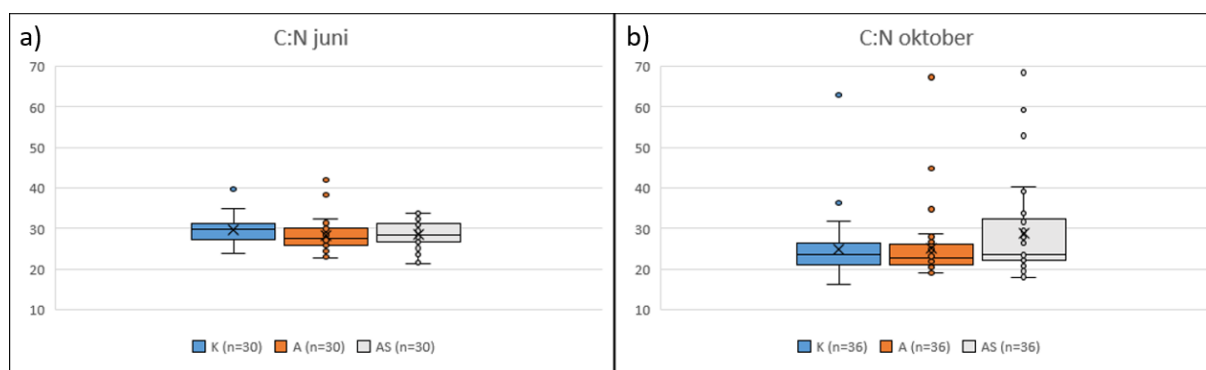
(1,75 % $\pm$ 0,40 p.p.) (figur 8a; tabell 6). Resultater fra prøver i oktober viste at K hadde størst økning i nitrogeninnhold med 0,42 p.p. og lå på 2,01 % (1,82 % $\pm$ 1,06 p.p.). A hadde en økning i gjennomsnittet på 0,36 p.p. og lå på 2,01 % (1,62 % $\pm$ 0,90 p.p.). AS hadde minst økning med 0,18 p.p. og et gjennomsnitt på 1,82 % (1,68 % $\pm$ 0,98 p.p.) (figur 8b; tabell 6).

3.3.3 C:N forhold

Det var ingen signifikant forskjell i C:N-forholdet mellom behandlingene, hverken i juni eller i oktober. Gjennomsnittet sank i denne perioden fra 28,90 til 26,32 for alle behandlinger sammenlagt. Behandling K hadde en reduksjon fra 29,75 til 24,93, A hadde reduksjon fra 28,37 til 25,15 og AS hadde en økning fra 28,58 til 28,87 (figur 9; tabell 6).



Figur 8: **a)** Nitrogeninnhold (%) i nåleprøver for behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower) fra utplanting i juni. **b)** Nitrogeninnhold (%) i nåleprøver for behandling K, A og AS fra sluttregistrering i oktober.



Figur 9: **a)** C:N-forhold i nåleprøver for behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower) fra utplanting i juni. **b)** C:N-forhold i nåleprøver for behandling K, A og AS fra sluttregistrering i oktober.

Tabell 6: Nitrogenkonsentrasjon (spredning i målt prosentverdi og gjennomsnittlig prosentverdi), karbonkonsentrasjon (spredning i målt prosentverdi og gjennomsnittlig prosentverdi) og C:N forhold (spredning og gjennomsnitt) i nåleprøver fra utplanting i juni og fra sluttregistrering i oktober for behandling K (kontroll), A (Acadian) og AS (Acadian+Silicapower). ANOVA viser P-verdi, diff, F-verdi og Pr(>F) for behandlinger målt opp mot hverandre (K-A, K-AS og AS-A). P-verdi og diff er regnet ut fra Tukey's Honest Significant Difference` Method», F-verdi og Pr(>F) er hentet fra F-test på ANOVA-modell.

Juni							
Nitrogen	K	A	AS	ANOVA	K-A	K-AS	AS-A
Prosent	1,52±0,40	1,59±0,45	1,75±0,40	Diff	-0,062	-0,051	-0,012
Gjennomsnitt	1,59	1,65	1,64	F-verdi	0,867	0,867	0,867
				Pr(>F)	0,424	0,424	0,424
				P-verdi	0,4350	0,5710	0,9730
Karbon	K	A	AS	ANOVA	K-A	K-AS	AS-A
Prosent	50,96±7,94	41,86±7,18	45,58±2,41	Diff	0,640	0,475	0,164
Gjennomsnitt	46,64	46,00	46,16	F-verdi	0,768	0,768	0,768
				Pr(>F)	0,467	0,467	0,467
				P-verdi	0,460	0,650	0,949
C:N	K	A	AS	ANOVA	K-A	K-AS	AS-A
Forhold	31,76±8,01	32,33±9,68	27,56±6,23	Diff	1,378	1,172	0,206
Gjennomsnitt	29,75	28,37	28,58	F-verdi	1,2610	1,2610	1,2610
				Pr(>F)	0,289	0,289	0,289
				P-verdi	0,309	0,426	0,974
Oktober							
Nitrogen	K	A	AS	ANOVA	K-A	K-AS	AS-A
Prosent	1,82±1,06	1,62±0,90	1,68±0,98	Diff	-0,003	0,181	-0,184
Gjennomsnitt	2,01	2,01	1,82	F-verdi	2,302	2,302	2,302
				Pr(>F)	0,105	0,105	0,105
				P-verdi	1,000	0,161	0,152
Karbon	K	A	AS	ANOVA	K-A	K-AS	AS-A
Prosent	47,23±1,79	47,29±1,54	47,00±2,23	Diff	-0,138	-0,161	0,023
Gjennomsnitt	47,49	47,62	47,65	F-verdi	0,501	0,501	0,501
				Pr(>F)	0,607	0,607	0,607
				P-verdi	0,708	0,626	0,991
C:N	K	A	AS	ANOVA	K-A	K-AS	AS-A
Forhold	39,58±23,32	43,19±24,20	43,19±25,31	Diff	-0,220	-3,935	3,715
Gjennomsnitt	24,93	25,15	28,87	F-verdi	1,995	1,995	1,995
				Pr(>F)	0,141	0,141	0,141
				P-verdi	0,995	0,182	0,218

4. Diskusjon

Fluktuerende temperaturer, næringsforhold og vanntilgang, konkurranse fra eksisterende og nyetablert vegetasjon, insekt, sopp og planteetere, er bare noen av stressfaktorene nye planter vil møte på en hogstflate. Rask utvikling av rotsystemet øker robusthet og overlevelse i en tøff etableringsfase (Grossnickle, 2012), noe som er forventet å kunne bli enda tøffere i fremtidens klima (Hanssen-Bauer et al., 2015). En tilpasset skogbehandling vil kunne være viktig for å bedre etablering av gran (Søgaard et al., 2017). Biostimulanter er tidligere brukt som et vekstfremmende middel i jordbruket (Craigie, 2011), men har også i senere tid vist seg å gi en økt rotvekst på bartrær (Macdonald et al., 2012; Macdonald et al., 2013).

Min hypotese om at planter behandlet med Acadian (grisetangekstrakt) alene eller i kombinasjon med Silicapower (silikagjødsel) skulle gi økt rotlengde ble delvis bekreftet. Planter behandlet med Acadian alene (A) hadde lengre røtter enn i kontrollbehandlingen (K) for finrøtter i diameterklasse D5 og mellomstore røtter i diameterklasse D6 og D8. Disse resultatene samsvarer med lignende studier gjort på vrifuru og hvitgran. Disse studiene viser en økt andel av hvite røtter (Macdonald et al., 2012; Macdonald et al., 2013). Som finere utskudd fra de bredere, mer strukturelle røttene i høyere diameterklasser (Puhe, 2003), vil en økt andel hvite røtter forventes å gi økt lengde i de mindre diameterklassene, noe som er observert i behandling A. I studiene på vrifuru og hvitgran ble imidlertid behandlingene utført sen sommer/høst før utplantning, i året før det ble observert økt rotvekst (Macdonald et al., 2012; Macdonald et al., 2013). Forsøket på vrifuru viste at antall behandlinger med grisetangekstrakt (tre og seks) ikke ga forskjell i rotvekst, men konsentrasjonen på løsningen var utslagsgivende for resultatene. Konsentrasjon av grisetangekstrakt på 1:500 ga økt rotvekst, mens 1:750 og 1:250 ikke ga utslag i rotvekst på vrifuru (Macdonald et al., 2012). Studiene på hvitgran viste det samme med noe høyere konsentrasjoner av grisetangekstrakt (1:75 og 1:125), og antall behandlinger (fire og åtte) var også av mindre betydning for økt rotvekst etter endt vekstsesong i året etter behandling (Macdonald et al., 2013). Konsentrasjonen jeg brukte var til sammenligning 1:333. Tidspunkt for behandling i mitt forsøk er mer sammenlignbart med forsøk utført på sitrustre som viste økt toleranse mot tørke (Conesa et al., 2020), og agurk som også ble behandlet fra tidlig i vekstperioden og ga økt rotlengde (Jayaraman et al., 2011). Forsøk på krypkvein ga også delvis lignende resultater som i mitt forsøk. Plantene som ble behandlet gjentatte ganger fra tidlig vekstsesong fikk økt rotvekst i et feltstudie med lav vegetasjon som etterlignet en golfbane (Zhang et al., 2002), noe som kan ha vært mer sammenlignbart med fluktuerende temperaturforhold man kan oppleve på en hogstflate, særlig med tanke på høye temperaturer og soleksponering. I jordbruket har man sett at konsentrasjonen på tangekstraktløsningen, men også antall behandlinger kan påvirke ulike arter forskjellig (Craigie, 2011).

I strid med min hypotese fant jeg ingen effekt på rotvekst på planter behandlet med Acadian i kombinasjon med Silicapower (AS). Denne behandlingen ga i hovedsak rotlengder i sjiktet mellom kontrollene og rene Acadianbehandlinger, og var ikke signifikant forskjellig fra noen av dem. Det er flere studier som viser at silisium gir en økt motstand mot stress og dermed økt vekst på planter (Emadian & Newton, 1989; Ryder et al., 2003). Det er vist at bartrær har et lavt opptak av silisium sammenlignet med jordbruksplanter (Hodson et al., 2005), men norsk gran er funnet å være en av artene blant bartrær som akkumulerer mest silisium i nålene i forhold til vekt. Akkumulering var derimot positivt korrelert med alder (Carnelli, 2001). Forsøk med flytende silisium viste «full effekt» mot giftig aluminium på norsk gran i veksthus under kontrollerte forhold og ved å kontrollere pH innenfor et vindu på 4,75-5,00 (Ryder et al., 2003). I et forsøk utført i felt er pH vanskeligere å kontrollere og ble heller ikke målt. Det smale «pH-vinduet» Ryder et al (2003) fant effekt av kan forklare den manglende effekten av silisiumbehandling på rotvekst i forsøket mitt. Forsøk på

sitkagran (*Picea sitchensis*) viste at behandling med lave konsentrasjoner silisium ikke ga økning i silisiumkonsentrasjonen i plantene (Hogan et al., 2018). Silisiumbehandling for å fremme økt vekst er foreslått å være viktigere under tørkestress enn ved gunstige vekstforhold (Emadian & Newton, 1989). Dette kan indikere at de friske plantene utvalgt for rotanalyse i mitt forsøk ikke opplevde nok stress til at silisiumtilsetning hadde noen betydning. Etter NiN-systemet indikerer naturtypen blåbærskog blant annet lav uttørkingsfare sammenlignet med andre naturtyper i fastmarkskogsmark (Bratli & Øien, 2019). Dette sammenfaller også med forsøk på douglasgran (*Pseudotsuga menziesii*) og svartfuru (*Pinus nigra*) som under gode vekstvilkår ikke viste økt vekst ved tilført silisium (Cornelis et al., 2010). Tidligere studie på vrifuru og hvitgran viser redusert rotvekst ved behandling med grisetangekstrakt 1-2 måneder etter behandling (Macdonald et al., 2012; Macdonald et al., 2013), samtidig er det registrert en lavere rotbiomasse på svartfuru som er tilført høyere konsentrasjoner silisium under gode vekstvilkår (Cornelis et al., 2010). Selv om dette ikke ble målt kan Acadian ha hatt en negativ effekt på rotutvikling for A og sammen med Silicapower en kumulativ effekt for AS de første månedene etter behandling. Om man skulle ha funnet en forskjell mellom behandlingene AS og K er det derfor nærliggende å tro at disse eventuelt ville finnes i planter med mindre og tydelige skader (H2-H3) som opplevde stress, og ikke i de friske plantene i H1 som sannsynligvis opplevde mindre stress. Datagrunnlaget for rotlengde er ikke så stort (n=30) og med relativt stor variasjon mellom individer, så et større utvalg av planter kunne muligens ha gitt andre resultater. Det er derfor vanskelig å gi en sikker konklusjon basert på disse resultatene.

Min andre hypotese om at planter behandlet med Acadian alene eller i kombinasjon med Silicapower ville vise høyere verdier av nitrogen og lavere C:N-forhold ble ikke bekreftet, da det ikke var noen forskjell mellom behandlingene i oktober. I juni hadde A høyest nitrogenkonsentrasjon (1,65 %) med 0,06 og 0,01 p.p. høyere innhold enn henholdsvis K og AS. Dette er noe lavere enn optimal nitrogenkonsentrasjon i planteskolen (2,0-2,5 %) (Ingestad, 1979), noe som kan gi en dårligere vekstrate enn ved optimale nitrogenkonsentrasjoner. Det er derimot vanlig å finne verdier under optimum i skogen (Brække & Salih, 2002). Fra en forventet og relativt beskjeden spredning i registrert nitrogenkonsentrasjon og C:N-forhold ved utplantning i juni har samtlige behandlinger doblet sin spredning eller mer i målt nitrogenkonsentrasjon og C:N-forhold i årets nåler målt i oktober (figur 8; figur 9). I motsetning til mer homogene forhold på jorder i jordbruket eller i veksthus, vil et hogstfelt ha en større variasjon i mikroklima, næring og vanntilgang over korte avstander (Eldhuset et al., 2017; Nacke et al., 2016; Sutinen et al., 2010). Dette vil påvirke næringsopptak og vekst avhengig av hvor de blir plassert på hogstfeltet. Det er dermed heller ikke overaskende at det ble observert en så stor spredning i målinger gjort på næringsinnhold i oktober. Med kun 36 prøver i oktober per behandling vil hver ekstremverdi gi et relativt stort utslag på gjennomsnittet som testene i dette forsøket er basert på. I dette forsøket viste 3 av 36 målte planter i behandling AS verdier under 1,00 % nitrogen i oktober. Gran plantet i dårlig jord er tidligere vist å ha et større tap av nitrogen i årets nåler enn planter i bedre, mer næringsrik jord. Relokasjon av nitrogen fra eldre til nye nåler har også tidligere vist seg å ikke kunne kompensere for manglende nitrogenopptak fra jorda (Luoranen & Rikala, 2011). Studie der toårige granplanter kun er gitt vann i svært næringsfattige forhold har vist en redusert nitrogenkonsentrasjon i nålene fra 1,81 % til 0,82 % på kun to måneder (Heiskanen, 2005).

Årets nåler var i snitt innenfor optimal nitrogenkonsentrasjon i behandling K og A (2,01 %), mens AS var i snitt tilnærmet optimalt (1,82 %). Dette lover bra for vekst i neste sesong. Studier viser at høyt innhold av nitrogen i nålene vil generelt kunne gi en bedre vekst i kommende vekstsesong (Nordborg et al., 2003), men samtidig kan plantene være mer utsatt for vårfrost grunnet tidligere knoppskyting (Fløistad & Kohmann, 2004; Luoranen & Rikala, 2011). Behandling K hadde størst økning i nitrogen fra juni, men også lavest målte karboninnhold i oktober. C:N-forholde viser derfor en forventet

utvikling der K hadde en større reduksjon, også lavest gjennomsnitt med 0,22 og 3,94 lavere enn henholdsvis A og AS (tabell 6). Lavere nitrogenkonsentrasjon i nåler kan derimot oppstå i rasktvoksende planter. Ved en rask økning i biomasse vil man kunne fortynne nitrogenkonsentrasjonen i planten (Timmer, 1991). Det var dermed ikke nødvendigvis mindre nitrogen, men sett sammen med den økte massen vil konsentrasjonen synke. Dette kan forklare manglende forskjell mellom AS, A og K, særlig A som hadde en signifikant økt rotlengde og størst økning i karbonkonsentrasjon fra juni til oktober, men ingen forskjell i nitrogen eller C:N-forhold i årets nåler i oktober.

Min siste hypotese var at man ville se en bedre vitalitet og overlevelse gjennom vekstsesongen for planter behandlet med Acadian alene eller i kombinasjon med Silicapower. Denne hypotesen ble ikke bekreftet, da det ikke var forskjell i døde planter mellom behandlingene. Det ble ikke observert insektskader. Skader som ble observert var i hovedsak brunfargede nåler fra nålespiss og ned i de første månedene og en gradvis overgang i nåler fra grønt til gult ble observert gjennom hele sesongen. For høye temperatur og tørke kan redusere overlevelsen og redusere rotvekst (Luoranen & Viiri, 2016; Nordborg & Welander, 2001). Kulde vil redusere rotvekst (Heiskanen, 2005) og skade røtter og nåler grunnet frostskaider (Carles et al., 2011; Fløistad & Kohmann, 2004). Økt rotvekst har også tidligere vist økt opptak av nitrogen hos nyplantet gran (Nordborg et al., 2003). Tidligere forsøk på gran har vist at lave nitrogenkonsentrasjoner kunne gi gul farge, mens brun farge kan indikere frostskaider (Fløistad & Kohmann, 2004). Dette stemmer med resultater fra nåleprøver i oktober som tyder på stor variasjon i næringstilgang for plantene på hogstfeltet. Det ble derfor konkludert med at planter i hovedsak var skadet av abiotiske årsaker, men det kan ikke utelukkes biotiske skadegjørere som ikke er synlige uten nærmere undersøkelser, eksempelvis soppangrep og sykdommer som blant annet kan påvirke røttene. Tidligere er overlevelse observert høyest blant ett til to år gamle bartrær når målt nitrogeninnhold i nålene var rundt 2 % (Driessche, 1980). Dette stemmer delvis med mine resultater. Selv om det ikke er en signifikant forskjell i overlevelse, ser man at AS hadde lavest konsentrasjon av nitrogen (1,82 %) og signifikant større andel av planter med nedsatt vitalitet sammenlignet med K og A (2,01 %) i oktober. Selv om forskjellen ikke er signifikant hadde AS størst økning i andel kritisk skadde og døde planter i august, måneden med minst registrert nedbørsmengde (tabell 1; tabell 4). Silisium er tidligere vist å motvirke redusert rotvekst hos virakfuru (*Pinus taeda*) under tørkestress (Emadian & Newton, 1989), men behandling med Silicapower ble gitt til AS nesten tre måneder før. Bartrær er kjent fra tidligere studier som dårlige til å akkumulere silisium, særlig i ung alder (Carnelli, 2001; Hodson et al., 2005). Det er mulig plantene heller har blitt hemmet av tilført silisium noe som tidligere er vist på svartfuru (Cornelis et al., 2010). Samtidig har silisium vist seg å kunne hindre penetrering av planten og effektivt næringsopptak av skadegjørere (Reynolds et al., 2009). Dette gir beskyttelse, men dette kan også ha påvirket symbiosen med mykorrhiza. Sitrustre har vist en økt andel mykorrhizarøtter ved behandling med grisetangekstrakt, noe som bidro til økt motstand mot tørkestress (Conesa et al., 2020). Det er derfor mulig plantene ikke har opplevd en positiv effekt av Silicapower når tørkestresset er antatt å være størst, tre måneder etter behandling. Dette kan forklare hvorfor AS hadde den største økningen i andel kritisk skadde og døde planter i måneden med minst nedbør (august).

Grunnen til at det ikke ble registrert økt overlevelse hos planter behandlet med Acadian alene og Acadian i kombinasjon med Silicapower kan skyldes flere faktorer. Plantene ble satt ut tidlig i vekstsesongen (1.juni), relativt kort tid etter snøsmelting. Selv om en hogstflate vil oppleve variasjon i temperatur (Kubin & Kempainen, 1994) vil den relativt nylige snøsmeltingen kunne ha bidra til økt fuktighet i jorda og dermed senke faren for tørkeperioder (Mäkinen et al., 2002). Registrert nedbør var også relativt høyt i de to første månedene der juni viste maksverdi av målt nedbør (tabell 1). Hogstfeltene var markberedt, noe som er forbundet med økt vann- og næringsopptak, redusert

konkurranse (Johansson et al., 2013; Örlander et al., 1996), økt beskyttelse mot snutebilleangrep (Bjorklund et al., 2003; Örlander & Nilsson, 1999) og økt beskyttelse mot frostskaider (Langvall et al., 2001). Plantene var samtidig behandlet med plantevernmiddel som også bidrar til økt beskyttelse mot insektsangrep (Moore et al., 2021; Örlander & Nilsson, 1999). I dette forsøket kan tiltak gjennomført på hogstfeltene og plantekvalitet, sammen med relativt gode klimatiske forhold gjennom første vekstsesong, ha gitt generelt gode vekstforhold. Dermed vil overlevelsen, uavhengig av om planten er behandlet eller ikke, være høy.

5. Oppsummering og konklusjon

Dette forsøket viser at planter behandlet med Acadian alene før vårplantning, etter endt vekstsesong fikk økt rotlengde i finere og mellomstore diameterklasser sammenlignet med kontroll. Planter behandlet med Acadian i kombinasjon med Silicapower hadde derimot ingen signifikant økt rotlengde sammenlignet med kontroll. Tross økte rotlengder var det ingen forskjell i næringsinnhold mellom behandlingene. Det var derimot en økt andel planter med redusert vitalitet etter endt vekstsesong for planter behandlet med Acadian i kombinasjon med Silicapower sammenlignet med de to andre behandlingene.

Disse funnene er i tråd med eksisterende litteratur. Dette forsøket er imidlertid meg bekjent det første med en praktisk tilnærming for bruk av Acadian og Silicapower på norsk gran i et feltstudie. Videre undersøkelser med bruk av biostimulanter og/eller silisium som et middel for å fremme rotetablering og robusthet mot stressfaktorer for skogplanter er nødvendig. Et gjentak av forsøket under andre klimatiske forhold, uten markberedning og med andre stressfaktorer som eksempelvis biotiske skadegjørere vil kunne gi andre resultater. Dette kan vise seg særlig om Acadian gir redusert rotvekst 1-2 måneder etter behandling, slik som vist i tidligere studier med grisetangeekstrakt på vrefuru og hvitgran (Macdonald et al., 2012; Macdonald et al., 2013) og om Silicapower gir mengder silisium som hemmer rotvekst hos friske planter, som tidligere er vist på svartfuru (Cornelis et al., 2010). Dette kan bety at behandling med Acadian i hovedsak bør gjennomføres på planteskolen i god tid før utplantning og Silicapower i hovedsak benyttes når plantene opplever stress.

Hvor mange behandlinger, hvor konsentrerte dosene skal være og tidspunkt for behandling som gir optimal effekt i norsk gran er enda uvisst og bør undersøkes nærmere med et større og bredere datagrunnlag. Jeg har kun benyttet en konsentrasjon og samme behandlingstidspunkt for alle plantene (rett før utplantning). Funnene i denne studien kan brukes inn mot mer omfattende studier som tar sikte på å øke vitalitet og kvalitet på unge planter i skogkultur over flere ulike naturtyper og vekstforhold. Dette vil kunne være nødvendige tiltak for bedre etablering av granplanter med økende stress som følge av et endret klima.

Litteratur

- Al-Garni, S. M. S., Khan, M. M. A. & Bahieldin, A. (2019). Plant growth-promoting bacteria and silicon fertilizer enhance plant growth and salinity tolerance in *Coriandrum sativum*. *Journal of Plant Interactions*, 14 (1): 386-396. doi: 10.1080/17429145.2019.1641635.
- Basak, A. (2008). Effect of Preharvest Treatment with Seaweed Products, Kelpak® and Goëmar BM 86®, on Fruit Quality in Apple. *International Journal of Fruit Science*, 8 (1-2): 1-14. doi: 10.1080/15538360802365251.
- Berger, T. W. & Berger, P. (2012). Greater accumulation of litter in spruce (*Picea abies*) compared to beech (*Fagus sylvatica*) stands is not a consequence of the inherent recalcitrance of needles. *Plant and Soil*, 358 (1-2): 349-369. doi: 10.1007/s11104-012-1165-z.
- Binkley, D. & Högborg, P. (2016). Tamm Review: Revisiting the influence of nitrogen deposition on Swedish forests. *Forest Ecology and Management*, 368: 222-239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.035>.
- Bjorklund, N., Nordlander, G. & Bylund, H. (2003). Host-plant acceptance on mineral soil and humus by the pine weevil *Hylobius abietis* (L.). *Agricultural and Forest Entomology*, 5 (1): 61-66. doi: 10.1046/j.1461-9563.2003.00163.x.
- Bratli, H., Halvorsen, R., Bryn, A., Arnesen, G., Bendiksen, E., Jordal, J.B., Svalheim, E.J., Vandvik, V., Velle, L.G., & Øien, D.-I. A., P.A. (2019). *Beskrivelse av kartleggingsenheter i målestokk 1:5000 etter NiN (2.2.0)*. Trondheim: Artsdatabanken. Tilgjengelig fra: <http://www.artsdatabanken.no> (lest 30.05.2020).
- Brække, F. & Salih, N. (2002). Reliability of foliar analyses of Norway spruce stands in a Nordic gradient. *Silva fennica (Helsinki, Finland : 1967)*, 36 (2). doi: 10.14214/sf.540.
- Carles, S., Lamhamedi, M. S., Stowe, D. C., Bernier, P. Y., Veilleux, L. & Margolis, H. A. (2011). Relationships between frost hardiness, root growth potential, and photosynthesis of nursery-grown white spruce seedlings. *Annals of Forest Science*, 68 (8): 1303-1313. doi: 10.1007/s13595-011-0138-3.
- Carnelli, A. (2001). Biogenic Silica Production in Selected Alpine Plant Species and Plant Communities. *Annals of Botany*, 87 (4): 425-434. doi: 10.1006/anbo.2000.1355.
- Chapman, V. J. & Chapman, D. J. (1980). Seaweeds and their uses. doi: 10.1007/978-94-009-5806-7.
- Conesa, M. R., Espinosa, P. J., Pallarés, D. & Pérez-Pastor, A. (2020). Influence of Plant Biostimulant as Technique to Harden Citrus Nursery Plants before Transplanting to the Field. *Sustainability*, 12 (15): 6190. doi: 10.3390/su12156190.
- Cornelis, J. T., Delvaux, B. & Titeux, H. (2010). Contrasting silicon uptakes by coniferous trees: a hydroponic experiment on young seedlings. *Plant and Soil*, 336 (1-2): 99-106. doi: 10.1007/s11104-010-0451-x.
- Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23 (3): 371-393. doi: 10.1007/s10811-010-9560-4.
- Ditmarova, L., Kurjak, D., Palmroth, S., Kmet, J. & Strelcova, K. (2010). Physiological responses of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings to drought stress. *Tree Physiology*, 30 (2): 205-213. doi: 10.1093/treephys/tpp116.
- Driessche, R. v. d. (1980). Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on Douglas-fir nursery growth and survival after outplanting. *Canadian Journal of Forest Research*, 10 (1): 65-70. doi: <https://doi.org/10.1139/x80-011>.
- Eldhuset, T. D., Kjønaas, O. J. & Lange, H. (2017). Decomposition rates and nutrient dynamics of *Picea abies* needles, twigs and fine roots after stem-only harvesting in eastern and western Norway. *Plant and Soil*, 418 (1-2): 357-375. doi: 10.1007/s11104-017-3302-1.
- Emadian, S. F. & Newton, R. (1989). Growth enhancement of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. *Journal of plant physiology*, 134 (1): 98-103. doi: 10.1016/S0176-1617(89)80209-3.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91 (1): 11-17. doi: 10.1073/pnas.91.1.11.

- Epstein, E. (1999). SILICON. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50 (1): 641-664. doi: 10.1146/annurev.arplant.50.1.641.
- Fløistad, I. S. & Kohmann, K. (2004). Influence of nutrient supply on spring frost hardiness and time of bud break in Norway spruce (*Picea abies*(L.) Karst.) seedlings. *New Forests*, 27 (1): 1-11. doi: 10.1023/a:1025085403026.
- Forskrift om bærekraftig skogbruk. (2006). *Forskrift om bærekraftig skogbruk av 07. juni 2006 nr. 593*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-06-07-593?q=b%C3%A6rekraftig%20skogbruk> (lest 02.05.2021).
- Forskrift om miljøtiltak mv. i skogbruket. (2004). *Forskrift om tilskudd til nærings- og miljøtiltak i skogbruket av 04. februar 2004 nr. 447*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-02-04-447> (lest 03.05.2021).
- From, F., Strengbom, J. & Nordin, A. (2015). Residual Long-Term Effects of Forest Fertilization on Tree Growth and Nitrogen Turnover in Boreal Forest. *Forests*, 6 (12): 1145-1156. doi: 10.3390/f6041145.
- Granhus, A., Hysten, G. & Nilsen, J. E. (2012). *Skogen i Norge : statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge registrert i perioden 2005-2009*. Statistics of forest conditions and resources in Norway. Ås: Norsk institutt for skog og landskap. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2453896> (lest 01.05.2021).
- Grossiord, C. (2020). Having the right neighbors: how tree species diversity modulates drought impacts on forests. *New Phytologist*, 228 (1): 42-49. doi: 10.1111/nph.15667.
- Grossnickle, S. C. (2005). Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, 30 (2-3): 273-294. doi: 10.1007/s11056-004-8303-2.
- Grossnickle, S. C. (2012). Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests*, 43 (5-6): 711-738. doi: 10.1007/s11056-012-9336-6.
- Grossnickle, S. C. & Macdonald, J. E. (2018). Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forests*, 49 (1): 1-34. doi: 10.1007/s11056-017-9606-4.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A., et al. (2015). *Klima i Norge 2100 : kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert 2015*. Oslo: Norsk klimaservicesenter.
- Hanssen, K. H. (2003). Natural regeneration of *Picea abies* on small clear-cuts in SE Norway. *Forest Ecology and Management*, 180 (1): 199-213. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00610-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00610-2).
- Hart, S. A. & Chen, H. Y. H. (2006). Understory Vegetation Dynamics of North American Boreal Forests. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25 (4): 381-397. doi: 10.1080/07352680600819286.
- Heiskanen, J. (2005). Effect of nitrate and ammonium on growth of transplanted Norway spruce seedlings: a greenhouse study. *Annales Botanici Fennici*, 42 (1): 1-9.
- Heiskanen, J., Lahti, M., Luoranen, J. & Rikala, R. (2009). Nutrient loading has a transitory effect on the nitrogen status and growth of outplanted Norway spruce seedlings. *Silva Fennica*, 43 (2). doi: 10.14214/sf.210.
- Helmisaari, H. S., Derome, J., Nojd, P. & Kukkola, M. (2007). Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands. *Tree Physiology*, 27 (10): 1493-1504. doi: 10.1093/treephys/27.10.1493.
- Hodson, M. J., White, P. J., Mead, A. & Broadley, M. R. (2005). Phylogenetic Variation in the Silicon Composition of Plants. *Annals of Botany*, 96 (6): 1027-1046. doi: 10.1093/aob/mci255.
- Hogan, B., McDermott, F. & Schmidt, O. (2018). Effects of silicon-rich soil amendments on growth, mortality and bark feeding damage of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) seedlings under field conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33 (6): 550-559. doi: 10.1080/02827581.2018.1444197.
- Högberg, P., Näsholm, T., Franklin, O. & Högberg, M. N. (2017). Tamm Review: On the nature of the nitrogen limitation to plant growth in Fennoscandian boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 403: 161-185. doi: 10.1016/j.foreco.2017.04.045.

- Ingestad, T. (1979). Mineral nutrient requirements of *Pinus silvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiologia plantarum*, 45 (4): 373-380. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1979.tb02599.x>.
- Jayaraman, J., Norrie, J. & Punja, Z. K. (2011). Commercial extract from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* reduces fungal diseases in greenhouse cucumber. *Journal of Applied Phycology*, 23 (3): 353-361. doi: 10.1007/s10811-010-9547-1.
- Johansson, K., Langvall, O. & Bergh, J. (2012). Optimization of environmental factors affecting initial growth of Norway spruce seedlings. *Silva Fennica*, 46 (1): 27-38.
- Johansson, K., Nilsson, U. & Örlander, G. (2013). A comparison of long-term effects of scarification methods on the establishment of Norway spruce. *Forestry*, 86 (1): 91-98. doi: 10.1093/forestry/cps062.
- Jonsson, M., Bengtsson, J., Gamfeldt, L., Moen, J. & Snäll, T. (2019). Levels of forest ecosystem services depend on specific mixtures of commercial tree species. *Nature Plants*, 5 (2): 141-147. doi: 10.1038/s41477-018-0346-z.
- Jurgensen, M. F., Harvey, A. E., Graham, R. T., Page-Dumroese, D. S., Tonn, J. R., Larsen, M. J. & Jain, T. B. (1997). Impacts of Timber Harvesting on Soil Organic Matter, Nitrogen, Productivity, and Health of Inland Northwest Forests. *Forest Science*, 43 (2): 234-251. doi: 10.1093/forestscience/43.2.234.
- Kubin, E. & Kemppainen, L. (1994). Effect of soil preparation of boreal spruce forest on air and soil temperature conditions in forest regeneration areas. *Acta Forestalia Fennica*. 1994. 244: 1-56.
- Kyaschenko, J., Clemmensen, K. E., Hagenbo, A., Karlton, E. & Lindahl, B. D. (2017). Shift in fungal communities and associated enzyme activities along an age gradient of managed *Pinus sylvestris* stands. *The ISME Journal*, 11 (4): 863-874. doi: 10.1038/ismej.2016.184.
- Landbruksdirektoratet. (2021a). *Skogskjøtsel*. Tilgjengelig fra: <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/skogbruk/skogskjotsel#ungskogpleie> (lest 03.05.2021).
- Landbruksdirektoratet. (2021b). *Tilskudd til gjødsling av skog som klimatiltak*. Tilgjengelig fra: <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/skogbruk/ordninger-for-skogbruk/tilskudd-til-gjodsling-av-skog-som-klimatiltak> (lest 03.05.2021).
- Landis, T. D. & Nisley, R. G. (1990). *The container tree nursery manual: Seedling nutrition and irrigation*. Washington DC: Department of Agriculture Forest Service. Tilgjengelig fra: <https://books.google.no/books> (lest 02.04.2021).
- Langvall, O., Nilsson, U. & Örlander, G. (2001). Frost damage to planted Norway spruce seedlings — influence of site preparation and seedling type. *Forest Ecology and Management*, 141 (3): 223-235. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00331-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00331-5).
- Lehnert, L. W., Bässler, C., Brandl, R., Burton, P. J. & Müller, J. (2013). Conservation value of forests attacked by bark beetles: Highest number of indicator species is found in early successional stages. *Journal for Nature Conservation*, 21 (2): 97-104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2012.11.003>.
- Lévesque, M., Saurer, M., Siegwolf, R., Eilmann, B., Brang, P., Bugmann, H. & Rigling, A. (2013). Drought response of five conifer species under contrasting water availability suggests high vulnerability of Norway spruce and European larch. *Global Change Biology*, 19 (10): 3184-3199. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.12268>.
- Luoranen, J. & Rikala, R. (2011). Nutrient loading of Norway spruce seedlings hastens bud burst and enhances root growth after outplanting. *Silva fennica (Helsinki, Finland : 1967)*, 45 (3). doi: 10.14214/sf.105.
- Luoranen, J. & Viiri, H. (2016). Deep planting decreases risk of drought damage and increases growth of Norway spruce container seedlings. *New forests*, 47 (5): 701-714. doi: 10.1007/s11056-016-9539-3.
- Lüpke, B. v. (1973). Wasserhaushalt junger Fichten nach dem Verpflanzen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 92 (1): 311-327. doi: 10.1007/BF02736063.

- Macdonald, J., Hacking, J., Weng, Y. H. & Norrie, J. (2012). Root growth of containerized lodgepole pine seedlings in response to *Ascophyllum nodosum* extract application during nursery culture. *Canadian Journal of Plant Science*, 92: 1207-1212. doi: 10.4141/cjps2011-279.
- Macdonald, J., Hacking, J., Weng, Y. H. & Norrie, J. (2013). Effects of *Ascophyllum nodosum* extract application in the nursery on root growth of containerized white spruce seedlings. *Canadian Journal of Plant Science*, 93: 735-739. doi: 10.4141/CJPS2012-268.
- Millard, P. & Grelet, G. A. (2010). Nitrogen storage and remobilization by trees: ecophysiological relevance in a changing world. *Tree Physiology*, 30 (9): 1083-1095. doi: 10.1093/treephys/tpq042.
- Moen, A., Norges geografiske, o. & Statens, k. (1999). *Vegetation*. Vegetasjon. Hønefoss: Norwegian Mapping Authority.
- Moore, R., Willoughby, I. H., Moffat, A. J. & Forster, J. (2021). Acetamiprid, chlorantraniliprole, and in some situations the physical barriers MultiPro® or Kvaee® wax, can be alternatives to traditional synthetic pyrethroid insecticides for the protection of young conifers from damage by the large pine weevil *Hylobius*. *Scandinavian Journal of Forest Research*: 1-19. doi: 10.1080/02827581.2021.1906313.
- Mäkinen, H., Nöjd, P., Kahle, H.-P., Neumann, U., Tveite, B., Mielikäinen, K., Röhle, H. & Spiecker, H. (2002). Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *Forest Ecology and Management*, 171 (3): 243-259. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00786-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00786-1).
- Nacke, H., Goldmann, K., Schöning, I., Pfeiffer, B., Kaiser, K., Castillo-Villamizar, G. A., Schruppf, M., Buscot, F., Daniel, R. & Wubet, T. (2016). Fine Spatial Scale Variation of Soil Microbial Communities under European Beech and Norway Spruce. *Frontiers in Microbiology*, 7. doi: 10.3389/fmicb.2016.02067.
- Nilsson, O., Hjelm, K. & Nilsson, U. (2019). Early growth of planted Norway spruce and Scots pine after site preparation in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34 (8): 678-688. doi: 10.1080/02827581.2019.1659398.
- Nilsson, U., Luoranen, J., Kolström, T., Örländer, G. & Puttonen, P. (2010). Reforestation with planting in northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25 (4): 283-294. doi: 10.1080/02827581.2010.498384.
- Nilsson, U., Elfving, B. & Karlsson, K. (2012). Productivity of Norway spruce compared to Scots pine in the interior of northern Sweden. *Silva fennica (Helsinki, Finland : 1967)*, 46 (2). doi: 10.14214/sf.54.
- Nordborg, F. & Welander, N. T. (2001). Growth Responses of Rooted Cuttings from Five Clones of *Picea abies* (L.) Karst. after a Short Drought Period. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16 (4): 324-330. doi: 10.1080/713785145.
- Nordborg, F., Nilsson, U. & Örländer, G. (2003). Effects of different soil treatments on growth and net nitrogen uptake of newly planted *Picea abies* (L.) Karst. seedlings. *Forest Ecology and Management*, 180 (1): 571-582. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00650-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00650-3).
- Norwegian Environment Agency, S. N., Norwegian Institute of Bioeconomy Research. (2016). *Greenhouse Gas Emissions 1990-2014, National Inventory Report: The Norwegian Environment Agency*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m534/m534.pdf> (lest 02.05.2021).
- Nybakken, L., Lie, M. H., Julkunen-Tiitto, R., Asplund, J. & Ohlson, M. (2018). Fertilization Changes Chemical Defense in Needles of Mature Norway Spruce (*Picea abies*). *Frontiers in Plant Science*, 9. doi: 10.3389/fpls.2018.00770.
- Persson, J., Högborg, P., Ekblad, A., Högborg, M. N., Nordgren, A. & Nösholm, T. (2003). Nitrogen acquisition from inorganic and organic sources by boreal forest plants in the field. *Oecologia*, 137 (2): 252-257. doi: 10.1007/s00442-003-1334-0.

- Petersson, M. & Örlander, G. (2003). Effectiveness of combinations of shelterwood, scarification, and feeding barriers to reduce pine weevil damage. *Canadian Journal of Forest Research*, 33 (1): 64-73. doi: 10.1139/x02-156.
- Petersson, M. (2005). Soil features affecting damage to conifer seedlings by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Forestry*, 78 (1): 83-92. doi: 10.1093/forestry/cpi008.
- Puhe, J. (2003). Growth and development of the root system of Norway spruce (*Picea abies*) in forest stands—a review. *Forest Ecology and Management*, 175 (1): 253-273. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00134-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00134-2).
- Ranade, S. S., Delhomme, N. & García-Gil, M. R. (2019). Transcriptome analysis of shade avoidance and shade tolerance in conifers. *Planta*, 250 (1): 299-318. doi: 10.1007/s00425-019-03160-z.
- Reynolds, O. L., Keeping, M. G. & Meyer, J. H. (2009). Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. *Annals of Applied Biology*, 155 (2): 171-186. doi: 10.1111/j.1744-7348.2009.00348.x.
- Ryder, M., Gérard, F., Evans, D. E. & Hodson, M. J. (2003). The use of root growth and modelling data to investigate amelioration of aluminium toxicity by silicon in *Picea abies* seedlings. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 97 (1): 52-58. doi: [https://doi.org/10.1016/S0162-0134\(03\)00181-8](https://doi.org/10.1016/S0162-0134(03)00181-8).
- Schmid, I. & Kazda, M. (2002). Root distribution of Norway spruce in monospecific and mixed stands on different soils. *Forest Ecology and Management*, 159 (1): 37-47. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00708-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00708-3).
- Seppä, H., Alenius, T., Bradshaw, R. H. W., Giesecke, T., Heikkilä, M. & Muukkonen, P. (2009). Invasion of Norway spruce (*Picea abies*) and the rise of the boreal ecosystem in Fennoscandia. *Journal of Ecology*, 97 (4): 629-640. doi: 10.1111/j.1365-2745.2009.01505.x.
- Skogbrukslova. (2005). Lov om skogbruk av 27. mai 2005 nr. 31. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-05-27-31?q=skogbrukslov> (lest 02.05.2021).
- Solberg, S., Andreassen, K., Antón-Fernández, C., Børja, I., Čermák, J., Dalsgaard, L., Eklundh, L., Garcia, M., Gessler, A. & Godbold, D. L. (2013). Grantørkeprosjektet. Sluttrapport. *Rapport fra Skog og landskap*.
- Sposito, G. (2008). *The chemistry of soils*: Oxford university press.
- Staaf, H. & Olsson, B. (1994). Effects of Slash Removal and Stump Harvesting on Soil Water Chemistry in a Clearcutting in SVV Svveden. *Scand. J. For. Res.*, 9: 305-310.
- Statistisk sentralbyrå. (2021). Skogavvirkning for salg. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/skogbruk/statistikk/skogavvirkning-for-salg> (lest 01.05.2021).
- Sutinen, R., Närhi, P., Herva, H., Piekari, M. & Sutinen, M.-L. (2010). Impact of intensive forest management on soil quality and natural regeneration of Norway spruce. *Plant and Soil*, 336 (1-2): 421-431. doi: 10.1007/s11104-010-0492-1.
- Søgaard, G., Astrup, R., Allen, M., Andreassen, K., Bergseng, E., Fløistad, I. S., Hanssen, K. H., Hietala, A., Kvaalen, H., Solberg, S., et al. (2017). *Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring*. NIBIO Rapport;3(99) 2017. Ås.
- Sør-Aurdal kommune. (2019). *Skogbruk i Sør-Aurdal*. Tilgjengelig fra: <https://www.sor-aurdal.kommune.no/tjenester/naring-natur-og-miljo/skogbruk/> (lest 03.05.2021).
- Tamm, C. O. (1968). *An attempt to assess the optimum nitrogen level in Norway spruce under field conditions*. 61 utg. Studia forestalia Suecica. Stockholm: Skogshögskolan. Tilgjengelig fra: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-9-137> (lest 01.05.2021).
- Timmer, V. (1991). Interpretation of seedling analysis and visual symptoms. *Mineral nutrition of conifer seedlings*: 113-134.
- Wallertz, K., Holt Hanssen, K., Hjelm, K. & Sundheim Fløistad, I. (2016). Effects of planting time on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage to Norway spruce seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31 (3): 262-270. doi: 10.1080/02827581.2015.1125523.
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A. & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7 (2049). doi: 10.3389/fpls.2016.02049.

- Zhang, X., Schmidt, R. E., Ervin, E. H. & Doak, S. (2002). Creeping Bentgrass Physiological Responses to Natural Plant Growth Regulators and Iron Under Two Regimes. *HortScience*, 37 (6): 898-902. doi: 10.21273/hortsci.37.6.898.
- Örlander, G., Nilsson, U. & Hällgren, J. (1996). Competition for water and nutrients between ground vegetation and planted *Picea abies*. *New Zealand Journal of Forest Science*, 26 (1-2): 99-117.
- Örlander, G. & Nilsson, U. (1999). Effect of Reforestation Methods on Pine Weevil (*Hylobius abietis*) Damage and Seedling Survival. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14 (4): 341-354. doi: 10.1080/02827589950152665.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway