



Statens vegvesen

## Effekter av avisingskjemikalier på vegetasjon

**RAPPORT**

Teknologiavdelingen

Nr. 2588



# Salt SMART

Vegteknologiseksjonen  
Dato: 2010-04-06



**Statens vegvesen**

## TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2588

Tittel

### Effekter av avisingskjemikalier på vegetasjon

Vegdirektoratet  
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep  
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Hans Martin Hanslin

Dato:

2010-04-06

Saksbehandler

Astrid B. Skrindo

Prosjektnr:

602070

Kontrollert av

Ingjerd Solfjeld og Astrid B. Skrindo

Antall sider og vedlegg:

25, 1 vedl.

#### Sammendrag

To forsøk ble gjennomført for å undersøke effekten av avisingskjemikalier på vegetasjon (små trær) ved å teste følgende hypoteser:

Hypotese I: Organiske avisingskjemikalier gir mindre skade på planter enn NaCl

Hypotese II: Innhold av organisk materiale i plantenes vekstmedium ved etablering har betydning for opptak av avisingskjemikalier

Hypotese III: Uttynning av saltkonsentrasjonen i jord ved hjelp av vanning på våren gir reduserte saltskader på vegetasjonen.

Hypotese I og II ble ikke støttet mens hypotese III ble støttet.

#### Summary

Two experiments were conducted to study the impact of de-icing salt on vegetation (young trees) by testing the following hypothesis:

Hypothesis I: Organic de-icing salts have less impact on plants than NaCl

Hypothesis II: The amount of organic matter in the soil is of importance for plant establishment.

Hypothesis III: Reduced salt-concentration in the spring due to watering will reduce the impact of de-icing salts on plants.

Hypothesis I and II were not supported while hypothesis III was supported.

Emneord:

avising, saltstress, trær, vegsalt



Hovedkontor  
Frederik A. Dahls vei 20,  
1432 Ås  
Tlf: 03 246  
Fax: 63 00 92 10  
post@bioforsk.no

Bioforsk Vest  
Postvn 213  
4353 Klepp St.  
Tlf: 03 246  
saerheim@bioforsk.no

*Tittel/Title:*

Effekter av avisingskjemikalier på vegetasjon

*Forfatter(e)/Autor(s):*

Hans M. Hanslin

*Dato/Date:*

15/12 2009

*Tilgjengelighet/Availability:*

Lukket til 1/3 2010

*Prosjekt nr./Project No.:*

*Arkiv nr./Archive No.:*

321D

*Oppdragsgiver/Employer:*

Statens Vegvesen/Vegdirektoratet

*Kontaktperson/Contact person:*

Astrid B. Skrindo/Ingjerd Solfeld

*Stikkord/Keywords:*

avising, saltstress, trær, vegsalt

*Fagområde/Field of work:*

Hagebruk og Grøntmiljø  
Horticulture and urban greening

Godkjent / Approved

Prosjektleder/Project leader

Direktør, Svein O. Grimstad

Hans M Hanslin

# Innhold

---

1. Sammendrag og konklusjon .....	4
2. Innledning.....	5
3. Metode .....	6
4. Resultater.....	10
5. Diskusjon.....	18
6. Litteratur .....	20
7. Vedlegg.....	21
8. Statistiske analyser av forsøkene .....	22



## 1. Sammendrag og konklusjon

---

To forsøk ble gjennomført for å undersøke effekten av avisingskjemikalier på vegetasjon. Effekten av kalsium-magnesium acetat og kaliumformat ble sammenlignet med effekten av natriumklorid for fem ulike treslag og tre konstruerte jordblandinger med forskjellig innhold av organisk materiale. Forsøket viste at det var ingen forskjell i effekt på vegetasjonen mellom de tre kjemikaliene når de ble sammenlignet med lik konsentrasjon av anionet når kjemikaliene ble påført samtidig i vekstfasen. En kan ikke konkludere med at organisk baserte avisingskjemikalier har en mindre negativ effekt på vegetasjon enn natriumklorid. Bruksmengdene av hvert stoff, tidspunkt for eksponering og eventuell nedbryting av kalsium-magnesium acetat og kaliumformat i løpet av vinteren vil være avgjørende for effektene på vegetasjon. Forsøket viste at det var tydelig negative effekter av økende konsentrasjon av avisingskjemikaliene i jord på vegetasjon, og denne effekten var for de fleste artene ikke påvirket av innhold av organisk materiale i jorda.

Effekten av en fortykning av saltkonsentrasjonen i jord på våren ble undersøkt for bjørk og lind under kontrollerte forhold. Plantene ble gitt en simulert vinterbehandling med natriumklorid og saltkonsentrasjonen senket ved fortykning enten før eller etter bryting av blader ved rottemperaturer fra 2 til 12 °C. En fortykning av saltkonsentrasjonen hadde positive effekter på bladkvalitet og stressresponser for begge artene og effekten av fortykning var mest positiv ved lave rottemperaturer. Planter som hadde brutt før fortykning fikk større skader på bladene enn planter som ikke hadde brutt. En fortykning av saltkonsentrasjonen av jord anbefales derfor før plantene bryter og mens jordtemperaturen fortsatt er under 6 °C.

## 2. Innledning

---

Bruk av natriumklorid til vegsalting har vist seg å ha negative effekter på vegetasjon og miljø (Ramakrishna & Viraraghavan 2005, Amundsen et al. 2008). Alternative stoffer for avising av veibanen som kalsiumklorid, kaliumformat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) og kalsium-magnesium acetat (CMA) har antatt mindre negativ effekt på jord- og vannmiljø, men effekten av disse stoffene på vegetasjon er lite dokumentert (Ramakrishna & Viraraghavan 2005, Amundsen et al. 2008). En sammenstilling av litteraturen på miljøkonsekvenser av ulike avisingsalter er gitt av Amundsen *et al.* (2008). Forfatterne peker på manglende kunnskap om bruk av alternative avisingskemikalier. Noen av disse manglene søkes besvart i dette prosjektet.

Føringer for prosjektet er gitt i konkurransegrunnlaget for FOU-prosjekt: Effekter av avisingskemikalier på vegetasjon (27.2.2009)

Tre hovedhypoteser ble testet:

Hypotese I: Organiske avisingskemikalier gir mindre skade på planter enn NaCl

Hypotese II: Innhold av organisk materiale i plantenes vekstmedium ved etablering har betydning for opptak av avisingskemikalier

Hypotese III: Uttyning av saltkonsentrasjonen i jord ved hjelp av vanning på våren gir reduserte saltskader på vegetasjonen.

### 3. Metode

---

Det ble gjennomført to forsøk for å dokumentere effekten av avisingskjemikalier på ulike treslag: et potteforsøk utendørs som dokumenterte effekter av salttype, saltkonsentrasjon og jordblanding (Forsøk 1) og et forsøk i vannkultur i vekstroom der effekten av en fortykning av saltkonsentrasjon ved ulik rottemperatur ble undersøkt (Forsøk 2). Det ble lagt vekt på å bruke vekstmedier og saltkonsentrasjoner som er realistiske under norske forhold.

#### Forsøk 1 - effekter av salt og saltkonsentrasjon i ulike jordtyper

Småplanter av fem trearter ble pottet i tre ulike jordblandinger og vekst og stressresponsen ble undersøkt ved økende mengde avisingskjemikalier i jorda. Furu (*Pinus sylvestris*) og bjørk (*Betula pendula*) ble etablert fra plugg, mens eik (*Quercus robur*), lønn (*Acer platanoides*) og lind (*Tilia cordata*) ble etablert som barrotplanter direkte fra kjølelager.

Tre ulike konstruerte jordmasser ble brukt i forsøket, alle med utgangspunkt i en sandig morenejord. Morenejorda ble tilsatt 5 volum % kompost (jordblanding 1), 15 vol. % kompost og 10 vol. % naturtorv (jordblanding 2), eller 5 vol. % kompost, 10 vol. % matjord og 20 vol. % steinstøv (jordblanding 3). Komposten var moden og næringsfattig. Jord ble blandet i en sementblander og fordelt på 5 L pottet. pH (1:5) og ledetall (1:5) i ferdig blandet jord var på henholdsvis 5,3 og 0,250 mS/cm ved starten av forsøket og var lik for de tre jordblandningene. Pottene ble plassert på et underlag av singel. Det ble pottet 14. mai og behandlingene startet 12. juni 2009.

To tilnærminger ble benyttet for å undersøke effektene av saltkonsentrasjon og samspillet mellom salttype, konsentrasjon, jord og planteslag. En stor gradient i saltkonsentrasjoner med 6 nivå ble brukt for lønn og furu for jordblanding 1 (forsøk 1A), mens kun to konsentrasjoner ble brukt for alle tre jordblandningene og alle artene (forsøk 1B).

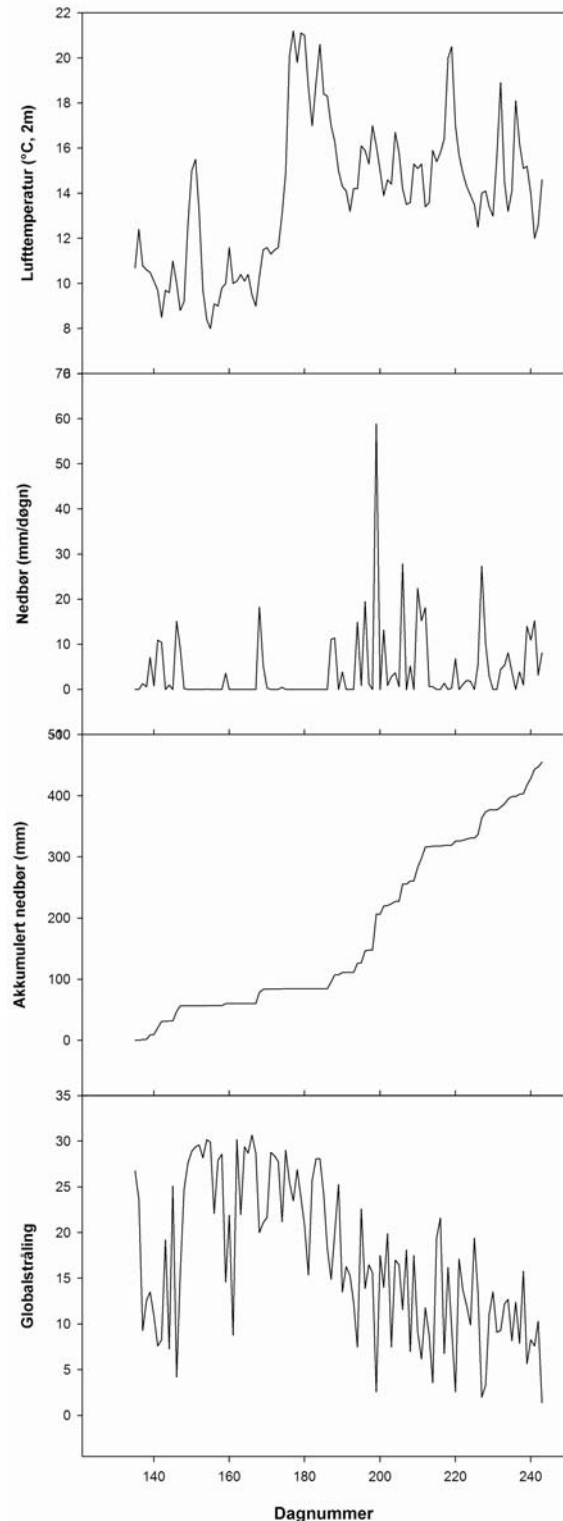
Tre avisingskjemikalier ble sammenlignet: natriumklorid (NaCl), kalsium magnesium acetat (CMA,  $\text{Ca}_3\text{Mg}_7(\text{CH}_3\text{COO})_{20}$ ) og kaliumformat (KFO, KCOOH). Mengdene av hvert kjemikalium ble justert til å gi lik anionkonsentrasjon i jord. Mengdene brukt ble basert på publiserte data på NaCl konsentrasjoner i vegkanter (Åstebøl *et al.* 1996). Det ble brukt anion konsentrasjoner på 0, 0,86, 2,57, 5,13, 10,3 og 13,7 mmol L<sup>-1</sup> jord, som tilsvarer 0, 127, 381, 762, 1525 og 2034 mg L<sup>-1</sup> jord NaCl. I forsøk 1B ble det brukt anionkonsentrasjoner på 0 og 25.5 mmol L<sup>-1</sup> jord. Saltene ble løst i større volum vann og 0,2 L ble tilført hver potte. Væsken ble forsiktig fordelt ut over hele overflatene. Jorda i pottene var nær feltpkapasitet da saltene ble påført. I tillegg ble det den 2. juli tilført ¼ av den første mengden. pH i jordblandningene etter tilførsel av avisingskjemikalier lå i forsøk 1B på hhv. 5,6, 6,5 og 7,0 for jordblanding 1, 2 og 3.



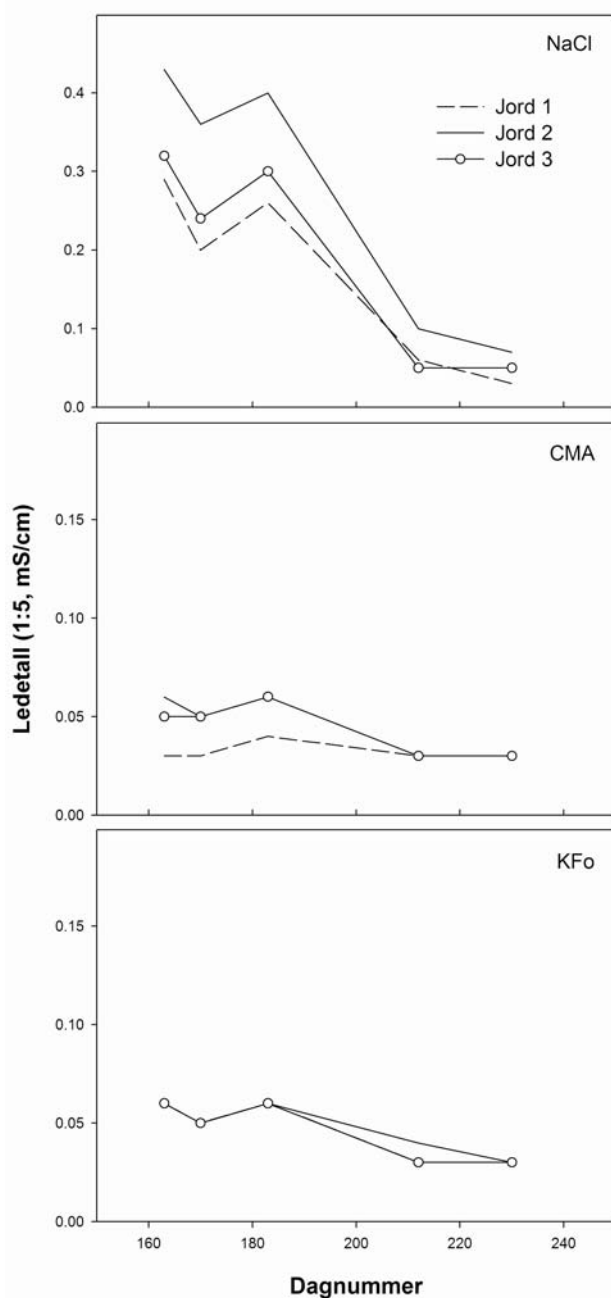
Ukene etter potting og de første fem ukene etter behandling var svært tørre så plantene ble vannet med spreder i denne perioden og gitt 15 mm av en svak balansert næringsløsning (ledetall 0,8 mS/cm) per døgn om morgenen. Forsøket ble gjennomført ved Bioforsk Vest Særheim, Klepp (58.46° N, 5.39° E, 8 km fra kysten, 90 m over havet). Klimaforholdene under forsøket er gitt i figur 1. Vanning med spreder ga ikke betydelig lekkasje fra pottene, men ettersom nedbøren økte fra midten av juli økte utlekkingen av salt.

Forsøket var lagt opp slik at salt skulle lekke ut av pottene over tid. Endring i saltinnhold ble fulgt ved å måle ledetall i en 1:5 blanding av jord og destillert vann for jord hentet fra en 0,8 cm sylinder i øverste halvdel av pottene. Kun en potte per behandling ble fulgt over tid. Endring i saltinnhold over tid er vist i figur 2. Det ble også gjennomført en kontrollert utvasking av en potte per ledd innendørs, der økende mengde vann ble tilført og ledetall i avrenning målt. Resultatene fra denne utvaskingen er gitt i figur 3.

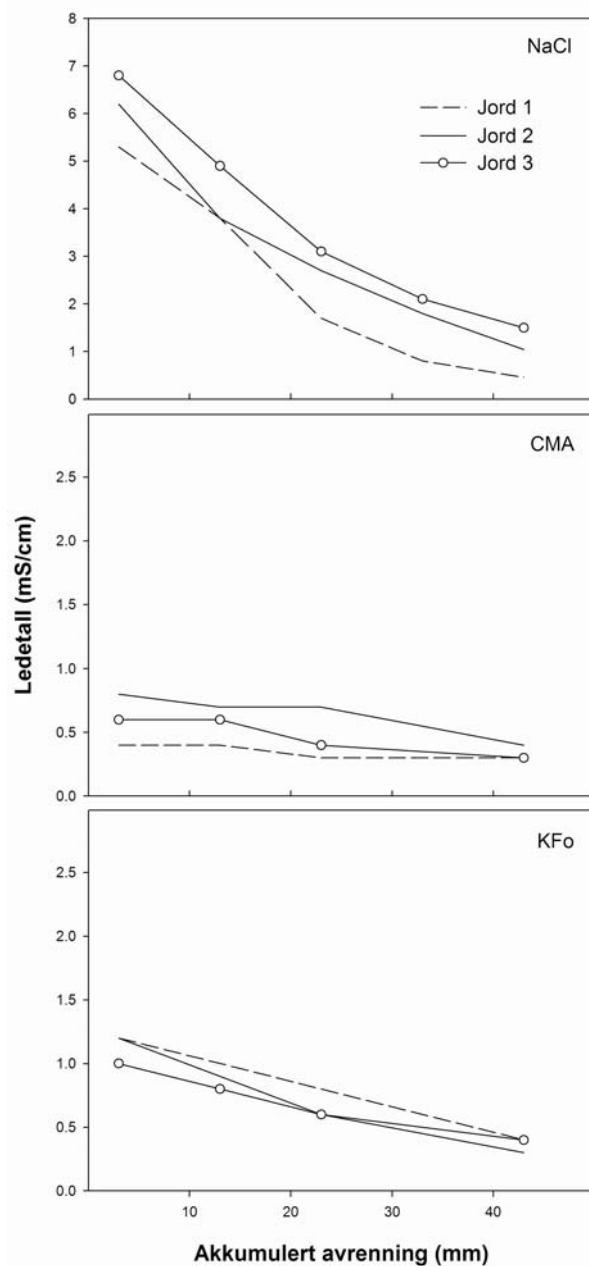
Ved start av forsøket ble høyde og stammediameter registrert for hver plante. Det ble også vurdert å estimere biomassen for hvert individ ved start av forsøket fra en regresjon mellom friskvekt, tørrvekt og morfologi. Dette lot seg ikke gjøre da plantematerialet for de fleste artene viste stor variasjon i lengde - diameter forhold. Under forsøket ble klorofyllfluorescens (Fv/Fm) målt midt i juli og midt i august og brukt som en indikator på saltstress. Endringer i bladfarging og stressymptomer ble registrert og relativt klorofyllinnhold målt. Forsøket ble avsluttet 28. august og endring i høyde og stammediameter ble registrert sammen med total bladbiomasse, bladstørrelse og spesifikt bladareal



Figur 1. Klimaforhold under pottforsøket. Forsøket startet dag 163.



Figur 2. Endring i ledetall i jordprøver tatt fra en potte per behandling gjennom forsøket



Figur 3. Endring i ledetall i avrenning fra pottes under kontrollert tilførsel av vann

(yngste utvikla blad). For furu ble nålelengde 1 cm under toppknoppen målt. Tilveksten i rotvekst ble funnet for furu og lønn ved å vaske ut røtter fra vekstmediet. Forekomst av meldugg på lønn ble kvantifisert på en skala fra 1 (ingen) til 4 (sterkt infisert). Innhold av Cl og Na ble analysert for noen av behandlingene av analyselaboratoriet Eurofins Jord og Planter. Furu var ferdig med strekningsveksten før forsøket startet, så høydedøkning er ikke tatt med som en respons for denne arten.

De to delforsøkene ble gjennomført som faktorielle forsøk. Hypoteser ble testet med multivariate og univariate varians- og kovariansanalyser. Som en første tilnærming ble MANOVA kjørt for hvert delforsøk for å teste for samspill. Her ble det benyttet responser som var felles for alle artene. Deretter ble univariate GLM kjørt for hver art separat. For responser som avhenger av størrelse, ble startstørrelse målt som høyde eller stammediameter brukt som en kovariabel. Statistiske modeller ble testet med GLM og MANOVA i Minitab 15 (Minitab Inc, State College, PA, USA).

## Forsøk 2 - effekter av saltkonsentrasjon ved ulike rottemperatur

Effekten av fortykning av NaCl konsentrasjon i jordvæska ble undersøkt ved ulike rottemperaturer og vekststadier for bjørk og furu. Forsøket ble gjennomført med barrotplanter i luftet vannkultur for å ha kontroll med rotsonetemperatur og ionekonsentrasjon. For å simulere utvasking av salt fra jord på våren, ble barrotplanter fra kjølelager gitt en saltbehandling før fortykning. Plantene ble plassert mørkt i saltløsninger på

0, 60 eller 90 mM NaCl ved 2 °C i to uker. Saltløsningene ble byttet 2 ganger per uke.

Deretter ble halvparten av materialet plassert ved 10 °C for bryting. Ved tilfredsstillende

bryting, ble plantene plassert individuelt i bokser på 2 liter med en Hoagland næringsløsning og ulike NaCl konsentrasjoner. Beholdere med planter ble plassert i en gjennomføring i lokket på modifiserte frysebokser og sensorer for temperaturstyring plasseres i næringsløsningen i rotsonen. Rotsonetemperatur ble regulert til 2, 6 eller 12 °C (reguleringsmekanismer er beskrevet i Hanslin & Höglind 2009). Det ble benyttet to gjentak per temperaturnivå og forsøket ble blokket ved å plassere et gjentak fra hvert temperaturnivå i hvert av to klimaregulert rom. Plantene ble dyrket med 14 timer dag under 150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PPF, 55 % RH og en konstant døgntemperatur økende fra 12 °C ved start til 15 °C ved avslutning av forsøket. Næringsløsning ble byttet en gang per uke og pH justert etter behov med fortynnet NaOH eller HCl.

Ved start av forsøket ble stammehøyde og diameter samt plantenes friskvekt målt. Under forsøket ble bladfarge, bladkvalitet og klorofyllfluorescens (Fv/Fm) fulgt. Ved slutthøsting fire uker etter start ble rotvekst gradert og lengde på lengste nye rot registrert. Det var svært lite synlig vekst i løpet av forsøket, så vekstparametre ble ikke målt ved slutthøstingen.

Forsøket ble analysert som et split-plot forsøk med vekstrom som blokk, rotsonetemperatur som main-plot innen blokk og saltbehandling som split-plot. Statistiske analyser ble kjørt med Minitab 15 (Minitab Inc, State College, PA, USA).

## 4. Resultater

---

Statistiske analyser av resultatene er gitt i vedlegg 1.

### Forsøk 1 - effekter av salt og saltkonsentrasjon i ulike jordblandinger

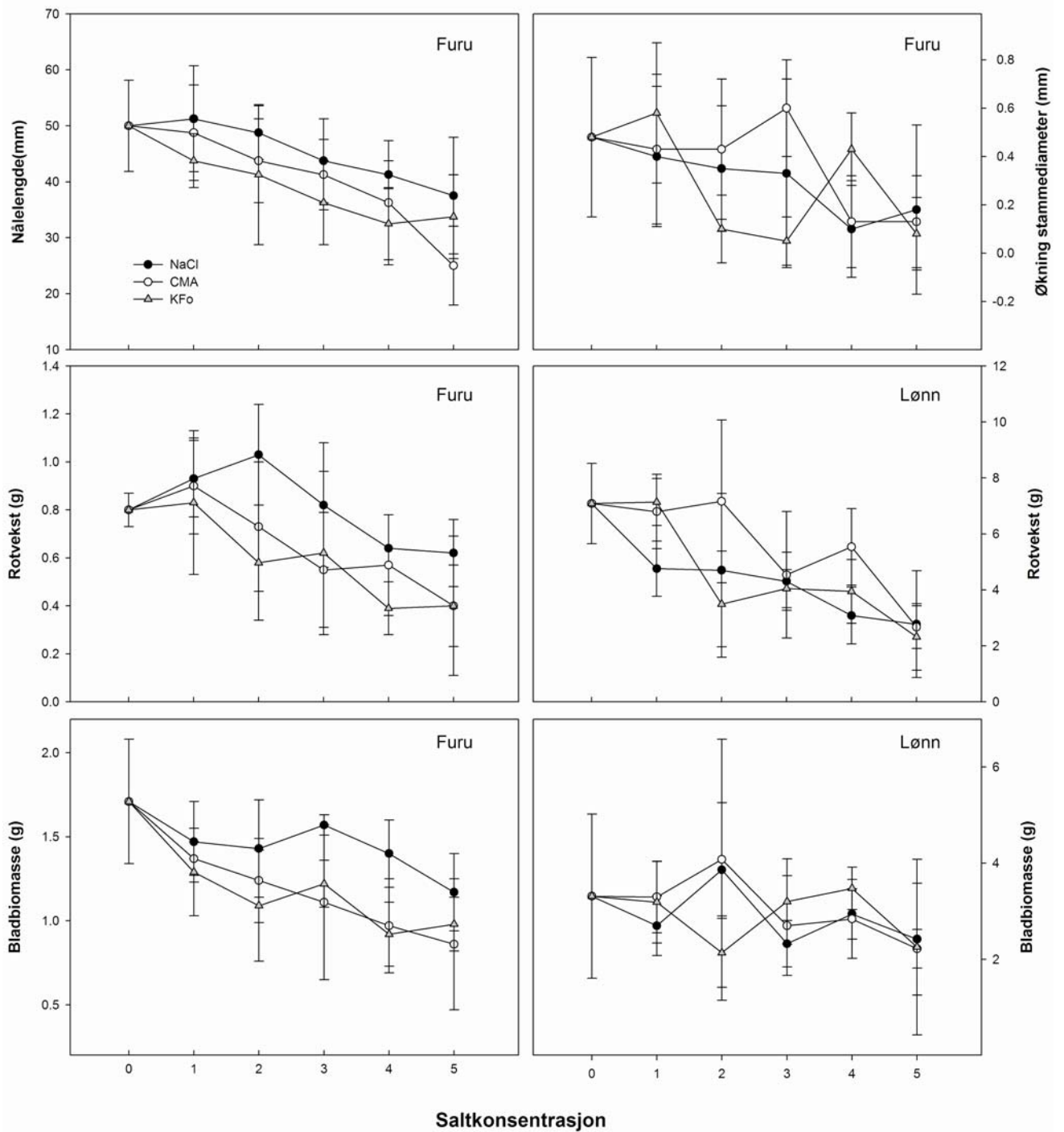
#### *Konsentrasjonseffekter*

Kun art x konsentrasjonseffekten var signifikant i MANOVA (Pillai's trace 0,55366, approx.  $F(15, 321) = 4,843, p=0,000$ ). Dette indikerer at furu og lønn har ulike responser på økende konsentrasjon av avisingskemikalier i jord. Når en ser på hver art separat, ser en tydelig forskjell i responser mellom de to artene. (Tabell 1). Rotveksten ble negativt påvirket av økende konsentrasjon hos begge artene, mens bladbiomasse og stammediameter kun ble negativt påvirket hos furu (Figur 4). Hos furu var det også en nedgang i nålelengde, tilsvarende nedgangen i bladbiomasse. Lønn hadde en økning i bladfarging fra grønn til rød ved økende saltkonsentrasjon tidlig i forsøket, men denne effekten avtok med økende nedbør. Det var ingen samspill mellom salttype og konsentrasjon, så effekten på plantene ser ut til å være en ren konsentrasjonseffekt. Økende saltkonsentrasjon i jord hadde også en effekt på stress målt som klorofyll fluorescens med en synkende trend med økende saltkonsentrasjon. Det var stor variasjon i klorofyll fluorescens og antydning til mindre stress ved høyeste saltkonsentrasjon etter en nedgang fram til nest høyeste konsentrasjon. Dette er ikke forventet og vi har ingen god forklaring på denne responsen.

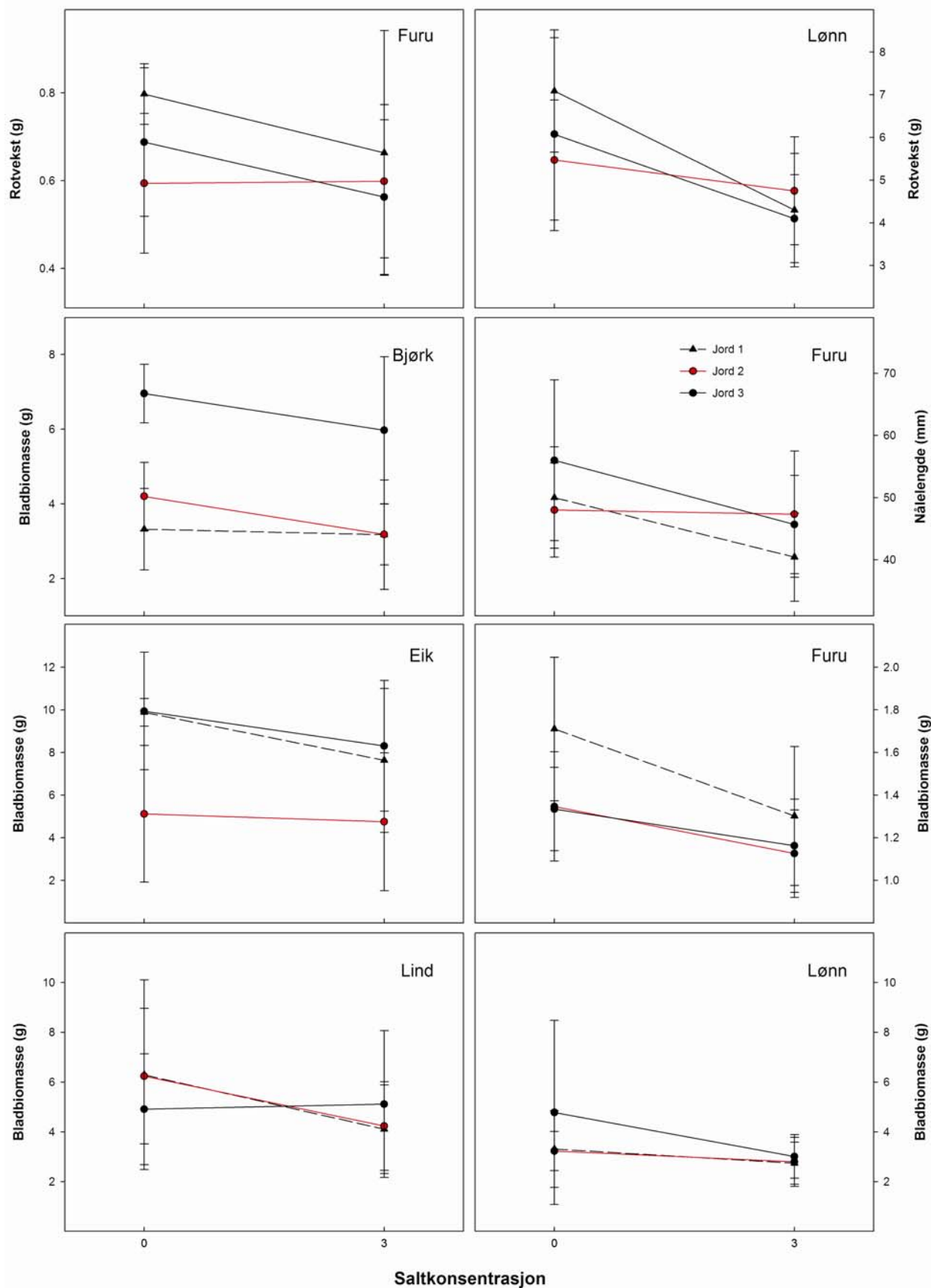
#### *Samspill med jordblanding*

Jordblanding hadde betydelig effekt på plantenes vekst, men det var få samspill mellom jordblanding og salttype eller saltkonsentrasjon (Tabell 2). Responser på saltkonsentrasjon var i hovedtrekk uavhengig både av jordblanding og salttype. Et unntak er effekten av saltkonsentrasjon på stammediameter, høydeøkning og rotvekst hos lønn hvor effekten av økende saltkonsentrasjon var mindre negativ for planter dyrket i jord med mer organisk materiale (Tabell 2, Figur 5).

Rotveksten ble negativt påvirket av økende saltkonsentrasjon også i furu. Bladbiomasse ble negativt påvirket av økende saltkonsentrasjoner i jord hos bjørk, eik, furu og lind (Figur 5). Nålelengden hos furu avtok fra 51 til 44 mm i gjennomsnitt over salttype og jordblanding med økende saltkonsentrasjon. Ingen effekt av saltbehandling ble funnet for spesifikt bladareal, relativt klorofyllinnhold, høydeøkning eller klorofyll fluorescens (Fv/Fm). Et unntak er at relativt klorofyllinnhold økte med økende saltkonsentrasjon hos eik. Stammediameter ble negativt påvirket av økende saltkonsentrasjon kun hos furu og lind.

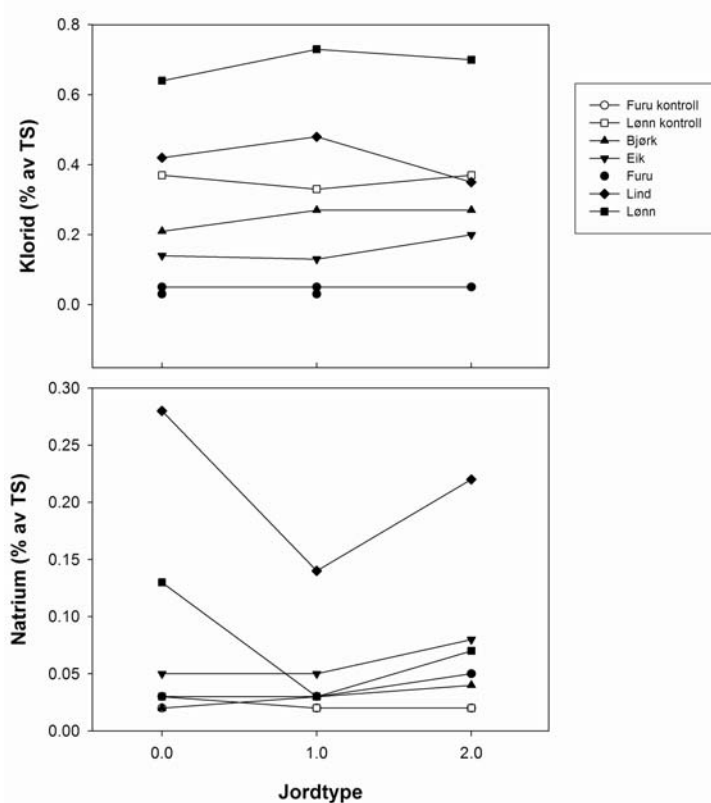


Figur 4. Effekten av økende jordkonsentrasjon av tre avisingkjemikalier på vekstparametre hos furu og lønn. Saltkonsentrasjonen er gitt som nivå der hvert salt har lik anionkonsentrasjon.



Figur 5. Effekten av økende saltkonsentrasjon i jord på plantevekst for tre ulike jordblandinger. Data er presentert som gjennomsnitt over salttyper ( $\pm$  SD).

Kjemiske analyser av bladmateriale viste at furu hadde lave nivå av både Na og Cl for alle behandlinger inkludert kontroll (<0,11 % av TS Cl og < 0,03 % Na). Lind hadde forholdsvis mye Na og Cl i bladene med økende saltbehandling, mens bjørk hadde middels Cl og lite Na og eik lite Cl og middels Na. Lønn hadde mye Cl i bladene både i kontroll (0,35 %) og behandlet materiale stigende fra 0,62 til 0,82 % av TS med økende konsentrasjon i jord. Na innholdet i lind var lavt ved lave behandlingsnivå, men økte ved høye konsentrasjoner (0,29-0,39 %). Plott av bladkonsentrasjon mot jordblanding (Figur 6) viste ingen sammenheng mellom innhold av organisk materiale og opptak av NaCl. Et unntak er et dropp i natriuminnhold i bladene hos lønn dyrket i jord med mest innhold av organisk materiale. Dette samsvarer med den positive effekten av organisk materiale på flere vekst- og stressresponser hos lønn.



Figur 6. Innhold av Na og Cl i blad for planter dyrket ved to saltnivå (kontroll og nivå 3) i tre jordblandinger.

## Forsøk 2 - effekter av saltkonsentrasjon ved ulike rottemperatur

Resultatene (ANOVA med alle faktorer inkludert) viste at artene reagerte forskjellig på behandlingene med samspill mellom art og rottemperatur og art og utviklingsstadium. Hver art ble derfor analysert hver for seg

Når en sammenligner fortygning fra 60 mM til 0, 30 og 60 mM, ser en at fortygning hadde positive effekter på bladkvalitet og relativt klorofyllinnhold for begge artene og

klorofyllfluorescens (Fv/Fm) hos bjørk (Tabell 3, Figur 8-10). Et samspill mellom temperatur og fortygning ble funnet for klorofyllfluorescens der effekten av fortygning var mest positiv ved lavest rottemperatur. Ved høyest rottemperatur var det ingen vesentlig effekt av fortygning. Bladkvaliteten ble påvirket av økende grad av bladskader og dødelighet ved økende saltkonsentrasjon for planter som hadde brutt før fortygning (stadium 2). Effekten var vesentlig mindre for planter som var i bryting ved start av forsøket (stadium 1). Total bladbiomasse ble ikke påvirket av fortygning.

Rotvekst hos lind var ubetydelig, med kun et par nye smårøtter for et par av plantene. Bjørk derimot viste en økende rotvekst med økende temperatur, både gradert subjektivt og estimert som lengde på lengste nye rot. Hos bjørk, var det ingen rotvekst ved 2 og 6 °C, mens det ved 12 °C var betydelig rotvekst uavhengig av saltkonsentrasjon (Figur 7 og 8).

Måling av bladtemperatur viste at bladene holdt 3-4 °C over romtemperatur for 12 °C behandlingen, synkende til 1-2 °C over romtemperatur for 2 °C behandlingen.

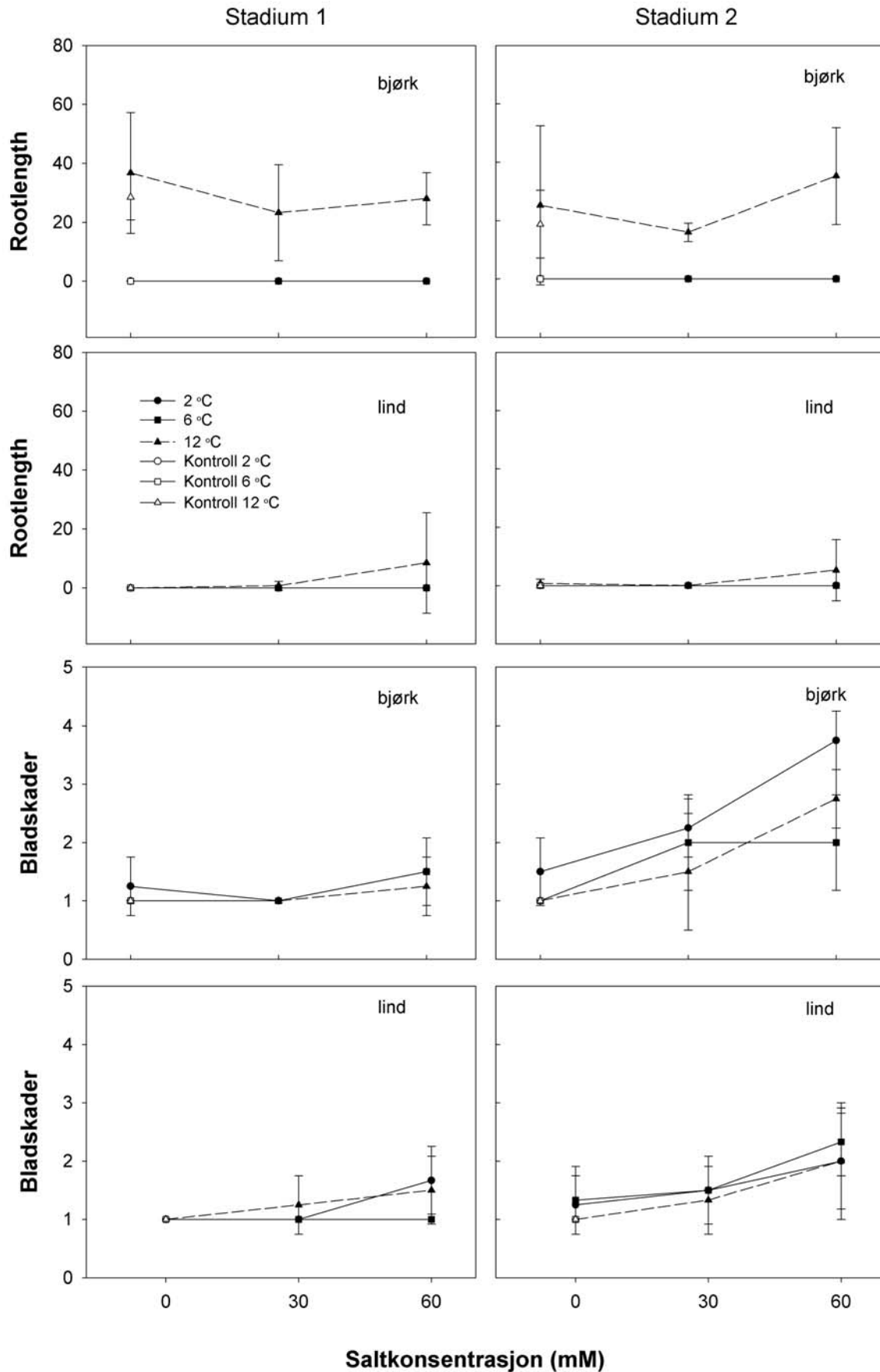
Det var tendenser til høyere klorofyllinnhold, mindre bladskader og noe større rotvekst for 60 mM forbehandling sammenlignet med 90 mM forbehandling (Figur 11), men variasjonen var stor og det var ingen signifikante forskjeller i respons mellom fortynninger fra 60 eller 90 mM til 30 mM (Tabell 4)



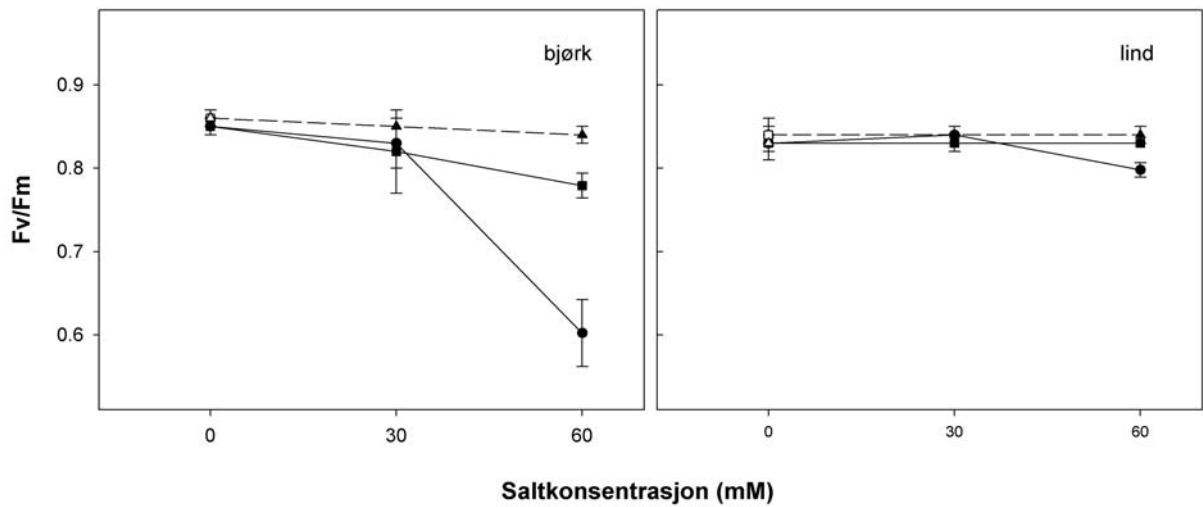
Figur 7. Eksempel på rotvekst hos bjørk ved 12 °C.

Det var ikke tilstrekkelig bladbiomasse til å analysere for opptak av NaCl ved ulike temperaturer.

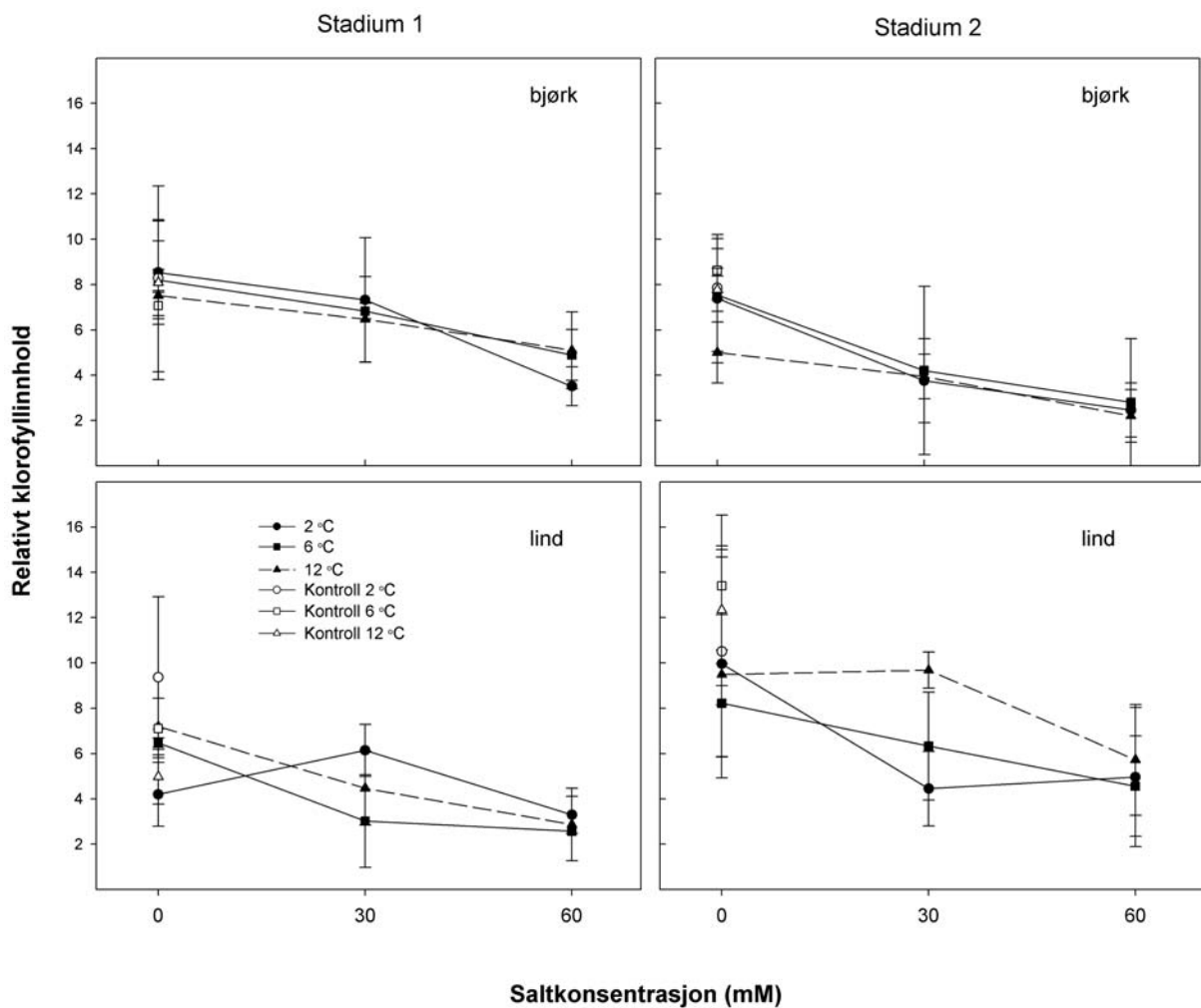




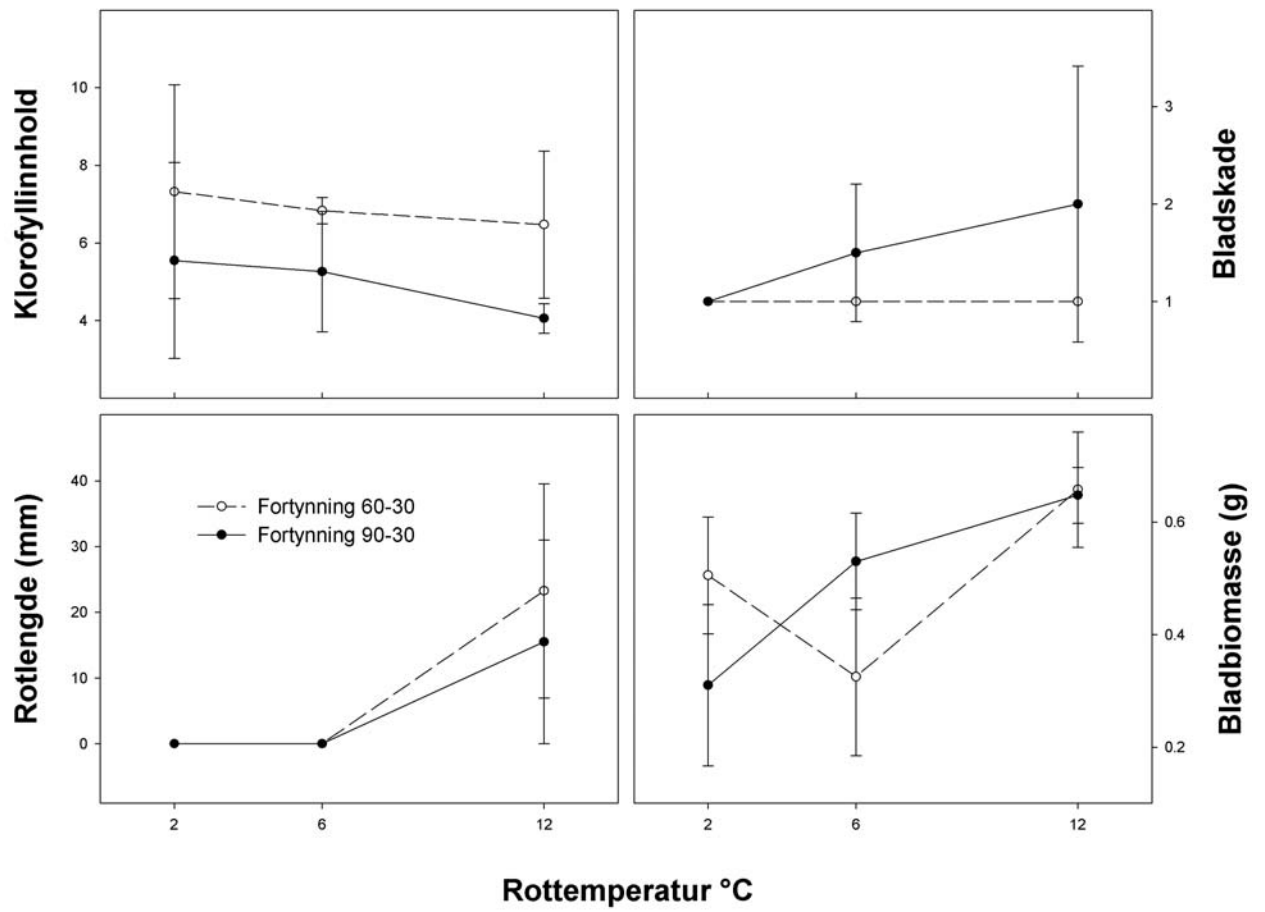
Figur 8. Effekten av økende saltkonsentrasjon i jordvæske på stressresponser hos bjørk og lind ved tre ulike rottemperaturer. Forsøket er gjennomført for to ulike vekststadier ved start av forsøket. Stadium 1 var i begynnende bryting ved start, mens stadium 2 hadde brutt og dannet bladverk ved start.



Figur 9. Effekten av økende saltkonsentrasjon og rottemperatur på klorofyllfluorescens ved avslutning av forsøket. Symboler og linjer er de samme som i figur 4.



Figur 10. Effekten av fortyning av NaCl konsentrasjon i næringsløsning på relativt klorofyllinnhold ved økende rottemperatur. Saltkonsentrasjon ble senket fra 60 mM til 0, 30 eller 60 mM.



Figur 11. Effekten av ulike startkonsentrasjoner av NaCl før fortynning av saltkonsentrasjonen (60 eller 90 mM til 30 mM) på bjørk ved økende rottemperatur.

## 5. Diskusjon

---

### Forsøk 1 - effekter av salt og saltkonsentrasjon i ulike jordblandinger

Det var kun små utslag av saltbehandlingene på stressresponser og bladegenskaper, mens det ble funnet betydelig reduksjon av vekst selv om forsøkene hadde begrenset varighet og det kom mye nedbør gjennom siste halvdel av forsøket. Kun små forskjeller mellom salttyper og jordblandinger ble funnet og konsentrasjonen av avisingkjemikalier i jorda forklarte det meste av resultatene. Rotvekst ble negativt påvirket av økende konsentrasjon, men det var antydninger til mindre negative effekter ved økende mengde organisk materiale i jorda. Bladbiomassen ble også redusert for fire av fem arter, mens økning i stammediameter ble negativt påvirket kun for to av artene ved økende jordkonsentrasjon av avisingkjemikalier. *Hypotese 1: "Organiske kjemikalier gir mindre skade på planter enn NaCl"* ble altså ikke støttet av resultatene.

I og med at det ikke var vesentlige forskjeller mellom salttypene når de ble sammenlignet på basis av anionkonsentrasjonen, vil effekten på vegetasjon avhenge av bruksmengdene og tidspunkt for eksponering. Brukt i et 1:1 forhold på anionbasis, har ikke NaCl noen større negativ effekt på vegetasjonen enn CMA og KFo. Hvis en må bruke større mengder av CMA og KFo for å få samme avisingseffekt, kan CMA og KFo gi større negativ effekt på vegetasjonen enn NaCl. Det er mulig at CMA og KFo påført om vinteren i hovedsak blir brutt ned før plantene starter veksten om våren. Det mangler kunnskap om hvordan CMA og KFo påvirker planter i dvale, men dette kan gi at CMA og KFo kan ha en mindre negativ effekt på vegetasjonen enn NaCl. Innhold av format og acetat i jorda ble ikke målt utover i forsøket, men ved temperaturene i dette forsøket vil store mengder av disse stoffene ha blitt brutt ned tidlig i forsøket (Amundsen *et al.* 2008). Det var derfor uventet at en negativ effekt fremdeles ble registrert etter åtte ukers forsøk. Både format og acetat inngår i plantens metabolisme (Igamberdiev *et al.* 1999, Hanson *et al.* 2000, Seco *et al.* 2007), så en stor akkumulering er ikke ventet. Vi vet lite om hvilke mekanismer som gir den negative effekten av CMA og KFo observert i dette forsøket. Effektene av NaCl er bedre kjent og resultatene her samsvarer med forventede responser basert på litteratur.

Det er viktig å merke seg at dette forsøket kun ser på prosesser i vekstperioden og at det startet med småplanter som ble eksponert for avisingkjemikalier noen få uker etter planting. Sett gjennom et helt år, kan den relative effekten av de forskjellige saltene endres. Effekten på etablert vegetasjon kan også være forskjellig, da et etablert intakt rotsystem kan forventes å være mer tolerant ved samme saltnivå enn nyplantede planter. Hvor stor denne effekten er, må eventuelt kvantifiseres. Det ble observert tydelige forskjeller i hvordan de fem artene i forsøket reagerte på økende saltkonsentrasjon i jord. Deler av denne effekten skyldes forskjeller i hvordan artene allokterer biomasse til ulike strukturer etter planting uavhengig av saltbehandling. I utgangspunktet bør forsøk som dette gjennomføres på etablerte planter som får en realistisk saltpåvirkning gjennom vinter og vår med lengre varighet. Effekten av at plantene blir eksponert for salt over flere år, kan gjøre at det akkumuleres mer salt i stamme og røtter og responsene kan dermed bli annerledes for en og samme saltkonsentrasjon. Eller en kan finne forskjellige utslag av ulike salttyper.

Forsøket viste tydelig negativ effekt på rotvekst hos både lønn og furu. Dette forholdet bør undersøkes nærmere, da en dårlig rotutvikling kan ha svært negative effekter på etablering og trærns evne til å overleve tørkeperioder og annet stress. Redusert rotvekst forventes over tid å gi utslag på vekstresponser over bakken.

Vi hadde ikke nok bladbiomasse til gjentak av kjemiske analyser av bladkonsentrasjoner NaCl, men resultatene tyder ikke på at innhold av organisk materiale i jord påvirker opptaket av avisingssalter med de jordblandningene brukt i dette forsøket, med unntak for lønn. Mest sannsynlig vil dette kunne endres hvis en bruker større gradienter og har med mer ren torvjord i sammenligningen. Ut fra dette forsøket ble heller ikke *Hypotese II: "Innhold av organisk materiale i vekstmedium ved etablering har betydning for opptak av avingskjemikalier"* støttet av resultatene. Dette er ikke i samsvar med tidligere studier (Frostad & Pedersen 2000) som fant forskjeller i saltrespons avhengig av jordblanding, men også med store forskjeller i respons mellom arter. For å kunne trekke mer entydige konklusjoner om betydningen av jordblanding, bør videre forsøk gjennomføres i felt over lengre tid enn i dette forsøket.

Skal en dokumentere faktisk opptak i vegetasjonen skikkelig, må en ha et betydelig lengre forsøks- og observasjonsperiode. Basert på at saltnivåene brukt i dette forsøket ikke gir stort osmotisk stress i vekstmediet, vil de fleste av responsene skyldes opptak og translokering av enten Na eller Cl, eller begge. Effekten på rotvekst kan derimot være en mer direkte effekt også av osmotisk stress. I samsvar med bl.a. Munns & Tester (2008) ser opptak og translokering av Na ut til å være under strengere kontroll ved lave jordkonsentrasjoner enn opptak og translokering av Cl, men effekten av jordblanding på responsene hos lønn så ut til å være påvirket av forskjellig opptak av natrium i de tre jordblandningene.

## **Forsøk 2 - effekter av saltkonsentrasjon ved ulike rottemperatur**

*Hypotese III: "Uttynning av salt ved hjelp av vanning på våren gir redusert saltskader"* støttes av resultatene. Fortynning til halv konsentrasjon eller mer vil redusere stressnivået i plantene, men responsen varierer mellom de to artene som er testet. Bjørk fikk mer skade av høyt saltinnhold og viste mer positiv respons på fortynning enn lind.

Det var større utslag av fortynning for planter som brøt før fortynning (stadium 2), men skadene blir mer synlige jo eldre/større bladene blir. En fortynning før eller senest rundt synlig bryting ser ut til å være en fordel. En fortynning etter bryting vil nok i de fleste tilfeller også gi en positiv effekt, da det er akkumulering av salter over tid som gir skadene. I forhold til jordtemperatur var det en mer positiv effekt av fortynning ved lav rottemperatur med betydelige bladskade og reduksjon i klorofyll fluorescens uten fortynning. Dette gjør at en vil ha best effekt av en fortynning mens rottemperaturen fortsatt er forholdsvis lav, dvs. under 6 °C. NaCl følger mye av transpirasjonsstrømmen inn til planterøttene. En mer negativ effekt av NaCl kan forventes under forhold med stor transpirasjon. En økning i lysnivå eller temperatur ut over det brukt i forsøket vil derfor forventes gi en større negativ respons på en gitt saltkonsentrasjon.

## 6. Litteratur

---

- Amundsen, C.A., French, H., Haaland, S., Pedersen, P.A., Riise, G., Roseth, R. 2008. Salt SMART Miljøkonsekvenser ved salting av veger - en litteraturgjennomgang. Teknologirapport nr. 2535. Statens Vegvesen.
- Fostad, O. & Pedersen, P.A. 2000. Container-grown tree seedling responses to sodium chloride applications in different substrates. *Environ Pollut.* 109:203-10.
- Hanslin, H.M. & Höglind, M. 2009. Differences in winter-hardening between phenotypes of *Lolium perenne* with contrasting water-soluble carbohydrate concentrations. *Grass and Forage Science*, 64: 187-195
- Hanson, A.D., Gage, D.A. & Shachar-Hill, Y. 2000. Plant one-carbon metabolism and its engineering. *Trends in plant Science* 5, 206-213.
- Igamberdiev, A.U, Bykova, N.V. & Kleczkowskia, L.A. 1999. Origins and metabolism of formate in higher plants. *Plant Physiol. Biochem* 37, 503-513 .
- Munns, R. & Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev Plant Biol* 59, 651-81.
- Seco, R., Penúelas, J. & Filella, I. 2007. Short-chain oxygenated VOCs: Emission and uptake by plants and atmospheric sources, sinks, and concentrations. *Atmospheric Environment* 41, 2477-2499
- Ramakrishna, D.M. & Viraraghavan, T. 2005. Environmental impact of chemical deicers - a review. *Water, Air, and Soil Pollution* 166: 49-63.
- Åstebøl, S.O., Pedersen, P.A., Røhr, P.K., Fostad, O. & Soldal, O. 1996. Effekter av vegsalting på jord, vann og vegetasjon. Sammendragsrapport. Ås, GEOfuturum as/Norges landbrukshøgskole/ Forskningsparken i Ås AS. Statens vegvesen. MITRA rapport 05/96.

## 7. Vedlegg

---

### Oversikt over vedlegg

Nr	Emne
1	Tabeller som viser resultater av statistiske analyser av forsøkene

---

## 8. Statistiske analyser av forsøkene

Tabell 1 Effekten av konsentrasjon av avisingsalter i jord på vekst og stressresponser i furu og lønn analysert med variansanalyse. Frihetsgrader for feilledet (df) = 54 og total df = 71. For å korrigere for størrelseseffekter, ble analyser av effekten på stammediameter, rot- og bladbiomasse kjørt med høyde ved start som kovariabel.

	Salt (2 df)		Konsentrasjon (5 df)		Salt x Kons (10 df)		Adj. R <sup>2</sup>
	F	P	F	P	F	P	
<i>Lønn</i>							
Meldugg	3,65	0,033	0,48	0,793	0,97	0,482	3
Stammediam.	0,52	0,598	2,09	0,081	0,90	0,537	4
Bladbiomasse	0,04	0,962	1,45	0,221	1,01	0,450	4
Rotvekst	3,45	0,039	14,51	0,000	1,62	0,127	54
Bladfarging	0,44	0,649	4,88	0,001	1,83	0,077	27
SLA	0,10	0,903	1,21	0,316	1,91	0,063	11
Klorofyllinnhold	2,03	0,141	0,81	0,549	0,79	0,636	0
Fv/Fm august	1,22	0,303	2,64	0,033	1,28	0,266	14
<i>Furu</i>							
Nålelengde	3,52	0,037	8,76	0,000	0,59	0,814	35
Stammediam.	0,87	0,424	4,03	0,004	1,98	0,055	25
Bladbiomasse	9,43	0,000	8,74	0,000	0,80	0,633	51
Rotvekst	6,30	0,004	7,21	0,000	0,73	0,692	34



Tabell 2 ANOVA tabell for effekten av salttype, saltkonsentrasjon og jordblanding på vekst- og stressresponser hos bjørk, eik, furu, lind og lønn. Error df = 71, total df=89. For å korrigere for størrelseeffekter, ble analyser av effekten på stammediameter, rot- og bladbiomasse kjørt med høyde ved start som kovariabel.

	Jord			Salt			Konsentrasjon			Jord x Salt			Jord x Kons			Salt x Kons			Jord x Salt x Kons			Adj. R <sup>2</sup>
	F	P		F	P		F	P		F	P		F	P		F	P		F	P		
Bjørk																						
Blad	47.27	0.000		0.42	0.659		5.39	0.023		0.37	0.827		1.24	0.296		0.42	0.659		0.37	0.827		54
Stamme	37.23	0.000		1.63	0.203		2.35	0.129		0.43	0.790		4.08	0.021		1.62	0.203		0.43	0.790		47
Høyde	12.90	0.000		0.49	0.615		2.14	0.148		0.37	0.829		1.27	0.288		0.49	0.615		0.37	0.829		18
Klorofyll	1.64	0.201		0.42	0.656		0.98	0.327		0.75	0.559		1.94	0.151		0.42	0.656		0.75	0.559		0
SLA	16.80	0.000		0.66	0.519		0.68	0.413		0.71	0.589		0.59	0.556		0.66	0.519		0.71	0.589		23
Fv/Fm	3.46	0.037		0.59	0.555		0.45	0.502		0.75	0.561		2.96	0.058		0.59	0.558		0.75	0.561		5
Eik																						
Blad	16.22	0.000		0.51	0.606		5.22	0.025		0.35	0.842		0.77	0.468		0.51	0.606		0.35	0.842		24
Stamme	0.99	0.375		0.06	0.945		0.39	0.537		0.65	0.629		1.07	0.347		0.06	0.945		0.65	0.629		0
Høyde	2.13	0.127		1.52	0.228		0.17	0.680		1.36	0.257		0.22	0.800		0.01	0.994		0.07	0.990		0
Klorofyll	11.78	0.000		0.17	0.846		11.34	0.001		0.17	0.955		17.2	0.000		0.17	0.846		0.17	0.955		41
SLA	3.44	0.039		0.19	0.830		1.65	0.205		0.62	0.650		3.15	0.051		0.19	0.830		0.62	0.650		7
Fv/Fm	5.19	0.009		0.38	0.689		0.30	0.587		0.33	0.857		6.57	0.003		0.38	0.689		0.33	0.857		15
Furu																						
Blad	5.80	0.005		2.17	0.122		27.45	0.000		0.92	0.459		0.57	0.569		2.17	0.122		0.92	0.459		43
Stamme	0.22	0.807		0.15	0.864		14.75	0.000		1.76	0.149		1.14	0.327		0.15	0.864		1.76	0.149		19
Nålelengde	3.38	0.040		0.85	0.433		11.38	0.001		0.05	0.995		1.99	0.145		0.85	0.433		0.05	0.995		9
Rotvekst	3.85	0.026		0.58	0.564		4.48	0.038		0.58	0.682		1.30	0.280		0.58	0.564		0.58	0.682		5

Tabell 2 forts.

	Jord		Salt		Konsentrasjon		Jord x Salt		Jord x Kons		Salt x Kons		Jord x Salt x Kons		Adj. R <sup>2</sup>
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	
Lind															
Blad	2.93	0.060	0.12	0.886	11.85	0.001	0.55	0.841	1.49	0.233	0.12	0.886	0.35	0.841	52
Stamme	4.39	0.016	1.27	0.287	4.60	0.035	1.20	0.318	0.34	0.710	1.27	0.287	1.20	0.318	11
Høyde	2.12	0.128	1.20	0.309	0.37	0.544	0.71	0.587	0.48	0.622	1.20	0.309	0.71	0.587	10
Klorofyll	0.43	0.653	1.90	0.157	2.69	0.105	0.31	0.867	0.01	0.992	1.90	0.157	0.31	0.867	0
SLA	4.37	0.016	0.33	0.720	3.32	0.073	0.26	0.902	1.86	0.163	0.33	0.720	0.26	0.902	2
Fv/Fm	0.20	0.821	0.23	0.794	3.29	0.074	0.79	0.536	0.11	0.897	0.23	0.794	0.79	0.536	0
Lønn															
Blad	3.42	0.039	0.22	0.801	2.40	0.126	0.20	0.937	1.26	0.291	0.22	0.801	0.20	0.937	1
Stamme	9.58	0.000	1.17	0.316	0.03	0.854	0.64	0.633	4.40	0.016	1.17	0.316	0.64	0.633	28
Høyde	3.63	0.032	0.08	0.921	0.35	0.555	0.02	0.999	3.72	0.030	0.08	0.921	0.02	0.999	0
Rotvekst	1.83	0.169	1.08	0.347	21.47	0.000	0.28	0.892	4.27	0.018	1.08	0.347	0.28	0.892	31
Klorofyll	0.15	0.863	0.53	0.591	1.85	0.179	0.36	0.833	0.12	0.885	0.53	0.591	0.36	0.833	0
Farge	5.05	0.009	1.18	0.315	14.69	0.000	1.77	0.146	2.78	0.069	1.18	0.315	1.77	0.146	28
Meldugg	13.26	0.000	0.41	0.666	0.00	0.964	0.70	0.594	1.97	0.147	0.41	0.666	0.70	0.594	20
SLA	2.72	0.073	0.13	0.875	0.61	0.439	0.15	0.963	0.64	0.528	0.13	0.875	0.15	0.963	0
Fv/Fm	1.66	0.197	0.23	0.793	0.12	0.732	0.35	0.842	0.44	0.644	0.23	0.793	0.35	0.842	0

Tabell 3. Oversikt over signifikansnivåer for analyse av forsøk med fortytning av saltkonsentrasjon NaCl fra 60 til 0, 30 eller 60 mM analysert med en split-plot modell med stadium og saltbehandling som split-plot faktorer og rottemperatur som main-plot faktor innen blokk. Kun signifikansverdiene er vist. Blokkeffekter og blokk interaksjoner er ikke vist. Fv/Fm ved høsting ble analysert med en modell uten stadium, kun for stadium 2. Bladbiomasse ble analysert med startbiomasse som kovariabel.

Respons	Temp	Stadium	Saltkons	Stad x Temp	Salt x Temp	Salt x Stad	Adj. R <sup>2</sup>
bjørk							
Bladbiom.	0.148	0.007	0.113	0.532	0.139	0.095	51
Bladkval.	0.543	0.000	0.009	0.049	0.355	0.000	62
Rotlengde	0.010	0.542	0.229	0.406	0.370	0.622	65
Klorofyll	0.595	0.288	0.009	0.752	0.793	0.142	51
Fv/Fm	0.009		0.002		0.000		89
lind							
Bladbiom.	0.492	0.086	0.095	0.387	0.765	0.089	52
Bladkval.	0.917	0.008	0.030	0.536	0.997	0.584	26
Klorofyll	0.781	0.003	0.006	0.296	0.717	0.609	46
Fv/Fm	0.004		0.119		0.011		50

Tabell 4. Signifikansnivå for analyse av forskjeller mellom en fortytning fra 60 eller 90 mM NaCl startkonsentrasjon til 30 mM i jordvæsken for bjørk. Data ble analysert med en split-plot modell som i tabell C, men blokkeffekter og interaksjon med blokk er ikke vist.

	Temperatur	Startkons.	Temp*Startkons	Adj. R <sup>2</sup>
Klorofyllinnhold	0,532	0,132	0,932	0
Bladkvalitet	0,304	0,500	0,062	68
Rotvekst	0,075	0,295	0,008	90
Rotlengde	0,000	0,638	0,689	32
Bladbiomasse	0,010	0,996	0,002	73



**Statens vegvesen**

Statens vegvesen Vegdirektoratet  
Postboks 8142 Dep  
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030  
E-post: [publvd@vegvesen.no](mailto:publvd@vegvesen.no)

ISSN 1504-5005